



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 77094

(13) C2

(51) МПК (2006)  
C21D 9/50МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

## (54) ПРОЦЕС ТЕРМООБРОБКИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

1

(21) а200500375

(22) 17.01.2005

(24) 16.10.2006

(46) 16.10.2006, Бюл. № 10, 2006 р.

(72) Пастухов Михайло Віталійович, Чижиков Микола Васильович, Погрібний Микола Андрійович, Івашов Микола Іванович

(73) ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО "ЗАВОД ІМЕНІ В.О.МАЛИШЕВА"

(56) SU 1235944 A1, 07.06.1986

SU 1521782 A1, 15.11.1989

SU 1058756 A1, 07.12.1983

WO 9848061 A1, 29.01.1998

JP 60046323 A, 13.03.1985

(57) Процес термообробки зварних з'єднань, що включає циклічні повторення нагрівання струмами

2

високої частоти та охолодження зварного шва і зони термічного впливу, який **відрізняється** тим, що зварний шов і зону термічного впливу одночасно піддають термообробці, здійснюючи в кожному циклі нагрівання зі швидкістю 3-11°C/с до температур  $Ac_3+(85-135)^\circ C$  і природне охолодження до температур  $Ac_3+(15-85)^\circ C$ , при цьому в кожному наступному циклі по відношенню до попереднього температуру нагрівання та охолодження підвищують, забезпечуючи накопичення тепла у серцевині зварного з'єднання, а тривалість нагрівання та охолодження скорочують, запобігаючи перегріву поверхні зварного з'єднання і доводячи різницю температур між поверхнею і серцевиною зварного з'єднання до  $20^\circ C$  в останньому циклі термообробки.

Винахід стосується машинобудування, зокрема, технологічних процесів термообробки зварних з'єднань деталей з конструкційної, вуглецевої, легированої конструкційної та інструментальної сталей.

Процес може бути використаний також для термообробки струмами високої частоти (СВЧ) деталей з метою поліпшення їх оброблюваності різальним інструментом.

Відомий процес термообробки зварних з'єднань, який включає одноразове безупинне нагрівання індукційними струмами частотою 50Гц-2500Гц [Фиргер И.В. Термическая обработка сплавов. Справочник. - Л.: Машиностроение, 1982 с.175, 177, табл.160].

Тривалість нагрівання зварних з'єднань досягає 140хв для діаметрів 46-60мм, при цьому різниця температур між поверхнею і серцевиною деталі складає 100-200°C. Відомий процес не забезпечує рівномірний прогрів усього перерізу деталі за значений час, тобто не забезпечує одержання однорідної структури по всьому перерізу деталі. Збільшуючи тривалість нагрівання зварного з'єднання, можна досягти мінімальної різниці температури ( $20^\circ C$ ) між поверхнею і серцевиною, однак це призводить до перегріву й оплавленню поверхні, а також утворенню крупнозернистої

структури з низькими механічними властивостями.

Найближчим аналогом є процес термічної обробки зварних з'єднань, який складається з послідовності циклів локальної термообробки зварних швів і зон термічного впливу. Кожен цикл включає нагрівання зі швидкістю 350-500°C/хв до температури  $Ac_1+(40-60)^\circ C$  та охолодження, яке здійснюють у дві стадії. Перша стадія - примусове охолодження зі швидкістю 80-100°C/хв до температури  $Ar_1-(50-70)^\circ C$  і друга стадія - прискорене примусове охолодження зі швидкістю 600-900°C/хв до температури 50-100°C.

Зварний шов і зону термічного впливу піддають термообробці по черзі. Спочатку обробляють шов, а потім зону термічного впливу. Кількість циклів термообробки шва у два рази більше кількості циклів термообробки зони термічного впливу [Патент України №21066А; МПК6 C21D1/00].

Тривалість відомого процесу термообробки зварних з'єднань складає більш понад 30хв, оскільки для забезпечення можливості проходження структурних перетворень потрібні дванадцять повторень циклів нагрівання й охолодження.

