Mgr inż. Wiesław KROCHMAL, mgr inż. Antoni KUBIS
Instytut Metali Nieżelaznych w Gliwicach

BADANIA SKRAWALNOŚCI MOSIĄDZÓW AUTOMATOWYCH

1. Wstęp

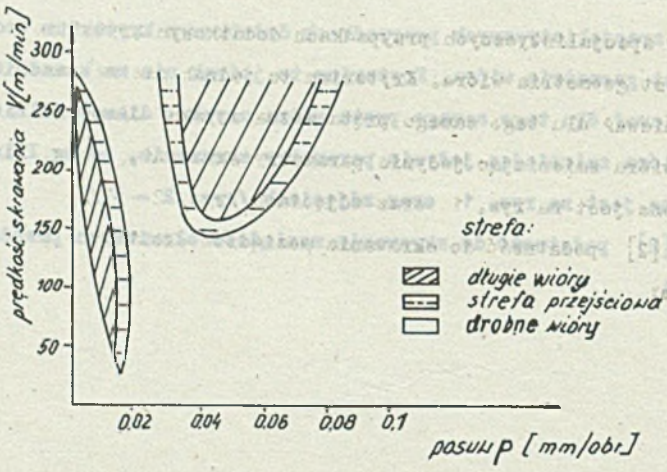
Spośród stopów miedzi mosiądz ołowiowy jako stop trójskładnikowy jest podstawowym gatunkiem szczególnie podatnym do obróbki skrawaniem. Z punktu widzenia własności obróbczych mosiądze ołowiowe po przeróbce plastycznej należą do materiałów o dobrej skrawalności. Skrawaniu mosiądzu o zawartości 58 % Cu, 40 % Zn i powyżej 2 % Pb towarzyszy powstawanie w zasadzie wióra łamliwego.
W związku z tym stopy takie nadają się do obróbki na automatach, dlatego też potocznie zwane są mosiądzami automatowymi.
Mosiądze ołowiowe zapewniają najniższe temperatury skrawania, co należy przypisać małym odkształceniom plastycznym podczas skrawania, kruchości obróbkowej oraz niskim współczynnikom tarcia, które wywołane są obecnością ołowiu.
W aspekcie praktycznego zastosowania w przemyśle, skrawalność mosiądzów ołowiowych oceniana jest w zasadzie dwoma wskaźnikami, a mianowicie:

- oporem skrawania,
- okresem trwałości ostrza narzędzia.

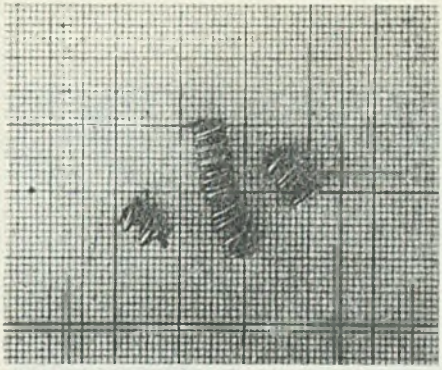
Natomiast w specjalistycznych przypadkach dodatkowym kryterium oceny skrawalności jest geometria wióra. Kryterium to jednak nie ma zasadniczego znaczenia, ponieważ dla tego samego pręta można uzyskać diametrialnie różną geometrię wióra zmieniając jedynie parametry skrawania, co wg Islera [1] przedstawione jest na rys. 1 oraz zdjęciach /rys. 2 - 5 /.
Wg Islera [2] podatność do skrawania mosiądzów ołowiowych przedstawia się następująco:

Tab.1. Podatność do skrawania mosiądzów ołowiowych wg Islera [2]

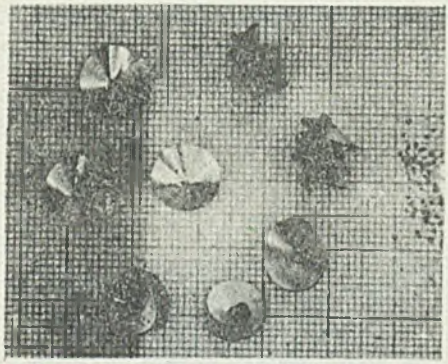
Lp.	Rodzaj mosiądzu	Zawartość w %		Wskaźniki skrawalności	
		Cu %	Pb %	opór skrawania %	okres trwałości ostrza narzędzia %
1.	CuZn39Pb3	58	2,8	100	80
2.	CuZn40Pb2	58,5	2,3	90	80
3.	CuZn40Pb1	58,3	1,3	80	60
4.	CuZnMnPb	58,5	1,0	60	50
5.	CuZn38Pb1	59,6	2,6	70	70
6.	CuZn39Pb2	59,7	2,1	70	70
7.	CuZn39Pb2	60,0	2,1	60	70
8.	CuZn39Pb1	60,5	1,0	50	60
9.	CuZnSnPb	60,0	0,6	30	50
10.	CuZn36Pb3	60,9	3,2	70	100
11.	CuZn37Pb	61,5	1,25	40	50
12.	CuZn36Pb1	63,5	0,8	25	40
13.	CuZn35Pb2	62,5	1,8	35	50
14.	CuZn9Pb2	89,0	1,9	20	40



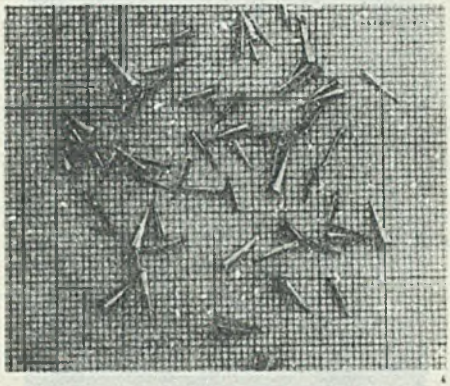
Rys.1. Zależność geometrii wióra od parametrów skrawania: prędkości skrawania /v/ i posuwu /p/



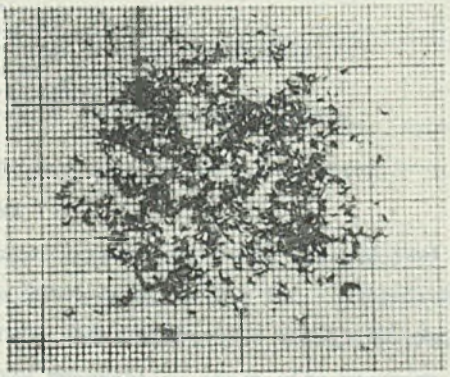
Rys. 2. Geomeria wióra uzyskana drogą toczenia pręta ø 15 mm w gatunku CuZn39Pb3 przy parametrach n = 2500 obr/min., posuw p = 0,04 mm/obr. i stałej geometrii noża tokarskiego $\gamma = 8^{o}$, $r_{\varepsilon} = 0$



