

Modyfikacja struktury i właściwości napoin wykonanych łukiem krytym

Modification of structure and properties of padding welds made by submerged arc surfacing

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki prób modyfikacji struktury i właściwości napoin wykonanych łukiem krytym spoiwem niskowęglowym przez wprowadzenie do jeziora ciekłego metalu proszku metalicznego na osnowie niklu wraz ze zmienną zawartością Al_2O_3 oraz SiC. Określono wpływ parametrów napawania na wymiary geometryczne napoin oraz udział materiału rodzimego w napoinie. Wykonane napoiny proste oraz zakładkowe zostały poddane badaniom nieniszczącym, badaniom metalograficznym, pomiarom twardości, a także badaniom odporności na zużycie ściernie typu metal-minerał.

Abstract

The article presents the results of modification of structure and properties of submerged-arc surfacing padding welds. To modification is by the nickel-base flux with variable Al_2O_3 and SiC mass fraction addition into the arc weld pool. The process parameters influence on the geometrical dimensions of the padding weld and base material in the padding weld is observed. The simple and overlap padding welds have been non-destructive testing, metallographic examinations, hardness distribution measurements and resistance to abrasive wear of metal-mineral joints investigating.

Wstęp

Ograniczona trwałość części maszyn i urządzeń powoduje ciągle rozwój i udoskonalanie metod naprawy i regeneracji zużytych elementów. W praktyce poszczególne części maszyn nie są obciążone w jednakowym stopniu, dlatego wykonuje się je z różnych materiałów, które mają za zadanie zapewnić im jak najdłuższą trwałość. Do tego celu wykorzystuje się również metody polepszania właściwości powierzchni, takie jak: hartowanie, nawęglanie i azotowanie. Jedną z coraz częściej stosowanych metod poprawy właściwości powierzchni narażonych na zużycie jest napawanie. Które ma wiele zalet w porównaniu z innymi metodami, a przede wszystkim grubość nałożonej warstwy jest dowolna. Skład chemiczny napoiny

również nie jest ściśle określony, można go zmieniać i dobierać w zależności od wymagań i rodzaju zużycia, jakiemu poddany jest element. Podstawowymi czynnikami powodującymi zużycie części maszyn i urządzeń mogą być: tarcie, erozja, oddziaływanie temperatury, odkształcenia itp. Działanie tych czynników może powodować konieczność wymiany lub regeneracji części, co wiąże się z kosztami samych części, jak również z kosztami spowodowanymi postojem maszyn. Podstawowym celem regeneracji jest uzupełnianie lub odtwarzanie warstw zużytych w czasie eksploatacji. Metody spawalnicze wykorzystuje się również przy produkcji nowych części maszyn i urządzeń. Napawanie produkcyjne stosuje się do pokrywania nowych elementów warstwą wierzchnią zwiększającą odporność na: korozję, zużycie ściernie, kawitację, erozję lub zwiększającą żaroodporność i żarowytrzymałość. Materiały stosowane na napoiny mające wysokie właściwości eksploatacyjne mogą pochodzić ze wszystkich grup materiałowych, metali i stopów, cermetali, ceramiki oraz tworzyw sztucznych. Podczas napawania warstwę metalu, zwykle o odmiennym składzie chemicznym, układu

Dr inż. Jacek Górka, dr inż. Artur Czupryński,
dr inż. Tomasz Kik, mgr inż. Michał Piotrowski
– Politechnika Śląska, Gliwice.

się na podłożu części napawanej. Są dwa warunki, które musi spełniać ułożona w ten sposób napoina: musi mieć właściwości zapewniające trwałość w warunkach pracy przewidzianych dla tego elementu oraz odpowiedni kształt, a zwłaszcza grubość i szerokość. Wymagane właściwości może zapewnić odpowiednio dobrany skład chemiczny, natomiast kształt napoiny uzależniony jest od metody, parametrów i techniki napawania [1÷8].

