

# Naprawa odlewów stalowych typu duplex GX2CrNiMoCu25-6-3-3 metodą MAG drutem proszkowym

Repair duplex steel castings GX2CrNiMoCu25-6-3-3  
MAG cored wire

## Streszczenie

W artykule opisano wpływ spawania naprawczego odlewów stalowych na własności i strukturę obszarów napawanych. Badaniom poddano odlewy ze staliwa typu duplex GX2CrNiMoCu25-6-3-3, w których wykonano symulowane wady z wykorzystaniem żłobienia plazmowego, żłobienia elektrodą otuloną ChamferTrode 03 oraz żłobienia elektropowietrznego elektrodą grafitową o średnicy 6 mm. Spawanie naprawcze przeprowadzono metodą MAG drutem proszkowym Avesta Sheffield FCW 2205-H o średnicy 1,2 mm w osłonie mieszanki gazowej Ar+CO<sub>2</sub> prądem pulsacyjnym. Obszary napawane zostały poddane badaniom wizualnym, badaniom makro, mikroskopowym, pomiarowi twardości oraz ocenie zgodności barwy po napawaniu. Przeprowadzone badania wykazały zachowanie struktury dwufazowej w obrębie SWC oraz w obszarze linii wtopienia, co może wskazywać na małe wymieszanie się spoiwa z materiałem rodzimym. W obszarach napawanych nie doszło do znacznego rozrostu ziarna. Proces spawania naprawczego nie spowodował znacznego utwardzenia w obszarze napoiny i SWC. Barwa napoin naprawczych nie wykazała znacznych różnic w stosunku do materiału rodzimego, co jest ważne podczas prowadzenia prac naprawczych odlewów stalowych.

**Słowa kluczowe:** staliwo duplex, naprawa odlewów, spawanie

## Abstract

The article describes the impact of the repair castings on the properties and structure of the deposited areas. The tests were steel castings GX2CrNiMoCu25-6-3-3 duplex in which simulated defects were made using plasma gouging, gouging coated electrode ChamferTrode 03 and electro-air gouging graphite electrode with a diameter of 6 mm. Repair welding was performed by MAG cored Avesta Sheffield FCW 2205-H with a diameter of 1,2 mm in the cover gas mixture Ar + CO<sub>2</sub> pulsed current. Welded areas were visually tested, tested macro, microscopic, measurement of hardness and color conformity assessment after welding. The study showed the behavior of the two-phase structure within the SWC and in the fusion line, which may indicate a small mixing the binder with the parent material. In areas of the deposited there was no significant grain growth. Repair welding process did not cause a significant hardening in the weld and HAZ. The color of repair welds showed no significant differ with respect to the parent material, which is important when carrying out repair work steel castings.

**Keywords:** duplex cast steel, repair castings, welding

## Wstęp

Odlewy stalowe są często wykorzystywane w przemyśle, dlatego ważne jest, aby można było je wytwarzać w stanie, w którym nie wymagają one dużych ilości zabiegów obróbkowych, ale także żeby były tanie w produkcji. Są to dwa główne problemy produkcyjne. Zmniejszenie gabarytów prowadzi przeważnie do wystąpienia wad odlewniczych spowodowanych brakiem zasilania odlewu w czasie stygnięcia. Także inne czynniki, jak źle zaprojektowany odlew czy urwanie masy formierskiej w czasie zalewania, mogą doprowadzić do powstania wad [1÷2]. W takich przypadkach stosuje się metody naprawy odlewów m.in. metodami spawalniczymi.

Przez spawanie naprawcze odlewów możliwe są do usunięcia różnego rodzaju wady powierzchniowe i wewnętrzne. Można w ten sposób uzupełnić większe ubytki materiału, co jest szczególnie ważne w przypadku odlewów stalowych. Spawalnicze metody naprawy odlewów to także łączenie poszczególnych sekcji odlewów w całość. Takie rozwiązanie stosuje się, gdy nie jest możliwe odlanie elementu w jednym procesie lub gdy gabaryty odlewu są ponad możliwości danej odlewni [1÷3]. Nowym materiałem używanym w odlewniach jest staliwo duplex. Staliwo to posiada strukturę dwufazową ferrytyczno-austenityczną, dzięki czemu ma dobre własności wytrzymałościowe oraz jest odporne na korozję. Posiada ono także wady, takie jak skłonność

