

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **238090**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **429128**

(51) Int.Cl.

C21D 1/18 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **04.03.2019**

(54) **Sposób spawania i obróbki cieplnej złącza spawanego blach z niskostopowej, trudnościeralnej stali**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
07.09.2020 BUP 19/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
05.07.2021 WUP 14/21

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

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

PL 238090 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób spawania i obróbki cieplnej złącza spawanego blach Brinar 500 o grubości od 6 do 12 mm, z niskostopowej, trudnościeralnej stali martenzytycznej o wyrażonym w procencie wagowym składzie chemicznym: C – 0,25÷0,28; Si – 0,60÷0,68; Mn – 0,90÷1,00; P – max. 0,020; S – max. 0,005; Cr – 0,84÷0,90; Ni – max 0,02; Mo – 0,20÷0,25; Al – max. 0,10; B – max. 0,0008, charakteryzującym się równoważnikiem węgla $CEV \leq 0,65$, dającym wytrzymałość na rozciąganie (R_m) min. 1200 MPa i średnią wartość udarności (KCV_{+20}) min. 90 J/cm².

Na przestrzeni ostatnich lat, bardzo dużą popularność zyskują spawalne, odporne na zużywanie ścierne stale martenzytyczne. Cechą charakterystyczną takich stali, oprócz wysokiej ich odporności na zużywanie ścierne, są także ich bardzo wysokie właściwości mechaniczne, uzyskiwane poprzez wytwarzanie jednorodnych struktur na całym przekroju blach z tych stali. Omawiana stal swoje właściwości mechaniczne zawdzięcza zależnej od grubości blach kompozycji składu chemicznego, stosowanej razem lub oddzielnie z mikrododatkami Ti, V i Nb, a także obniżonej zawartości fosforu i siarki. Pożądane właściwości tych stali uzyskuje się najczęściej poprzez poddanie ich obróbce cieplno-plastycznej.

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 ścierne. 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 udarność 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 udarność 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 udarność 25÷30 J/cm².

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

Złącze spawane stali Brinar 500 otrzymywane dotychczas znanymi technikami spawania i obróbki cieplnej jest podatne do zimnego pęknięcia oraz posiada szerokie w stosunku do materiału rodzimego strefy obniżonej twardości.

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 $250^{\circ}\text{C} < T_i < 400^{\circ}\text{C}$, przy czym proces spawania prowadzi się w przepływie gazu osłonowego w postaci argonu przepuszczanego w ilości od 9 do 11 L/min. Otrzymane złącze poddaje się normalizowaniu poprzez austenitizowanie w temperaturze $900\text{--}920^{\circ}\text{C}$ przez 60 min., a następnie chłodzenie na powietrzu, kolejno hartowaniu poprzez austenitizowanie w temperaturze $930\text{--}940^{\circ}\text{C}$ przez 15–20 min., a następnie chłodzenie w oleju mineralnym o lepkości kinematycznej w zakresie $18\text{--}22$ mm²/s o temperaturze $\leq 40^{\circ}\text{C}$, oraz odpuszczaniu w temperaturze $200\text{--}220^{\circ}\text{C}$ 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 $R_m=1380$ MPa i średnią twardością powyżej 500HV przy zachowaniu udarności $KCV_{+20} = 40$ J/cm².

Celem wynalazku jest rozwiązanie, w którym spawanie oraz następująca po nim obróbka cieplna stali Brinar 500, nie powodowałyby powstawania stref złącza spawanego o obniżonej twardości.

