

Napawanie brązu berylowego stellite 1 metodą MCAW

Stellite surfacing by MCAW welding of beryllium bronze

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań napawania brązu berylowego CuBe_2 (wg PN-EN 1654) stopem narzędziowym Stellite 1. Celem procesu było regenerowanie oraz modyfikowanie krawędzi monolitycznych narzędzi roboczych oraz wkładek do form przeznaczonych do formowania wtryskowego tworzyw sztucznych. Jako metodę napawania zastosowano napawanie łukowe drutem elektrodowym rdzeniowym w atmosferze gazu ochronnego obojętnego I1 (wg PN-EN ISO 14175). Warunki napawania dobierano według kryterium stopnia wymieszania napoiny z podłożem na poziomie ok. 10%, zapewniającym dobre połączenie napoiny z podłożem oraz niskie rozcieńczenie napoiny materiałem podłoża. Podczas badań właściwości napoju ujawniono budowę mikrostrukturalną układu podłoże-powłoka oraz wykonano rozkłady twardości w płaszczyźnie przekroju podłoże-napojina. W strefie wpływu ciepła odnotowano znaczny spadek twardości materiału podłoża wynikający ze szczególnych właściwości brązów berylowych. Cykl cieplny napawania spowodował rozrost ziarna w obszarze przegrzania oraz lokalne przesylenie stopu, co było bezpośrednią przyczyną obniżenia twardości.

Abstract

The results of Cu-Be hardfacing (CuBe_2 according to PN-EN1654) by Stellite 1 tool alloy have been presented. The process was applied for modification and remanufacturing of monolithic edges in tools and inserts used for molds working in injection forming of plastics. The cored wire arc hardfacing in I1 inert gas has been chosen as the deposition method.

The microstructure observations together with hardness measurements across deposit/substrate interface have been conducted. Substantial hardness drop in substrate material has been found which was related with special properties of beryllium alloys.

The hardfacing thermal cycle induced grain growth in overheated area and local solutioning of the alloy which was the direct reason of hardness loss.

Wstęp

Modyfikacja powierzchni metodami spawalniczymi przez napawanie znajduje częste zastosowanie w inżynierii powierzchni ze względu na liczne zalety powłoknapawanych. Spośród wielu metod stosowanych w inżynierii powierzchni do wytwarzania powłok metalicznych i kompozytowych metaliczno-ceramicznych,

powłoki napawane charakteryzują się największą grubością oraz przyczepnością do materiału podłoża. Zastosowanie napawania związane jest najczęściej z modyfikacją powierzchni części maszyn (na etapie ich wytwarzania) lub regeneracją połączoną najczęściej z modyfikacją. Ze względu na wysoką opłacalność procesu regeneracji drogiej i skomplikowanych części maszyn, napawanie stosowane jest coraz częściej i zaczyna dotyczyć również trudno spawalnych materiałów podstawowych [1]. Przedstawiono proces napawania form wykonanych z brązu berylowego CuBe_2NiCo stellite 1 metodą MCAW (*Metal Cored Arc Welding*) w gazie osłonowym obojętnym – metoda 139 wg PN-EN ISO 4063.

Właściwości i zastosowanie brązów berylowych

Stopy Cu z Be (nazywane tradycyjnie brązami berylowymi) zawierają do 2,1% głównego pierwiastka stopowego, często Co i Ni, a niekiedy do 0,25% Ti. W normach europejskich są klasyfikowane w grupie stopów miedzi niskostopowych. Stopy te spośród wszystkich brązów wykazują najwyższe właściwości mechaniczne oraz odporność na korozję i ścieranie. Charakteryzują się dużą przewodnością cieplną i elektryczną (zwiększa ją dodatek Co), brakiem skłonności do iskrzenia oraz dobrą podatnością na obróbkę plastyczną na zimno i gorąco.