do pęknięcia oraz wrażliwość na szybkość stygnięcia, dlatego też ważnym zagadnieniem związanym z tym materiałem jest kwestia naprawy odlewów [4÷6]. Staliwa duplex zawierają przeważnie 21÷28% chromu, 4÷7% niklu, 1÷4% molibdenu oraz do ok. 0,05% węgla (wyjątkiem jest pierwsza generacja staliwa duplex, gdzie zawartość węgla nie przekraczała 0,08%). Mniejsza zawartość niklu obniża koszty wytwarzania, dzięki czemu może być ono wykorzystywane na szerszą skalę. Ze względu na skład chemiczny ich spawalność powinna być na poziomie stali austenitycznych. Trzeba tylko utrzymać niską zawartość węgla w materiałach dodatkowych do spawania oraz dobrać odpowiedni skład chemiczny stopiwa do składu materiału rodzimego. W czasie spawania ważne jest to, aby materiał rodzimy nie był zbyt długo przetrzymywany w wysokiej temperaturze (600÷1000 °C), ponieważ jest on skłonny do powstania kruchych faz węglkowych m.in. fazy sigma [4÷5, 7÷8]. Staliwo duplex może być spawane wszystkimi metodami łukowymi, z tego względu jest to materiał pożądanym na rynku, trzeba jednak uważać w przypadku metod niskoenergetycznych, gdyż może wystąpić zbyt duża ilość ferrytu w miejscu spawanym [8,10]. W przypadku metody spawania w osłonach gazów ochronnych istnieje możliwość wprowadzenia dodatkowo azotu w miejsce jeziorka spawalniczego, przez co można zwiększyć ilość austenitu w spoinie. W przypadku użycia drutu proszkowego w metodzie MAG, zalecane jest użycie mieszanek Ar+CO<sub>2</sub> oraz zastosowanie urządzeń z synergicznym sterowaniem. Także zaleca się używać niskich energii linowych spawania rzędu 0,5÷2,5 kJ/mm [8÷10]. Spawanie naprawcze odlewów stalowych przeprowadzane jest przeważnie w celu uzupełnienia nieciągłości materiału, gdzie nie są

wymagane bardzo wysokie własności wytrzymałościowe. Może to być np. uzupełnienie ścianki odlewu w celu zachowania szczelności. Ważnym aspektem podczas naprawy odlewu jest odtworzenie ubytku z zachowaniem możliwie najlepiej zbliżonej barwy spoiwa do materiału rodzimego.

## Badania własne

Celem badań było określenie wpływu procesu żłobienia i spawania naprawczego na strukturę i własności staliwa duplex GX2CrNiMoCu25-6-3-3 (skład chemiczny i własności wg normy przedstawiono w Tabl. I i II, a przykładową strukturę na Rys. 1) żłobionych plazmowo, elektrodą otuloną, elektro-powietrznie, a następnie napawanych metodą MAG drutem proszkowym Avesta Sheffield FCW 2205-H o średnicy 1,2 mm w osłonie mieszanki gazowej Ar+CO<sub>2</sub> prądem pulsacyjnym. Skład masowy stopiwa przedstawia Tablica III.

### Proces żłobienia

Do procesu żłobienia użyto odlewów stalowych ze staliwa duplex GX2CrNiMoCu25-6-3-3. Odlewy stalowe zostały wstępnie poddane procesowi żłobienia w celu zasymulowania wad odlewniczych. Wady odlewnicze wykonano poprzez żłobienie plazmowe, żłobienie elektrodą otuloną Chamfer-Trode 03 oraz żłobienie elektro-powietrzne elektrodą grafitową o średnicy 6 mm. Na rysunkach 2 i 3 widoczne są symulowane wady po procesie żłobienia w postaci ubytków w materiale, które zostały poddane procesowi spawania naprawczego.

Tablica I. Skład chemiczny staliwa GX2CrNiMoCu25-6-3-3 [12]

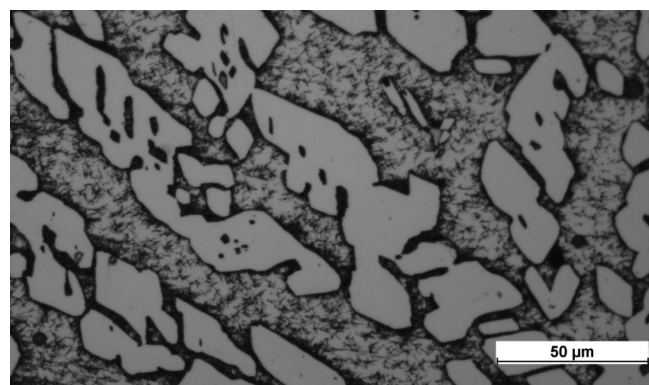
Table I. Chemical composition of cast steel GX2CrNiMoCu25-6-3-3 [12]

Próbka	Stężenie pierwiastków, [%]									
	C	Cr	Ni	Mn	Si	Cu	S	P	Al	N
Norma	max 0,03	5÷7	max 1,5	2,5÷3,5	max 1,0	2,75÷3,5	max 0,025	max 0,035	–	0,12÷0,22
P1	0,026	24,7	6,13	1,05	0,55	3,19	0,006	0,024	0,009	0,15

Tablica II. Skład chemiczny staliwa GX2CrNiMoCu25-6-3-3 [12]

