

Spawanie naprawcze staliwa G20Mn5

Repair welding of cast steel G20Mn5

Streszczenie

W artykule opisano wpływ spawania naprawczego, metodą MAG drutem litym AUTOROD 12.51 w osłonie mieszanki ARCAL 5, na własności i strukturę staliwa niskostopowego G20Mn5 w dwóch stanach dostawy: po normalizowaniu oraz normalizowaniu z ulepszeniem cieplnym. Spawaniu naprawczemu poddano staliwo z zasymulowanymi wadami, wykonanymi poprzez obróbkę mechaniczną (frezowanie). Uzyskane obszary naprawcze poddano: badaniom wizualnym i penetracyjnym, badaniom makro i mikroskopowym, badaniom twardości i udarności oraz wzrokowej ocenie porównania barwy miejsca naprawianego w stosunku do materiału rodzimego. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono podobny charakter zmian strukturalnych strefy wpływu ciepła (SWC) w dwóch przypadkach stanu dostawy. Przeprowadzone badania udarności wykazały większą udarność w przypadku próbki ulepszonej cieplnie. Wygląd napoiny na powierzchni nie różnił się znacząco od materiału rodzimego.

Słowa kluczowe: staliwo G20Mn5; naprawa odlewów; spawanie MAG; obróbka cieplna

Abstract

The article describes the effect of repair welding, using MAG method with solid wire AUTOROD 12.51 in the ARCAL 5 mixture, on the properties and structure of low-alloy cast steel G20Mn5 in two delivery states: after normalizing and normalizing with quenched and tempered. Repairing was subjected to casting with simulated defects made by mechanical machining (milling). The obtained repair areas were subjected to: visual and penetration tests, macro and microscopic tests, hardness and impact tests as well as visual assessment of the comparison of the colour of the repaired material in relation to the base metal. As a result of the conducted tests, it was found that the structural changes in the heat affected zone (HAZ) are similar in two cases of delivery status. The impact tests performed showed higher impact strength in the case of a quenched and tempered sample. The appearance of padding on the surface did not differ significantly from the base metal.

Keywords: cast steel G20Mn5; repair castings; MAG welding; heat treatment

Wstęp

Odlewy stalowe są powszechnie używane w produkcji urządzeń i maszyn. Wynika to między innymi z wysokich własności wytrzymałościowych, wyższych od żeliwa, ale także z możliwości otrzymania skomplikowanych kształtów w jednym zabiegu produkcyjnym odlewania w formach. Wadliwe odlewy stalowe (do kilku kilogramów) przeważnie zostają złomowane. W przypadku kilkotonowych odlewów czas formowania formy odlewniczej może być liczony w tygodniach, dlatego nie można sobie pozwolić na straty odlanych części. Skomplikowany kształt odlewu wymaga w niektórych przypadkach, podzielenia go na mniejsze części, a następnie złożenie w całość lub też proces odlewania wymaga użycia otworów technologicznych, bez których nie byłoby możliwe otrzymanie skomplikowanego kształtu [1÷3].

Naprawa odlewów stalowych odbywa się w różny sposób, od wykorzystania napraw typowo odlewniczych jak nadlewania części odlewu, przez naprawy mechanicznego kołkowania, kończąc na metodach spawalniczych, które pozwalają w prosty sposób na łączenie, napawanie, co za tym

