



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 143971

(13) U

(51) МПК

C21D 1/26 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2020 00940**

(22) Дата подання заявки: **14.02.2020**

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **25.08.2020**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **25.08.2020, Бюл.№ 16**

(72) Винахідник(и):

**Іващенко Валерій Петрович (UA),
Швачич Геннадій Григорович (UA),
Соболенко Марія Олександрівна (UA),
Гуль Юрій Петрович (UA),
Соболенко Олександр Вікторович (UA),
Мороз Дмитро Максимович (UA),
Кокашинська Галина Вікторівна (UA)**

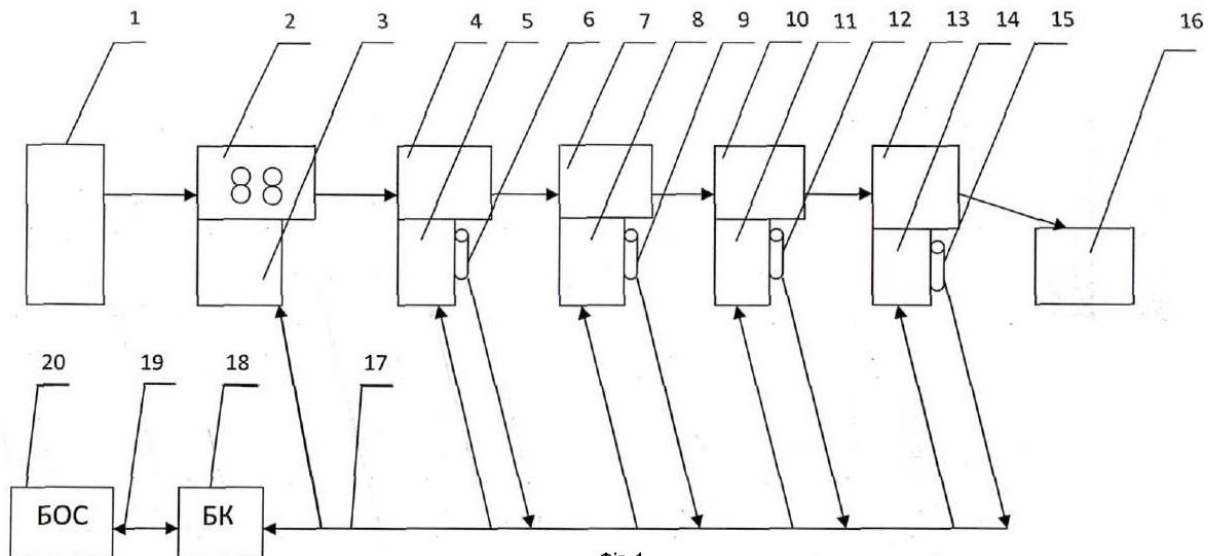
(73) Власник(и):

**НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА
АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ,
просп. Гагаріна, 4, м. Дніпро-5, 49600 (UA)**

(54) УСТАНОВКА ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ СФЕРОЇДИЗУЮЧОГО ВІДПАЛЮВАННЯ СТАЛІ

(57) Реферат:

Установка для інтенсифікації сфероїдизуючого відпалювання сталі містить розмотувальний пристрій, правильно-тяговий пристрій, нагрівальний пристрій, виконаний у вигляді генератора, що з'єднаний з індуктором, камеру ізотермічної витримки, камеру регламентованого підстуджування (вони оснащені пірометрами та відповідними виконавчими пристроями), блок керування з виконавчими пристроями, інформаційний двонапрямний інтерфейс збору даних. Установка також містить камеру неізотермічної витримки з пірометром та виконавчим пристроєм, багатопроцесорну обчислювальну систему зі спеціально орієнтованим програмним забезпеченням, керованим комутатором InfiniBand, систему локального збереження результатів та проміжних обчислень, механізм резервування ключових компонентів.



UA 143971 U

UA 143971 U

Корисна модель призначена для термічної обробки сталевго виробу та може застосовуватися для сфероїдизуючого відпалювання сталі, яка використовується при виготовленні високоміцних кріпильних виробів методом холодного об'ємного штампування (ХОШ) без завершальної термічної обробки.

5 Перспективним напрямком інтенсифікації процесу відпалювання сталевих виробів є використання електроконтактного або індукційного нагрівання металу, який обробляється. Безперечні переваги електротермічної обробки такі: надання сталевим виробам високого комплексу властивостей, що зумовлюється специфічним впливом високої інтенсивності нагрівання на механізм і кінетику структурних змін у сталі, обмеженим окалиноутворенням і знеуглецюванням, уникненням забруднень довкілля, скороченням тривалості термічної обробки в десятки разів. Крім цього, що найголовніше, вказані способи електротермічної обробки сталі дозволяють здійснювати термічну обробку в автоматизованих потокових лініях (Гуль Ю.П. Интенсификация сфероидизирующего отжига стали в поточных линиях/ Ю.П. Гуль, М.О. Соболенко// Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вып. 15 58. - Дн-вск: ПГАСА, 2011. - С. 197-202). При реалізації режиму сфероїдизуючого відпалювання сталі в потоковій лінії, значний внесок у скорочення загальної тривалості відпалювання надають як збільшення швидкості нагрівання, так і збільшення швидкостей охолодження на відповідних стадіях режиму термічної обробки. Тому практична реалізація сфероїдизуючого відпалювання в потокових лініях вимагає, насамперед, розв'язання нових технічних задач.

