

## OCENA EFEKTU UMOCNIECIA UZYSKIWANEGO W WYNIKU ODDZIAŁYWANIA CIŚNIENIA NA KRZEPNĄCY ODLEW

Barbara WIERZBICKA

Katedra Odlewnictwa Politechniki Częstochowskiej

Badania przeprowadzono dla dwuskładnikowych stopów Cu-Zn. Materiał badawczy stanowiły odlewy grawitacyjne i krzepące pod ciśnieniem 170 MPa, zarówno surowe, jak i poddane zabiegowi wyżarzania. Celem oceny efektu umocnienia przeprowadzono badania mikrostruktury (rozdrobienie ziarna, zawartość fazy  $\beta'$ , mikrotwardość fazy  $\alpha$ ) oraz struktury dyslokacyjnej.

### Wprowadzenie

Technologia prasowania w stanie ciekłym jest procesem przebiegającym na styku technologii odlewania i obróbki plastycznej. Ciekły metal, wprowadzony do formy, krzepnie przy oddziaływaniu ciśnienia, wywieranego zazwyczaj przez tłok. Przemianie ciecz-ciało stałe towarzyszy zmniejszanie objętości. Aby nie nastąpiło utworzenie nieciągłości odlewu, musi zachodzić systematyczne odkształcanie wcześniej zakrzepłych warstw stopu. Można więc przyjąć, że w tym okresie kształtowania odlewu zachodzą procesy obróbki plastycznej na gorąco, tj. mają miejsce równoczesne procesy zdrowienia i przebudowy struktury dyslokacyjnej. Przy odkształcaniu na gorąco m. in. takich materiałów, jak miedź czy mosiądz, mogą mieć miejsce procesy rekrystalizacji dynamicznej [1]. W takim przypadku rekrystalizowane ziarna ulegają ponownemu odkształceniu, w wyniku czego tworzy się w nich podstruktura dyslokacyjna.

Wpływ ciśnienia na procesy związane z krzepnięciem objawia się takimi skutkami, jak: likwidacja szczeliny powietrznej między odlewem i formą, przyspieszenie przebiegu procesów dyfuzyjnych i cieplnych, przechłodzenie atermiczne wynikające z podwyższenia temperatury likwidusu, przemieszczenie granic równowag fazowych [6] lub też pojawienie się w strukturze faz metastabilnych. Podstawowym efektem oddziaływania ciśnienia (obok oczywistego rezultatu usunięcia makro- i mikroporowatości) jest rozdrobienie ziarna, często także zmiana zawartości składnika strukturalnego. Zakres występowania tych zjawisk, sprzyjających umocnieniu, jest uzależniony przede wszystkim od rodzaju i składu chemicznego stopu. W technologii prasowania w stanie

ciekłym dobiera się parametry takie, jak: wielkość ciśnienia, czas oddziaływania nacisku, temperatura ciekłego metalu, temperatura formy, a także rodzaj pokrycia formy [2].

### Warunki badań własnych

W rezultacie wcześniej przeprowadzonych badań [3] stwierdzono, że w grupie odlewniczych stopów miedzi szczególnie efektywne umocnienie (określone przez pomiar  $R_m$ ) w procesie prasowania uzyskiwano dla mosiądzu MO59, a więc stopu o składzie zbliżonym do mosiądzów zwykłych. Dlatego też w opisywanym etapie badawczym zajęto się mosiądzami dwuskładnikowymi. Sporządzono stopy CuZn32, CuZn36 i CuZn38, a następnie poddano je procesowi prasowania w stanie ciekłym. Proces ten prowadzono zgodnie z opisem prezentowanym we wcześniejszych opracowaniach [2, 4]. Równocześnie sporządzono odlewy krzepnące bez oddziaływania podwyższonego ciśnienia (zwane dalej odlewami grawitacyjnymi). Charakterystykę przeprowadzonych doświadczeń przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka doświadczeń  
Table 1. Characteristics of experiments

