

Otrzymywanie i struktura kompozytowych warstw Ni-NbC napawanych plazmowo

Formation and structure of the composite coatings Ni-NbC deposited by plasma transferred arc

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań kompozytowych warstw Ni-NbC napawanych plazmowo z mieszaniny proszków na podłoża ze stali niestopowej. Napoiny te wykonano dla zmiennych wartości natężenia prądu łuku głównego w zakresie 60÷120 A. Przeprowadzono badania struktury, stosując zarówno mikroskopię optyczną, jak i skaningową. Analizowano rozkład mikrotwardości osnowy. Wykazano, iż poprawne napoiny formują się dla określonych parametrów procesu, a w efekcie intensywnego oddziaływania cząstek NbC z ciekłą osnową dochodzi do ich dezintegracji.

Słowa kluczowe: napawanie plazmowe proszkowe; napoiny kompozytowe; Ni-NbC

Abstract

The results of investigations of Ni-NbC composite coatings deposited by the plasma transferred arc welding method from a mixture of powders onto the low alloy steel are presented in the paper. These weld overlaying were made for variable values of the main arc current in the range of 60÷120 A. The structure examinations of coatings were carried out using both optical and scanning microscopy. The microhardness distribution of the matrix of composite coatings was also analyzed. It was shown that correct weld overlaying are formed for specific process parameters, and as a result of the intensive interaction of NbC particles with the liquid matrix comes to their disintegrate.

Keywords: Plasma Powder Transferred Arc Welding; composite coatings; Ni-NbC

Wstęp

Napawanie plazmowe proszkowe jest często stosowaną techniką w modyfikacji bądź regeneracji warstwy wierzchniej części maszyn ze względu na swoje zalety [1]. Jedną z korzyści stosowania tej techniki jest możliwość otrzymania napoin o szerokim zakresie składu chemicznego, w tym również warstw o strukturze materiału kompozytowego. Napoiny kompozytowe o osnowie metalicznej z dodatkiem wysokotopliwych faz, w postaci węglików, borków czy azotków łączą w sobie cechy stosunkowo plastycznej matrycy i twardych cząstek fazy umacniającej. Tego typu warstwy wykazują jednocześnie wysoką odporność na zużycie w warunkach dużego obciążenia ściernego i udarowego [2,3].

Wysokie właściwości eksploatacyjne wykazują napoiny kompozytowe umacniane węglnikami metali przejściowych z IVB-VIB grupy układu okresowego pierwiastków. Stosunkowo dużo prac poświęconych jest wszechstronnym badaniom struktury i odporności na zużycie napoin o osnowie niklu z dodatkiem węglików wolframu [4÷7]. Obecność twardych cząstek WC/W₂C znacząco podnosi odporność na zużycie tych napoin. Prowadzone są też prace dotyczące napoin

umacnianych węglnikami chromu i tytanu [8÷10]. Natomiast znacznie mniej jest danych odnośnie napoin kompozytowych umacnianych cząstkami pozostałych węglików metali przejściowych, np. ZrC, HfC, NbC, TaC czy MoC. Fazy te charakteryzują się również atrakcyjnymi właściwościami przez co ich dodatek znacząco poprawia właściwości napoin [11].

W pracy tej stanowiącej kontynuację wcześniejszego cyklu badań [12,13] przedstawiono aspekty związane z otrzymaniem i charakterystyką struktury powłok kompozytowych Ni-NbC otrzymywanych techniką plazmową dla różnych parametrów.

