



УКРАЇНА

(19) UA (11) 86220 (13) C2
(51) МПК (2009)
B21B 37/00
B21B 37/16

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПРОЦЕСУ, ЗОКРЕМА, АБСОЛЮТНОЇ ТОЧНОСТІ ПО ТОВЩИНІ І НАДІЙНОСТІ АГРЕГАТИВ ПРИ ГАРЯЧІЙ ПРОКАТЦІ СТАЛІ АБО КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

1

2

(21) а200609279

(22) 14.01.2005

(24) 10.04.2009

(86) РСТ/ЕР2005/000348, 14.01.2005

(31) 10 2004 003 514.8

(32) 23.01.2004

(33) DE

(46) 10.04.2009, Бюл.№ 7, 2009 р.

(72) ЛІКСФЕЛЬД ПЕТЕР, СКОДА-ДОПП УЛЬРІХ,
ВЕХАГЕ ХАРАЛЬД, ГРИММ ВОЛЬФГАНГ, БОРОВІ-
КОВ АЛЕКСАНДЕР, БЛАЙ ХОЛЬГЕР

(73) СМС ДЕМАГ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО

(56) WO 93/11886, 24.06.1993

WO 99/02282, 21.01.1999

(57) 1. Спосіб підвищення стабільності процесу, зокрема, абсолютної точності по товщині і надійності агрегату при гарячій прокатці сталі або металів з кольорового металу, при невеликих мірах деформації (φ) або невеликих обтисненнях, при якому враховують межу текучості (R_e) при підвищеній температурі при обчисленні номінального прокатного зусилля (F_w) і відповідної позиції регулювання (s), який **відрізняється** тим, що межу текучості (R_e) при підвищеній температурі розраховують залежно від температури (T) деформації і/або швидкості ($\dot{\varphi}$) деформації і вбудовують у функцію межі текучості ($k_{f,R}$) для визначення номінального прокатного зусилля (F_w) через співвідношення

$$R_e = a + e^{b_1 + b_2 \cdot T} \cdot \dot{\varphi}^{b_3}, \quad (2)$$

при цьому мультиплікативний вираз кривих для межі текучості (R_e) при підвищеній температурі залежно від температури (T) деформації і швидкості ($\dot{\varphi}$) деформації вибирають, згідно з формулою:

$$k_{f,R} = a + e^{b_1 + b_2 \cdot T} \cdot \dot{\varphi}^{b_3} + k_{f0} \cdot A_1 \cdot e^{m_1 \cdot T} \cdot A_2 \cdot \varphi^{m_2} \cdot A_3 \cdot \dot{\varphi}^{m_3}, \quad (3)$$

де:

R_e - межа текучості при підвищеній температурі,

T - температура деформації,

$\dot{\varphi}$ - швидкість деформації,

a, b, c - коефіцієнти.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що

межу текучості ($k_{f,R}$) визначають за допомогою звичайного рівняння прокатного зусилля для обчислення номінального прокатного зусилля (F_w) при регулюванні товщини, а також для розрахункових моделей і методів регулювання, згідно з наступним рівнянням

$$F_w = Q_p \cdot k_{f,R} \cdot B \cdot (R_w \cdot (h_0 - h_1))^{1/2}, \quad (4)$$

де:

F_w - номінальне прокатне зусилля,

Q_p - функція для урахування геометрії осередку деформації і співвідношень сил тертя,

$k_{f,R}$ - межа текучості, враховуючи межу текучості при пластичній деформації при підвищеній температурі,

B - ширина прокатуваного матеріалу,

R_w - радіус валків,

h_0 - товщина перед пропусканням через валки,

h_1 - товщина після пропускання через валки.

3. Спосіб за п. 1 або 2, який **відрізняється** тим, що

на основі номінального прокатного зусилля (F_w) розраховують модуль матеріалу (C_M), враховуючи межу текучості (R_e) при підвищеній температурі залежно від температури (T) деформації і швидкості ($\dot{\varphi}$) деформації для менших мір деформації, ніж специфічна для матеріалу гранична міра деформації (φ_G), згідно з формулою

$$C_M = (F_w - F_m) / dh_1, \quad (5)$$

де:

C_M - модуль матеріалу,

F_w - номінальне прокатне зусилля,

F_m - вимірне прокатне зусилля,

dh_1 - зміна вихідної товщини.