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

Sposób spawania i obróbki cieplnej złącza spawanego blach z niskostopowej, trudnościeralnej stali, w którym niskostopową, trudnościeralną blachę o grubości od 6 do 12 mm i wyrażonym w procencie wagowym składzie chemicznym: C – 0,25÷0,28; Si – 0,60÷0,68; Mn – 0,90÷1,00; P – max. 0,020; S – max. 0,005; Cr – 0,84÷0,90; Ni – max 0,02; Mo – 0,20÷0,25; Al – max. 0,10; B – max. 0,0008, o równoważniku węgla $CEV \leq 0,65$, spawa się metodą MAG (135) stopiwem w proporcji: 8÷12% stopiwa G3Si1 zgodnie z normą EN ISO 14341-A oraz 88÷92% stopiwa GMn4Ni2CrMo zgodnie z normą EN-ISO 16834-A, stosując parametry spawania: prędkość $v \leq 5$ mm/s; znamionowy prąd łuku elektrycznego I = 80÷170 A; napięcie łuku elektrycznego U = 18÷28 V; energia liniowa Q $\leq 1,0$ kJ/mm; temperatura międzywarstwowa w zakresie $T_i \leq 250^{\circ}\text{C}$; przepływ gazu osłonowego w postaci mieszanki Ar + 18%CO₂, przepuszczanego w ilości 15 l/min, **według wynalazku charakteryzuje się tym, iż** otrzymane złącze spawane poddaje się normalizowaniu poprzez austenitizowanie w temperaturze $900\text{--}920^{\circ}\text{C}$ przez 60 min. z chłodzeniem na wolnym powietrzu; kolejno hartowaniu poprzez austenitizowanie w temperaturze $920\text{--}930^{\circ}\text{C}$ przez 15÷20 min., a następnie chłodzenie w wodzie o temperaturze $\leq 30^{\circ}\text{C}$; oraz odpuszczaniu w temperaturze 150°C przez 120 min., po którym złącze chłodzi się na powietrzu.

Korzystnie spawaniu i obróbce cieplnej poddaje się blachę o grubości 12 mm.

Schemat wykonywanych złącz spawanych został uwidoczniony na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia sposób przygotowania blachy do spawania a fig. 2 schemat nakładania stopiwa podczas spawania: 1 – stopiwo G3Si1, 2 stopiwo GMn4Ni2CrMo, 3 – arkusz blachy materiału rodzimego poddany procesowi spawania.

Przykład 1

W przykładzie pierwszym realizacji wynalazku, arkusze (3) blachy o grubości 12 mm ze stali Brinar 500, o wyrażonym w procencie wagowym składzie chemicznym: C – 0,28; Si – 0,66; Mn – 0,95; P – 0,012; S – 0,001; Cr – 0,84; Ni – 0,01; Mo – 0,20; Al – 0,04; B – 0,0008 oraz równoważniku węgla $CEV = 0,65$, łączy się metodą MAG (135) spoiną jednostronną, wielościęgową, wielowarstwową, według następujących parametrów gwarantujących prawidłowy przetop blach:

- typ spoiny: BW (czołowa);
- pozycja spawania: PA (podolna);
- średnica elektrody (elektroda 1/2): 1,0/1,0 mm;
- napięcie łuku elektrycznego (elektroda 1/2): 18/28 V;
- natężenie prądu (elektroda 1/2): 90/170 A;
- biegunowość: DC (+);

- prędkość podawania drutu elektrodowego: 9 m/min.;
- prędkość spawania: ~ 5 mm/s;
- materiał dodatkowy (1), udział w złączu: G3Si1 wg EN ISO 14341-A, ~10% obj.;
- materiał dodatkowy (2), udział w złączu: GMn4Ni2CrMo wg EN-ISO 16834-A, ~90% obj.;
- gaz ochronny: M21 wg PN-EN ISO 14175 (82%Ar + 18%CO₂);
- natężenie przepływu gazu osłonowego: 15 l/min;
- podgrzewanie wstępne: brak;
- temperatura międzywarstwowa: ≤ 250°C.

