



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **110430** (13) **C2**  
(51) МПК (2015.01)

**C21D 1/00**

**C21D 1/02** (2006.01)

**C21D 1/18** (2006.01)

**C21D 1/78** (2006.01)

**C21D 7/02** (2006.01)

**C21D 8/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: **а 2014 08208**

(22) Дата подання заявки: **21.07.2014**

(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: **25.12.2015**

(41) Публікація відомостей про заявку: **26.01.2015, Бюл.№ 2**

(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **25.12.2015, Бюл.№ 24**

(72) Винахідник(и):

**Грязнова Людмила Вікторівна (UA),  
Лісняк Олександр Григорович (UA),  
Пугач Руслан Сергійович (UA)**

(73) Власник(и):

**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ  
ЗАКЛАД "НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ",**

**пр. К. Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49000 (UA)**

(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:

SU 855 016 A, 15.08.1981

SU 1 044 642 A, 30.09.1983

UA 94 262 C2, 26.04.2011

UA a201303656, 25.02.2014

RU 2 051 185 C1, 27.12.1995

RU 2 073 731 C1, 20.02.1997

WO 2009/026881 A1, 05.03.2009

JP 06-299285 A, 25.10.1994

JP 11-279636 A, 12.10.1999

KR 20120133745 A, 11.12.2012

Zhenfang Liao, Shijin Zahang. WaterpAir

Mixing Jet Produced by Electro-hydraulic

Impulse Technology Strengthening the Quality

of Surface of Metal Materials/J. Mater. Sci.

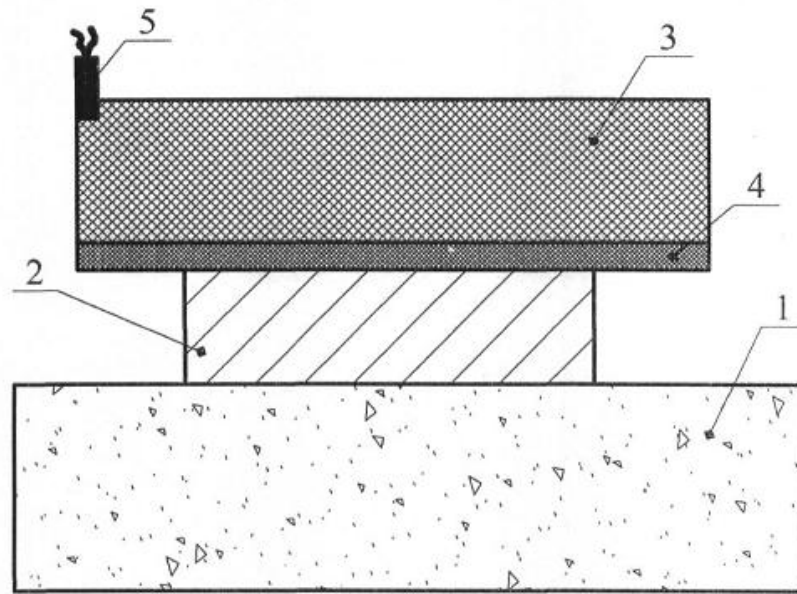
Technol. Vol. 18, No. 3, 2002. P. 194-196

## (54) СПОСІБ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛЕВОЇ ДЕТАЛІ

(57) Реферат:

Винахід належить до галузі металургії, зокрема до способу термічної обробки сталевих деталей. Спосіб термічної обробки сталевих деталей включає нагрівання сталевих деталей до температури вище фазових перетворень, витримці та охолодженні її, причому перед нагріванням сталевих деталей піддають високошвидкісному ударно-хвильовому навантаженню від двошарового заряду вибухової речовини (ВР), зі співвідношенням швидкостей детонації шарів  $D_2/D_1$  в межах 2,5-3,5. Винахід забезпечує уповільнення росту зерна аустеніту при нагріванні цієї деталі до високих температур, одержання її дрібнозернистої аустенітної структури, незалежно від її хімічного складу, при практично виключеній пластичній деформації, збереження форми та розмірів готового виробу без додавання спеціальних легуючих елементів і підвищення ефективності способу при забезпеченні потрібних механічних властивостей сталевих деталей.

UA 110430 C2



Фиг. 1

Винахід належить до галузі металургії, зокрема до області способу термічної обробки сталевих деталей.

