



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **120258** (13) **C2**

(51) МПК (2019.01)

**C22F 1/10** (2006.01)

**C21D 1/00**

**C22C 19/05** (2006.01)

**C22C 38/40** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ  
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки:	<b>а 2016 05119</b>	(72) Винахідник(и):	<b>Форбз Джоунс Робін М. (US), Мінісандром Рамеш С. (US)</b>
(22) Дата подання заявки:	<b>28.10.2014</b>	(73) Власник(и):	<b>ЕйТіАй ПРОПЕРТІЗ ЕлЕлСі, 1600 N.E. Old Salem Road, Albany, OR 97321, United States of America (US)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	<b>11.11.2019</b>	(74) Представник:	<b>Бочаров Максим Анатолійович, реєстр. №367</b>
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	<b>14/077,699</b>	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	<b>WO 2013130139 A2, 06.09.2013 US 6576068 B2, 10.06.2003 US 4919728 A, 24.04.1990 WO 2013081770 A1, 06.06.2013 JP 2012140690 A, 26.07.2012 JP H03264618 A, 25.11.1991 Chih-Chun Hsieh. Overview of Intermetallic Sigma (<math>\sigma</math>) Phase Precipitation in Stainless Steels / Hsieh Chih-Chun, Wu Weite // International Scholarly Research Network Metallurgy. - Vol.: 2012. -Article ID 732471. - 16 pages M.R. Louthan, Jr. Optical Metallography // ASM Handbook. - Vol.: 10, Materials Characterizations. - P. 299 - 308</b>
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	<b>12.11.2013</b>		
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку:	<b>US</b>		
(41) Публікація відомостей про заявку:	<b>24.06.2016, Бюл.№ 12</b>		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	<b>11.11.2019, Бюл.№ 21</b>		
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	<b>PCT/US2014/062525, 28.10.2014</b>		

## (54) СПОСОБИ ОБРОБКИ СУПЕРАУСТЕНИТНОЇ НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ

### (57) Реферат:

Спосіб обробки супераустенітної сталі включає нагрівання до температури в робочому діапазоні температур від температури рекристалізації сталі до температури нижче початкової температури плавлення її і обробку сталі. Щонайменше поверхневу область нагрівають до температури в робочому діапазоні температур. Поверхневу область витримують в робочому діапазоні температур впродовж періоду часу, необхідного для рекристалізації поверхневої області супераустенітної сталі, і охолоджують її так, щоб мінімізувати ріст зерен. В варіантах реалізації винаходу, що включають застосування супераустенітної і аустенітної нержавіючої сталі, температуру і час процесів вибирають так, щоб уникнути виділень шкідливої інтерметалевої сигма-фази. Також розкрита супераустенітна нержавіюча сталь, що пройшла гарячу обробку і містить рівновісні зерна у всьому об'ємі сталі.

UA 120258 C2

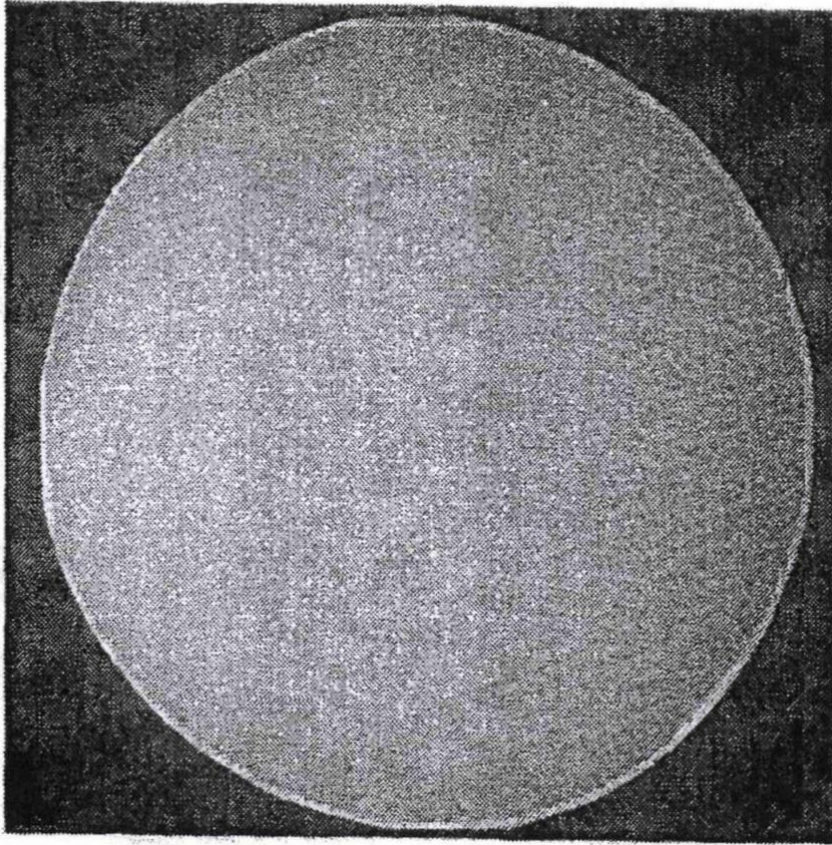


Fig.8

## ОБЛАСТЬ ТЕХНІКИ

[0001] Даний винахід відноситься до способів термомеханічної обробки металевих сплавів.

## ОПИС РІВНЯ ТЕХНІКИ

[0002] Коли відбувається термомеханічна обробка (тобто гаряча обробка тиском) заготовки з металевого сплаву, наприклад, зливка, бруска або болванки, поверхня заготовки охолоджується швидше, ніж внутрішня частина заготовки. Конкретний приклад цього явища можна спостерігати, коли брусок металевого сплаву нагрівають, а потім кують, використовуючи прес для радіального кування або прес для вільного кування. Під час гарячого кування відбувається деформація зернистої структури металевого сплаву внаслідок дії штампів. Якщо температура металевого сплаву під час деформації нижча за температуру рекристалізації сплаву, рекристалізація сплаву відбуватися не буде, що призведе до появи зернистої структури, яка складається з видовжених нерекристалізованих зерен. Якщо температура металевого сплаву під час деформації, навпаки, вища або дорівнює температурі рекристалізації сплаву, відбуватиметься рекристалізація сплаву в рівновісну структуру.

[0003] Оскільки перед гарячим куванням заготовки металевих сплавів зазвичай нагрівають до температур, що перевищують температуру рекристалізації сплаву, внутрішня частина заготовки, яка не охолоджується настільки швидко, як поверхня заготовки, зазвичай має повністю рекристалізовану структуру у разі гарячого кування. При цьому поверхня заготовки може містити суміш із нерекристалізованих гранул і повністю рекристалізованих гранул внаслідок більш низьких температур на поверхні, причиною яких є відносно швидке охолодження. Типове зображення цього явища, наведене на Фіг. 1, ілюструє макроструктуру бруска сплаву Datalloy HP™, що пройшов радіальне кування - суперауспенітної нержавіючої сталі, доступної від ATI Allvac, Монро, ПК, США, - що характеризується наявністю нерекристалізованих зерен у поверхневій області бруска. Наявність нерекристалізованих зерен у поверхневій області є небажаною, оскільки вони, наприклад, призводять до підвищення рівня шумів під час ультразвукового контролю, знижуючи користь від такого контролю. Випробування ультразвуком може бути потрібним для перевірки стану заготовки металевого сплаву для використання у критичних застосуваннях. По-друге, нерекристалізовані зерна знижують межу багатоциклової втоми.

[0004] Попередні спроби усунення нерекристалізованих зерен у поверхневій області термомеханічно оброблюваної заготовки металевого сплаву, такої як, наприклад, кований брусок, виявилися незадовільними. Наприклад, під час обробки з метою усунення нерекристалізованих зерен поверхневої області спостерігався надмірний ріст зерен у внутрішній частині заготовок сплавів. Занадто великі зерна також можуть утруднювати ультразвукове випробування металевих сплавів. Надмірний ріст зерен у внутрішній частині також може знижувати межу втоми заготовки сплаву до неприйнятних рівнів. Крім того, спроби усунення нерекристалізованих зерен у поверхневій області термомеханічно оброблюваної заготовки сплаву призводили до виділення шкідливих інтерметалевих фаз, таких як, наприклад, сигма-фаза ( $\sigma$ -фаза). Наявність таких виділень може знижувати стійкість до корозії.

[0005] Було би доцільно розробити способи термомеханічної обробки заготовок металевих сплавів так, щоб мінімізувати або усунути наявність нерекристалізованих гранул у поверхневій області заготовки. Також було би доцільно розробити способи термомеханічної обробки заготовок металевих сплавів так, щоб забезпечити рівновісну рекристалізовану структуру зерен у поперечному перерізі заготовки, при цьому поперечний переріз практично не містив би шкідливих інтерметалевих виділень, а середній розмір зерен рівновісної зернової структури (структури зерен) був би обмеженим.

## СУТЬ ВІНАХОДУ

[0006] Відповідно до одного необмежуючого аспекту даного винаходу спосіб обробки металевого сплаву включає нагрівання металевого сплаву до температури в робочому діапазоні температур. Робочий діапазон температур знаходиться в межах від температури рекристалізації металевого сплаву до температури трохи нижче початкової температури плавлення металевого сплаву. Потім металевий сплав обробляють за температури в робочому діапазоні температур. Після обробки металевого сплаву поверхневу область металевого сплаву нагрівають до температури в робочому діапазоні температур. Поверхневу область металевого сплаву підтримують у робочому діапазоні температур упродовж періоду часу, достатнього для рекристалізації поверхневої області металевого сплаву та для мінімізації росту зерен у внутрішній області металевого сплаву. Металевий сплав охолоджують від робочого діапазону температур до такої температури і з такою швидкістю охолодження, які мінімізують ріст зерен у металевому сплаві.

[0007] Відповідно до іншого аспекту даного винаходу, необмежуючий варіант реалізації

способу обробки супераустенітної нержавіючої сталі включає нагрівання супераустенітної нержавіючої сталі до температури у діапазоні температур розчинення інтерметалевої фази. Діапазон температур розчинення інтерметалевої фази може знаходитись у межах від температури сольвусу інтерметалевої фази до температури трохи нижче початкової температури плавлення супераустенітної нержавіючої сталі. У необмежуючому варіанті реалізації винаходу інтерметалева фаза являє собою сигма-фазу ( $\sigma$ -фазу), що містить інтерметалеві сполуки Fe-Cr-Ni. Супераустенітну нержавіючу сталь витримують у діапазоні температур розчинення інтерметалевої фази упродовж часу, достатнього для розчинення інтерметалевої фази та мінімізації росту зерен у супераустенітній нержавіючій сталі. Після цього супераустенітну нержавіючу сталь обробляють за температури в робочому діапазоні температур в інтервалі від температури трохи вище температури вершини кривої час-температура-перетворення для інтерметалевої фази супераустенітної нержавіючої сталі до температури трохи нижче початкової температури плавлення супераустенітної нержавіючої сталі. Після обробки поверхневу область супераустенітної нержавіючої сталі нагрівають до температури у діапазоні температур відпалювання, при цьому діапазон температур відпалювання знаходиться в межах від температури трохи вище температури вершини кривої час-температура-перетворення для інтерметалевої фази сталі (сплаву) до температури трохи нижче початкової температури плавлення сплаву. Температура супераустенітної нержавіючої сталі не знижується до перетину з кривою час-температура-перетворення упродовж періоду часу від обробки сплаву до нагрівання щонайменше поверхневої області сплаву до температури в діапазоні температур відпалювання. Поверхневу область супераустенітної нержавіючої сталі витримують у діапазоні температур відпалювання упродовж періоду часу, достатнього для рекристалізації поверхневої області та мінімізації росту зерен у супераустенітній нержавіючій сталі. Сплав охолоджують до температури та з такою швидкістю охолодження, які дозволяють перешкоджати утворенню інтерметалевих виділень супераустенітної нержавіючої сталі та мінімізувати ріст зерен.

[0008] Відповідно до іншого необмежуючого аспекту даного винаходу, супераустенітна нержавіюча сталь, яка пройшла гарячу обробку тиском, містить у масових відсотках відносно загальної маси сплаву: до 0,2 вуглецю, до 20 марганцю, від 0,1 до 1,0 кремнію, від 14,0 до 28,0 хрому, від 15,0 до 38,0 нікелю, від 2,0 до 9,0 молібдену, від 0,1 до 3,0 міді, від 0,08 до 0,9 азоту, від 0,1 до 5,0 вольфраму, від 0,5 до 5,0 кобальту, до 1,0 титану, до 0,05 бору, до 0,05 фосфору, до 0,05 сірки, залізо та випадкові домішки. Супераустенітна нержавіюча сталь характеризується рівновісною рекристалізованою структурою зерен у поперечному перерізі сплаву, а середній розмір зерен знаходиться в діапазоні від ASTM 00 до ASTM 3. Рівновісна рекристалізована структура зерен супераустенітної нержавіючої сталі, яка пройшла гарячу обробку тиском, практично не містить виділень інтерметалевої сигма-фази.