Stosowane materiały

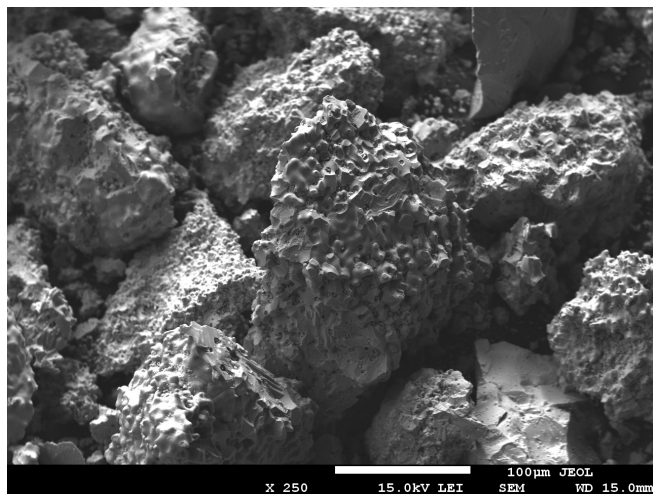
Kompozytowe napoiny napawano na podłoża ze stali niestopowej typu S355J0. Do badań przygotowano płaskowniki o wymiarach 10 x 50 x 150 mm. Przed procesem napawania powierzchnia stalowych płytek była dokładnie czyszczona poprzez obróbkę śrutowania.

Dr inż. Mariusz Bober – Politechnika Warszawska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: mbober@wip.pw.edu.pl

Do napawania wykorzystano mieszaninę złożoną z proszków osnowy i fazy umacniającej. Osnowę stanowił komercyjny proszek na bazie niklu o symbolu DA 22 zawierający dodatkowo 0,03% C, 2,4% Si, 1,4% B oraz 0,4% Fe. Proszek osnowy mieszano z proszkiem węgla niobu w stosunku objętościowym 60:40. Z danych producenta wynika, iż ziarnistość proszku DA 22 mieści się w przedziale $50\div 150\ \mu\text{m}$ a jego kształt jest sferyczny. Natomiast z uwagi na brak informacji odnośnie rozmiaru frakcji NbC przeprowadzono analizę sitową tego proszku i wyodrębnilo frakcję o ziarnistości $45\div 160\ \mu\text{m}$. Do wykonania analizy sitowej wykorzystano przesiewacz laboratoryjny Retsch AS 200 Control.

Morfologię proszków węgla niobu przedstawiono na rysunku 1, na którym widoczne są nieregularne cząstki NbC o rozwiniętej powierzchni.



Rys. 1. Morfologia ziaren proszku NbC
Fig. 1. The morphology of the NbC powder grains

Przygotowanie próbek

Proces napawania plazmowego prowadzono stosując urządzenie PTA 301 Control M firmy Hettiger. Na podstawie wcześniejszych badań [14,15] ustalono stałe i zmienne parametry procesu. Kompozytowe napoiny wykonano dla zmiennych wartości natężenia prądu łuku głównego mieszczących się w przedziale $60\div 120\ \text{A}$. Pozostałe parametry zachowano na stałym poziomie, a ważniejsze z nich wymieniono poniżej:

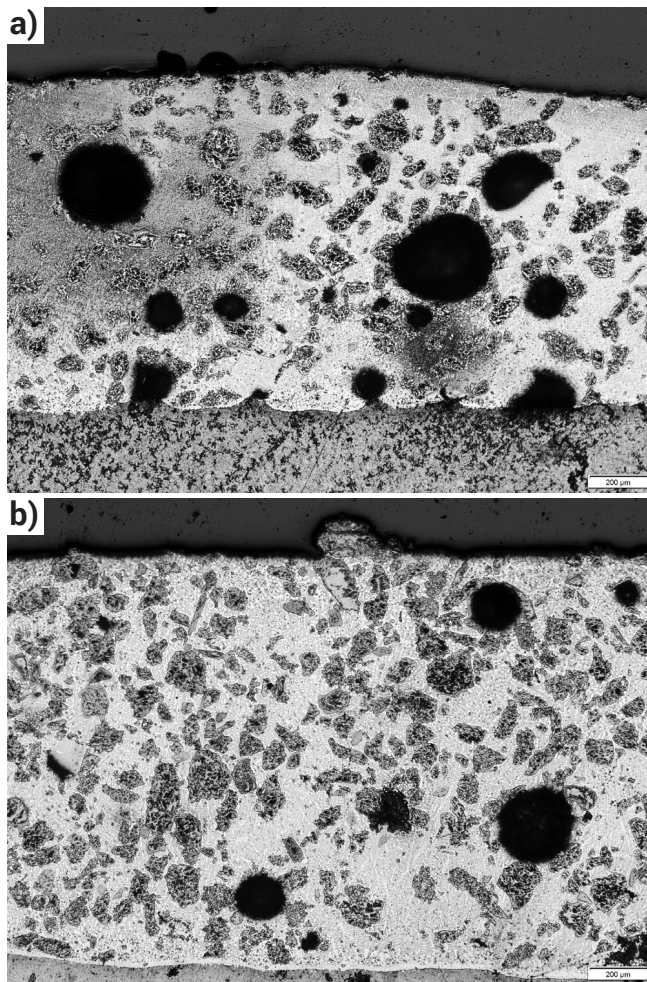
- natężenie prądu łuku wewnętrznego – 40 A,
- prędkość napawania – 50 mm/min,
- wydatek proszku – 6 g/min,
- średnica dyszy plazmowej – 4 mm,
- odległość plazmotronu od powierzchni napawanej – 15 mm,
- zakres oscylacji – 8 mm,
- prędkość ruchu oscylacyjnego – 450 mm/min,
- wydatki gazów (argon 5,0):
 - plazmotwórczego – 1,5 l/min,
 - osłonowego – 16 l/min,
 - transportującego proszek – 8 l/min.

