



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **125633** (13) **C2**
(51) МПК (2022.01)
C21D 9/573 (2006.01)
C21D 11/00

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

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2019 08348	(72) Винахідник(и):	Боне Фредерік (FR)
(22) Дата подання заявки:	20.12.2017	(73) Володілець (володільці):	АРСЕЛОРМІТТАЛ, 24-26, Boulevard d'Avranches, L-1160 Luxembourg, Luxembourg (LU)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	05.05.2022	(74) Представник:	Слободянюк Тарас Олександрович, реєстр. №217
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	PCT/IB2016/001786	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	RU 2363740 C2, 10.08.2009 WO 2010049600 A1, 06.05.2010 JP H1036923 A, 10.02.1998 JP 2008007809 A, 17.01.2008 JP 2008161924 A, 17.07.2008 CN 102851474 A, 02.01.2013
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	20.12.2016		
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку:	IB		
(41) Публікація відомостей про заявку:	25.11.2019, Бюл.№ 22		
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	04.05.2022, Бюл.№ 18		
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	PCT/IB2017/058186, 20.12.2017		

(54) СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА ТЕРМООБРОБЛЕНОГО СТАЛЕВОГО ЛИСТА

(57) Реферат:

Даний винахід стосується способу виробництва термообробленого сталевго листа.

UA 125633 C2

СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА ТЕРМООБРОБЛЕНОГО СТАЛЕВОГО ЛИСТА

Даний винахід відноситься до способу виробництва термообробленого сталевго листа, який має на лінії термообробки хімічний склад сталі і мікроструктуру m_{target} , яка містить від 0 до 100 %, щонайменше, однієї фази, обраної з: фериту, мартенситу, бейніту, перліту, цементиту і аустеніту. Винахід, зокрема, є придатним для виробництва автомобілів.

Відомо для виготовлення автомобілів використання сталевих листів покритих або сталевих листів, які не мають покриття. Для виробництва транспортного засобу використовують цілу низку груп сталі. Вибір групи (типу) сталі залежить від кінцевого застосування сталевго деталі. Наприклад, IF-сталі (сталі без атомів проникнення) можуть бути зроблені для деталей, які піддаються впливу зовнішнього середовища, TRIP-сталі (сталі з пластичністю, наведеної перетворенням), можуть бути зроблені для виготовлення поперечок для сидіння і підлоги кузова або передніх стійок кузова, і DP-сталі (двофазні сталі) можуть бути виготовлені для задніх рейкових напрямних або обв'язувального бруса даху.

В процесі виробництва зазначених груп сталей здійснюють вкрай необхідні процеси обробки сталі, щоб одержати бажану деталь, яка має відповідні механічні властивості для одного конкретного випадку застосування. Такими операціями обробки можуть бути, наприклад, безперервний відпал перед осадженням металевго покриття або обробка шляхом загартування і розділення. Зазвичай обробку для досягнення результату обирають з числа відомих видів обробки, при цьому вид обробки вибирають в залежності від групи сталі.

Патентний документ WO 2010/049600 відноситься до способу роботи установки для термообробки сталевго штаби, яка безперервно рухається, який включає стадії: вибору швидкості охолодження сталевго штаби в залежності, зокрема, від металургійних властивостей сталевго штаби на вході і металургійних властивостей, необхідних на виході установки; введення геометричних характеристик штаби; розрахунок режиму передачі теплової енергії вздовж шляху руху штаби з урахуванням швидкості її руху на лінії термообробки; визначення бажаних величин регульованих параметрів на ділянці охолодження і регулювання передачі тепла в охолоджувальних пристроях ділянки охолодження відповідно до вказаних значень величин, які безперервно контролюються.

Однак цей відомий спосіб заснований лише на виборі і застосуванні добре відомих циклів охолодження. Це означає, що для однієї групи сталей, наприклад, для TRIP-сталей існує небажана ситуація застосування однакового циклу охолодження до будь-якого типу листової сталі, навіть якщо кожна TRIP-сталь має свої власні характеристики, включаючи хімічний склад, мікроструктуру, властивості, структуру поверхні тощо. Отже, розглянутий відомий спосіб не враховує реальні характеристики сталі і не забезпечує індивідуальну термообробку різних типів сталі.

Відповідно, така термообробка не пристосована до однієї конкретної сталі, а отже, наприкінці термообробки не одержують необхідні властивості. Крім того, після обробки сталь може мати великий розкид значень механічних властивостей. Нарешті, навіть якщо може бути вироблена широка номенклатура типів сталі, якість обробленої сталі є низькою.

На підставі викладеного, завдання винаходу полягає в усуненні зазначених вище недоліків шляхом забезпечення способу виробництва термообробленої листової сталі, яка має певний хімічний склад сталі і певну мікроструктуру m_{target} , одержувану на лінії термообробки. Зокрема, завдання полягає в термообробці, індивідуальної для кожного сталевго листа, причому таку обробку розраховують дуже точно і в якомога коротший проміжок часу для одержання сталевго листа з очікуваними припустимими властивостями, які мають мінімальний можливий розкид величин.

Поставлене завдання вирішується за допомоги способу відповідно до пункту 1 формули винаходу. Спосіб може також включати будь-які ознаки пунктів 2-18 формули.

Інше завдання вирішується шляхом забезпечення рулону з листової сталі відповідно до пункту 19 формули. Спосіб може також включати ознаки пунктів 20 або 21 формули.

Наступне завдання вирішується шляхом забезпечення лінії термообробки відповідно до пункту 22 формули.

Нарешті, завдання вирішується за рахунок забезпечення комп'ютерного програмного продукту відповідно до пункту 23 формули.

Інші характерні особливості і переваги цього винаходу будуть зрозумілими з нижченаведеного докладного опису винаходу.

Для ілюстрації винаходу будуть розглянуті різні втілення і не обмежувальні приклади, зокрема, з посиланнями на наступні коротко описані креслення.

Фіг. 1 – ілюстрація прикладу способу відповідно до цього винаходу.

Фіг. 2 – ілюстрація безперервного відпалу сталевго листа, який включає: стадію нагрівання, стадію витримування, стадію охолодження і стадію перестарювання.

Фіг. 3 – ілюстрація переважного втілення відповідно до цього винаходу.

Фіг. 4 – ілюстрація одного прикладу згідно з винаходом, в якому здійснюють безперервний відпал сталевго листа перед осадженням покриття шляхом занурення у гарячий розплав.

Фіг. 5 – ілюстрація прикладу, в якому здійснюють обробку сталевго листа, яка включає загартування і розділення (з перерозподілом вуглецю).