Table II. Chemical composition of cast steel GX2CrNiMoCu25-6-3-3 [12]

Umowna granica plastyczności R <sub>0,2</sub> <sup>*</sup> , [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie R <sub>m</sub> <sup>*</sup> , [MPa]	Wydłużenie A <sup>*</sup> , [%]	Udarność KV <sup>*</sup> , [J]
480	650	22	50
* – Wartości minimalne			

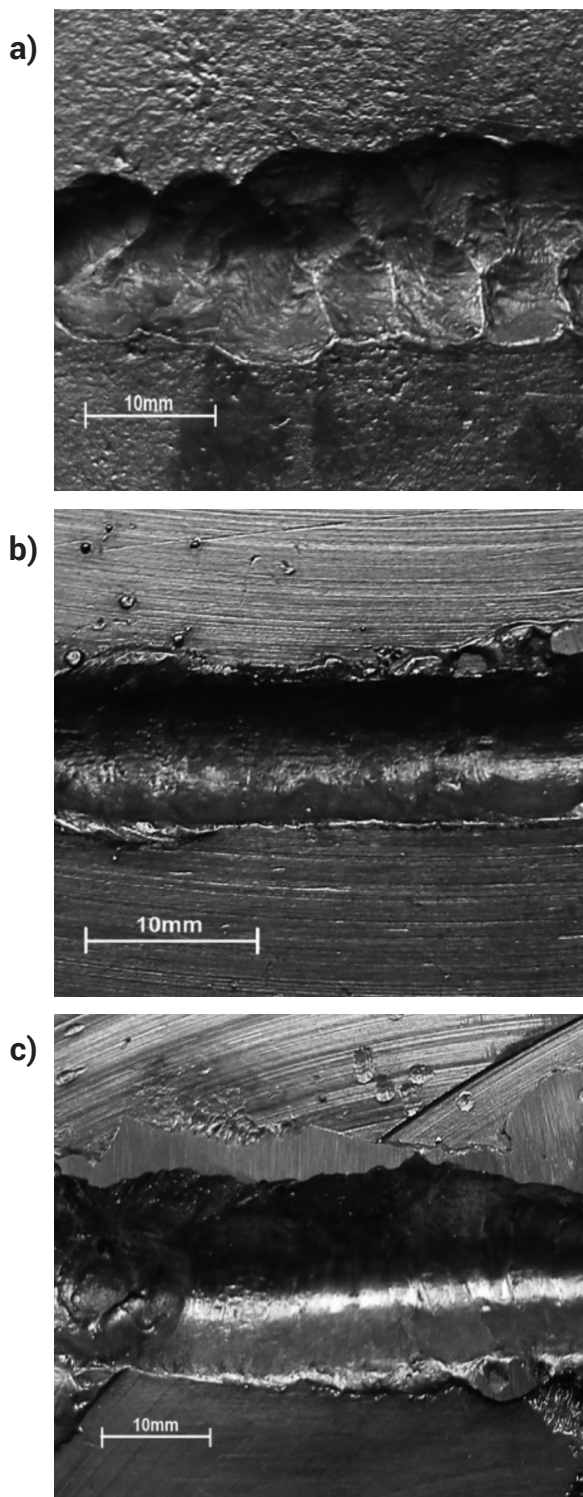


Rys. 1. Struktura ferrytyczno-austenityczna staliwa duplex  
Fig. 1. Ferritic-austenitic structure of duplex cast steel

Tablica III. S Skład chemiczny stopiwa FCW 2205-H

Table III. Chemical composition of FCW 2205-Hw

Stężenie pierwiastków, [%]									
C	Cr	Ni	Mn	Mo	Si	Cu	S	P	N
0,032	23,17	9,29	0,96	3,48	0,7	–	0,006	0,017	0,16