Wyniki badań

Po procesie napawania kompozytowe powłoki poddano badaniom makroskopowym. Obserwacje prowadzono okiem nieuzbrojonym. Na ich podstawie ustalono, iż warstwy wykonane przy najmniejszym natężeniu prądu (60 A) posiadają nieregularny kształt lica i z tego powodu nie były dalej badane.

Z pozostałych napoin wycięto próbki do badań mikroskopowych. Każdy ścieg został przecięty w stałej odległości od początku napoiny. Zgłady metalograficzne przygotowano wg standardowej procedury. Do obserwacji i rejestracji mikrostruktury wykorzystano stanowisko wyposażone w mikroskop metalograficzny Olympus BX51 z cyfrowym zapisem obrazu.

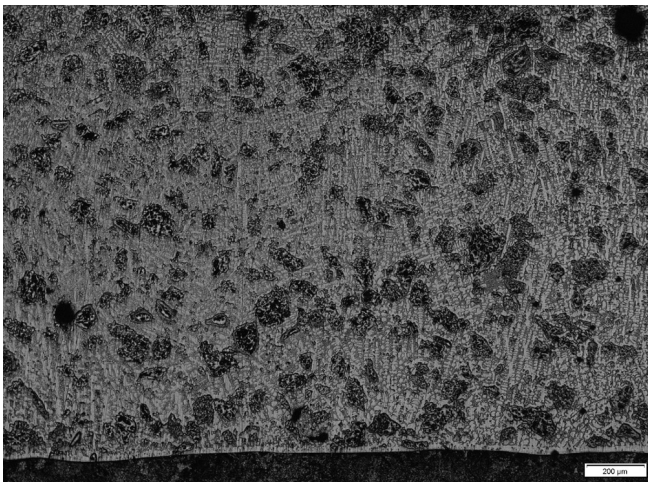
Na rysunku 2 przedstawiono struktury napoin kompozytowych otrzymanych dla natężenia prądu łuku głównego 70 i 80 A. W napoinach tych widoczne są duże pęcherze gazowe oraz przyklejenia na granicy powłoki ze stalowym podłożem. Pęcherze gazowe formują się na ogół na granicy międzyfazowej węgiel-osnowa, co świadczyć może o niedostatecznej wilżalności NbC ciekłym stopem Ni.



Rys. 2. Niezgodności spawalnicze w napoinach kompozytowych wykonanych przy natężeniu prądu: a) 70 A, b) 80 A
Fig. 2. The welding discrepancies in composite coatings obtained with welding current: a) 70 A, b) 80 A