W utworzonym według powyższych parametrów złączu, wykonanym zgodnie z zaleceniem producenta, 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: austenitzowanie w temperaturze 920°C przez 60 min., chłodzenie na powietrzu do temperatury otoczenia;
- hartowanie: austenitzowanie w temperaturze 920°C przez 20 min., chłodzenie w wodzie o temperaturze 30°C;
- odpuszczanie: w temperaturze 150°C przez 120 min., 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, oraz wyeliminowały zasadniczo z całego obszaru złącza spawanego strefy bardzo niskiej twardości. Rozwiązanie według wynalazku pozwala na uzyskanie złącza spawanego cechującego się korzystnymi wskaźnikami wytrzymałościowymi, tj. wytrzymałością na rozciąganie $R_m = 1242$ MPa, minimalną twardością 375 HV, przy zachowaniu udarnośći $KCV_{+20} = 100$ J/cm².

Przykład 2

W przykładzie drugim realizacji wynalazku, arkusze (3) blachy o grubości 6 mm ze stali Brinar 500, o wyrażonym w procencie wagowym składzie chemicznym: C – 0,26; Si – 0,67; Mn – 0,98; P – 0,011; S – 0,001; Cr – 0,86; Ni – 0,02; Mo – 0,20; Al – 0,05, B 0,0007 oraz równoważniku węgla CEV = 0,64, łączy się metodą MAG (135) spoiną jednostronną, wielościęgową, wielowarstwową, według następujących parametrów gwarantujących prawidłowy przetop blach:

- typ spoiny: BW (czołowa);
- pozycja spawania: PA (podolna);
- średnica elektrody (elektroda 1/2): 1,0/1,0 mm;
- napięcie łuku elektrycznego (elektroda 1/2): 18/28 V;
- natężenie prądu (elektroda 1/2): 80/170 A;
- biegunowość: DC (+);
- prędkość podawania drutu elektrodowego: 9 m/min.;
- prędkość spawania: ~ 5 mm/s;
- materiał dodatkowy (1), udział w złączu: G3Si1 wg EN ISO 14341-A, ~8% obj.;
- materiał dodatkowy (2), udział w złączu: GMn4Ni2CrMo wg EN-ISO 16834-A, ~92% obj.;
- gaz ochronny: M21 wg PN-EN ISO 14175 (82%Ar + 18%CO₂);
- natężenie przepływu gazu osłonowego: 15 l/min;
- podgrzewanie wstępne: brak;
- temperatura międzywarstwowa: ≤ 250°C.

W utworzonym według powyższych parametrów złączu, wykonanym zgodnie z zaleceniem producenta, 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: austenitzowanie w temperaturze 900°C przez 60 min., chłodzenie na powietrzu do temperatury otoczenia;
- hartowanie: austenitzowanie w temperaturze 930°C przez 15 min., chłodzenie w wodzie o temperaturze 20°C;
- odpuszczanie: w temperaturze 150°C przez 120 min., 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, oraz wyeliminowały zasadniczo z całego obszaru złącza spawanego strefy bardzo niskiej twardości. Rozwiązanie według wynalazku pozwala na uzyskanie złącza spawanego cechującego się korzystnymi wskaźnikami wytrzymałościowymi, tj. wytrzymałością na rozciąganie $R_m = 1250$ MPa, minimalną twardością 380 HV, przy zachowaniu udarności $KCV_{+20} = 90$ J/cm².