**Rys. 2.** Symulowane wady wykonane poprzez żłobienie: a) plazmowe, b) elektrodą otuloną, c) elektro-powietrznie

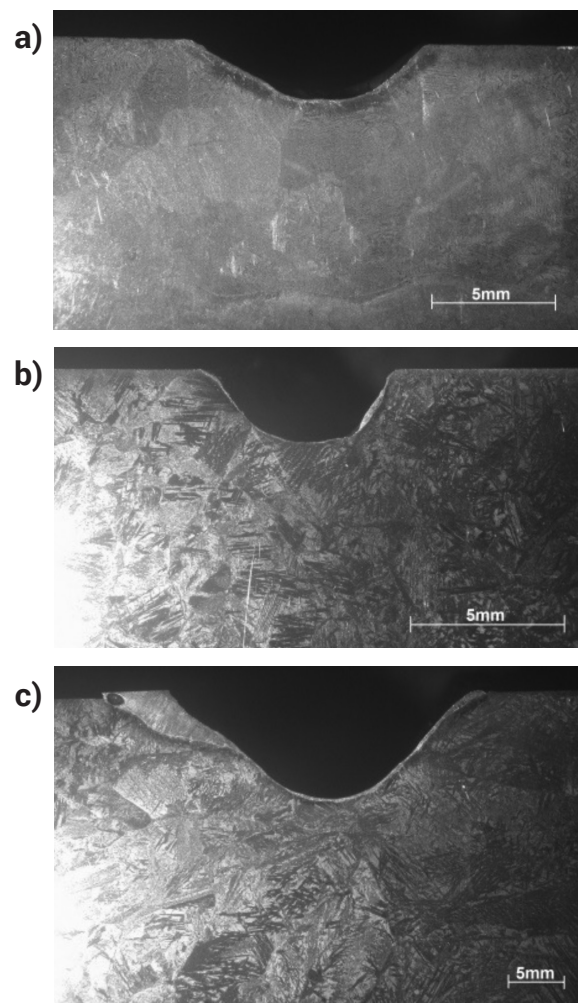
**Fig. 2.** Simulated faults made by gouging: a) plasma, b) coated electrode, c) electro-air

#### Proces spawania naprawczego

Do procesu spawania naprawczego użyto odlewów ze staliwa duplex GX2CrNiMoCu25-6-3-3 z wcześniej wykonanymi symulowanymi wadami. Spawano je metodą MAG drutem proszkowym Avesta Sheffield FCW 2205-H o średnicy 1,2 mm w osłonie mieszanki gazowej Ar+CO<sub>2</sub> prądem pulsacyjnym. Parametry procesu napawania przedstawia tabela IV. Ściegi wykonywano w pozycji podolnej, bez wstępnego podgrzania materiału.

#### Badania napawanych odlewów

Odlewy po napawaniu zostały poddane badaniom:  
 – wizualnym na podstawie wymagań PN-EN ISO 17637:2011,



**Rys. 3.** Widok makrostruktury po żłobieniu: a) plazmowym, b) elektrodą otuloną, c) elektro-powietrznie

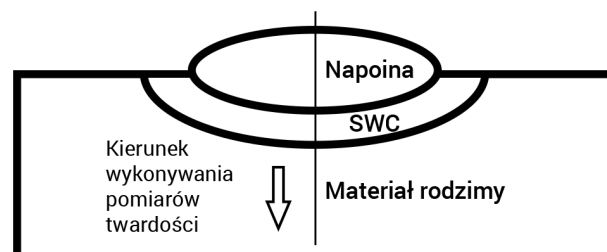
**Fig. 3.** View macrostructure after gouging a) plasma, b) coated electrode, c) electro-air

- metalograficznym makroskopowym na mikroskopie świetlnym Olympus SZX9; próbki trawiono w wodzie królewskiej,
- metalograficznym mikroskopowym na mikroskopie świetlnym NIKON ECLIPSE MA100; próbki trawiono w wodzie królewskiej,
- pomiaru twardości sposobem Vickersa na urządzeniu WILSON WOLPERT 430 zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 9015-1. Badania przeprowadzono w jednej linii pomiarowej (Rys. 4).

**Tabela IV.** Parametry procesu spawania

**Table IV.** Parameters of the welding process

Parametry napawania		
Natężenie prądu I, [A]	Napięcie łuku U, [V]	Prędkość podawania drutu V, [m/min]
170	22,5	5,2



**Rys. 4.** Kierunek wykonywania badań twardości w napawanym materiale  
**Fig. 4.** The direction of testing the hardness of the weld material

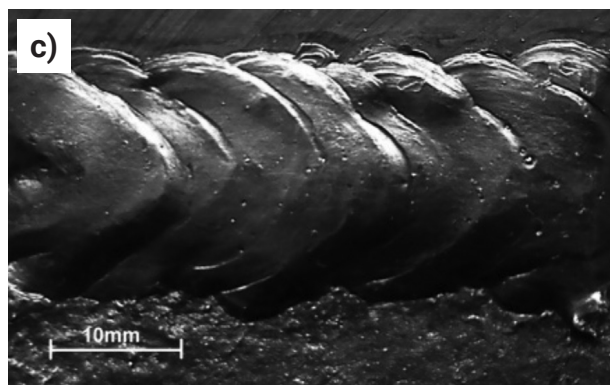
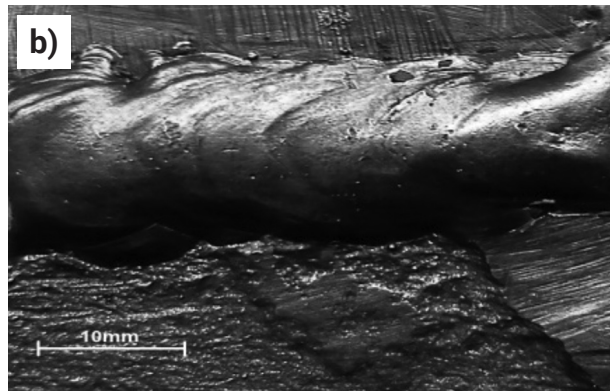
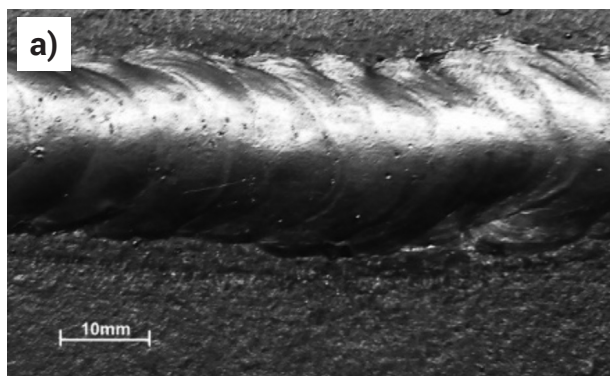
## Analiza wyników badań