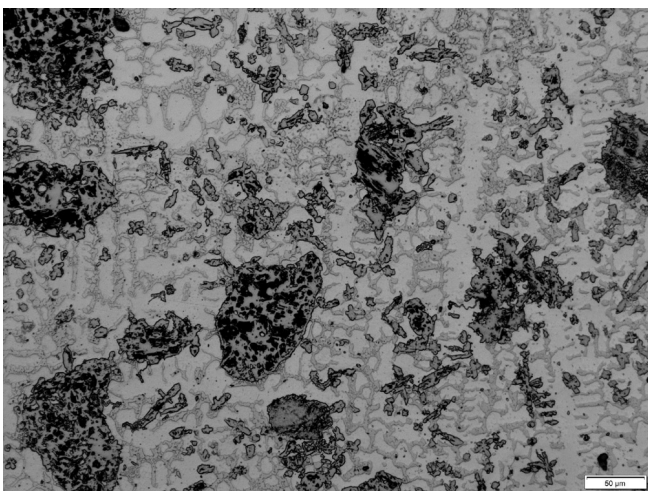
W warstwach napawanych z większą energią liniową nie obserwowano wyżej wymienionych niezgodności spawalniczych. Na rysunku 3 przedstawiono przykład struktury napoiny kompozytowej Ni-NbC wykonanej przy natężeniu prądu 100 A. Na tle osnowy rozmieszczone są ciemne cząstki węgla niobu. Nieliczne małe pęcherze gazowe zlokalizowane są w obszarze lica warstwy. Granica międzyfazowa napoina kompozytowa – stalowe podłoże jest ciągła i pozbawiona niezgodności spawalniczych.

Morfologię cząstek fazy umacniającej przedstawiono na rysunku 4. Na tle dwufazowej osnowy o strukturze dendrytycznej widoczne są duże oraz małe nieregularne cząstki węgla niobu. Obecność małej frakcji NbC spowodowana jest rozpadem dużych aglomeratów na skutek oddziaływania



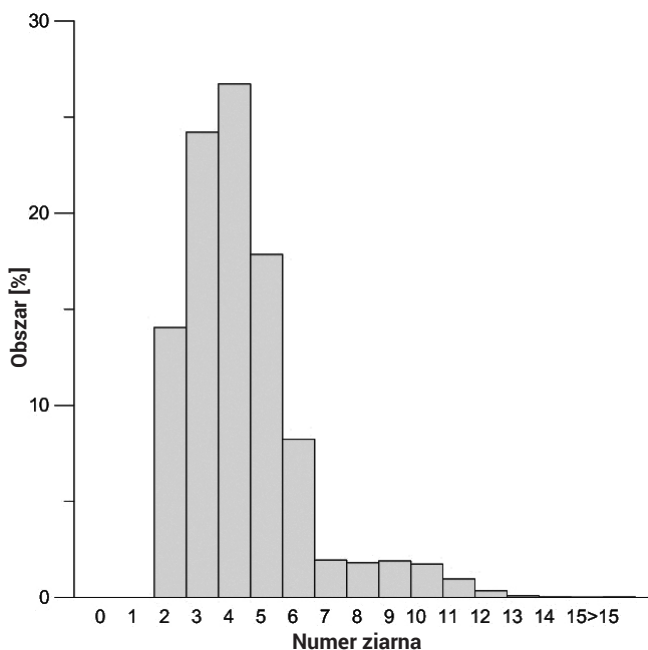
Rys. 3. Mikrostruktura napoiny kompozytowej Ni-NbC napawanej prądem o natężeniu 100 A

Fig. 3. The microstructure of composite Ni-NbC coatings obtained with surfacing current of 100 A



Rys. 4. Morfologia fazy umacniającej w kompozytowych warstwach Ni-NbC

Fig. 4. The strengthening phase morphology in Ni-NbC composite coatings



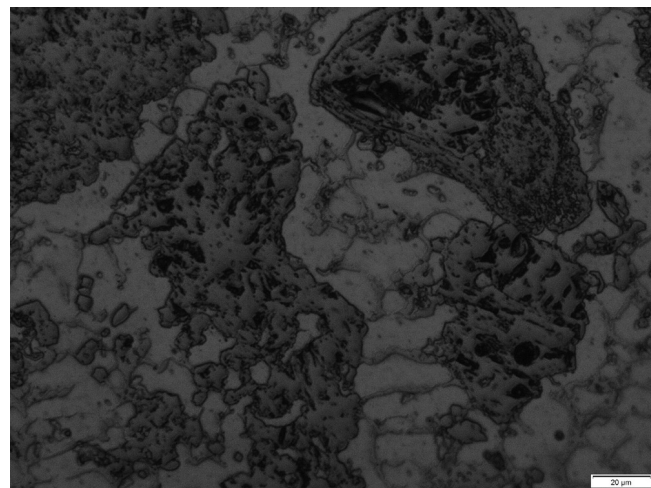
Rys. 5. Rozkład wielkości ziarna NbC w osnowie napoiny wg normy ISO 643:2012