Badania własne

Celem badań było przeprowadzenie prób modyfikacji struktury i właściwości napoin wykonanych

Tablica I. Skład chemiczny i właściwości mechaniczne stali S355J2
Table I. Chemical composition and mechanical properties of S355J2 steel

Zawartość pierwiastków, %					
C	Si	Mn	Cu	P	S
0,2	0,55	1,6	0,55	0,025	0,025
Właściwości mechaniczne					
Wytrzymałość na rozciąganie R_m , MPa		Granica plastyczności R_e , MPa		Praca łamania, J	
470-630		355		27	

Tablica II. Skład chemiczny i właściwości mechaniczne stopiwa drutu OK Autrod 12.20
Table II. Chemical composition and mechanical properties of wire weld material OK. Autrod 12.20

Zawartość pierwiastków, %		
C	Si	Mn
0,08	0,3	1,35
Właściwości mechaniczne		
Wytrzymałość na rozciąganie R_m , MPa	Wydłużenie A_5 , %	Praca łamania, J
480-650	29	80

Tablica III. Skład chemiczny i właściwości proszku niklowego EuTroLoy 16223G
Table III. Chemical composition and mechanical properties of nickel-base powder EuTroLoy 16223G

Zawartość pierwiastków, %						
Ni	C	Cr	B	Si	Fe	Al
osnowa	0,3	7	1,3	3,1	<3	1
Właściwości proszku						
Wielkość ziaren, μm				Twardość, HRC		
32-125				34		

Tablica IV. Wybrane właściwości fizyczne Al_2O_3 i SiC
Table IV. Selected physical properties of Al_2O_3 and SiC

Właściwości $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$				
Twardość H/E *	Temp. topnienia, $^{\circ}\text{C}$	Temp. pracy, $^{\circ}\text{C}$	Odporność na utlenianie, $^{\circ}\text{C}$	Gęstość g/cm^3
6×10^{-2}	2450/2500	1400/1500	1350/1400	4,1/3,3
* [H/E] – twardość H odniesiona do modułu Younga E				

łukiem krytym na podłożu ze stali S355J2 (tabl. I), z zastosowaniem drutu OK Autrod 12.20 oraz topnika OK Flux 10.71 (tabl. II) przez wprowadzenie do jeziora ciekłego metalu proszku na osnowie niklu EuTroLoy 16223G (tabl. III), ze zmiennym udziałem wagowym Al_2O_3 oraz SiC (tabl. IV).

Optymalizacja parametrów napawania

W celu określenia optymalnych parametrów napawania ściegów zakładkowych przeprowadzono proces napawania ściegów prostych na zautomatyzowanym stanowisku spawalniczym w pozycji podolnej (rys. 1). Wykonano 9 napoin, stosując zmienne parametry na-

Tablica V. Parametry technologiczne zastosowane do wykonania ściegów prostych napoin
Table V. The technological parameters used for string beads of padding welds

Nr napoiny	Natężenie prądu I, A	Napięcie łuku U, V	Prędkość napawania v, cm/min	Energia liniowa E, kJ/cm
1	300	30	50	11
2	400	30	50	14
3	500	30	50	18
4	300	35	50	13
5	400	35	50	17
6	500	35	50	21
7	300	40	50	14
8	400	40	50	19
9	500	40	50	24

Tablica VI. Jakość i właściwości napoin jednościegowych napawanych łukiem krytym
Table VI. The quality and properties of one-bead padding welds submerged arc surfacing

Numer napoiny	Jakość napoiny	Udział materiału rodzimego w napoinie U_p , %
1	Nierównomierne lico, chropowatość powierzchni, bardzo mała ilość pęknięć	30,2
2	Równe lico napoiny, chropowatość powierzchni, duża ilość pęknięć	34,6
3	Równe lico napoiny, niewielka chropowatość powierzchni, bardzo duża ilość pęknięć	49,1
4	Równe lico, chropowatość powierzchni, bardzo mała ilość pęknięć	27,7
5*	Równe lico napoiny, niewielka chropowatość powierzchni, mała ilość pęknięć	37,9
6	Równe lico napoiny, niewielka chropowatość powierzchni, bardzo duża ilość pęknięć	51,6
7	Równe lico, duża chropowatość powierzchni, duża ilość pęknięć	40,9
8	Równe lico napoiny, chropowatość powierzchni, bardzo duża ilość pęknięć	52,9
9	Równe szerokie lico, mała chropowatość powierzchni, duża ilość pęknięć	58,5
* parametry wytypowane do wykonania napoin zakładkowych		