20 Використання індукційного нагрівання в лініях для термічної обробки дроту вже відоме у виробничій практиці (Бобылев М.В. Подготовка структуры при электротермообработке сталей, применяемых для высадки высокопрочных крепежных изделий/ М.В. Бобылев, В.Е. Гринберг, Д.М. Закиров, Ю.А. Лавриненко// Сталь. - 1996. - № 11. - С. 54-60). Для реалізації такої технології розроблено установку, що складається з розмотувального, правильного й подавального пристроїв, тиристорного перетворювача та індуктора, пристрою формування витка, термостата для уповільненого охолодження й п'ятипозиційної каруселі. Цю лінію призначено для термічної обробки, у тому числі низьковуглецевих сталей, з метою надання їм двофазної структури. Термооброблений дріт призначається для виготовлення високоміцних кріпильних виробів без завершального термозміцнення.

30 Проте описаний процес термічної обробки при використанні його в технології сфероїдизуючого й рекристалізаційного відпалювання має певні недоліки, а саме:

1. Відсутність контролю температурних режимів нагрівання, витримки й охолодження під час термічної обробки металу.

35 Це пояснюється тим, що в установці з нагріванням струмами високої частоти (СВЧ) відсутні засоби виміру, контролю та корегування необхідних температурних режимів.

2. Технологічний процес обробки металу не передбачає проведення рекристалізації та сфероїдизуючого відпалювання в області перлітових структурних перетворень.

40 Причина такого недоліку полягає в тому, що доевтектійні й евтектійні сталі характеризуються дуже вузьким інтервалом температур відпалювання для набуття ними структури зернистого перліту, тобто коли в металі утворюється й зберігається необхідна кількість карбідів зернистої морфології необхідного розміру. В той же час відповідно до еталону мікроструктури кількість зернистого перліту в металі має становити не менше 80 %. Через відсутність засобів контролю температурних режимів структура оброблюваного металу, а значить і його механічні властивості, можуть не завжди задовольняти вимогам, що висуюються до сталей, які обробляються методом ХОШ.

45 3. Режим відпалювання сталі передбачає значну тривалість технологічного процесу (за даними авторів, від 30 до 90 хвилин), що не дозволяє синхронізувати замкнутий цикл виготовлення кріпильних виробів.

50 Пояснити цю обставину можна тим, що технологічний процес відпалювання відзначається уповільненим охолодженням в камері, яка обігривається. Унаслідок того, що в запропонованій технологічній лінії відсутній режим вимірювання, контролю та регулювання температур, процес уповільненого охолодження забезпечує необхідні структурні перетворення гарячекатаної сталі.

55 Не дає значного скорочення загальної тривалості процесу відпалювання й відоме технічне рішення - установка для термічної обробки каліброваної сталі (патент РФ 2137847, кл. С21D 1/32, С21D 9/60, С21D 11/00, 1999), яка складається з таких елементів: розмотувальний пристрій, правильно-тяговий пристрій, індуктор нагрівального пристрою, генератор, блок автоматичного регулювання температури в комплекті з пристроєм керування, входи якого з'єднані з пірометром, а виходи з генератором; блок регламентованого підстуджування дроту, оснащений пристроєм керування й подачі водоповітряної суміші; пірометр і задатчик

температури, входи якого з'єднані з пірометром, а виходи з пристроєм керування і подачі водоповітряної суміші; а також терморегулювальний екран і термокамера.

Виявлено такі недоліки запропонованої установки для термічної обробки каліброваної сталі в її застосуванні в процесі сфероїдуючого та рекристалізаційного відпалювання з частковою фазовою перекристалізацією:

1. В установці не враховано особливості термічної обробки сталі, пов'язані із застосуванням інтервалу температур відпалювання для набуття нею структури сфероїдизивного перліту (Долженков І.Е. Сфероїдизация карбидов в стали/ І.Е. Долженков, І.І. Долженков. - М.: Металлургия, 1984. - 143 с.).

Цей недолік можна пояснити тим, що процес сфероїдизації сталі здійснюється в термокамері з тривалим режимом охолодження металу й значним споживанням електроенергії.

2. Режим відпалювання сталей характеризується значною тривалістю технологічного процесу.

Причина такого недоліку полягає в тому, що набуття сталлю необхідної структури відбувається в інтервалі підкритичних температур, а це зумовлює тривалу ізотермічну витримку та створення необхідного режиму охолодження (за даними авторів швидкість охолодження змінюється від 0,05 до 0,5 °С/с) у спеціальному пристрої (термокамері).

3. Відсутня можливість контролювати температуру нагрівання, витримки й охолодження сталі в межах площини перерізу зразка.

Ця обставина зумовлена тим, що температура нагрівання, витримки й охолодження матеріалу контролюється пірометрами, які здатні вимірювати температуру поверхні металу і не мають можливості контролювати температурний режим усередині зразка, що може призводити до недогрівання або перегрівання металу.

4. Висока енергомідкість технологічного процесу.

Такий недолік викликаний тим, що установка для термічної обробки каліброваної сталі, оснащена додатковим терморегульованим керамічним екраном, температура в якому регулюється за допомогою спіральних нагрівачів, а також установку обладнано спеціальним пристроєм для забезпечення необхідного режиму охолодження (термокамерою). Зазначені пристрої характеризуються високим енергоспоживанням.

Найбільш близьким аналогом до запропонованого технічного рішення є установка для термічної обробки довгомірного сталевого виробу (патент на корисну модель України № 61944, МПК С21D 1/26 G06F 15/16, 2011), яка містить розмотувальний пристрій, правильно-тяговий пристрій, нагрівальний пристрій, виконаний у вигляді генератора, що з'єднаний з індуктором, камеру регламентованого підстуджування виробу (вони оснащені пірометрами та відповідними виконавчими пристроями), і додатково забезпечена камерами ізотермічної витримки, пристроєм інтенсивної сфероїдизації, пірометрами, які з'єднуються з блоком керування та відповідними виконавчими пристроями; установка також оснащена персональним обчислювальним кластером зі встановленим на ньому спеціально орієнтованим програмним забезпеченням, а кластер з'єднано через інформаційний двонапрямний інтерфейс зв'язку з блоком керування; а також інформаційний двонапрямний інтерфейс збору даних, що приєднується до блока керування та виконавчих пристроїв.