Нижче наведені визначення наступним позначенням:

- CC: хімічний склад у масових відсотках,
- m_{target} : задана цільова мікроструктура,
- m_{standard} : мікроструктура вибраного продукту,
- R_{target} : задана величина механічної властивості,
- m_i : початкова мікроструктура листової сталі,
- X: частка фази у масових відсотках,
- T: температура в градусах Цельсія ($^{\circ}\text{C}$),
- t: час (сек),
- s: секунди,
- UTS: границя міцності (МПа),
- YS: границя плинності (МПа),
- металеве покриття на основі цинку означає металеве покриття, яке містить більше 50 % цинку,
- металеве покриття на основі алюмінію означає металеве покриття, яке містить більше 50 % алюмінію, і
- тепловий режим TP_{standard} , TP_{target} , TP_x і TP_{xint} включає: час, температуру термообробки і, щонайменше, одну швидкість, обрану із: швидкості охолодження, швидкості нагрівання або швидкості протікання ізотермічного витримування. Процес ізотермічного витримування характеризується постійною температурою.

Назва "сталь" або "листова сталь" означає сталевий лист, рулон, товстий сталевий лист, що має склад сталі, який дозволяє одержати деталь з границею міцності аж до 2500 МПа і більше переважно до 2000 МПа. Наприклад, границя міцності становить 500 МПа або більше, переважно становить 1000 МПа або більш, придатна границя міцності – 1500 МПа або більше. Використовується широкий діапазон хімічного складу, оскільки спосіб відповідно до винаходу може бути застосований до будь-якої марки сталі.

Даний винахід відноситься до способу виробництва термообробленого сталевго листа, який має на лінії термообробки хімічний склад сталі і мікроструктуру m_{target} , яка містить від 0 до 100 %, щонайменше, однієї фази з фериту, мартенситу, бейніту, перліту, цементиту і аустеніту, спосіб включає:

A. підготовчий етап, який включає

1) субетап вибору, на якому порівнюють хімічний склад і мікроструктуру m_{target} з переліком попередньо визначених продуктів, мікроструктура яких містить попередньо задані частки фаз, для вибору продукту, який має мікроструктуру m_{standard} максимально близьку до m_{target} , і попередньо визначеного режиму TP_{standard} для одержання мікроструктури m_{standard} .

2) субетап розрахунку, на якому проводять розрахунок, щонайменше, двох теплових режимів TP_x , кожен з цих TP_x відповідає мікроструктурі m_x , одержаної наприкінці TP_x , при цьому розрахунок проводять, виходячи з обраного продукту на етапі A.1) і TP_{standard} і m_i для одержання m_{target} .

3) субетап вибору, на якому вибирають один тепловий режим TP_{target} для одержання мікроструктури m_{target} , при цьому режим TP_{target} вибирають з TP_x і вибирають так, щоб мікроструктура m_x була одержана в максимальному ступені близькою до m_{target} .

B. етап термообробки, на якому на сталевому листі реалізується режим TP_{target} .

Безвідносно до будь-якої теорії представляється, що з використанням способу згідно з цим винаходом можна забезпечити індивідуальну термообробку кожного сталевго листа, яка супроводжується коротким проміжком часу розрахунку. Спосіб у відповідності з цим винаходом, безумовно, забезпечує точну і строго визначену термообробку, яка враховує мікроструктуру m_{target} , зокрема, частки всіх фаз в процесі термообробки, m_i (включаючи дисперсію мікроструктури вздовж сталевго листа) і відхилення. Слід зазначити, що спосіб у відповідності з цим винаходом враховує термодинамічно стабільні фази, тобто ферит, аустеніт, цементит і перліт і термодинамічно метастабільні фази, тобто бейніт і мартенсит. В результаті може бути одержаний сталевий лист, що має очікувані властивості з мінімумом можливої дисперсії властивостей.

Переважно цільова мікроструктура m_{target} включає:

- 100 % аустеніту,
- від 5 до 95 % мартенситу, від 4 до 65 % бейніту, решта, – ферит,
- від 8 до 30 % залишкового аустеніту, від 0,6 до 1,5 % вуглецю в твердому розчині, решта, –
- 5 ферит, мартенсит, бейніт, перліт і/або цементит,
- від 1 до 30 % фериту і від 1 до 30 % бейніту, від 5 до 25 % аустеніту, решта, – мартенсит,
- від 5 до 20 % залишкового аустеніту, решта, – мартенсит,
- ферит і залишковий аустеніт,
- залишковий аустеніт і інтерметалічні фази,
- 10 - від 80 до 100 % мартенситу і від 0 до 20 % залишкового аустеніту,
- 100 % мартенситу,
- від 5 до 100 % перліту і від 0 до 95 % фериту і
- щонайменше, 75 % рівноосового фериту, від 5 до 20 % мартенситу і бейніт в кількості, яка
- відповідає 10 % або менше.

15 Переважно при проведенні субетапу A.1) хімічний склад і m_{target} порівнюють з переліком попередньо заданих продуктів. Попередньо заданими продуктами можуть бути будь-які типи сталі. Наприклад, це може бути DP-сталь (двофазна сталь), TRIP-сталь (сталь з пластичністю, наведеної перетворенням), Q&P-сталь (що піддавалась термічній обробці, яка включає

20 загартування і стадію розділення (з перерозподілом вуглецю)), TWIP-сталь (з пластичністю, зумовленою двійникуванням), CFB-сталь (з безвуглецевою бейнітною структурою), PHS-сталь (загартована під пресом), TRIPLEX-сталь, DUPLEX-сталь і DP HD-сталь (двофазна сталь з високою пластичністю).

Хімічний склад залежить від листової сталі кожного типу. Наприклад, хімічний склад DP-сталі може містити:

- 25 $0,05 < C < 0,3 \%$,
- $0,5 \leq Mn < 3,0 \%$,
- $S \leq 0,008 \%$,
- $P \leq 0,080 \%$,
- $N \leq 0,1 \%$,
- 30 $Si \leq 1,0 \%$.

Решта, – залізо і неминучі домішки в результаті цієї обробки.

Кожен попередньо заданий продукт має мікроструктуру, яка містить попередньо задані фази і частки фаз. Переважно попередньо задані фази на етапі A.1) визначаються, щонайменше, одним параметром, який вибирається з: розміру, форми і хімічного складу. Так, наприклад,

35 $m_{standard}$ включає попередньо визначену фазу на додаток до попередньо визначених часток фаз. Переважно мікроструктури m_i , m_x , m_{target} включають фази, зумовлені, щонайменше, одним параметром з: розміру, форми і хімічного складу. Згідно з винаходом для одержання $m_{standard}$ вибирають наперед заданий продукт, який має мікроструктуру $m_{standard}$, найбільшою мірою наближену до m_{target} , а також тепловий режим $TP_{standard}$. При цьому мікроструктура $m_{standard}$

40 містить такі самі фази, що і m_{target} . Переважно $m_{standard}$ містить також такі самі частки фаз, що і m_{target} .