Obróbka cieplna złącza spawanego realizowana według różnych 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.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób spawania i obróbki cieplnej złącza spawanego blach z niskostopowej, trudnościeralnej stali, w którym niskostopową, trudnościeralną blachę o grubości od 6 do 12 mm i wyrażonym w procencie wagowym składzie chemicznym: C – 0,25÷0,28; Si – 0,60÷0,68; Mn – 0,90÷1,00; P – max. 0,020; S – max. 0,005; Cr – 0,84÷0,90; Ni – max 0,02; Mo – 0,20÷0,25; Al. – max. 0,10; B – max. 0,0008, o równoważniku węgla $CEV \leq 0,65$, spawa się metodą MAG (135) stopiwem w proporcji: 8÷12% stopiwa G3Si1 zgodnie z normą EN ISO 14341-A oraz 88÷92% stopiwa GMn4Ni2CrMo zgodnie z normą EN-ISO 16834-A, stosując parametry spawania: prędkość $v \leq 5$ mm/s; znamionowy prąd łuku elektrycznego $I = 80 \div 170$ A; napięcie łuku elektrycznego $U = 18 \div 28$ V; energia liniowa $Q \leq 1,0$ kJ/mm; temperatura międzywarstwowa w zakresie $T_i \leq 250^\circ\text{C}$; przepływ gazu osłonowego w postaci mieszanki Ar + 18%CO₂, przepuszczanego w ilości 15 l/min, **znamienny tym**, że otrzymane złącze spawane poddaje się normalizowaniu poprzez austenitzowanie w temperaturze 900÷920°C przez 60 min. z chłodzeniem na wolnym powietrzu; kolejno hartowaniu poprzez austenitzowanie w temperaturze 920÷930°C przez 15÷20 min., a następnie chłodzenie w wodzie o temperaturze $\leq 30^\circ\text{C}$; oraz odpuszczaniu w temperaturze 150°C przez 120 min., po którym złącze chłodzi się na powietrzu.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że spawaniu i obróbce cieplnej poddaje się blachę o grubości 12 mm.

Rysunki

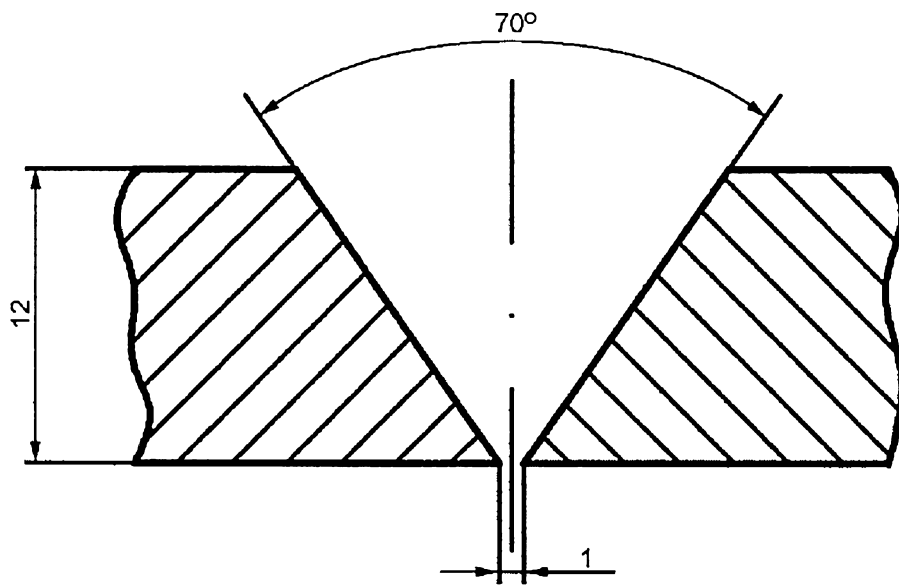


Fig. 1

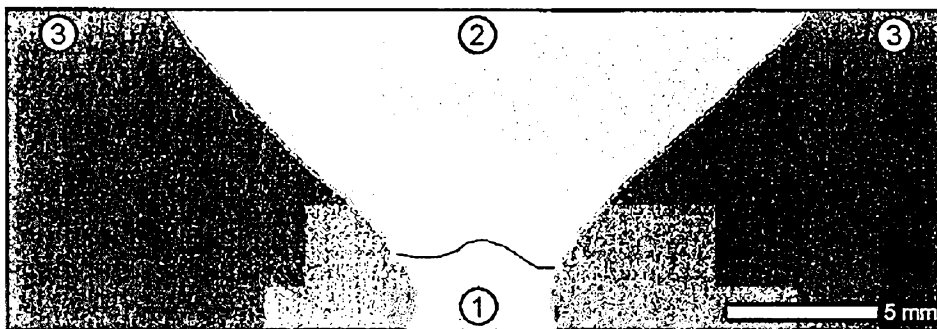


Fig. 2