

Tadeusz SZYKOWNY, Łukasz ROMANOWSKI

e-mail: tszyk@utp.edu.pl

Zakład Inżynierii Materiałowej, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Kształtowanie struktury i twardości brązu fosforowego UNS C51100 zgniotem i wyżarzaniem

Wstęp

Brąz fosforowy dzięki dobrym właściwościom mechanicznym, dużej odporności na destrukcyjne oddziaływanie czynników atmosferycznych, niektórych słabych kwasów i korozję znalazł zastosowanie w wielu dziedzinach techniki. Główne obszary zastosowania brązu to przemysł chemiczny, papierniczy i elektrotechniczny. Z brązu wytwarza się elementy sprężyste, membrany, siatki, mieszki sprężyste, sprężyny do przełączników, elementy aparatury kontrolno-pomiarowej (rurki Bourdona) a także armaturę parową i wodną [Celiński, 2005; Dobrzański, 2008]. Brąz fosforowy o zawartości 4% Sn i 0,1% P jest stopem jednofazowym o strukturze roztworu stałego. Brak przemian fazowych w stanie stałym powoduje, że jedynym sposobem umocnienia jest odkształcenie na zimno [Przybyłowicz, 2002].

Celem badań było określenie możliwego do uzyskania zakresu zmian właściwości mechanicznych (twardości) poprzez walcowanie na zimno i następne wyżarzanie. Dalszym celem jest wyznaczenie temperatury rekrytalizacji brązu.

Materiał, program i metodyka badań

Do badań przyjęto brąz fosforowy gatunku UNS C51100 (wg ASTM B 103) w postaci pasów o grubości 0,40 mm i szerokości 36 mm. Skład chemiczny brązu przedstawiono w tab. 1.

Tab. 1. Skład chemiczny brązu, % mas.

Sn	P	Fe	Pb	Zn	Cu+Sn+P
3,5÷4,5	0,10	≤0,10	≤0,05	≤0,30	≥99,50

Twardość brązu w stanie wejściowym jest 208,3±0,8 HV5 (średnia z 54 pomiarów). Otrzymana twardość, wg oznaczeń ASTM kwalifikuje brąz do stanu Ex Hard o znaku H06. Właściwości brązu o znaku H06 podano w tab. 2.

Tab. 2. Właściwości mechaniczne brązu (w kierunku walcowania)

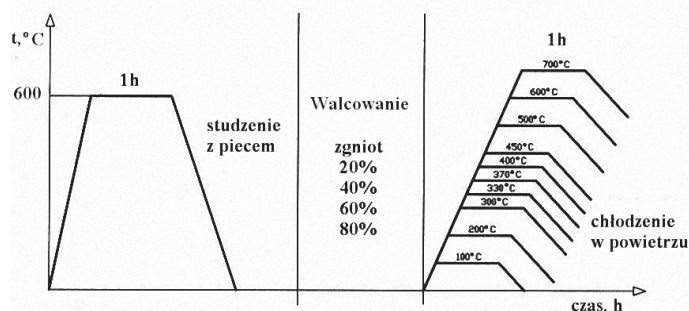
Znakowanie stopu wg normy		R_m MPa	A , % min.	$R_{p0.2}$ MPa	Twardość HV
ASTM	EN				
H06	R 605	605÷660	3	550	195÷215

Pasy brązu w stanie dostawy nie wykazują defektów makrostruktury typu zawalcowania, rozwarstwienia lub pęcherzy. Chropowatość powierzchni $Ra = 2 \mu m$.

Przyjęty do badań brąz był w stanie zgniecionym. Aby określić stopień zgniotu brązu w stanie dostawy oraz zakres możliwości kształtowania zgniotem twardości brązu, zdecydowano przeprowadzić wyżarzanie zupełne w temperaturze 600°C ze studzeniem z piecem. Wyżarzone zupełnie próbki brązu walcowano na zimno ze zgniotem 20, 40, 60 lub 80%. Odkształcony brąz wyżarzano przez jedną godzinę w temperaturze 100, 200, 300, 370, 400, 450, 500, 600 lub 700°C. Program obróbki brązu przedstawiono na rys. 1.

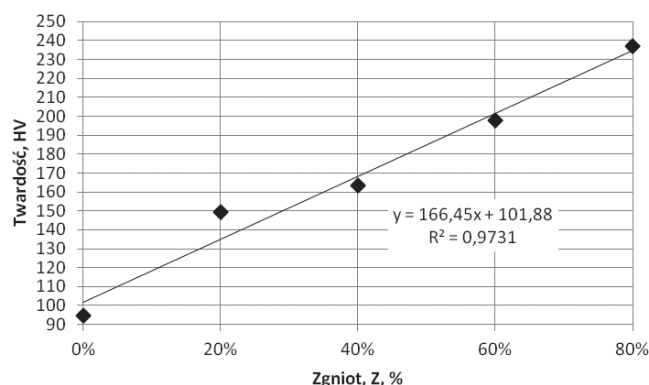
Twardość wszystkich próbek mierzono metodą Vickersa przy obciążeniu zgodnym z normą PN-EN ISO 6507-1:2007, stosownie do grubości blachy. Wykonano po 9 pomiarów twardości na każdej próbce. Z wybranych próbek wykonano inkludowane zglądy metalograficzne trawione odczynnikami o składzie: 2 g $K_2Cr_2O_7$, 8 ml H_2SO_4 , 4 ml NaCl (roztwór nasycony), 100 ml H_2O . Zglądy metalograficzne obserwowano i fotografowano na mikroskopie świetlnym Nikon MA100 przy powiększeniach 100, 200 lub 500 razy.