Rys.3. Geometria wióra uzyskana drogą toczenia pręta ø 15 mm w gat. CuZn39Pb3 przy parametrach n = 2500 obr./min., posuw p = 0,03 mm/obr. i stałej geometrii noża tokarskiego $\gamma = 8^{o}$, $r_{\varepsilon} = 0$

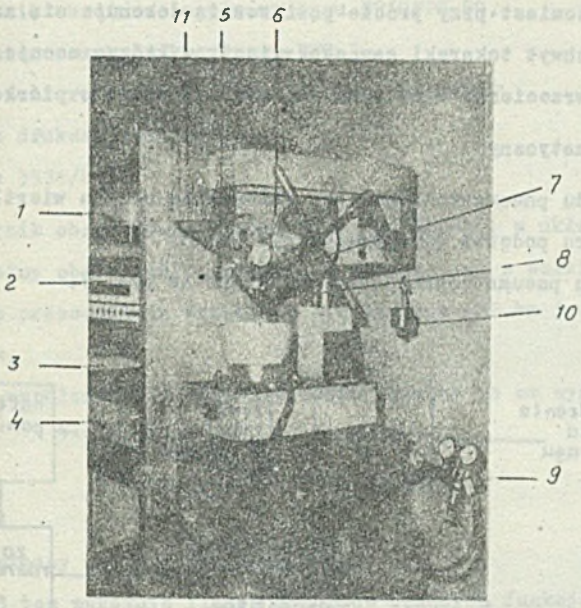


Rys.4. Geometria wióra uzyskana drogą toczenia pręta ø 15 mm w gat. CuZn39Pb3 przy parametrach n = 1000 obr./min, posuw p = 0,08 mm/obr. i stałej geometrii noża tokarskiego $\gamma = 8^{o}$, $r_{\varepsilon} = 0$



Rys.5. Geometria wióra uzyskana drogą toczenia pręta ø 15 mm w gat. CuZn39Pb3 przy parametrach n = 1000 obr./min, posuw p = 0,12 mm/obr. i stałej geometrii noża tokarskiego $\gamma = 8^{o}$, $r_{\varepsilon} = 0$

- drukarka 3534b.



Rys. 6 Stanowisko do badania skrawalności prętów z mosiądzów ołowiowych metodą powiercania i toczenia

1-drukarka 3534b
2-elektroniczny wskaźnik cyfrowy EWC-3
3-częstościomierz czasowy C-560
4-zasilacz drukarki 3511a
5-przetwornik pomiarowy EZ/CPPC/50
6-wiertarka WSD6AZ
7-uchwyt wiertarki
8-osłona na uchwyt wiertarki
9-układ pneumatyczny
10 -obciążniki
11 -osłona układu elektronicznego

Opis zespołów i układów wspólnych dla obu metod.

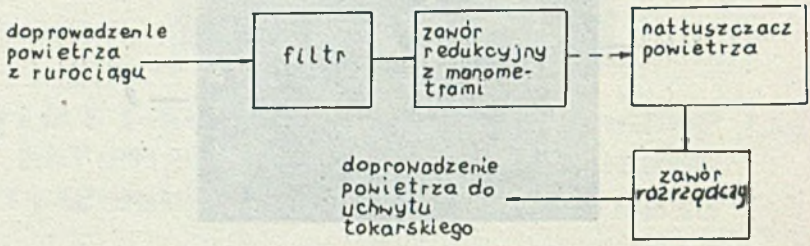
A. Zespół wiertarki

Podstawowym elementem zespołu wiertarki /rys.6/ jest zmodernizowana wiertarka stołowa typu 2H106 prod. ZSRR o 7 stopniach prędkości wrzeciona: 1000, 1400, 2000, 2800, 4000, 5000 i 8000 obr./min. Na wiertarce zamontowany jest układ wymuszający stałą siłę posuwową na wrzeciona, składający się z dwóch krążków, linki stalowej lub nylonowej z zamocowanym na jej końcu ciężarkiem. Krążek linowy jest sztywno związany z wałkiem zębatym wiertarki w miejscu dźwigni ręcznego posuwu wrzeciona /rys.6/. Zatrzymanie wrzeciona na dowolnej wysokości zabezpiecza mechanizm zatrzas-

kowy. Zamocowanie próbki do toczenia dokonuje się w uchwycie wrzeciona wiertarki, natomiast przy próbie powiercania dokonuje się zmiany imaka nożowego na uchwyt tokarski samocentrujący, w którym mocuje się próbkę, natomiast we wrzecionie wiertarki mocuje się wiertło piórkowe.

B. Układ pneumatyczny

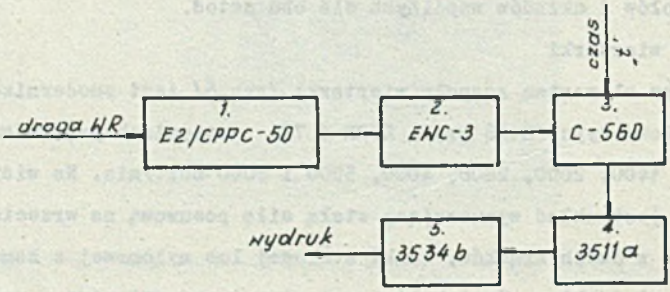
Zadaniem układu pneumatycznego jest chłodzenie ostrza wiertła i usuwan wiórów z otworu podczas przeprowadzania badań.
Schemat układu pneumatycznego przedstawiono na rys. 7.



Rys.7. Schemat blokowy układu pneumatycznego

C. Układ pomiarowy

Elektroniczny układ pomiarowy ma za zadanie przetworzenie i rejestracj przesunięcia wrzeciona wiertarki w postaci impulsów w funkcji czasu.
Schemat blokowy układu pomiarowego pokazano na rys. 8.