Fig. 5. Grain size distribution NbC in overlaying matrix according to ISO 643:2012 standard

ze strumieniem plazmy bądź w efekcie reakcji z ciekłą osnową. Na rysunku 5 przedstawiono histogram wielkości ziarna NbC w napoinach kompozytowych. Badania te wykonano za pomocą programu Enterprise Stream firmy Olympus. Z danych tych wynika, iż rozmiar najmniejszej frakcji NbC wynosi nawet poniżej 2 μm, a więc jest znacznie mniejszy niż w wyjściowej mieszance proszków.

Badania mikroskopowe prowadzone przy większych powiększeniach ujawniają obecność osnowy we wnętrzu dużych cząstek węgla niobu (rys. 6), a zatem dochodzi do penetracji ciekłej osnowy po granicach ziaren NbC i dezintegracji dużych cząstek. W efekcie formują się drobne frakcje węgla dość równomiernie rozmieszczone w osnowie. Granica międzyfazowa węgiel-osnowa jest ciągła bez wyraźnej strefy reakcji. Świadczą o tym także mapy rozkładu pierwiastków stopowych – rysunek 7. Badania te potwierdzają obecność niklu i żelaza w przestrzeniach dużych aglomeratów NbC, jak również obecność niobu w osnowie.

Pomiar mikrotrwałości osnowy wykonano na zgładach metalograficznych w osi napoiny prostopadłej do linii wtopienia. Badano twardość napoin wykonanych dla natężenia prądu 100 i 120 A. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 8.