Виявлено такі недоліки зазначеної установки для термічної обробки довгомірного сталевого виробу в її застосуванні в процесі сфероїдуючого й рекристалізаційного відпалювання:

1. Безпосередньо стадія сфероїдизації цементиту характеризується деякою тривалістю в загальному періоду всього процесу термічної обробки сталі (не менш 120 с.).

Причина такого недоліку полягає в тому, що режим відпалювання сталі виконується тільки за рахунок зовнішнього теплоносія. Для отримання рівномірного розподілу сфероїдизованих часток карбідів у феритній матриці необхідно послідовно декілька разів виконувати операцію ізотермічної витримки в різних температурних умовах. В цьому випадку загальна тривалість безпосередньо процесу сфероїдизації досягає 120-600 с і більше.

2. В установці не враховано особливості сфероїдизуючого відпалювання сталі, що пов'язані з використанням температурних режимів, які забезпечують сфероїдизацію цементиту за рахунок особливостей змінення значень термодинамічного (ТФ) та кінетичного факторів (КФ) у процесі сфероїдизації сталі.

Такий недолік пояснюється тим, що інтенсивність процесу сфероїдизації цементиту значною мірою залежить від співвідношень значень ТФ і КФ: зменшення ТФ із зростанням температури та тривалістю неізотермічної витримки компенсується збільшенням КФ при зростанні температури. Такий вплив зазначених факторів стимулює та максимально прискорює процес сфероїдизації. Проте реалізація такого підходу щодо інтенсифікації сфероїдизації цементиту можлива лише за рахунок неізотермічної витримки з підвищенням температури з певною

швидкістю нагрівання металу. В даній установці не передбачено використання неізотермічної витримки.

3. В установці відсутня можливість локального підвищення температури в мікрообластях біля міжфазної межі ферит-цементит, тобто саме там, де швидкість дифузії компонентів є вирішальною для необхідних структурних перетворень. Ця обставина пояснюється тим, що фізичні особливості прискорення сфероїдизації цементиту можливі лише за рахунок внутрішнього теплоносія з отриманням відомого ефекту Гевелінга для гетерофазних структур. Зазначений режим відпалювання сталі в наведеній установці не можливий, а значить, за таких обставин, процес інтенсифікації сфероїдизації сталі стає не здійсненим.

4. В установці відсутня можливість контролю швидкоплинних процесів термічної обробки сталі.

Пояснити цю обставину можна тим, що технологічний процес відпалювання контролюється персональним обчислювальним кластером, який для обміну даними між процесорами використовує мережеву технологію GE (Gigabit Ethernet), яка унеможливорює контролювати швидкоплинні процеси, а також не передбачає використання системи локального збереження результатів і проміжних обчислень та механізм резервування ключових компонентів.

Задача корисної моделі полягає в інтенсифікації сфероїдизуючого відпалювання сталі за рахунок застосування неізотермічної витримки та використання для нагрівання металу внутрішнього теплоносія з суттєвим скороченням тривалості процесу сфероїдизації відпалювання й одночасним поліпшенням технологічних властивостей сталевого виробу - надання йому високої дисперсності та однорідності структури на всій площині його перерізу. Такий підхід дозволяє використовувати запропоновану установку в модульних потокових лініях і автоматизованих комплексах підготовки сталей до ХОШ.

Поставлена задача вирішується тим, що впровадження зазначеної установки полягає в інтенсифікації сфероїдизації сталі, що забезпечує значне скорочення тривалості процесу відпалювання металу, при цьому швидке локальне підвищення температури, яке відбувається в процесі неізотермічної витримки переохолодженого аустеніту, призводить до зростання швидкості дифузії структурних компонентів з одночасним впливом змін співвідношення значень ТФ та КФ. При таких умовах швидкість процесу сфероїдизуючого відпалювання сталі зростає на декілька порядків.

Поставлена задача вирішується тим, що установка для інтенсифікації сфероїдизуючого відпалювання сталі містить розмотувальний пристрій, правильно-тяговий пристрій, нагрівальний пристрій, виконаний у вигляді генератора, що з'єднаний з індуктором, камеру ізотермічної витримки, камеру регламентованого підстуджування (вони оснащені пірометрами та відповідними виконавчими пристроями), блок керування з виконавчими пристроями, інформаційний двонапрямний інтерфейс збору даних, згідно з корисною моделлю вона ще містить камеру неізотермічної витримки з пірометром та виконавчим пристроєм, багатопроцесорну обчислювальну систему зі спеціально орієнтованим програмним забезпеченням, керованим комутатором InfiniBand для обміну даними між процесорами, систему локального збереження результатів та проміжних обчислень, механізм резервування ключових компонентів. Багатопроцесорна обчислювальна система (БОС) виконана у вигляді окремого модуля і дозволяє за допомогою спеціального програмного забезпечення задавати й контролювати необхідні температурні режими на всій площині перерізу зразка при його швидкісному нагріванні, витримці й інтенсивному охолодженні. Також БОС має на меті контролювати параметри режиму неізотермічної витримки та тепловий режим обробки сталі в інтервалі температур відпалювання.