Badania wizualne przeprowadzone na napawanych odlewach nie wykazały wychodzących na powierzchnię wad spawalniczych jak pęknięcia czy podtopienia (Rys. 5). Wykonane badania makroskopowe uwidocznily wyłącznie w jednym przypadku wtrącenia żużla w obszarze linii wtopienia (Rys. 6). W pozostałych przypadkach nie wykryto wad spawalniczych (Rys. 6). Każda napoina spełniała wymagania geometryczne co do szerokości i wysokości lica. Barwa otrzymanych napoin nie odbiegała od barwy materiału rodzimego.

Badania mikroskopowe w obszarze napoiny wykazały występowanie struktury ferrytyczno-austenitycznej (Rys. 7÷9). W przypadku SWC oraz materiału rodzimego proces napawania nie wpłynął na zmiany struktury (Rys. 7÷9). W tym obszarze została zachowana struktura dwufazowa ferrytyczno-austenityczna, bez rozrostu ziaren. Nie uwidocznił się znaczący rozrost faz niepożądanych, takich jak faza sigma, która wpływa negatywnie na własności obszarów spawanych [3÷5,7÷8].

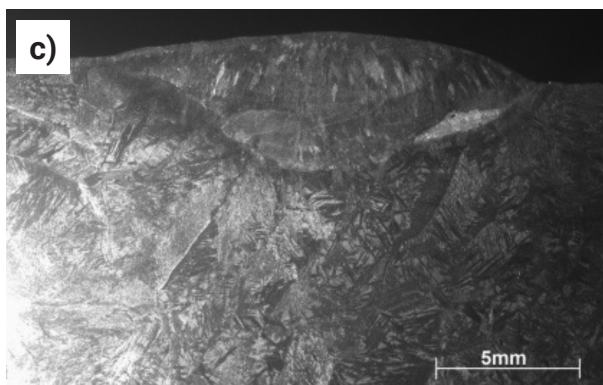
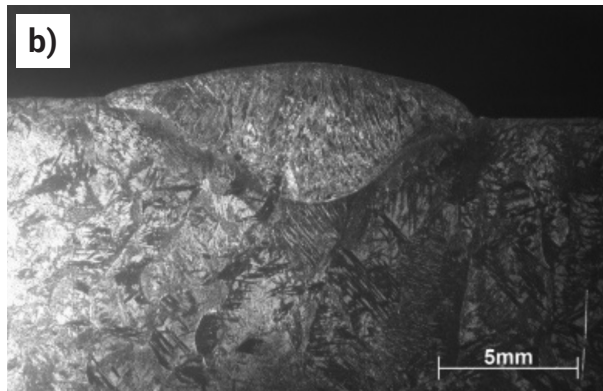
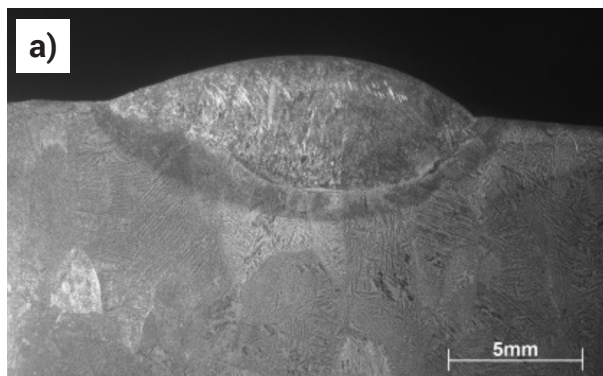
Przed przystąpieniem do napawania w materiale przeznaczonym do badań zasymulowano wady zewnętrzne,