Фіг. 1 ілюструє приклад, відповідний винаходу, в якому оброблюваний сталевий лист має наступний хімічний склад CC: C – 0,2 мас. %, Mn – 1,7 мас. %, Si – 1,2 мас. % і Al-0,04 мас. %. Мікроструктура m_{target} містить 15 % залишкового аустеніту, 40 % бейніту і 45 % фериту і від

45 1,2 % вуглецю в твердому розчині в аустенітній фазі. Згідно винаходу CC і m_{target} вибирають і порівнюють з переліком попередньо заданих продуктів, обраних з числа продуктів від 1 до 4. При цьому CC і m_{target} відповідають продукту 3 або 4, і таким продуктом є TRIP-сталь.

Продукт 3 має наступний хімічний склад CC₃: C – 0,25 мас. %, Mn – 2,2 мас. %, Si – 1,5 мас. % і Al-0,04 мас. %. Мікроструктура m_3 містить 12 % залишкового аустеніту, 20 % бейніту і

50 68 % фериту і від 1,3 % вуглецю в твердому розчині в аустенітній фазі.

Продукт 4 має наступний хімічний склад CC₄: C – 0,19 мас. %, Mn – 1,8 мас. %, Si – 1,2 мас. % і Al-0,04 мас. %. Мікроструктура m_4 містить 12 % залишкового аустеніту, 45 % бейніту і 43 % фериту і від 1,1 % вуглецю в твердому розчині в аустенітній фазі. При цьому продукт 4 має мікроструктуру найбільш наближену до m_{target} , оскільки містить такі самі фази, що і m_{target} , і в

55 таких самих пропорціях.

Як показано на Фіг. 1, два попередньо заданих продукти можуть мати однаковий хімічний склад CC і різні мікроструктури. При цьому Продукт 1 і Продукт 1' являють собою сталь DP600 (двофазна сталь з UTS рівним 600 МПа). Одна відмінність полягає в тому, що Продукт 1 має мікроструктуру m_1 , а Продукт 1' має іншу мікроструктуру $m_{1'}$. Інша відмінність полягає в тому, що

Продукт 1 має величину YS рівну 360 МПа, а Продукт 1' має величину YS рівну 420 МПа. Таким чином, можна одержати сталеві листи, що мають різні відповідні UTS/YS для одного виду сталі.

При здійсненні субетапу А.2) проводять розрахунок, щонайменше, двох теплових режимів TR_x , виходячи з обраного продукту на стадії А.1) і m_i для одержання m_{target} . Розрахунок режиму TR_x враховує теплові властивості і металургійні властивості сталевих листів, у порівнянні із традиційними способами, в яких враховують лише теплові характеристики. У Прикладі на Фіг. 1 вибирають Продукт 4, оскільки мікроструктура m_4 найближча до m_{target} , і вибирають TR_4 , при цьому мікроструктура m_4 і режим TR_4 відповідають $m_{standard}$ і $TR_{standard}$.

Фіг. 2 ілюструє процес безперервного відпалу листової сталі, який включає стадію нагрівання, стадію витримання, стадію охолодження і стадію перестарювання. Розраховують велику кількість TR_x для одержання мікроструктури m_{target} , що показано на Фіг. 2 лише для стадії нагрівання. У цьому прикладі шляхом розрахунку визначають режим TR_x для всього безперервного відпалу (не показаний).

Переважно розраховують, щонайменше, 10 TR_x , більш переважно, щонайменше, 50, прийнятне, щонайменше, 100 і більш переважно, щонайменше, 1000. Наприклад, кількість одержаних розрахунком режимів TR_x перебуває в інтервалі від 2 до 10000, переважно від 100 до 10000, більш переважно від 1000 до 10000.

На етапі А.3) вибирають один режим TR_{target} для одержання m_{target} , при цьому TR_{target} вибирають з TR_x , причому вибирають так, що мікроструктура m_x була наближена до m_{target} в максимальному ступені. Так, на Фіг. 1 TR_{target} вибирають з множини TR_x . Переважно різниця між частками фаз, які присутні в m_{target} і m_x , становить $\pm 3\%$.

На етапі А.2) ентальпію H , яка виділилася в проміжку між структурами m_i і m_{target} , переважно розраховують так, що:

$$H_x = (X_{ferrite} * H_{ferrite}) + (X_{martensite} * H_{martensite}) + (X_{bainite} * H_{bainite}) + (X_{pearlite} * H_{pearlite}) + (H_{cementite} + X_{cementite}) + (H_{austenite} + X_{austenite})$$

X - частка фази.

Без прив'язки до будь-якої теорії слід зазначити, що H являє собою енергію, яка виділяється при фазовому перетворенні протягом всього теплового циклу. Вважають, що деякі фазові перетворення є екзотермічними, а деякі – ендотермічними. Наприклад, перетворення фериту на аустеніт в режимі нагрівання є ендотермічним процесом, в той час як перетворення аустеніту на перліт в режимі охолодження є екзотермічним процесом.

У переважному втіленні на етапі А.2) проводять розрахунок всього теплового циклу TR_x так, що:

$$T(t + \Delta t) = T(t) + \frac{(\phi_{Convection} + \phi_{radiance})}{\rho \cdot E_p \cdot C_{pe}} \Delta t \pm \frac{H_x}{C_{pe}}$$

де C_{pe} - питома теплоємність фази (Дж · кг⁻¹ · К⁻¹), ρ : густина сталі (г · м⁻³), E_p : товщина сталі (м), ϕ : тепловий потік (конвективний і радіаційний, Вт), H_x (Дж · кг⁻¹), T : температура (°C) і t : час (с).

Переважно на етапі А.2) шляхом розрахунку визначають, щонайменше, одну проміжну мікроструктуру m_{xint} сталі, відповідну проміжному тепловому режиму TR_{xint} і ентальпії H_{xint} в цьому випадку TR_x визначають шляхом розрахунку великого числа TR_{xint} . Таким чином, переважно TR_x являє собою підсумок всіх TR_{xint} , а H_x – сумарну величину всіх H_{xint} . В цьому переважному втіленні періодично проводять розрахунок режиму TR_{xint} . Наприклад, цей режим розраховують кожні 0,5 секунди, переважно кожні 0,1 секунди або менше.

Фіг. 3 ілюструє переважне втілення, в якому на етапі А.2) проводять розрахунок мікроструктур m_{int1} і m_{int2} і відповідних режимів TR_{xint1} і TR_{xint2} , а також H_{xint1} і H_{xint2} . При цьому для розрахунку TR_x визначають величину H_x при здійсненні всього теплового циклу.

