

Krzysztof RUTKOWSKI, Maria KAROLINI

Instytut Odlewnictwa
MPMCI R - Kraków

TECHNOLOGIA OBRÓBKI CIEPLNEJ ODLEWÓW Z BRĄZU CYNOWEGO I CYNOWO-FOSFOROWEGO PRZEZNACZONYCH DO PRODUKCJI ŁOŻYSK ŚLIZGOWYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono ocenę wpływu obróbki cieplnej brązów cynowych i cynowo-fosforowych na stopień stabilizacji wymiarowej struktury odlewu. Zapewnienie stabilizacji struktury na drodze obróbki cieplnej powoduje wyraźny wzrost odporności na ścieranie w warunkach tarcia ślizgowego.

1. Wstęp

Odlewy z brązów cynowych i cynowo-fosforowych znajdują szerokie zastosowanie w budowie maszyn i urządzeń jako części łożysk, napędów, armatury, osprzętu itp. Stopy te charakteryzują się głównie dużą odpornością na ścieranie, z tego też względu są one niezastąpionymi do tej pory tworzywami do produkcji elementów łożyskowych [1,2,3,4,5,6]. Poważną ich wadą jest skłonność do deformacji wymiarowej w czasie eksploatacji w podwyższonej temperaturze, co w niektórych przypadkach, np. w przypadku tulejek łożyskowych w silnikach spalinowych, powoduje zanik luzów konstrukcyjnych, wzrost tarcia i temperatury, co prowadzi do zatarcia łożyska i awarii całego silnika [7,8,9,10].

W licznych publikacjach na temat odlewniczych brązów cynowych i cynowo-fosforowych [2,3,4,5,6,11,12,13,14,15] oraz ich obróbki cieplnej problem możliwości zapobiegania występowaniu zmian objętościowych struktury odlewów z tych stopów w podwyższonej temperaturze nie był podejmowany. Zachęciło to autorów niniejszego referatu do podjęcia badań mających na celu wypełnienia tej luki.

Ideą przeprowadzonych przez autorów badań było określenie wpływu obróbki cieplnej o różnych parametrach na stabilizację wymiarową struktury odlewów z tych stopów i wytypowanie na tej podstawie optymalnych parametrów tej obróbki.

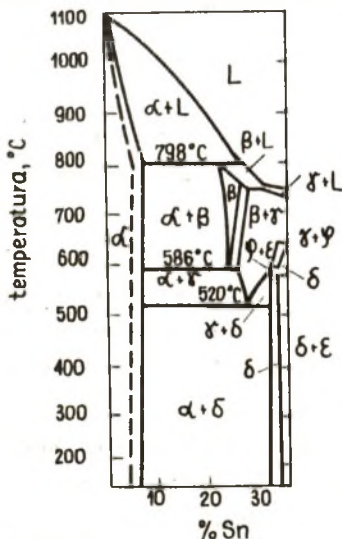
Zgodnie z układem równowagi fazowej Cu-Sn i Cu-Sn-P /rys.1 i 2/ struktura odlewów z tych stopów jest konglomeratem złożonym z osnowy roztworu stałego α , krystalizującego w szerokim zakresie temperatury w postaci dendrytów oraz wydzieleni mię-

dzydendrytycznych. Skład tych ostatnich zależy od składu chemicznego stopu oraz szybkości chłodzenia. Tak więc, w skład wydzieleni międzydendrytycznych struktury odlewów z brązu CuSn10 wchodzić mogą, w zależności od szybkości chłodzenia, fazy δ , γ i β w postaci eutektoidów podwójnych z fazą α , a w strukturze odlewów z brązu CuSn10P1 - w postaci eutektoidów potrójnych z fazami α i Cu_3P . Faza Cu_3P występuje w postaci eutektyki podwójnej z fazą α lub potrójnej z fazami α i δ . Dla własności użytkowych i możliwości zastosowania odlewów z tych stopów zasadnicze znaczenie posiada postać występowania oraz proporcje ilościowe zachodzące pomiędzy poszczególnymi fazami. Obróbka cieplna polegająca na wyżarzaniu w odpowiedniej temperaturze przez określony czas może w znacznym stopniu zmienić w strukturze odlewów ilość, rozkład oraz morfologię faz. Zachodzące w tych stopach przemiany strukturalne mają charakter dyfuzyjny, zatem ustalenie się równowagi fazowej podczas wyżarzania zależy w decydujący sposób od czasu [3,8,9].

2. Badania

Badaniom poddano dwa najbardziej reprezentatywne stopy z grupy brązów cynowych i cynowo-fosforowych, mianowicie brązy CuSn10 i CuSn10P1. Skład chemiczny tych stopów wg PN-70/H-87026 podano w tabeli 1.

Próbki do badań przygotowano w sposób następujący:



Rys.1 Układ równowagi fazowej Cu-Sn odpowiadający szybkościom chłodzenia w formach piaskowych /linia ciągła/ i w kokolach /linia przerywana/

Gąski metalu topiono w piecu silitowym typu LEW, następnie metal rozlewano do kokil miedzianych i chłodzono z szybkościami odpowiednio: 0,08; 0,16; 0,64; 1,60 i 2,56 °C/s. Część odlanych wlewków przeznaczono do obróbki cieplnej, z pozostałych wycięto próbki do badań przed obróbką cieplną.