#### КОРОТКИЙ ОПИС ГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

[0009] Ознаки та переваги описаних у даному документі способів, сплавів і виробів будуть зрозуміліші у поєднанні з доданими графічними матеріалами, де:

[0010] Фіг. 1 ілюструє макроструктуру бруска супераустенітної нержавіючої сталі Datalloy HP<sup>TM</sup>, що пройшов радіальне кування, включаючи нерекристалізовані зерна у поверхневій області бруска;

[0011] Фіг. 2 ілюструє макроструктуру бруска супераустенітної нержавіючої сталі Datalloy HP<sup>TM</sup>, що пройшов радіальне кування, який було відпалено за високої температури (1177°C (2150°F));

[0012] Фіг. 3 являє собою схему, що ілюструє необмежуючий варіант реалізації способу обробки металевго сплаву відповідно до даного винаходу;

[0013] На Фіг. 4 наведена типова діаграма ізотермічних перетворень для виділень інтерметалевої сигма-фази в аустенітній нержавіючій сталі;

[0014] Фіг. 5 являє собою схему, що ілюструє необмежуючий варіант реалізації способу обробки супераустенітної нержавіючої сталі відповідно до даного винаходу;

[0015] Фіг. 6 являє собою графік залежності температури процесу від часу відповідно до деяких необмежуючих варіантів реалізації способів даного винаходу;

[0016] Фіг. 7 являє собою графік залежності температури процесу від часу відповідно до деяких необмежуючих варіантів реалізації способів даного винаходу;

[0017] Фіг. 8 ілюструє макроструктуру прокату, що містить супераустенітну нержавіючу сталь Datalloy HP<sup>TM</sup>, оброблену відповідно до графіку залежності температури процесу від часу за Фіг. 6; і

[0018] Фіг. 9 ілюструє макроструктуру прокату, що містить супераустенітну нержавіючу сталь Datalloy HP<sup>TM</sup>, оброблену відповідно до графіку залежності температури процесу від часу за Фіг.

7.

[0019] Читачеві стануть зрозумілі вищевикладені, а також інші деталі після розгляду наведеного нижче детального опису деяких необмежуючих варіантів реалізації відповідно до даного винаходу.

#### 5 ДЕТАЛЬНИЙ ОПИС ДЕЯКИХ НЕОБМЕЖУЮЧИХ ВАРІАНТІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ВІНАХОДУ

[0020] Варто розуміти, що деякі описи варіантів реалізації винаходу, наведені у даному документі, було спрощено для того, щоб проілюструвати тільки ті етапи, елементи, ознаки і/або аспекти, які суттєві для чіткого розуміння розкритих варіантів реалізації винаходу, тоді як інші етапи, елементи, ознаки і/або аспекти було для ясності пропущено. Після розгляду даного опису розкритих варіантів реалізації винаходу фахівцеві у даній області техніки стане зрозуміло, що для конкретного здійснення або застосування розкритих варіантів реалізації винаходу можуть бути потрібні інші етапи, елементи і/або ознаки. Проте, оскільки для фахівців у даній області техніки не складе труднощів встановити та здійснити ці інші етапи, елементи і/або ознаки після розгляду даного опису розкритих варіантів реалізації винаходу, і, отже, вони не є необхідними для повного розуміння розкритих варіантів реалізації винаходу, у даному документі не наведено опис таких етапів, елементів і/або ознак. Таким чином, варто розуміти, що наведений у даному документі опис є тільки прикладом і ілюстрацією розкритих варіантів реалізації винаходу і не обмежує об'єму винаходу, який визначається виключно формулою винаходу.

[0021] Також мається на увазі, що будь-який наведений у даному документі числовий діапазон включає усі піддіапазони, що входять до нього. Наприклад, мається на увазі, що діапазон від «1» до «10» включає усі піддіапазони між (і включаючи) наведеним мінімальним значенням «1» і наведеним максимальним значенням «10», де мінімальне значення рівне або більше 1, а максимальне значення рівне або менше 10. Мається на увазі, що будь-яке наведене у даному тексті максимальне числове обмеження включає усі менші числові обмеження, що входять до нього, а будь-яке наведене у даному тексті мінімальне числове обмеження включає усі більші числові обмеження, що входять до нього. Відповідно, заявники залишають за собою право вносити зміни в опис даного винаходу, включаючи формулу винаходу, із метою однозначного визначення будь-якого піддіапазону, який входить у межі діапазонів, однозначно визначених у даному документі. Мається на увазі, що усі такі піддіапазони за визначенням розкриті у даному документі, і тому внесення змін із метою однозначного визначення будь-яких таких піддіапазонів відповідає вимогам 35 U.S.C. § 112, перший параграф, і 35 U.S.C. § 132(a).

[0022] Вживана у даному документі граматична форма «один» включає «щонайменше один» або «один або більше», якщо не вказано інше. Таким чином, вживана у даному документі форма «один» відноситься до одного або більше (тобто щонайменше одного) граматичних об'єктів. Наприклад, «(один) компонент» означає один або більше компонентів і, таким чином, можливо, передбачається наявність більше одного компоненту, який можна застосовувати або використовувати у разі здійснення описаних варіантів реалізації винаходу.

[0023] Будь-які патенти, публікації або інший описовий матеріал, про які говориться, що вони у повному об'ємі або частково включені у даний документ за допомогою посилання, включені у даний документ тільки у тому ступені, в якому включений матеріал не суперечить визначенням, твердженням або іншому описовому матеріалу, наведеному у даному описі. Отже, і в тому ступені, в якому це необхідно, наведений у даному документі опис винаходу виключає будь-який суперечливий матеріал, включений у даний документ за допомогою посилання. Будь-який матеріал або його частина, про який говориться, що він включений у даний документ за допомогою посилання, але який суперечить визначенням, твердженням або іншому описовому матеріалу, наведеному у даному документі, включений тільки у тому ступені, в якому не виникає протиріччя між цим включеним матеріалом і даним описовим матеріалом.

[0024] Опис даного винаходу включає описи різних варіантів реалізації винаходу. Варто розуміти, що усі описані у даному документі варіанти реалізації винаходу є типовими, ілюстративними та необмежуючими. Таким чином, винахід не обмежується описом різних типових, ілюстративних і необмежуючих варіантів реалізації винаходу. Точніше, винахід визначається виключно формулою винаходу, в яку можна вносити зміни із метою визначення будь-яких ознак, однозначно або за визначенням описаних або іншим способом однозначно або за визначенням установлених в описі даного винаходу.

[0025] Наявність нерекристалізованих поверхневих зерен у бруську металевого сплаву, що пройшов гарячу обробку, або іншій заготовці можна усунути шляхом проведення термічної обробки за допомогою відпалювання, за якої сплав нагрівають до температури відпалювання, що перевищує температуру рекристалізації сплаву, і витримують за цієї температури до закінчення рекристалізації. Проте за такої обробки суперпауспенітні нержавіючі сталі та деякі інші

аустенітні нержавіючі сталі схильні до утворення шкідливих інтерметалевих виділень, таких як виділення сигма-фази. Нагрівання великих брусків і інших великих форм прокатів цих сплавів до температури відпалювання може, наприклад, призвести до виділення шкідливих інтерметалевих сполук, зокрема, у центральній області прокатів. Отже, час і температуру відпалювання слід вибирати не лише так, щоб відбулася рекристалізація зерен поверхневої області, але й так, щоб розчинилися будь-які інтерметалеві сполуки. Наприклад, щоб гарантувати розчинення інтерметалевих сполук на всьому поперечному перерізі великого бруска, може знадобитися витримувати брусок за підвищеної температури впродовж значного часу. Діаметр бруска є фактором, що визначає мінімальний час витримання для достатнього розчинення шкідливих інтерметалевих сполук, а мінімальний час витримання може складати від однієї до чотирьох годин або більше. У необмежуваних варіантах реалізації винаходу мінімальний час витримання складає 2 години, більше 2 годин, 3 години, 4 години або 5 годин. Хоча можна підібрати температуру та час витримання так, щоб відбувалося як розчинення інтерметалевих з'єднань, так і рекристалізація нерекристалізованих зерен поверхневої області, витримання за температури розчинення впродовж тривалого часу також може призвести до росту зерен до неприйнятно великих розмірів. Наприклад, макроструктура бруска супераустенітної нержавіючої сталі Datalloy HP™, що пройшов радіальне кування, яку відпалювали за високої температури (1177°C (2150°F)) впродовж тривалого часу, проілюстрована на Фіг. 2. Занадто великі зерна, які видно на Фіг. 2, утворені під час нагрівання, утруднюють ультразвукове випробування бруска для підтвердження його відповідності вимогам деяких комерційних застосувань. Крім того, занадто великі зерна знижують межу втоми металевого сплаву до неприйнятно низьких рівнів.

[0026] Сплав ATI Datalloy HP™ в загальному випадку описано у заявці на патент США № 13/331135, яку в повному об'ємі включено у даний документ за допомогою посилання. Визначений хімічний склад бруска супераустенітної нержавіючої сталі ATI Datalloy HP™, наведеного на Фіг. 2, виражений у масових відсотках відносно загальної маси сплаву, був наступним: 0,006 вуглецю, 4,38 марганцю, 0,013 фосфору, 0,0004 сірки, 0,26 кремнію, 21,80 хрому, 29,97 нікелю, 5,19 молібдену, 1,17 міді, 0,91 вольфраму, 2,70 кобальту, менше 0,01 титану, менше 0,01 ніобію, 0,04 ванадію, менше 0,01 алюмінію, 0,380 азоту, менше 0,01 цирконію, залишкове залізо та випадкові домішки, що не виявляються. У загальному випадку супераустенітна нержавіюча сталь ATI Datalloy HP™ містить у масових відсотках відносно загальної маси сплаву: до 0,2 вуглецю, до 20 марганцю, від 0,1 до 1,0 кремнію, від 14,0 до 28,0 хрому, від 15,0 до 38,0 нікелю, від 2,0 до 9,0 молібдену, від 0,1 до 3,0 міді, від 0,08 до 0,9 азоту, від 0,1 до 5,0 вольфраму, від 0,5 до 5,0 кобальту, до 1,0 титану, до 0,05 бору, до 0,05 фосфору, до 0,05 сірки, залізо та випадкові домішки.

[0027] На Фіг. 3, відповідно до одного аспекту даного винаходу, схематично проілюстровано деякі етапи необмежуючого варіанту реалізації 10 способу обробки металевого сплаву. Спосіб 10 може включати нагрівання 12 металевого сплаву до температури в робочому діапазоні температур. Робочий діапазон температур може знаходитись у межах від температури рекристалізації металевого сплаву до температури, трохи нижче початкової температури плавлення металевого сплаву. У одному необмежувачому варіанті реалізації способу 10 металевий сплав є супераустенітною нержавіючою сталлю Datalloy HP™, а робочий діапазон температур знаходиться в межах від більш ніж 1038°C (1900°F) до 1177°C (2150°F). Крім того, коли металевий сплав є супераустенітною нержавіючою сталлю або іншою аустенітною нержавіючою сталлю, сплав переважно нагрівають 12 до температури в робочому діапазоні температур, яка є досить високою, щоб відбувалося розчинення виділених інтерметалевих фаз, присутніх у сплаві.

[0028] Після нагрівання до температури в робочому діапазоні температур, металевий сплав обробляють 14 у робочому діапазоні температур. У необмежувачому варіанті реалізації винаходу обробка металевого сплаву в робочому діапазоні температур призводить до рекристалізації зерен щонайменше внутрішньої області металевого сплаву. Оскільки поверхнева область металевого сплаву має тенденцію до швидшого охолодження, наприклад, через охолодження внаслідок контакту з робочими штампами, зерна у поверхневій області металевого сплаву можуть вистигати нижче робочого діапазону температур і не рекристалізуватися під час обробки. У різних наведених у даному документі необмежуваних варіантах реалізації винаходу «поверхнева область» металевого сплаву або заготовки металевого сплаву відноситься до області від поверхні до глибини, що становить 0,00254 см (0,001 дюйма), 0,0254 см (0,01 дюйма), 0,254 см (0,1 дюйма) або 2,54 см (1 дюйм) або більше, всередину сплаву або заготовки. Варто розуміти, що глибина поверхневої області, на якій не відбувається рекристалізації під час обробки 14, залежить від безлічі факторів, таких як,

наприклад, склад металевого сплаву, температура сплаву на початку обробки, діаметр або товщина сплаву, температура робочих штампів тощо. Фахівець у даній області техніки без проведення непотрібних експериментів легко може визначити глибину поверхневої області, на якій не відбувається рекристалізація під час обробки, отже, глибина поверхневої області, на якій не відбувається рекристалізація під час здійснення будь-якого конкретного необмежуючого варіанту реалізації способу згідно із даним винаходом, не підлягає додатковому обговоренню у даному документі.

[0029] Оскільки поверхнева область під час обробки може не рекристалізуватися під час обробки, після обробки металевого сплаву і перед будь-яким навмисним охолодженням сплаву щонайменше поверхневу область сплаву нагрівають 18 до температури в робочому діапазоні температур. Необов'язково, після обробки 14 металевого сплаву сплав переносять 16 у пристрій для нагрівання. У різних необмежуючих варіантах реалізації винаходу пристрій для нагрівання включає щонайменше один пристрій з печі, пристрою з полум'ямим нагрівом, пристрою з індукційним нагрівом або будь-який інший відповідний пристрій для нагрівання, відомий фахівцеві у даній області техніки. Варто розуміти, що пристрій для нагрівання може знаходитися на робочому місці або ж штампи, валки або будь-який інший пристрій для гарячої обробки на робочому місці можна нагрівати, щоб мінімізувати охолодження контактуючої з ними поверхневої області сплаву під час обробки.