У переважному втіленні перед проведенням етапу А.1) вибирають, щонайменше, одну задану механічну властивість P_{target} : границі текучості YS, границі міцності UTS, відносного подовження при розриві, збільшення отвору і здатності до деформації. У розглянутому втіленні мікроструктуру m_{target} розраховують, виходячи з P_{target} .

Безвідносно до будь-якої теорії передбачається, що зазначені задані характеристики листової сталі визначаються технологічними параметрами, застосовуваними в процесі виробництва сталі. У зв'язку з цим на етапі А.2) при розрахунку TR_x враховуються технологічні параметри, застосовані до листової сталі перед надходженням на лінію термообробки. Наприклад, технологічні параметри включають, щонайменше, один, вибраний з: кінцевої температури прокатки, режиму охолодження вихідного рольгангу, температури змотування штаби в рулон, інтенсивності охолодження рулону і ступеня обтиснення при холодній прокатці.

В іншому втіленні при розрахунку TR_x враховуються технологічні параметри, які будуть застосовані при обробці листової сталі на лінії термообробки. Наприклад, зазначені технологічні

параметри включають, щонайменше, один із: швидкості руху сталевго листа на лінії, розрахункової температури гарячої листової сталі, нагрівальної здатності ділянок нагрівання, температури нагрівання і температури витримування, охолоджувальної здатності ділянок охолодження, температури охолодження і температури перестарювання.

5 Переважно тепловий режим TR_x , TR_{xint} , $TR_{standard}$ або TR_{target} включає, щонайменше, один вид обробки, вибраний з: нагрівання, ізотермічного витримування або охолодження. Наприклад, тепловим режимом може бути рекристалізаційний відпал, загартування під пресом, відновлення після деформації, неповний або повний відпал аустенітної сталі, режим витримування або розподілення, ізотермічний режим або режим загартування.

10 Переважно здійснюють рекристалізаційний відпал. Рекристалізаційний відпал включає, за необхідності, стадію попереднього нагрівання, стадію нагрівання, стадію витримування, стадію охолодження і, за необхідності, стадію вирівнювання температури. В цьому випадку процес здійснюється в печі безперервного відпалу, яка містить, за необхідності, секцію попереднього нагрівання, секцію нагрівання, секцію витримування, секцію охолодження і, за необхідності, секцію вирівнювання температури. Безвідносно до будь-якої теорії передбачається, що

15 рекристалізаційний відпал є тепловим режимом, більш складним для здійснення, оскільки він включає сукупність стадій, які необхідно брати до уваги, включаючи стадії охолодження і нагрівання.

Кожен раз, коли на лінію термообробки надходить новий сталевий лист, автоматично

20 здійснюється новий етап А.2) розрахунку на основі попередньо проведеного етапу А.1) вибору, при цьому спосіб у відповідності з цим винаходом дозволяє приводити тепловий режим TR_{target} у відповідність з кожним сталевим листом, навіть якщо на лінію термообробки надходить однаковий тип сталі, оскільки дійсні характеристики кожного типу сталі у багатьох випадках відрізняються. Новий сталевий лист може бути підданий контролю, при цьому вимірюють і

25 попередньо вибирають нові характеристики сталевго листа. Наприклад, датчик контролює якість зварного з'єднання між двома рулонами.

Переважно при надходженні сталевго листа на лінію термообробки адаптація теплового режиму здійснюється на перших метрах листа для того, щоб уникнути значної зміни технологічного процесу.

30 Фіг. 4 ілюструє один приклад згідно з винаходом, в якому здійснюють безперервний відпал сталевго листа перед осадженням покриття шляхом занурення у розплав. При використанні способу згідно з цим винаходом після вибору попередньо визначеного продукту, який має мікроструктуру максимально близьку до TR_{target} (не показана), шляхом розрахунку визначають режим TR_x , виходячи з m_i , обраного продукту і m_{target} . У розглянутому прикладі проводять

35 розрахунки проміжних теплових режимів від TR_{xint1} до TR_{xint6} , які відповідають мікроструктурам від m_{xint1} до m_{xint6} , і ентальпії від H_{xint1} до H_{xint6} . Визначають H_x для одержання режиму TR_x . На Фіг. 4 режим TR_{target} обраний з великого числа TR_x .

Відповідно до цього винаходу m_{target} може бути очікуваною мікроструктурою у будь-який час термообробки. Інакше кажучи, m_{target} може бути очікуваною мікроструктурою наприкінці

40 термообробки, як показано на Фіг. 4, або у певний момент часу термообробки, як показано на Фіг. 5. Наприклад, для листової сталі типу Q&P важливим параметром Q&P – обробки є температура T_q , яка відповідає T'_4 на Фіг. 5, яка є температурою загартування. Таким чином, розглянута мікроструктура може бути m'_{target} . У цьому випадку після застосування до сталевго листа режиму TR'_{target} можна застосувати попередньо задану обробку.

45 При використанні способу згідно з цим винаходом можливе одержання рулону, виконаного з листової сталі, яка відноситься до вказаних вище типів сталі, а саме, DP, TRIP, Q&P, TWIP, CFB, PHS, TRIPLEX, DUPLEX і DP HD, одержаний рулон характеризується стандартним відхиленням механічних властивостей між двома будь-якими точками вздовж рулону, який становить 25 МПа або менше, переважно 15 МПа або менше, більш переважно 9 МПа або

50 менше. У зв'язку з цим, безвідносно до будь-якої теорії, можна вважати, що спосіб, який включає етап В.1) розрахунку, враховує дисперсію мікроструктури сталевго листа вздовж рулон. Таким чином, застосований до листової сталі на етапі В) режим TR_{target} забезпечує однорідність мікроструктури і, крім того, механічних властивостей.

55 Переважно механічні властивості вибирають з: границі плинності YS, границі міцності UTS або відносного подовження при розриві. Низька величина стандартного відхилення зумовлена точністю розрахункового режиму TR_{target} .

Переважно рулон покривають металевим покриттям на основі цинку або на основі алюмінію.

60 Переважно при промисловому виробництві стандартне відхилення механічних властивостей між двома рулонами, виготовленими з листової сталі, яка належить до вказаних вище типів сталі, які включає сталі типу DP, TRIP, Q&P, TWIP, CFB, PHS, TRIPLEX, DUPLEX і DP HD,

становить 25 МПа або менше, переважно 15 МПа або менше, більш переважно 9 МПа або менше.

Для реалізації режиму TP_{target} використовується лінія термообробки, яка здійснює спосіб відповідно до цього винаходу. Наприклад, лінія термообробки містить піч безперервного відпалу, піч для загартовування під пресом, камерну піч для відпалу або лінію загартовування.

Даний винахід відноситься, нарешті, до комп'ютерного програмного продукту, який містить, щонайменше, металургійний модуль, модуль оптимізації і тепловий модуль, які взаємодіють для визначення режиму TP_{target} , при цьому модулі містять команди, які потім реалізуються з допомогою комп'ютера, здійснюючи спосіб у відповідності з цим винаходом.