Rys.8. Schemat blokowy układu pomiarowego

Schemat blokowy układu pomiarowego:

1 przetwornik obrotowo-impulsowy typu E2/CPPC-50,

2 elektroniczny wskaźnik cyfrowy EWC-3,

3 częstościomierz - obrotomierz liczący typ C-560,

4 zasilacz drukarki 3511a,

5 drukarka 3534/b,

- przetwornik obrotowo-impulsowy typu E2/CPPC-50; w układzie pomiarowym jeden pełny obrót wałka zębatego - połączonego z wałkiem przetwornika - powoduje przesunięcie wrzeciona wiertarki o 202 mm i wytworzenie 5000 impulsów.

  Wartość współczynnika zamieniającego impulsy na mm wynosi:

$$C = \frac{202}{5000} = 0{,}0404 \text{ mm/imp.}$$

- elektroniczny wskaźnik cyfrowy EWC-3.

  Przyrząd ten wskazuje liczbę impulsów będących funkcją przesunięcia wrzeciona wiertarki w rozpatrywanym okresie czasu.
- częstościomierz liczący typ C-560 został zastosowany jako przelicznik, rejestruje ilość impulsów wykazanych przez wskaźnik EWC-3 w przedziałach czasu regulowanych w odstępach 0,3; 1 i 3 s.
- drukarka 3534b rejestruje na taśmie stan licznika częstościomierza C-560.

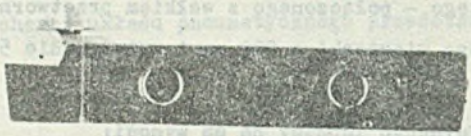
2.2. Zasada pomiaru skrawalności przez powiercanie i toczenie ze stałą siłą posuwową

Metoda powiercania i toczenia stałą siłą posuwową jest zmodyfikowaną - metodą Keep-Bauera, w której rozgraniczono zakres średnio badanego materiału:

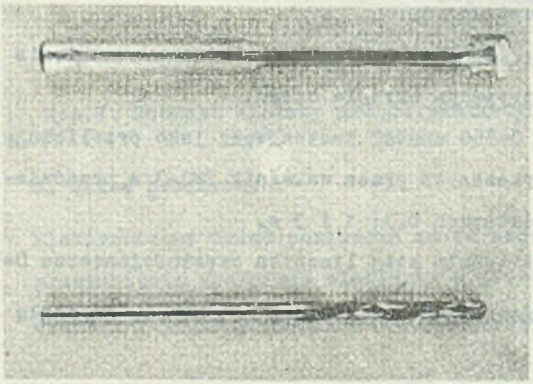
a/ dla probek o średnicy ø 2 mm do ø 10 mm wprowadzono toczenie zamocowanego w wrzecionie wiertarki badanego materiału nożem tokarskim przy stałej głębokości skrawania "g", prędkości obrotowej wrzeciona "n" i stałej sile posuwowej "P".

Do metody toczenia używa się noża składanego hR11717-16, przystosowanego do imaka nożowego z płytką trójkątną z węglikow spiekanaych S10S typ TPUN-110302, przedstawionego na rys. 9.

b/ dla probek o srednicy ϕ 7,5mm do ϕ 100mm stosuje się metodę polegającą na wstępnym wywierceniu otworu ϕ 3,0mm, a następnie powiercaniu wiertłem piórkowym ϕ 6,0mm /rys.10/ przy stałej prędkości obrotowej "n", stałej sile posuwowej "P", stałej geometrii narzędzia /rys.9 i 10/ oraz stałym ciśnieniu powietrza.



Rys.9. Nóż składany MR 117-16



Rys.10. Wiertło piórkowe i wiertło kręte

Zainstalowany na stanowisku badawczym elektroniczny układ pomiarowy pozwala na automatyczną rejestrację wyników.

Za miarę skrawalności w tej metodzie przyjęto prędkość ruchu posuwistego wrzeciona wiertarki, z jakim przesuwa się ono względem nieruchomego noża lub próbki /zależnie od metody pomiaru/ pod wpływem stałej siły posuwowej "P".

Wskaźnik skrawalności jest wynikiem oporu jaki badany materiał stawia narzędziu w danych warunkach skrawania.

Średni posuw wrzeciona wiertarki dla metody powiercania i toczenia ze stałą siłą posuwową dobiera się na podstawie danych stosowanych w przemyśle

lub doświadczalnie przez odciążanie względnie dociążanie wrzeciona wiertarki za pomocą układu wymuszającego stałą siłę posuwową.
Tak więc w przedstawionej metodzie badań oportu skrawania, skrawalność mosiądzów można określić dwoma wskaźnikami:
- wskaźnikiem skrawalności bezwzględnej "L" mm/min.

$$L = \frac{n}{\Delta t} \cdot c \cdot 60 \ [mm/min],$$

gdzie: Δt - rozpatrywany przedział czasu,
n - liczba impulsów odpowiadająca rozpatrywanemu przedziałowi czasu,
c - stała układu pomiarowego,

- wskaźnikiem skrawalności względnej materiału B względem A

$$S_{B/A} = \frac{LB}{LA} \cdot 100 \ \%$$

3. Badania własne [3,4,5]

3.1. Omówienie przebiegu prób przemysłowych oraz wyników laboratoryjnych.

Najwierniejszą metodą oceny skrawalności mosiądzów ołowiowych jest sprawdzanie ich na automatach tokarskich u odbiorców, przy stosowaniu parametrów w warunkach produkcyjnych.
Stąd pierwsze próby dla uchwycenia autentycznych warunków i parametrów w jakich pracują pręty z mosiądzów ołowiowych zostały przeprowadzone w zakładzie przemysłowym na szybkoobrotowych automatach tokarskich typu BP-8U oraz AD6. Próby przeprowadzono przy następujących stałych parametrach:
- prędkość skrawania od 80-120 m/min /Prędkość obrotów wrzeciona tokarki 5 250 obr/min/,
- posuw wzdłużny 0,08 mm/obr.,
- noże tokarskie wykonane ze stali szybkotnącej o kącie natarcia $\gamma = 8^{o}$ i $r_{\varepsilon} = 0$,
- czas wykonania jednego detalu 8 s.

Pręty sklasyfikowano w czterech grupach jakości przyjmując za ocenę skrawalności:
- jakość powierzchni po obróbce wiórowej,

- jakość i łamliwość wióra,
- stopień skłonności do tworzenia narostów na ostrzu narzędzia skrawającego.

