



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **150241** (13) **U**
(51) МПК (2022.01)
B21B 37/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2021 04170	(72) Винахідник(и): Ніколаєнко Анатолій Миколайович (UA)
(22) Дата подання заявки: 23.09.2021	(73) Володілець (володільці): ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 20.01.2022	УНІВЕРСИТЕТ,
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 19.01.2022, Бюл.№ 3	пр. Соборний, 226, м. Запоріжжя, 69006 (UA)

(54) СПОСІБ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ ПРОКАТНОГО СТАНУ ЛИВАРНО-ПРОКАТНОГО АГРЕГАТУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ АЛЮМІНІЄВОЇ КАТАНКИ

(57) Реферат:

Спосіб керування температурним режимом прокатного стану ливарно-прокатного агрегату при виробництві алюмінієвої катанки включає міжклітьове охолодження штаби водою, неперервне вимірювання та автоматичне регулювання температури катанки після прокатного стану, неперервне вимірювання та автоматичне регулювання витрати води в міжклітьові проміжки, коригування регулятором температури уставки регулятора витрати води. Додатково вимірюють температуру заготовки на вході в прокатний стан і на підставі цієї температури та температури катанки після прокатного стану розраховують мінімально необхідну витрату води в систему міжклітьового охолодження штаби в останній третині прокатного стану, а її значення використовують як уставку стабілізуючого регулятора.

UA 150241 U

Корисна модель належить до металургії, зокрема до технологій одержування алюмінієвої катанки методом неперервного лиття та прокатки і може бути використана у системах автоматичного керування температурним режимом прокатного стану ливарно-прокатного агрегату.

5 При виробництві катанки методом неперервного лиття і прокатки процеси пластичної деформації злитка в прокатному стані відбуваються за певних теплових режимів, які забезпечують отримання готового прокату із заданою кінцевою структурою і механічними властивостями.

10 За цією технологією керування температурним режимом відбувається за допомогою охолодження валків і штаби в клітках прокатного стану. Проте через недостатній діапазон впливу на температуру прокату виробництво деяких марок катанки відбувається за меншою швидкістю прокатки, що призводить до втрат продуктивності.

Відомий спосіб (патент США № 3514984 кл. B21B 37/00, 1971) регулювання температури штаби на виході прокатного стану шляхом керування витратою охолодної води у систему міжклітьового охолодження чистової групи клітей.

Недоліком цього способу є те, що змінювання витрати води відбувається одночасно за всіма міжклітьовими проміжками прокатного стану, через що формування властивостей прокату за довжиною стану стає некерованим.

20 Відомий спосіб (Авт. свід. СССР № 572307, кл. B21B 37/00, 1975.), регулювання температури і товщини штаби на виході прокатного стану, який забезпечує незалежне змінювання витрати охолодної води у кожному міжклітьовому проміжку і підтримує температуру штаби на виході прокатного стану у заданих межах.

Недоліком цього способу є те, що витрата води у кожний міжклітьовий проміжок залежить від тиску у живильній магістралі, а розімкнена система керування охолодженням штаби не забезпечує необхідну якість роботи.

25 Найбільш близьким за сукупністю ознак до способу, що заявляється, є спосіб керування міжклітьовим охолодженням штаби в чистовій групі клітей широкосмугового стану гарячої прокатки [Авт. свід. СССР № 876231 М. Кл. 3, B21B 37/10, 1980.]. Відповідно до цього способу регулятор температури штаби на виході з прокатного стану формує сигнал завдання для регуляторів витрати води, які послідовно за рухом штаби порівнюють його з поточним значенням витрати охолоджувача у кожному міжклітьовому проміжку і при небалансі сигналів коригують положення регулювальних органів, доки витрата води не забезпечить необхідну температуру прокату.

35 Недоліком цього способу керування є неможливість завчасного настроювання системи охолодження на задані параметри прокатки, що призводить до неякісного регулювання на початкових етапах роботи і негативно впливає на технологічні характеристики прокату.

