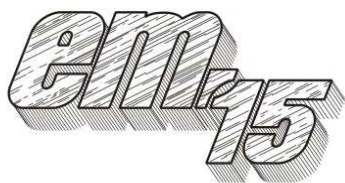


XII Międzynarodowa Konferencja - Electromachining 2015



UNIwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Zakład Inżynierii Produkcji
STOWARZYSZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW
MECHANIKÓW POLSKICH – Koło Uczelniane UTP

85-789 Bydgoszcz, ul. Kaliskiego 7
tel. (0 52) 340-87-47, fax. (0 52) 340-82-45,
e-mail: tomasz.paczkowski@utp.edu.pl

Powierzchniowe umocnienie brązu aluminiowego poprzez obróbkę cieplną

Aluminum bronze strengthening by heat treatment

TOMASZ LIPIŃSKI

Badania przeprowadzono na brązie aluminiowym stosowanym na silnie obciążone części maszyn i aparatury narażone na korozję i ścieranie oraz porównawczo na miedzi. Obróbkę powierzchniową prowadzono wykorzystując skupione źródło ciepła. Zastosowano hel, jako gaz osłonowy. Analizowano mikrostrukturę, parametry geometryczne ściegu, rozkład mikrotwardości. Stosowano parametry pozwalające na uzyskanie przetopu lub przetopu z nadmiarem energii pozwalającej na odparowanie metalu.

SŁOWA KLUCZOWE: brąz aluminiowy, umocnienie, właściwości mechaniczne, modyfikacja, obróbka powierzchniowa.

The study was conducted on aluminum bronze used for highly stressed parts of machinery and equipment subject to corrosion and abrasion wear and cooper for comparison. The surface treatment is carried out using a concentrated heat source. Helium was used as the shielding gas. The microstructure, the parameters geometric stitching, the distribution of microhardness were analyzed. The parameters for penetration or penetration with an excess of energy allowing for evaporation of the metal were used.

KEYWORDS: aluminum bronze, strengthening, mechanical properties, modification, surface treatment.

Wprowadzenie

Brązy aluminiowe charakteryzują się dużą odpornością na działanie szeregu czynników korozyjnych, głównie w środowiskach kwaśnych (kwasów nieorganicznych i organicznych, wody, w tym morskiej, itp.) [2, 10], posiadają dobre: przewodność elektryczną, cieplną. Posiadają dobre właściwości zarówno, jako stopy odlewnicze jak i przerobio-

ne plastycznie. Typowym przedstawicielem tej grupy jest brąz B1032 (CuAl10Fe3Mn2), zawierający 9÷11% Al, 1÷2% Mn oraz 2÷4% Fe. W stanie litym stosowany jest na części maszyn pracujące w środowisku korozyjnym przy znacznych obciążeniach, np. w przemyśle chemicznym, okrętowym, lotniczym [1÷4,7,10]. Po przeróbce plastycznej stosowany jest on na części aparatury chemicznej oraz kontrolno-pomiarowej, elementy narażone na przyspieszone zużycie ścierne, np. wały, śruby. Zaletą tego stopu jest zdolność do zajścia przemiany martenzytycznej. Stwarza to możliwość do ulepszenia cieplnego stopu, w wyniku którego można poprawić właściwości mechaniczne o ok. 25%. Podczas oziębiania brązu aluminiowego BA1032 powstaje metastabilna twarda iglasta faza martenzytyczna β' . Po dostarczeniu energii aktywacji poprzez podgrzanie do temperatury 565°C faza ta ulega przemianom w fazę α i drobno-dyspersyjną fazę γ_2 . Ze względu na dobre właściwości użytkowe stop ten znalazł szerokie zastosowanie na elementach konstrukcyjnych, np. wkłady wahliwych łączników przegubowych walcarki duo. Stosowane są również powierzchnie robocze z tego brązu, np. we wkładach wahliwych łączników przegubowych walcarek. Brąz ten zachowuje swoje właściwości również w temperaturach podwyższonych. Prowadzone są próby zastępowania elementów roboczych wykonanych w całości z brązu aluminiowego BA1032, poprzez nakładanie na powierzchnię stali warstwy brązu. W zależności od charakteru pracy i rodzaju obciążenia powierzchnią roboczą może być cała powierzchnia elementu lub jej część. W celu zwiększenia trwałości powierzchni roboczych wykonanych z brązu wskazane jest poprawienie ich właściwości mechanicznych. Przydatna może być metoda pozwalająca na obróbkę objętościową lub powierzchniową. Jedną z powszechnie dostępnych metod jest obróbka powierzchniowa skupionym źródłem ciepła. Realizowana ona może być za pomocą energii lasera, plazmy, ale również metod spawalniczych, np. TIG lub inaczej GTA. Metoda ta umożliwiła zmianę właściwości powierzchniowych obrabianego materiału w obrębie oddziaływania ciepła. Zmiany te zależą od zastosowanej ekspozycji źródła ciepła, gazu ochronnego, technologii procesu obróbki, itp. [8]. Realizo-