Металургійний модуль прогнозує мікроструктуру (m_x , m_{target} , включаючи метастабільні фази: бейніт і мартенсит, і стабільні фази: ферит, аустеніт, цементит і перліт), точніше кажучи, частки фаз вздовж всієї лінії термообробки і прогнозує кінетику перетворення фаз.

Тепловий модуль прогнозує температуру листової сталі залежно від устаткування, використовованого для термообробки (яке являє собою, наприклад, піч безперервного відпалу), геометричних характеристик штаби і параметрів технологічного процесу, які включають: охолоджувальну здатність, нагрівальну здатність або енергетичну ефективність ізотермічного процесу витримування, а також ентальпію H , відведену або витрачену в тепловому режимі при фазових перетвореннях.

Модуль оптимізації визначає найкращий тепловий режим для одержання мікроструктури m_{target} , тобто режим TP_{target} згідно способу, який відповідає цьому винаходу, використовуючи при цьому металургійний і тепловий модулі.

Винахід нижче буде розкрито в результатах випробувань, проведених виключно для надання інформації. Ці результати випробувань не слід розглядати як такі, що обмежують винахід.

Приклади

У наведених нижче прикладах була вибрана двофазна сталь марки DP780GI, яка має наступний хімічний склад:

C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Mo (%)	P (%)	Cu (%)	Ti (%)	N (%)
0,145	1,8	0,2	0,2	0,0025	0,015	0,02	0,025	0,06

Холодна прокатка забезпечила ступінь обтискання 50 % з одержанням товщини листа 1 мм.

Цільова мікроструктура m_{target} містила 13 % мартенситу, 45 % фериту і 42 % бейніту, що відповідає таким параметрам P_{target} : YS – 500 МПа і UTS – 780 МПа. Була також досягнута необхідна температура охолодження $T_{cooling}$, яка дорівнювала 460 °C для здійснення покриття зануренням у розплав з використанням ванни з цинковим розплавом. Така температура була реалізована з точністю ± 2 °C, щоб гарантувати хорошу здатність до покриття у ванні з розплавом цинку.

Насамперед, одержану листову сталь порівняли з переліком попередньо визначених продуктів, для того щоб одержати обраний продукт, який має мікроструктуру $m_{standard}$ найбільшою мірою близьку до m_{target} . Обраним продуктом була сталь марки DP780GI, яка має наступний хімічний склад:

C (%)	Mn (%)	Si (%)
0,150	1,900	0,2

Мікроструктура сталі DP780GI, тобто. $m_{standard}$, містить 10 % мартенситу, 50 % фериту і 40 % бейніту. Відповідний режим $TP_{standard}$ термообробки включає:

- стадію попереднього нагрівання, на якій сталевий лист протягом 35 секунд нагрівають від температури навколишнього середовища до 680 °C,
- стадію нагрівання, на якій сталевий лист протягом 38 секунд нагрівають від 680 °C до 780 °C,
- стадію витримування, на якій сталевий лист протягом 22 секунд витримують при температурі $T_{soaking}$ рівної 780 °C,
- стадію охолодження, на якій сталевий лист охолоджують за допомогою 11 охолоджувальних струменів, які розпилюють HN_x , характеристики яких наведені нижче в таблиці

Номер струменю	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Швидкість охолодження (°C/с)	13	10	12	7	10	14	41	26	25	16	18
Час (с)	1,76	1,76	1,76	1,76	1,57	1,68	1,68	1,52	1,52	1,52	1,52
T (°C)	748	730	709	697	681	658	590	550	513	489	462
Охолоджувальна здатність (%)	0	0	0	0	0	0	58	100	100	100	100

- стадію нанесення покриття методом занурення у ванну з розплавом цинку при температурі 460 °C,

5 - охолодження сталевго листа до досягнення верхнім валком температури 300 °C протягом 24,6 секунди, і

- охолодження сталевго листа при температурі навколишнього середовища.

Потім була розрахована множина теплових режимів TP_x , виходячи з обраного продукту - сталі DP780 і режиму $TP_{standard}$ і мікроструктури m_i сталі DP780 для одержання m_{target} .

10 Після розрахунку TP_x для одержання m_{target} був обраний один режим TP_{target} , при цьому згаданий режим TP_{target} був обраний з числа режимів TP_x так, що мікроструктура m_x у максимальному ступені відповідала m_{target} . Тепловий режим $TP_{target1}$ включає наступні стадії:

- стадію попереднього нагрівання, на якій сталевий лист нагрівають від температури навколишнього середовища до 680 °C протягом 35 секунд,

15 - стадію нагрівання, на якій сталевий лист протягом 38 секунд нагрівають від 680 °C до 780 °C,

- стадію витримування, на якій сталевий лист витримують в нагрітому стані при температурі витримування $T_{soaking}$ рівної 780 °C протягом 22 секунд,

20 - стадію охолодження, на якій сталевий лист охолоджують за допомогою 11 охолоджувальних струменів, які розпилюють HN_x , характеристики яких наведені нижче в таблиці

Номера струменів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Швидкість охолодження (°C/с)	18	11	12	7	38	27	48	19	3	7	6
Час (с)	1,76	1,76	1,76	1,76	1,57	1,68	1,68	1,52	1,52	1,52	1,52
T (°C)	748	729	709	697	637	592	511	483	479	468	458
Охолоджувальна здатність (%)	0	0	0	0	40	20	100	100	20	20	20

25 - нанесення покриття методом занурення у ванну з розплавом цинку при температурі 460 °C,

- охолодження сталевго листа до досягнення верхнім валком температури 300 °C протягом 24,6 секунди, і

- охолодження сталевго листа при температурі навколишнього середовища.