[0030] Після того, як щонайменше поверхневу область нагрівають 18 до температури в робочому діапазоні температур, температуру поверхневої області підтримують 20 у робочому діапазоні температур упродовж часу, достатнього, щоб відбулася рекристалізація поверхневої області металевого сплаву так, щоб увесь поперечний переріз металевого сплаву виявився рекристалізованим. У випадку супераустенітних нержавіючих сталей і аустенітних нержавіючих сталей, температура супераустенітної нержавіючої сталі або аустенітної нержавіючої сталі не знижується до перетину з кривою час-температура-перетворення упродовж періоду часу від обробки 14 сплаву до нагрівання 18 щонайменше поверхневої області сплаву до температури в діапазоні температур відпалювання. Це дозволяє запобігати виділенню шкідливих інтерметалевих фаз, таких як, наприклад, сигма-фаза, в супераустенітній нержавіючій сталі або аустенітній нержавіючій сталі. Це обмеження додатково роз'яснено нижче. У деяких необмежуючих варіантах реалізації способів відповідно до даного винаходу, застосовних до супераустенітних нержавіючих сталей та інших аустенітних нержавіючих сталей, період часу, упродовж якого температуру нагрітої поверхневої області підтримують 20 у діапазоні температур відпалювання, є достатнім для рекристалізації зерен у поверхневій області та розчинення будь-яких шкідливих виділень інтерметалевих фаз.

[0031] Після витримування 20 металевого сплаву в робочому діапазоні температур для рекристалізації поверхневої області сплаву, сплав охолоджують 22. У деяких необмежуючих варіантах реалізації винаходу металевий сплав можна охолоджувати до температури навколишнього середовища. У деяких необмежуючих варіантах реалізації винаходу металевий сплав можна охолоджувати від робочого діапазону температур з такою швидкістю охолодження та до такої температури, яких вистачає для мінімізації росту зерен у металевому сплаві. У необмежуючому варіанті реалізації винаходу швидкість охолодження під час етапу охолодження відповідає діапазону від 0,17 градусів Цельсія (0,3 градусів Фаренгейта) на хвилину до 5,6 градусів Цельсія (10 градусів Фаренгейта) на хвилину. Типові способи охолодження відповідно до даного винаходу включають, але не обмежуються цим, загартування (таке як, наприклад, загартування у воді та загартування в олії), примусове повітряне охолодження та повітряне охолодження. Варто розуміти, що швидкість охолодження, яка мінімізує ріст зерен у металевому сплаві, залежатиме від багатьох факторів, включаючи, але не обмежуючись цим, склад металевого сплаву, початкову робочу температуру та діаметр або товщину металевого сплаву. Комбінація етапів нагрівання 18 щонайменше поверхневої області металевого сплаву до робочого діапазону температур і витримування 20 поверхневої області у робочому діапазоні температур упродовж певного періоду часу, достатнього для рекристалізації поверхневої області, називається у даному документі «миттєвим відпалюванням».

[0032] Вживаний у даному документі у зв'язку із представленими способами термін «металевий сплав» включає матеріали, які містять основний або переважний металевий елемент, одну або більше спеціальних легуючих добавок і випадкові домішки. У контексті даного документу «металевий сплав» включає «комерційно чисті матеріали», а також інші матеріали, що складаються із металевого елементу та випадкових домішок. Запропонований спосіб можна застосовувати у відношенні до будь-якого відповідного металевого сплаву. Відповідно до необмежуючого варіанту реалізації винаходу спосіб згідно із даним винаходом

можна застосовувати у відношенні до металевих сплавів, вибраного із супер-аустенітної нержавіючої сталі, аустенітної нержавіючої сталі, сплаву титану, комерційно чистого титану, сплаву нікелю, жароміцного сплаву на основі нікелю та сплаву кобальту. У необмежувачому варіанті реалізації винаходу металевий сплав містить аустенітний матеріал. У необмежувачому варіанті реалізації винаходу металевий сплав містить один елемент із супер-аустенітної нержавіючої сталі й аустенітної нержавіючої сталі. У іншому необмежувачому варіанті реалізації винаходу металевий сплав містить супер-аустенітну нержавіючу сталь. У деяких необмежувачих варіантах реалізації винаходу сплавів, що оброблюються способом згідно із даним винаходом, вибрано із наступних сплавів: сплаву ATI Datalloy HP™ (UNS не визначено); сплаву ATI Datalloy 2® ESR (UNS не визначено); сплаву 25-6HN (UNS N08367); сплаву 600 (UNS N06600); сплаву Hastelloy® G-2™ (UNS N06975); сплаву 625 (UNS N06625); сплаву 800 (UNS N08800); сплаву 800H (UNS N08810), сплаву 800AT (UNS N08811); сплаву 825 (UNS N08825); сплаву G3 (UNS N06985); сплаву 2535 (UNS N08535); сплаву 2550 (UNS N06255); і сплаву 316L (UNS S31603).

[0033] Сплав ATI Datalloy 2® ESR доступний від ATI Allvac, Монро, Північна Кароліна, США, і в загальному випадку описано у заявці на міжнародний патент № WO 99/23267, яку в повному об'ємі включено у даний документ за допомогою посилання. Сплав ATI Datalloy 2® ESR має наступний номінальний хімічний склад у масових відсотках відносно загальної маси сплаву: 0,03 вуглецю; 0,30 кремнію; 15,1 марганцю; 15,3 хрому; 2,1 молібдену; 2,3 нікелю; 0,4 азоту; і залишкове залізо та випадкові домішки. У загальному випадку сплав ATI Datalloy 2® містить у масових відсотках відносно загальної маси сплаву: до 0,05 вуглецю; до 1,0 кремнію; від 10 до 20 марганцю; від 13,5 до 18,0 хрому; від 1,0 до 4,0 нікелю; від 1,5 до 3,5 молібдену; від 0,2 до 0,4 азоту; залізо і випадкові домішки.

[0034] Супер-аустенітні нержавіючі сталі не відповідають класичному визначенню нержавіючої сталі, оскільки залізо складає менше 50 масових відсотків супер-аустенітних нержавіючих сталей. У порівнянні із традиційними аустенітними нержавіючими сталями супер-аустенітні нержавіючі сталі демонструють більш високу стійкість до пітингової та щілинної корозії у середовищах, що містять галіди.

[0035] Етап обробки металевих сплавів за підвищеної температури відповідно до запропонованого способу можна проводити, використовуючи будь-який відомий метод. Використовувані у даному документі терміни «формування», «кування» та «радіальне кування» відносяться до термомеханічної обробки («ТМО»), яка у даному документі також може називатися «термомеханічною обробкою» або просто «обробкою». У контексті даного документу, якщо не вказано інше, «обробка» відноситься до «гарячої обробки тиском». У контексті даного документу «гаряча обробка тиском» відноситься до контрольованої механічної операції для формування металевих сплавів за температур, що становлять або перевищують температуру рекристалізації металевих сплавів. Термомеханічна обробка включає безліч процесів формування металевих сплавів, що поєднують контрольовані нагрівання та деформацію для отримання синергетичного ефекту, такого як поліпшення міцності без втрати пластичності. Дивіться, наприклад, ASM Materials Engineering Dictionary, J. R. Davis, ed., ASM International (1992), p. 480.

[0036] У різних необмежувачих варіантах реалізації способу 10 відповідно до даного винаходу і згідно з Фіг. 3, обробка 14 металевих сплавів включає щонайменше одне із: кування, прокатки, обтискання, пресування та формування металевих сплавів. У різних конкретніших необмежувачих варіантах реалізації винаходу обробка 14 металевих сплавів включає кування металевих сплавів. Різні необмежувачі варіанти реалізації винаходу можуть включати обробку 14 металевих сплавів за допомогою щонайменше одного способу кування, вибраного із вальцювання, обтискання, прокатки, кування у відкритих штампах, кування з матричними штампами, кування на пресі, автоматичного гарячого кування, радіального кування та штампування осадкою. У необмежувачому варіанті реалізації винаходу для зменшення охолодження поверхневої області металевих сплавів під час обробки можна використовувати штампи, що нагріваються, валки, що нагріваються, і/або подібні елементи.

[0037] У деяких необмежувачих варіантах реалізації способів відповідно до даного винаходу і знову згідно з Фіг. 3, нагрівання поверхневої області 18 металевих сплавів до температури в робочому діапазоні температур, може включати нагрівання поверхневої області шляхом переміщення сплаву в піч для відпалювання або піч іншого типу. У деяких необмежувачих варіантах реалізації способів відповідно до даного винаходу нагрівання поверхневої області 18 до робочого діапазону температур включає щонайменше одне із: нагрівання у печі, нагрівання у полум'ї та індукційного нагрівання.

[0038] У деяких необмежувачих варіантах реалізації способів відповідно до даного винаходу і знову згідно з Фіг. 3, витримання 20 поверхневої області металевих сплавів в робочому

діапазоні температур може включати витримування поверхневої області у робочому діапазоні температур упродовж періоду часу, достатнього для рекристалізації нагрітої поверхневої області металевго сплаву та для мінімізації росту зерен у металевому сплаві. Щоб запобігти росту зерен у металевому сплаві до занадто великих розмірів, наприклад, у деяких

5 необмежуваних варіантах реалізації винаходу період часу, упродовж якого температуру поверхневої області підтримують у робочому діапазоні температур, може бути обмеженим періодом часу, який не перевищує час, необхідний для рекристалізації нагрітої поверхневої області металевго сплаву, що призводить до утворення рекристалізованих зерен у всьому поперечному перерізі металевго сплаву. У інших необмежуваних варіантах реалізації винаходу

10 витримування 20 включає витримування металевго сплаву в робочому діапазоні температур упродовж періоду часу, достатнього для вирівнювання температури металевго сплаву від поверхні до центру форми металевго сплаву. У конкретних необмежуваних варіантах реалізації винаходу металевий сплав витримують 20 у робочому діапазоні температур упродовж періоду часу у діапазоні від 1 хвилини до 2 годин, від 5 хвилин до 60 хвилин або від 10 до 30 хвилин.

15 [0039] Крім того, у необмежуваних варіантах реалізації запропонованих способів, застосованих до супераустенітних нержавіючих сталей і аустенітних нержавіючих сталей, сплав переважно оброблюють 14, нагрівають 18 поверхневу область і витримують 20 сплав за температур, що відповідають робочому діапазону температур, які є досить високими, щоб під час цього етапу підтримувати інтерметалеві фази, що згубно впливають на механічні та фізичні

20 властивості сплаву, у стані твердого розчину або щоб розчинити будь-які виділені інтерметалеві фази до стану твердого розчину. У необмежуваних варіантах реалізації винаходу підтримування інтерметалевих фаз у стані твердого розчину включає запобігання зниженню температури супераустенітної нержавіючої сталі й аустенітної нержавіючої сталі до перетину з кривою час-температура-перетворення упродовж періоду часу від обробки сплаву до нагрівання

25 щонайменше поверхневої області сплаву до температури в діапазоні температур відпалювання. Додаткове пояснення цьому наведено нижче. У деяких необмежуваних варіантах реалізації способів відповідно до даного винаходу, застосованих до супераустенітних нержавіючих сталей і аустенітних нержавіючих сталей, період часу, упродовж якого температуру нагрітої поверхневої області підтримують 20 у робочому діапазоні температур, являє собою час, достатній для рекристалізації зерен у поверхневій області, розчинення будь-яких шкідливих виділень інтерметалевих фаз, які могли виділитися під час етапу обробки 14 внаслідок непередбаченого охолодження поверхневої області під час обробки 14, і мінімізації росту зерен у сплаві. Варто розуміти, що довжина такого періоду часу залежить від різних факторів, включаючи склад металевго сплаву та розміри (наприклад, діаметр або товщину) форми металевго сплаву. У

30 деяких необмежуваних варіантах реалізації винаходу поверхневу область металевго сплаву можна витримувати 20 у робочому діапазоні температур упродовж періоду часу у діапазоні від 1 хвилини до 2 годин, від 5 хвилин до 60 хвилин або від 10 до 30 хвилин.

[0040] У деяких необмежуваних варіантах реалізації способів відповідно до даного винаходу, в яких металевий сплав являє собою один із сплавів із супераустенітної нержавіючої сталі й аустенітної нержавіючої сталі, нагрівання 12 включає нагрівання до робочого діапазону температур від температури сольвусу виділень інтерметалевої фази до температури трохи

40 нижче початкової температури плавлення металевго сплаву. У деяких необмежуваних варіантах реалізації способів відповідно до даного винаходу, в яких металевий сплав являє собою один із сплавів із супераустенітної нержавіючої сталі й аустенітної нержавіючої сталі, робочий діапазон температур під час етапу обробки 14 металевго сплаву знаходиться в межах від температури трохи нижче температури сольвусу виділень інтерметалевої сигма-фази металевго сплаву до температури трохи нижче початкової температури плавлення металевго сплаву.