I tak, grupę pierwszą stanowiły pręty, które w obróbce wiórowej charakteryzowały się następująco:
wiór łupkowo-odcinkowy odpryskowy, jakość powierzchni zadawalająca, bez skłonności tworzenia się narostów na ostrzu narzędzi.
Grupa druga: wiór łupkowo-odcinkowy o większych wymiarach, jakość powierzchni zadawalająca, bez skłonności do tworzenia narostów na ostrzu narzędzi.
Grupa trzecia: wiór odcinkowy, bardzo rozdrobniony, jakość powierzchni zadawalająca, bez skłonności do tworzenia się narostów na ostrzu narzędzi.
Grupa czwarta: wiór niejednakowej wielkości z występowaniem wióra spiralnego, jakość powierzchni niezadawalająca ze skłonnością do tworzenia narostów na ostrzu narzędzia.
Do pierwszej i drugiej grupy sklasyfikowano pręty, których % zawartość Pb w stopie wynosiła od 1,5 do 3,9 %, w stanie ciągnionym oraz po obróbce cieplnej dla których wielkość ziarna wynosiła 10 μm, procentowy udział fazy β' mieścił się w granicach od 22 do 29 %, średni procentowy udział monotektyki ołowiowej w badanych obszarach przekroju poprzecznego wynosił od 0,1 do 1,2 % i średniej średnicy cząstki ołowiu od 1,1 do 1,8 μm.
Do trzeciej grupy sklasyfikowane zostały pręty, których zawartość ołowiu w stopie wynosiła około 4,0 % w stanie zarówno po ciągnieniu, jak i po końcowej obróbce cieplnej w 300°C.
Procentowy udział fazy β' wynosił od 40 do 60 %, określona łącznie z obecnością ołowiu, a udział monotektyki ołowiowej wynosił od 0,4 do 1,5 %, natomiast średnia średnica cząstek ołowiu wynosiła od 1,1 do 1,5 μm, wielkość ziarna określona metodą porównawczą utrzymywała się w granicach 10 - 15 μm.
Do czwartej grupy zostały zaliczone pręty, których zawartość ołowiu w stopie wynosiła od 1,5 dp 3,0 % zarówno w stanie ciągnionym jak i po końcowej obróbce cieplnej.
Procentowy udział fazy określono na 25 do 45 %. Procentowy udział monotektyki ołowiowej prętów ciągnionych dla stopu o zawartości ok. 2,9 % Pb

wynosił od 1,0 do 1,8 %, a dla prętów po końcowej obróbce cieplnej wynosił 1,8 do 2,5 %, natomiast dla prętów ciągnionych i obrobionych cieplnie w temperaturze 300°C stopu z zawartością ołowiu 1,5 % udział monotektyki ołowiowej wynosił 0,1 do 0,2 %.

Średnia średnica cząstki Pb wynosiła od 1,8 do 2,5 µm przy wielkości ziarna 15 - 25 µm.

Wyniki przeprowadzonych badań [3] przedstawione skrótowo powyżej wykazały, że zarówno proces wytwarzania jak i zawartość poszczególnych składników oraz stereologiczne parametry opisu struktury badanych stopów Cu-Zb-Pb /o % Pb od 1 - 4 %/ mają zasadniczy wpływ na własności otrzymanego wyrobu. Wyniki zebranych doświadczeń stanowiły podstawę do modernizacji technologii produkcji pod kątem polepszenia własności skrawalniczych mosiądzów ołowiowych, tak by spełniały warunki stawiane przez odbiorców ich pełnej przydatności do obróbki skrawaniem na wysokowydajnych automatach.

Jednak dla celów technologicznych, sprawdzania lub selekcji wytwarzanych prętów z mosiądzów ołowiowych przeznaczonych do obróbki wiórowej winno się stosować metodę dającą ocenę skrawalności w próbie krótkotrwałej, przy małych nakładach materiałów i kosztów na jej wykonanie. Jedną z wielu, jest metoda powiercania wiertłem piórkowym wstępnie wykonanego otworu przy stałej sile posuwu i prędkości skrawania [4,5]. Metoda ta pozwala wyeliminować błąd pomiaru wynikający z b. szybkiego zużywania się ścian wiertła piórkowego. Nie odzwierciedla ona pełnych parametrów skrawania, ponieważ mierzy się tylko opór skrawania, lecz dla celów porównawczych lub selekcyjnych u producenta może być z powodzeniem stosowana. Ustalonymi parametrami są tu: stałe obciążenia siłą wrzeciona wiertarki i prędkość obwodowa oraz geometria narzędzia. W próbach tych należy także uwzględniać stopień zużycia narzędzi, który jest jednak jednym z bardziej czasochłonnych etapów badań.

Zestawienie wyników z przeprowadzonych pomiarów oporów skrawania wykonanych metodą powiercania przy stałej sile posuwowej, w zależności od składu chemicznego i własności mechanicznych prętów z mosiądzów ołowiowych /w ilości 300 szt./ zebrano w 11 tabelach.

Ponieważ niemożliwe jest przedstawienie wszystkich zestawionych w 11 tabelach pomiarów / zajęłaby ona zbyt dużą objętość/ stąd w tabelach od 2 do 5

Tab.2. Zestawienie wyników pomiaru oporu skrawania przeprowadzonych metodą powiercania przy stałej sile posuwowej, składu chemicznego i własności mechanicznych dla prętów z mosiądzu ołowiowego w gatunku M059 o średnicy ϕ 10,0 mm

Parametry skrawania:

- prędkość obrotowa wrzeciona n = 5000 obr/min.
- obciążenie F = 4,9 kN
- przedział czasu t = 3 s
- ciśnienie powietrza q = 0,5 bar