Відомий спосіб термічної обробки сталі, який полягає у нагріванні сталі до температури вище фазових перетворень, витримці та охолодженні з визначеною швидкістю.

5 Істотним недоліком цього способу є значне зростання зерна високотемпературної фази, рушійною силою якого є вільна енергія меж зерен. З підвищенням температури ріст зерна прискорюється. [Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. - М.: Металлургия, 1978. - С. 131].

10 Розмір зерна - найважливіша структурна характеристика сталі. Від розміру зерна залежить поведінка сплавів в різних процесах термічної, механічної обробки, а так само механічні властивості виробу з неї. Оскільки існує структурна спадковість, то розмір зерна низькотемпературної фази безпосередньо залежить від розміру зерна високотемпературної фази. Особливо чутливі до розміру зерна ударна в'язкість і межа плинності, які погіршуються з укрупненням зерна. Тому, завдання гальмування росту зерна при термічній обробці сталі є важливим і актуальним.

15 Відомий спосіб гальмування росту зерна аустеніту в сталі шляхом введення в сплав легуючих елементів, таких як V, Ti, Al, Zn, W, Mo і Cr, що утворюють важкорозчинні в аустеніті карбіди і оксиди, які є бар'єрами для зростаючого зерна. Наприклад, для гальмування росту аустенітного зерна додають в ківш перед розливом  $\approx 0,05$  мас. % Al. Найдрібніші частинки нітриду і оксидів алюмінію, як бар'єри, гальмують ріст зерна аустеніту.

20 Недоліком цього способу є велика вартість найбільш ефективних легуючих елементів та обмеженість використання цього способу тільки галуззю будівельних сталей які, як правило, не підлягають термічній обробці.

Існує явище перекристалізації аустенітного зерна при термічній обробці сталі, коли при 25 повторному нагріванні сталі вище точки  $A_3$  зерна аустеніту, що утворилися, не укрупнюються при підвищенні температури, а подрібнюються. Це явище пов'язане з процесом первинної рекристалізації, який стимулюється підвищеною щільністю дислокацій, що виникає при внутрішньому фазовому наклепі. Але, практично одночасно починається вторинна рекристалізація, яка призводить до зростання зерна аустеніту.

30 Найбільш близьким до способу, що заявляється, є спосіб, що полягає в звичайному наклепі обробкою тиском з обтисканням 30-40 % при температурі нижче температури фазового перетворення на 20-40 °C з подальшим нагріванням до температури області високотемпературної фази, де первинна рекристалізація значно зменшує зерно. [Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. - М.: Металлургия, 1978. - С. 136].

35 Недоліком, реалізації цього способу є недопустимість обробки готових виробів тому, що не дає можливість забезпечити збереження форми та розміру виробу.

В основу винаходу поставлена задача удосконалення способу термічної обробки сталі, в 40 якому шляхом введення нових технологічних прийомів досягається можливість уповільнення росту зерна аустеніту при нагріванні до високих температур і одержання дрібнозернистої аустенітної структури сталі, незалежно від її хімічного складу, при практично виключеній пластичній деформації, що дає можливість збереження форми та розмірів готового виробу, без додавання спеціальних легуючих елементів і, за рахунок цього, підвищення ефективності способу при забезпеченні потрібних механічних властивостей сталі.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі термічної обробки сталевих 45 деталей, що включає нагрівання її до температури вище фазових перетворень, витримці та охолодженні, відповідно до винаходу, перед нагріванням сталевих деталей її піддають високошвидкісному ударно-хвильовому навантаженню від двошарового заряду вибухової речовини (ВР), зі співвідношенням швидкостей детонації шарів  $D_2/D_1$  і в межах 2,5-3,5.

Суть винаходу пояснюють креслення.

50 На фігурі 1 приведена схема ударно-хвильового навантаження зразків, де: 1 - основа (металева стружка); 2 - зразок, що навантажується; 3 - заряд вибухової речовини зі швидкістю детонації  $D_1$ ; 4 - заряд вибухової речовини зі швидкістю детонації  $D_2$ ; 5 - капсуль-детонатор.

На фігурі 2 приведені значення розмірів зерна, що найбільше зустрічаються, для усіх температур аустенізації, залежно від початкового стану, де: А - сталь з попереднім ударно-хвильовим навантаженням; Б - гарячекатана сталь.