[0041] Без обмежень будь-якою конкретною теорією, вважається, що інтерметалеві

50 виділення переважно утворюються у супераустенітних нержавіючих сталях і аустенітних нержавіючих сталях, оскільки кінетика виділення є достатньою швидкою, щоб у сплаві могло відбутися виділення у разі, якщо температура будь-якої частини сплаву знижується до температури, що являє собою або нижча за температуру вигину або вершини кривої ізотермічних перетворень сплаву для виділень конкретної інтерметалевої фази. На Фіг. 4 представлена типова крива ізотермічних перетворень 40, також відома як діаграма або крива час-температура-перетворення («діаграма ЧТП» або «крива ЧТП»). На Фіг. 4 спрогнозовано кінетику для 0,1 масового відсотка виділень інтерметалевої сигма-фази ( $\sigma$ -фази) у типовій супераустенітній нержавіючій сталі. З Фіг. 4 видно, що інтерметалеві виділення з'являються найшвидше, тобто упродовж найменшого часу, поблизу вершини 42 або вигину кривої «С», який

60 є частиною кривої ізотермічних перетворень 40. Відповідно, у необмежуваних варіантах

реалізації способів відповідно до даного винаходу, вживаний у відношенні до робочого діапазону температур вираз «безпосередньо вища за температуру вершини» інтерметалевих виділень сигма-фази металевого сплаву відноситься до температури, яка безпосередньо вища за температуру вершини 42 кривої С на діаграмі ЧТП конкретного сплаву. У інших

5 необмежуваних варіантах реалізації винаходу вираз «температура безпосередньо вища за температуру вершини» відноситься до температури в діапазоні на 2,78 градусів Цельсія (5 градусів Фаренгейта) або на 5,6 градусів Цельсія (10 градусів Фаренгейта), або на 11,11 градусів Цельсія (20 градусів Фаренгейта), або на 16,67 градусів Цельсія (30 градусів Фаренгейта), або на 22,22 градусів Цельсія (40 градусів Фаренгейта), або на 27,78 градусів

10 Цельсія (50 градусів Фаренгейта) вищої за температуру вершини 42 виділення інтерметалевої сигма-фази металевого сплаву.

[0042] Коли способи відповідно до даного винаходу здійснюють застосовно до супераустенітних нержавіючих сталей і аустенітних нержавіючих сталей, етап охолодження 22 металевому сплаву може включати охолодження зі швидкістю, достатньою для перешкодження

15 виділенням інтерметалевої сигма-фази у металевому сплаві. У необмежуваних варіантах реалізації винаходу швидкість охолодження під час етапу охолодження відповідає діапазону від 0,17 градусів Цельсія (0,3 градусів Фаренгейта) на хвилину до 5,6 градусів Цельсія (10 градусів Фаренгейта) на хвилину. Типові способи охолодження відповідно до даного винаходу включають, але не обмежуються цим, загартування, таке як, наприклад, загартування у воді та

20 загартування в олії, примусове повітряне охолодження та повітряне охолодження.

[0043] Конкретні приклади аустенітних матеріалів, які можна оброблювати за допомогою способів відповідно до даного винаходу, включають, але не обмежуються цим: сплав ATI Datalloy HP<sup>TM</sup> (UNS не визначено); сплав ATI Datalloy 2<sup>®</sup> ESR (UNS не визначено); сплав 25-6HN (UNS N08367); сплав 600 (UNS N06600); сплав Hastelloy<sup>®</sup> G-2<sup>TM</sup> (UNS N06975); сплав 625 (UNS N06625); сплав 800 (UNS N08800); сплав 800H (UNS N08810), сплав 800AT (UNS N08811);

25 сплав 825 (UNS N08825); сплав G3 (UNS N06985); сплав 2550 (UNS N06255); сплав 2535 (UNS N08535); і сплав 316L (UNS S31603).

[0044] Згідно з Фіг. 5-7 і відповідно до аспекту даного винаходу, необмежуваний варіант реалізації способу 50 обробки одного сплаву із супераустенітної нержавіючої сталі й аустенітної

30 нержавіючої сталі представлено на схемі на Фіг. 5 і діаграмах час-температура на Фіг. 6 і 7. Варто розуміти, що нижченаведений опис необмежувачого варіанту реалізації способу 50 застосовний як до супераустенітних нержавіючих сталей, так і до аустенітних нержавіючих сталей, а також до інших аустенітних матеріалів. Для спрощення Фіг. 5 відноситься тільки до супераустенітних нержавіючих сталей. Також, хоча Фіг. 6 і 7 є графіками час-температура у разі застосування способів до сплаву Datalloy HP<sup>TM</sup> - супераустенітної нержавіючої сталі, аналогічні етапи процесу, що у загальному випадку характеризуються відмінними температурами,

35 застосовні до аустенітних нержавіючих сталей та інших аустенітних матеріалів.

[0045] Спосіб 50 включає нагрівання 52 супераустенітної нержавіючої сталі, наприклад, до температури у діапазоні температур розчинення виділень інтерметалевої фази від температури

40 сольвусу виділень інтерметалевої фази в супераустенітній нержавіючій сталі до температури трохи нижче початкової температури плавлення супераустенітної нержавіючої сталі. У конкретному необмежувачому варіанті реалізації методу для сплаву Datalloy HP<sup>TM</sup> діапазон температур розчинення інтерметалевих виділень знаходиться в межах від більш ніж 1038°C (1900°F) до 1177°C (2150°F). У необмежувачому варіанті реалізації винаходу інтерметалева фаза являє собою сигма-фазу ( $\sigma$ -фазу), яка містить інтерметалеві сполуки Fe-Cr-Ni.

45

[0046] Супераустенітну нержавіючу сталь витримують 53 у температурному діапазоні розчинення виділень інтерметалевої фази упродовж часу, достатнього для розчинення виділень інтерметалевої фази і для мінімізації росту зерен у супераустенітній нержавіючій сталі. У необмежуваних варіантах реалізації винаходу супераустенітну нержавіючу сталь або

50 аустенітну нержавіючу сталь можна витримувати в температурному діапазоні розчинення виділень інтерметалевої фази упродовж періоду часу в діапазоні від 1 хвилини до 2 годин, від 5 хвилин до 60 хвилин або від 10 хвилин до 30 хвилин. Варто розуміти, що мінімальний час, упродовж якого необхідно витримувати 53 супераустенітну нержавіючу сталь або аустенітну нержавіючу сталі в температурному діапазоні розчинення виділень інтерметалевої фази для розчинення виділень інтерметалевої фази, залежить від різних факторів, включаючи, наприклад, склад сплаву, товщину заготовки та конкретну використовувану температуру в температурному діапазоні розчинення виділення інтерметалевої фази. Зрозуміло, що фахівець у даній області техніки після розгляду опису даного винаходу зможе визначити мінімальний час, необхідний для розчинення інтерметалевої фази без проведення непотрібних експериментів.

55

[0047] Після етапу витримування 53 супераустенітну нержавіючу сталь оброблюють 54 за

60

температури в робочому діапазоні температур від температури трохи вище температури вершини кривої ЧТП для виділень інтерметалевої фази сплаву до температури трохи нижче початкової температури плавлення сплаву.

[0048] Оскільки поверхнева область може не рекристалізуватися під час обробки 54, після обробки супераустенітної нержавіючої сталі і перед будь-яким передбаченим охолодженням сплаву (сталі), щонайменше поверхневу область супераустенітної нержавіючої сталі нагрівають 58 до температури в діапазоні температур відпалювання. У необмежуючому варіанті реалізації винаходу діапазон температур відпалювання знаходиться в межах від температури трохи вище температури вершини (дивіться, наприклад, Фіг. 4, точку 42) кривої час-температура-перетворення для виділень інтерметалевої фази супераустенітної нержавіючої сталі до температури трохи нижче початкової температури плавлення супераустенітної нержавіючої сталі.

[0049] Необов'язково, після обробки 54 супераустенітної нержавіючої сталі супераустенітну нержавіючу сталь можна переносити 56 у пристрій для нагрівання. У різних необмежуючих варіантах реалізації винаходу пристрій для нагрівання включає щонайменше один пристрій із печі, пристрою із полум'яним нагрівом, пристрою із індукційним нагрівом або будь-який інший відповідний пристрій для нагрівання, відомий фахівцям у даній області техніки. Наприклад, пристрій для нагрівання може знаходитися на робочому місці або ж штампи, валки або будь-який інший пристрій для гарячої обробки на робочому місці можна нагрівати, щоб мінімізувати непередбачуване охолодження контактуючої з ними поверхневої області металевго сплаву.

[0050] Після обробки 54 поверхневу область сплаву нагрівають 58 до температури в діапазоні температур відпалювання. На етапі нагрівання 58 діапазон температур відпалювання знаходиться в межах від температури трохи вище температури вершини (дивіться, наприклад, Фіг. 4, точку 42) кривої час-температура-перетворення для виділень інтерметалевої фази супераустенітної нержавіючої сталі до температури трохи нижче початкової температури плавлення сплаву. Температура супераустенітної нержавіючої сталі не знижується до перетину з кривою час-температура-перетворення упродовж періоду часу від обробки 54 сплаву до нагрівання 58 щонайменше поверхневої області сплаву до температури в діапазоні температур відпалювання. При цьому варто розуміти, що внаслідок того, що поверхнева область супераустенітної нержавіючої сталі охолоджується швидше, ніж внутрішня область сплаву, існує ризик, що під час обробки 54 поверхнева область сплаву охолодиться до температури нижче діапазону температур відпалювання, що призведе до появи виділень шкідливої інтерметалевої фази у поверхневій області.

[0051] У необмежуючому варіанті реалізації винаходу, згідно з Фіг. 5-7, поверхневу область супераустенітної нержавіючої сталі витримують 60 у діапазоні температур відпалювання упродовж періоду часу, достатнього для рекристалізації поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі та розчинення будь-яких виділень шкідливих інтерметалевих фаз, які могли з'явитися у поверхневій області, але який при цьому не призводить до надмірного росту зерен у сплаві.

[0052] Знову, згідно з Фіг. 5-7, після витримування 60 сплаву в діапазоні температур відпалювання сплав охолоджують 62 з такою швидкістю охолодження та до такої температури, яких вистачає для перешкодження утворенню виділень інтерметалевої сигма-фази в супераустенітній нержавіючій сталі. У необмежуючому варіанті реалізації способу 50 температура сплаву під час охолодження 62 сплаву являє собою температуру, яка менша за температуру вершини кривої С на діаграмі ЧТП для конкретного аустенітного сплаву. У іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу температура сплаву під час охолодження 62 являє собою температуру навколишнього середовища.

[0053] Інший аспект даного винаходу відноситься до деяких продуктів прокатки металевго сплаву. Деякі продукти прокатки металевго сплаву відповідно до даного винаходу містять або складаються із металевго сплаву, який було оброблено будь-яким із способів відповідно до даного винаходу і який не оброблювали, щоб видалити нерекристалізовану поверхневу область, шляхом зачистки або будь-яким іншим механічним способом видалення матеріалу. У деяких необмежуючих варіантах реалізації винаходу продукт прокатки металевго сплаву відповідно до даного винаходу містить або складається з аустенітної нержавіючої сталі або супераустенітної нержавіючої сталі, яка була оброблена будь-яким із способів відповідно до даного винаходу. У деяких необмежуючих варіантах реалізації винаходу структура зерен металевго сплаву продукту прокатки металевго сплаву характеризується рівновісною рекристалізованою структурою зерен на всьому поперечному перерізі металевго сплаву, а середній розмір зерен металевго сплаву відповідає діапазону значень розміру зерен за ASTM від 00 до 3 або від 00 до 2, або від 00 до 1, відповідно до специфікації ASTM E112 - 12. У

необмежуючому варіанті реалізації винаходу рівновісна рекристалізована структура зерен металевого сплаву практично не містить виділень інтерметалевої сигма-фази.

[0054] Відповідно до деяких необмежуючих варіантів реалізації винаходу продукт прокатки металевого сплаву відповідно до даного винаходу містить або складається із супераустенітної нержавіючої сталі або аустенітної нержавіючої сталі, що має рівновісну рекристалізовану структуру зерен на всьому поперечному перерізі продукту прокатки, при цьому середній розмір зерен сплаву відповідає діапазону значень розміру зерен за ASTM від 00 до 3 або від 00 до 2, або від 00 до 1, або від 3 і 4, або значення розміру зерен за ASTM більше 4, відповідно до специфікації ASTM E112 - 12. У необмежуючому варіанті реалізації винаходу рівновісна рекристалізована структура зерен сплаву практично не містить виділень інтерметалевої сигма-фази.

[0055] Приклади металевих сплавів, які можуть входити до складу продукту прокатки металевого сплаву відповідно до даного винаходу, включають, але не обмежуються цим, будь-який із: сплаву ATI Datalloy HP™ (UNS не визначено); сплаву ATI Datalloy 2® ESR (UNS не визначено); сплаву 25-6HN (UNS N08367); сплаву 600 (UNS N06600); ®G-2™ (UNS N06975); сплаву 625 (UNS N06625); сплаву 800 (UNS N08800); сплаву 800H (UNS N08810), сплаву 800AT (UNS N08811); сплаву 825 (UNS N08825); сплаву G3 (UNS N06985); сплаву 2535 (UNS N08535); сплаву 2550 (UNS N06255); і сплаву 316L (UNS S31603).

