

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **239108**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **429400**

(51) Int.Cl.

C21D 1/28 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **27.03.2019**

(54) **Sposób spawania i obróbki cieplnej wysokowytrzymałych blach z martenzytycznej stali odpornej na zużywanie ścierne z borem**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
05.10.2020 BUP 21/20

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
08.11.2021 WUP 32/21

(72) Twórca(y) wynalazku:
ŁUKASZ KONAT, Sobótka, PL

PL 239108 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób spawania i obróbki cieplnej wysokowytrzymałych blach o grubości 10 mm z martenzytycznej stali Hardox Extreme odpornej na zużywanie ściernie z borem, o wyrażonym w procencie wagowym składzie chemicznym: C – 0,44÷0,48; Si – 0,15÷0,50; Mn – 0,45÷0,52; P – max. 0,015; S – max. 0,010; Cr – 0,82÷0,90; Ni – 1,90÷2,10; Mo – 0,13÷0,15; B – max. 0,005, charakteryzującej się równoważnikiem węgla $CEV \leq 0,91$, dającym wytrzymałość na rozciąganie (R_m) min. 1800 MPa i średnią wartość uduchałości (KCV_{+20}) min. 27 J/cm².

W procesach cieplnych zachodzących podczas spawania, w strefach wpływu ciepła następuje degradacja struktur spawanych stali. Skutkuje to znacznymi zmianami poziomów twardości, a także lokalną utratą odporności na zużywanie ściernie. W literaturze przedmiotu dotyczącej obróbki cieplnej stali martenzytycznych oraz stali ulepszanych cieplnie przyjmuje się, iż:

- w strefie wpływu ciepła występuje problem „warstwy rozhartowanej”, która decyduje o wytrzymałości całej konstrukcji;
- w strefie wpływu ciepła połączeń ze stali, które przed spawaniem były tylko poddane hartowaniu lub hartowaniu i niskiemu odpuszczaniu, następują zmiany prowadzące do powstania stref o obniżonej twardości i wytrzymałości na rozciąganie wynikające z procesów odpuszczania w zakresie temperatur 250÷AC₁;
- poprzez odpowiedni dobór składu chemicznego materiałów dodatkowych oraz optymalnie dobrane warunki i parametry spawania, możliwe jest uzyskanie w strefie wpływu ciepła struktur i właściwości mechanicznych zbliżonych do materiału rodzimego bez stosowania dodatkowych zabiegów.

Z chińskiego opisu wynalazku CN102230135 znana jest obróbka cieplna martenzytycznej stali odpornej na ścieranie o składzie chemicznym wyrażonym w procentach wagowych: C – 0,30÷0,35; Si – 0,6÷1,2; Mn – 1,0÷1,5; Cr – 2,5÷3,5; B – 0,003÷0,007; Ti – 0,03÷0,06; Re – 0,10÷0,15; Al – 0,01÷0,03; S ≤ 0,035; P ≤ 0,035. Obróbka cieplna składała się z następujących zabiegów: hartowanie po austenitzowaniu w temperaturze 1000÷1050°C od 2 do 4 godzin. Do temperatury austenitzowania podgrzewa się próbkę umieszczoną w piecu nagrzanym do temperatury 650°C. Proces odpuszczania w temperaturze 170÷200°C w czasie od 5 do 8 godzin realizowany jest po co najmniej dwóch godzinach od hartowania.

Z chińskiego opisu wynalazku CN106011398 znane są trzy sposoby obróbki cieplnej stali odpornej na ścieranie o procentowym składzie wagowym: C – 0,38, Si – 1,25, Mn – 1,10, Cr – min. 0,77, Mo – 0,18, Cu – 0,50, Re – 0,08, P – max. 0,025, S – max. 0,025. Pierwsza z metod polega na austenitzowaniu w temperaturze 830°C przez 55 minut, hartowaniu izotermicznym w temperaturze 260°C przez 5 minut w kąpeli solnej 50% KNO₃ + 50% NaNO₃ i odpuszczaniu w temperaturze 300°C przez 90 minut. W wyniku powyższej obróbki cieplnej uzyskuje się twardość 50÷55 HRC i uduchałość 30÷35 J/cm². Kolejny zaprezentowany sposób obróbki cieplnej tej stali polega na austenitzowaniu w temperaturze 880°C przez 48 minut, hartowaniu izotermicznym w temperaturze 240°C przez 3 minuty w kąpeli solnej 50% KNO₃ + 50% NaNO₃ i odpuszczaniu w temperaturze 350°C przez 40 minut. W wyniku powyższej obróbki cieplnej uzyskuje się twardość 43÷47 HRC i uduchałość 23÷28 J/cm². Ostatni sposób obróbki cieplnej ujawniony w tym wynalazku polega na austenitzowaniu w temperaturze 850°C przez 50 minut, hartowaniu izotermicznym w temperaturze 290°C przez 1 minutę w kąpeli solnej 50% KNO₃ + 50% NaNO₃ i odpuszczaniu w temperaturze 320°C przez 60 minut. W wyniku powyższej obróbki cieplnej uzyskuje się twardość 45÷49 HRC i uduchałość 25÷30 J/cm².