4. Спосіб за п. 3, який **відрізняється** тим, що застосовують звичайне калібрувальне рівняння у формулі

(13) C2

(11) 86220

(19) UA

$$ds_{AGC} = (1 + C_M / C_G) dh_1 = (1 + C_M / C_G) \cdot ((F_W - F_M) / C_G + s - s_{soll}) , \quad (6)$$

де:

ds_{AGC} - зміна встановлення осередку деформації,

C_M - модуль матеріалу,

C_G - модуль прокатної кліті,

dh_1 - зміна вихідної товщини,

F_W - номінальне прокатне зусилля,

F_M - виміряне прокатне зусилля,

s - встановлення осередку деформації,

s_{soll} - номінальне встановлення осередку деформації.

Винахід стосується способу підвищення стабільності процесу, зокрема. абсолютної точності по товщині і надійності агрегатів при гарячій прокатці сталі або кольорових металів з невеликими мірами деформації або з невеликими обтисненнями з урахуванням межі текучості при підвищених температурах при розрахунку номінального прокатного зусилля і відповідної позиції регулювання

У ранній публікації «Kraft- und Arbeitsbedarf bildsamer Formgebungsverfahren» A. Hensel und T. Spittel, Leipzig 1978 [«Метод формоутворення з невисокими енерговитратами і робочими витратами» А. Хенсель і Т. Шпіттель, Лейпциг 1978], і у подальшій публікації «Rationeller Energieeinsatz bei Umformprozessen» T. Spittel und A. Hensel, Leipzig 1981 [«Рациональне використання енергії при процесах формоутворення» Т. Шпіттель і А. Хенсель. Лейпциг 1981], описуються різні методи для обчислення номінального прокатного зусилля при гарячій прокатці у вигляді добутку опору деформації на площу обтиснення. Сам опір деформації визначається як добуток межі текучості на коефіцієнт, який враховує геометрію осередку деформації і/або співвідношення сил тертя. Метод для обчислення межі текучості, який використовується частіше за все передбачає її визначення шляхом складання рівняння з коефіцієнтами для урахування впливу температури деформації, міри деформації і швидкості деформації, які мультиплікативно зв'язуються одна з одною, наприклад у наступній формі:

$$k_f = k_{f0} \cdot A_1 \cdot e^{m_1 \cdot T} \cdot A_2 \cdot \varphi^{m_2} \cdot A_3 \cdot \rho_{hip}^{m_3} \quad (1)$$

де:

k_f = межа текучості

k_{f0} = початкова величина межі текучості

T = температура деформації

φ = міра деформації

ρ_{hip} = швидкість деформації

A_i, m_i = термодинамічні коефіцієнти.

Для різних груп матеріалу визначалися термодинамічні коефіцієнти: розрізнення матеріалів у межах групи відбувається через відповідну початкову величину k_{f0} .

У наступній публікації «Modellierung des Einflusses der chemischen Zusammensetzung und der Umformbedingungen auf die Fließspannung von Stählen bei der Warmumformung» M. Spittel und T. Spittel, Freiberg 1996 [«Моделювання впливу хімічного складу та умов формоутворення на межу те-

кучості сталей при гарячій прокатці» М. Шпіттель і Т. Шпіттель, Фрейберг 1996], додатково пропонується розраховувати початкову величину межі текучості матеріалу залежно від його хімічного аналізу і використовувати решту параметрів для урахування температури, міри деформації і швидкості деформації відповідно до групи матеріалу. Принципово, проте, залишається мультиплікативний характер виразу, згідно з рівнянням (1).