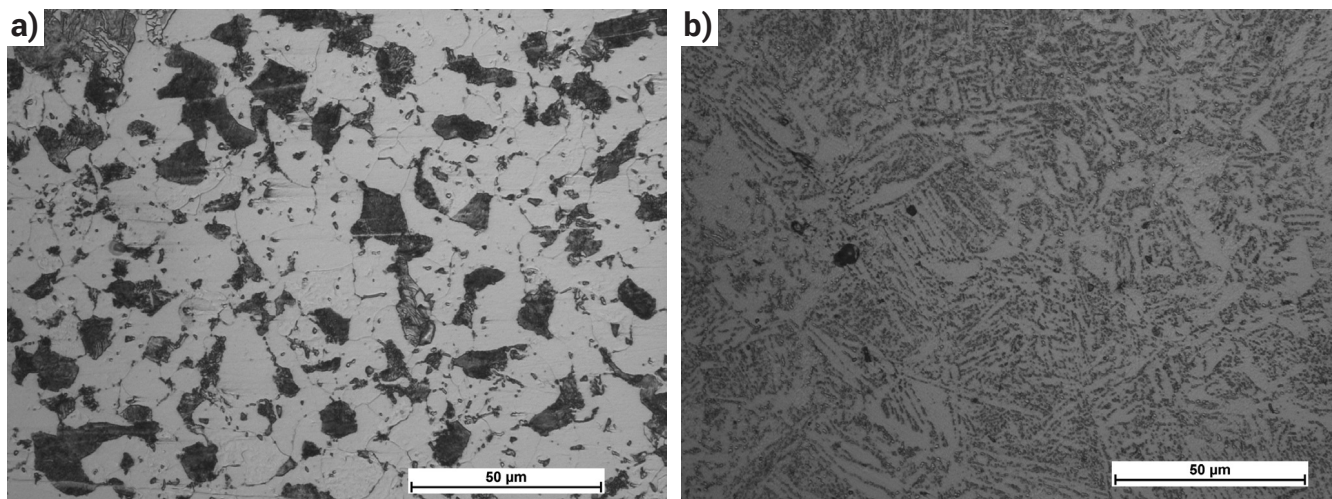
idzie uzyskanie szczelności, ciągłości połączenia z uzyskaniem odpowiednich własności wytrzymałościowych. Takie naprawy jednak mają jedną zasadniczą wadę – wprowadzenie ciepła w miejsce naprawy co powoduje naprężenia spawalnicze mogące doprowadzić do pęknięć [3÷8].

Badania własne

Celem pracy było zbadanie wpływu spawania naprawczego, metodą MAG drutem litym, na strukturę i własności staliwa G20Mn5 w różnym stanie dostawy. Odlewy stalowe mogą być dostarczone w stanie po normalizacji (N) lub po normalizacji i ulepszeniu cieplnym (UC). Staliwo G20Mn5 zostało poddane obróbce cieplnej (parametry obróbki cieplnej przedstawia tabl. I) dzięki czemu zmieniła się struktura (rys. 1) oraz własności, ale także stan naprężeń w odlewie. Staliwo to w stanie po normalizacji wykazuje strukturę ferrytyczno-perlityczną, a po dodatkowym zabiegu

Mgr inż. Marcin Żuk, mgr inż. Rafał Dojka – Politechnika Śląska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: marcin.zuk@polsl.pl



Rys. 1. Mikrostruktura staliwa G20Mn5: a) normalizowana, b) normalizowana z ulepszeniem cieplnym
Fig. 1. Microstructure of cast steel G20Mn5: a) normalizing, b) normalizing with quenched and tempered

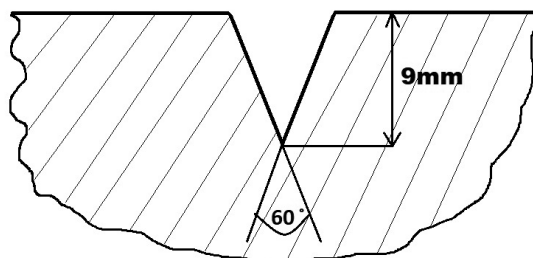
hartowania i wysokiego odpuszczania struktura wykazuje większy udział perlitu. Jest to staliwo niskostopowe o wysokich własnościach wytrzymałościowych oraz plastycznych. W tabelicy II przedstawiono skład chemiczny napawanego staliwa, a w tabelicy III podstawowe własności.

Spawanie naprawcze

W celu zasymulowania wad wyfrezowano rowki w materiale rodzimym (geometrię rowka przedstawia rys. 2). Ze względu na charakter lany odlewu, próbki miały odmienną geometrię, lecz zbliżoną pojemność cieplną (rys. 3). Przed przystąpieniem do spawania wykonano kontrolne badania penetracyjne w celu wykluczenia wad przed spawaniem. Przeprowadzono spawanie naprawcze metodą MAG (DC+) drutem litym ESAB AUTOROD 12.51 o średnicy 1,2 mm (skład chemiczny i własności w tabl. IV) z użyciem

mieszanki osłonowej M21 82% argonu, 18% dwutlenku węgla (ARCAL 5). Wykonano po 3 ściegi w każdym rowku. Parametry spawania przedstawia tabela V.