Запропонований спосіб здійснюється наступним експериментальним чином:

60 Вироби піддають ударно-хвильовому навантаженню косою ударною хвилею від вибуху контактного двошарового заряду вибухової речовини. Тиск ударної хвилі складає 1500-2000 МПа. Після цього виріб піддають нагріванню до температур, вище температур фазових перетворень, витримці і охолодженню.

- Спосіб реалізований таким чином: 60 з 120 зразків розміром 20×60×200 мм з сталі 55 в гарячекатаному стані піддавалися ударно-хвильовому навантаженню від вибуху заряду вибухової речовини, що розташувався безпосередньо на оброблювальній поверхні. Співвідношення швидкостей детонації шарів ВР були вибрані в межах від 1,5 до 4. Це дає можливість зміни імпульсу дії ударної хвилі. Для знаходження оптимального значення співвідношення  $D_2/D_1$  визначали ударну в'язкість сталі на зразках Шарпі за ГОСТ 9454-78 та наявність в зразках тріщин за допомогою ультразвукової дефектоскопії. Результати експериментів приведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Властивості сталі в залежності від співвідношення  $D_2/D_1$ 

Співвідношення $D_2/D_1$	Ударна в'язкість, КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	Наявність тріщин
0	34	не має
1,5	25	є
2	56	не має
2,5	83	не має
3	85	не має
3,5	80	не має
4	30	є

З таблиці 1 випливає, що оптимальне значення співвідношення  $D_2/D_1$  знаходиться в межах 2,5-3,5.

Після цього усі зразки піддавалися аустенізації впродовж 30 хвилин при температурах, вищих температури фазових перетворень, і загартуванню в маслі. Температура повного фазового перетворення ферито-перлітної структури в аустенітну для сталі 55 складає 755 °С. Були вибрані температури аустенізації: 800, 850, 900 і 950 °С.

Проводились дослідження мікроструктури шліфів на оптичних мікроскопах, розмір зерна аустеніту визначався за ГОСТ 5639-82 методом перетину меж зерен відрізком прямої. Щільність дислокацій та розмір зон когерентного розсіву визначалися рентгеноструктурним аналізом на установці ДРОН-3.

Дослідження показали, що при усіх температурах нагрівання спостерігаються відмінності в мікроструктурах загартованої сталі залежно від початкового стану. Відзначається уповільнення та стабілізація росту аустенітного зерна при нагріві сталі після попереднього ударно-хвильового навантаження. Це визначається на зразках після загартування по розмірах кристалів мартенситу і трооститної сітки, яка виділяється по межах колишнього зерна аустеніту, і може слугувати показником його розмірів, досягнутих при аустенізації. При одній і тій же температурі нагріву, після попереднього ударно-хвильового навантаження утворюється більш дрібногочастий мартенсит і більша кількість троститу по межах зерен.

Відмітними особливостями деформації при ударному навантаженні є велика швидкість деформації (зазвичай близько  $10^6$ - $10^9$  с<sup>-1</sup>) і високий рівень діючої напруги. Тому структурні перетворення, що проходять в сталі при проходженні ударної хвилі, є істотними. Так, рентгеноструктурний аналіз зразків показав, що після ударно-хвильового навантаження характеристики тонкої структури змінилися в бік зменшення зон когерентного розсіву і значного зростання щільності дислокацій ( $\rho$ ). Розмір блоків мозаїки (Д) та мікронапруг ( $\Delta a/a$ ) також змінилися. Результати приведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Характеристики тонкої структури сталі в залежності від її стану

Стан сталі	$\Delta a/a \cdot 10^{-3}$	$D \cdot 10^{-6}$ , см	$\rho$ , см <sup>-2</sup>
Гарячекатана	0,6	5,4	$1,54 \cdot 10^8$
Після ударно-хвильового навантаження	0,8	4,0	$1,36 \cdot 10^{11}$

Зменшення величин блоків після ударно-хвильового навантаження при великій щільності дислокацій, в порівнянні з гарячекатаною сталлю, свідчить про їх однорідний розподіл.