Wyniki badań i ich analiza



Rys. 1. Program obróbki cieplnej i plastycznej brązu

Twardość brązu w funkcji stopnia zgniotu przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Zależność twardości brązu od stopnia zgniotu Z

Zależność twardości brązu od stopnia zgniotu (Rys. 2) aproksymowano funkcją liniową uzyskując współczynnik determinacji $R^2 = 0,9731$. Twardość brązu w stanie dostawy odpowiada twardości otrzymanej dla brązu wyżarzonego zupełnie i zgniecionego w stopniu 60%. Należy przyjąć, że brąz o znaku H06 (stan Ex Hard) odpowiada stanowi z około 60% zgniotem na zimno. Otrzymana twardość wynosząca 200 HV (Rys. 2) mieści się w przedziale twardości dla stanu Ex Hard (od 195 do 215 HV, tab. 2).

W procesach obróbki plastycznej niejednokrotnie nie można uzyskać w jednej operacji odkształcenia potrzebnego do ostatecznego ukształtowania wytworu. Potrzebne jest zatem międzyoperacyjne wyżarzanie rekrytalizujące. Dla ustalenia właściwej temperatury wyżarzania międzyoperacyjnego, niezbędna jest znajomość temperatury rekrytalizacji.

W pracy wyznaczono temperaturę rekrytalizacji brązu zgniecionego w stopniu 60%. Zależność twardości brązu od temperatury wyżarzania po 60% zgnieciu (Rys. 3) jest podstawą do wyznaczenia temperatury rekrytalizacji.

Temperatura rekrytalizacji definiowana jest jako temperatura najszybszej zmiany właściwości pod wpływem wyżarzania po zgnieciu [Przybyłowicz, 2002]. Do wyznaczenia temperatury rekrytalizacji posłużono się równaniem Avrami'ego [Kędziński, 1988] w postaci

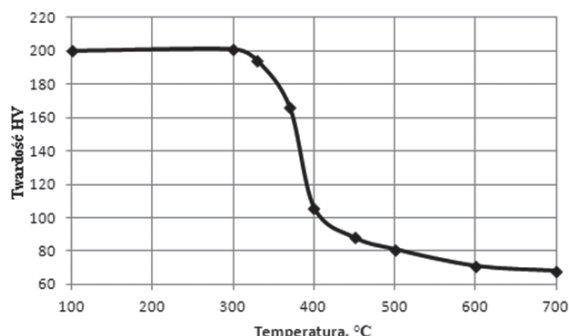
$$y = 1 - \exp(-kt^n) \quad (1)$$

gdzie:

y – stopień przemiany

t – temperatura [°C]

k, n – współczynniki równania

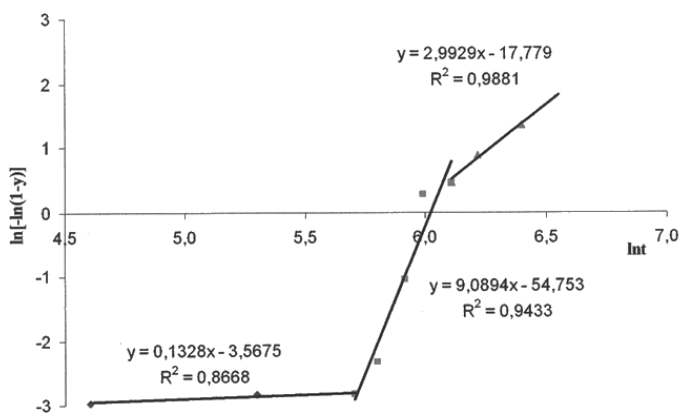


Rys. 3. Twardość brązu po 60% zgnioście w zależności do temperatury wyżarzania

Jako stopień przemiany y , przyjęto stosunek spadku twardości po wyżarzaniu w danej temperaturze względem twardości maksymalnej, do różnicy pomiędzy twardością maksymalną i minimalną. Przekształcenie równania (1) do postaci:

$$\ln[-\ln(1 - y)] = \ln k + n \ln t \quad (2)$$

pozwała wyznaczyć wartości współczynników k i n . Wykres zależności (2) przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Zależność $\ln[-\ln(1 - y)]$ od $\ln t$