Znany jest również z polskiego zgłoszenia wynalazku P.422170 sposób obróbki cieplnej złącza spawanego blach ze stali martenzytycznej o podwyższonej odporności na zużywanie ściernie, w którym dla wytworzenia złącza spawanego blachę ze stali martenzytycznej o podwyższonej odporności na zużywanie ściernie o grubości od 10 do 14 mm i wyrażonym w procencie wagowym składzie chemicznym C – 0,40÷0,45; Si – 0,13÷0,18; Mn – 0,50÷0,55; P – max. 0,015; S – max. 0,010; Cr – 0,30÷0,35; Ni – 1,95÷2,10; Mo – 0,13÷0,15; B – 0,002÷0,004 o równoważniku węgla $CEV \leq 0,76$, spawa się z prędkością $v \leq 140$ mm/min, przy znamionowym napięciu prądu łuku elektrycznego: $U = 9,5$ V i energii liniowej: $Q < 0,5$ kJ/mm, stopiwem w proporcji 80÷85% stopiwa EN-ISO 16834-A GMn4Ni2CrMo i 15÷20% stopiwa EN ISO 14341-A G3Si1, elektrodą wolframową z tlenkiem toru przy natężeniu prądu dla poszczególnych warstw spoiny do 90 A i utrzymywaniu temperatury międzywarstwowej w zakresie 250°C < T_i < 400°C, przy czym proces spawania prowadzi się w przepływie gazu osłonowego w postaci argonu przepuszczanego w ilości od 9 do 11 L/min. Otrzymane złącze spawane poddaje się normalizowaniu poprzez austenitzowanie w temperaturze 900–920°C przez 60 min,

a następnie chłodzenie na powietrzu, kolejno hartowaniu poprzez austenityzowanie w temperaturze 930–940°C przez 15–20 min, a następnie chłodzenie w oleju mineralnym o lepkości kinematycznej w zakresie 18–22 mm²/s o temperaturze ≤ 40°C, oraz odpuszczaniu w temperaturze 200–220°C przez 120 min, po którym złącze chłodzi się na powietrzu. Powyższe rozwiązanie dla stali Hardox 600 pozwala na uzyskanie złącza spawanego cechującego się wskaźnikiem wytrzymałości na poziomie $R_m = 1380 \text{ MPa}$ i średnią twardością powyżej 500 HV przy zachowaniu uduktowności $KCV_{+20} = 40 \text{ J/cm}^2$.

Wadą większości stosowanych dotychczas rozwiązań spawania stali o wysokiej odporności na zużywanie ściernie jest powstawanie w spoinie stref obniżonej twardości i wytrzymałości.

Złącze spawane stali Hardox Extreme otrzymywane dotychczas znanymi technikami spawania i obróbki cieplnej jest podatne do zimnego pęknięcia oraz posiada szerokie w stosunku do materiału rodzimego strefy obniżonej twardości.

Celem wynalazku jest rozwiązanie pozwalające na uzyskanie przez odpowiedni dobór techniki spawalniczej i obróbkę cieplną złącza spawanego o strukturze i właściwościach mechanicznych zbliżonych do struktury i właściwości mechanicznych materiału rodzimego.

Celem wynalazku jest rozwiązanie pozwalające na takie spawanie i późniejszą obróbkę cieplną stali Hardox Extreme, aby zminimalizować występowanie powyższych niedogodnych cech.