30 У таблиці 1 наведені характеристики, одержані при здійсненні на сталевому листі режимів $TP_{standard}$ і TP_{target}

	$TP_{standard}$	TP_{target}	Очікувані характеристики
Одержана $T_{cooling}$ (°C)	462	458,09	460
Мікроструктура, одержана наприкінці теплового режиму	$X_{martensite}$: 12,83 % $X_{ferrite}$: 53,85 % $X_{bainite}$: 33,31 %	$X_{martensite}$: 12,86 % $X_{ferrite}$: 47,33 % $X_{bainite}$: 39,82 %	$X_{martensite}$: 13 % $X_{ferrite}$: 45 % $X_{bainite}$: 42 %
Відхилення мікроструктури відносно m_{target}	$X_{martensite}$: 0,17 % $X_{ferrite}$: 8,85 % $X_{bainite}$: 8,69 %	$X_{martensite}$: 0,14 % $X_{ferrite}$: 2,33 % $X_{bainite}$: 2,18 %	-
YS (МПа)	434	494	500
Відхилення YS відносно P_{target} (МПа)	66	6	-
UTS (МПа)	786	792	780
Відхилення UTS відносно P_{target} (МПа)	14	8	-

З таблиці 1 видно, що при використанні способу, відповідного цьому винаходу, можна одержати сталевий лист, який володіє бажаними необхідними властивостями, оскільки

тепловий режим TP_{target} пристосований до кожного сталевго листа. Навпаки, у разі застосування традиційного теплового режиму $TP_{standard}$ не одержують необхідних характеристик.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

5

1. Спосіб виробництва термообробленого сталевго листа, який має хімічний склад сталі і мікроструктуру m_{target} , яка містить від 0 до 100 % щонайменше однієї фази з фериту, мартенситу, бейніту, перліту, цементиту і аустеніту, на лінії термообробки, який включає в себе:

A) підготовчий етап, який включає

10 1) субетап вибору, на якому хімічний склад і мікроструктуру m_{target} порівнюють з переліком попередньо визначених продуктів, мікроструктура яких містить попередньо задані фази і попередньо задані частки фази, для вибору продукту, який має мікроструктуру $m_{standard}$, максимально близьку до m_{target} , і попередньо визначеного режиму $TP_{standard}$ для одержання мікроструктури $m_{standard}$,

15 2) субетап розрахунку, на якому проводять розрахунок щонайменше двох теплових режимів TP_x , кожен з цих TP_x відповідає мікроструктурі m_x , одержаній наприкінці TP_x , при цьому розрахунок проводять, виходячи з вибраного продукту на стадії A)1) $TP_{standard}$ і початкової мікроструктури m_i сталевго листа, для одержання m_{target} ,

20 3) субетап вибору, на якому вибирають один тепловий режим TP_{target} для одержання мікроструктури m_{target} , при цьому режим TP_{target} вибирають з TP_x і вибирають так, щоб мікроструктура m_x була одержана в максимальному ступені близькою до m_{target} ,

B) етап термообробки, на якому до сталевго листа застосовують режим TP_{target} ;

при цьому мікроструктура m_{target} містить:

- 100 % аустеніту або

25 - від 5 до 95 % мартенситу, від 4 до 65 % бейніту, решта - ферит, або

- від 8 до 30 % залишкового аустеніту, від 0,6 до 1,5 % вуглецю в твердому розчині, решта - ферит, мартенсит, бейніт, перліт і/або цементит, або

- від 1 до 30 % фериту і від 1 до 30 % бейніту, від 5 до 25 % аустеніту, решта - мартенсит, або

- від 5 до 20 % залишкового аустеніту, решта - мартенсит, або

30 - ферит і залишковий аустеніт, або

- залишковий аустеніт і інтерметалічні фази, або

- від 80 до 100 % мартенситу і від 0 до 20 % залишкового аустеніту, або

- 100 % мартенситу, або

- від 5 до 100 % перліту і від 0 до 95 % фериту, або

35 - щонайменше 75 % рівноважного фериту, від 5 до 20 % мартенситу і бейніту у кількості, рівній 10 % або менше;

при цьому на етапі A)2) теплову ентальпію H , яка виділилася в проміжку між мікроструктурами m_i та m_{target} , розраховують так, що:

$$H_x = (X_{ferrite} \cdot H_{ferrite}) + (X_{martensite} \cdot H_{martensite}) + (X_{bainite} \cdot H_{bainite}) + (X_{pearlite} \cdot H_{pearlite}) + (H_{cementite} + X_{cementite}) +$$

40 $(H_{austenite} + X_{austenite})$,

де X - частка фази;

H - теплова ентальпія фази;

при цьому на етапі A)2) TP_{target} теплового циклу розраховують так, що:

$$H(t + \Delta t) = H(t) + \frac{Q_{conv} + Q_{rad}}{\rho \cdot E_p \cdot C_{pe}} \Delta t + \frac{Q_{pe}}{C_{pe}},$$

45 де C_{pe} - питома теплоємність фази ($\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), ρ - щільність сталі ($\text{г} \cdot \text{м}^{-3}$), E_p - товщина сталі (м), Q - тепловий потік (конвективний і радіаційний, Вт), H_x ($\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$), T - температура ($^{\circ}\text{C}$) і t - час (с).

2. Спосіб за п. 1, в якому попередньо визначені фази на етапі A)1) характеризуються щонайменше одним параметром, який вибирається з розміру, форми і хімічного складу.

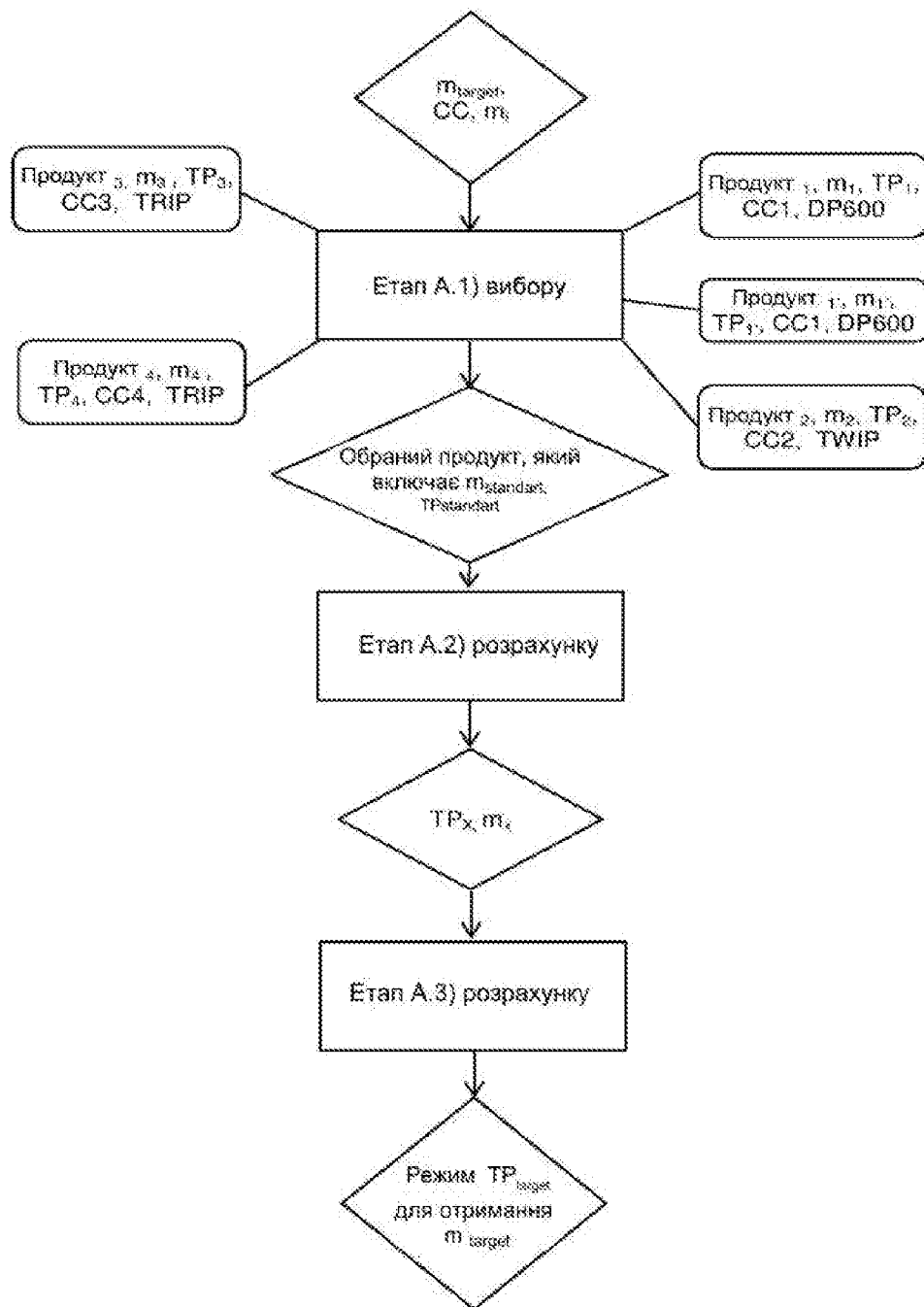
3. Спосіб за п. 1 або 2, в якому зазначені попередньо визначені типи продукту включають двофазну сталь, сталь з пластичністю, наведеною перетворенням, сталь, піддану загартуванню і перерозподілу вуглецю, сталь з пластичністю, наведеною двійникуванням, сталь з безвуглецевою бейнітною структурою, сталь, загартовану під пресом, TRIPLEX-сталь, DUPLEX-сталь і двофазну сталь з високою пластичністю.