Materiał przed spawaniem był podgrzany do temperatury 200 °C, a temperatura międzyścięgowa nie przekraczała 250 °C.



Rys. 2. Schemat rowka
Fig. 2. Groove scheme



Rys. 3. Widok materiału. Próbką ulepszona cieplnie
Fig. 3. View of the material. The sample quenched and tempered

Tabela I. Parametry obróbki cieplnej
Table I. Parameters of heat treatment

Operacja obróbki cieplnej	Czas nagrzewania [h]	Czas przetrzymania [h]	Temperatura [°C]	Warunki chłodzenia
Normalizowanie	3	5	920	Chłodzenie z wymuszonym obiegiem powietrza
Hartowanie	3,5	5	920	Ośrodek chłodzący: woda, 20 min, temperatura: 30±50 °C
Odpuszczanie	4	7	640	Chłodzenie na wolnym powietrzu

Tabela II. Skład chemiczny staliwa G20Mn5 [9]
Table II. Chemical composition of cast steel G20Mn5 [9]

Próbka	Stężenie wagowe pierwiastków [%]												
	C	Cr	Ni	Mn	Mo	Si	P	S	Cu	Al	Mg	Ti	V
Norma EN 10293	0,17÷0,23	–	max. 0,8	1,0÷1,6	–	max. 0,6	max. 0,02	max. 0,02	–	–	–	–	–
G20Mn5	0,2	0,21	0,62	1,08	0,04	0,61	0,01	0,002	0,11	0,04	0,00	0,02	0,005

Tablica III. Własności staliwa G20Mn5
Table III. Properties of cast steel G20Mn5

Próbka	Wytrzymałość na rozciąganie R_m [MPa]	Umowna granica plastyczności $R_{p0,2}$ [MPa]	Przewężenie Z [%]	Wydłużenie A [%]	Twardość [HV]	Praca łamania (-40 °C) [J]
UC	571	458	67,9	28,4	195	75
N	580	469	68,6	27,4	175	48

Tablica IV. Skład chemiczny i własności stopiwa [10]
Table IV. Filler metal chemical composition and properties [10]

Stężenie pierwiastków [%]				
C	Si	Mn	P	S
0,06÷0,14	0,8÷1,0	1,4÷1,6	0,025	0,025
Własności				
Umowna granica plastyczności $R_{p0,2}$ [MPa]		Wytrzymałość na rozciąganie R_m [MPa]		
420		560		
Wydłużenie A [%]	Przewężenie Z [%]	Praca łamania (-40 °C) [J]		
26	68	90		

Tablica V. Skład chemiczny i własności stopiwa [10]
Table V. Filler metal chemical composition and properties [10]

Rodzaj ściegu	Natężenie prądu [A]	Napięcie łuku [V]	Prędkość podawania drutu [m/min]	Natężenie przepływu gazu [l/min]
„Graniowy”	192	20	4,8	18
Wypełniający	233	23,9	6,8	18
Licowy	290	31,4	9,3	18