Obróbka cieplna stopów Cu z Be polega na utwardzaniu wydzieleniowym, chociaż mogą być one poddawane również niskotemperaturowej obróbce cieplno-mechanicznej. Utwardzanie wydzieleniowe składa się z przesycań z temperatury ok. 720÷760°C i starzenia w temperaturze ok. 300÷400°C. Twardość po utwardzeniu wydzieleniowym może osiągać nawet 340 HV, a wytrzymałość R_m ok. 1250 MPa. Stopy te mogą być również umacniane przez obróbkę plastyczną na zimno.

Stopy miedzi z berylem są stosowane na elementy maszyn w wytwórniach materiałów wybuchowych i prochowniach, na szczotki silników elektrycznych i przewody trakcji elektrycznej, elektrody i przewody spawalnicze, a także na sprężyny, niektóre łożyska ślizgowe, elementy pomp i narzędzia chirurgiczne. Stosowane są również na ekstremalnie obciążane elementy (wkładki) lub pełne formy do przetwórstwa tworzyw sztucznych.

Podstawowe właściwości brązów berylowych to: brak iskrzenia podczas uderzenia, wysokie przewodnictwo cieplne i elektryczne, podatność na odkształcenie na zimno i gorąco, wytrzymałość na rozciąganie

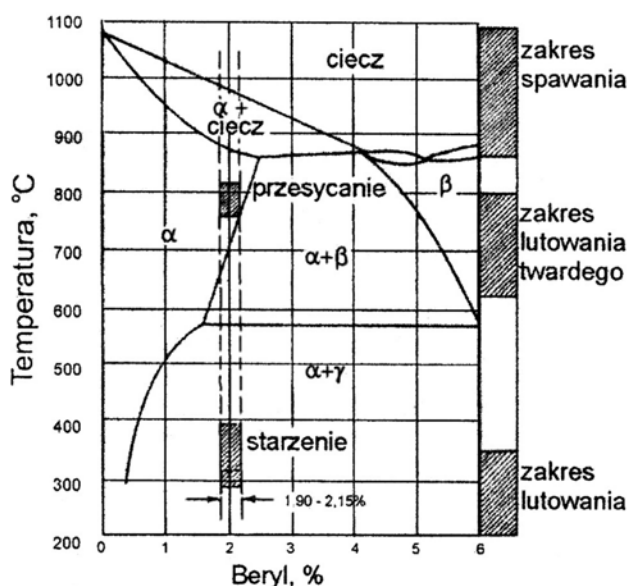
$R_m = 410\div 1450$ MPa, moduł Younga $E = 115\div 135$ GPa, wydłużenie $A = 1\div 40\%$, dobre właściwości wytrzymałościowe po utwardzeniu wydzieleniowym, gęstość $\rho = 8\div 9$ g/cm³, wysoka odporność na korozję. Właściwości mechaniczne brązów berylowych utwardzonych zgniotem, a szczególnie utwardzanych dyspersyjnie, są porównywalne z właściwościami stali.

Ze względu na ograniczoną rozpuszczalność berylu w miedzi, stopy Cu-Be można obrabiać cieplnie metodą przesycań i starzenia (rys. 1). Jak wynika z wykresu układu równowagi faz Cu-Be, rozpuszczalność berylu w miedzi maleje z 2,1% w temperaturze perytektycznej 864°C do ok. 0,2% w temperaturze otoczenia. Faza β jest trwała jedynie w zakresie wysokiej temperatury, a w temperaturze 575°C podlega eutektoidalnemu rozpadowi na mieszaninę $\alpha + \gamma$. Zastosowanie techniczne mają stopy zawierające poniżej 2,5% berylu.

