

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **239910**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **431841**

(22) Data zgłoszenia: **18.11.2019**

(51) Int.Cl.

C21D 1/28 (2006.01)

B23K 9/18 (2006.01)

(54) **Sposób spawania i obróbki cieplnej martenzytycznej stali borowej
o podwyższonej odporności na zużywanie ścierne**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
31.05.2021 BUP 11/21

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
24.01.2022 WUP 04/22

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

(72) Twórca(y) wynalazku:
ŁUKASZ KONAT, Sobótka, PL
MARTYNA ZEMLIK, Środa Śląska, PL

PL 239910 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wykonywania i obróbki cieplnej złączy spawanych stali Hardox 450 o grubości wynoszącej 10 mm, wyrażonej w procencie wagowym składem chemicznym: C – $0,17 \div 0,23$; Si – $0,19 \div 0,32$; Mn – $1,00 \div 1,10$; P – max. 0,025; S – max. 0,010; Cr – $0,20 \div 0,37$; Ni – max. 0,10; Mo – $0,05 \div 0,15$; B – max. 0,002, charakteryzującej się równoważnikiem węgla CEV $\leq 0,52$, dającym wytrzymałość na rozciąganie (R_m) min. 1200 MPa i średnią wartość udarności (KCV₊₂₀) min. 40 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 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 $250 \div AC_1$;
- 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 – $0,30 \div 0,35$; Si $0,6 \div 1,2$; Mn $1,0 \div 1,5$; Cr $2,5 \div 3,5$; B $0,003 \div 0,007$; Ti $0,03 \div 0,06$; Re $0,10 \div 0,15$; Al $0,01 \div 0,03$; S $\leq 0,035$; P $\leq 0,035$. Obróbka cieplna składała się z następujących zabiegów: hartowanie po austenitzowaniu w temperaturze $1000 \div 1050^\circ\text{C}$ od 2 do 4 godzin. Do temperatury austenitzowania podgrzewa się próbkę umieszczoną w piecu nagrzanym do temperatury 650°C . Proces odpuszczania w temperaturze $170 \div 200^\circ\text{C}$ 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 $50 \div 55$ HRC i udarność $30 \div 35$ 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 $43 \div 47$ HRC i udarność $23 \div 28$ 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 $45 \div 49$ HRC i udarność $25 \div 30$ 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 ścierne, w którym dla wytworzenia złącza spawanego blachę ze stali martenzytycznej o podwyższonej odporności na zużywanie ścierne o grubości od 10 do 14 mm i wyrażonym w procencie wagowym składzie chemicznym C – $0,40 \div 0,45$; Si – $0,13 \div 0,18$; Mn – $0,50 \div 0,55$; P – max. 0,015; S – max. 0,010; Cr – $0,30 \div 0,35$; Ni – $1,95 \div 2,10$; Mo – $0,13 \div 0,15$; B – $0,002 \div 0,004$ 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 spawane poddaje się normalizowaniu poprzez austenitzowanie w temperaturze $900 \div 920^\circ\text{C}$ przez 60 min., a następnie

chłodzenie na powietrzu, kolejno hartowaniu poprzez austenitizowanie w temperaturze $930 \pm 940^{\circ}\text{C}$ przez 15 ± 20 min., a następnie chłodzenie w oleju mineralnym o lepkości kinematycznej w zakresie $18 \pm 22 \text{ mm}^2/\text{s}$ o temperaturze $\leq 40^{\circ}\text{C}$, oraz odpuszczaniu w temperaturze $200 \pm 220^{\circ}\text{C}$ 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 $R_m = 1380 \text{ MPa}$ i średnią twardością powyżej 500 HV, przy zachowaniu udarności $KCV_{+20} = 40 \text{ J/cm}^2$.