Rys. 1. Widok stanowiska spawalniczego oraz sposobu podawania proszku metalicznego
Fig. 1. The view of welding station and the method of powder supply

pawania na podłożu ze stali S355J2 z zastosowaniem drutu OK Autrod 12.20 o średnicy 3,2 mm oraz topnika OK Flux 10.71 z dodatkiem proszku EuTroLoy 16223G, długość napoin wynosiła ok. 250 mm (tabl. V).

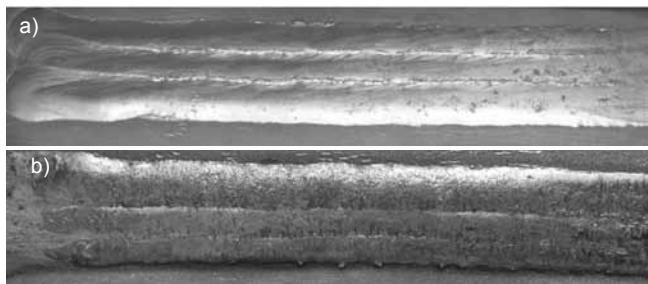
Uzyskane napoiny poddano badaniom wizualnym, penetracyjnym, metalograficznym makroskopowym, pomiarom twardości oraz określono ich wymiary geometryczne, a także udział materiału rodzimego w napoinie. Badania te pozwoliły na ocenę jakości napoin oraz wytypowanie parametrów do dalszej części badań (tabl. VI).

Wykonanie napoin zakładkowych

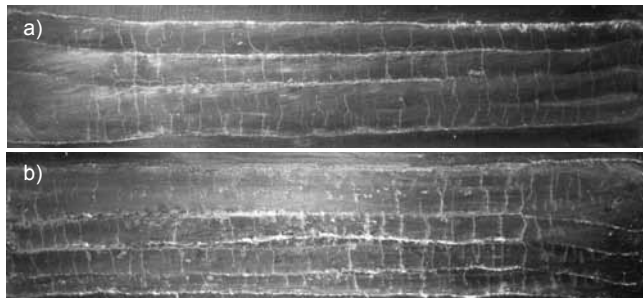
W celu modyfikacji struktury i właściwości wykonano dwie serie napoin zakładkowych z zastosowaniem drutu OK Autrod 12.20 oraz proszku EuTroLoy 16223G: I seria z dodatkiem Al_2O_3 , II. seria z dodatkiem SiC o udziale wagowym w proszku w obu przypadkach 0, 5, 10, 15 i 20%. Parametry napawania dobrane na podstawie wykonanych wstępnych badań napoin pojedynczych wynosiły:

- natężenie prądu I – 400 A,
- napięcie łuku U – 35 V,
- prędkość napawania v – 50 cm/min,
- energia liniowa E – 17 kJ/cm,
- natężenie podawania proszku – 80 g/min,
- zakładka ścięgu – 50%.

Uzyskane napoiny poddano badaniom wizualnym i penetracyjnym (rys. 2, 3).