wana może być w sposób zapewniający punktowe lub liniowe (ściegowe) zmiany na powierzchni obrabianego materiału.

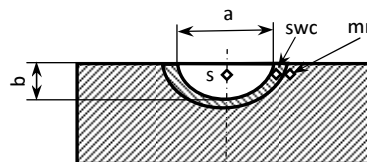
Powyższe ujęcie zagadnienia powoduje, że zaproponowaną obróbkę można przyjąć jako nietradycyjne zastosowanie obróbki konwencjonalnej [9].

Cel i metodyka badań

Celem badań było określenie wartości geometrycznych ściegu powstałego na skutek oddziaływania metody TIG na miedź techniczną M3G i brąz aluminiowy BA1032 oraz określenie twardości brązu w zależności od natężenia prądu.

Badania przeprowadzono na przemysłowo wytworzonym brązie aluminiowym BA1032 wytworzonym w postaci pręta płaskiego 10 x 40 mm. Z pręta wycięto mechanicznie odcinki o długości 100 mm. Powierzchnię przeznaczoną do obróbki szlifowano na papierze ściernym o ziarnistości 400, następnie przemywano alkoholem. Przygotowaną powierzchnię poddawano powierzchniowej obróbce stosując metodę TIG. Do osłony obrabianej powierzchni stosowano gaz obojętny hel He 4.5 (99.995%). Gaz ten jest zalecany przez producentów gazów, jako osłony do stopów metali nieżelaznych i zastosowanej metody TIG. Przy osłonie z tego gazu trudniejsze jest zajarzenie łuku, sprzyja on natomiast na wzrost energii łuku powodując zwiększenie szerokości i głębokości ściegu w odniesieniu do tradycyjnego argonu. Zastosowano hel, jako gaz osłonowy biorąc pod uwagę wysoką przewodność cieplną, wysoki potencjał jonizacyjny oraz dobrą jakość obrabianej powierzchni, stopień jej utlenienia, znaczne ograniczenie utleniania i wypalania pierwiastków stopowych. Ze względu na wrażliwość helu na długość łuku, każdorazowo dobierano go doświadczalnie dla każdego natężenia prądu. We wszystkich wariantach stosowano jednakową prędkość przesuwu eksperymentalnie ustaloną na 4.6 mm/s. Wymiary geometryczne ściegu przy tych samych parametrach określono dla miedzi technicznej M3G. Próbkę o wymiarach 8 x 50 x 100 mm z metalu M3G przygotowano i obrobiono analogicznie jak próbki z brązu. Badania przeprowadzone na miedzi miały na celu porównanie wymiarów geometrycznych ściegu wykonanego na miedzi i na brązie.