Використання БОС з її програмним забезпеченням дозволяє на основі математичної моделі процесу нагрівання зразка (G. Shlomchak, Automated control of temperature regimes of alloyed steel product based on multiprocessors computing systems/ G. Shlomchak, G. Shvachyuch, B. Moroz, E. Fedorov, D. Kozenkov// Metalurgiya, № 58 (2019) 3-4, p. 299-302) вже у виробничих умовах контролювати нагрівання сталевого виробу, наприклад дроту до переходу в аустенітну область до температури фазової перекристалізації на всій площині його перерізу. Потім, розв'язавши обернену задачу теплопровідності (Shvachyuch G.G. Parallel computational algorithms in thermal processes in metallurgy and mining/ Shvachyuch G.G., Ivaschenko O.V., Busygin G.G.// Naukovyi Visnyk Natsionalnogo Hirnychogo Universytetu, Scientific and technical Journal, № 4 (166), 2018. - p. 129-137), здійснювати контроль параметрів режимів ізотермічної витримки та неізотермічної витримки в інтервалі температур відпалювання на всій площині перерізу дроту. Застосування установки для інтенсифікації сфероїдизуючого відпалювання сталі зумовлює рівномірний розподіл глобул цементиту у феритній матриці з одночасним наданням металу високої

дисперсності й однорідності структури. Це забезпечує такі механічні властивості металу, які необхідні для його подальшої обробки методом ХОШ.

Таким чином, істотні відмінні ознаки запропонованої установки полягають в тому, що:

5 по-перше, за рахунок блока неізотермічної витримки з підвищенням температури забезпечується інтенсифікація сфероїдируючого відпалювання сталі зі значним скороченням тривалості процесу термічної обробки;

10 по-друге, за рахунок БОС з її спеціально орієнтованими програмними засобами, забезпечується можливість для контролю температури нагрівання, витримки та охолодження на всій площині перерізу та за довжиною сталевого виробу, що створює ті властивості сталі, які необхідні для її подальшої обробки методом ХОШ.

Розкриття суті корисної моделі й основних принципів роботи установки для інтенсифікації сфероїдируючого відпалювання сталі подається за допомогою таких ілюстрацій:

Фіг. 1 - блок-схема установки для інтенсифікації сфероїдируючого відпалювання сталі;

Фіг. 2 - блок-схема багатопроцесорної обчислювальної системи;

15 Фіг. 3 - блок-схема контурів системи керування установкою для інтенсифікації сфероїдируючого відпалювання сталі;

Фіг. 4 - графік режиму термічної обробки сталі;

20 Фіг. 5 - зміни в мікроструктурі зразка під впливом експерименту 1 (а - початкова ферито-перлітно-бейнітна структура, $\times 500$; б - структура після відпалювання - перліт зернистий (2 бали), $\times 500$);

Фіг. 6 - зміни в мікроструктурі зразка під впливом експерименту 2 (а - початкова ферито-бейнітна структура, $\times 500$; б - структура після відпалювання - перліт зернистий (1 бал), $\times 500$).

25 На Фіг. 1 зображено блок-схему установки для інтенсифікації сфероїдируючого відпалювання сталі, де 1 - розмотувальний пристрій; 2 - правильно-тяговий пристрій, обладнаний виконавчим механізмом 3; 4 - індуктор нагрівального пристрою з виконавчим механізмом 5; 6 - пірометр; 7 - камера ізотермічної витримки з виконавчим механізмом 8; 9 - пірометр; 10 - камера регламентованого підстуджування дроту з виконавчим механізмом 11 для регулювання подачі водоповітряної суміші; 12 - пірометр; 13 - камера неізотермічної витримки з виконавчим механізмом 14; 15 - пірометр; 16 - пристрій подачі дроту на подальший технологічний цикл; 17 - інформаційний двонапрямний інтерфейс збору даних з пристроїв 3, 6, 9, 12, 15, приєднаний до блока керування (БК) 18 та до виконавчих механізмів (3, 5, 8, 11, 14) відповідних пристроїв; 19 - інформаційний двонапрямний інтерфейс зв'язку БК 18 і БОС 20.

30 Установка для інтенсифікації сфероїдируючого відпалювання сталі працює в описаній нижче послідовності. З розмотувального пристрою 1 через правильно-тяговий пристрій 2, який працює за допомогою виконавчого механізму 3, дріт подається в індуктор нагрівального пристрою 4. В індукторі, залежно від марки сталі, геометричних розмірів заготовки та режиму термічної обробки, забезпечується нагрівання металу зі швидкістю в межах $15-20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до температур в інтервалі $725-780\text{ }^{\circ}\text{C}$. В цій зоні нагріву забезпечуються зміни структурного стану сталі, які відбуваються в аустенітній області. Температура нагрівання в індукторі контролюється пірометром 6. Підтримка та контроль температурного режиму здійснюється за допомогою БК 18 і БОС 20. Сигнал з пірометра 6 через інформаційний двонапрямний інтерфейс 17 надходить у БК 18, а потім через інформаційний двонапрямний інтерфейс 19 у БОС 20, де згідно з результатом розв'язку математичної моделі прямої задачі теплопровідності, відбувається регулювання потужності генератора 5. Потім, розігрітий до температури фазової перекристалізації, дріт потрапляє в камеру ізотермічної витримки 7. На цій ділянці установки залежно від марки сталі протягом 30-50 с підтримується зазначена температура, що забезпечує підготовку структурного стану металу до подальшої обробки. Температура в камері ізотермічної витримки 7 регулюється виконавчим механізмом 8. При цьому сигнал з пірометра 9 через інформаційний двонапрямний інтерфейс 17 надходить у БК 18, а далі через інформаційний двонапрямний інтерфейс 19 до БОС 20, де відповідно до результатів розв'язку математичної моделі ізотермічної витримки, здійснюється регулювання температурного режиму за допомогою виконавчого механізму 8. Далі дріт переходить у камеру регламентованого підстуджування 10. Залежно від режиму термічної обробки, марки сталі й діаметра дроту задається необхідна швидкість підстуджування (в межах $13-22\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$) до температур мінімальної стійкості аустеніту (від $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $480\text{ }^{\circ}\text{C}$). Зазначена ізотермічна витримка з подальшим глибоким переохолодженням аустеніту призводить до змін дисперсності складових фаз і довжини міжфазної поверхні. Таким чином створюються умови для виділення цементиту з аустеніту та відбувається збіднення аустеніту вуглецем і в результаті поліморфних перетворень здійснюється розпад аустеніту за абнормальним механізмом. Температура в камері регламентованого підстуджування 10 контролюється БК 18 і БОС 20, де з урахуванням