Na podstawie rys. 4 stwierdzono, że proces wyżarzania brązu w zależności od temperatury przebiega w trzech etapach: zdrowienia, rekrytalizacji pierwotnej, rekrytalizacji równomiernej [Prowans, 2000]. Temperaturę rekrytalizacji pierwotnej obliczono na podstawie znajomości współczynników n oraz k dla pośredniego etapu wyżarzania, jako odciętą punktu przegięcia na krzywej twardości we funkcji temperatury wyżarzania wg wzoru:

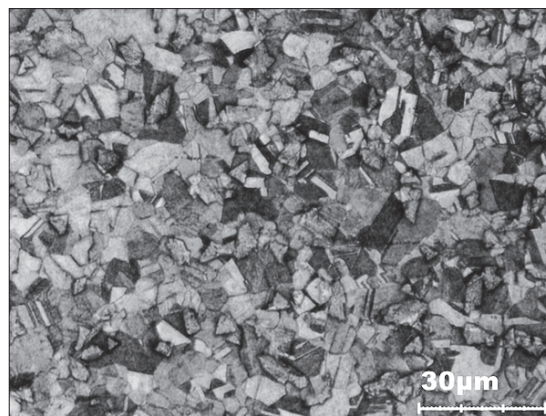
$$t_r = \sqrt[n]{\frac{n-1}{kn}} \quad (3)$$

gdzie

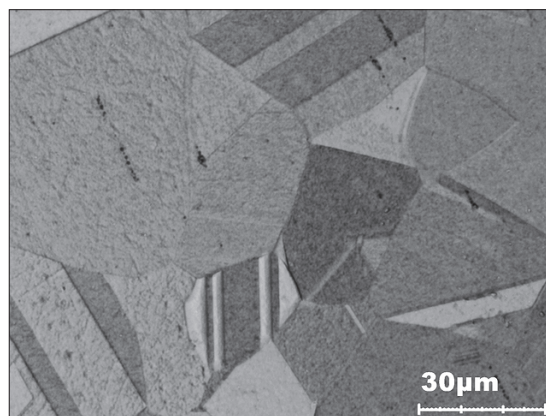
t_r – temperatura rekrytalizacji [°C].

Obliczona temperatura rekrytalizacji wynosi 408°C. W praktyce temperaturę wyżarzania rekrytalizującego przyjmuje się od ok. 100 do 200°C większą od temperatury rekrytalizacji. Górną wartość temperatury wyżarzania ogranicza rozrost ziaren [Prowans, 2000].

Mikrostrukturę brązu wyżarzonego w temperaturze 450°C przedstawiono na rys. 5, a brązu wyżarzonego w temperaturze 600°C – na rys. 6. Badania mikroskopowe brązu wyżarzonego w temperaturze 450°C wykazały strukturę zrekrytalizowanych równoosiowych, ziaren roztworu stałego z bliźniakami. Struktura jest jednorodna, pozbawiona wtrąceń niemetalicznych i wydzieleń wtórnych. Wielkość ziarna po rekrytalizacji w temperaturze 450°C nie przekracza wartości 25 μm, co jest zgodne z wymaganiami normy ASTM B 103. Wyżarzanie w tempera-



Rys. 5. Mikrostruktura brązu wyżarzonego w temperaturze 450°C



Rys. 6. Mikrostruktura brązu wyżarzonego w temperaturze: 600°C

turze 600°C prowadzi do znaczącego wzrostu wielkości ziarna, które osiąga średni rozmiar około 50 μm. Dla przyjętego gatunku brązu jest to około dwukrotnie większa wartość od dopuszczalnej w wymienionej normie. Można również zauważyć zróżnicowanie wielkości poszczególnych ziaren (Rys. 6).

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- Stosując zgniot wyżarzonego zupełnie brązu fosforowego można zwiększyć ponad dwukrotnie twardość i jak należy przypuszczać, w podobnym stopniu właściwości wytrzymałościowe.
- Temperatura rekrytalizacji brązu zgnieczonego na zimno walcowaniem w stopniu 60% wynosi 408°C.
- W praktyce wyżarzanie rekrytalizujące należy przeprowadzać w zakresie temperatury od 450 do 500°C. Godzinne wyżarzanie w tym zakresie temperatury zapewnia pełną rekrytalizację brązu nie powodując rozrostu ziarna.
- Wyżarzanie w temperaturze powyżej zakresu od 450 do 500°C grozi rozrostem ziaren.
- Twardość brązu po rekrytalizacji pierwotnej jest w zakresie od 80 do 90 HV, co umożliwia dalsze odkształcanie plastyczne na zimno.

LITERATURA

- Celiński Z., 2005. *Materialoznawstwo elektrotechniczne*. Wyd. Pol. Warsz., Warszawa
- Dobrzański L.A., 2008. *Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe*. WNT, Warszawa
- Kędziński Z., 1988. *Przemiany fazowe w metalach i stopach*. Wyd. AGH, Kraków
- Prowans S., 2000. *Struktura stopów*. PWN, Warszawa.
- Przybyłowicz K., 2002. *Strukturalne aspekty odkształcania metali*. WNT, Warszawa