Недолік мультиплікативного математичного виразу для обчислення межі текучості полягає у тому, що функція для міри деформації $\varphi < 0,04$ або при обтисненнях, які зменшуються, прямує відносно межі текучості до нуля МПа. тобто функція знижується до нуля (показано на Fig.1). Проте, ця теорія суперечить фактичним даним. Як наслідок, при незначних обтисненнях обчислюються дуже малі величини межі текучості і при цьому - дуже невеликі номінальні прокатні зусилля. Задання осередку, деформації шляхом регулювання товщини залежить також від прокатного зусилля і таким чином здійснюється з помилками. Тому гарячекатані продукти мають більшу фактичну товщину порівняно з бажаною товщиною.

Неточне обчислення номінального прокатного зусилля при незначних мірах деформації і, відповідно, обтисненнях створює постійну загрозу агрегату при прокатці з високими прокатними зусиллями і/або прокатними моментами поблизу максимально допустимих параметрів агрегатів, як це проявляється, наприклад, при прокатці при знижених температурах, або ж також при високих температурах і ширинах катаного матеріалу, які наближаються до максимально технічно можливих для даного агрегату.

Неточне обчислення номінального прокатного зусилля погіршує також стабільність процесу, і загалом негативне, оскільки підключені автоматизовані моделі, як наприклад, моделі, які, відповідно, регулюють якість профілю і площинність, розраховують параметри встановлення з урахуванням номінального прокатного зусилля.

З [документа WO 93/11 886 A1] відомий спосіб розрахунку прокатного плану для встановлення номінального прокатного зусилля і номінального розхилу валків прокатної кліті, який вимагає специфічних для кліті і/або специфічних для матеріалу узгоджувальних коефіцієнтів прокатного зусилля. Специфічні для кліті встановлення є

невигідними при обчисленні номінального прокатного зусилля для можливого перенесення на інші агрегати.

З [документа WO 99/02 282 A1] впливає відомий спосіб керування і, відповідно, попереднього встановлення прокатної кліті залежно щонайменше від однієї з величин прокатного зусилля, прокатного моменту, і випередження, при якому моделювання впливів йде за допомогою обробки інформації, яка базується на нейронних мережах, або за допомогою інвертованої моделі прокатки, - через зворотний розрахунок твердості матеріалу у заготовці, яка пропускається, за допомогою регресійної моделі. Похибок, які виникають при обчисленні номінального прокатного зусилля за мультиплікативною формулою у діапазоні маленьких мір деформації або обтиснень можна таким чином уникати. Проте, недоліком є те, що для адаптування нейронної мережі і, відповідно, для інвертованої моделі прокатки повинні спочатку існувати результати прокатки. Перекладення запропонованого способу на ще не катані матеріали або на агрегати з іншими параметрами, таким чином, безпосередньо не гарантоване.

Проілюстрованому стану техніки властиве те, що ефект впливу невеликих мір деформації або невеликих обтиснень на межу текучості при гарячій прокатці сталі і кольорового металу у рамках відомих методів не враховується коректно при обчисленні номінального прокатного зусилля і для регулювання товщини, або враховується недостатньо, або можливість перенесення на інші агрегати обмежена, і таким чином існує ризик для стабільності пронесу, зокрема, для абсолютної точності по товщині і безпеці встановлення.

В основі винаходу лежить задача створити спосіб підвищення стабільності процесу, зокрема, абсолютної точності по товщині і надійності агрегату при гарячій прокатці сталі і матеріалів з кольорового металу, при якому може збільшуватися точність розрахунків межі текучості і номінального прокатного зусилля при невеликих мірах деформації або невеликих обтисненнях.

Поставлена задача вирішується, згідно з винаходом, за допомогою того, що межа текучості при підвищеній температурі розраховується залежно від температури деформації і/або швидкості деформації і вбудовується у функцію межі текучості для визначення номінального прокатного зусилля за допомогою співвідношення:

$$R_e = a + e^{b_1 + b_2 \cdot T} \cdot \text{phip}^c, \quad (2)$$

у той час як мультиплікативний вираз кривих для межі текучості при підвищеній температурі залежно від температури деформації і швидкості деформації визначається згідно з формулою:

$$k_{f,R} = a + e^{b_1 + b_2 \cdot T} \cdot \text{phip}^c + k_{f0} \cdot A_1 \cdot e^{m_1 \cdot T} \cdot A_2 \cdot \varphi^{m_2} \cdot A_3 \cdot \text{phip}^{m_3}, \quad (3)$$

причому:

R_e = межа текучості при підвищеній температурі.