Próbki do badań pobierano dla wszystkich wariantów z 60 mm próbki. Miejsce wybrano na podstawie badań wizualnych, przyjmując za kryterium największą jednorodność ściegu (stabilność wymiaru ściegu i kształtu miejsca obrobionego). Obróbkę przeprowadzono przy następujących wartościach natężenia prądu: 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270 i 300 A. Pomiary wymiarów geometrycznych prowadzono za pomocą mikroskopu metalograficznego Olympus IX70 z programem DP-SOFT, zaś mikrotwardości na mikrotwardościomierzu Innovatest zgodnie normą z PN-EN ISO 6507-1:2007. Metale – Pomiar twardości sposobem Vickersa. Część 1: Metodyka badań. Stosowano obciążenie 0.991 N w czasie 11 sekund. Schemat rozmieszczenia wymiarów geometrycznych warstwy przetopionej oraz miejsc pomiarów mikrotwardości w ściegu (s), strefie wpływu ciepła (swc) oraz w materiale rodzimym (mr) przedstawiono na rys. 1.



Rys.1. Schemat rozmieszczenia wymiarów ściegu: a – szerokość, b – głębokość. Usytuowanie miejsc pomiarów mikrotwardości: s- ścieg, swc – strefa wpływu ciepła, mr – materiał rodzimy

Badania rozkładu mikrotwardości w próbce prowadzono wzdłuż trzech lub czterech linii usytuowanych prostopadle do osi ściegu. Pierwsza położona była na głębokości 1 mm od powierzchni, druga – na przejściu strefy przetopionej (ściegu) – strefy wpływu ciepła. Trzecia była położona na przejściu strefy wpływu ciepła i materiału rodzimego, a czwarta – w materiale rodzimym, 1 mm pod strefą wpływu ciepła.

Dla szerokości i głębokości ściegów wyprowadzono równania regresji. Istotność współczynników determinacji r^2 (będących miarą dopasowania równania) określano na podstawie wartości krytycznej rozkładu t-Studenta dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ i liczby stopni swobody $f = n-2$.

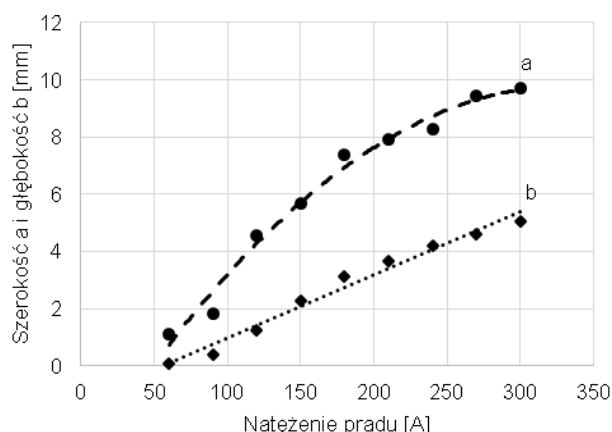
Wyniki badań i ich analiza

Szerokość a i głębokość b przetopionego ściegu miedzi M3G metodą TIG przy różnych natężeniach prądu przedstawiono na rys. 2, natomiast iloraz a i b na rys. 3. Krzywą szerokości w zależności od natężenia prądu można zapisać równaniem (1), dla którego współczynnik determinacji $r^2=0.9847$, zaś dla głębokości – równaniem (2), dla którego $r^2=0.9388$.

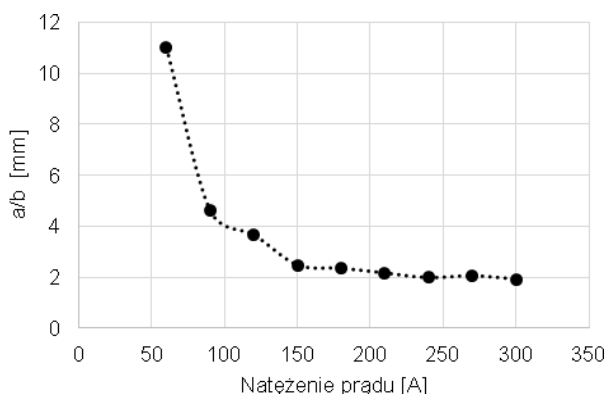
$$a = -0.0001 \cdot I^2 + 0.0807 \cdot I - 3.6638 \quad (1)$$

$$b = 0.0372 \cdot I - 0.4733 \quad (2)$$

w których: I – natężenie prądu [A].