температури, зафіксованої пірометром 12, і відповідно до результату розв'язку математичної моделі ОЗТ, виконавчий механізм 11 подає водоповітряну суміш, збільшуючи або зменшуючи її кількість, залежно від заданого температурного режиму підстуджування. Потім дріт потрапляє в камеру неізотермічної витримки 13 з підвищенням температури в інтервал 620-650 °С із швидкістю в межах 13-22 °С/с. Задача, яка розв'язується в камері неізотермічної витримки полягає в організації швидкого нагрівання попередньо інтенсивно охолодженого дроту. Виходячи з існуючих уявлень про механізм сфероїдизації, швидке локальне підвищення температури у мікрообластях біля меж фази ферит/цементит призводить до зростання швидкості дифузії компонентів, тобто відбувається процес інтенсивної сфероїдизації цементиту з високим ступенем рівномірності розподілу його в феритній матриці. При цьому швидкість процесу сфероїдизації зростає на декілька порядків (Гуль Ю. П. Влияние коэффициента формы частиц избыточной фазы в гетерофазных сплавах на термодинамический стимул процесса сфероидизации частиц/ Ю.П. Гуль, В.Н. Цуран// Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вып. 36, ч. 3 - Дн-вск, ПГАСА, 2006. - С. 78-83). Температура в камері неізотермічної витримки регулюється виконавчим механізмом 14. Далі через пристрій подачі 16 дріт подається до наступного технологічного циклу його обробки.

Особливість блок-схеми БОС (Фіг. 2) полягає в тому, що вона містить один майстер-вузол (PM001) і N обчислювальних slave-вузлів (PN001, PN002, ..., PN00n), два керовані комутатори (SW1, IB1), реконфігуровану мережу для обміну даних між обчислювальними вузлами, систему локального збереження результатів та проміжних обчислень (TCA Controller Storage System), механізм резервування ключових компонентів, а також передбачає мережеве завантаження вузлів у мережі G1 (Gigabit Ethernet) за допомогою комутатора SW1. У майстер-вузлі та slave-вузлах застосовуються одні й ті самі комплектувальні елементи (материнські плати, процесори, мережеві плати Gigabit Ethernet, зовнішні двопортові мережеві плати InfiniBand ConnectX-3 HCA (MCX354A-FCBT). Зокрема, майстер-вузол додатково обладнано накопичувачем жорсткого диска (SSD) та DVD. Комутаційна мережа БОС підтримує чотири режими її конфігурації. Їх було орієнтовано на реалізацію граничного обміну даними, ідо відображають особливості задач, які розв'язуються за допомогою БОС. Налаштування комутатора IB1 та його конфігурування виконується майстер-вузлом за допомогою двох портів стандарту Gigabit Ethernet (IB1Gl.i1 - керування, IB1Gl.i2 - масштабування). Систему локального збереження результатів та проміжних обчислень TCA Controller Storage System під'єднано до порту 16 керованого комутатора IB1. Як конструктив було обрано єдиний корпус, що являє собою осередок обчислювальної шафи. Це пов'язане з тим, що, з одного боку, при необхідності можна декілька модулів розміщати в єдиному корпусі, а з іншого боку - при такому підході забезпечується компактність, успішне охолодження й легкий доступ до гнізд і елементів плат, які налагоджуються. БОС включає вертикальний, паралельне стосовно одне одного розташування системних плат, що відповідає ідеї "Blade"-серверів.

Особливості функціонування модуля БОС полягають в наступному. Після подачі живлення на блок (ATX) майстер-вузла та зовнішнього сигналу PUSK з панелі модуля керування П01 розпочинається запуск та ініціалізація роботи майстер-вузла БОС. Безпосередньо завантаження операційної системи (ОС) може здійснюватися з жорсткого диска або з CD/DVD-пристрою. Завантаження ОС виконується за рахунок спеціально орієнтованого конфігураційного скрипту, який налаштовує роботу DHCP-сервера. Крім того, тут визначається кількість обчислювальних вузлів системи, у разі потреби налаштовується доступ до середовища Інтернет або до внутрішньої мережі. При цьому задаються основні налаштування й параметри. Завдяки послідовній подачі напруги на блоки живлення (ATX) та ініціалізації slave-вузлів зменшується необхідна потужність блока UPS, запускаються всі обчислювальні slave-вузли та завантажуються на них ОС. Завантаженням та налаштуванням усіх обчислювальних вузлів кластера завершується робота відповідного скрипту. Після вказаних операцій система готова до виконання паралельних обчислень. Майстер-вузол (PM001) через комутатор KGI SW1 забезпечує спрямування потоку даних, пов'язаних із керуванням та діагностикою системи. В свою чергу slave-вузли відповідно до алгоритму розв'язування задач і перебігу процесів реалізують режим необхідних обчислень. Обмін даними між обчислювальними вузлами та завантаженням умов задач винесено в окрему мережу, яка організована за допомогою керованого комутатора KIB IB1. Для досягнення максимальної ефективності роботи системи використовуються одно- чи двопортові адаптери InfiniBand та здійснюється процес реконфігурації структури другої мережі відповідно до специфіки розв'язуваних задач. Результати проміжних та остаточних обчислень передаються в майстер-вузол через керований комутатор InfiniBand KIB. При цьому керування та передача відповідних даних із slave-вузлів відбувається за допомогою мережевих адаптерів HCA (Host Channel Adapters). Безпосередньо

зберігання даних обчислень з метою їх подальшої обробки виконується за допомогою мережевого адаптера TCA (Target Channel Adapters).