Загальним недоліком усіх перелічених способів є те, що вони призначені для використання в прокатних станах періодичної дії, а алюмінієва катанка виробляється в ливарно-прокатних агрегатах методом неперервного лиття і прокатки.

40 В основу корисної моделі поставлена задача розробки способу автоматичного керування температурним режимом прокатного стану ливарно-прокатного агрегату при виробництві катанки, в якому за рахунок нових додаткових операцій визначається мінімальна витрата охолодної води, забезпечуються підтримка на заданому значенні температури катанки на виході з прокатного стану та економія енергоресурсів.

45 Для вирішення поставленої задачі в способі керування температурним режимом прокатного стану, що включає міжклітьове охолодження штаби водою, неперервне вимірювання та автоматичне регулювання температури катанки після прокатного стану, неперервне вимірювання та автоматичне регулювання витрати води в міжклітьові проміжки, коригування регулятором температури уставки регулятора витрати води, згідно з корисною моделлю, 50 додатково вимірюють температуру заготовки на вході в прокатний стан і на підставі цієї температури та температури катанки після прокатного стану розраховують мінімально необхідну витрату води в систему міжклітьового охолодження штаби в останній третині прокатного стану, а її значення використовують як уставку стабілізуючому регулятору.

55 Спосіб реалізується за каскадною системою автоматичного регулювання, фіг. 1 (схема). Перед запуском у роботу ливарно-прокатного агрегату визначаються з температурою заготовки, що подається у прокатний стан і необхідною температурою катанки на його виході. Розраховують мінімально необхідну витрату води на примусове міжклітьове охолодження штаби в останній третині прокатного стану і установлюють її як завдання $Q_{\text{зад}}$ для стабілізуючого регулятора витрати води. Після цього в автоматичному режимі стабілізуючий 60 регулятор $W_{\text{ст(р)}}$ починає підтримувати на заданному значенні витрату води. Якщо при цьому

температура катанки на виході прокатного стану не відповідає заданій $T_{зад}$, коректувальний регулятор $W_{кор(р)}$ коригує значення уставки в стабілізуючому регуляторі, доки температура катанки не зрівняється із заданою.

Оскільки температура металу при гарячий прокатці суттєво впливає на опір деформації, пластичність металу, його структуру і механічні властивості, проведені теоретичні дослідження температурного режиму прокатки технічного алюмінію без примусового охолодження за базовою початковою температурою заготовки 450 °C і збільшеною до 560 °C. Розрахунки виконувались за допомогою формули, яка використовується для дослідження зміння температури алюмінієвої штаби в прокатному стані:

$$\Delta T_i = F(T_{i-1}) \frac{2\tau_i}{h_i} + 56 f(5,23\delta\tau_i) (T_{i-1} - T_{cp}) \frac{\sqrt{R\Delta h}}{h_i \omega_i R} - 4,7 \frac{K_i}{10} \ln \lambda_i \quad (1)$$

де: $\Delta T_i = T_i - T_{i-1}$ - зміння температури штаби між клітьми, К; T_{i-1} , T_i - температура металу перед і після прокатки в і-тій кліті, К; $F(T_{i-1})$ - функція, яку визначають з відповідного графіку у довіднику; $f(5,23\delta\tau_i)$ - функція Іванцова, що знаходиться зі спеціальної таблиці у довіднику; τ_i - час проходження штаби між клітьми, с; h_i - товщина штаби після прокатки в і-тій кліті, мм; $\delta\tau = \sqrt{R\Delta h} / \omega_i R$ - час контакту штаби з валками, с; T_{cp} - середня температура навколишнього середовища, К; R - радіус валків, мм; Δh - абсолютне обтиснення, мм; ω - кутова швидкість валків, с⁻¹; K_i - середній опір деформації, МПа; λ - коефіцієнт витяжки.