Znany jest ze zgłoszenia polskiego wynalazku P.429400 sposób spawania i obróbki cieplnej wysokowytrzymałych blach z martenzytycznej stali Hardox Extreme 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 – $0,44 \pm 0,48$; Si – $0,15 \pm 0,50$; Mn – $0,45 \pm 0,52$; P – max. 0,015; S – max. 0,010; Cr – $0,82 \pm 0,90$; Ni – $1,90 \pm 2,10$; Mo – $0,13 \pm 0,15$; 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 $\text{MgO} + \text{CaF}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$, stosując parametry spawania: prędkość spawania $v \approx 60 \text{ cm/min.}$, znamionowy prąd łuku elektrycznego $I = 530 \pm 630 \text{ A}$, napięcie łuku elektrycznego $U = 31,5 \pm 33 \text{ V}$, energia liniowa $Q \leq 2,0 \text{ kJ/mm}$, temperatura międzywarstwowa $T_i < 250^{\circ}\text{C}$. Otrzymane złącze poddaje się normalizowaniu poprzez austenitizowanie w temperaturze $800 \pm 820^{\circ}\text{C}$ przez 60 min., z chłodzeniem na wolnym powietrzu; kolejno hartowaniu poprzez austenitizowanie w temperaturze $830 \pm 850^{\circ}\text{C}$ przez 15 ± 20 min., a następnie chłodzenie w oleju o lepkości kinematycznej $20 \pm 50 \text{ mm}^2/\text{s}$ i temperaturze $\leq 50^{\circ}\text{C}$; oraz odpuszczaniu w temperaturze 100°C przez 24 godziny, po którym złącze chłodzi się na powietrzu.

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

Tak więc celem według wynalazku jest rozwiązanie pozwalające na uzyskanie, przez odpowiedni dobór metody, warunków i parametrów spawania, a także sposobu obróbki cieplnej, połączenia spawanego charakteryzującego się strukturą i właściwościami mechanicznymi zbliżonymi do struktury i właściwości materiału rodzimego.

Złącze spawane stali Hardox 450, otrzymywane dotychczas znanymi technikami spawania i obróbki cieplnej, jest podatne na zimne pękanie oraz posiada szerokie, w stosunku do materiału rodzimego, strefy obniżonej twardości.

Celem wynalazku jest rozwiązanie pozwalające na takie spawanie i późniejszą obróbkę cieplną stali Hardox 450, aby zminimalizować występowanie powyższych niedogodnych cech.

Sposób spawania i obróbki cieplnej martenzytycznej stali borowej o podwyższonej odporności na zużywanie ściernie, w którym dla wytworzenia złącza spawanego blachę ze stali martenzytycznej o grubości 10 mm i wyrażonej w procencie wagowym składem chemicznym: C – $0,17 \pm 0,23$; Si – $0,19 \pm 0,32$; Mn – $1,00 \pm 1,10$; P – max. 0,025; S – max. 0,010; Cr – $0,20 \pm 0,37$; Ni – max. 0,10; Mo – $0,05 \pm 0,15$; B – max. 0,002, o równoważniku węgla $CEV \leq 0,52$, spawa się metodą SAW (121) drutem elektrodowym S3Ni2,5CrMo (OK Autrod 13.43 zgodnie z EN ISO26304) wraz z topnikiem $\text{MgO} + \text{CaF}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$, stosując parametry spawania: prędkość spawania $v \approx 60 \text{ cm/min.}$, znamionowy prąd łuku elektrycznego $I = 530 \pm 630 \text{ A}$, napięcie łuku elektrycznego $U = 31 \pm 33 \text{ V}$, energia liniowa $Q \leq 2,0 \text{ kJ/mm}$, temperatura międzywarstwowa $T_i \leq 250^{\circ}\text{C}$, **według wynalazku charakteryzuje się tym, iż** otrzymane złącze poddaje się normalizowaniu poprzez austenitizowanie w temperaturze $880 \pm 900^{\circ}\text{C}$ przez 60 minut i chłodzenie na powietrzu; dalej hartowaniu poprzez austenitizowanie w temperaturze $930 \pm 950^{\circ}\text{C}$ przez 15 ± 20 minut i chłodzenie w wodzie o temperaturze $\leq 30^{\circ}\text{C}$; oraz odpuszczaniu w temperaturze 100°C przez 5 godzin, po którym złącze chłodzi się na powietrzu.