На Фіг. 3 подано блок-схему контурів системи керування установки для інтенсифікації сфероїдизуючого відпалювання сталі, де прийнято такі позначення: БОС - багатопроцесорна обчислювальна система; ВМ ПМ - виконавчий механізм протяжного механізму; ВМ БІВТ - виконавчі механізми блока ізотермічної витримки температури; ВМ БНВТ - виконавчий механізм блока неізотермічної витримки температури; ВМ БП - виконавчий механізм блока підстуджування; ВМ БН - виконавчий механізм блока нагрівання зразка. Така система керування має у своєму розпорядженні блоки, які дозволяють отримати інформацію про поточні параметри керованих процесів. Особливість її полягає в тому, що на кожному з чотирьох етапів технологічної обробки зразка розв'язується двовимірна задача теплопровідності. При цьому програмні засоби БОС дозволяють контролювати температурні режими, як на всій площині перерізу зразка, так і по його довжині. Контроль цих температурних режимів здійснюється в центрі площини перерізу зразка.

Для випробування функцій установки було проведено декілька експериментів. Відпрацювання конкретного режиму сфероїдизуючого відпалювання проводилося на катанці діаметром 6,5 мм із сталей марок 20Г2Р і 30Г1Р. Такі сталі широко використовуються в промисловості для виготовлення високоміцних кріпильних виробів методом ХОШ. В таблиці подано хімічний склад досліджуваних марок сталей.

Таблиця

Хімічний склад досліджуваних марок сталей 20Г2Р і 30Г1Р

Марка сталі	Масова частка елемента, %										
	C	Si	Mn	Al	Ti	S	P	Cr	Cu	B	N
20Г2Р	0,20	0,26	1,20	0,04	0,040	0,011	0,026	0,20	0,04	0,003	0,009
30Г1Р	0,30	0,30	1,02	0,02	0,017	0,007	0,024	-	-	0,0007	0,016

Режим інтенсифікації сфероїдизуючого відпалювання відпрацьовувався на лабораторній установці електроконтактного нагріву, яка обладнана пристроями водоповітряного охолодження та БОС для контролю, регулювання й реєстрації показників процесу нагрівання, витримки та охолодження металу. Дослідження мікроструктури проводили за допомогою мікроскопа "Neophot 21". Механічні властивості металу визначалися при одноосному розтягуванні за допомогою стандартної методики на машині FU-10000ez. Твердість металу визначалася по Бринеллю - на приладі ТШ-2М.

Наведемо два характерні експерименти

Експеримент 1. За початкову було взято ферито-перліто-бейнітну структуру заготовки. Процес термічної обробки сталі 20Г2Р здійснювався шляхом нагрівання заготовки в межах міжкритичної зони (A_{c1} - A_{c3}). Згідно з термокінетичною діаграмою для сталі 20Г2Р встановлено наступні критичні значення температур: $A_{c1}=725$ °C та $A_{c3}=795$ °C. Нагрівання відбувалось до такого значення: $A_{c1}+(10-30$ °C). Нагрівання металу до певних температур здійснювалось зі швидкістю $V_n=20-25$ °C/c за допомогою індуктора. На наступному етапі обробки матеріалу було реалізовано процес ізотермічної витримки протягом 30 с. Зазначені етапи режиму відпалювання дроту (інтенсивний нагрів з подальшою ізотермічною витримкою) забезпечили в короткий термін підготовку структурного стану заготовки до подальшого здійснення структурних перетворень. Далі дріт потрапляв в камеру регламентованого підстуджування де піддавався охолодженню водо повітряною сумішшю зі швидкістю $V_o=15-20$ °C/c до температури 550-520 °C. Тривалість цього етапу досягає 8-10 с. Таким температурним режимом термічної обробки металу забезпечується розпад переохолодженого аустеніту при більш низьких температурах в порівнянні зі стандартними (класичними) процесами сфероїдизації низьковуглецевих сталей. На цій стадії обробки використання високої швидкості охолодження після аустенізації до зазначених температур виключає утворення структурно вільного фериту, а перетворення аустеніту здійснюється в інтервалі бейнітного перетворення. При досягненні зазначених температур дріт потрапляє в камеру неізотермічної витримки з підвищенням температури з певною швидкістю нагрівання. Електроконтактний спосіб забезпечує швидкість нагрівання дроту в межах 15-20 °C/c до температур 620-660 °C. На цьому етапі розв'язується задача інтенсивного охолодження зразка з одночасним його підігрівом. Завдяки локальному підвищенню температури швидкість дифузії компонентів буде вирішальною для тих структурних перетворень що відбуваються в цій зоні. Тому протягом малого періоду часу (тривалість

неізотермічної витримки становить 15-20 с.) спостерігається стрімке прискорення сфероїдизації цементиту з одночасним високим ступенем рівномірності розподілу подрібнених глобулів цементиту в феритній матриці. В подальшому відбувається остаточне охолодження матеріалу без будь-якої постійної теплової підтримки для його передачі на наступний технологічний цикл.

5 Графічну інтерпретацію режиму термічної обробки металу відображено на Фіг. 4.