[0056] У відношенні до різних аспектів даного винаходу передбачається, що розмір зерен брусків металевого сплаву або інших продуктів прокатки металевого сплаву відповідно до різних необмежуючих варіантів реалізації способів згідно із даним винаходом можна коригувати, змінюючи температури, використовувані на різних етапах. Наприклад, і без обмежень, розмір зерен центральної області бруска або іншої форми металевого сплаву може бути зменшено шляхом зниження температури, за якої оброблюють металевий сплав у цьому способі. Один із можливих способів зменшення розміру зерен включає нагрівання оброблюваної форми металевого сплаву до температури, достатньо високої для розчинення будь-яких шкідливих інтерметалевих виділень, утворених під час попередніх етапів обробки. Наприклад, у випадку сплаву Datalloy HP™, сплав можна нагрівати до температури до 1149°C (2100°F), яка перевищує температуру сольвусу сигма-фази сплаву. Температура сольвусу сигма-фази супераустенітних нержавіючих сталей, які можна оброблювати згідно з описаними у даному документі способами, як правило, знаходиться в діапазоні від 871°C (1600°F) до 982°C (1800°F). Потім сплав можна негайно охолодити до робочої температури, що складає, наприклад, 1121°C (2050°F) для сплаву Datalloy HP™, не допускаючи, щоб температура падала нижче вершини діаграми ЧТП для сигма-фази. Сплав можна піддати гарячій обробці тиском, наприклад, шляхом радіального кування, до необхідного діаметру з подальшим негайним перенесенням у піч, щоб забезпечити рекристалізацію нерекристалізованих поверхневих зерен, не допускаючи, щоб час обробки між температурою сольвусу та температурою вершини діаграми ЧТП перевищував час до вершини ЧТП, або не допускаючи, щоб температура падала нижче вершини діаграми ЧТП для сигма-фази упродовж цього періоду, або роблячи так, щоб температура супераустенітної нержавіючої сталі не знижувалася до перетину кривої час-температура-перетворення упродовж періоду часу від обробки сплаву до нагрівання щонайменше поверхневої області сплаву до температури в діапазоні температур відпалювання. Після етапу рекристалізації сплав можна охолодити до такої температури і з такою швидкістю охолодження, які перешкоджають утворенню шкідливих інтерметалевих виділень у сплаві. Досить високу швидкість охолодження можна забезпечити, наприклад, шляхом загартування сплаву у воді.

[0057] Нижченаведені приклади призначені для додаткового опису деяких необмежуючих варіантів реалізації винаходу і не обмежують об'єм даного винаходу. Для фахівців у даній області техніки очевидно, що можливе існування варіацій нижченаведених прикладів, які входять в об'єм даного винаходу, який визначається виключно формулою винаходу.

#### ПРИКЛАД 1

[0058] Отримували зливки сплаву Datalloy HP™, доступного від ATI Allvac, діаметром 50,8 см (20 дюймів), використовуючи традиційний метод плавлення, в якому скомбіновано етапи аргоно-кисневого зневуглюювання і електрошлакової переплавки. Зливки мав наступний визначений хімічний склад у масових відсотках відносно загальної маси сплаву: 0,007 вуглецю; 4,38 марганцю; 0,015 фосфору; менше 0,0003 сірки; 0,272 кремнію; 21,7 хрому; 30,11 нікелю; 5,23 молібдену; 1,17 міді; залишкове залізо та невизначені випадкові домішки. Зливки гомогенізували за 1204°C (2200°F) і висаджували й витягували з багатократним повторним нагріванням у відкритих штампках до болванки діаметром 31,75 см (12,5 дюймів). Ковану болванку додатково оброблювали, застосовуючи подальші етапи, які наведено на Фіг. 6.

Болванку діаметром 31,75 см (12,5 дюймів) нагрівали (дивіться, наприклад, Фіг. 5, етап 52) до температури розчинення виділень інтерметалевої фази, що становить 1204°C (2200°F), яка являє собою температуру в діапазоні температур розчинення виділень інтерметалевої фази згідно із даним винаходом, і витримували 53 за цієї температури упродовж більше 2 годин для розчинення будь-яких виділень інтерметалевої сигма-фази. Болванку охолоджували до температури 1149°C (2100°F), яка являє собою температуру в робочому діапазоні температур згідно із даним винаходом, а потім піддавали радіальному куванню (54) до болванки діаметром 24,99 см (9,84 дюймів). Болванку негайно переносили (56) у піч за температури 1149°C (2100°F), яка являє собою температуру в діапазоні температур відпалювання для цього сплаву згідно із даним винаходом, і нагрівали (58) щонайменше поверхневу область сплаву за температури відпалювання. Болванку витримували в печі упродовж 20 хвилин так, щоб підтримувати (60) температуру поверхневої області в діапазоні температур відпалювання упродовж періоду часу, достатнього для рекристалізації поверхневої області та розчинення будь-яких шкідливих виділень інтерметалевої фази в поверхневій області без надмірного росту зерен у сплаві. Болванку охолоджували (62) шляхом загартування у воді за кімнатної температури. Отриману в результаті макроструктуру в поперечному перерізі болванки показано на Фіг. 8. Показана на Фіг. 8 макроструктура не містить ознак нерекристалізованих зерен в області зовнішньої межі (тобто в поверхневій області) кованого бруска. Значення розміру зерна за ASTM для рівновісного зерна складає між ASTM 0 і 1.

#### ПРИКЛАД 2

[0059] Отримували зливку сплаву Datalloy HP™, доступного від ATI Allvac, діаметром 50,8 см (20 дюймів), використовуючи традиційний метод плавлення, в якому скомбіновано етапи аргонно-кисневого зневуглицювання і електрошлакової переплавки. Зливку мав наступний визначений хімічний склад у масових відсотках відносно загальної маси сплаву: 0,006 вуглецю; 4,39 марганцю; 0,015 фосфору; 0,0004 сірки; 0,272 кремнію; 21,65 хрому; 30,01 нікелю; 5,24 молібдену; 1,17 міді; залишкове залізо та невизначені випадкові домішки. Зливку гомогенізували за 1204°C (2200°F) і висаджували й витягували з багатократним повторним нагрівом у відкритих штампах до болванки діаметром 31,75 см (12,5 дюймів). Болванку піддавали наступним етапам обробки, які наведено на Фіг. 7. Болванку діаметром 31,75 см (12,5 дюймів) нагрівали (дивіться, наприклад, Фіг. 5, етап 52) до температури 1149°C (2100°F), яка являє собою температуру в діапазоні температур розчинення виділень інтерметалевої фази згідно із даним винаходом, і витримували (53) за цієї температури упродовж більше 2 годин для розчинення будь-яких виділень інтерметалевої сигма-фази. Болванку охолоджували до температури 1121°C (2050°F), яка являє собою температуру в робочому діапазоні температур згідно із даним винаходом, а потім піддавали радіальному куванню (54) до болванки діаметром 24,99 см (9,84 дюймів). Болванку негайно переносили (56) у піч за температури 1121°C (2050°F), яка являє собою температуру в діапазоні температур відпалювання для цього сплаву згідно із даним винаходом, і нагрівали (58) щонайменше поверхневу область сплаву за температури відпалювання. Болванку витримували у печі упродовж 45 хвилин так, щоб підтримувати (60) температуру поверхневої області в діапазоні температур відпалювання упродовж періоду часу, достатнього для рекристалізації поверхневої області та розчинення будь-яких шкідливих виділень інтерметалевої фази в поверхневій області без надмірного росту зерен у сплаві. Болванку охолоджували (62) шляхом загартування у воді за кімнатної температури. Отриману в результаті макроструктуру в поперечному перерізі болванки показано на Фіг. 9. Показана на Фіг. 9 макроструктура не містить ознак нерекристалізованих зерен в області зовнішньої межі (тобто в поверхневій області) кованого бруска. Значення розміру зерна за ASTM для рівновісного зерна складає ASTM 3.

#### ПРИКЛАД 3

[0060] Отримували зливку аустенітної нержавіючої сталі ATI Allvac AL-6xn® (UNS N08367) діаметром 50,8 см (20 дюймів), використовуючи традиційний метод плавлення, в якому скомбіновано етапи аргонно-кисневого зневуглицювання і електрошлакової переплавки. Зливку мав наступний визначений хімічний склад у масових відсотках відносно загальної маси сплаву: 0,02 вуглецю; 0,30 марганцю; 0,020 фосфору; 0,001 сірки; 0,35 кремнію; 21,8 хрому; 25,3 нікелю; 6,7 молібдену; 0,24 азоту; 0,2 міді; залишкове залізо та невизначені випадкові домішки. Наступні етапи обробки будуть зрозуміліші у поєднанні з Фіг. 6. Зливку нагрівали (52) до температури 1260°C (2300°F), яка являє собою температуру в діапазоні температур розчинення виділень інтерметалевої фази згідно із даним винаходом, і витримували (53) за цієї температури упродовж 60 хвилин для розчинення будь-яких виділень інтерметалевої сигма-фази. Зливку охолоджували до температури 1204°C (2200°F), яка являє собою температуру в робочому діапазоні температур, а потім піддавали гарячій прокатці (54) до пластини завтовшки 2,54 см (1

дюйм). Пластину негайно переносили (56) у піч для відпалювання за 1121°C (2050°F) і нагрівали (58) щонайменше поверхневу область пластини до температури відпалювання. Температура відпалювання знаходиться в діапазоні температур відпалювання від температури трохи вище температури вершини кривої час-температура-перетворення для виділень інтерметалевої

5 сигма-фази аустенітної нержавіючої сталі до температури трохи нижче початкової температури плавлення аустенітної нержавіючої сталі. Пластину не охолоджують до температури перетину діаграми час-температура-перетворення для сигма-фази під час етапів гарячої прокатки (54) і перенесення (56). Поверхневу область сплаву витримують (60) у діапазоні температур відпалювання упродовж 15 хвилин, чого достатньо для рекристалізації поверхневої області та

10 розчинення будь-яких шкідливих виділень інтерметалевої фази без надмірного росту зерен у поверхневій області сплаву. Потім сплав охолоджували (62) шляхом загартування у воді, яке забезпечує швидкість охолодження, достатню, щоб перешкоджати утворенню виділень інтерметалевої сигма-фази в сплаві. Макроструктура не містить ознак нерекристалізованих зерен у поверхневій області прокатаної пластини. Значення розміру зерна за ASTM для

15 рівновісного зерна складає ASTM 3.

#### ПРИКЛАД 4

[0061] Отримували зливку аустенітної нержавіючої сталі Grade 316L (UNS S31603) діаметром 50,8 см (20 дюймів), використовуючи традиційний метод плавлення, в якому

20 скомбіновано етапи аргону-кисневого знеуглецювання і електрошлакової переплавки. Зливку мав наступний визначений хімічний склад у масових відсотках відносно загальної маси сплаву: 0,02 вуглецю; 17,3 хрому; 12,5 нікелю; 2,5 молібдену; 1,5 марганцю; 0,5 кремнію; 0,035 фосфору; 0,01 сірки; залишкове залізо і інші випадкові домішки. Наступні етапи обробки будуть зрозуміліші у поєднанні з Фіг. 3. Металевий сплав нагрівали (12) до температури 1199°C (2190°F), яка являє собою температуру в робочому температурному діапазоні сплаву, тобто в

25 діапазоні від температури рекристалізації сплаву до температури трохи нижче початкової температури плавлення сплаву. Нагрітий зливок оброблювали (14). Зокрема, нагрітий зливок висаджували й витягували з багатократним повторним нагрівом у відкритих штампах до болванки діаметром 31,75 см (12,5 дюймів). Зливку повторно нагрівали до 1199°C (2190°F) і піддавали радіальному куванню (14) до болванки діаметром 24,99 см (9,84 дюймів). Болванку

30 переносили (16) у піч для відпалювання за 1120°C (2048°F). Температура печі знаходиться в діапазоні температур відпалювання, який відповідає діапазону від температури рекристалізації сплаву до температури трохи нижче початкової температури плавлення сплаву. Поверхневу область сплаву підтримували (20) за температури відпалювання упродовж 20 хвилин, що являє собою час витримування, якого достатньо для рекристалізації поверхневої області сплаву.

35 Потім сплав охолоджували шляхом загартування у воді до температури навколишнього середовища. Загартування у воді забезпечує швидкість охолодження, достатню для мінімізації росту зерен у сплаві.