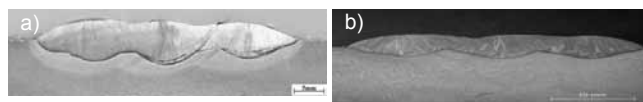
Rys. 2. Lico przykładowych napoin wykonanych łukiem krytym z: a) 10% dodatkiem Al_2O_3 , b) 15% dodatkiem SiC
Fig. 2. The face of selected padding welds made by submerged welding arc with: a) 10% Al_2O_3 addition, b) 15% SiC addition



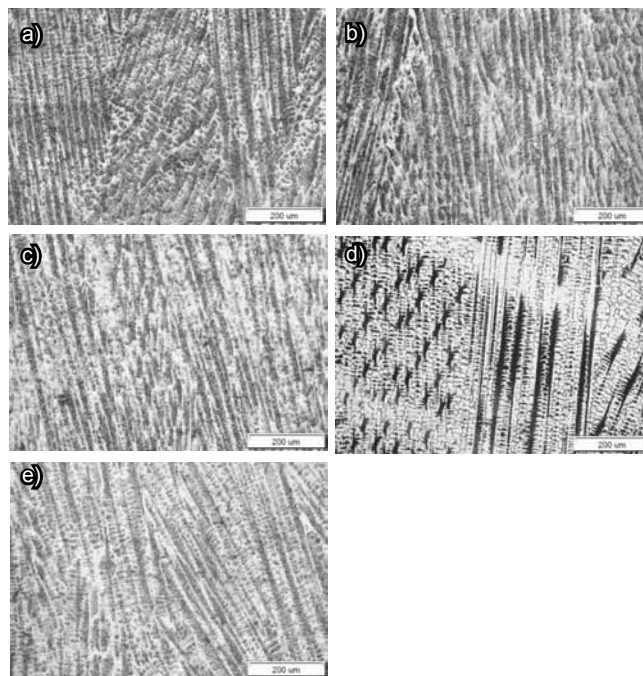
Rys. 3. Lico przykładowych napoin wykonanych łukiem krytym po badaniach penetracyjnych z: a) 5% dodatkiem Al_2O_3 , b) 20% dodatkiem SiC
Fig. 3. The face of selected padding welds made by submerged welding arc after penetrating tests with: a) 5% Al_2O_3 addition, b) 20% SiC addition

Badania metalograficzne

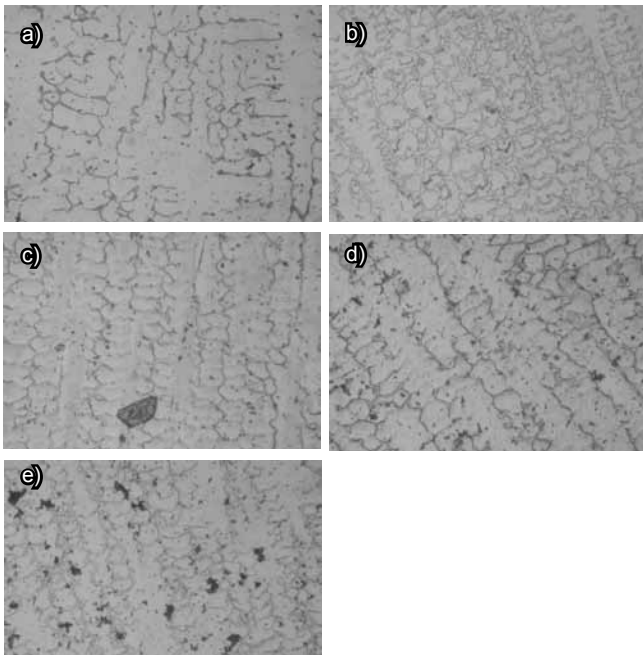
W celu określenia wpływu dodatku proszku EuTroLoy 16223G oraz Al_2O_3 i SiC na strukturę uzyskanych napoin wykonano badania metalograficzne makroskopowe na mikroskopie stereoskopowym Olympus SZX9 (rys. 4) oraz badania metalograficzne mikroskopowe na mikroskopie świetlnym Olympus PME 3 (rys. 5, 6).