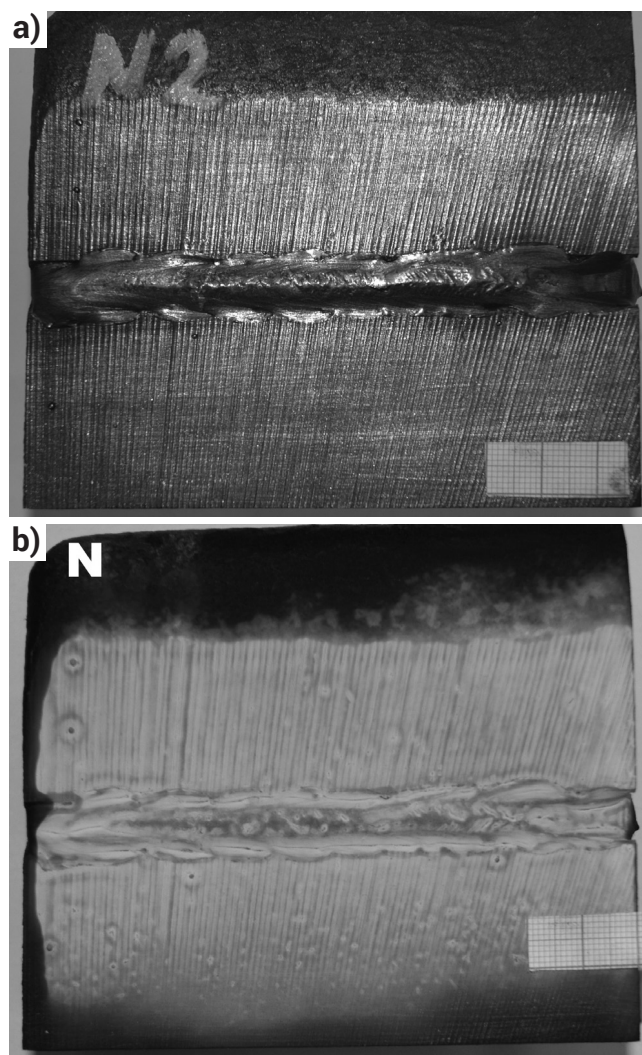
Zakres badań

Po przeprowadzonym spawaniu naprawczym staliwa G20Mn5 próbki zostały poddane badaniom:

- nieniszczącym wizualnym oraz penetracyjnym metodą barwną;
- metalograficznym makro i mikroskopowym;
- pomiarowi twardości metodą Vickersa na urządzeniu Wilson Wolpert 401 MVD. Linia pomiarowa poprowadzona 2 mm poniżej powierzchni napawanej. Obciążenie wynosiło 0,5 kg;
- próbie udarności metodą Charpy’ego młotem wahadłowym na podstawie wymagań normy PN-EN ISO148-1. Badanie przeprowadzono w temperaturze -20 °C, próbka standardowa 10 x 10 x 55 mm z karbem typu V – 2 mm. Badania przeprowadzono w obszarze w SWC, 1 mm od linii wtopienia.

Analiza wyników badań

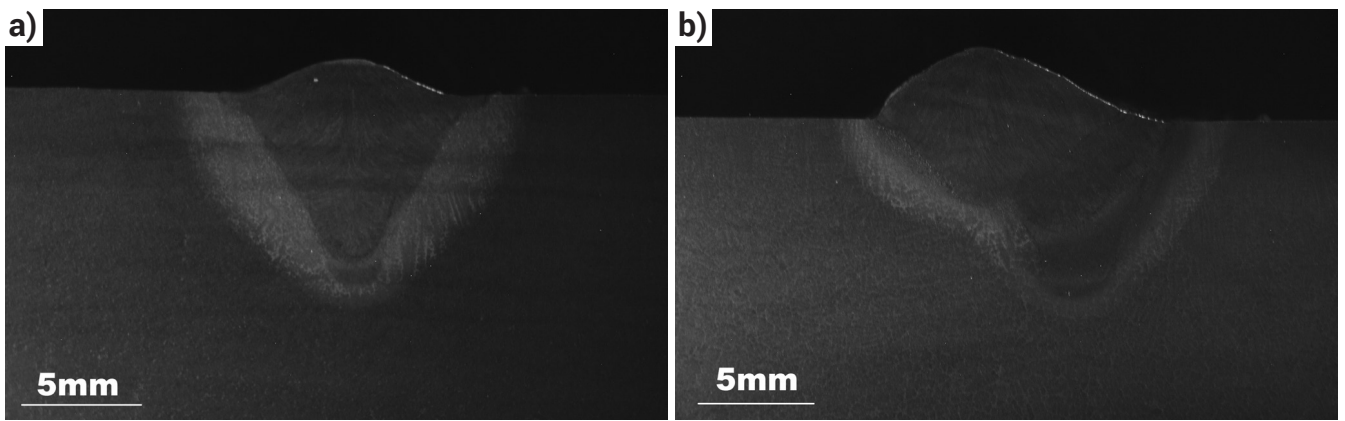
Przeprowadzone badania wizualne wykazały poprawne wykonanie napoin, wystąpiły niewielkie podtopienia mieszczące się w poziomie jakości B, nie stwierdzono nieciągłości w obszarze spoiny oraz strefy wpływu ciepła w każdej ze spawanych próbek. Także wykonane badania penetracyjne nie wykazały wystąpienia wskazań w obszarze spawanym (rys. 4).