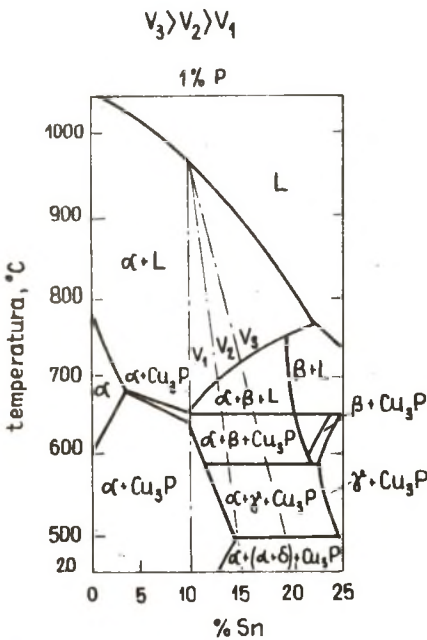
Pierwszym etapem badań była analiza dylatometryczna próbek nieobrobionych cieplnie. Próbki o wymiarach $\varnothing 4 \times 40$ mm nagrzewano do temperatury 700°C w komorze grzewczej dylatometru uniwersalnego firmy Leitz /model UBD, system Ballenrotha/ w atmosferze azotu. Szybkość nagrzewania próbek wynosiła 0,15°C/s. Na rys.3 przedstawiono krzywe dylatome-

Tabela 1

Skład chemiczny badanych stopów

Stop	Składniki stopowe, %			Dopuszczalne zanieczyszczenia, %													
	Cu	Sn	P	Zn	Pb	Mn	Al	Fe	Si	P	Sb	Bi	As	Mg	Ni	S	Suma
CuSn10 /B10/	reszta	9,0- 11,0	-	0,3	0,5	0,2	0,02	0,2	0,02	0,1	0,25	0,01	0,15	0,02	0,5	0,05	1,0
CuSn10P1 /B101/	reszta	9,0- 11,0	0,6- 1,2	0,3	0,2	0,2	0,02	0,2	0,02	-	0,3	0,03	0,15	0,02	0,5	0,05	0,8

tryczne próbek z brązu CuSn10 i CuSn10P1 chłodzonych z szybkością $0,08^{\circ}\text{C/s}$ oraz $0,16^{\circ}\text{C/s}$. Analogicznych wykresów dla próbek chłodzonych z większymi szybkościami nie przedstawiono, gdyż wykazywały one mniej więcej taki sam przebieg jak próbki chłodzone z szybkością $0,16^{\circ}\text{C/s}$. Analizując wykresy na rys.3 można stwierdzić, że krzywe nagrzewania zarówno próbek z brązu CuSn10 jak i CuSn10P1 chłodzonych z szybkością większą od $0,08^{\circ}\text{C/s}$ - wykazują charakterystyczne załamania. W przypadku brązu CuSn10 załamanie to występuje w zakresie $500\text{-}650^{\circ}\text{C}$, natomiast w przypadku brązu CuSn10P1 w zakresie $550\text{-}650^{\circ}\text{C}$. Krzywe dylatometryczne próbek chłodzonych z szybkością $0,08^{\circ}\text{C/s}$ nie wykazują żadnego załamania, a więc w ich strukturze nie zachodzi przemiana związana ze zmianą objętości. Spostrzeżenia te potwierdziły przypuszczenie, że zakres temperatury obróbki cieplnej mającej na celu stabilizację wymiarową struktury powinien znajdować się powyżej przemiany eutektoidalnej $\alpha + \delta \rightleftharpoons \alpha + \gamma^*$



Rys.2 Przekrój układu równowagi fazowej Cu-Sn-P przy zawartości 1%P.

W drugim etapie przeprowadzono badania wpływu czasu wyżarzania w określonym poprzednio zakresie temperatury na stabilizację wymiarową próbek z badanych stopów. W przypadku brązu CuSn10 do badań użyto próbki chłodzone z szybkością $1,60^{\circ}\text{C/s}$, natomiast w przypadku stopu CuSn10P1, próbki chłodzone z szybkością $2,56^{\circ}\text{C/s}$, a więc o strukturze najbardziej odbiegającej od stanu równowagi fazowej. Wyżarzanie próbek przeprowadzano w elektrycznym piecu komorowym w atmosferze ochronnej. Parametry przeprowadzanej obróbki cieplnej podano w tabeli 2. Obrobione cieplnie próbki poddano następnie badaniom dylatometrycznym. Badania te miały na celu wyznaczenie zależności wydłużenia względnego od czasu ich wygrzewania w podwyższonej temperaturze,