У ході експерименту було проаналізовано механічні властивості та твердість металу, а також структуроутворення в матеріалі зразків. Після проведення сфероїдизуючого відпалювання всі показники щодо механічних властивостей задовольняють вимогам ДСТУ 3684-98. На Фіг. 5, а зображено початкову ферито-перліто-бейнітну структуру металу. 10 Остаточний вигляд мікроструктури матеріалу після інтенсивної сфероїдизації подано на Фіг. 5, б. Мікроструктура являє собою перліт зернистий за стандартною оцінкою в 2 бали, його твердість становить 148-152 НВ.

Отже, виконана сфероїдизація карбідної фази в умовах відповідних режимів термічної обробки заготовок забезпечує надання матеріалу структури зернистого перліту. Причому швидкісна сфероїдизація зумовлює більш рівномірний розподіл глобул цементиту у феритній матриці (Фіг. 5, б).

Експеримент 2. За початкову було взято ферито-бейнітну структуру заготовки. Процес термічної обробки матеріалу було здійснено за технологією, що була запроваджена в експерименті 1.

20 У ході дослідження було проведено металографічний аналіз структури зразків, а також проаналізовані механічні властивості металу, які, як з'ясувалося, задовольняють вимогам стандарту. На Фіг. 6, а відображено ферито-бейнітну структуру металу на початковому етапі експерименту. Остаточний вигляд мікроструктури заготовки (зернистий перліт) після інтенсифікації процесу сфероїдизації подано на Фіг. 6, б. Мікроструктура зразків за стандартною 25 оцінкою становить 1 бал, величина твердості дорівнює 150-152 НВ.

Упровадження запропонованої установки для інтенсифікації сфероїдизуючого відпалювання сталі дозволяє:

по-перше, за рахунок неізотермічної витримки з підвищенням температури забезпечити високий рівень інтенсифікації процесу сфероїдизуючого відпалювання сталі і, як наслідок, 30 отримати мінімальну тривалість сфероїдизуючого відпалювання низьковуглицевих сталей з підготовленим вихідним структурним станом;

по-друге, здійснювати контроль технологічних параметрів процесу інтенсифікації сфероїдизуючого відпалювання сталі, зокрема температури нагрівання, витримки та охолодження у режимах ізотермічної та неізотермічної витримки на всій площині перерізу та за довжиною зразка, застосовуючи з цією метою БОС, тим самим надаючи матеріалу необхідних властивостей для подальшої обробки методом ХОШ.

по-третє, не використовувати спеціальне обладнання регламентованого охолодження, витримки та нагрівання сталі із заданою швидкістю, застосовуючи для інтенсифікації сфероїдизуючого відпалювання режим неізотермічної витримки з підвищенням температури 40 для надання їй структури зернистого перліту;

по-четверте, суттєво скоротити тривалість процесу безпосередньо сфероїдизуючого відпалювання сталі, що дає можливість синхронізувати та значно скоротити технологічний процес виготовлення готового сталевого виробу в цілому;

по-п'яте, в процесі термічної обробки сталі зменшити енергоспоживання порівняно з іншими технологічними процесами сфероїдизації сталі;

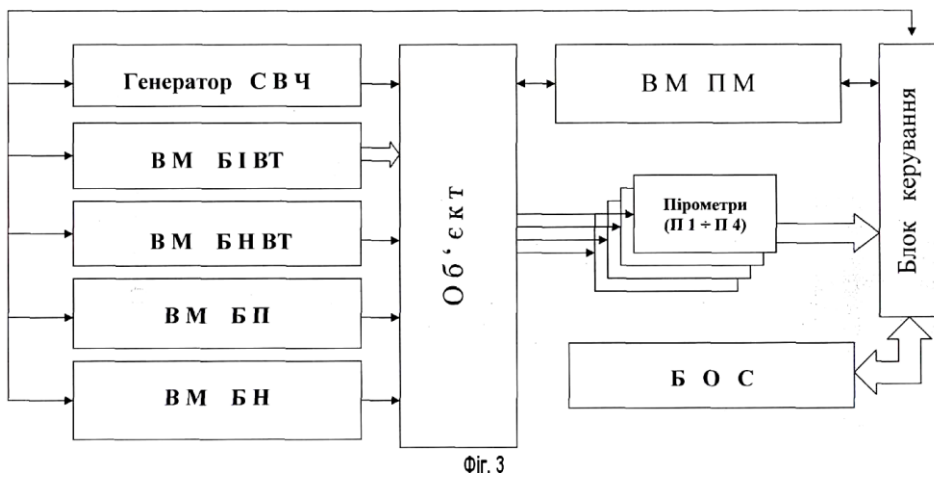
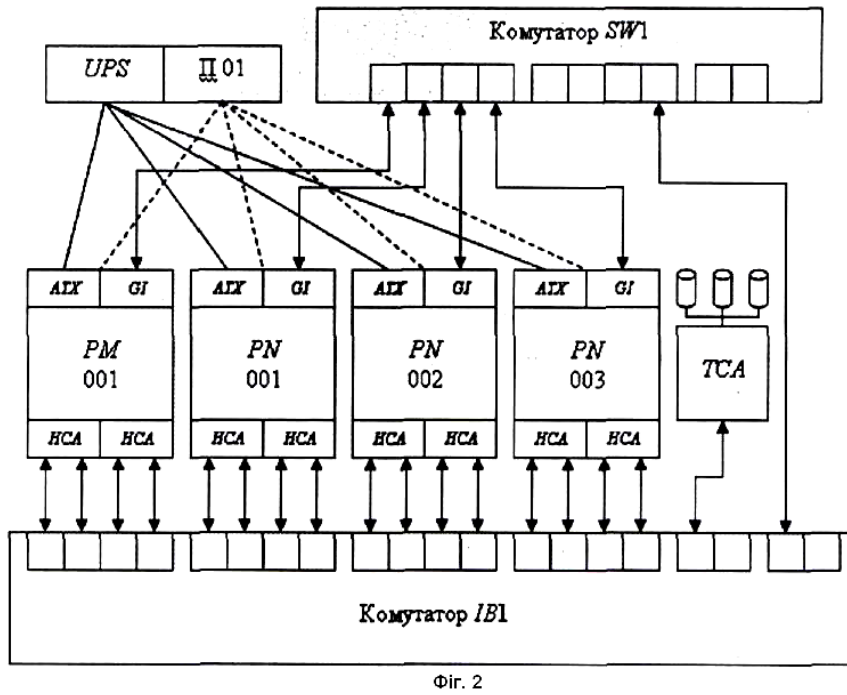
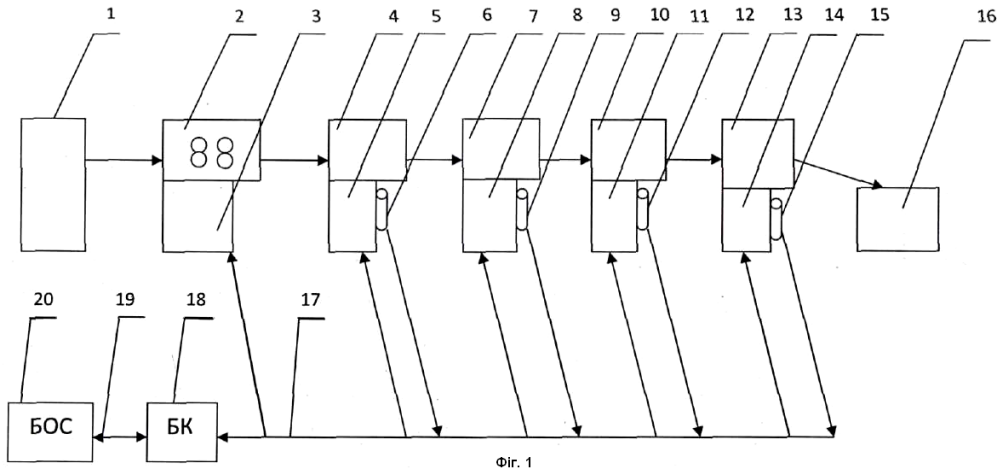
по-шосте, порівняно з іншими процесами сфероїдизації сталі значно поліпшити умови експлуатації, в т. ч. й стан довкілля.