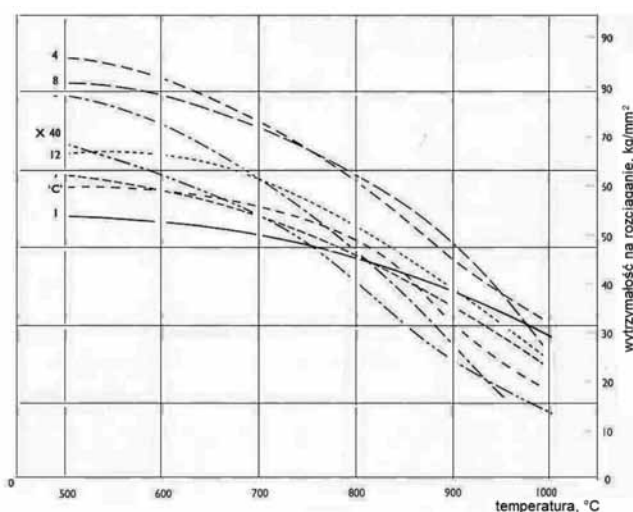
Charakterystyka Stellitu 1

Nazwa Stellite pochodzi od jaskrawego błysku jak nazwa gwiazdy – Stella. Stellite są stopami na osnowie kobaltu, zawierającymi do 10% Fe, 35÷55% Co, 25÷33% Cr, 10÷25% W, 2÷3% C. Struktura tych stopów składa się z węglików rozlokowanych w osnowie kobaltowej. Temperatura topnienia stellite wynosi ok. 1270°C, dzięki czemu mogą być one napawane na ostrza narzędzi i nie wymagają obróbki cieplnej. Ich twardość dochodzi do 62 HRC, a w temperaturze 600°C do ok. 50 HRC. Do badań przyjęto stop Stellite 1 o składzie: 50% Co, 33% Cr, 13% W oraz 2,5% C.

Struktura stellite wpływa na wysoką twardość oraz wysoką doraźną wytrzymałość na rozciąganie nawet w temperaturze powyżej 800°C, niezwykle dla innych stopów odporność na korozję i ścieranie.



Rys. 1. Układ równowagi fazowej Cu – Be [2]
Fig. 1. Cu – Be phase diagram [2]



Rys. 2. Wykres zależności wytrzymałości na rozciąganie od temperatury dla stellite 1 (linia ciągła) na tle innych stellite [4]

Fig. 2. The tensile strength change with temperature for stellite 1 (continuous line) in relation to other stellites [4]

Twardość stellitu jest uzależniona od zawartości oraz morfologii węglików. Najwyższą twardością oraz wytrzymałością R_m w wysokiej temperaturze charakteryzuje się Stellite 1 – na rysunku 2 linią ciągłą zaznaczono zmianę jego wytrzymałości R_m w funkcji temperatury na tle innych stopów.

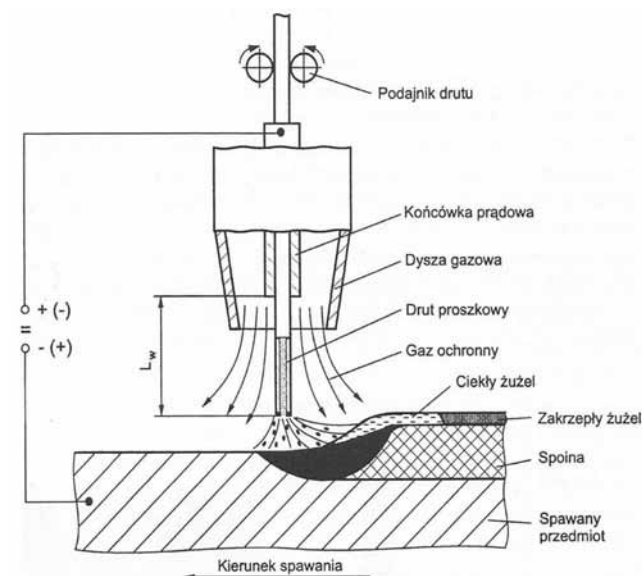
Stellity w związku z niskimi właściwościami plastycznymi są trudno odkształcalne oraz mają zdolność do kumulowania naprężeń powstających podczas napawania i wskutek wstrząsów termicznych.