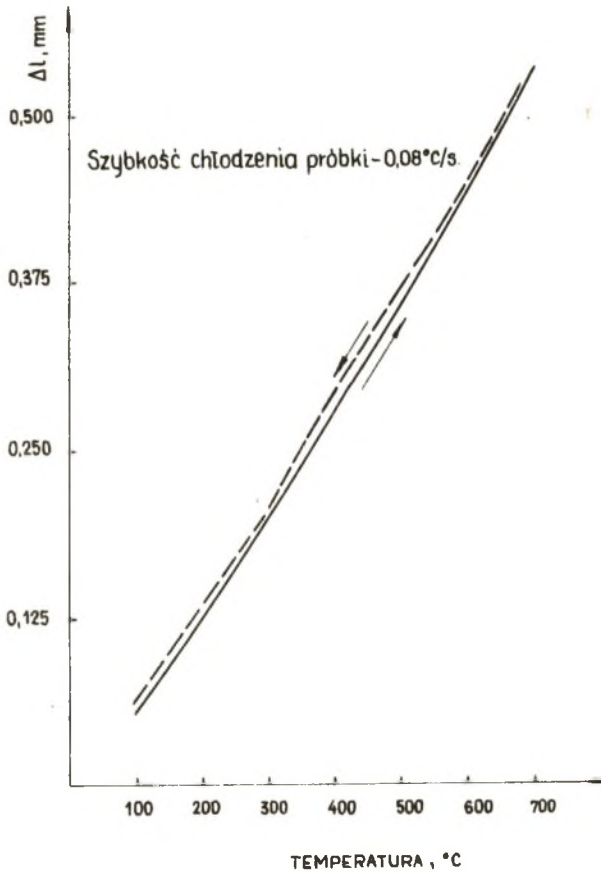
Tabela 2

Parametry przeprowadzonej obróbki cieplnej próbek z brązów CuSn10 i CuSn10P1 oraz parametry charakteryzujące przebieg zmian wydłużenia względnego badanych próbek w zależności od czasu ich wygrzewania w temperaturze 550°C w komorze grzewczej dylatometru /patrz rys.4/

Stop	Lp.	Parametry obróbki cieplnej			Wyniki badań dylatometryczn.		
		Temp. wy- żarzania, °C	Czas wy- żarzania, s	Chłodze- nie	$\Delta \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 10^{-3}$	t_k, s	$tg\alpha \cdot 10^{-3}$
CuSn10	1	550	$18 \cdot 10^2$	powietrze	0,30	$216 \cdot 10^2$	0,05
	2	550	$36 \cdot 10^2$	powietrze	0,40	$396 \cdot 10^2$	0,04
	3	550	$432 \cdot 10^2$	powietrze	0,00	0	0,00
	4	550	$288 \cdot 10^2$	powietrze	0,00	0	0,00
	5	550	$144 \cdot 10^2$	powietrze	0,00	0	0,00
	6	600	$72 \cdot 10^2$	powietrze	0,00	0	0,00
	7	650	$18 \cdot 10^2$	powietrze	0,00	0	0,00
CuSn10- P1	1	550	$36 \cdot 10^2$	powietrze	1,60	$504 \cdot 10^2$	0,12
	2	550	$144 \cdot 10^2$	powietrze	0,50	$342 \cdot 10^2$	0,05
	3	550	$432 \cdot 10^2$	powietrze	0,40	$180 \cdot 10^2$	0,08
	4	580	$288 \cdot 10^2$	powietrze	0,00	0	0,00
	5	580	$126 \cdot 10^2$	powietrze	0,00	0	0,00
	6	580	$108 \cdot 10^2$	powietrze	0,00	0	0,00
	7	580	$72 \cdot 10^2$	powietrze	0,08	$162 \cdot 10^2$	0,02
	8	600	$36 \cdot 10^2$	powietrze	0,17	$392 \cdot 10^2$	0,02
	9	600	$54 \cdot 10^2$	powietrze	0,05	$108 \cdot 10^2$	0,02
	10	600	$90 \cdot 10^2$	powietrze	0,00	0	0,00
	11	600	$72 \cdot 10^2$	powietrze	0,09	$180 \cdot 10^2$	0,02

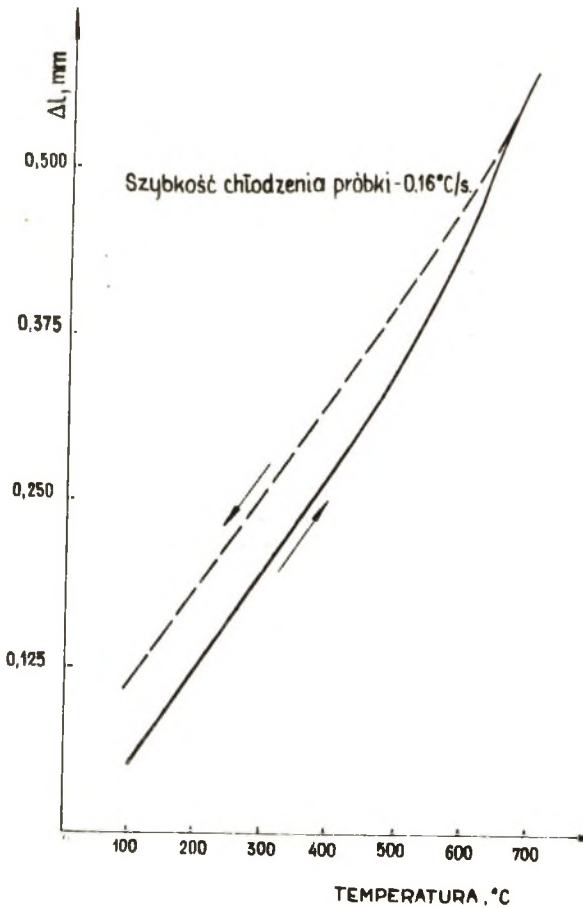
a więc stwierdzenie stopnia ich stabilizacji wymiarowej. Przy doborze temperatury wygrzewania kierowano się warunkami termicznymi w jakich zazwyczaj pracują części wykonane z tych stopów np. elementy łożysk. Temperatura ta dochodzi niekiedy do 300°C [7,9], jednak w badaniach przyjęto jako temperaturę wygrzewania 550°C, a więc znacznie wyższą. Miało to na celu przyspieszenie ewentualnych przemian powodujących wzrost wydłużenia względnego, a tym samym skrócenie czasu wygrzewania próbek do $72 \cdot 10^3$ s /20 h/. Próbki o wymiarach $\emptyset 4 \times 40$ mm umieszczono w komorze grzew-