4. Спосіб за будь-яким з пп. 1-3, в якому різниця між частками фаз, присутніх в мікроструктурах m_{target} і m_x , становить $\pm 3\%$.

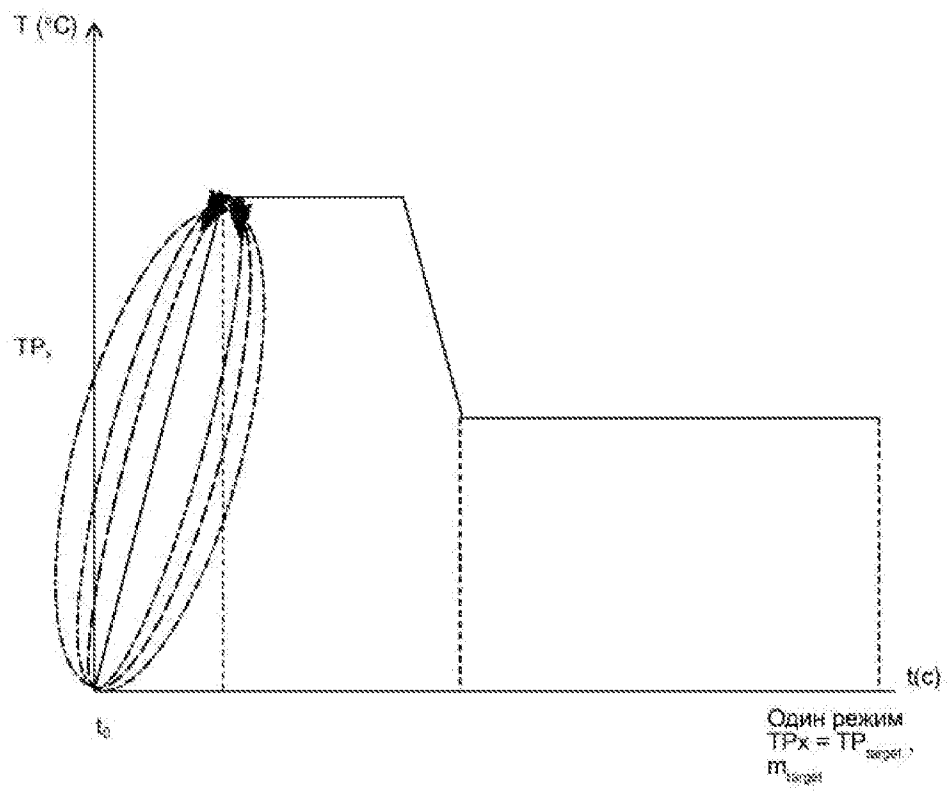
55 5. Спосіб за п. 1, в якому на етапі A)2) проводять розрахунок щонайменше однієї проміжної мікроструктури m_{xint} сталі, яка відповідає проміжному тепловому режиму TP_{xint} , і теплової ентальпії H_{xint} .

6. Спосіб за п. 5, в якому на етапі А)2) TP_x являє собою суму всіх TP_{xint} , а H_x - сумарну величину всіх H_{xint} .
7. Спосіб за будь-яким з пп. 1-6, в якому перед проведенням етапу А)1) вибирають щонайменше одну задану механічну властивість P_{target} з: границі текучості YS , границі міцності UTS , відносного подовження при розриві, збільшення отвору і здатності до деформації.
8. Спосіб за п. 7, в якому m_{target} розраховують, виходячи з величини P_{target} .
9. Спосіб за будь-яким з пп. 1-8, в якому на етапі А)1) при розрахунку TP_x враховують параметри технологічного процесу обробки сталевго листа перед його надходженням на лінію термообробки.
10. Спосіб за п. 9, в якому параметри технологічного процесу включають щонайменше один параметр, вибраний зі ступеня обтиснення при холодній прокатці, температури змотування штаби в рулон, режиму охолодження випускного рольгангу, температури охолодження і швидкості охолодження рулону.
11. Спосіб за будь-яким з пп. 1-10, в якому при розрахунку TP_x враховують параметри технологічного процесу на лінії термообробки, які будуть застосовані до сталевго листа на лінії термообробки.
12. Спосіб за п. 11, в якому згадані технологічні параметри включають щонайменше один з характерної температури гарячої листової сталі, швидкості руху сталевго листа на лінії термообробки, охолоджувальної здатності ділянок охолодження, нагрівальної здатності ділянок нагрівання, температури перестарювання, температури охолодження, температури нагрівання і температури витримування.
13. Спосіб за будь-яким з пп. 1-12, в якому тепловий режим TP_x , TP_{xint} , $TP_{standard}$ або TP_{target} являє собою щонайменше один процес обробки нагрівання, ізотермічного витримування або охолодження.
14. Спосіб за будь-яким з пп. 1-13, в якому кожен раз при надходженні нового сталевго листа на лінію термообробки автоматично здійснюють новий етап розрахунку А)2) на основі результатів попередньо проведеного етапу А)1) вибору.
15. Спосіб за п. 14, в якому при надходженні сталевго листа на лінію термообробки адаптацію теплового режиму здійснюють на перших метрах сталевго листа.