wykonując żłobienie różnymi metodami. Procesy żłobienia spowodowały zwiększenie twardości materiału w warstwie wierzchniej. W przypadku żłobienia elektro-powietrznego odnotowano wzrost twardości do ok. 500 HV, co jest zapewne wynikiem nawęglenia powierzchni (z elektrody grafitowej użytej w procesie) z jednoczesnym podhartowaniem. W mniejszym stopniu na twardość powierzchni wpłynął proces żłobienia plazmowego (maksymalna twardość wzrosła do ok. 320 HV) oraz żłobienia elektrodą otuloną (280 HV) [13]. Przeprowadzone pomiary twardości po spawaniu naprawczą metodą MAG (Rys. 10) wykazały wzrost twardości w obszarze linii wtopienia. W przypadku powierzchni przygotowanej poprzez żłobienie plazmowe uzyskano najwyższe twardości na poziomie 285 HV, podobne wartości uzyskano w przypadku żłobienia elektrodą otuloną. Najniższymi wartościami twardości w obszarze linii wtopienia charakteryzowały się napoiny przygotowywane do naprawy poprzez żłobienie elektro-powietrzne (255 HV). W każdym przypadku twardość napoin przy licu była nieznacznie wyższa od wartości twardości materiału rodzimego. Wraz z oddalaniem się od lica napoin twardość malała osiągając wartość ok. 240 HV.



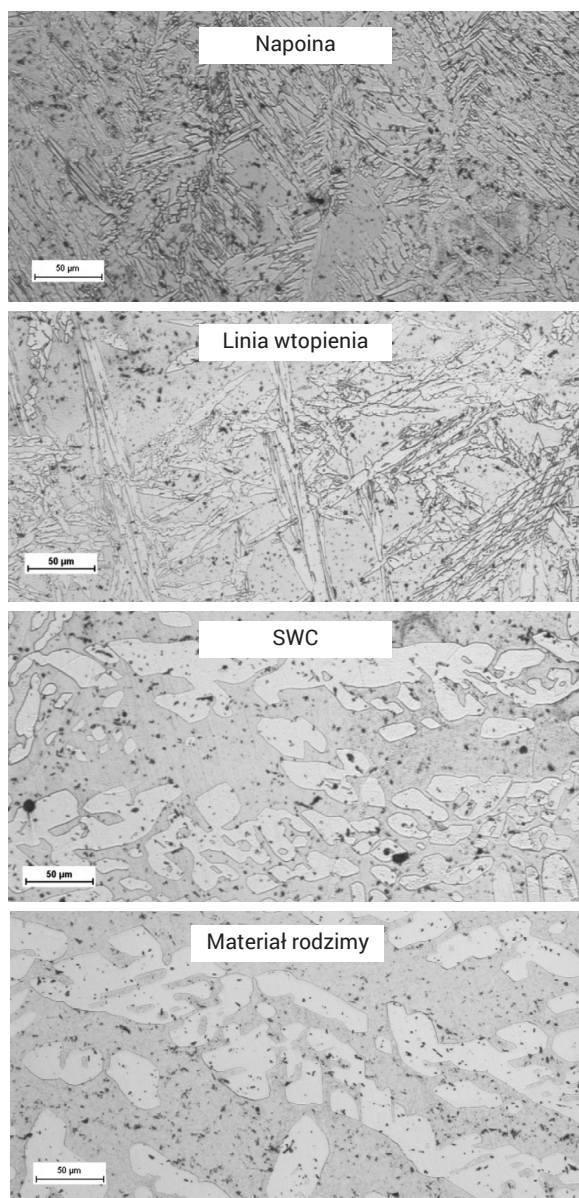
**Rys. 5.** Widok lica napoin uzyskanych metodą MAG; przygotowanie do naprawy: a) żłobienie plazmowe, b) żłobienie elektrodą otuloną, c) żłobienie elektro-powietrzne

**Fig. 5.** View padding weld face obtained MAG; preparing for repair: a) plasma gouging, b) gouging coated electrode, c) electro-air-gouging