czej dylatometru uniwersalnego firmy Leitza w atmosferze azotu, nagrzano do temperatury 550°C , następnie wygrzewano je w tej temperaturze przez $72 \cdot 10^3 - 90 \cdot 10^3$ s. Szybkość nagrzewania wynosiła, podobnie jak poprzednio $0,15^{\circ}\text{C/s}$. Zależność wydłużenia względnego badanych próbek od czasu ich wygrzewania w temperaturze 550°C przedstawiono schematycznie na rys.4. Parametry charakteryzujące przebieg tego wykresu w zależności od parametrów przeprowadzanej obróbki cieplnej podano w tabeli 2.



a/ stop CuSn10

Rys.3

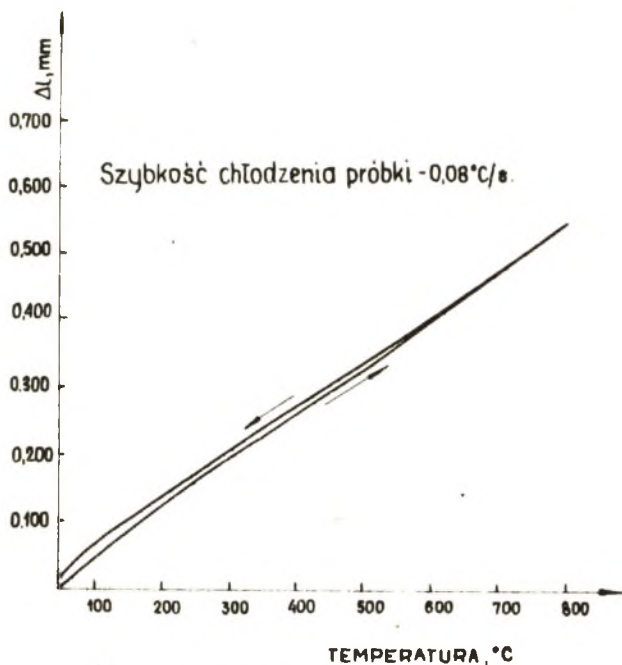


a / stop CuSn10

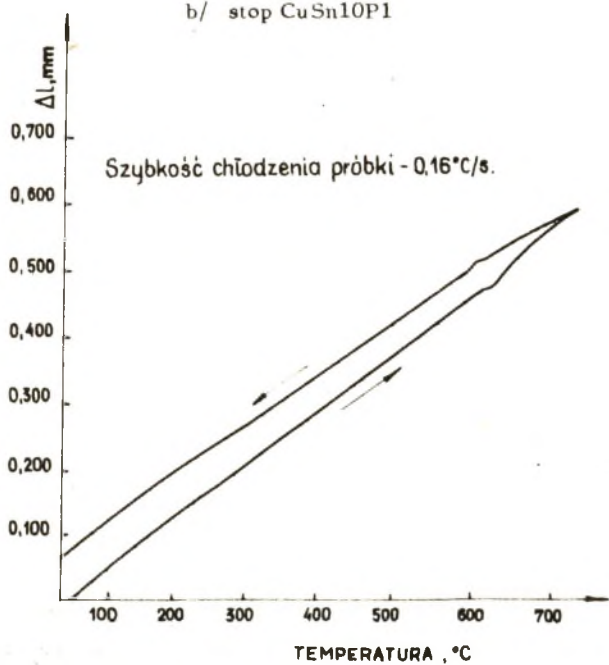
Rys.3 c.d.

Badania metalograficzne przeprowadzono w celu stwierdzenia wpływu przeprowadzonej obróbki cieplnej na mikrostrukturę badanych próbek. Zainkludowane próbki polerowano i trawiono elektrolitycznie, a w celu wyraźniejszego uwidocznienia poszczególnych faz, dotrawiano je chlorkiem żelaza [16,17]. Mikrostrukturę kilku z badanych próbek przedstawiono na rys. 5 i 6.