Stop	Numer doświadczenia	Ciśnienie prasowania [MPa]	Temperatura zalewania [°C]	Obróbka cieplna
CuZn32	1 1a	0,1	1030	— wyżarzanie
	2 2a	170	1030	— wyżarzanie
CuZn36	3 3a	0,1	1000	— wyżarzanie
	4 4a	170	1000	— wyżarzanie
CuZn38	5 5a	0,1	970	— wyżarzanie
	6 6a	170	970	— wyżarzanie

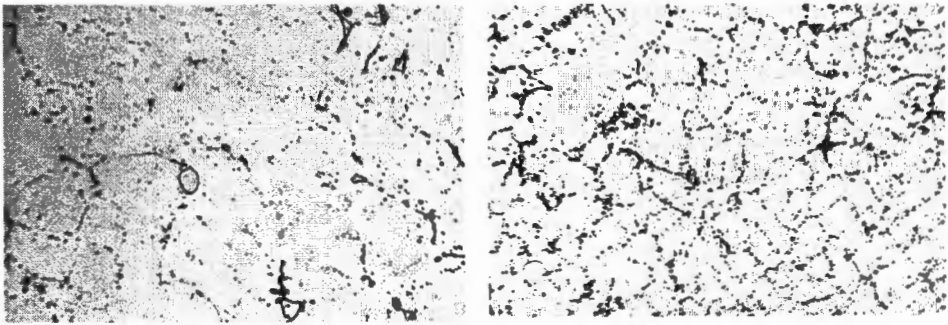
Uwagi: 1. temperatura formy metalowej  $T_f = 200^\circ\text{C}$ , pokrycie grafitowe, czas nacisku 20 s.  
2. zabieg wyżarzania:  $800^\circ\text{C}$ , 3 h, studzenie z piecem.

Z części środkowej masywnych odlewów walcowych ( $d = 65 \text{ mm}$ ,  $h = 105 \text{ mm}$ ) wycinano próbki, część z nich poddawano zabiegowi wyżarzania, następnie przygotowano zglądy i przeprowadzano ocenę mikrostruktury oraz struktury dyslokacyjnej.

### Wyniki badań i ich dyskusja

Zglądy próbek z poszczególnych doświadczeń trawiono odczynnikiem  $\text{Ml7Cu}$  i poddawano obserwacji przy użyciu mikroskopu optycznego. Stwierdzono, że:

**stop  $\text{CuZn32}$**  – krystalizuje jako dwufazowy z wydzieleniami fazy  $\beta'$  na granicy ziarna. Ten wynik obserwacji jest zgodny z poglądami [7] mówiącymi, że proces nierównowagowego krzepnięcia w formie odlewniczej sprawia, że krzepnięciu w jednym stadium ulegają dopiero mosiądze o zawartości poniżej 25% Zn. Obserwowana siatka wydzielań fazy  $\beta'$  wskazuje, że odlew prasowany ma strukturę zdecydowanie bardziej drobnoziarnistą w porównaniu z odlewem grawitacyjnym. Proces wyżarzania próbek powoduje częściowe rozpuszczenie fazy  $\beta'$ , pozostałe wydzielenia tej fazy ulegają koagulacji przy dalej występującej różnicy w wielkości ziarna (rys. 1, 2).



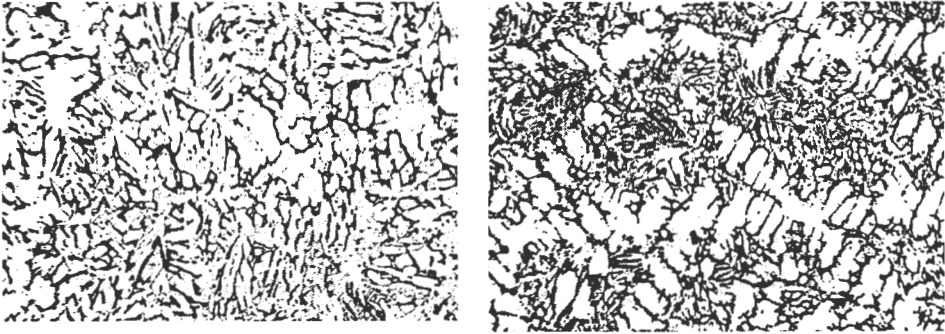
Rys. 1. Mikrostruktura stopu  $\text{CuZn32}$ , odlew grawitacyjny, wyżarzony, pow.  $75\times$