Przykład 1

W przykładzie pierwszym realizacji wynalazku, arkusze blachy o grubości 10 mm ze stali Hardox 450, o wyrażonym w procencie wagowym składzie chemicznym: C – 0,17; Si – 0,32; Mn – 1,00; P – 0,010; S – 0,001; Cr – 0,37; Ni – 0,05; Mo – 0,08; B – 0,0014 oraz równoważniku węgla $CEV = 0,44$, łączy się metodą SAW (121) spoiną dwustronną, jednościegową, jednowarstwową, według następujących parametrów gwarantujących prawidłowy przetop blach:

- typ spoiny: BW (doczołowa);
- pozycja spawania: PA (podolna);
- średnica elektrody: 3,0 mm;
- napięcie łuku elektrycznego (spoina 1/2): 31/33 V;

- energia liniowa $Q \leq 2,0 \text{ kJ/mm}$;
- natężenie prądu (spoina 1/2): 530/630 A;
- biegunowość: DC (+);
- prędkość spawania: $\sim 60 \text{ cm/min}$;
- drut elektrodowy: OK Autrod 13.43 (S3Ni2,5CrMo wg EN ISO 26304);
- topnik: OK Flux 10.62 ($\text{MgO}, \text{CaF}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$);
- podgrzewanie wstępne: brak;
- temperatura międzywarstwowa: $\leq 250^\circ\text{C}$;
- przygotowanie krawędzi blach do spawania (ukosowanie): brak.

W utworzonym według powyższych parametrów złączy, 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 950°C przez 20 min, chłodzenie w wodzie o temperaturze $\leq 30^\circ\text{C}$;
- odpuszczanie (odprężanie): w temperaturze 100°C przez 5 godzin, 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 z całego obszaru złącza spawanego strefy obniżonej twardości. Rozwiązanie według wynalazku pozwala na uzyskanie złącza spawanego cechującego się korzystnymi wskaźnikami wytrzymałościowymi, tj. wytrzymałością na rozciąganie $R_m = 1245 \text{ MPa}$, minimalną twardością 390 HV, przy zachowaniu minimalnej udarności $KCV_{+20} = 40 \text{ J/cm}^2$.

Przykład 2

W przykładzie drugim realizacji wynalazku, arkusze blachy o grubości 10 mm ze stali Hardox 450, o wyrażonym w procencie wagowym składzie chemicznym: C – 0,23; Si – 0,29; Mn – 1,10; P – 0,013; S – 0,001; Cr – 0,25; Ni – 0,04; Mo – 0,14; B – 0,0013 oraz równoważniku węgla CEV = 0,49, 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): 31/33 V;
- energia liniowa $Q \leq 2,0 \text{ kJ/mm}$;
- natężenie prądu (spoina 1/2): 530/630 A;
- biegunowość: DC (+);
- prędkość spawania: $\sim 60 \text{ cm/min}$;
- drut elektrodowy: OK Autrod 13.43 (S3Ni2,5CrMo wg EN ISO 26304);
- topnik: OK Flux 10.62 ($\text{MgO}, \text{CaF}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$);
- podgrzewanie wstępne: brak;
- temperatura między warstwowa: $\leq 250^\circ\text{C}$;
- przygotowanie krawędzi blach do spawania (ukosowanie): brak.

W utworzonym według powyższych parametrów złączy, 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 880°C przez 60 min, chłodzenie na powietrzu do temperatury otoczenia;
- hartowanie: austenitzowanie w temperaturze 930°C przez 20 min, chłodzenie w wodzie o temperaturze $\leq 30^\circ\text{C}$;
- odpuszczanie (odprężanie): w temperaturze 100°C przez 5 godzin, 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 z całego obszaru złącza spawanego strefy obniżonej twardości. Rozwiązanie według wynalazku pozwala na uzyskanie złącza spawanego cechującego się korzystnymi wskaźnikami wytrzymałościowymi, tj. wytrzymałością na rozciąganie $R_m = 1220$ MPa, minimalną twardością 380 HV, przy zachowaniu minimalnej udarności $KCV_{+20} = 45$ J/cm².

Przykład 3

W przykładzie trzecim realizacji wynalazku arkusze blachy o grubości 10 mm ze stali Hardox 450, o wyrażonym w procencie wagowym składzie chemicznym: C – 0,17; Si – 0,32; Mn – 1,00; P – 0,010; S – 0,001; Cr – 0,37; Ni – 0,05; Mo – 0,08; B – 0,0014 oraz równoważniku węgla CEV = 0,44, łączy się metodą SAW (121) spoiną dwustronną, jednościegową, jednowarstwową, według parametrów z przykładu realizacji pierwszego.