Фіг. 1



Фиг. 2



Фіг. 3

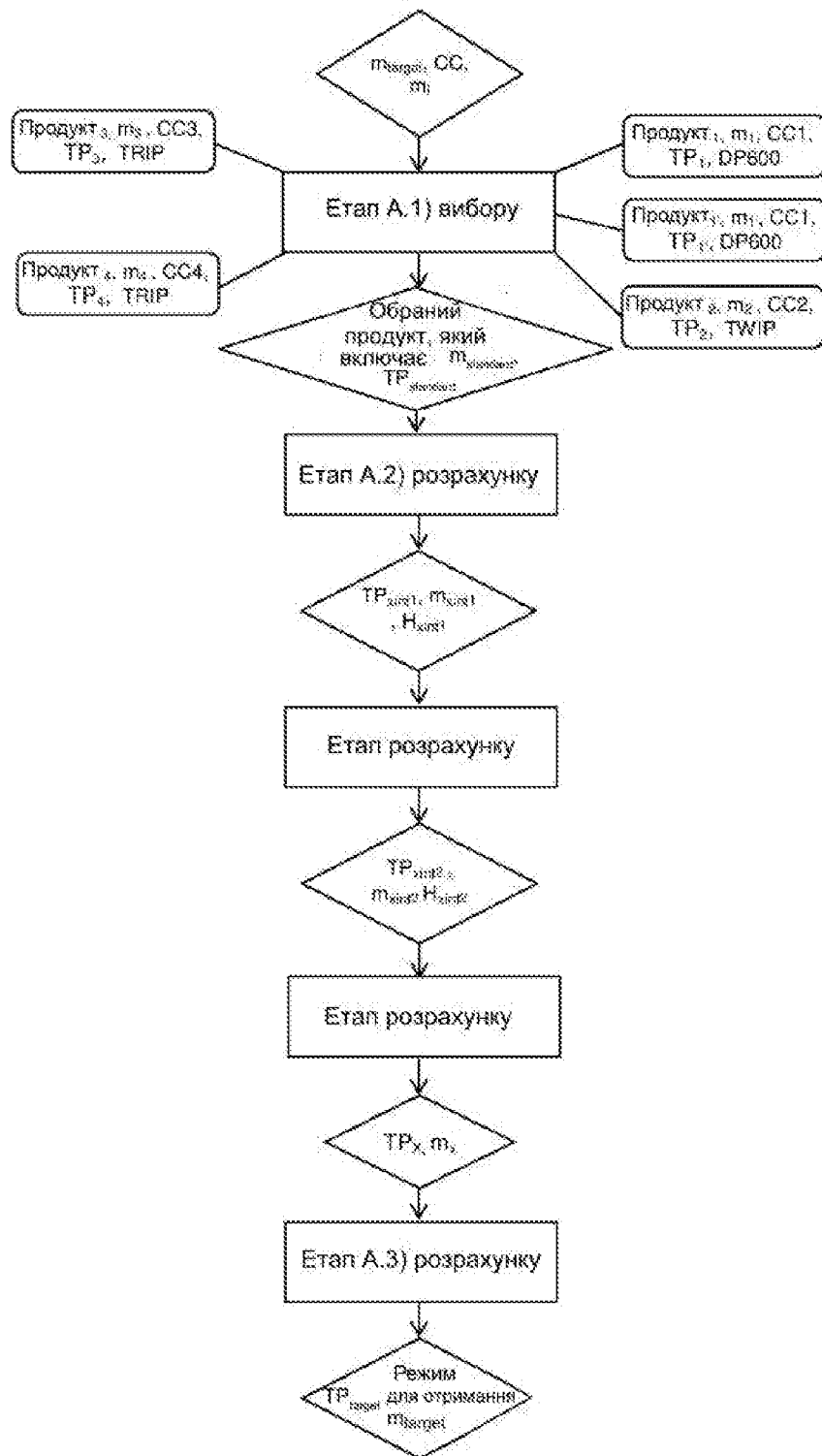


Fig. 4

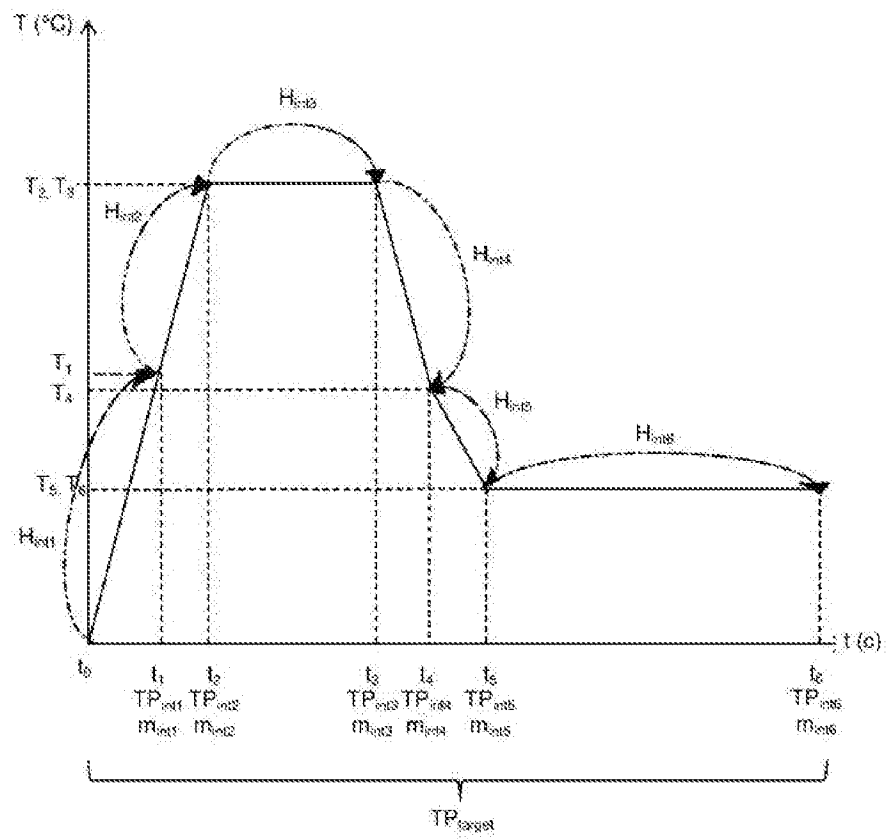


Fig. 5