Rys.2. Szerokość a i głębokość b przetopionego ściegu metodą TIG w osłonie helu na powierzchni miedzi M3G przy różnym natężeniu prądu



Rys.3. Iloraz szerokości a i głębokości b przetopionego ściegu metodą TIG w osłonie helu na powierzchni miedzi M3G przy różnym natężeniu prądu

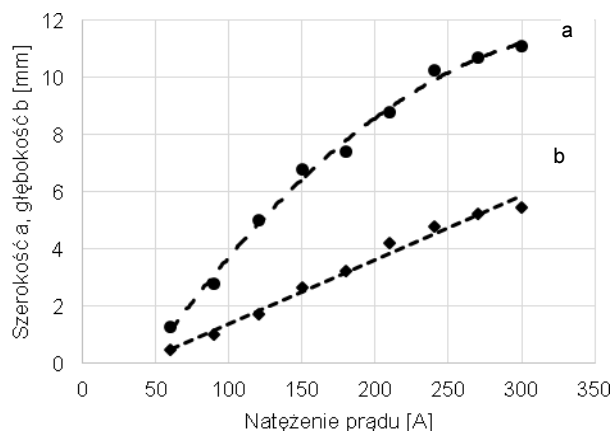
Szerokość przetopionego ściegu brązu aluminiowego BA1032 metodą TIG przy różnych natężeniach prądu przedstawiono na rys. 4, natomiast iloraz a i b na rys. 5.

Krzywą szerokości ściegu w zależności od natężenia prądu można zapisać równaniem (3), dla którego współczynnik determinacji $r^2=0.9941$, zaś dla głębokości – równaniem (4), dla którego $r^2=0.9621$.

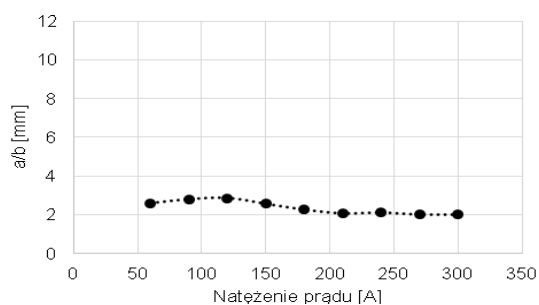
$$a = -0.0001 \cdot I^2 + 0.0824 \cdot I - 3.3805 \quad (3)$$

$$b = 0.0419 \cdot I - 0.4122 \quad (4)$$

w których: I – natężenie prądu [A].

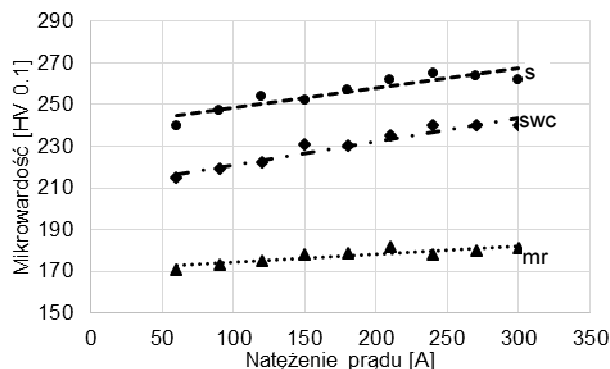


Rys.4. Szerokość a i głębokość b przetopionego ściegu metodą TIG w osłonie helu na powierzchni brązu BA1032 przy różnym natężeniu prądu