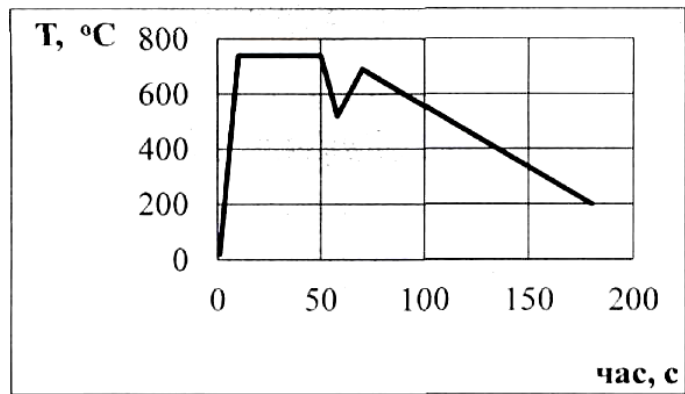
Результат впровадження установки забезпечує значне скорочення тривалості процесу відпалювання сталі та зменшує енергоспоживання при його реалізації.

50 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

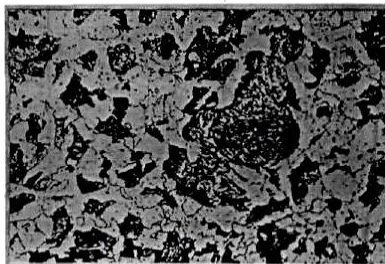
Установка для інтенсифікації сфероїдизуючого відпалювання сталі, що містить розмотувальний пристрій, правильно-тяговий пристрій, нагрівальний пристрій, виконаний у вигляді генератора, 55 що з'єднаний з індуктором, камеру ізотермічної витримки, камеру регламентованого підстуджування (вони оснащені пірометрами та відповідними виконавчими пристроями), блок керування з виконавчими пристроями, інформаційний двонапрямний інтерфейс збору даних, яка **відрізняється** тим, що містить камеру неізотермічної витримки з пірометром та виконавчим пристроєм, багатопроцесорну обчислювальну систему зі спеціально орієнтованим програмним

забезпеченням, керуванням комутатором InfiniBand, систему локального збереження результатів та проміжних обчислень, механізм резервування ключових компонентів.

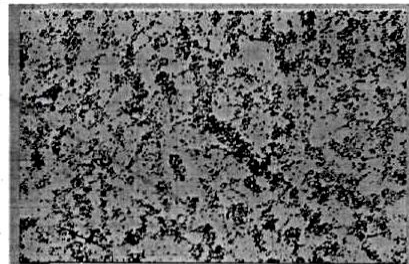




Фіг. 4

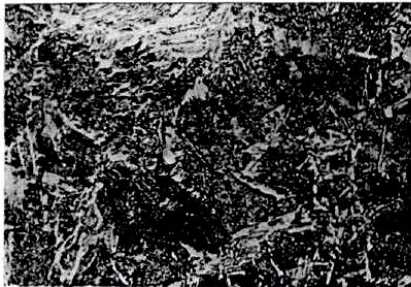


а



б

Фіг. 5



а



б

Фіг. 6

Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

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