Fig. 1. Microstructure of  $\text{CuZn32}$  alloy, gravity casting, annealed, magn.  $75\times$

Rys. 2. Mikrostruktura stopu  $\text{CuZn32}$ , odlew prasowany, wyżarzony, pow.  $75\times$

Fig. 2. Microstructure of  $\text{CuZn32}$  alloy, pressed casting, annealed, magn.  $75\times$

**stop  $\text{CuZn36}$**  – mikrostruktura odlewu prasowanego, obok wydzielań fazy  $\alpha$  i  $\beta'$ , charakteryzuje się obecnością wyraźnie ukształtowanych dendrytów fazy  $\alpha$ , świadczących o wzroście szybkości chłodzenia odlewu prasowanego w stosunku do odlewu grawitacyjnego (rys. 3, 4). Należy przypomnieć, że maksimum stopnia segregacji dendrytycznej dla mosiądzów występuje w obszarze wysokich szybkości chłodzenia [5]. Próbki wyżarzone, pobrane z obu odlewów, posiadają zbliżoną mikrostrukturę z poliedrycznymi wydzieleniami fazy  $\beta'$ .



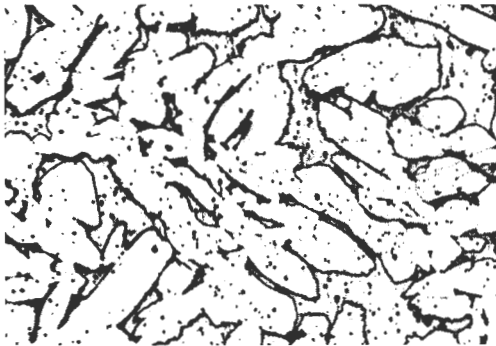
Rys. 3. Mikrostruktura stopu CuZn36, odlew grawitacyjny, bez obróbki cieplnej, pow. 75×

Fig. 3. Microstructure of CuZn36 alloy, gravity casting, without heat treatment, magn. 75×

Rys. 4. Mikrostruktura stopu CuZn36, odlew prasowany, bez obróbki cieplnej, pow. 75×

Fig. 4. Microstructure of CuZn36 alloy, pressed casting, without heat treatment, magn. 75×

**stop CuZn38** – obserwacje mikrostruktury odlewu grawitacyjnego i prasowanego potwierdziły podawaną już we wcześniejszych publikacjach [3, 4] informację o rozdrobnieniu iglastej struktury ( $\alpha + \beta'$ ). Natomiast zabieg wyżarzania spowodował w obu próbkach utworzenie mikrostruktury zawierającej grube, iglaste wydzielenia ( $\alpha + \beta'$ ) - rys. 5.



Rys. 5. Mikrostruktura stopu CuZn38, odlew prasowany, wyżarzony, pow. 75×

Fig. 5. Microstructure of CuZn38 alloy, pressed casting, annealed, magn. 75×

Przy użyciu automatycznego analizatora obrazu „Magiscan” określono we wszystkich próbkach udział fazy  $\beta'$ . Wartości średnie z pomiarów zestawiono w tabeli 2. W tabeli tej podano także średnie wyniki pomiaru mikrotwardości fazy  $\alpha$ .

Tabela 2. Zawartość fazy  $\beta'$  w stopach Cu-Zn oraz mikrotwardość fazy  $\alpha$ .  
 Table 2. Percentage of the  $\beta'$ -phase and microhardness of the  $\alpha$ -phase in Cu-Zn alloys.