Rys. 4. Makrostruktury przykładowych napoin wykonanych łukiem krytym z: a) 10% dodatkiem Al_2O_3 , b) 15% dodatkiem SiC
Fig. 4. Macrostructures of selected padding welds made by submerged arc surfacing: a) 10% Al_2O_3 addition, b) 15% SiC addition



Rys. 5. Mikrostruktury napoin wykonanych przy zmiennym udziale Al_2O_3 w proszku EuTroLoy 16223G: a) bez Al_2O_3 , b) 5% Al_2O_3 , c) 10% Al_2O_3 , d) 15% Al_2O_3 , e) 20% Al_2O_3
Fig. 5. The microstructures of padding welds made with variable Al_2O_3 addition in EuTroLoy 16223G addition: a) without Al_2O_3 , b) 5% Al_2O_3 , c) 10% Al_2O_3 , d) 15% Al_2O_3 , e) 20% Al_2O_3



Rys. 6. Mikrostruktury napoin wykonanych przy zmiennym udziale SiC w proszku EuTroLoy 16223G: a) bez SiC, b) 5% SiC, c) 10% SiC, d) 15% SiC, e) 20% SiC

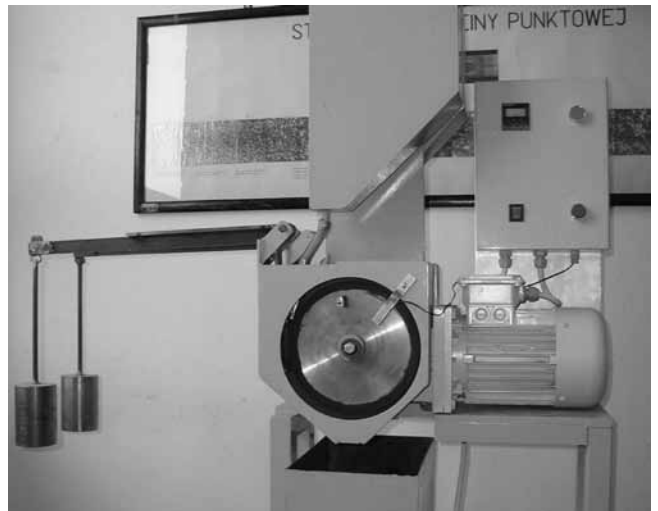
Fig. 6. The microstructures of padding welds made with variable SiC addition in EuTroLoy 16223G addition: a) without SiC, b) 5% SiC, c) 10% SiC, d) 15% SiC, e) 20% SiC

Pomiary twardości

W celu określenia twardości powierzchni po napawaniu wykonano pięć pomiarów na przeszlifowanym licu napoin i odniesiono je do twardości stali Hardox 400. Badania przeprowadzono na twardościomierzu Rockwella przy obciążeniu 1471 N trwającym 4 s. Wyniki pomiarów twardości przedstawiono w tablicy VII.

Badanie odporności na zużycie ścierne typu metal-minerał

Badania odporności na zużycie ścierne warstw kompozytowych napawanych łukiem krytym drutem



Rys. 7. Stanowisko do prób odporności na zużycie ścierne zgodnie z normą ASTM G 65

Fig. 7. Stadion for abrasive wear resistant testing acc. to ASTM G-65

z dodatkiem proszku niklowego ze zmiennym udziałem wagowym Al_2O_3 oraz SiC w odniesieniu do stali Hardox 400 wykonano zgodnie z normą ASTM G 65-00, Procedure A (rys. 7) [9]. Próbkę o wymiarach 75 x 25 x 10 mm wycięto ze środka napoin kompozytowych zakładkowych oraz stali Hardox 400 i przeszlifowano (rys. 8). Wszystkie próbki, zgodnie z zaleceniami normy ASTM G 65-00, przed i po próbie ścieralności, ważono na wadze laboratoryjnej z dokładnością do 0,0001 g. Ubytek masy próbek napawanych łukiem krytym porównano bezpośrednio z ubytkiem masy próbek ze stali HARDOX 400. Wykorzystując zmierzoną gęstość napoin kompozytowych i ubytek masy próbek, obliczono objętościowy ubytek masy (tabl. VIII).