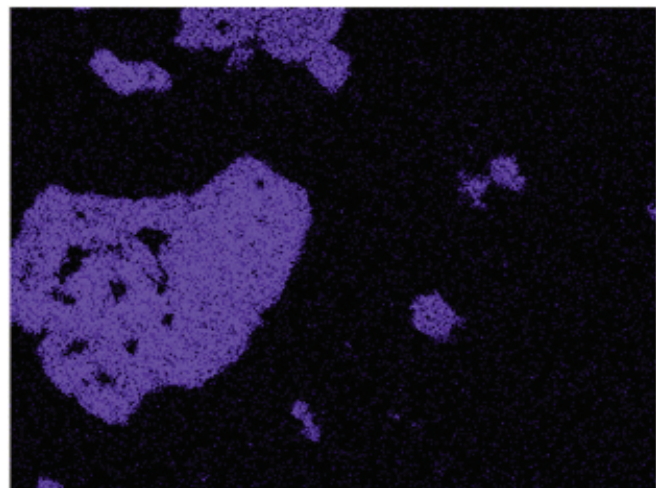
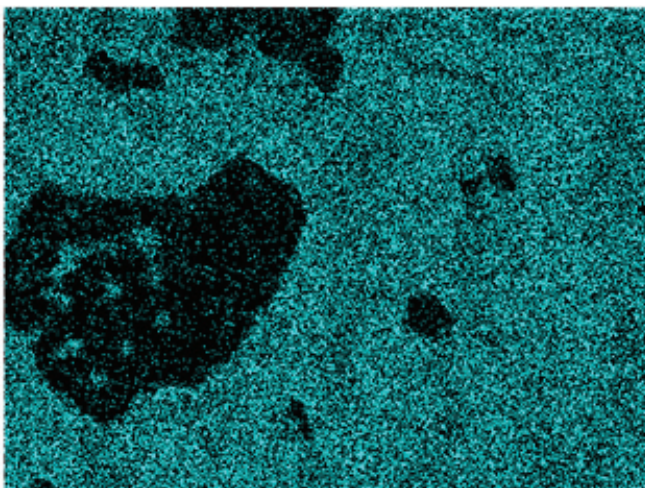
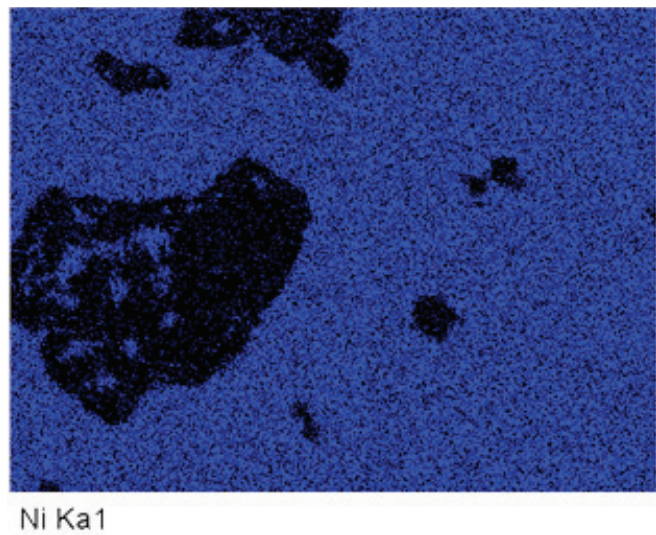
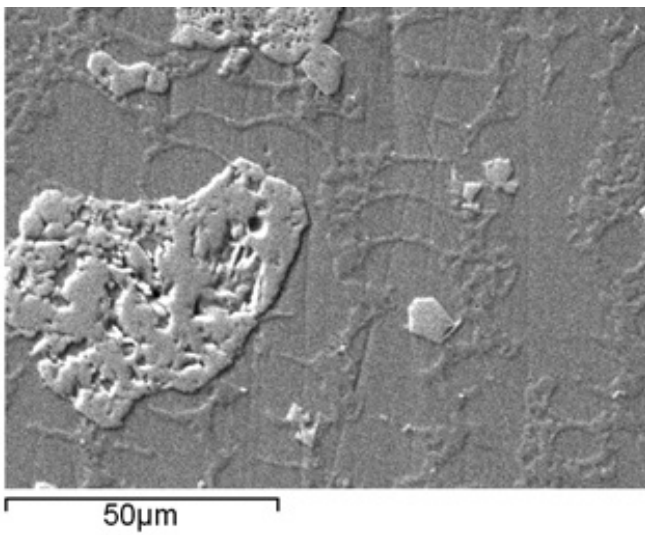


Rys. 6. Dezintegracja dużych aglomeratów NbC

Fig. 6. Disintegration of large NbC agglomerates

Omówienie wyników badań

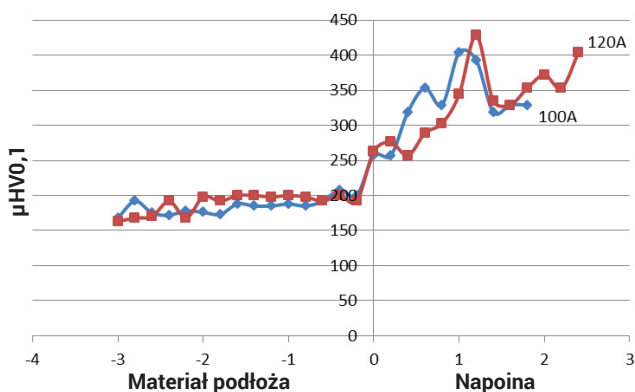
Przeprowadzone badania dowodzą, iż poprawne napoiny kompozytowe Ni-NbC formowały się dla stosunkowo wysokiego natężenia prądu łuku głównego, tj. powyżej 90 A. Zbyt mała energia liniowa procesu napawania jest przyczyną powstawania niezgodności spawalniczych w postaci przyklejeń napoiny do materiału podłoża (rys. 2a) oraz dużych pęcherzy gazowych (rys. 2b). Wraz ze wzrostem natężenia prądu ilość pęcherzy gazowych znacząco zmniejszała się. Obecność pęcherzy gazowych można rozpatrywać w dwóch aspektach. Na rysunku 2 widać, że pęcherze te zlokalizowane są na granicy międzyfazowej węgiel-osnowa. Świadczyć to może o niedostatecznej zwilżalności cząstek fazy umacniającej ciekłym stopem Ni. Według danych literaturowych [16] w węglkach metali przejściowych IVB-VIB grupy układu okresowego dominuje metaliczny charakter wiązania chemicznego, lecz z pewnym udziałem wiązań kowalencyjnych, a nawet jonowych. Rodzaj wiązania chemicznego jest kluczowym czynnikiem decydującym o zwilżalności cząstek fazy umacniającej ciekłą osnową metaliczną. Trudności w formowaniu napoin oraz obecność niezgodności spawalniczych