Отримані результати можливо пояснити тим, що підвищена кількість дефектів, що утворилися після ударно-хвильового навантаження, створюють "ліс" дислокацій. У статично деформованому металі така конфігурація виникає тільки при достатньо тривалому нагріванні. При проходженні фронту ударної хвилі по сталі відбувається короткочасне нагрівання сталі, але в поєднанні з високим тиском ударної хвилі та тривалістю його дії, робить можливим перерозподіл дислокацій зі створенням конфігурації - "ліс" без спеціального розігрівання. Експерименти підтверджують, що ця конфігурація дислокацій зберігається при наступному високотемпературному нагріванні при термічній обробці і суттєво впливає на механізм утворення аустенітного зерна та уповільнення його росту.

Результати виміру величини зерна були оброблені із застосуванням методів математичної статистики.

Як видно з фігури 2, найбільша різниця в розмірах аустенітних зерен спостерігається при температурі нагрівання 950 °С. Для цієї температури. Розмір зерна, що найбільш зустрічається в сталі з попереднім ударно-хвильовим навантаженням, дорівнює 0,55 мм  $10^{-2}$ , а в гарячекатаній - дорівнює 0,79 мм  $10^{-2}$ . Відносна зміна розміру зерна сталі залежно від початкового стану складала 25-30 %.

Відомо, що величина аустенітного зерна визначає розмір структурного параметра продуктів перетворення, який, у свою чергу, істотно впливає на межу плинності і ударну в'язкість сталі. Зроблений розрахунок межі плинності досліджуваних сталей показав, що сталь після попереднього ударно-хвильового навантаження, аустенізації і гартування має межу плинності, в середньому, на 17 % вище, ніж гарячекатана після аустенізації і гартування (розрахунок проведений для сталі після нагрівання до 950 °С). Значення ударної в'язкості зразків після ударно-хвильового навантаження та термічної обробки, вище гарячекатаних, в середньому на 10-15 %.

Таким чином, запропонована технологія термічної обробки обумовлює гальмування та стабілізацію росту зерна при високотемпературному нагріванні сталі, що робить можливим її застосування при різних видах обробок, пов'язаних з високотемпературним нагріванням, без ризику зниження в'язкості і межі плинності сталі.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб термічної обробки сталевих деталей, який полягає у нагріванні сталевих деталей до температури вище фазових перетворень, витримці та охолодженні її, який **відрізняється** тим, що перед нагріванням сталеву деталь піддають високошвидкісному ударно-хвильовому навантаженню від двошарового заряду вибухової речовини зі співвідношенням швидкостей детонації шарів  $D_2/D_1$  в межах 2,5-3,5.

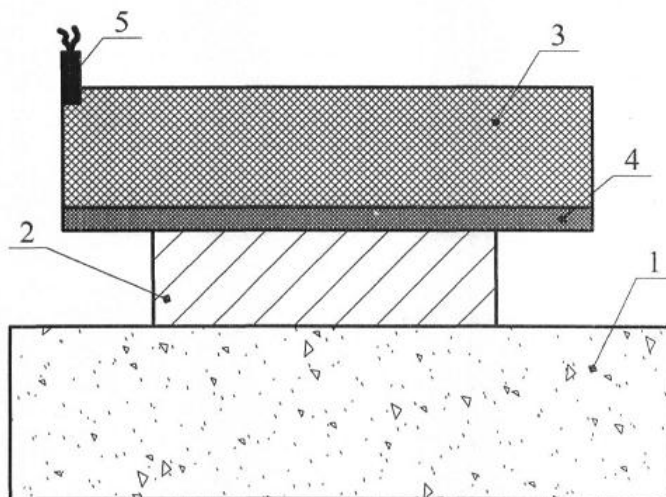
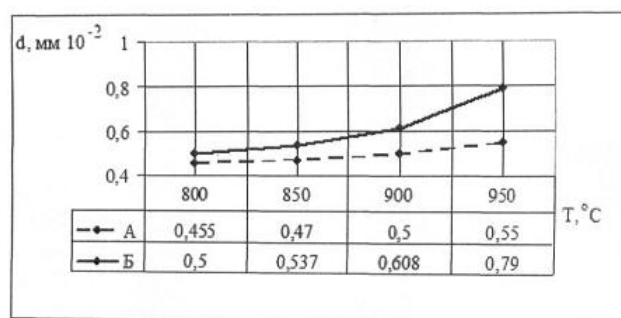


Fig. 1



Фиг. 2

---

Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

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