Do obliczenia ubytku objętościowego użyto wzoru:

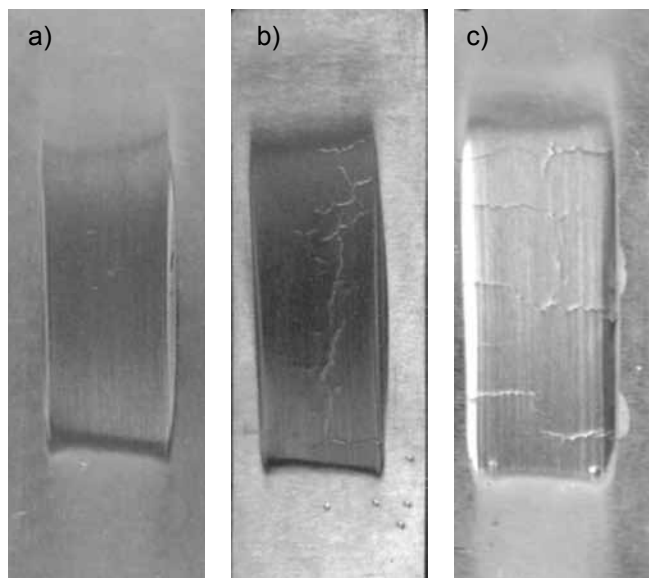
$$U_o = \frac{U_m}{\rho} \times 1000$$

gdzie: U_o – ubytek objętościowy, mm^3 ; U_m – ubytek masy, g; ρ – gęstość, g/cm^3 .

Tablica VII. Wyniki pomiarów twardości napoin na przeszlifowanym licu

Table VII. The hardness test on the grinded face of the padding weld

Oznaczenie napoiny	Twardość HRC					Wartość średnia
Napoiny wykonane z dodatkiem Al_2O_3						
0% Al_2O_3	27,5	27,3	27,5	26,0	28,5	27,4
5% Al_2O_3	28,5	27,2	30,1	27,3	28,6	28,3
10% Al_2O_3	27,6	28,5	28,7	29,7	30,5	29,0
15% Al_2O_3	29,1	27,9	29,2	28,3	28,7	28,6
20% Al_2O_3	28,5	28,2	30,8	30,3	29,2	29,4
Napoiny wykonane z dodatkiem SiC						
0% SiC	28,5	28,0	27,5	27,0	26,8	27,6
5% SiC	29,0	32,2	33,1	32,3	28,5	31,0
10% SiC	29,3	30,5	29,0	30,7	31,5	30,2
15% SiC	29,3	28,5	30,2	31,8	28,4	29,6
20% SiC	30,0	28,6	28,3	29,7	31,2	29,7
Twardość stali Hardox 400						
H 400	41,6	39,8	40,9	42,1	43,6	41,6



Rys. 8. Przykładowe próbki po badaniach odporności na zużycie ścierne: a) stal Hardox 400, b) napoina z 10% Al_2O_3 , c) napoina z 15% SiC

Fig. 8. Samples after abrasive wear resistant tests: a) Hardox 400 steel, b) padding weld with 10% Al_2O_3 addition, c) padding weld with 15% SiC addition

Tablica VIII. Wyniki badań odporności na zużycie ścierne typu metal-minerał warstw kompozytowych napawanych łukiem krytym z odniesieniem do odporności na zużycie ścierne stali Hardox 400 przeprowadzonych zgodnie z normą ASTM G 65-00

Table VIII. The abrasive wear resistant test results of submerged arc surfacing padding welds with metal-mineral composite layers in comparison to the abrasive wear resistance of Hardox 400 steel made acc. to ASTM G 65-00