Sposób spawania i obróbki cieplnej wysokowytrzymałych blach z martenzytycznej stali odpornej na zużywanie ściernie z borem, w którym dla wytworzenia złącza spawanego blachę ze stali martenzytycznej o grubości 10 mm i wyrażonym w procencie wagowym składzie chemicznym: C – 0,44÷0,48; Si – 0,15÷0,50; Mn – 0,45÷0,52; P – max. 0,015; S – max. 0,010; Cr – 0,82÷0,90; Ni – 1,90÷2,10; Mo – 0,13÷0,15; B – max. 0,005, i o równoważniku węgla $CEV \leq 0,91$, spawa się metodą SAW (121) drutem elektrodowym S3Ni2,5CrMo zgodnie z EN ISO26304 wraz z wysokozasadowym, aglomerowanym topnikiem $MgO+CaF_2+Al_2O_3+SiO_2$, stosując parametry spawania: prędkość spawania ~60 cm/min, znamionowy prąd łuku elektrycznego $I = 530\div630 \text{ A}$, napięcie łuku elektrycznego $U = 31,5\div33 \text{ V}$, energia liniowa $Q \leq 2,0 \text{ kJ/mm}$, temperatura międzywarstwowa $T_i < 250^\circ\text{C}$, **według wynalazku charakteryzuje się tym, iż** otrzymane złącze poddaje się normalizowaniu poprzez austenityzowanie w temperaturze 800÷820°C przez 60 min, z chłodzeniem na wolnym powietrzu; kolejno hartowaniu poprzez austenityzowanie w temperaturze 830÷850°C przez 15÷20 min, a następnie chłodzenie w oleju o lepkości kinematycznej 20–50 mm²/s i temperaturze ≤ 50°C; oraz odpuszczaniu w temperaturze 100°C przez 24 godziny, po którym złącze chłodzi się na powietrzu.

Przykład 1

W przykładzie pierwszym realizacji wynalazku, arkusze blachy o grubości 10 mm ze stali Hardox Extreme, o wyrażonym w procencie wagowym składzie chemicznym: C – 0,47; Si – 0,16; Mn – 0,52; P – 0,01; S – 0,001; Cr – 0,89; Ni – 1,96; Mo – 0,13; B – 0,0025 oraz równoważniku węgla $CEV = 0,90$, łączy się metodą SAW (121) spoiną dwustronną, jednościgową, jednowarstwową, według następujących parametrów gwarantujących prawidłowy przetop blach:

- typ spoiny: BW (czołowa);
- pozycja spawania: PA (podolna);
- średnica elektrody: 3,0 mm;
- napięcie łuku elektrycznego (spoina 1/2): 31,5/33 V;
- natężenie prądu (spoina 1/2): 530/630 A;
- biegunowość: DC (+);
- prędkość spawania: ~60 cm/min;
- drut elektrodowy: OK Autrod 13.43 (S3Ni2,5CrMo wg EN ISO 26304);
- topnik: OK Flux 10.62 ($MgO+CaF_2+Al_2O_3+SiO_2$);
- podgrzewanie wstępne: brak;
- energia liniowa $Q \leq 2,0 \text{ kJ/mm}$;
- temperatura międzywarstwowa: ≤ 250°C;
- przygotowanie krawędzi blach do spawania (ukosowanie): brak.

W utworzonym według powyższych parametrów, zgodnie z zaleceniami producenta, złączu spawanym, bezpośrednio po spawaniu, w całym obszarze występują zróżnicowane zmiany mikrostruktury, skutkujące lokalnym obniżeniem poziomów twardości i wytrzymałości w stosunku do materiału rodzimego. W celu ich wyeliminowania, po spawaniu przeprowadza się obróbkę cieplną złącza według następujących parametrów:

- normalizowanie: austenityzowanie w temperaturze 800°C przez 60 min, chłodzenie na powietrzu do temperatury otoczenia;

- hartowanie: austenitizowanie w temperaturze 830°C przez 20 min, chłodzenie w oleju hartowniczym o lepkości kinematycznej 20 mm²/s o temperaturze ≤ 50°C, złącze spawane chłodzi się do temperatury ≤ 50°C;
- odpuszczanie (odprężanie): w temperaturze 100°C przez 24 godziny, chłodzenie do temperatury otoczenia na wolnym powietrzu.