Відомий процес є придатним для термообробки деталей діаметром 8мм, і неефективним для деталей діаметром до 100мм, широко використовуваних у машинобудуванні. Використання відомо-

(13) C2

(11) 77094

(19) UA

го процесу для термообробки зварних з'єднань з діаметром більш 8мм потребує збільшення тривалості нагрівання. Однак, як більша тривалість нагрівання, так і додаткова кількість циклів не забезпечують позитивного результату, оскільки нагрівання у кожному циклі переривається охолодженням деталі до 50-100°C (коли припиняються всі структурні перетворення), що перешкоджає рівномірному прогріву поверхні і серцевини з перепадом температур до 20°C, внаслідок чого неможливо одержати однорідну структуру по всьому перерізу деталі. Крім того, при перепаді температур більш 50°C між поверхнею і серцевиною, утворюються додаткові залишкові напруження у зварному шві і зоні термічного впливу.

Технічною задачею, на вирішення якої направлений винахід, є забезпечення однорідності структури поверхневого шару і серцевини деталі на ділянці зварного шва і зони термічного впливу з одночасним скороченням часу термообробки.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому процесі термообробки зварних з'єднань, який включає циклічні повторення нагрівання СВЧ та охолодження поверхні зварного шва і зони термічного впливу, відповідно до винаходу, зварний шов і зону термічного впливу одночасно піддають термообробці, здійснюючи нагрівання зі швидкістю 3-11°C/с до температур  $A_{c3}+(85-135)^{\circ}\text{C}$  і природне охолодження до температур  $A_{c3}+(15-85)^{\circ}\text{C}$ , при цьому у кожному наступному циклі технологічну температуру нагрівання та охолодження підвищують, а тривалість нагрівання та охолодження скорочують.

Використання процесу, що заявляється, дає можливість одержати однорідну структуру перерізу деталі на ділянці зварного шва і зони термічного впливу та скоротити час термообробки до 2 хвилин у порівнянні з найближчим аналогом. Це пояснюється таким.

У процесі, що заявляється, досягнення мінімальної різниці температур (не більш 20°C) між поверхнею і серцевиною деталі забезпечується завдяки циклічним повторенням нагрівання СВЧ та природного охолодження зварного шва і зони термічного впливу, які виконують в інтервалі надкритичних температур, при цьому серцевина поступово прогривається тепловою хвилею, яка поширюється від нагрітої зовнішньої поверхні всередину деталі, а висока температура нагрівання сприяє прискореному проходженню структурних перетворень і, в кінцевому підсумку, утворенню однорідної структури, на відміну від найближчого аналога, у якому нагрівання до температур  $A_{c1}+(40-60)^{\circ}\text{C}$  та охолодження до 50-100°C в кожному циклі перешкоджають процесу накопичення теплової енергії у серцевині і вирівнюванню температури поверхні і серцевини.

Тривалість усього процесу термообробки складає 1,5-2,0хв для деталей діаметрами 5-100мм на відміну від найближчого аналога, в якому тривалість термообробки складає більш 30хв для деталей діаметром 8мм.

Процес термообробки включає від двох до п'яти циклів нагрівання і охолодження, на відміну від найближчого аналога, який включає дванадцять циклів.

Кількість циклів визначається досягненням мінімальної різниці температур (не більш 20°C) між поверхнею та серцевиною, і залежить від марки сталі і діаметра перерізу деталі. Кожен цикл включає імпульсне нагрівання СВЧ зі швидкістю 3-11°C/с до надкритичних температур  $A_{c3}+(85-135)^{\circ}\text{C}$  та природне охолодження до надкритичних температур  $A_{c3}+(15-85)^{\circ}\text{C}$ , де величина  $A_{c3}$  означає температуру критичної точки, що є індивідуальною для кожної конкретної марки сталі.

При температурі нагрівання у циклі нижче  $A_{c3}+85^{\circ}\text{C}$  не будуть забезпечені швидкість і повнота гомогенізації аустеніту. При температурі нагрівання вище  $A_{c3}+135^{\circ}\text{C}$  відбувається інтенсивний ріст зерна аустеніту, що спричиняє утворення крупнозернистої структури у зварному шві і зоні термічного впливу та погіршує міцність зварного з'єднання.