Stopy na osnowie kobaltu stosowane są zwłaszcza do wytwarzania powłok metodami spawalniczymi i pokrewnymi na tulejach pomp, czopach, wałach, wirnikach, osłonach przeciwoerozyjnych, śrubach wyłaczarek tworzyw sztucznych, stemplach do pracy na zimno i na gorąco, zaworów oraz gniazd zaworowych silników spalinowych, matrycach i innych.

Uzasadnieniem zastosowania stellitu na materiał powłokowy, oprócz jego właściwości mechanicznych, jest fakt tworzenia roztworu stałego pomiędzy kobaltem i miedzią, co umożliwi uzyskanie złącza metalurgicznego o dobrych właściwościach mechanicznych.

Napawanie powłok modyfikacyjnych

Proces napawania realizowano metodą MCAW (139) w gazie osłonowym obojętnym wg PN-EN ISO 4063. Materiał napoiny stanowił Stellite 1 w formie drutu rdzeniowego proszkowego oznaczony jako EI-CO1 Elkrem. Zastosowano następujące parametry napawania: natężenie prądu – 120 A, napięcie łuku – 22 V, średnica drutu elektrodowego – 2,8 mm, posuw drutu elektrodowego 2,9 m/min, wydatek gazu osłonowego (I1 wg PN-EN ISO 14175) 14 l/min.



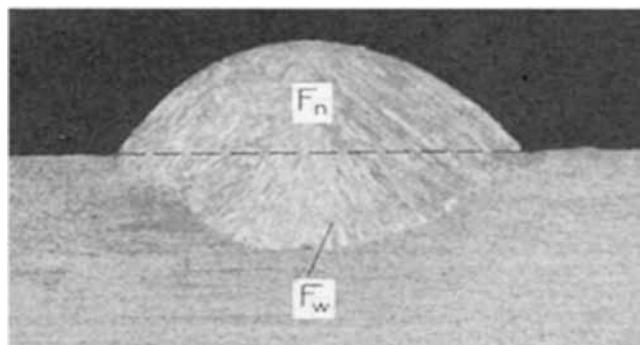
Rys. 3. Schemat spawania łukowego drutem proszkowym w osłonie gazowej; L_w – długość wolnego wylotu elektrody [3]

Fig. 3. The scheme of gas shielded metal cored arc welding process; L_w – electrode extension [3]

Zastosowana metoda MCAW polega na podtopianiu powierzchni podłoża oraz topieniu drutu elektrodowego rdzeniowego proszkowego ciepłem łuku spawalniczego, który jarzy się w osłonie gazowej między metalową osłoną rurkową ciągłego drutu elektrodowego, mieszczącą rdzeń proszkowy, a przedmiotem napawanym. Schemat metody MCAW przedstawiono na rysunku 3.

W przypadku drutów proszkowych krople metalu odrywają się od koszulki rurkowej, dlatego mają zauważalnie szerszy obszar padania powodujący, że energia cieplna łuku jest wprowadzona do jeziorka na większej powierzchni niż podczas napawania drutem litym. Przetopienie spawanego materiału jest płytsze i szersze o regularnym kołowym kształcie, co zaleca tę metodę do napawania.

Stopień wymieszania wykonanych napoin został określony za pomocą współczynnika udziału metalu podłoża w napoinie i mieścił się w zakresie od 7 do 10%. Udział metalu podłoża w napoinie U_p zdefiniowano jako stosunek powierzchni przekroju nadtopionego



Rys. 4. Podział napoiny na pole przekroju: nadlewu napoiny (F_n), nadtopionego metalu podłoża (F_w)

Fig. 4. The hardface build-up cross section area: topweld (F_n), melted substrate material (F_w)



Rys. 5. Przykład formy do zgrzewania elementów pojemników spożywczych z tworzyw sztucznych