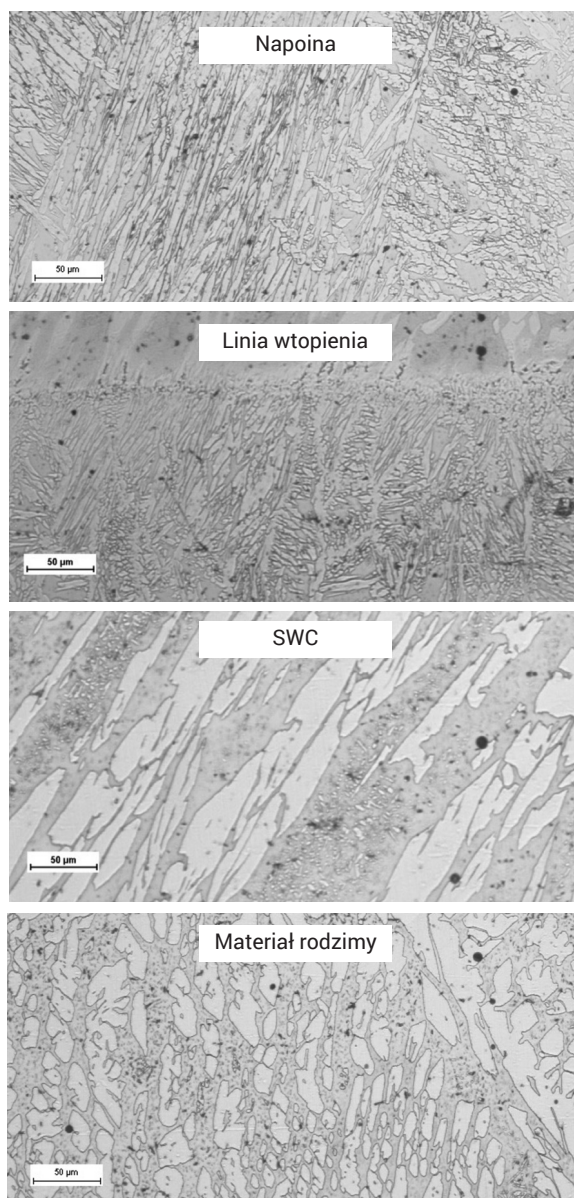


**Rys. 6.** Makrostruktury napoin uzyskanych metodą MAG; przygotowanie do naprawy: a) żłobienie plazmowe, b) żłobienie elektrodą otuloną, c) żłobienie elektro-powietrzne

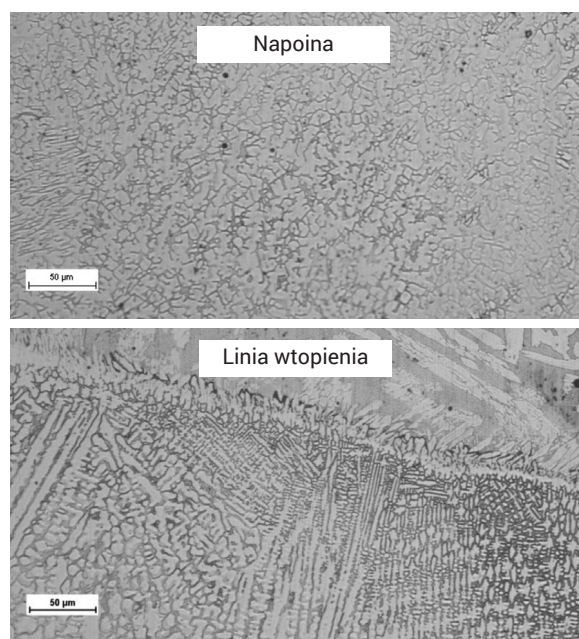
**Fig. 6.** Macrostructure padding weld obtained MAG; preparing for repair: a) plasma gouging, b) gouging coated electrode, c) electro-air-gouging



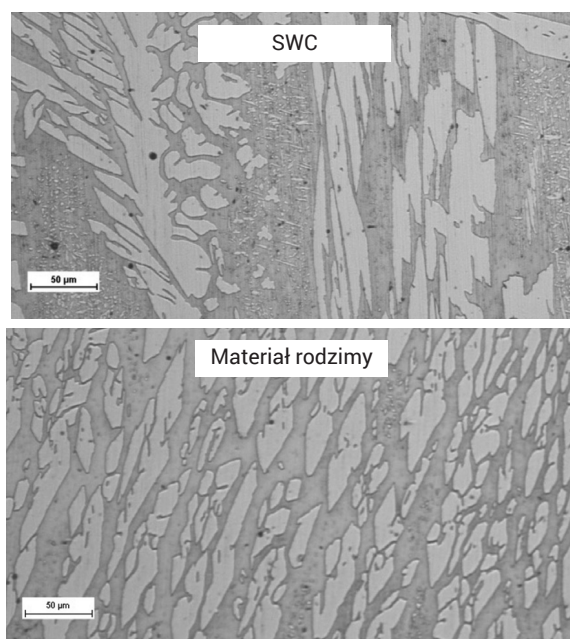
**Rys. 7.** Mikrostruktury napion uzyskanych metodą MAG; przygotowano do napawania poprzez żłobienie plazmowe  
**Fig. 7.** Microstructure padding weld obtained MAG; prepared for welding through plasma gouging

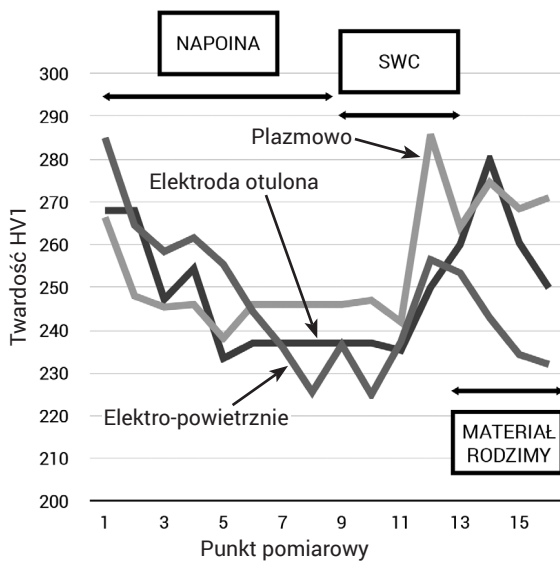


**Rys. 8.** Mikrostruktury napion uzyskanych metodą MAG; przygotowano do napawania poprzez żłobienie elektrodą otuloną  
**Fig. 8.** Microstructure padding weld obtained MAG; prepared for welding through coated electrode