Оптимальний інтервал швидкостей нагрівання у циклах складає 3-11°C/с. При швидкості нагрівання нижче 3°C/с збільшується тривалість відпалювання, що призводить до перегріву поверхні і утворенню крупнозернистої структури. Збільшення швидкості нагрівання вище 11°C/с призводить до збільшення кількості циклів та тривалості охолодження у кожному циклі, що є недоцільним.

Температура охолодження у циклі нижче  $A_{c3}+15^{\circ}\text{C}$  перешкоджає процесу накоплення теплової енергії в серцевині. При температурі охолодження у циклі вище  $A_{c3}+85^{\circ}\text{C}$  відбувається гальмування процесу збиральної рекристалізації, що призводить до росту розмірів зерна аустеніту, перегріву та оплавленню поверхні.

Одночасна термічна обробка зварного шва і зони термічного впливу забезпечує одночасність проходження дифузійних процесів у зварному шві і зоні термічного впливу, а також дає можливість запобігти виникненню теплових напружень під час нагрівання та залишкових структурних напружень після закінчення термообробки, що сприяє утворенню однорідної структури. У найближчому аналогу по чергове нагрівання зварного шва і зони термічного впливу призводить до виникнення некерованих теплових процесів на стиках між ділянками, які нагріваються, що неминуче призводить до утворення зон перехідної структури з різномірними механічними властивостями. Тривалість нагрівання і тривалість охолодження у циклах визначаються розрахунковим шляхом, виходячи з умови забезпечення росту температури у серцевині і запобігання перегріву та оплавленню поверхні.

При нагріванні сталь переходить в аустенітний стан. Внаслідок невеликої тривалості нагрівання у циклах (не більш 20с) зерно аустеніту в процесі структурних перетворень не устигає вирости так, як це має місце при тривалому нагріванні. Охолодження до температури не нижче  $A_{c3}+15^{\circ}\text{C}$  сприяє збиральній рекристалізації і запобіганню перегріву поверхневого шару. У кожному наступному циклі, при чергуванні нагрівання та охолодження, процес аустенізації та припинення росту кромки зерна аустеніту повторюється, що приводить до утворення однорідної дрібнозернистої структури.

У першому циклі термообробки поверхню зварного шва і зони термічного впливу нагрівають індукційними струмами до заданої температури

As<sub>3</sub>+85°C. При відключенні подачі імпульсу нагрівання поверхня охолоджується, і одночасно відбувається прогрів серцевини завдяки відведенню тепла з розігрітого поверхневого шару. У кожному наступному циклі: для швидкого відновлення температури термообробки (після охолодження у попередньому циклі) необхідно збільшувати технологічну температуру нагрівання (на 40-50°C); для запобігання перегріву поверхні необхідно скорочувати тривалість нагрівання у порівнянні з попереднім циклом; для забезпечення накоплення тепла в серцевині необхідно збільшувати технологічну температуру охолодження (на 10-50°C) і скорочувати тривалість охолодження у порівнянні з попереднім циклом.

Суть винаходу пояснюється з посиланнями на графічні зображення, де

на Фіг.1 представлена структура зварного з'єднання вал-ротор безпосередньо після зварювання (×500);

на Фіг.2 - структура зварного з'єднання вал-ротор після відпалу (×500);

на Фіг.3 - розподіл мікротвердості за поздовжнім перерізом мікрошліфа вал-ротор безпосередньо після зварювання;

на Фіг.4 - розподіл мікротвердості за поздовжнім перерізом мікрошліфа вал-ротор після відпалу.

Процес, що заявляється, був випробуваний при термообробці зварної конструкції вал-ротор турбокомпресора.

Зварна конструкція вал-ротор турбокомпресора включає вал 1 зі сталі 40X і ротор 2 з жаростійкого сплаву СЖЛ-800, з'єднані стиковим швом 3 діаметром 17мм за допомогою зварювання тертям (Фіг.1).

Після зварювання у шві 3 і зоні 4 термічного впливу виникає місцева пластична деформація з утворенням дефектних структур підвищеної твердості, що є причиною утворення тріщин, зниження

міцності зварного з'єднання і погіршення експлуатаційних властивостей вала. Крім того, при зварюванні тертям на пришовній ділянці утворюється кільцеподібний шар витиснутого металу - ґрат, висотою 3-8мм, шириною - 1-10мм і твердістю - 40-50HRC<sub>с</sub>, яка ускладнює видалення ґрата шляхом механічної обробки різанням.