W celu wykluczenia obaw, iż stabilizacja wymiarowa struktury odlewów z brązów CuSn10 i CuSn10P1 uzyskiwana drogą obróbki cieplnej mogłaby wpłynąć ujemnie na ich własności mechaniczne i odporność na ścieranie, a więc własności które stawiają te stopy w szeregu niezastąpionych materiałów na elementy łożysk, przeprowadzono ba-



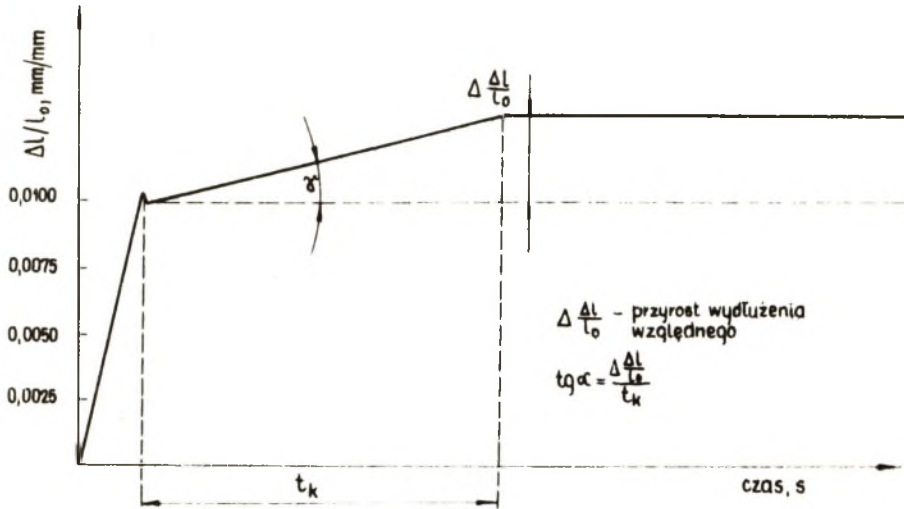
b/ stop CuSn10P1



b/ stop CuSn10P1

Rys.3 Zależność wydłużenia bezwzględnego próbek chłodzonych z różnymi szybkościami od temperatury nagrzewania w komorze grzewczej dylatometru:

dania tych własności. Do badań tych wytypowano obrabiane cieplnie próbki, dla których wcześniejsze badania dylatometryczne wykazały całkowitą stabilizację wymiarową. W przypadku stopu CuSn10 były to próbki wyżarzane w temperaturze 550°C w czasie $288 \cdot 10^2$ s, a w przypadku stopu CuSn10P1 - próbki wyżarzane w temperaturze 580°C w czasie $126 \cdot 10^2$ s / patrz rys.4 i tabela 2/.



Rys.4 Schematyczne przedstawienie zależności wydłużenia względnego obrabianych cieplnie próbek z brązu CuSn10 i CuSn10P1 w zależności od czasu ich wygrzewania w temperaturze 550°C w komorze grzewczej dylatometru

Badania własności mechanicznych przeprowadzono w urządzeniu "Instron". Wyniki tych badań oraz twardość HB przedstawiono w tabeli 3.

Jako kryterium oceny odporności na ścieranie badanych stopów przyjęto współczynnik tarcia μ oraz wagowy ubytek masy próbki. Badania te przeprowadzono w maszynie "Amsler". Każda badana próbka posiadała dwie powierzchnie robocze, przy czym do każdej z nich stosowano jedną przeciwpróbkę ze stali 45. W maszynie Amslera próbka dociskana była jedną z powierzchni roboczych do obracającej się z prędkością $0,8$ m/s przeciwpróbki w ciągu czterech okresów pracy, z których każdy odpowiadał 25 000 obrotom. W okresach tych stosowano kolejno obciążenia 500, 1000, 1500 i 2000 N /skokowo-rosnący sposób zmian obciążeń/. Po zakończeniu wszystkich czterech okresów próbkę i przeciwpróbkę wyjmowano z urządzenia i ważono dla sprawdzenia ubytków masy.

Tabela 3

Właściwości mechaniczne próbek z brązów CuSn10 i CuSn10P1 przed i po obróbce cieplnej stabilizującej ich struktura

Stan	Moduł sprężystości przy naprężeniu:				Liczba Poissona przy naprężeniu:				Naprężenia umowne					R _m MPa	A %	C %	HB MPa					
	U MPa		E ₀ MPa		E ₁ MPa		E ₈ MPa		E ₁₈ MPa		0	10	80					180	R _{0,02}	R _{0,05}	R _{0,10}	R _{0,20}
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa					MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
przed obróbką cieplną	81230	88490	119100	117200	0,358	0,352	0,309	0,328	77,2	107,3	131,4	158,7	389,7	26,5	28,0	850						
po obróbce cieplnej	94420	95970	97440	-	0,313	0,316	0,320	0,302	153,8	167,1	172,2	174,4	388,8	26,0	36,0	866						
przed obróbką cieplną	101600	101300	98860	84960	-	-	-	-	88,5	132,4	145,9	206,0	360,3	10,0	10,0	1100						
po obróbce cieplnej	100100	99170	102100	99610	0,376	0,373	0,350	0,324	114,4	143,1	175,9	205,5	376,9	36,0	28,0	1020						

Następnie w maszynie Amslera zakładano nową próbkę z tym, że była ona dociskana do przeciwpróbki drugą powierzchnią roboczą. Po uruchomieniu maszyny następowały cztery kolejne okresy pracy przy zastosowaniu obciążeń 2000, 1500, 1000 i 500 N /skokowo-malejący sposób obciążeń/. Po tych czterech okresach próbkę i przeciwpróbkę ważono jak poprzednio. W czasie pracy urządzenia, przeciwpróbka smarowana była olejem Lux 7. Wyniki badań podano w tabeli 4.