Lp	Nr próbki	Bezwzględny wskaźnik skrawalności L-mm/min			Własności mechaniczne			Twardość HV_5 na przekroju podłużnym			śr HV_5	Skład chemiczny		
		L	L-śr	L-śr kręgu	Rm daN/mm²	$R_{0,2}$ daN/mm²	A_5 %					Cu %		Pb
1	11.k	67,87	64,07		53,5	46,5	14,2	154,5	155,7	157,0	155,53			
2	11.k	50,27						157,0	154,5	154,5				
3	12	67,46	66,85		48,8	42,5	15,6	146,0	146,0	144,9	144,13			
4	12.	66,25						142,6	142,6	143,7				
5	13	56,97	59,50	59,99	45,3	44,0	14,7	144,9	144,9	142,6	144,31	58,10		1,80
6	13.	62,05						142,6	144,9	146,0				
7	14	60,60	59,59		50,0	44,6	13,3	152,0	152,0	149,5	150,41			
8	14.	58,58						150,0	149,5	149,5				
9	15.p	59,25	57,04		51,0	43,6	13,3	152,0	150,0	150,0	150,00			
10	15.p	54,84						150,0	149,5	148,5				
11	21.k	60,46	60,85		54,6	43,8	16,5	155,7	155,7	154,5	155,10			
12	21.k	61,24						154,5	155,7	154,5				
13	22	53,05	59,57		55,8	47,8	15,1	153,2	153,2	150,0	152,46			
14	22.	66,09						152,0	153,2	153,2				
15	23	54,94	56,82	59,33	56,0	47,7	15,6	153,5	157,0	157,0	157,00	57,60		1,98
16	23.	58,71						157,7	155,7	157,0				
17	24	57,50	57,03		56,1	48,0	13,3	153,2	153,2	152,0	152,06			
18	24.	56,56						152,0	150,0	152,0				
19	25	58,44	62,42		56,2	47,3	15,1	153,2	150,0	150,0	150,36			
20	25.p	66,41						149,5	149,5	150,0				
21	31.k	51,10	54,34		59,7	52,7	15,6	159,6	158,3	158,3	158,46			
22	31.k	57,59						153,3	159,5	157,0				
23	32	66,25	62,68		55,8	48,0	15,1	154,5	153,2	154,5	154,68			
24	32.	59,11						155,7	154,5	155,7				
25	33	59,04	56,83	57,41	55,9	47,3	13,3	154,5	152,0	152,0	152,81	57,70		1,86
26	33.	55,63						153,2	153,2	152,0				
27	34	56,96	56,41		55,9	47,3	13,3	155,7	153,2	152,0	153,85			
28	34.	55,86						153,2	154,5	154,5				
29	35	57,25	56,83		53,0	40,9	16,5	148,3	146,0	146,0	146,58			
30	35.p	56,42						146,0	146,0	147,2				

Średni bezwzględny wskaźnik skrawalności dla mosiądzu ołowiowego w gatunku M059 ϕ 10,0 mm L = 58,71

Uwaga: p - początek kręgu
k - koniec "

Tab.3. Zestawienie wyników pomiaru oporu skrawania przeprowadzonych metodą powiercania, składu chemicznego i własności mechanicznych dla prętów z mosiądzu ołowiowego w gatunku - stop 360 /CuZn3bPb3/ ø 15,0 mm

Parametry skrawania:

- prędkość obrotowa wrzeciona n = 1250 obr/min.
- obciążenie F = 14,7 kN
- przedział czasu t = 1 s
- ciśnienie powietrza q = 0,8 bar

Lp	Nr próbki	Bezwzględny wskaźnik skrawalności L m/min.			Własności mechaniczne			Twardość HV_5 na przekroju poprzecznym	śr HV_5	Skł.Chem.		Uwagi
		L	L-śr.	L-śr. kręgu	Rm	$R_{0,2}$	A_5			Cu %	Pb %	
					daN/mm²		%					
1	111/1p	74,4						137,2				1 krąg
2	111/2	76,0	75,9		451,0	406,0	19,0	139,3	137,9			Nr
3	111/3	77,0						137,2				wiertła
4	112/1s	64,9						137,2				
5	112/2	75,7	68,9	72,5	421,5	305,5	18,0	137,2	137,5	60,75	3,40	-
6	112/3	66,2						138,2				
7	113/1k	74,2						141,5				
8	113/2	73,5	72,8		459,0	432,0	14,0	141,5	140,8			
9	113/3	70,7						139,3				
10	121/1p	73,8						147,2				2 krąg
11	121/2	74,8	74,5		490,0	458,0	16,0	148,3	147,9			Nr
12	121/3	74,9						148,3				wiertła
13	122/1s	72,2						144,9				3
14	122/2	67,1	67,1	71,7	465,0	434,0	15,6	142,0	144,1	60,25	3,24	-
15	122/3	61,9						144,9				
16	123/1k	74,6						146,0				
17	123/2	72,0	73,5		461,0	435,5	14,4	147,2	146,4			
18	123/3	73,8						146,0				
19	131/1p	72,7						152,0				3 krąg
20	131/2	64,6	68,7		497,0	471,0	14,0	150,0	150,7			Nr
21	131/3	68,7						150,0				wiertła
22	132/1s	67,2						148,3				3
23	132/2	67,4	66,9	66,6	476,0	454,0	14,0	146,0	146,8	60,90	3,24	-
24	132/3	66,1						146,0				
25	133/1k	67,5						152,0				
26	133/2	62,2	64,2		420,5	394,0	15,0	152,0	152,4			
27	133/3	62,9						153,2				

Średni bezwzględny wskaźnik skrawalności dla mosiądzu ołowiowego Stop Nr 360 ø 15,05 mm

L = 70,3

Uwaga: p - początek prasówki

s - środek "

k - koniec "

Tab. 4. Zestawienie wyników pomiaru oporu skrawania metodą powiercania, składu chemicznego i własności mechanicznych dla prętów z mosiądzu ołowiowego w gatunku - stop 360 /CuZn3bPb3/ ø 15,0 mm.

Parametry skrawania:

- prędkość obrotowa wrzeciona n = 5000 obr/min.
- przedział czasu t = 3 s
- ciśnienie powietrza q = 0,5 bar