Дослідження структури і мікротвердості проводили на мікрошліфах, виготовлених з валів-роторів після зварювання (Фіг.1, Фіг.3) і після відпалу (Фіг.2, Фіг.4).

Мікротвердість вимірювали приладом ПМТ-3, з використанням індентора у вигляді чотиригранної алмазної піраміди з кутом 136° при навантаженні Р=100г уздовж поздовжньої осі вала в серцевині і на відстані 0,5мм від поверхні. Структура вала до зварювання - ферито-перлітна пластинчаста з твердістю 1500-2500МПа.

Після зварювання по поздовжній осі вала на відстані 0,01-0,5мм від центра зварного шва спостерігалася троосто-мартенситна структура з мікротвердістю до 6000МПа, (45-50HRC<sub>с</sub>). На відстані 0,5-1мм від поверхні структура змінювалась від троосто-мартенситної до сорбітоподібної, при цьому спостерігалася зниження та поступове вирівнювання мікротвердості з 4000 до 2000МПа. Такий розподіл структурних складових знижує міцність зварного з'єднання.

Для одержання однорідної ферито-перлітної структури ділянку зварного шва 3 і зони 4 термічного впливу піддавали термообробці одночасно. Нагрівання виконували двовитковим індуктором з внутрішнім діаметром 45мм (з урахуванням максимальної висоти ґрата) і шириною 30мм (з урахуванням довжини шва, зони термічного впливу і ґрата). Індуктор підключали до генератора СВЧ типу ВЧГ 1-60/0,066 (ВЧГ6-60/0,44). Процес термообробки складався з трьох циклів. Результати представлені у таблиці.

Таблиця

№ циклу	Найм. операції	Темп. поверхні (Тп) °C	Темп. у серцевині (Тс) °C	Різниця температур, °C $\Delta T = T_p - T_c$	Час нагрів.	Час охол.	Швидк. нагріву °C/c
I	Нагрів.	20-900	850	50	75,2	-	11
	Охол.	900-830	-	-	-	6	
II	Нагрів.	830-940	900	40	27,2	-	4
	Охол.	940-900	-	-	-	4	
III	Нагрів.	900-950	930	20	16	-	3

У результаті термообробки усунена структурна неоднорідність, що виникла після зварювання між ділянками шва, зони термічного впливу та основною структурою конструкції. Після відпалу у структурі шва і зони термічного впливу ліквідовані мартенситні включення та одержана однорідна ферито-перлітна структура. Однорідність структури шва і зони термічного впливу підтверджена вимірами мікротвердості.

Твердість ґрата після відпалу знизилась до 20-25HRC<sub>с</sub>, що забезпечує задовільну механічну обробку.

Процес, що заявляється, був випробуваний також на заготовках зі сталі ШХ-15 діаметрами 24 та 80мм, що призначені для обробки різанням. Оброблюваність заготовок після відпалу в інтервалі надкритичних температур суттєво поліпшилась.

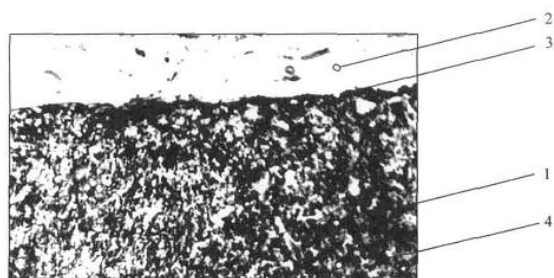
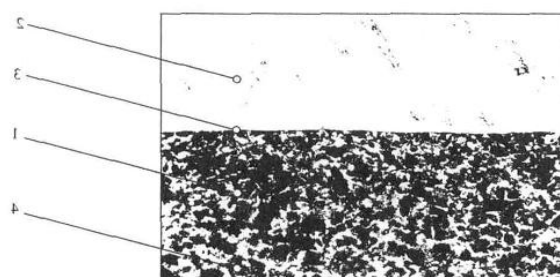


Fig. 1



Σ.ліФ