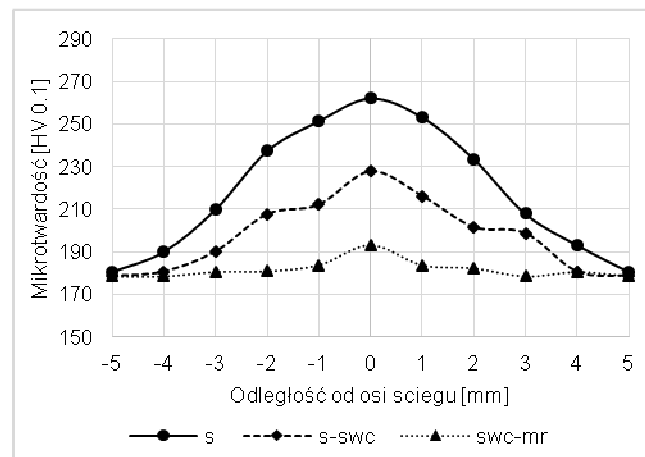
Rys.5. Iloraz szerokości a i głębokości b przetopionego ściegu metodą TIG w osłonie helu na powierzchni brązu BA1032 przy różnym natężeniu prądu

Mikrotwardości w strefach: przetopionej (ściegu) s , strefy wpływu ciepła swc , i materiału rodzimego mr (rys. 1) brązu aluminiowego BA1032 obrabowanego cieplnie metodą TIG w osłonie helu przy różnych natężeniach prądu przedstawiono na rys. 6.

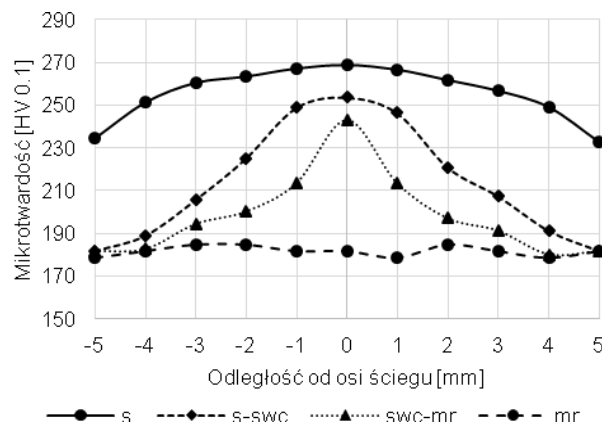


Rys.6. Mikrotwardości w strefach brązu aluminiowego BA1032 obrabowanego cieplnie metodą TIG w osłonie helu przy różnych natężeniach prądu (s - szerokość ściegu, swc - strefa wpływu ciepła, mr - materiał rodzimy – rys. 1)

Wyniki rozkładu mikrotwardości strefy obrabowanej cieplnie metodą TIG w osłonie helu dla natężenia prądu 90 A przedstawiono na rys. 6, zaś dla natężenia 210 A – na rys. 7.

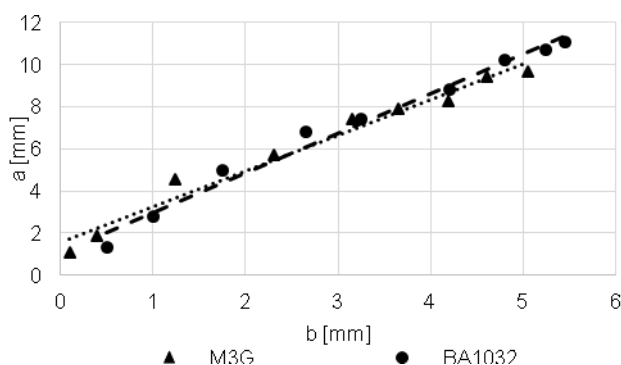


Rys.7. Rozkład mikrotwardości w strefie obrabowanej cieplnie brązu aluminiowego BA1032 metodą TIG przy natężeniu prądu 90 A



Rys.8. Rozkład mikrotwardości w strefie obrabowanej cieplnie brązu aluminiowego BA1032 metodą TIG przy natężeniu prądu 210 A

Szerokość warstwy przetopionej (ściegu) w zależności od głębokości wtopienia dla M3G i BA1032 przedstawiono na rys. 9. Równania opisujące te krzywe można zapisać zależnościami (5) dla miedzi M3G i (6) dla brązu BA1032, dla których współczynniki determinacji wynoszą odpowiednio: $r^2=0.9750$ oraz $r^2=0.9828$.