Zrealizowane według powyższych parametrów zabiegi cieplne pozwoliły uzyskać w całej strefie złącza spawanego morfologicznie zbliżone do siebie mikrostruktury, korespondujące z mikrostrukturą materiału rodzimego, a także wyeliminowały zasadniczo z całego obszaru złącza spawanego strefy bardzo niskiej twardości. Rozwiązanie według wynalazku pozwala na uzyskanie złącza spawanego cechującego się korzystnymi wskaźnikami wytrzymałościowymi, to jest wytrzymałością na rozciąganie $R_m = 1824$ MPa, minimalną twardością 541 HV, przy zachowaniu uduktowości $KCV_{+20} = 27$ J/cm².

Przykład 2

W przykładzie drugim realizacji wynalazku, arkusze blachy o grubości 10 mm ze stali Hardox Extreme, o wyrażonym w procencie wagowym składzie chemicznym: C – 0,44; Si – 0,16; Mn – 0,49; P – 0,006; S – 0,002; Cr – 0,83; Ni – 2,01; Mo – 0,14; B – 0,0021 oraz równoważniku węgla CEV = 0,86, łączy się metodą SAW (121) spoiną dwustronną, jednościgową, jednowarstwową, według następujących parametrów gwarantujących prawidłowy przetop blach:

- typ spoiny: BW (czołowa);
- pozycja spawania: PA (podolna);
- średnica elektrody: 3,0 mm;
- napięcie łuku elektrycznego (spoina 1/2): 31,5/33 V;
- natężenie prądu (spoina 1/2): 530/630 A;
- biegunowość: DC (+);
- prędkość spawania: ~60 cm/min;
- drut elektrodowy: OK Autrod 13.43 (S3Ni2,5CrMo wg EN ISO 26304);
- topnik: OK Flux 10.62 (MgO+CaF₂+Al₂O₃+SiO₂);
- podgrzewanie wstępne: brak;
- energia liniowa $Q \leq 2,0$ kJ/mm;
- temperatura międzywarstwowa: ≤ 250°C;
- przygotowanie krawędzi blach do spawania (ukosowanie): brak.

W utworzonym według powyższych parametrów złączu, bezpośrednio po spawaniu, w całym obszarze występują zróżnicowane zmiany mikrostruktury, skutkujące lokalnym obniżeniem poziomów twardości i wytrzymałości w stosunku do materiału rodzimego. W celu ich wyeliminowania, po spawaniu przeprowadza się obróbkę cieplną złącza według następujących parametrów:

- normalizowanie: austenitizowanie w temperaturze 820°C przez 60 min, chłodzenie na powietrzu do temperatury otoczenia;
- hartowanie: austenitizowanie w temperaturze 850°C przez 20 min, chłodzenie w oleju hartowniczym o lepkości kinematycznej 30 mm²/s i temperaturze ≤ 50°C, złącze spawane chłodzi się do temperatury ≤ 50°C;
- odpuszczanie (odprężanie): w temperaturze 100°C przez 24 godziny, chłodzenie do temperatury otoczenia na wolnym powietrzu.

Zrealizowane według powyższych parametrów zabiegi cieplne pozwoliły uzyskać w całej strefie złącza spawanego morfologicznie zbliżone do siebie mikrostruktury, korespondujące z mikrostrukturą materiału rodzimego, a także wyeliminowały zasadniczo z całego obszaru złącza spawanego strefy bardzo niskiej twardości. Rozwiązanie według wynalazku pozwala na uzyskanie złącza spawanego cechującego się korzystnymi wskaźnikami wytrzymałościowymi, to jest wytrzymałością na rozciąganie $R_m = 1809$ MPa, minimalną twardością 540 HV, przy zachowaniu uduktowości $KCV_{+20} = 28$ J/cm².

Przykład 3

Rozwiązanie według wynalazku w przykładzie wykonania trzecim realizuje się jak w przykładzie wykonania pierwszym z tą różnicą, iż złącze spawane blach z przykładu pierwszego w celu wyeliminowania zmian mikrostruktury poddaje się obróbce cieplnej według następujących parametrów:

- normalizowanie: austenitizowanie w temperaturze 820°C przez 60 min, chłodzenie na powietrzu do temperatury otoczenia;

- hartowanie: austenitizowanie w temperaturze 850°C przez 15 min, chłodzenie w oleju hartowniczym o lepkości kinematycznej 40 mm²/s o temperaturze ≤ 50°C, złącze spawane chłodzi się do temperatury ≤ 50°C;
- odpuszczanie (odprężanie): w temperaturze 100°C przez 24 godziny, następnie chłodzenie do temperatury otoczenia na wolnym powietrzu.