**Rys. 9.** Mikrostruktury napoin uzyskanych metodą MAG; przygotowanie do napawania poprzez żłobienie elektro-powietrzne  
**Fig.9.** Microstructure padding weld obtained MAG; prepared for welding through electro-air gouging





Rys. 10. Rozkład twardości w badanych napoinach  
 Fig.10. Distribution of the hardness of the test padding weld

## Podsumowanie

Ze względu na strukturę dwufazową ferrytyczno-austeniczną oraz na wymaganą niską zawartość węgla w materiale (ok. 0,03%) staliwo duplex GX2CrNiMoCu25-6-3-3 jest trudnym materiałem do spawania. Materiały dodatkowe muszą być dopasowane do składu chemicznego materiału rodzimego. Przy zakładanym braku obróbki cieplej po spawaniu powinno się dobrać materiał dodatkowy ze zwiększoną zawartością niklu [8]. Proces spawania nie wpłynął w znaczny sposób na zmiany w materiale rodzimym oraz w SWC, co może wskazywać na prawidłowy dobór materiałów dodatkowych do procesu napawania. Została zachowana struktura dwufazowa ferrytyczno-austeniczna w materiale rodzimym oraz w SWC. Napoina również charakteryzowała się dwufazową strukturą, w dodatku drobnoziarnistą. Może to wskazywać na bardzo dobre parametry wytrzymałościowe oraz odporność korozyjną złącza spawanego. Parametry prądowo-napięciowe spawania pozwoliły uzyskać prawidłowy przetop, przy jednoczesnym małym wymieszaniu z materiałem rodzimym. Ilość wprowadzonego ciepła do złącza nie wywołała istotnych zmian strukturalnych w materiale rodzimym oraz w SWC, co może świadczyć o zachowaniu odpowiednich parametrów wytrzymałościowych podczas eksploatacji elementu naprawianego. Uzyskane wartości twardości po napawaniu naprawczym wykazały wartości zbliżone do twardości materiału rodzimego, co jest istotne z punktu widzenia prowadzonych napraw. Odnotowano jedynie niewielki wzrost wartości twardości w górnej części napoin w stosunku do materiału rodzimego. Uzyskane napoiny posiadają barwę zbliżoną do barwy materiału rodzimego, co wskazuje na prawidłowy dobór parametrów spawania oraz materiałów dodatkowych do naprawy i ma istotny wpływ na możliwość zastosowania przedstawionej technologii w naprawach odlewów staliwa typu duplex w warunkach przemysłowych.

## Literatura

- [1] Knagin G., Staliwo: metalurgia i odlewnictwo, wyd. Śląsk, Katowice 1977r.
- [2] Staronka A., Zarys metalurgii i odlewnictwa staliwa cz. 1 Metalurgia, AGH, Kraków, 1986r.
- [3] Mistur L., Spawanie i napawanie w naprawach części maszyn i konstrukcji metalowych, Wyd. KaBe, Krosno, 2003r.
- [4] Nowacki J., Stal duplex i jej spawalność, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2009r.
- [5] Practical guidelines for the fabrication of duplex stainless steel, IMOA, London, 2014r.
- [6] Stradomski Z., Stachura S., Dya D., Zyska A., Technologiczne problemy wytwarzania masywnych odlewów ze staliwa duplex w aspekcie optymalizacji procesu produkcyjnego, Archiwum Odlewnictwa, 17/2005, s. 287-292.
- [7] Spawanie stali nierdzewnych, EuroInox, Bruksela, 2002r.
- [8] Karlsson L., Spawanie stali duplex – przegląd aktualnych zaleceń, Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, 5/2012, s. 48-60.
- [9] Meka K., Wpływ azotu na kształt i jakość napoin układanych metodą GMA, Przegląd Spawalnictwa, 12/2000, s. 7-11.
- [10] Meka K., Własności mechaniczne połączeń ze stali duplex, Przegląd Spawalnictwa, 11/2003, s. 7-10.
- [11] Przetakiewicz W., Tomczak R., Niektóre aspekty spawalności ferrytyczno-austenicznych stali typu duplex i superduplex, Przegląd Spawalnictwa, 3/1995, s. 1-6.
- [12] Norma PN-EN 10283:2010: Odlewy ze staliwa odpornego „na korozję.
- [13] Badania własne.