Lp.	Nr próbki	Bezwzględny wskaźnik skrawalności L-mm/min.			Własności mechaniczne			Twardość HV_5 na przekroju podłużnym	Śr. HV_5	Skład chemiczny %	
		L	L-śr	L-śr. kręgu	Rm	$R_{0,2}$	A_5			Cu	Pb
					daN/mm²		%				
1.	11.k	69,81	71,17		39,4	34,6	20,1	121,5 122,6 121,7	122,13		
2	11.k	72,54						122,6 121,6 120,8			
3	12	67,71	70,21		39,4	34,1	27,0	119,1 118,3 117,4	118,41		
4	12.	72,72						118,3 118,3 119,1			
5	13	78,31	72,63	71,46	39,8	34,4	23,6	121,7 121,7 120,8	121,70	60,95	2,99
6	13.	66,96						120,8 122,6 122,6			
7	14	69,48	71,01		39,5	33,8	23,6	121,7 122,6 122,6	121,28		
8	14.	72,54						120,8 120,0 120,0			
9	15	74,49	72,31		40,8	36,0	22,4	124,4 123,5 124,4	124,73		
10	15.p	70,13						123,5 126,3 126,3			
11	21.k	60,86	62,36		39,5	34,8	23,0	122,6 122,6 121,7	122,3		
12	21.k	63,87						122,6 121,7 122,6			
13	22	72,39	74,80		38,1	32,6	26,0	122,6 121,7 120,0	119,15		
14	22.	77,22						117,4 116,6 116,6			
15	23	73,68	70,32	72,58	38,0	31,9	27,0	122,6 122,6 120,8	121,41	61,10	2,99
16	23.	66,96						120,8 119,1 122,6			
17	24	72,72	72,72		39,5	33,8	24,0	122,6 121,7 120,8	121,13		
18	24.	72,72						121,7 120,0 120,0			
19	25	82,73	82,73		42,3	35,5	27,0	126,3 128,1 126,3	125,35		
20	25.p	82,73						124,4 123,5 123,5			
21	31.k	69,38	74,08		38,2	32,1	23,0	121,7 120,0 118,3	118,0		
22	31.k	78,78						115,3 115,3 117,4			
23	32	74,27	74,18		37,2	31,0	27,0	120,0 120,8 120,8	120,83		
24	32.	74,10						120,0 121,7 121,7			
25	33	65,14	65,45	71,06	39,5	33,1	27,0	114,2 113,4 114,2	115,00	67,15	2,76
26	33.	65,77						115,0 116,6 116,6			
27	34	68,72			38,3	32,3	25,0	123,5 121,7 119,1	120,41		
28	34.							119,1 119,1 120,0			
29	35	75,14	72,87		41,7	35,3	29,0	127,2 126,3 126,3	125,83		
30	35.p	70,61						125,4 124,4 125,4			

Średni bezwzględny współczynnik skrawalności dla mosiądzu ołowiowego ze stopu 360 ø 15,83 mm L = 71,70

Uwaga: p - początek kręgu

k - koniec "

Tab.5. Zestawienie wyników pomiaru oporu skrawania metodą powiercania, składu chemicznego i własności mechanicznych dla prętów z mosiądzu ołowiowego w gatunku CuZn39Pb3 - ϕ 16 mm

Parametry skrawania:

- prędkość obrotowa wrzeciona n = 1250 obr/min.
- obciążenie F = 14,7 kN
- przedmiot czasu t = 1 s
- ciśnienie powietrza q = 0,8 bar

Lp.	Nr próbki	Bezwzględny wskaźnik skrawalności L mm/min.			Własności mechaniczne			Twardość HV na przekroju poprzecznym	Śr. HV_5	Skład chem. %		Uwagi
		L	L-śr.	L-śr.kręgu	Rm	$R_{0,2}$	A_5			Cu	Pb	
					MPa	MPa	%					
1	211/1p	77,6						155,7				1 krąg Nr wiertła 4
2	211/2	77,1	77,0		518,0	-	21,0	155,7	156,1	58,15	3,13	
3	211/3	76,4						157,0				
4	212/1s	80,2						152,0				
5	212/2	76,6	78,5	79,0	499,0	374,0	23,0	152,0	151,3	57,80	3,47	
6	212/3	78,8						150,0				
7	212/1k	82,4						148,3				
8	212/2	76,6	81,4		499,0	377,5	23,0	148,3	148,9			
9	213/3	85,3						150,0				
10	221/1p	80,9						144,9				2 krąg Nr wiertła 4
11	221/2	76,1	79,5		504,0	378,0	23,0	144,9	145,7			
12	221/3	81,4						147,2				
13	222/1s	74,7						147,2				
14	222/2	70,0	72,9	78,0	509,0	396,0	26,0	148,3	147,6	57,80	3,04	
15	222/3	73,9						147,2				
16	223/1k	80,0						149,5				
17	223/2	83,3	81,7		510,0	416,0	21,0	148,3	148,3			
18	223/3	81,7						147,2				
19	231/1p	86,5						150,0				3 krąg Nr wiertła 4
20	231/2	82,9	81,5		497,0	391,0	20,0	150,0	150,7			
21	231/3	75,0						152,0				
22	232/1s	75,4						154,5				
23	232/2	80,5	78,0	81,2	484,0	356,0	26,0	155,7	155,3	57,90	3,27	
24	232/3	-						-				
25	233/1k	84,0						140,7				
26	233/2	78,0	84,2		498,0	383,0	21,0	141,5	142,2			
27	233/3	89,9						141,5				

Średni bezwzględny wskaźnik skrawalności dla mosiądzu ołowiowego w gat. CuZn39Pb3 ϕ 16 mm L = 79,4

Uwaga: p - początek prasówki

s - środek "

k - koniec "

podano przykładowo część wyników ilościowych z badań oporu skrawania wykonanych metodą powiercania, przy stosowaniu różnych ustalonych parametrów skrawania dla trzech gatunków mosiądzów, tj. M059, CuZn36Pb3 i CuZn39Pb3 wraz z własnościami mechanicznymi oraz składem chemicznym - składników podstawowych. Średnice badanych prętów wynosiły: 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 i 18 mm.

Parametry skrawania przy których prowadzono próby były następujące:

	I	II	III
n - prędkość obrotowa wrzeciona - obr/min	5000	1250	5600
P - obciążenie - kN	4,9	14,7	4,33
t - przedział czasu - s	3	1	3
q - ciśnienie powietrza - bar	0,5	0,8	0,5

Zebrane w tabelach wyniki poddano obróbce numerycznej na komputerze WANG-2200 C wykorzystując system MASYW.

Za pomocą modułów tego systemu obliczono wartości średnie, odchylenie standardowe i wariancje dla bezwzględnego wskaźnika skrawalności "L" i własności mechanicznych. Wyniki po obróbce matematycznej przedstawiono w tablicy zbiorczej nr 6. Z wyników tych widać, że dokładność pomiaru "L" dla badanych materiałów jest w zasadzie jednakowa. Wariancję pomiaru wahają się od 8 - 11 %.

Histogramy dla bezwzględnego wskaźnika skrawalności "L" oraz składu chemicznego Cu % i Pb % dla stopu CuZn39Pb3 pokazano na rys. 11 i 12.