Основні змінювання температури штаби (фіг. 2) відбуваються на перших двох третинах прокатного стану, коли в ній формується однородна структура. На цьому відрізку температури зменшуються за експонентами: з 450 °C до 322 °C, і з 560 °C до 378 °C. Далі зміни в графіках значно уповільнюються і не виходять за межі 10 °C. Оскільки температура штаби при деформуванні її в останніх клітьх стану є вирішальною для отримання необхідних механічних властивостей катанки, важливо мати алгоритм керування нею в останній третині прокатного стану. Враховуючі те, що в клітьх охолоджуються малі відрізки штаби, збільшення витрати емульсії або зменшення її температури можуть не дати потрібного ефекту. Тому для забезпечення заданої температури катанки на виході з прокатного стану треба застосувати додаткове міжклітьове охолодження водою.

На підставі співвідношення різниці температур двох термограм на вході у прокатний стан (фіг. 2) $\Delta T_1 = 560 - 450 = 110$ °C і в 10-й кліті $\Delta T_2 = 378 - 322 = 56$ °C, яка визначає межу між другою та останньою третинами довжини прокатного стану, можна записати:

$$\Delta T_{шт} = \frac{\Delta T_{заг} \cdot 56}{110} = 0,5 \Delta T_{заг} \quad (2)$$

Тоді абсолютна температура штаби у 10-й кліті для заготовки за будь-якою заданою температурою $T_{заг}$ перед прокатним станом дорівнює:

$$T_{шт} = T_{роз} + \Delta T_{шт} = T_{роз} + 0,5 \Delta T_{заг} = T_{роз} + \frac{T_{заг} - 450}{2} \quad (3)$$

де: $T_{роз} = 322$ °C - розрахована температура штаби у 10-й кліті для заготовки з базовою початковою температурою 450 °C, ; $\Delta T_{шт}$ - перевищення температури штаби у 10-й кліті для заготовки з будь-якою заданою вхідною температурою $T_{заг}$, °C; $\Delta T_{заг}$ - перевищення температури заготовки на вході у прокатний стан відносно базового значення 450 °C.

Для отримання бажаної температури катанки на виході з прокатного стану потрібно розрахувати мінімально необхідну витрату води на примусове міжклітьове охолодження штаби в останній третині прокатного стану за допомогою формули, що виведена з рівняння теплового балансу, за яким кількість теплоти, що втрачається металом, дорівнює кількості теплоти, що поглинається водою:

$$Q_{вод}^{мін} = \frac{3,6 \cdot F_{cp} \cdot V_{cp} \cdot \rho_{ал} \cdot C_{ал} (T_{шт} - T_{кат})}{C_{в} \cdot k \Delta T_{вод}^{max}} = \frac{3,6 \cdot F_{cp} \cdot V_{cp} \cdot \rho_{ал} \cdot C_{ал} \left(T_{роз} + \frac{T_{заг} - 450}{2} - T_{кат} \right)}{C_{в} \cdot k \Delta T_{вод}^{max}} \quad (4)$$

де: F_{cp} , V_{cp} - середня площа перерізу штаби та середня швидкість руху її в останній третині прокатного стану; $\rho_{ал}$, $C_{ал}$ - щільність і теплоємність технічного алюмінію при температурі $T_{роз}$;

$T_{кат}$ - задана температура катанки на виході з прокатного стану; C_v - теплоємність води; $T_{вод}^{max}$ - максимально допустимий розігрів охолоджувальної води, зазвичай $10\text{ }^{\circ}\text{C}$; $k=0,75\dots 0,80$ - коефіцієнт ефективності охолодження, пов'язаний з втратами води.

Якщо використати розраховану мінімально необхідну витрату води як уставку стабілізуючому регулятору витрати води на міжклітьове охолодження і автоматично коригувати її за температурою катанки на виході прокатного стану, можна реалізувати спосіб автоматичного керування температурним режимом прокатного стану за будь-якими заданими значеннями температур заготовки до та катанки після прокатного стану.