Zrealizowane według powyższych parametrów zabiegi cieplne pozwoliły uzyskać w całej strefie złącza spawanego morfologicznie zbliżone do siebie mikrostruktury, korespondujące z mikrostrukturą materiału rodzimego, a także wyeliminowały zasadniczo z całego obszaru złącza spawanego strefy bardzo niskiej twardości. Obróbka cieplna pozwoliła na uzyskanie złącza spawanego cechującego się korzystnymi wskaźnikami wytrzymałościowymi, to jest wytrzymałością na rozciąganie $R_m = 1831$ MPa, minimalną twardością 485 HV, przy zachowaniu udarności $KCV_{+20} = 26$ J/cm².

Przykład 4

Rozwiązanie według wynalazku w przykładzie wykonania czwartym realizuje się jak w przykładzie wykonania drugim z tą różnicą, iż złącze spawane blach z przykładu drugiego w celu wyeliminowania zmian mikrostruktury poddaje się obróbce cieplnej według następujących parametrów:

- normalizowanie: austenitizowanie w temperaturze 800°C przez 60 min, chłodzenie na powietrzu do temperatury otoczenia;
- hartowanie: austenitizowanie w temperaturze 830°C przez 15 min, chłodzenie w oleju hartowniczym o lepkości kinematycznej 50 mm²/s o temperaturze ≤ 50°C, złącze spawane chłodzi się do temperatury ≤ 50°C;
- odpuszczanie (odprężanie): w temperaturze 100°C przez 24 godziny, następnie chłodzenie do temperatury otoczenia na wolnym powietrzu.

Zrealizowane według powyższych parametrów zabiegi cieplne pozwoliły uzyskać w całej strefie złącza spawanego morfologicznie zbliżone do siebie mikrostruktury, korespondujące z mikrostrukturą materiału rodzimego, a także wyeliminowały zasadniczo z całego obszaru złącza spawanego strefy bardzo niskiej twardości. Obróbka cieplna według niniejszego przykładu pozwala na uzyskanie złącza spawanego cechującego się korzystnymi wskaźnikami wytrzymałościowymi, to jest wytrzymałością na rozciąganie $R_m = 1829$ MPa, minimalną twardością 475 HV, przy zachowaniu udarności $KCV_{+20} = 28$ J/cm².

Obróbka cieplna złącza spawanego realizowana według innych kombinacji parametrów z zakresów wskazanych w zastrzeżeniu patentowym każdorazowo pozwala na uzyskanie złącza spawanego cechującego się wskaźnikiem wytrzymałości, średnią twardością oraz udarnością na poziomie zbliżonym jak w powyższych przykładach wykonania.

Zastrzeżenie patentowe

1. Sposób spawania i obróbki cieplnej wysokowytrzymałych blach z martenzytycznej stali odpornej na zużywanie ścierne z borem, w którym dla wytworzenia złącza spawanego blachę ze stali martenzytycznej o grubości 10 mm i wyrażonym w procencie wagowym składzie chemicznym: C – 0,44÷0,48; Si – 0,15÷0,50; Mn – 0,45÷0,52; P – max. 0,015; S – max. 0,010; Cr – 0,82÷0,90; Ni – 1,90÷2,10; Mo – 0,13÷0,15; B – max. 0,005, o równoważniku węgla CEV ≤ 0,91, spawa się metodą SAW (121) drutem elektrodowym S3Ni2,5CrMo wraz z wysokozasadowym, aglomerowanym topnikiem MgO+CaF₂+Al₂O₃+SiO₂, stosując parametry spawania: prędkość spawania ~60 cm/min, znamionowy prąd łuku elektrycznego $I = 530÷630$ A, napięcie łuku elektrycznego $U = 31,5÷33$ V, energia liniowa $Q ≤ 2,0$ kJ/mm, temperatura międzywarstwowa $T_i < 250^{\circ}\text{C}$, **znamienny tym**, że otrzymane złącze poddaje się normalizowaniu poprzez austenitizowanie w temperaturze 800÷820°C przez 60 min, z chłodzeniem na wolnym powietrzu; kolejno hartowaniu poprzez austenitizowanie w temperaturze 830÷850°C przez 15÷20 min, a następnie chłodzenie w oleju o lepkości kinematycznej 20–50 mm²/s i temperaturze ≤ 50°C; oraz odpuszczaniu w temperaturze 100°C przez 24 godziny, po którym złącze chłodzi się na powietrzu.