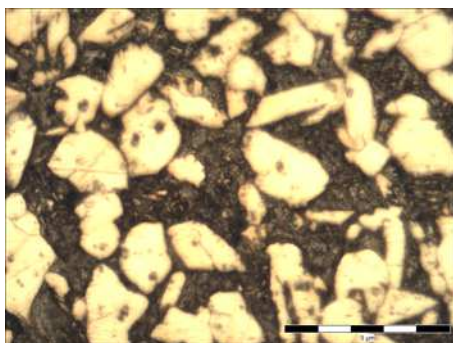


Rys. 9. Szerokość warstwy przetopionej a (ściegu) w zależności od głębokości wtopienia b dla M3G i BA1032

$$a_{M3G}=1.7008 \cdot b+1.5528 \quad (5)$$

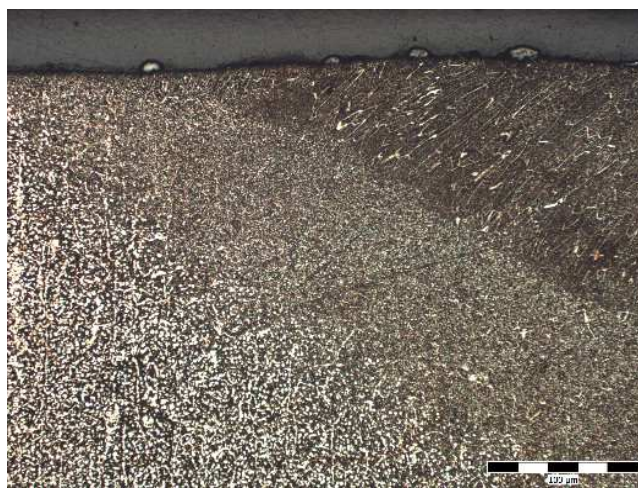
$$a_{BA1032}=1.8808 \cdot b+1.0987 \quad (6)$$

Mikrostrukturę brązu BA1032 w stanie wyjściowym przedstawiono na rys. 10.



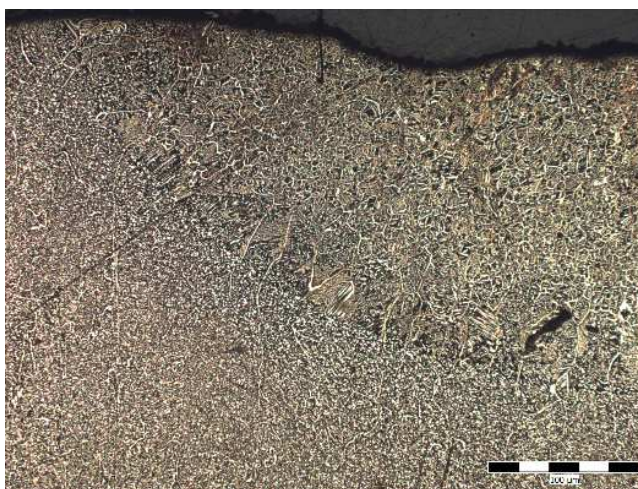
Rys. 10. Mikrostruktura brązu aluminiowego BA1032 w stanie dostawy. Jasne kryształy roztworu stałego α oraz eutektyka ($\alpha+\delta$)