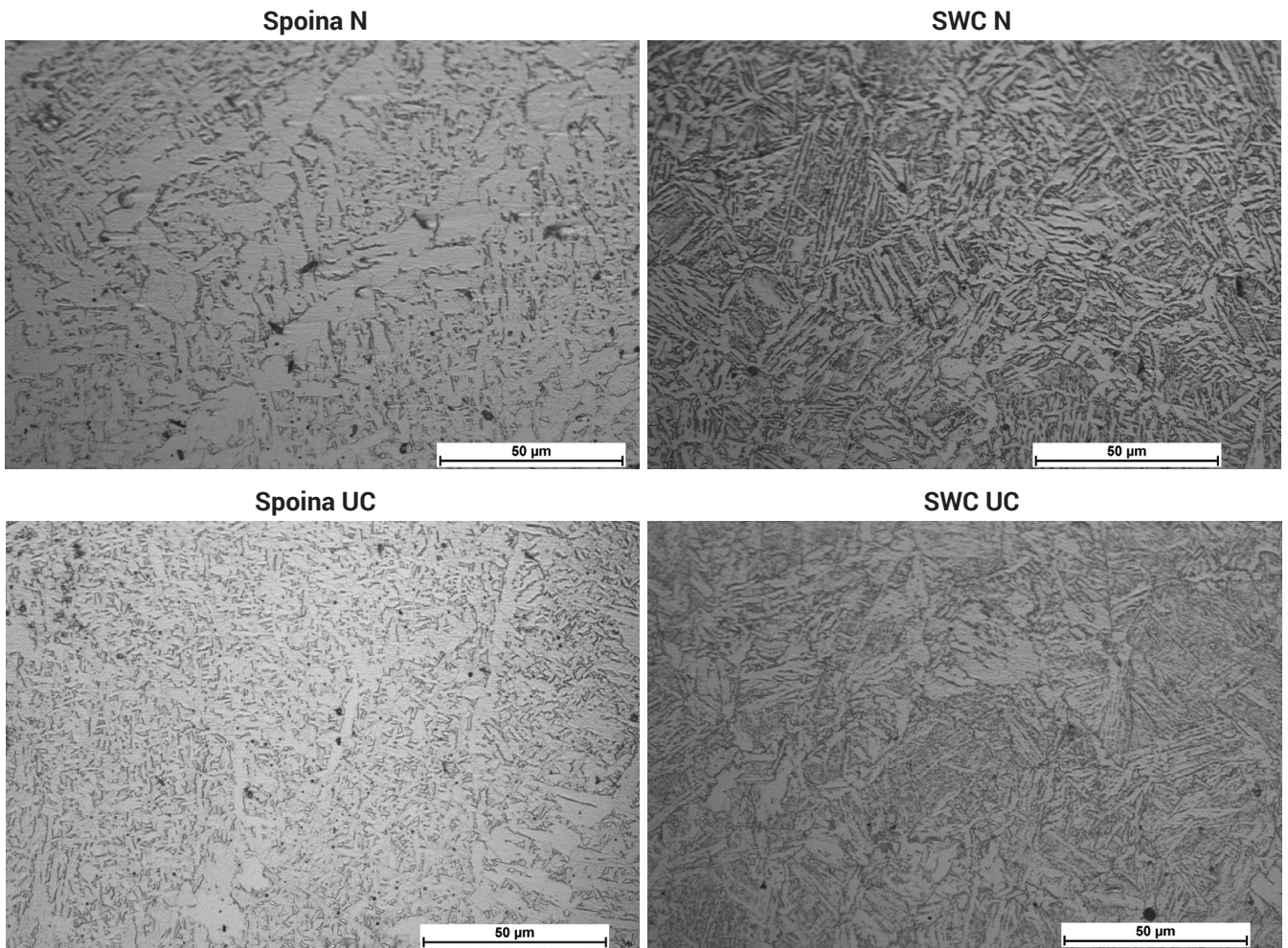
Rys. 4. Próbkę: a) po spawaniu, b) po badaniach penetracyjnych
Fig. 4. Sample: a) after welding, b) after penetration testing