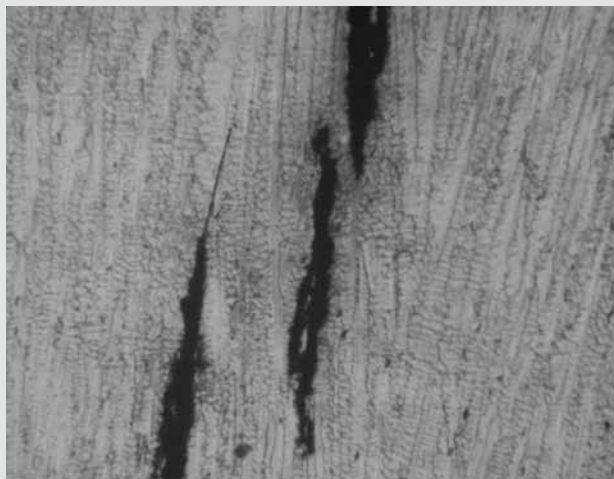
Numer próbki	Masa przed testem g	Masa po teście g	Ubytek masy g	Gęstość g/cm ³	Ubytek objętościowy mm ³	Względna odporność na ścieranie*
Napoiny wykonane z dodatkiem Al_2O_3						
0% Al_2O_3	136,4350	133,6922	2,7428	7,93	345,8764	0,52
5% Al_2O_3	114,7488	112,0734	2,6754	7,83	341,6858	0,53
10% Al_2O_3	144,2087	141,6650	2,5437	7,73	329,0686	0,55
15% Al_2O_3	144,0592	141,6093	2,4499	7,67	319,4133	0,56
20% Al_2O_3	149,9705	147,5836	2,3869	7,63	312,8309	0,57
Napoiny wykonane z dodatkiem SiC						
0% SiC	104,8267	102,0941	2,7326	7,95	343,7233	0,52
5% SiC	111,6530	109,0716	2,5814	7,81	330,5250	0,54
10% SiC	150,8819	148,4360	2,4459	7,76	315,1933	0,57
15% SiC	115,1468	112,8125	2,3343	7,77	300,4271	0,60
20% SiC	116,4705	113,8495	2,2210	7,73	287,3221	0,62
Stal Hardox 400						
H 400	58,3280	56,9366	1,3914	7,75	179,5355	1

* wyniki odniesiono do próbki ze stali Hardox 400

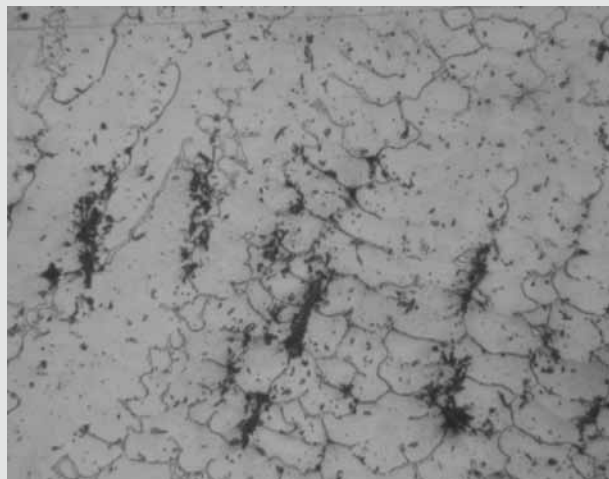
Podsumowanie

Badania wizualne napoin zakładkowych wykonanych parametrami dobranymi na podstawie prób napawania ściegów pojedynczych z zakładką 50%, nie wykazały nieprawidłowości dotyczących kształtu i wyglądu lica napoin. Badania penetracyjne uwiarykowały pęknięcia w kierunku prostopadłym do kierunku napawania. Pęknięcia nie pro-

pagują do podłoża materiału rodzimego i nie powinny negatywnie wpływać na właściwości użytkowe takie jak odporność na zużycie ścierne. Pęknięcia te mają prawdopodobnie charakter pęknięć gorących, co jest związane ze składnikami wprowadzanego proszku metalicznego (rys. 9). Badania mikroskopowe wykazały, że napoiny charakteryzują



Rys. 9. Pęknięcie napoiny z dodatkiem 15% SiC
Fig. 9. Crack of pad welding with 15% SiC addition