Mikrostrukturę naroża ściegu brązu aluminiowego BA1032 obrabowanego metodą TIG przy natężeniu prądu 210 A w osłonie helu przedstawiono na rys. 11. W prawym górnym rogu widoczna jest ciemna strefa przetopiona. Dłuższa oś ziaren równoległa jest do kierunku odprowadzenia ciepła przez stop. Ziarna w strefie wpływu ciepła są równoosiowe (warstwa szara) analogicznie jak w stopie nieobrobionym źródłem ciepła (dolny lewy róg). Przejście strefy metalu przetopionego (ścieg) i strefy wpływu ciepła jest wyraźne. Świadczy to o wyraźnej granicy oddziaływania źródła ciepła. Natomiast przejście strefy wpływu ciepła i materiału rodzimego jest rozmyte. Potwierdza to łagodne przejście strefy obrabowanej cieplnie i zarazem utwardzonej do strefy, dla której dostarczona ilość energii była niewystarczająca do zmian mikrostruktury (przemian fazowych).



Rys.11. Mikrostruktura brązu aluminiowego BA1032 obrabowanego metodą TIG przy natężeniu prądu 210 A w osłonie helu. W prawym górnym rogu ciemna strefa przetopiona, w lewym dolnym rogu materiał rodzimy. Po środku strefa wpływu ciepła swc.

Mikrostrukturę naroża ściegu brązu aluminiowego BA1032 obrabowanego metodą TIG przy natężeniu prądu 270 A w osłonie helu przedstawiono na rys. 12. Przy tym natężeniu prądu energia dostarczona do stopu okazała się na tyle duża, że oprócz przetopu nastąpiło odparowanie metalu z obrabianej powierzchni, czego skutkiem jest jej nierówność. Porównując mikrostruktury stref obrabowanych cieplnie prądem o natężeniu 210 A (rys. 11) i 270 A (rys. 12) stwierdzono, że przy prądach dostarczających nadmierną ilość energii cieplnej oprócz pogorszenia jakości powierzchni (powstające nierówności na skutek odparowania metalu) otrzymano wzrost wielkości ziaren. Strefa przetopiona nadal wyraźnie oddziela się od strefy wpływu ciepła, następuje natomiast zanik wyraźnej granicy świadczącej o końcu oddziaływania ciepła powodującego przemiany fazowe. Wynikać to może z bardzo dużej przewodności cieplnej stopu. Na rys. 12 w prawym górnym rogu widoczna jest ciemna strefa przetopiona, natomiast w lewym dolnym rogu – strefa wpływu ciepła swc. Na powierzchni widoczne jest odparowanie metalu spowodowane zbyt dużą energią.



Rys.12. Mikrostruktura brązu aluminiowego BA1032 obrabowanego metodą TIG przy natężeniu prądu 270 A w osłonie helu

Porównując współczynniki równań (1) z (3) oraz (2) z (4), odpowiednio rysunki 2 i 4, stwierdzono, że obróbka miedzi M3G analogicznymi parametrami oraz brązu BA1032 powoduje podobne efekty geometryczne ściegów. Ścieg przetopiony miedzi jest nieco węższy, lecz głębszy niż przy

analogicznych parametrach ścieg brązu. Potwierdzają to ilorazy wymiarów a i b (rysunki 3 i 5). Przebieg tych zależności ma inny charakter dla każdego z metali. Efekt ten również należy tłumaczyć współczynnikami przewodności cieplnej miedzi i brązu oraz termodynamiką przemian fazowych w obydwóch metalach.

Zastosowanie obróbki prądem o natężeniu 90 A (rys. 7) zwiększyło trwałość w strefie przetopionej i strefie wpływu ciepła. Przy prądzie o natężeniu 210 A rozkład mikrotwardości jest podobny, lecz o większej szerokości ściegu i strefy wpływu ciepła. Różnice zmiany mikrotwardości mierzone w głąb przetopu szybko maleją, co koreluje z głębokością przetopu i oddziaływaniem ciepła. Porównując wyniki badań niniejszej pracy z wynikami badań przeprowadzonych z użyciem argonu [5, 6] stwierdzono otrzymanie korzystniejszej mikrostruktury i właściwości dla helu. Efekt ten powiązano z lepszymi właściwościami energetycznymi helu niż argonu.