Спосіб, що заявляється, був перевірений для умов прокатного стану ливарно-прокатного агрегату "LY-1600" (КНР), на вході якого заготовка із алюмінієвого сплаву А5Е мала температуру $T_{заг}=480\text{ }^{\circ}\text{C}$, а катанка на виході була з температурою $T_{кат}=300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Розраховування мінімально необхідної витрати води на примусове міжклітьове охолодження штаби в останній третині прокатного стану здійснювалось з використанням наступних величин:

$F_{cp}=0,000151$ - середня площа поперечного перерізу прокату на ділянці 10-15-й клітей, м^2 ; $V_{cp}=3,24$ - середня швидкість прокату на ділянці 10-15-й клітей, м/с ; $\rho_{ал}=2710$ - щільність технічного алюмінію за температури $322\text{ }^{\circ}\text{C}$, кг/м^3 ; $C_{ал}=1065$ - теплоємність технічного алюмінію за температури $322\text{ }^{\circ}\text{C}$, Дж/кг град. ; $T_{роз}=322$ - розрахована температура штаби у 10-й кліті для заготовки з температурою $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ на вході у прокатний стан, $^{\circ}\text{C}$; $T_{заг}=480$ задана температура заготовки на вході у прокатний стан, $^{\circ}\text{C}$; $T_{кат}=300$ задана температура катанки на виході з прокатного стану, $^{\circ}\text{C}$; $C_v=4190$ - теплоємність води при температурі $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, Дж/кг град. ;

$\Delta T_{вод}^{max}=10$ - максимально допустимий розігрів охолоджувальної води $^{\circ}\text{C}$.

За результатами розрахунків мінімально необхідна витрата води на примусове міжклітьове охолодження штаби в останній третині прокатного стану склала:

$$Q_{вод}^{min} = 4,4 \text{ м}^3/\text{час}$$

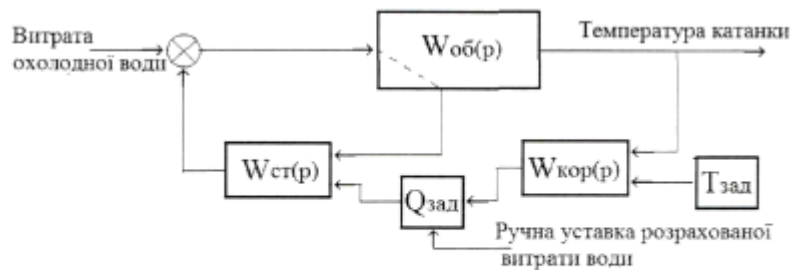
Якщо це значення витрати води використати як уставку стабілізуючому регулятору $W_{ст(р)}$, то він одразу почне регулювання за П-законом, не чекаючи інформації про температуру катанки на виході з прокатного стану. Оскільки завдання стабілізуючому регулятору установлює мінімально необхідну витрату води на охолодження штаби, температура катанки на виході стану $W_{об(р)}$ буде більша за встановлене завдання коректуючому регулятору. Завдяки цьому небалансу температур регулятор $W_{кор(р)}$ почне за ПІ-законом коригувати значення уставки регулятора $W_{ст(р)}$ в бік її збільшення і витрата охолодної води почне зростати. Коли температура катанки зрівняється із заданим значенням, коректуючий регулятор зупинить свої керувальні дії і уставка стабілізуючого регулятора залишиться незмінною, доки температура катанки на виході прокатного стану дорівнює заданному значенню. При появі збурень з боку витрати води регулятор $W_{ст(р)}$ відпрацює керувальні дії відповідно до його скоригованої уставки. Якщо температура катанки відхилиться від заданного значення, регулятор $W_{кор(р)}$ знову почне коригувати уставку стабілізуючому регулятору і так, доки температура катанки на виході з прокатного стану не стане рівною $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ (фіг. 3).