#### ПРИКЛАД 5

[0062] Отримували зливку сплаву 2535 (UNS N08535), доступного від ATI Allvac, діаметром

40 50,8 см (20 дюймів), використовуючи традиційний метод плавлення, в якому скомбіновано етапи аргону-кисневого знеуглецювання і електрошлакової переплавки. Зливку гомогенізували за 1204°C (2200°F) і висаджували й витягували з багатократним повторним нагрівом у відкритих штампах до болванки діаметром 31,75 см (12,5 дюймів). Болванку діаметром 31,75 см (12,5 дюймів) нагрівали (дивіться, наприклад, Фіг. 5, етап 52) до температури розчинення виділень

45 інтерметалевої фази, що становить 1149°C (2100°F), яка являє собою температуру в діапазоні температур розчинення виділень інтерметалевої фази згідно із даним винаходом, і витримували (53) за цієї температури упродовж більше 2 годин для розчинення будь-яких виділень інтерметалевої сигма-фази. Болванку охолоджували до температури 1121°C (2050°F), яка являє собою температуру в робочому діапазоні температур згідно із даним винаходом, а

50 потім піддавали радіальному куванню (54) до болванки діаметром 24,99 см (9,84 дюймів). Болванку негайно переносили (56) у піч за температури 1121°C (2050°F), яка являє собою температуру в діапазоні температур відпалювання для цього сплаву згідно із даним винаходом. Температура болванки не знижувалася до перетину діаграми час-температура-перетворення для сигма-фази в сплаві під час кування та перенесення. Щонайменше поверхневу область

55 сплаву нагрівали (58) за температури відпалювання. Болванку витримували в печі упродовж 45 хвилин так, щоб підтримувати (60) температуру поверхневої області в діапазоні температур відпалювання упродовж періоду часу, достатнього для рекристалізації поверхневої області та розчинення будь-яких шкідливих виділень інтерметалевої фази в поверхневій області без надмірного росту зерен у сплаві. Болванку охолоджували (62) шляхом загартування у воді до

60 кімнатної температури. Макроструктура не містить ознак нерекристалізованих зерен в області

зовнішньої межі (тобто в поверхневій області) кованого бруска. Значення розміру зерна за ASTM для рівновісного зерна складає ASTM 2.

#### ПРИКЛАД 6

[0063] Отримували зливоч сплав 2550 (UNS N06255), доступного від ATI Allvac, діаметром 50,8 см (20 дюймів), використовуючи традиційний метод плавлення, в якому скомбіновано етапи аргону-кисневого знеуглецювання і електрошлакової переплавки. Зливоч гомогенізували за 1204,44°C (2200°F) і висаджували й витягували з багатократним повторним нагрівом у відкритих штампах до болванки діаметром 31,75 см (12,5 дюймів). Болванку діаметром 31,75 см (12,5 дюймів) нагрівали (дивіться, наприклад, Фіг. 5, етап 52) до температури розчинення виділень інтерметалевої фази, що становить 1149°C (2100°F), яка являє собою температуру в діапазоні температур розчинення виділень інтерметалевої фази згідно із даним винаходом, і витримували (53) за цієї температури упродовж більше 2 годин для розчинення будь-яких виділень інтерметалевої сигма-фази. Болванку охолоджували до температури 1079°C (1975°F), яка являє собою температуру в робочому діапазоні температур згідно із даним винаходом, а потім піддавали радіальному куванню (54) до болванки діаметром 24,99 см (9,84 дюймів). Болванку негайно переносили (56) у піч за температури 1079°C (1975°F), яка являє собою температуру в діапазоні температур відпалювання для цього сплаву згідно із даним винаходом, і нагрівали (58) щонайменше поверхневу область сплаву до температури відпалювання. Температура болванки не знижувалася до перетину діаграми час-температура-перетворення для сигма-фази в сплаві під час кування і перенесення. Болванку витримували в печі упродовж 75 хвилин так, щоб підтримувати (60) температуру поверхневої області в діапазоні температур відпалювання упродовж періоду часу, достатнього для рекристалізації поверхневої області та розчинення будь-яких шкідливих виділень інтерметалевої фази в поверхневій області без надмірного росту зерен у сплаві. Болванку охолоджували (62) шляхом загартування у воді до кімнатної температури. Макроструктура не містить ознак нерекристалізованих зерен в області зовнішньої межі (тобто в поверхневій області) кованого бруска. Значення розміру зерна за ASTM для рівновісного зерна складає ASTM 3.

[0064] Варто розуміти, що даний опис ілюструє ті аспекти винаходу, які відповідають чіткому розумінню винаходу. Деякі аспекти, які були б очевидними для фахівців у даній області техніки і, отже, не сприяли б кращому розумінню винаходу, не були представлені з метою спрощення даного опису. Хоча у даному документі описана тільки обмежена кількість варіантів реалізації даного винаходу, фахівцеві у даній області техніки після розгляду наведеного вище опису буде зрозуміло, що можливе застосування великого числа модифікацій і варіацій винаходу. Усі такі варіації і модифікації винаходу включено у наведений вище опис і нижченаведену формулу винаходу.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб обробки супераустенітної нержавіючої сталі, що включає:  
нагрівання супераустенітної нержавіючої сталі до температури в робочому діапазоні температур, при цьому робочий діапазон температур становить від температури сольвуса виділень інтерметалевої сигма-фази супераустенітної нержавіючої сталі до температури нижче початкової температури плавлення супераустенітної нержавіючої сталі;  
обробку супераустенітної нержавіючої сталі тиском в робочому діапазоні температур;  
нагрівання щонайменше поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі до температури в робочому діапазоні температур, при цьому супераустенітну нержавіючу сталь не охолоджують до температури нижче робочого діапазону температур протягом періоду часу від згаданої обробки супераустенітної нержавіючої сталі тиском до нагрівання щонайменше поверхневої області;  
утримування поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі в робочому діапазоні температур впродовж періоду часу, достатнього для рекристалізації поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі і для мінімізації росту зерен у супераустенітній нержавіючій сталі; і  
охолодження супераустенітної нержавіючої сталі від робочого діапазону температур з такою швидкістю охолодження та до такої температури, яка мінімізує ріст зерен у супераустенітній нержавіючій сталі.  
2. Спосіб за п. 1, що додатково включає в проміжку між обробкою супераустенітної нержавіючої сталі тиском і нагріванням поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі, перенесення супераустенітної нержавіючої сталі у пристрій нагрівання.

3. Спосіб за п. 1, в якому супераустенітна нержавіюча сталь містить в масових відсотках відносно загальної маси сталі: до 0,2 вуглецю, до 20 марганцю, від 0,1 до 1,0 кремнію, від 14,0 до 28,0 хрому, від 15,0 до 38,0 нікелю, від 2,0 до 9,0 молібдену, від 0,1 до 3,0 міді, від 0,08 до 0,9 азоту, від 0,1 до 5,0 вольфраму, від 0,5 до 5,0 кобальту, до 1,0 титану, до 0,05 бору, до 0,05 фосфору, до 0,05 сірки, залізо і випадкові домішки.

4. Спосіб за п. 1, в якому супераустенітна нержавіюча сталь містить в масових відсотках відносно загальної маси сталі: до 0,05 вуглецю, до 1,0 кремнію, від 10 до 20 марганцю, від 13,5 до 18,0 хрому, від 1,0 до 4,0 нікелю, від 1,5 до 3,5 молібдену, від 0,2 до 0,4 азоту, залізо і випадкові домішки.

5. Спосіб за п. 1, в якому супераустенітна нержавіюча сталь містить один зі сплаву UNS N08367, сплаву UNS N06600, сплаву UNS N06975, сплаву UNS N06625, сплаву UNS N08800, сплаву UNS N08810, сплаву UNS N08811, сплаву UNS N08825, сплаву UNS N06985, сплаву UNS N08535, сплаву UNS N06255 і сплаву UNS S31603.

6. Спосіб за п. 1, в якому обробка супераустенітної нержавіючої сталі тиском включає щонайменше одне із кування, прокатки, прокатки на блюмінгу, пресування і формування супераустенітної нержавіючої сталі.

7. Спосіб за п. 1, в якому обробка супераустенітної нержавіючої сталі включає щонайменше одне із вальцювання, витягування, обтискання, кування у відкритих штампах, кування із матричними штампами, кування на пресі, автоматичного гарячого кування, радіального кування і висадки супераустенітної нержавіючої сталі.

8. Спосіб за п. 1, в якому нагрівання щонайменше поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі включає щонайменше одне із нагрівання в печі, нагрівання в полум'ї і індукційного нагрівання поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі.

9. Спосіб за п. 1, в якому витримування поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі в робочому діапазоні температур впродовж періоду часу для рекристалізації поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі включає витримування поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі в робочому діапазоні температур від 5 хвилин до 60 хвилин.

10. Спосіб за п. 1, в якому швидкість охолодження включає діапазон від 0,3 градуса Фаренгейта на хвилину до 10 градусів Фаренгейта на хвилину (від 0,17 °C/хв. до 5,6 °C/хв.).

11. Спосіб за п. 1, в якому: нагрівання супераустенітної нержавіючої сталі до робочого діапазону температур включає нагрівання супераустенітної нержавіючої сталі до діапазону температур від температури сольвусу виділень інтерметалевої сигма-фази супераустенітної нержавіючої сталі до температури нижче початкової температури плавлення супераустенітної нержавіючої сталі;

робочий діапазон температур для обробки супераустенітної нержавіючої сталі тиском становить від температури вище температури апексу діаграми час-температура-перетворення для виділень інтерметалевої сигма-фази супераустенітної нержавіючої сталі до температури нижче початкової температури плавлення супераустенітної нержавіючої сталі;

робочий діапазон температур для витримування поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі становить від температури вище температури апексу діаграми час-температура-перетворення для виділень інтерметалевої сигма-фази супераустенітної нержавіючої сталі до температури нижче початкової температури плавлення супераустенітної нержавіючої сталі; і

температура супераустенітної нержавіючої сталі не перетинає діаграму час-температура-перетворення для виділень інтерметалевої сигма-фази супераустенітної нержавіючої сталі під час обробки супераустенітної нержавіючої сталі і перед нагріванням щонайменше однієї поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі.

12. Спосіб за п. 11, в якому обробка супераустенітної нержавіючої сталі тиском включає щонайменше одне із кування, прокатки, прокатки на блюмінгу, пресування і формування супераустенітної нержавіючої сталі.

13. Спосіб за п. 11, в якому обробка супераустенітної нержавіючої сталі тиском включає щонайменше одне із вальцювання, витягування, обтискання, кування у відкритих штампах, кування із матричними штампами, кування на пресі, автоматичного гарячого кування, радіального кування і висадки супераустенітної нержавіючої сталі.

14. Спосіб за п. 11, в якому нагрівання поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі включає щонайменше одне із нагрівання в печі, нагрівання в полум'ї і індукційного нагрівання поверхневої області.

15. Спосіб за п. 11, в якому витримування поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі в робочому діапазоні температур включає витримування поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі в робочому діапазоні температур впродовж часу,

достатнього для рекристалізації поверхневої області, розчинення виділень інтерметалевої сигма-фази супераустенітної нержавіючої сталі у поверхневій області та мінімізації росту зерен у супераустенітній нержавіючій сталі.

16. Спосіб за п. 11, в якому витримування поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі в робочому діапазоні температур включає витримування поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі в робочому діапазоні температур впродовж від 5 хвилин до 60 хвилин.

17. Спосіб за п. 11, в якому охолодження супераустенітної нержавіючої сталі включає охолодження зі швидкістю, достатньою для перешкоджання появі виділень інтерметалевої сигма-фази у супераустенітній нержавіючій сталі.

18. Спосіб за п. 11, в якому швидкість охолодження знаходиться в діапазоні від 0,3 градуса Фаренгейта на хвилину до 10 градусів Фаренгейта на хвилину (від 0,17 °C/хв. до 5,6 °C/хв.).

19. Спосіб за п. 11, в якому охолодження супераустенітної нержавіючої сталі включає одне із загартування, примусового повітряного охолодження і повітряного охолодження супераустенітної нержавіючої сталі.

20. Спосіб за п. 11, в якому охолодження супераустенітної нержавіючої сталі включає одне із загартування у воді і загартування в маслі супераустенітної нержавіючої сталі.

21. Спосіб за п. 11, в якому супераустенітна нержавіюча сталь містить один зі сплаву UNS N08367, сплаву UNS N06600, сплаву UNS N06975, сплаву UNS N06625, сплаву UNS N08800, сплаву UNS N08810, сплаву UNS N08811, сплаву UNS N08825, сплаву UNS N06985, сплаву UNS N08535, сплаву UNS N06255 і сплаву UNS S31603.

22. Спосіб обробки супераустенітної нержавіючої сталі, що включає:

нагрівання супераустенітної нержавіючої сталі до температури розчинення виділень інтерметалевої фази в діапазоні температур розчинення виділень інтерметалевої фази, при цьому діапазон температур розчинення виділень інтерметалевої фази становить від температури сольвусу виділень інтерметалевої фази супераустенітної нержавіючої сталі до температури трохи нижче початкової температури плавлення супераустенітної нержавіючої сталі;

витримування супераустенітної нержавіючої сталі в діапазоні температур розчинення виділень інтерметалевої фази впродовж часу, достатнього для розчинення виділень інтерметалевої фази і для мінімізації росту зерен у супераустенітній нержавіючій сталі;

обробку супераустенітної нержавіючої сталі тиском за робочої температури в робочому діапазоні температур від температури трохи вище температури апексу діаграми час-температура-перетворення для виділень інтерметалевої фази супераустенітної нержавіючої сталі до температури трохи нижче початкової температури плавлення супераустенітної нержавіючої сталі;

нагрівання щонайменше поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі до температури в діапазоні температур відпалювання від температури трохи вище температури апекса діаграми час-температура-перетворення для виділень інтерметалевої фази супераустенітної нержавіючої сталі до температури трохи нижче початкової температури плавлення супераустенітної нержавіючої сталі, при цьому температуру супераустенітної нержавіючої сталі не знижують до перетину діаграми час-температура-перетворення впродовж обробки сталі тиском і перед нагріванням щонайменше поверхневої області сталі до температури в діапазоні температур відпалювання, при цьому супераустенітну нержавіючу сталь не охолоджують до температури апекса протягом періоду часу від обробки супераустенітної нержавіючої сталі тиском до нагрівання щонайменше поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі до температури в робочому діапазоні температур;

витримування поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі в діапазоні температур відпалювання впродовж часу витримки, достатнього для рекристалізації поверхневої області та мінімізації росту зерен у супераустенітній нержавіючій сталі; і

охолодження супераустенітної нержавіючої сталі до температури охолодження з такою швидкістю охолодження та до такої температури, яка перешкоджає утворенню виділень інтерметалевої фази і мінімізує ріст зерен.