Rys. 10. Częściowo rozpuszczonych węglików SiC w napoinie z 20% dodatkiem SiC
Fig. 10. Partially deposited SiC carbon in the padding weld with 20% SiC addition

się strukturą austenityczną z wydzielonymi eutektykami węglkowymi i borkowymi powstałymi w wyniku wprowadzenia do napoiny proszku EuTroLoy 16223G na osnowie niklu z dodatkiem boru i chromu. W napoinach można zaobserwować węgliki SiC. Wysoka temperatura jeziora ciekłego metalu oraz jego duża objętość prowadzi do znacznego rozpuszczenia wprowadzanego dodatku Al_2O_3 oraz SiC w osnowie austenitycznej (rys. 10). Pomiarzy gęstości uzyskanych napoin wykazały, że wraz ze wzrostem udziału wagowego Al_2O_3 oraz SiC w napoinach maleje ich gęstość, co pozwala stwierdzić, że dodatki te znajdują się w napoinach w stanie rozpuszczonym.

Pomiary twardości na przeszlifowanym licu napoin wykazały, że twardość napoin wykonanych z dodatkiem proszku metalicznego i Al_2O_3 wynosi ok. 28 HRC, natomiast napoin wykonanych

z dodatkiem proszku metalicznego i SiC ok. 30 HRC. Twardość uzyskana na powierzchni jest wynikiem powstania struktur z wymieszania się materiału podłoża ze spoiwem, proszkiem metalicznym oraz dodatkami Al_2O_3 oraz SiC. Pomiarzy nie wykazały wyraźnego wpływu ilości wprowadzonego Al_2O_3 oraz SiC na twardość powierzchni lica napoin. Badania odporności na zużycie ścierne wykazały, że wzrost udziału wagowego Al_2O_3 oraz SiC w proszku metalicznym nieznacznie wpływa na podwyższenie odporności na zużycie ścierne typu metal-minerał. W przypadku napoin z dodatkiem Al_2O_3 odporność na zużycie ścierne wynosi $0,53 \pm 0,57$ w stosunku do stali Hardox 400, a w napoinach z dodatkiem SiC $0,54 \pm 0,62$. Poziom odporności na zużycie ścierne uzależniony jest od rozmieszczenia wprowadzanych dodatków oraz od ich skłonności do rozpuszczania w ciekłym jeziorce napoin.

Literatura

- [1] Goldsberry C.: The Basics of Submerged Arc Welding, Welding Magazine, No. 8/2008.
- [2] Karaoglu S., Secgin A.: Sensitivity analysis of submerged arc welding process parameters, Journal of Materials Processing Technology, 2008.
- [3] Farrow N., Studholme S.: Submerged arc welding with fused flux and basic cored wire for low temperature applications, Svetsaren Nr. 1/2000.
- [4] Tušek J.: Metal-powder twin-wire submerged-arc welding, Welding & Metal Fabrication, No 8/1998.
- [5] Ambroza P., Bendikiene R., Kavaliauskiene L.: Submerged arc surfacing of structural steel using metal powder added to flux, Conference on Heat Transfer, Thermal Engineering and Environment, Athens, Greece, 2007.
- [6] Aruna S., Diwakar S., Jain A., Rajam K.: Comparative study on the effect of current density on Ni and Ni- Al_2O_3 nanocomposite coatings produced by electrolytic deposition, Surface Engineering, Vol. 21, 2005.
- [7] Dong S., Beake B., Parkinson R., Xu B., Hu Z., Bell T.: Determination of hardness and Young's modulus of brush plated nano- Al_2O_3 /Ni composite coating by nanoindentation testing, Surface Engineering, Vol. 19, No. 3, 2003.
- [8] Grum J., Kejžar R., Slabe J.: Submerged arc surfacing of Ni-Co-Mo alloys similar to maraging steels on a structural steel, Journal of Materials Processing Technology, 2004.
- [9] ASTM G65 – 04: Standard test method for measuring abrasion using the dry sand/rubber wheel apparatus