Fe Ka1

Nb La1

Rys. 7. Mikrostruktura granicy międzyfazowej węglík-osnowa oraz powierzchniowe rozkłady Nb, Fe i Ni
Fig. 7. The microstructure of the carbide-matrix interface and surface distribution of Nb, Fe and Ni



Rys. 8. Rozkład mikroczwórci osnowy
Fig. 8. Distribution of matrix microhardness

pośrednio świadczą o pewnym udziale wiązań kowalencyjnych i/lub jonowych w NbC. Natomiast wzrost natężenia prądu skutkował aktywacją termiczną procesu zwilżania stąd napoiny kompozytowe formowały się poprawnie. Drugi aspekt obecności pęcherzy gazowych może wynikać z morfologii ziaren NbC. Mianowicie mają one nieregularny kształt, a powierzchnia ich jest bardzo rozwinięta. Można także przypuszczać, iż są w pewnym stopniu porowate. Są to więc sprzyjające warunki do adsorpcji gazów. Małe natężenie prądu skutkuje krótkim czasem krystalizacji, a więc pęcherze

gazowe zostają uwięzione we wnętrzu napoiny. Z kolei wzrost natężenia prądu prowadzi do większej objętości ciekłego jeziora, tym samym wydłuża się czas krystalizacji, a w efekcie gazy te zostają uwolnione.

W napoinach kompozytowych Ni-NbC węglík występował w postaci zarówno dużych, jak i małych cząstek o nieregularnym kształcie (rys. 4). Analiza wielkości ziaren NbC wykazała, iż najmniejsze cząstki mają rozmiar poniżej 2 μm (rys. 5), a więc są znacznie mniejsze niż w wyjściowej mieszance proszków. Obecność drobnej frakcji jest efektem dezintegracji dużych aglomeratów NbC w trakcie napawania. Występuje tu mechanizm penetracji ciekłej osnowy stopu Ni w głąb węglíka i rozpuszczanie granic ziaren (rys. 6).

Badania granicy międzyfazowej węglík-osnowa wykazały, iż jest ona ciągła bez wyraźnej strefy reakcji pomiędzy tymi fazami – rysunek 7. Mapy rozkładów powierzchniowych Nb, Ni i Fe dokumentują to stwierdzenie. Nie mniej jednak z rozkładu powierzchniowego niobu wynika, że jest on obecny w osnowie, co wskazuje na nadtopianie węglíka w trakcie napawania.

Mikroczwórci osnowy napoin kompozytowych nieznacznie zmniejsza się wraz ze wzrostem natężenia prądu – rysunek 8. Spadek twardości wynikający z większego udziału żelaza z nadtopionego podłoża nie jest wystarczająco kompensowany umocnieniem roztworowym osnowy niobem obecnym z nadtopionych węglíków. Widać także wyraźną tendencję wzrostu twardości osnowy w kierunku od linii wtopienia do lica napoiny.

Wnioski

- Formowanie się poprawnych napoin kompozytowych Ni-NbC zależy ściśle od energii liniowej procesu napawania. Zastosowanie natężenia prądu poniżej 90 A skutkuje tworzeniem się niezgodności spawalniczych w postaci przyklejeń i pęcherzy gazowych.
- W napoinach kompozytowych węgiel niobu występuje w postaci dużych, jak i bardzo małych, cząstek o nieregularnym kształcie. Udział małej frakcji wynika z intensywnej reakcji ciekłej osnowy z NbC.
- Granica międzyfazowa węgiel-osnowa jest ciągła bez wyraźnej strefy reakcji.
- Obecność niobu w osnowie świadczy o częściowym nadtopianiu węgla w trakcie procesu napawania plazmowego.
- Wzrost natężenia prądu prowadzi do nieznaczego zmniejszenia twardości osnowy w wyniku większego rozcieńczenia napoiny żelazem.