T = температура деформації,

phip = швидкість деформації,

a ; b ; c = коефіцієнти.

На основі урахування межі текучості, який відповідає винаходу, при підвищеній температурі залежно від температури деформації і швидкості

деформації спосіб навіть для найменших мір деформації дає правильні значення. Початкове значення - це відповідна межа текучості при підвищеній температурі прокатуваного матеріалу залежно від температури деформації і швидкості деформації.

Перевага при використанні нового математичного виразу для обчислення межі текучості полягає у тому, що межа текучості при підвищеній температурі для прокатуваних матеріалів розраховуються з результатів вимірювання при прокатці з меншими мірами деформації ніж специфічна для матеріалу гранична міра деформації, у той час як межа текучості відповідних заготовок, які пропускаються, залежно від температури деформації і швидкості деформації одержуються зворотним розрахунком з виміряними прокатними зусиллями і прирівнюються до межі текучості при підвищеній температурі, якщо вони дорівнюють виміряним при гарячих випробуваннях на розтягання межах текучості при підвищеній температурі. Знайдена залежність межі текучості при підвищеній температурі від температури деформації і швидкості деформації являє собою початкову точку апроксимованої кривої теплового потоку.

Далі, згідно з винаходом, пропонується, що межа текучості визначається у звичайному рівнянні прокатного зусилля для обчислення номінального прокатного зусилля при регулюванні товщини, а також для розрахункових моделей і методів регулювання, згідно з наступним рівнянням:

$$F_W = Q_P \cdot k_{f,R} \cdot B \cdot (R_W \cdot (h_0 - h_1))^{1/2}, \quad (4)$$

причому позначено:

F_W = номінальне прокатне зусилля,

Q_P = функція для урахування геометрії осередку деформації і співвідношень сил тертя,

$k_{f,R}$ = межа текучості, враховуючи межу текучості при пластичній деформації при підвищеній температурі,

B = ширина прокатуваного матеріалу,

R_W - радіус валків,

h_0 = товщина перед пропусканням через валки,

h_1 = товщина після пропускання через валки.

На подальшому етапі виконання винаходу передбачено, що на основі номінального прокатного зусилля розраховується модуль матеріалу, враховуючи межу текучості при підвищеній температурі залежно від температури деформації і швидкості деформації для менших мір деформації, ніж специфічна для матеріалу гранична міра деформації, згідно з формулою

$$C_M = (F_W - F_m) / dh_1, \quad (5)$$

де позначено:

C_M = модуль матеріалу,

F_W = номінальне прокатне зусилля,

F_m = виміряне прокатне зусилля,

dh_1 = зміна вихідної товщини.

Винахід передбачає те, що звичайне калібрувальне рівняння розширюється \ форму

$$ds_{AGC} = (1 + C_M / C_G) dh_1 = (1 + C_M / C_G) \cdot ((F_W - F_m) / C_G + s - s_{sol}), \quad (6)$$

причому позначено:

ds_{AGC} = зміна встановлення осередку деформації,

C_M = модуль матеріалу
 C_G = модуль прокатної кліті,
 dh_1 = зміна вихідної товщини,
 F_W - номінальне прокатне зусилля,
 F_m = вимірне прокатне зусилля,
 s = встановлення осередку деформації,
 s_{sol} = номінальне встановлення осередку де-
 формації.

Внаслідок цього, тепер правильно відображається характеристика текучості матеріалу також при невеликих мірах деформації або обтисненнях.

На основі калібрувального рівняння і розрахованого прокатного зусилля визначається встановлювальна позиція електромеханічних і/або гідравлічних регулювань для гарантії потрібної вихідної товщини прокатуваного матеріалу.