Таким чином, керування температурним режимом прокатного стану ливарно-прокатного агрегату при виробництві алюмінієвої катанки здійснюється за заданими температурами заготовки і катанки, що визначаються вимогами технології, шляхом примусового міжклітьового охолодження штаби в останній третині прокатного стану. На підставі значень цих температур розраховується мінімально необхідна витрата води, яка використовується як задана уставка стабілізуючому регулятору і автоматично коригується регулятором, що підтримує на заданому значенні температуру катанки на виході з прокатного стану. За таким способом керування температура штаби на більшій частині стану примусово не знижується, а тому не потрібні додаткові енергоресурси на деформування металу в клітях. У той же час в останній третині прокатного стану відбувається регулювання температури, величина якої визначена бажаними механічними властивостями прокату.

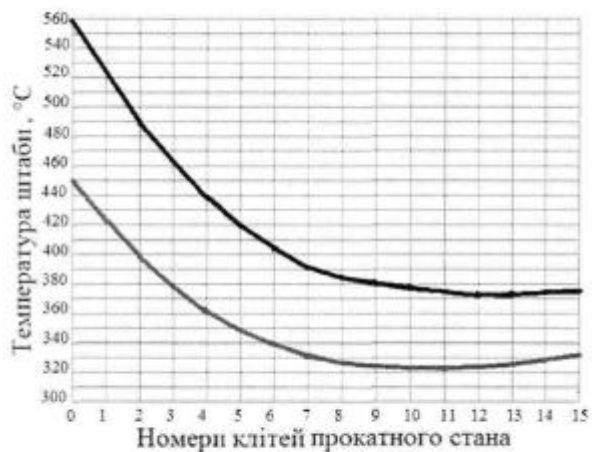
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб керування температурним режимом прокатного стану ливарно-прокатного агрегату при виробництві алюмінієвої катанки, що включає міжклітьове охолодження штаби водою,

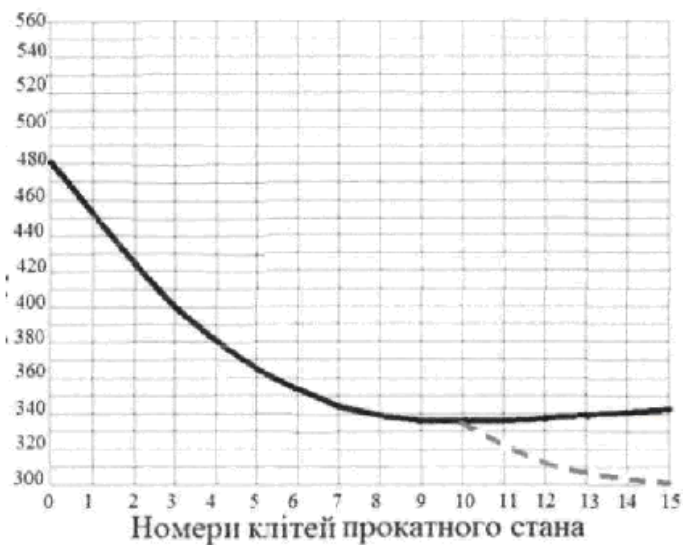
- 5 неперервне вимірювання та автоматичне регулювання температури катанки після прокатного стану, неперервне вимірювання та автоматичне регулювання витрати води в міжклітьові проміжки, коригування регулятором температури уставки регулятора витрати води, який **відрізняється** тим, що додатково вимірюють температуру заготовки на вході в прокатний стан і на підставі цієї температури та температури катанки після прокатного стану розраховують мінімально необхідну витрату води в систему міжклітьового охолодження штаби в останній третині прокатного стану, а її значення використовують як уставку стабілізуючого регулятора.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