Badanie makroskopowe ujawniły pęcherz gazowy w spoinie (rys. 5), nie stwierdzono przyklejeń, rowek został poprawnie wypełniony. Badania mikroskopowe ujawniły w spoinie strukturę ferrytyczno-perlityczną (rys. 6), SWC w obu odlewach zaobserwowano strukturę ferrytyczno-perlityczną z udziałem obszarów podhartowanych. W przypadku odlewu normalizowanego igły ferrytu były nieznacznie większe i bardziej uwidocznione.

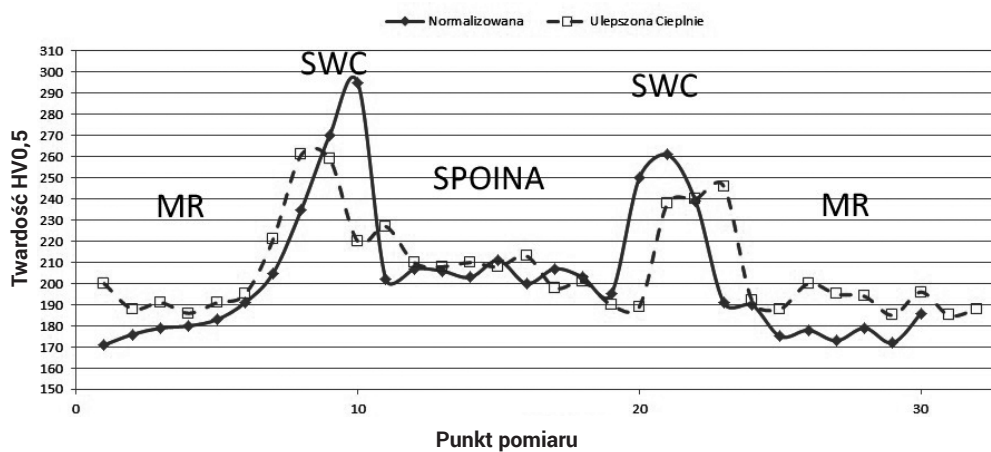
Wykonane badania twardości (rys. 7) wykazały wzrost twardości w obszarze SWC w obu przypadkach do poziomu 220÷270 HV, co pokazuje, że materiał podobnie się zachowuje pod wpływem procesu spawania. Przy linii wtopienia, w próbce normalizowanej, twardość sięgała poziomu 290 HV, co wskazuje na pojawienie się obszarów podhartowanych. Twardość w spoinie była porównywalna w obu przypadkach i mieściła się w przedziale 200÷210 HV. Badania twardości wykazały, że w przypadku odlewu, który był ulepszony cieplnie jest mniejsza różnica pomiędzy twardością materiału rodzimego i napoiny.



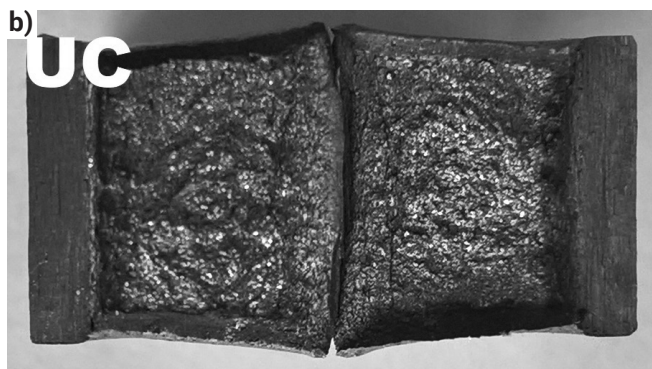
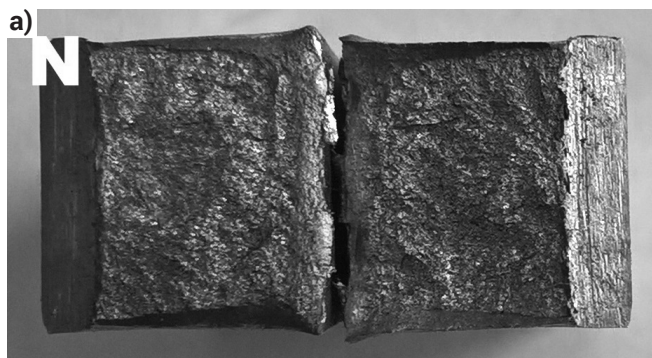
Rys. 5. Widok makrostruktury: a) normalizowany, b) ulepszony cieplnie
 Fig. 5. View of microstructure: a) normalizing, b) quenched and tempered