Fig. 5. The picture of a stamp used for welding of plastic food containers



Rys. 6. Wkładka z brązu berylowego napawana Stellitem 1 stosowana do aluminiowych form do rozdmuchiwania opakowań polimerowych

Fig. 6. The picture of beryllium insert hardfaced with Stellite 1 used in aluminum stamps for enlarging of polymer packages

metalu podłoża F_w do sumy powierzchni przekroju nadlewu napoiny F_n i metalu podłoża F_w (rys. 4):

$$U_p = \frac{F_w}{F_n + F_w} \cdot 100\%$$

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono przykłady napoin ze Stellitem 1 wykonano na rzeczywistych narzędziach przemysłowych. Pierwsze zdjęcie przedstawia formę do zgrzewania elementów pojemników spożywczych z tworzyw sztucznych. Na kolejnym zdjęciu pokazano wkładkę z brązu berylowego napawaną Stellitem 1, stosowaną do aluminiowych form do rozdmuchiwania opakowań polimerowych.

Po procesie napawania zastosowano obróbkę cieplną polegającą na przesycaaniu i starzeniu stopu Cu-Be. Przesycaanie (790°C, 2 h, chłodzenie w wodzie) miało na celu ujednorodnienie budowy mikrostrukturalnej stopu Cu-Be, ponieważ na skutek działania cyklu cieplnego napawania nastąpiło częściowe przesycaenie w obszarze SWC powodujące lokalne zmiany właściwości mechanicznych. Następnie przeprowadzono proces starzenia (320°C, 3 h, stygnięcie w powietrzu) w celu przywrócenia wysokich właściwości mechanicznych stopu Cu-Be do wartości zbliżonych do stanu sprzed procesu napawania.

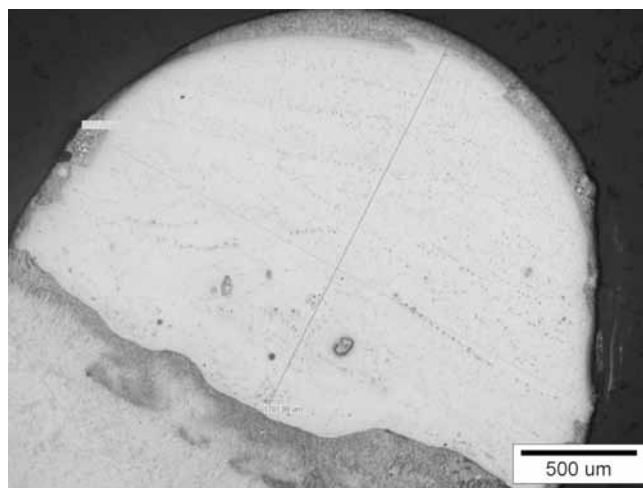
Badania metalograficzne napoin

Na odpowiednio przygotowanych próbkach przeprowadzono badania budowy strukturalnej napoin, wykonywanych w różnych etapach. Pierwszy etap – bezpośrednio po wykonaniu napoiny, miał na celu określenie właściwości SWC powstałej na skutek lokalnego przesycaenia wywołanego cyklem cieplnym napawania (rys. 7). Następne badania wykonano po przesycaaniu objętościowym, tj. obróbce cieplnej w piecu oporowym (rys. 8) oraz po starzeniu (rys. 9). Mikrostruktura SWC była zróżnicowana zgodnie z gradientem temperatury w jej szerokości. W paśmie ok. 3,5 mm od linii wtopienia

zobserwowano bliźniaki wyżarzania, których średnia cięciwa zmieniała się i w obszarze linii wtopienia wynosiła ok. 120 μm, natomiast blisko granicy SWC z materiałem rodzimym ok. 67 μm. Mikrostruktura stopu CuBe₂ w SWC po przesycaaniu objętościowym (rys. 8) charakteryzowała się w całej objętości podłoża dużą i regularną wielkością ziaren (średnia cięciwa 115 μm) i występowaniem granic bliźniaczych.