Z przedstawionych rysunków wynika, że wartości mierzone mają rozkład normalny. Dokładność ustalenia składu chemicznego jest duża, gdyż współczynniki zmienności są małe i wynoszą 5,17 . 10^{-2} dla % Cu i 1,13 . 10^{-1} dla % Pb. Natomiast współczynnik zmienności dla "L" jest większy i wynosi 11,1 % dla stopu CuZn39Pb3 przy parametrach skrawania n - 5 600 obr./min., obciążenie - 4,33 kN, Δt - 3 s, ciśn. powietrza 0,5 bar.

Powodem tego może być między innymi niejednorodność struktury występująca w zależności od miejsca pobrania próbki z kręgu prasówki i jej średnicy. Badano zatem wpływ miejsca pobranych próbek z kręgu prasówki na wartość "L". Próbki do pomiarów zostały pobrane w pięciu miejscach po 10 szt. w kolejności po sobie następującej z prasówki o długości 260 m dla prętów ø 9,5 mm mosiądzu w gat. CuZn36Pb3. Nie uzyskano jednak zadawalających wyników. Z analizy wyników wpływu miejsca pobierania próbek na długości

Tab.6. Syntetyczne wskaźniki po obróbce matematycznej wyników pomiaru oporu skrawania mosiądzów ołowiowych w gat. M059 ; CuZn36Pb3 i CuZN39Pb3, gdzie:

x - wartości średnie,

σ - odchylenia standardowe,

w - wariancje.

Materiał	L			Rm			$R_{0,2}$			A_5			HV			Cu %	Pb %
	X	σ	W	X	σ	W	X	σ	W	X	σ	W	X	σ	W		
M059 1	56,08	4,53	8,0	53,02	2,64	4,9	44,21	3,03	6,8	18,0	3,52	19,5	148	5,6	3,8	58,54	1,76
CuZn36Pb3 2	74,36	7,01	9,4	41,6	3,21	7,7	37,73	4,66	12,3	21,7	4,7	21,6	172,9	12,2	9,1	61,02	2,9
CuZn36Pb3 3	74,04	8,14	11,0	46,0	19,4	4,2	43,52	2,31	5,3	15,8	1,5	10,0	145,9	4,2	2,9	59,0	3,25
CuZn39Pb3 3	73,9	8,22	11,1	50,0	11,4	2,2	36,75	2,17	5,9	22,5	2,9	12,9	146,6	5,02	3,4	59,2	3,5

prasówki w odniesieniu do wartości "L" dało się jedynie zauważyć pewne tendencje, że najmniejszą skrawalność /mniejsze L/ osiągano w środku kręgu zaś największą na początku. Różnice te jednak są niewielkie i wynoszą średnio w granicach 5 % do 12 %.

Również badanie wpływu średnicy prętów na wartość "L" nie doprowadziły do uzyskania istotnych zależności.

W następnym punkcie analizy matematycznej badano wpływ własności mechanicznych i składu chemicznego na wartość "L". W tym celu dla każdego gatunku badano metodą regresji modele liniowe

$$L = aR_{0,2} + bRm + cA_5 = dHV + e$$

oraz

$$L = f(\% Pb) + g(\% Cu),$$

gdzie: a b c d e f g - szukane współczynniki modelu

Stwierdzono, że istnieje zależność między L a A5 dla gatunku MO59 i CuZn39Pb3

dane postacią:

$$L = -0,68A5 + 68,38 \quad \text{dla MO59}$$

$$L = -43,7\ A5 + 131,11 \quad \text{dla CuZn39Pb3}$$

współczynniki korelacji równały się odpowiednio=

$$R = 0,53 \quad i \quad R = 0,775$$

Podobnie dla tych samych gatunków stwierdzono zależność "L" od składu chemicznego.

Są one dane równaniami:

$$L = 18,5\ \%\ Pb + 23,41 \quad \text{dla MO59}$$

$$L = 93,8\ \%\ Pb - 265,3 \quad \text{dla CuZn39Pb3}$$

Otrzymane współczynniki korelacji wynoszą:

$$R = 0,79 \quad i \quad R = 0,96$$

Równania te mogą służyć jako oszacowanie trendów zależności współczynnika skrawalności "L" od wydłużenia A_5 oraz procentowej zawartości Pb, lecz dla pełnej ich przydatności zależności te należałoby potwierdzić w wielo-

seryjnych badaniach statystycznych.

W celu ujawnienia przyczyn w różnicy skrawalności pomiędzy badanymi próbkami przeprowadzono obserwacje i badania ich mikrostruktury. Obserwacje prowadzono na zgładach wyciętych wzdłuż osi pręta i na przekroju prostopadłym do osi.

Na próbkach zaobserwowano zarówno obszary o pasmowym rozłożeniu ołowiu rys.13.,jak i miejsca wykazujące rozkład jednorodny /rys.14/.

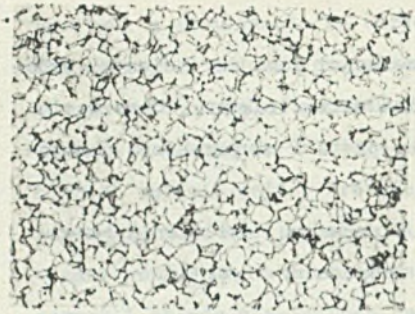
Rys.13. Rozkład cząstek Pb w osnowie stopu CuZn36Pb3, zgład podłużny, powiększenie 60x

Rys.14.Rozkład cząstek Pb w osnowie stopu CuZn36Pb3, zgład podłużny, powiększenie 60 x

Następnie celem określenia wpływu struktury materiału na opór skrawania wyrażony przez L przeprowadzono ilościowe pomiary parametrów mikrostruktury próbek z mosiądzu o dobrej /najwyższym L/ i złej skrawalności /najniższym L/ przy użyciu komputerowego analizatora obrazu typu "Mikrovideomat". Wyznaczono parametry rozkładu wielkości przekrojów kołowych cząstek monotektyki ołowiowej oraz wielkość ziaren fazy α i β', powierzchnię właściwą granic międzyfazowych $S_{V\alpha/\beta'}$ i udział objętościowy /Vv/ fazy β'.