3. Dyskusja wyników badań

Przystępując do analizy rys.4 i tabeli 2 przedstawiających wpływ przeprowadzonej obróbki cieplnej na stopień stabilizacji wymiarowej badanych próbek należy wyjaśnić, że dla próbki całkowicie ustabilizowanej wymiarowo przyrost wydłużenia względnego podczas wygrzewania w komorze grzewczej dylatometru ($\Delta \frac{\Delta l}{l_0}$) powinien być równy 0. W takim przypadku oczywiście pozostałe parametry charakteryzujące przebieg zależności wydłużenia względnego $\frac{\Delta l}{l_0}$ od czasu wygrzewania w stałej temperaturze, a więc czas zakończenia przemiany t_k i $tg \alpha$ /rys.4/, są również równe 0. Przyjmując takie kryterium oceny stopnia stabilizacji wymiarowej badanych próbek można stwierdzić, że w przypadku stopu CuSn10 całkowitą stabilizację wymiarową zapewnia wyżarzanie w temperaturze 550°C w czasie min. $144 \cdot 10^2$ s. Ten sam efekt, ale przy skróconym czasie wyżarzania do $18 \cdot 10^2$ s, można osiągnąć podwyższając temperaturę do 650°C , a więc powyżej temperatury przemiany eutektoidalnej $\alpha + \gamma \rightleftharpoons \beta$. W przypadku stopu CuSn10P1 całkowitą stabilizację wymiarową można uzyskać podczas wyżarzania w temperaturze 580°C w czasie min. $108 \cdot 10^2$ s. Niewielkie skrócenie czasu wyżarzania $/90 \cdot 10^2$ s/ można osiągnąć podwyższając temperaturę do 600°C , jednak ze względu na niską temperaturę topienia eutektyki $\alpha + \text{Cu}_3\text{P}$ /około 650°C / i związaną z tym możliwością jej nadtopienia, wydaje się to dość ryzykowne.

Badania wpływu przeprowadzonej obróbki cieplnej na mikrostrukturę stopu CuSn10 /rys.5/ wykazały prawie całkowity zanik eutektoidu $\alpha + \delta$. Śladowe jego ilości widoczne są w postaci drobnych, punktowych wydzielen równomiernie rozłożonych na tle fazy α . W przypadku stopu CuSn10P1 obróbka cieplna spowodowała częściowy zanik oraz znaczne ujednorodnienie i rozdrobnienie wydzielen eutektoidu $\alpha + \delta + \text{Cu}_3\text{P}$.

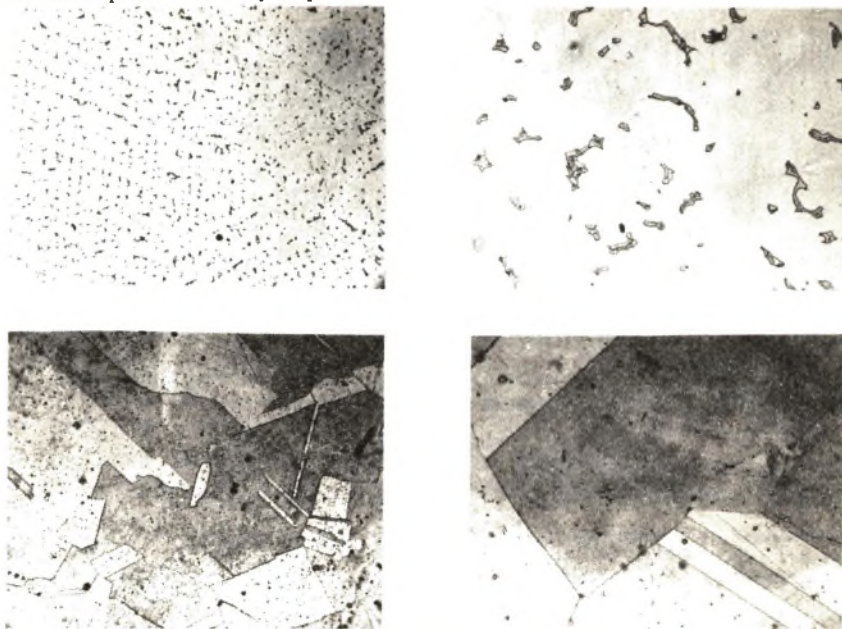
Wyniki badań własności mechanicznych /tabela 3/ pozwalają na stwierdzenie, że przeprowadzona obróbka cieplna próbek z brązu CuSn10 i CuSn10P1 nie wpływa w sposób znaczący na moduł sprężystości przy naprężeniach 0, 10, 80 i 180 MPa i liczbę Poissona przy tych samych naprężeniach, natomiast powoduje nieznaczny wzrost naprężeń umownych i dość znaczny wzrost przewężenia, a w przypadku stopu CuSn10P1 również i wydłużenia. Obróbka ta również nieznacznie obniża twardość ba-

Tabela 4

Wyniki badań odporności na ścieranie próbek z brązów CuSn10 i CuSn10P1 przed i po obróbce cieplnej stabilizującej ich strukturę