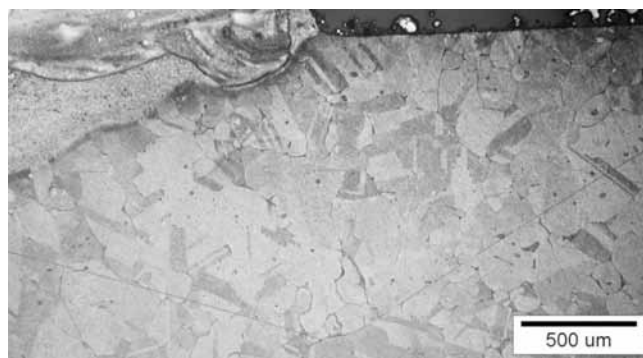
Mikrostrukturę podłoża zbadano również po trzecim etapie procesu, tj. po starzeniu w temperaturze 320°C, gdzie zauważono początki przemiany nieciągłej w okolicach granicy ziarna. Obszar wydzielenia nieciągłego przy granicy ziaren był niewielki, wyłącznie kilkuprocentowy w odniesieniu do obserwowanej powierzchni.

Badania metalograficzne uzupełniono badaniem rozkładu twardości w przekroju poprzecznym napoina-podłoża i wykonano je po napawaniu oraz po przesycaaniu i starzeniu. Pomiary twardości przeprowadzono za pomocą mikroskopu z twardościomierzem Leitz Wetzlar. Otrzymane wyniki posłużyły do wykonania



Rys. 7. Mikrostruktura napoiny Stellite 1 na podłożu Cu-Be bezpośrednio po napawaniu, 50x

Fig. 7. Microstructure of Stellite 1 hardface deposited onto Cu-Be substrate (after hardfacing directly), 50x

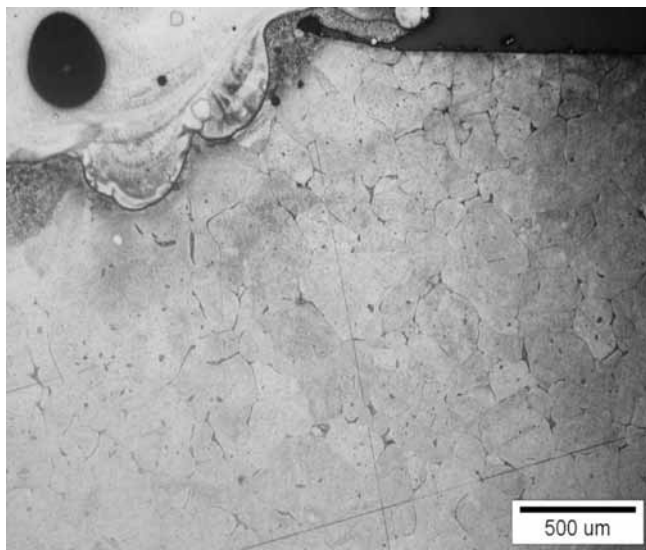


Rys. 8. Mikrostruktura SWC w podłożu Cu-Be po lokalnym przesycaeniu na skutek cyklu napawania cieplnego, 100x

Fig. 8. Microstructure of HAZ in Cu-Be substrate (after local solutioning resulting from hardfacing thermal cycle), 100x

wykresów rozkładu twardości. Zastosowano ocenę niepewności pomiarowej standardowej typu A, a obliczone odchylenie standardowe średniej arytmetycznej przedstawiono bezpośrednio na wykresie.