Rys. 6. Widok mikrostruktury spoiny i strefy wpływu ciepła
 Fig. 6. View microstructure of joint and heat affected zone



Rys. 7. Wyniki pomiaru twardości
 Fig. 7. Hardness measurement results



Rys. 8. Próbkę po badaniu udarności: a) próbka normalizowana, b) próbka ulepszona cieplnie
Fig. 8. Charpy V-notch samples after test: a) sample normalizing, b) sample quenched and tempered

Próba udarności (przeprowadzona w $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) wykazała nieznaczne różnice pracy łamania w SWC. Próbka ulepszona cieplnie (78 J) wykazywała wyższą pracę łamania niż w przypadku próbki normalizowanej, której praca łamania była na poziomie 42 J. Wyniki badań udarności potwierdzają wykonane badania twardości. Przełomy uzyskane po próbie udarności wykazywały mieszany charakter z przewagą przełomu kruchego (rys. 8).

Barwy materiału rodzimego i materiału spoiny są bardzo zbliżone do siebie, co jest ważne szczególnie w przypadku odlewów naprawianych na dużych powierzchniach (rys. 9).



Rys. 9. Widok napoin
Fig. 9. View of padding welds

Wnioski

Przeprowadzone badania spawania naprawczego staliwa G20Mn5 wykazały, że zachowując odpowiednie parametry spawania można uzyskać napoiny o wymaganej jakości, bez wad w spoinie i SWC. Uzyskane zdjęcia makrostruktury potwierdziły poprawny kształt spoin, w których nie występowały niezgodności spawalnicze typu pęcherze i przyklejenia. Materiał SWC zachowuje się podobnie podczas procesu spawania, bez względu na stan dostawy (normalizacja, normalizacja z ulepszeniem cieplnym). W wyniku przeprowadzonych pomiarów twardości oraz udarności wykazano, że lepszymi właściwościami charakteryzuje się staliwo poddane normalizacji i ulepszeniu cieplnemu (nieco mniejsze różnice twardości i wyższa praca łamania). Jednak ze względu na dodatkowy proces obróbki cieplnej i czas potrzebny na jego wykonanie, zysk w postaci wyższych właściwości (praca łamania) trzeba przekalkulować przed spawaniem. Co do samej barwy odlewu i napoiny jest ona bardzo zbliżona i daje duże możliwości naprawy odlewów stalowych.

Literatura

- [1] Knagin G.: Staliwo: metalurgia i odlewnictwo, wyd. Śląsk, Katowice 1977.
- [2] Staronka A.: Zarys metalurgii i odlewnictwa staliwa cz. 1 Metalurgia, AGH, Kraków, 1986.
- [3] Stradomski Z., Stachura S., Dyja D., Zyska A.: Technologiczne problemy wytwarzania masywnych odlewów ze staliwa duplex w aspekcie optymalizacji procesu produkcyjnego, Archiwum Odlewnictwa, 17, s. 287-292, 2015.
- [4] Bęczkowski R., Gucwa M.: Wybrane aspekty napraw odlewów korpusów urządzeń energetycznych, Przegląd Spawalnictwa vol. 87 (5), s. 106-109, 2015.
- [5] Mistur L.: Spawanie i napawanie w naprawach części maszyn i konstrukcji metalowych, Wyd. KaBe, Krosno, 2003.
- [6] www.metallengineering.com,
- [7] Mazur M.: Podstawy spawalnictwa, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1993.
- [8] Pilarczyk J., Pilarczyk J.: Spawanie i napawanie elektryczne metali, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1996.
- [9] Norma PN-EN 10293
- [10] www.esab.com: OK Autrod 12.51 Premium quality copper-coated wire