Badania były finansowane z grantu NCBiR/KGHM nr CuBR/1/3NCBR/2014

Literatura

- [1] Jitai N., Wei G., Mianhuan G., Shixiong L.: Plasma application in thermal processing of materials, *Vacuum* 65, 2002, pp. 263-266.
- [2] Katsich C., Badisch E.: Effect of carbide degradation in a Ni-based hardfacing under abrasive and combined impact/abrasive conditions, *Surface & Coatings Technology* 206, 2011, pp. 1062-1068.
- [3] Zhang G. S., JXing J. D., Gao Y. M.: Impact wear resistance of WC/Hadfield steel composite and its interfacial characteristics, *Wear* 260, 2006, pp. 728-734.
- [4] Liyanagea T., Fisherb G., Gerlich A. P.: Microstructures and abrasive wear performance of PTAW deposited Ni-WC overlays using different Ni-alloy chemistries, *Wear* 274-275, 2012, pp. 345-354.
- [5] Kamdi Z., Shipwaya P.H., Voiseya K.T., Sturgeonb A.J.: Abrasive wear behaviour of conventional and large-particle tungsten carbide-based cermet coatings as a function of abrasive size and type, *Wear* 271, 2011, pp. 1264-1272.
- [6] Bober M., Senkara J.: Badania struktury kompozytowych powłok Ni-WC napawanych plazmowo, *Przegląd Spawalnictwa*, vol. 88, nr 5, 2016, s. 67-70.
- [7] Piasecki A., Bartkowski D., Młynarczak A.: Study of the surface layers of 18G2A steel after plasma surfacing with WC and Fe-Cr powders, *Inżynieria Materiałowa*, nr 2, 2014, pp. 179-182.
- [8] Huang Z., Hou Q., Wang P.: Microstructure and properties of Cr₃C₂ - modified nickel - based alloy coating deposited by plasma transferred arc process, *Surface & Coatings Technology*, 2008, No. 202, 2993-2999.
- [9] Bourithis L., Milonas Ath., Papadimitriou G.D.: Plasma transferred arc surface alloying of a construction steel to produce a metal matrix composite tool steel with TiC as reinforcing particles, *Surface and Coatings Technology* 165, 2003, pp. 286-295.
- [10] Bober M., Grześ J.: The structure of Ni-TiC composite coatings deposited by PPTAW method, *Composites Theory and Practice*, vol. 2, 2015, pp. 72-77.
- [11] Hung F.Y., Yan Z.Y., Chen L.H., Lui T.S.: Microstructural characteristics of PTA-overlaid NbC on pure Ti, *Surface & Coatings Technology*, 2006, No. 200, pp. 6881-6887.
- [12] Bober M., Senkara J.: Badania porównawcze napawanych plazmowo warstw niklowych z węglkami Ti i Cr, *Przegląd Spawalnictwa*, nr 9, 2011, s. 32-37.
- [13] Bober M., Senkara J.: Mikrostruktura kompozytowych powłok Ni-ZrC napawanych plazmowo, *Przegląd Spawalnictwa*, vol. 87, nr 10, 2015, s. 60-63.
- [14] Bober M., Tobota K.: Badania istotności wpływu podstawowych parametrów napawania plazmowego na geometrię napoin, *Przegląd Spawalnictwa*, vol. 87, nr 9, 2015, s. 24-28.
- [15] Bober M.: Badania wpływu głównych parametrów napawania plazmowego na geometrię napoin w oparciu o metody planowania eksperymentu, *Przegląd Spawalnictwa*, vol.89, nr 4, 2017, s. 5-9.
- [16] Oyama S. T.: The chemistry of transition metal carbides and nitrides, Balckie Academic & Professional, Chapman & Hall, London, 199.