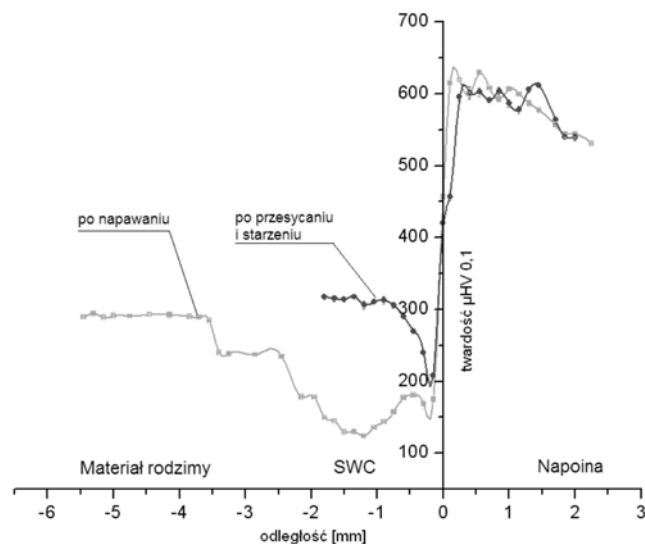
Na rysunku 10 przedstawiono wykresy twardości wykonane w przekroju poprzecznym podłoże-napoina. Twardość materiału rodzimego po napawaniu poza SWC wynosi ok. 300 $\mu\text{HV}_{0,1}$. SWC charakteryzuje się szerokością ok. 3,5 mm oraz zróżnicowaną twardością (znaczny spadek w stosunku do materiału rodzimego) o najniższej



Rys. 9. Mikrostruktura SWC w podłożu Cu-Be po przesyceniu i starzeniu, 100x

Fig. 9. Microstructure of HAZ in Cu-Be substrate after solutioning and aging), 100x

wartości ok. 110 $\mu\text{HV}_{0,1}$. W napoinie stellitewej zarejestrowano twardość na poziomie ok. 600 $\mu\text{HV}_{0,1}$. Drugi wykres przedstawia rozkład twardości w przekroju poprzecznym podłoże-napoina próbki po połączonej obróbce cieplnej przesycania i starzenia. Nie odnotowano zmian twardości w napoinie stellitewej. Zarejestrowano wzrost twardości w znacznej części SWC do poziomu materiału rodzimego oraz znaczące zawężenia pasma o niskiej twardości, którego szerokość ogranicza się po obróbce cieplnej do ok. 0,5 mm.



Rys. 10. Rozkład twardości w przekroju poprzecznym podłoże (Cu-Be)-napoina (Stellite 1)

Fig. 10. Microhardness distribution in the cross section of substrate (Cu-Be)-hardface (Stellite 1)

Podsumowanie

Omówiona technologia napawania może znaleźć zastosowanie zarówno na etapie regenerowania części maszyn, jak również może być stosowana do modyfikacji powierzchni w procesie wytwarzania nowych części. Badania wykazały, że możliwe jest napawanie łukowe MCAW (139) brązów berylowych stellite, a otrzymane napoiny charakteryzują się wysoką twardością (znacznie wyższą niż stopy na bazie Ni stosowane również do napawania stopów miedzi). Degradacja materiału podłoża po napawaniu (SWC) wynika z częściowej rekrytalizacji ziarna oraz lokalnego przesycenia, wywołanych cyklem cieplnym napawania. Zastosowanie odpowiedniej obróbki cieplnej po napawaniu pozwala w znacznym stopniu odtworzyć właściwości materiału w obszarze SWC do po-

równywalnych do stanu sprzed napawania. Wydzielenie fazy równowagowej (po obróbce cieplnej) zaczyna się na granicach ziaren.

Literatura

- [1] Chmielewski T. Golański D.: Znaczenie spawalnictwa w procesie remanufacturingu. Przegląd Spawalnictwa Nr 6/2011, s. 29-32.
- [2] Rdzawski Z., Głuchowski W.: Rudy i metale nieżelazne. Czasopismo naukowo-techniczne stowarzyszenia inżynierów i techników metali nieżelaznych, Nr 3/2009.
- [3] Klimpel A.: Napawanie i natryskiwanie cieplne. Technologie. WNT, Warszawa 2000.
- [4] Properties of Deloro Stellite Alloys, Anglia, 1970.