23. Спосіб за п. 22, в якому виділення інтерметалевої фази включають сигма-фазу.

24. Спосіб за п. 22, що додатково включає, в проміжку між обробкою супераустенітної нержавіючої сталі тиском і нагріванням щонайменше поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі, перенесення супераустенітної нержавіючої сталі у пристрій нагрівання.

25. Спосіб за п. 22, в якому обробка супераустенітної нержавіючої сталі тиском включає щонайменше одне із кування, прокатки, прокатки на блюмінгу, пресування і формування супераустенітної нержавіючої сталі.

26. Спосіб за п. 22, в якому обробка супераустенітної нержавіючої сталі тиском включає щонайменше одне із вальцювання, витягування, обтискання, кування у відкритих штампах, кування із матричними штампами, кування на пресі, автоматичного гарячого кування, радіального кування і висадки супераустенітної нержавіючої сталі.
- 5 27. Спосіб за п. 22, в якому обробка супераустенітної нержавіючої сталі тиском включає радіальне кування супераустенітної нержавіючої сталі.
28. Спосіб за п. 22, в якому нагрівання поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі включає щонайменше одне із нагрівання в печі, нагрівання в полум'ї й індукційного нагрівання поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі.
- 10 29. Спосіб за п. 22, в якому витримування поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі в діапазоні температур відпалювання включає витримування поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі в діапазоні температур відпалювання впродовж часу, достатнього для рекристалізації поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі і для мінімізації росту зерен.
- 15 30. Спосіб за п. 22, в якому витримування поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі в діапазоні температур відпалювання впродовж часу витримки для рекристалізації поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі включає витримування поверхневої області супераустенітної нержавіючої сталі в діапазоні температур відпалювання впродовж від 1 хвилини до 2 годин.
- 20 31. Спосіб за п. 22, в якому охолодження супераустенітної нержавіючої сталі включає одне із загартування, примусового повітряного охолодження і повітряного охолодження супераустенітної нержавіючої сталі.
32. Спосіб за п. 23, в якому охолодження супераустенітної нержавіючої сталі включає одне із загартування у воді та загартування в маслі супераустенітної нержавіючої сталі.
- 25 33. Спосіб за п. 22, в якому швидкість охолодження знаходиться в діапазоні від 0,3 градуса Фаренгейта на хвилину до 10 градусів Фаренгейта на хвилину (від 0,17 °C/хв. до 5,6 °C/хв.).
34. Спосіб за п. 22, в якому супераустенітна нержавіюча сталь містить у масових відсотках відносно загальної маси сталі: до 0,2 вуглецю, до 20 марганцю, від 0,1 до 1,0 кремнію, від 14,0 до 28,0 хрому, від 15,0 до 38,0 нікелю, від 2,0 до 9,0 молібдену, від 0,1 до 3,0 міді, від 0,08 до 0,9 азоту, від 0,1 до 5,0 вольфраму, від 0,5 до 5,0 кобальту, до 1,0 титану, до 0,05 бору, до 0,05 фосфору, до 0,05 сірки, залізо і випадкові домішки.
- 30 35. Супераустенітна нержавіюча сталь, що пройшла гарячу обробку тиском, яка має: склад, що містить у масових відсотках відносно загальної маси сталі: до 0,2 вуглецю, до 20 марганцю, від 0,1 до 1,0 кремнію, від 14,0 до 28,0 хрому, від 15,0 до 38,0 нікелю, від 2,0 до 9,0 молібдену, від 0,1 до 3,0 міді, від 0,08 до 0,9 азоту, від 0,1 до 5,0 вольфраму, від 0,5 до 5,0 кобальту, до 1,0 титану, до 0,05 бору, до 0,05 фосфору, до 0,05 сірки, залізо і випадкові домішки; при цьому супераустенітна нержавіюча сталь оброблена відповідно до способу за будь-яким з пп. 1-34 в рівновісну рекристалізовану структуру зерен на всьому поперечному перерізі супераустенітної нержавіючої сталі, що включає середній розмір зерен, який має значення розміру зерен ASTM в діапазоні від ASTM 00 до ASTM 3, відповідно до специфікації ASTM E112-12;
- 40 при цьому рівновісна рекристалізована структура зерен практично не містить виділень інтерметалевої сигма-фази.
36. Прокат, який містить супераустенітну нержавіючу сталь, яка пройшла гарячу обробку тиском, за п. 35.
- 45 37. Прокат за п. 36, причому прокат вибраний із прутка, пластини, листа і пресованого профілю.

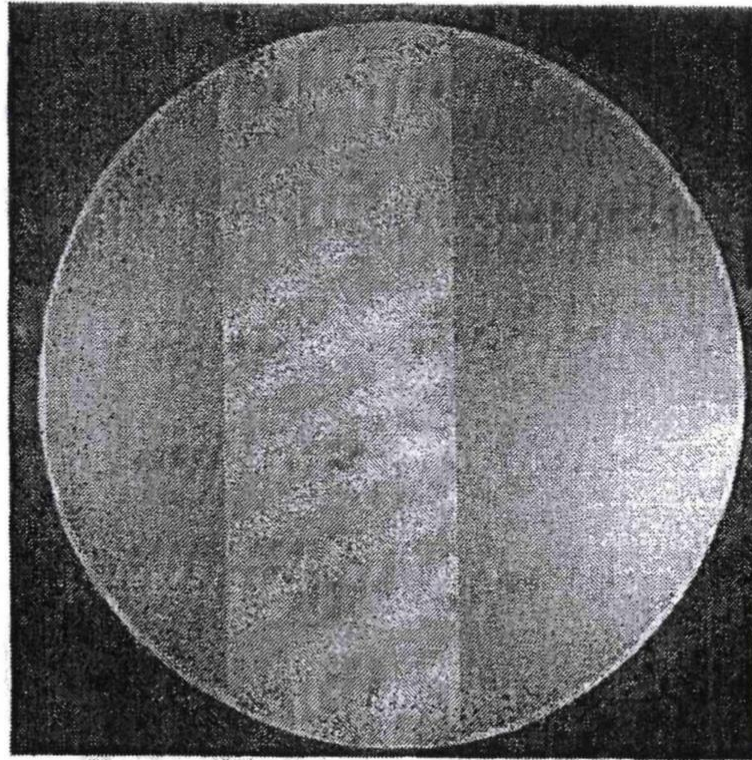


Fig.1

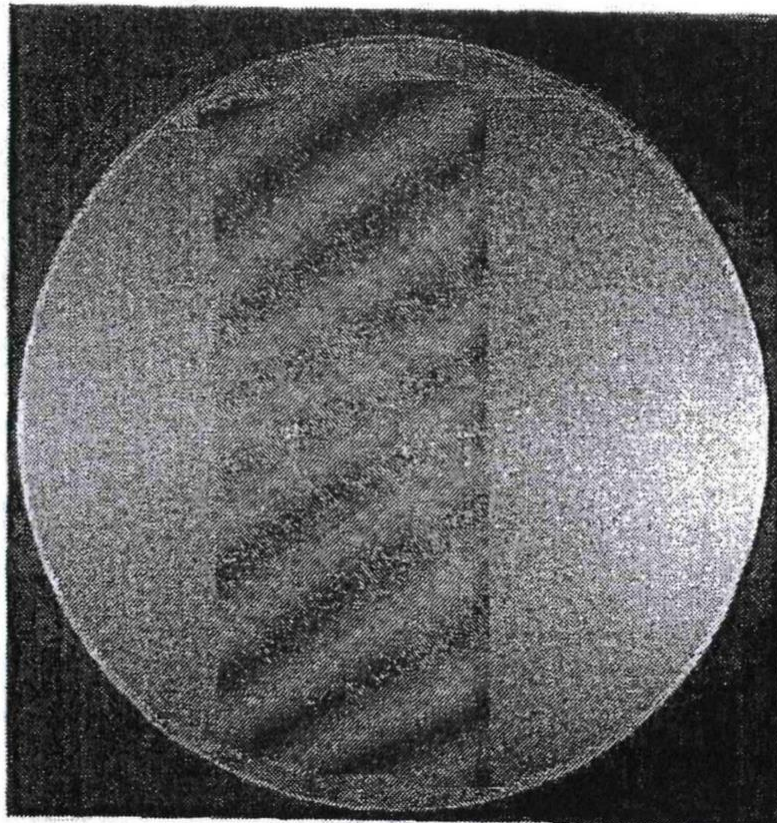
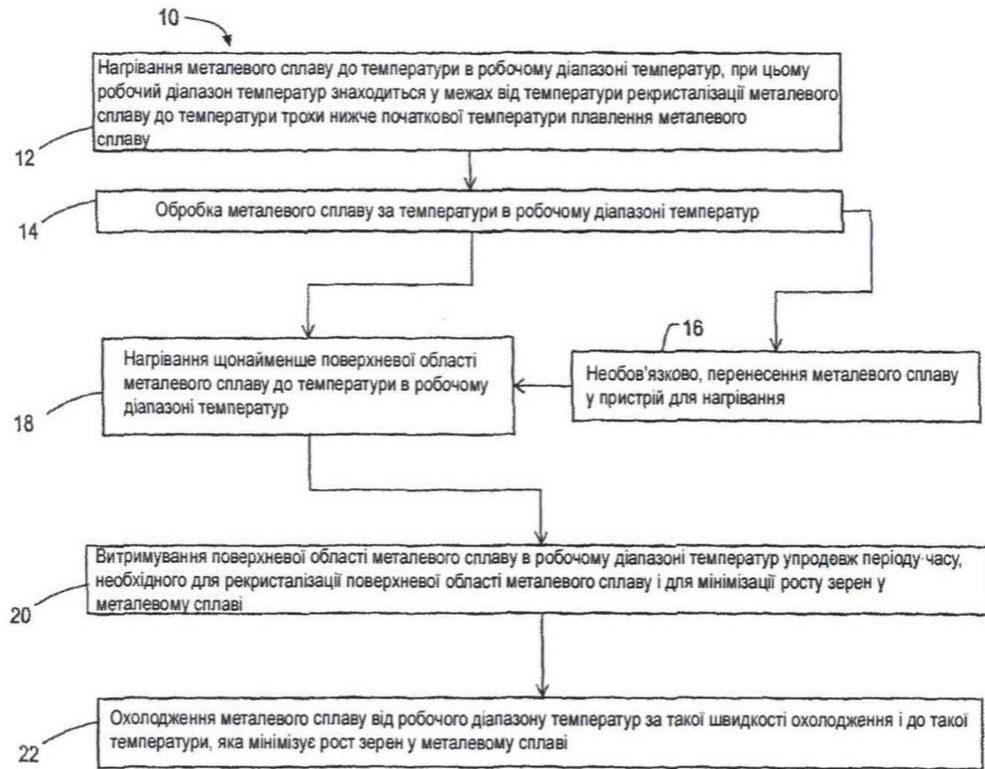
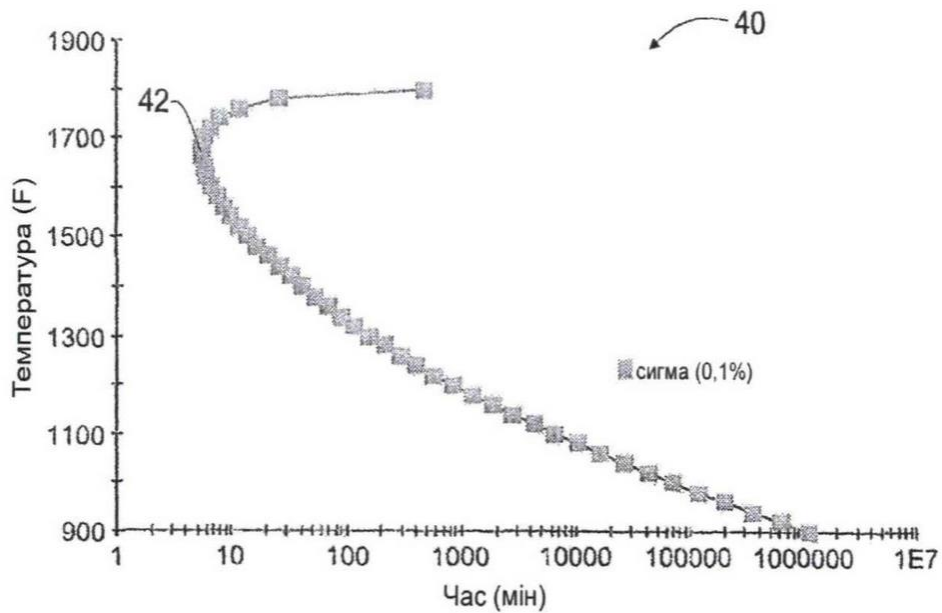