На кресленнях показані діаграми для межі текучості залежно від міри деформації, згідно з нинішнім рівнем техніки і згідно з винаходом, що нижче роз'яснюються детальніше.

Креслення показують:

Фіг.1 схематично, межа текучості k_f залежно від міри деформації φ при звичайному мультиплікативному математичному записі згідно зі станом техніки.

Фіг.2 схематично, межа текучості $k_{f,R}$ залежно від міри деформації φ , згідно з винаходом, причому нижче граничної міри деформації φ_G мультиплікативний вираз додатково розширений з урахуванням межі текучості при пластичній деформації при підвищеній температурі.

Недолік мультиплікативного виразу для обчислення межі текучості (Фіг.1) полягає у тому, що функція межі текучості k_f при невеликих мірах деформації $\varphi < 0,04$ або невеликих обтисненнях прямує до нуля МПа, тобто функція проходить через нуль, як зображено.

Урахування (Фіг.2) межі текучості R_e , який відповідає винаходу, при підвищеній температурі

залежно від температури T деформації і швидкості $\dot{\varphi}$ деформації дозволяє у винаході досягати навіть при найменших мірах деформації φ правильних результатів. Початкова величина - це відповідна межа текучості R_e при підвищеній температурі прокатуваного матеріалу залежно від температури T деформації і швидкості $\dot{\varphi}$ деформації.

Перелік основних позначень

A_i термодинамічні коефіцієнти

a_i b_i с коефіцієнти

B ширина прокатуваного матеріалу

C_G модуль прокатної кліті

C_M модуль матеріалу

dh_1 зміна вихідної товщини

ds_{AGC} зміна встановлення осередку деформації

F_m вимірне прокатне зусилля

F_W номінальне прокатне зусилля

h_0 товщина перед пропусканням через валки

h_1 товщина після пропускання через валки

k_f межа текучості

k_{f0} початкова величина межі текучості

$k_{f,R}$ межа текучості, з урахуванням межі текучості при пластичній деформації при підвищеній температурі

m_i термодинамічні коефіцієнти

φ міра деформації

φ_G гранична величина міри деформації

$\dot{\varphi}$ швидкість деформації

Q_P функція для урахування геометрії осередку деформації і співвідношень сил тертя

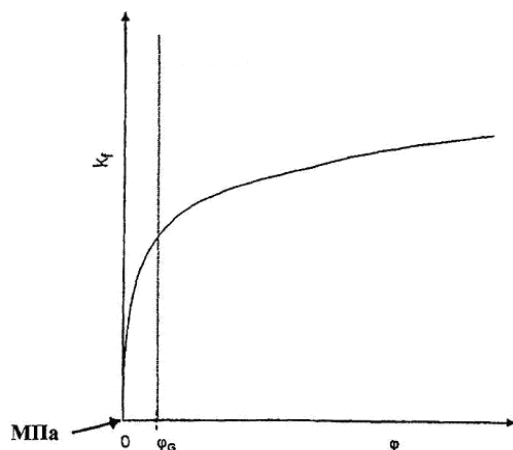
R_e межа текучості при підвищеній температурі

R_W радіус валків

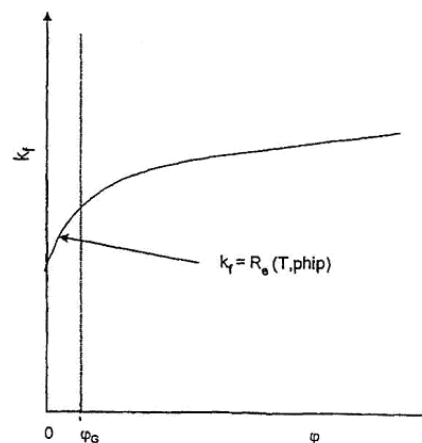
s встановлення осередку деформації

s_{sol} номінальне встановлення осередку деформації

T температура деформації



Фіг.1



Фіг.2