Stop	Stan	Współczynnik tarcia / M										Ubytek wagowy próbki · 10 ⁻³ kg	
		Przy skokowo-rosnącej zmianie obciążeń					Przy skokowo-malejącej zmianie obciążeń					skokowo rosnąca zmiana obciążeń	skokowo malejąca zmiana obciążeń
		500 N	1000 N	1500 N	2000 N	2000 N	2000 N	1500 N	1000 N	500 N	500 N	500 N	500 N
CuSn10	przed obróbką cieplną	0,0083	0,0527	0,1413	0,1430	0,1505	0,1331	0,1511	0,0248	1,1145	2,3724		
	po obróbce cieplnej	0,0036	0,0026	0,0040	0,0570	0,0821	0,0821	0,0114	0,0056	0,2500	0,6552		
CuSn10P1	przed obróbką cieplną	0,0129	0,0308	0,0621	0,1097	0,1285	0,0813	0,0072	0,0043	0,0496	0,1053		
	po obróbce cieplnej	0,0059	0,0131	0,0051	0,0390	0,1123	0,0788	0,0100	0,0041	0,0197	0,0562		

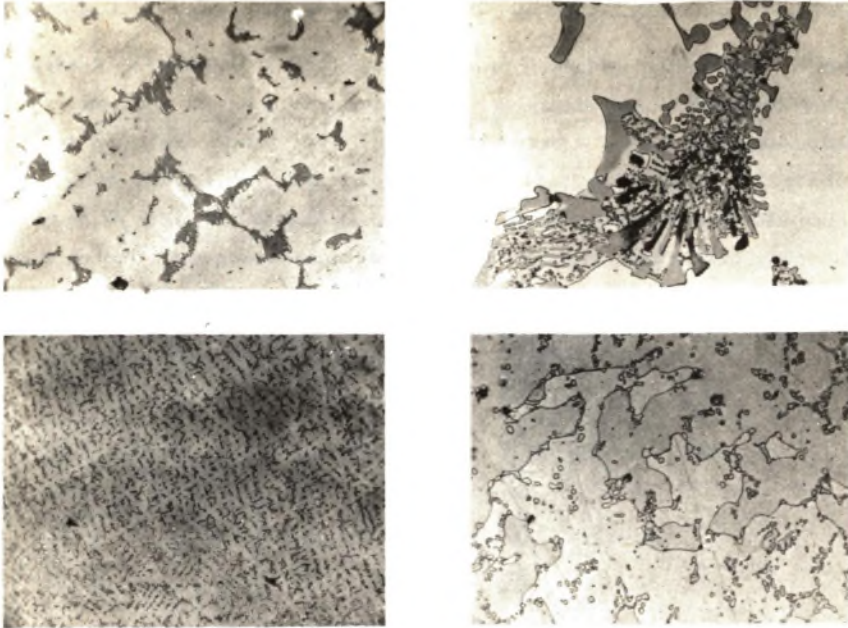
danych stopów. Reasumując stwierdzić należy, że stabilizacja struktury na drodze obróbki cieplnej badanych stopów nie wpływa w sposób znaczący na ich własności mechaniczne. Natomiast jej wpływ na ścieralność jest bardzo korzystny. Analizując tabelę 4 można zauważyć, że wskutek obróbki cieplnej następuje znaczne, aczkolwiek zróżnicowane w zależności od warunków pomiaru, obniżenie współczynnika tarcia μ przy różnych obciążeniach oraz ponad czterokrotne obniżenie ubytków wagowych próbek w stosunku do stanu przed obróbką cieplną.



Rys. 5 Mikrostruktura próbki ze stopu CuSn10 chłodzonej z szybkością $1,6^{\circ}\text{C/s}$ przed /a/ i po obróbce cieplnej /b/

Wnioski

1. Jak wiadomo, stopień odstępstwa struktury od stanu równowagi fazowej determinowany jest szybkością chłodzenia odlewów. W przypadku badanych stopów krytyczna szybkość chłodzenia zapewniająca stabilizację struktury wykonywanych z nich odlewów wynosi $0,08^{\circ}\text{C/s}$. Struktura odlewów chłodzonych z szybkością ponadkrytyczną wykazuje w mniejszym lub większym stopniu odstępstwo od stanu równowagi fazowej, co związane jest z brakiem stabilizacji wymiarowej odlewów pracujących w podwyższonej temperaturze, a konkretnie mówiąc, z pęcznieniem odlewów.
2. Parametry obróbki cieplnej mającej na celu stabilizację wymiarową odlewów ze stopów CuSn10 i CuSn10P1 zależą ściśle od stopnia odstępstwa ich struktury od stanu równowagi fazowej, a więc od szybkości chłodzenia odlewów.