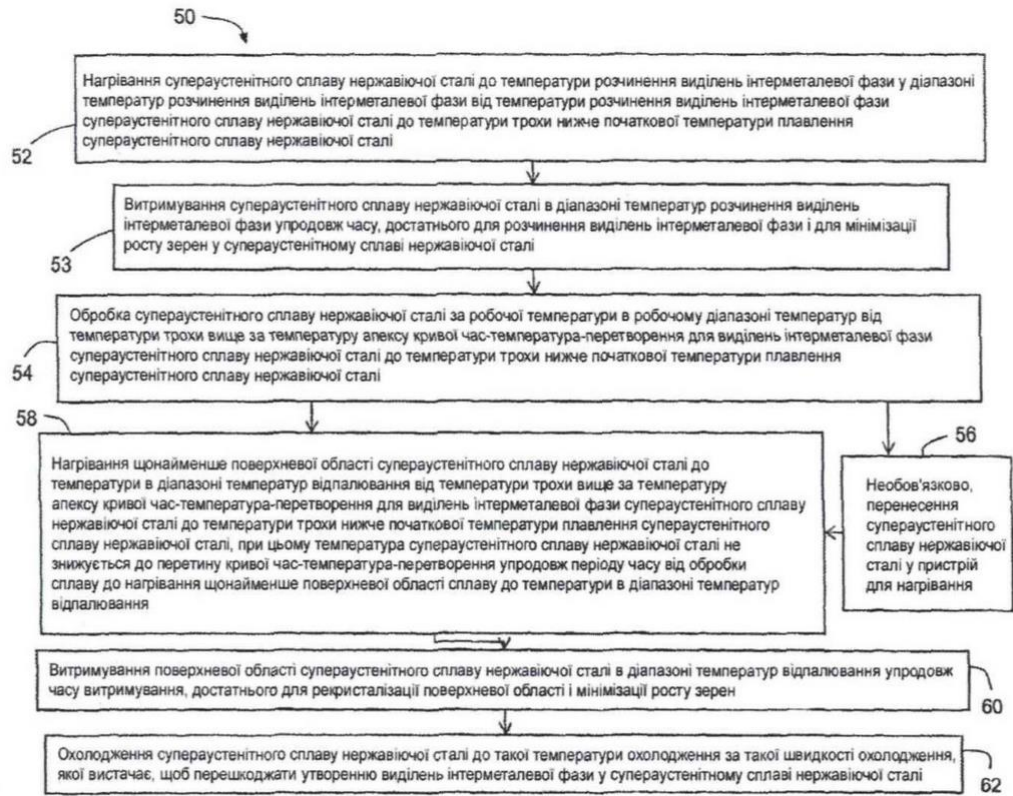
Fig.2



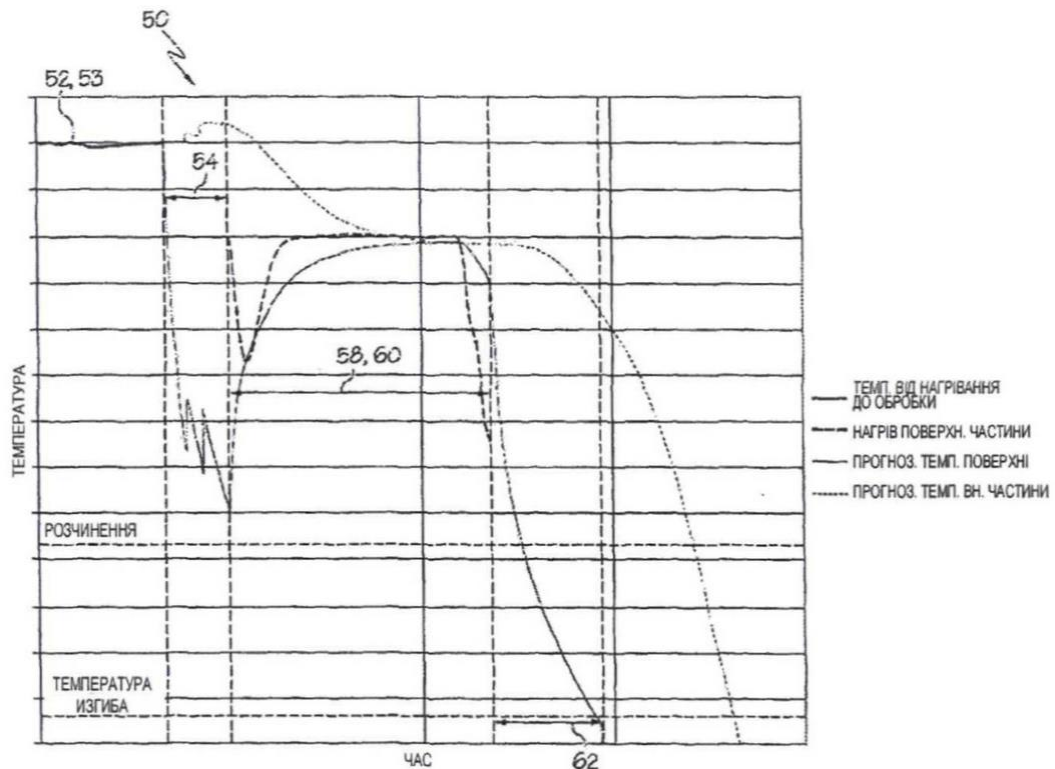
Фіг.3



Фіг.4



Фіг.5



Фіг.6

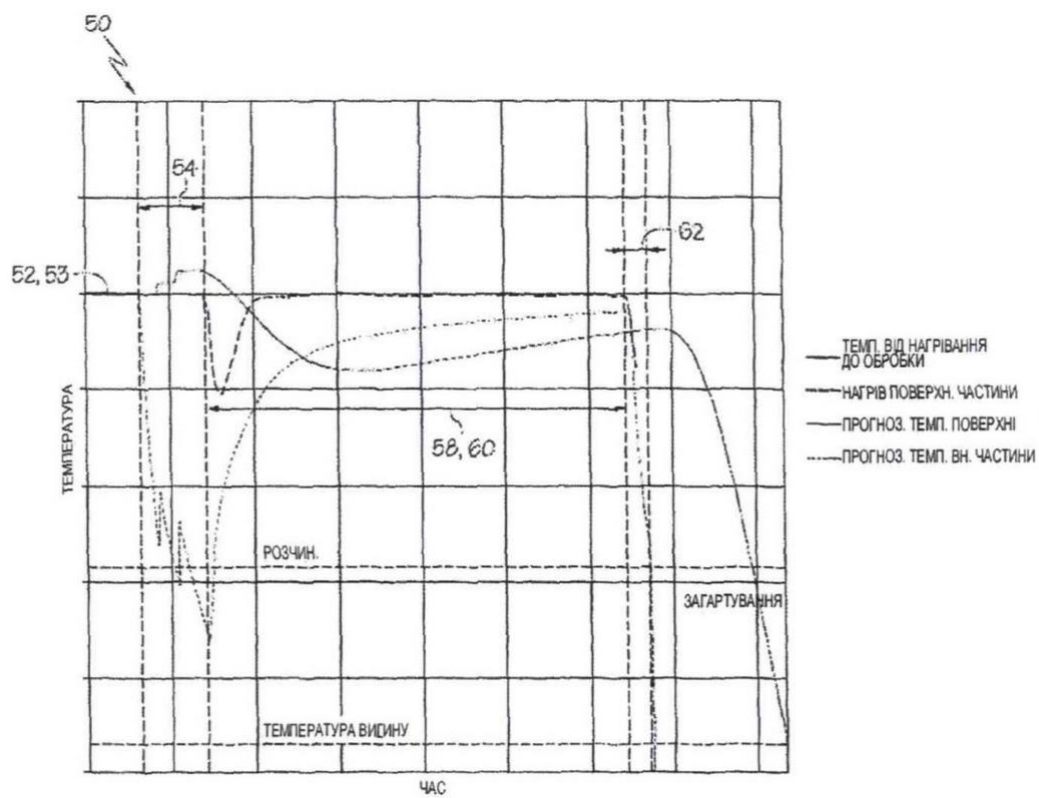


Fig.7

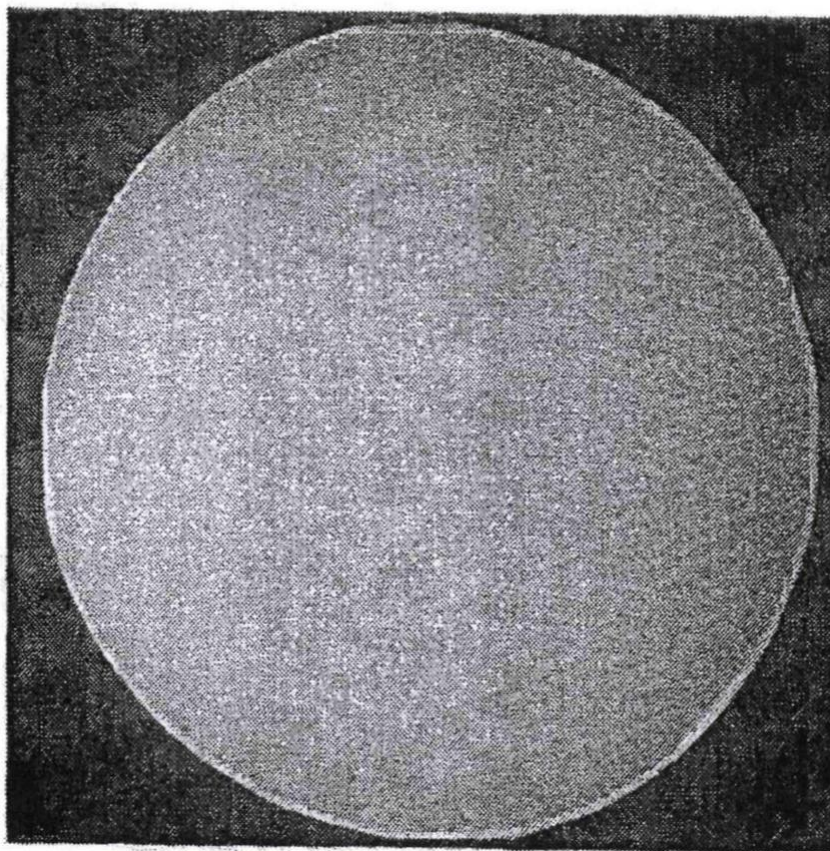
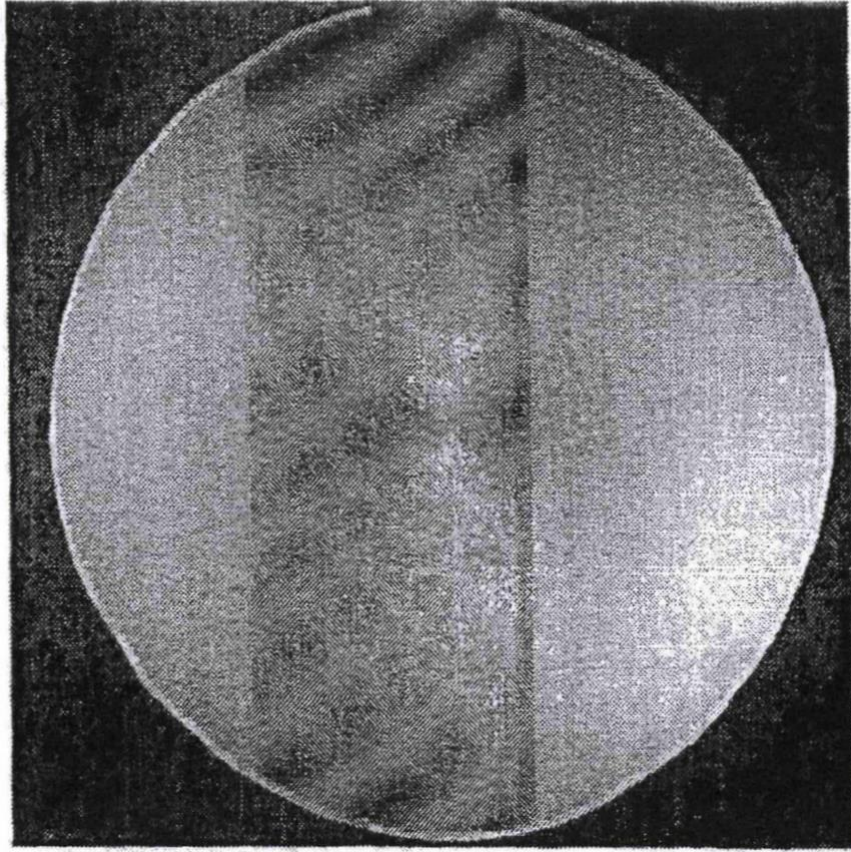


Fig.8



**Fig.9**

---

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

---

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,  
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

---

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