Stop	Rodzaj odlewu	Obróbka cieplna	Zawartość fazy $\beta'$ [%]	Mikrotwardość fazy $\alpha$ [ $\mu$ HV]
CuZn32	grawitacyjny	bez obróbki	4,5	118,7
		wyżarzany	1,2	98,3
	prasowany	bez obróbki	8,8	136,5
		wyżarzany	4,9	112,1
CuZn36	grawitacyjny	bez obróbki	15,0	138,8
		wyżarzany	7,4	103,0
	prasowany	bez obróbki	19,7	152,6
		wyżarzany	8,2	118,0
CuZn38	grawitacyjny	bez obróbki	26,1	144,2
		wyżarzany	21,1	102,0
	prasowany	bez obróbki	39,5	174,9
		wyżarzany	32,2	120,0

Z analizy danych zawartych w tabeli 2 wynika, że mikrostruktura odlewów prasowanych charakteryzuje się zwiększoną, w stosunku do odlewów grawitacyjnych, zawartością fazy  $\beta'$ . Zjawisko to niewątpliwie jest związane ze zwiększoną szybkością stygnięcia odlewów prasowanych, ale ta właściwość mikrostruktury jest utrzymana dla odlewów prasowanych także po ich wyżarzeniu. Można stąd wnioskować, że ciśnienie oddziaływujące na odlew w procesie krzepnięcia spowodowało przemieszczenie granicy fazy  $\beta$  (a następnie  $\beta'$ ) w kierunku niższej zawartości cynku.

Mikrotwardość fazy  $\alpha$  wprawdzie wzrasta o kilkanaście procent w poszczególnych odlewach prasowanych, ale efekt ten całkowicie zanika po wyżarzeniu próbek.

Obserwacje struktury dyslokacyjnej przeprowadzono w transmisyjnym mikroskopie elektronowym Philips przy napięciu 100 kV. Sposób przygotowania cienkich folii oraz struktury dyslokacyjne prezentowano we wcześniejszym opracowaniu [4]. W obecnie prowadzonych badaniach potwierdzono spostrzeżenia sprecyzowane w odniesieniu do mosiądzu MO59, a mówiące o tym, że proces prasowania w stanie ciekłym powoduje zwiększenie zdefektowania struktury. Objawia się to rozbudowaniem spiętrzeń dyslokacyjnych w fazie  $\alpha$  oraz wyraźnym wzrostem gęstości dyslokacji w fazie  $\beta'$ . Natomiast w odlewach wyżarzonych (zarówno grawitacyjnych, jak i prasowanych) obserwowano strukturę równowagową, o małej gęstości dyslokacji.

## Podsumowanie

Technologia prasowania w stanie ciekłym jest powszechnie akceptowaną technologią, pozwalającą na uzyskiwanie odlewów pozbawionych makro- i mikroporowatości. Wielkość efektu umocnienia odlewu jest uzależniona od rodzaju i składu chemicznego stopu. W przypadku mosiądzów dwuskładnikowych (o zawartości cynku  $32 \div 38\%$ ) umocnienie jest sumą oddziaływań takich jak: rozdrobnienie ziarna, wzrost zawartości fazy  $\beta'$ , a także wzrost gęstości dyslokacji, determinujący podwyższenie mikrotwardości faz strukturalnych. Rodzaj struktury dyslokacyjnej, obserwowanej w prasowanych odlewach, świadczy o przebiegu procesów obróbki plastycznej na gorąco (rekrytalizacja dynamiczna).

Operacja wyżarzania odlewu prasowanego powoduje całkowite usunięcie efektu umocnienia przez strukturę dyslokacyjną, natomiast w odlewie pozostaje w dalszym ciągu zwiększona zawartość fazy  $\beta'$ .

## Literatura

1. L. Błaż, A. Korbiel: Archiwum Hutnictwa, 1982, t. 27, z.3, s. 285-312.
2. B. Wierzbička: Przegląd Odlewnictwa, 1991, nr 3, s. 98-103.
3. B. Wierzbička: Przegląd Odlewnictwa, 1995, nr 11, s. 9-12.
4. B. Wierzbička: Krzepnięcie Metali i Stopów, PAN Katowice, 1994, nr 20, s. 177-184.
5. Cz. Adamski, Z. Bonderek, T. Piwowarczyk: Mikrostruktury odlewniczych stopów miedzi oraz cynku. Wyd. „Śląsk”, Katowice, 1972.
6. A. J. Šinajev: Fazovyje prevraščenia i svojstva splavov pri vysokom dawlenii. Moskva, 1973.
7. F. Romankiewicz: Krzepnięcie miedzi i jej stopów. Wyd. Komisji Nauki o Materiałach PAN, Poznań - Zielona Góra, 1995.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Janusz Braszczyński