Podsumowanie

Obróbka powierzchniowa brązu aluminiowego metodą spawalniczą spowodowała zmianę w mikrostrukturze strefy poddanej działaniu ciepła. Zaobserwowane zmiany polegają głównie na rozdrobnieniu mikrostruktury. Najprawdopodobniej w warstwie powierzchniowej uzyskano częściowo martenzyt, co wywołało zmianę mikrotwardości stopu. Zastosowanie parametrów prądowych, przy których uzyskano przetopienie z odparowaniem metalu nie zwiększa o wartość istotną twardości ściegu powyżej twardości uzyskanej dla obróbki bez odparowania. Pogarsza jednak jakość powierzchni – powstaje powierzchnia o nierównościach proporcjonalnych do ilości odparowanego metalu.

Do obróbki brązów aluminiowych metodą spawalniczą zaleca się dobór takich parametrów obróbki aby nie dopuścić do odparowania metalu. Dla brązu aluminiowego BA1032 optymalnym natężeniem prądu, w celu uzyskania możliwie największej twardości na powierzchni, przy zastosowaniu helu jako gazu osłonowego i prędkości posuwu palnika 4.6 mm/s jest natężenie 210 A. Na podstawie analizy wyników niniejszych badań i porównania ich z pracami [5,6] stwierdzono, że uzasadnione jest stosowanie droższego helu w miejsce powszechnie stosowanego argonu.

LITERATURA

1. Barabash V., Pokrovsky A., Fabritsiev S., The effect of low-dose neutron irradiation on mechanical properties, electrical resistivity and fracture of NiAl bronze for ITER. *Journal of Nuclear Materials* 367–370, 1305–1311, 2007.
2. Gronostajski Z., Hawryluk M., Kuziak R., Radwanski K., Skubiszewski T., Zwierzchowski M., The Equal Channel Angular Extrusion Process of Multiphase High Strength Aluminium Bronze. *Archives of Metallurgy and Materials* 57/4, 897-909, 2012.
3. Iqbal J., Ahmed F., Hasan F., Development of Microstructure in Silicon-Aluminum-Bronze, *Journal of Engineering & Applied Sciences* 3, 47-53 2008.
4. Koul M., Gaies J., An Environmentally Assisted Cracking Evaluation of UNS C64200 (Al-Si-Bronze) and UNS C63200 (Ni-Al-Bronze). *J. Fail. Anal. and Preven.* 13, 8–19, 2013.
5. Lipiński T., Wpływ natężenia prądu na parametry geometryczne ścieżki stopu BA1032 po obróbce powierzchniowej metodą TIG. *Przegląd Mechaniczny* 2, 34-36, 2001.
6. Lipiński T., Wach A., Mikołajczyk P., Cudakiewicz M., Evaluation of exploitive characteristics BA1032 alloy after TIG welding method treatment. *Diagnostyka* 4 (48), 119-122, 2008.
7. Mullick S, Madhukar Y.K., Roy S, Kumar S, Shukla D.K., Nath A.K., Development and parametric study of a water-jet assisted underwater laser cutting process. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 68, 48–55, 2013.

8. Rajahram S.S., Harvey T.J., Wood R.J.K., Erosion–corrosion resistance of engineering materials in various test conditions. *Wear* 267, 244–254, 2009.
9. Styp-Rekowski M., Techniki wytwarzania skoncentrowanymi nośnikami energii – hybrydowe i niekonwencjonalne metody obróbki. *Obróbka Metalu* nr 2, 10-14, 2014.
10. Wharton J.A., Barik R.C., Kear G., Wood R.J.K., Stokes K.R., Walsh F.C., The corrosion of nickel–aluminium bronze in seawater. *Corrosion Science* 47, 3336–3367, 2005.