Rys.6 Mikrostruktura próbki ze stopu CuSn10P1 chłodzonej z szybkością $2,56^{\circ}\text{C/s}$ przed /a/ i po obróbce cieplnej /b/

3. Obróbka cieplna mająca na celu stabilizację wymiarową odlewów ze stopu CuSn10 chłodzonych z szybkością $1,6^{\circ}\text{C/s}$ /ponadkrytyczną/ polega na wyżarzaniu w temperaturze 550°C w czasie min. $144 \cdot 10^2 \text{ s}$, względnie w zakresie temperatury $600\text{--}650^{\circ}\text{C}$ w czasie min. $720 \cdot 10^2 \text{ s}$.
4. W przypadku odlewów ze stopu CuSn10P1 chłodzonych z szybkością około $2,56^{\circ}\text{C/s}$ stabilizację wymiarową można uzyskać poprzez wyżarzanie w temperaturze 580°C w czasie min. $108 \cdot 10^2 \text{ s}$.
5. Opisana powyżej obróbka cieplna odlewów z brązów CuSn10 i CuSn10P1 nie wpływa znacząco na ich własności mechaniczne, natomiast powoduje znaczne obniżenie współczynnika tarcia przy różnych obciążeniach co świadczy o jej bardzo korzystnym wpływie na ścieralność tych stopów.
6. Stosowanie opracowanej obróbki cieplnej jest właściwym i skutecznym sposobem podwyższenia przydatności odlewów ze stopów CuSn10 i CuSn10P1 do celów produkcji łożysk.

Informacja dodatkowa

Opracowana obróbka cieplna została wdrożona do produkcji łożysk ślizgowych stosowanych w silnikach wysokoprężnych. Wprowadzenie jej w dwóch dużych wytwórniach wyeliminowało całkowicie awarie tych silników, przynosząc bardzo poważne efekty ekonomiczne.

LITERATURA

1. RUTKOWSKI K.: Brązy cynowo-fosforowe, ich własności, sposoby produkcji, przeróbki i możliwości zastosowania, zużycie i stopy zamienne. Praca programowa Instytutu Odlewnictwa, Z-2419/67, Kraków 1967
2. LOISEAU R.; LEMOINE G., PICARD P.: Facteurs agissant sur les propriétés et les caractéristiques des bronzes à l'étain. Nature et l'influence. Fonderie, 1962, nr 195, s.157.
3. HANSON D.: Chill-Cast Tin Bronzes. E.Arnold a.Co. London 1951.
4. MLINAREWIC M.: Kalajna bronz. Livarstvo, 1959, t.6, nr 29, s.87.
5. YOSHIDA S.: Mechanical properties of the castings of phosphor bronzes. Imono, 1960, t.32, s.12.
6. BIGAJ J., GOLONKA J.: i in.: O niektórych własnościach prętów i tulei brązowych odlewanych metodą ciągłą. Rudy i Met.Niezel., 1970, t.15, nr 8, s.408.
7. RUTKOWSKI K., MIĘTKA Z.: Badania wpływu temperatury na trwałe zmiany wymiarowe tulejek łożysk korbowodowego z brązu B101. Praca programowa Instytutu Odlewnictwa, Z.-4171/70, Kraków.
8. RUTKOWSKI K., MIĘTKA Z.: Obróbka cieplna brązu B101 stabilizująca wymiary odlewów i zapobiegająca zacieraniu się łożysk ślizgowych. II Międzynarodowa Konferencja Odlewników Metali Nieżelaznych, Kraków 1973.
9. RUTKOWSKI K., KAROLINI M.: Obróbka cieplna brązów cynowych. Praca programowa Instytutu Odlewnictwa, Z-8901, Kraków.
10. KRAKOWIAK M., Praca dyplomowa, AGH, Instytut Przeróbki Plastycznej i Metaloznawstwa, Wydz.Metali Nieżelaznych, Kraków 1973.
11. VYKLICKI Z., CHVATAL M.: Možnosti ovlivnovani mechanických vlastnosti bronzu CuSn12. Slévárenství, 1965, t.13, nr 11, s.447.
12. MARECHAL K.: A ket-es tobbalkotos onbranzok szerepe a csapagyhasznalabtan. Öntőde 1964, t.15, nr 1, s.10.
13. KONIECZKA B.: Możliwość częściowego uplastycznienia odlewniczego brązu cynowo-dosforowego B101. Biul.techn.Zakł.Metalurg. "Pomet", 1969, t.7, nr 8, s.13.
14. DENISOV V.A.: Osobennosti zatwierdievanija otlivok iz doviaanistoj bronzy. Lit. Proizv. 1968, nr 9, s.23.
15. COVINGTON M.W.: Heat Treating Copper and Copper Alloys. Met.Progr.1974, t.105, nr 5, s.75.

16. ANONIM: Metalography of copper and its alloys. Met. Progr., 1975, t.108, nr 8, s.48.
17. SĘKOWSKI K., PIASKOWSKI J. i in.: Atlas struktur znormalizowanych stopów odlewniczych. WNT, Warszawa 1972.

HEAT-TREATMENT OF TIN AND TIN-PHOSPHORUS BRONZE CASTINGS USED FOR PLAIN BEARINGS

S u m m a r y

The paper presents an evaluation of the effect of heat-treatment of tin and tin-phosphorus bronzes on dimensional and structural stability of castings. Stabilization of structure by heat-treatment results in significant improvement of wear resistance in conditions of sliding friction.

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОТЛИВОК ИЗ ОЛОВОГО И ОЛОВО-ФОСФОРНОЙ БРОНЗОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Р е з ю м е

В статье дается оценка влияния термической обработки оловых и олово-фосфорных бронзов на степень размерной стабилизации структуры отливки. Обеспечение стабилизации структуры путем термической обработки приводит к значительному повышению износостойкости в условиях трения скольжением.