W utworzonym według powyższych parametrów złączy, 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: austenitizowanie w temperaturze 890°C przez 60 min, chłodzenie na powietrzu do temperatury otoczenia;
- hartowanie: austenitizowanie w temperaturze 950°C przez 15 min, chłodzenie w wodzie o temperaturze $\leq 30^\circ\text{C}$;
- odpuszczanie (odprężanie): w temperaturze 100°C przez 5 godzin, 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 z całego obszaru złącza spawanego strefy obniżonej twardości. Rozwiązanie według wynalazku pozwala na uzyskanie złącza spawanego cechującego się korzystnymi wskaźnikami wytrzymałościowymi, tj. wytrzymałością na rozciąganie $R_m = 1210$ MPa, minimalną twardością 375 HV, przy zachowaniu minimalnej udarności $KCV_{+20} = 45$ J/cm².

Przykład 4

W przykładzie czwartym realizacji wynalazku, arkusze blachy o grubości 10 mm ze stali Hardox 450, o wyrażonym w procencie wagowym składzie chemicznym: C – 0,23; Si – 0,29; Mn – 1,10; P – 0,013; S – 0,001; Cr – 0,25; Ni – 0,04; Mo – 0,14; B – 0,0013 oraz równoważniku węgla CEV = 0,49, łączy się metodą SAW (121) spoiną dwustronną, jednościegową, jednowarstwową, według parametrów z przykładu realizacji pierwszego.

W utworzonym według powyższych parametrów złączy, 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: austenitizowanie w temperaturze 900°C przez 60 min., chłodzenie na powietrzu do temperatury otoczenia;
- hartowanie: austenitizowanie w temperaturze 930°C przez 15 min., chłodzenie w wodzie o temperaturze $\leq 30^\circ\text{C}$;
- odpuszczanie (odprężanie): w temperaturze 100°C przez 5 godzin, 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 z całego obszaru złącza spawanego strefy obniżonej twardości. Rozwiązanie według wynalazku pozwala na uzyskanie złącza spawanego cechującego się korzystnymi wskaźnikami wytrzymałościowymi, tj. wytrzymałością na rozciąganie $R_m = 1250$ MPa, minimalną twardością 390 HV, przy zachowaniu minimalnej udarności $KCV_{+20} = 40$ 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 martenzytycznej stali borowej o podwyższonej odporności na zużywanie ścierne, w którym dla wytworzenia złącza spawanego blachę ze stali martenzytycznej o grubości 10 mm i wyrażonej w procencie wagowym składem chemicznym: C – $0,17 \div 0,23$; Si – $0,19 \div 0,32$; Mn – $1,00 \div 1,10$; P – max. 0,025; S – max. 0,010; Cr – $0,20 \div 0,37$; Ni – max. 0,10; Mo – $0,05 \div 0,15$; B – max. 0,002, o równoważniku węgla CEV $\leq 0,52$, spawa się metodą SAW (121) drutem elektrodowym S3Ni2,5CrMo wraz z topnikiem MgO, CaF₂, Al₂O₃, SiO₂, stosując parametry spawania: prędkość spawania $v \approx 60\text{cm/min}$, znamionowy prąd łuku elektrycznego $I = 530 \div 630\text{ A}$, napięcie łuku elektrycznego $U = 31 \div 33\text{V}$, energia liniowa $Q \leq 2,0\text{kJ/mm}$, temperatura międzywarstwowa $T_i \leq 250^\circ\text{C}$, **znamienny tym**, że otrzymane złącze poddaje się normalizowaniu poprzez austenitizowanie w temperaturze $880 \div 900^\circ\text{C}$ przez 60 minut i kolejno chłodzenie na powietrzu; dalej hartowaniu poprzez austenitizowanie w temperaturze $930 \div 950^\circ\text{C}$ przez $15 \div 20$ minut i chłodzenie w wodzie o temperaturze $\leq 30^\circ\text{C}$; a na koniec odpuszczaniu w temperaturze 100°C przez 5 godzin, po którym złącze chłodzi się na powietrzu.