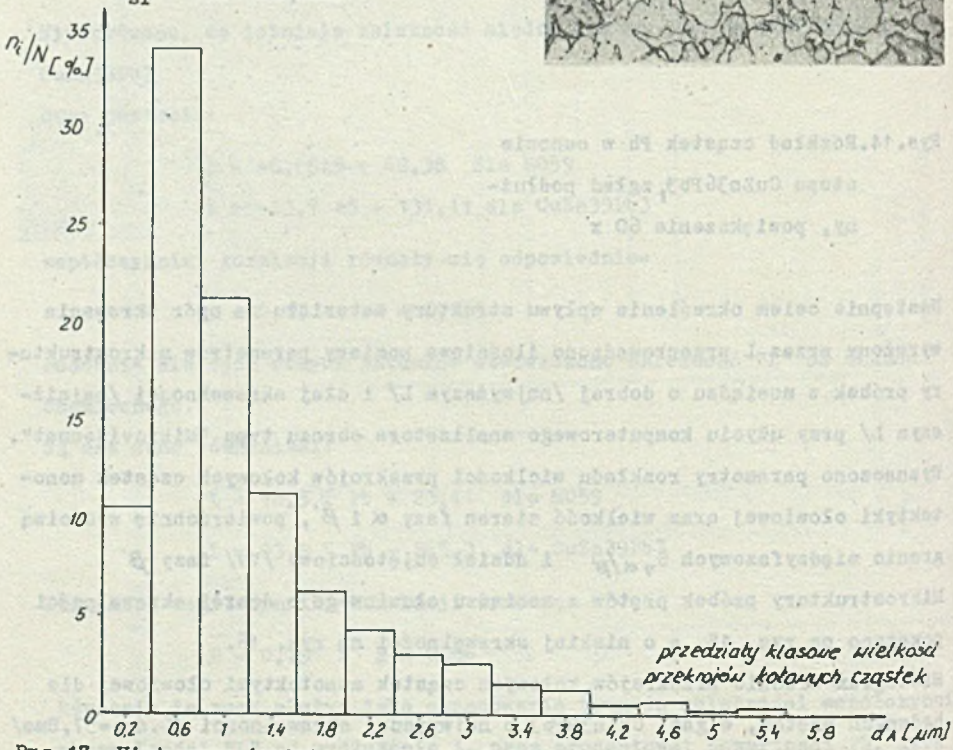
Mikrostruktury próbek prętów z mosiądzu ołowiowego o dobrej skrawalności pokazano na rys. 15, a o niskiej skrawalności na rys. 16.

Histogram średnic przekrojów kołowych cząstek monotektyki ołowiowej dla badanych prętów, w gat. CuZn39Pb3 o najwyższej skrawalności /L.śr.=57,8mm/ /min/ pokazano na rys. 17, a histogram próbki o najniższym wskaźniku L /L = 32,5 mm/min/ tego samego stopu przedstawia rys.18.

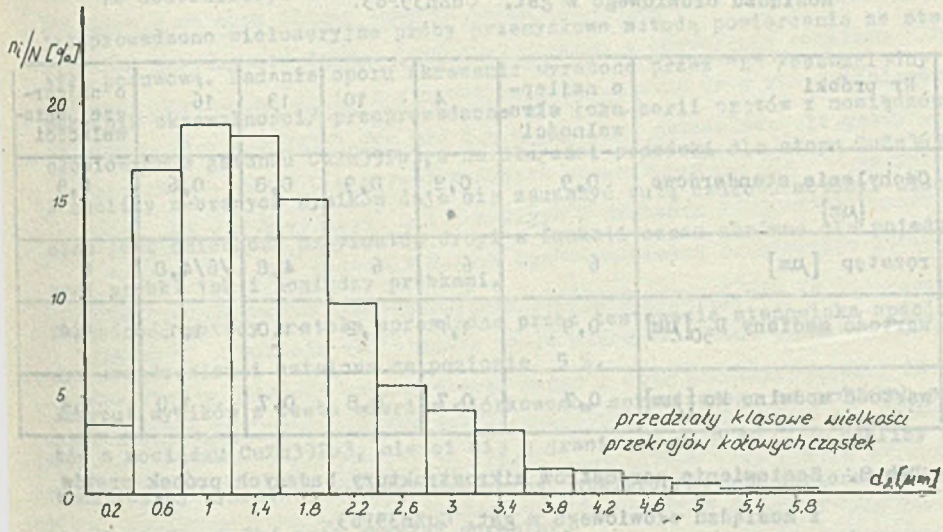


Rys.15. Mikrostruktura próbki z mosiądzu ołowiowego w gat. CuZn36Pb3, zgład poprzeczny do osi pręta, powiększenie 300x o najwyższej wartości $L_{śr}$ = 57,8 mm/min.

Rys.16. Mikrostruktura próbki z mosiądzu ołowiowego CuZn36Pb3 zgład poprzeczny do osi pręta, pow. 300x o najniższej wartości $L_{śr}$ = 33,2 mm/min.



Rys.17. Histogram średnic przekrojów kołowych cząstek monotektyki ołowiowej dla próbki w gat. CuZn39Pb3 o najwyższej skrawalności /L.śr. = 57,8 mm/min/.



Rys.18. Histogram średnic Przekrojów kołowych cząstek monotektyki ołowiowej dla próbki w gat. CuZn39Pb3 o najgorszej skrawalności /Lśr. = 32,5 mm/min/.

Widać w uzyskanych histogramach jak również w przedstawionej tabeli 7 wyraźne różnice parametrów rozkładów wielkości przekrojów kołowych cząstek monotektyki ołowiowej.

Stwierdzone różnice w parametrach rozkładu wielkości średnic przekrojów kołowych cząstek monotektyki ołowiowej ujęte w tabeli 7 świadczą o tym najlepiej. Analizując uzyskane histogramy /rys.17 i 18/ oraz tabelę 7 widać różnice w średniej ważonej cząstek Pb, ich wartości mediany oraz wartości modalnej dla mosiądzu o dobrej i złej skrawalności.

Mosiądz o dobrej skrawalności charakteryzuje się cząstkami monotektyki ołowiowej o mniejszej średnicy, przy czym najwięcej cząstek posiada średnicę 0,6 μm - 0,7 μm /wartość modalna rozkładu/ natomiast w przypadku mosiądzu o złej skrawalności wartość ta wynosi 1,3 - 1,6 μm.

Badania pozostałych parametrów mikrostruktury wykazały szczególnie większą międzyfazową powierzchnię właściwą fazy α i β' /$Sv_{\alpha/\beta'}$ / w granicach 180 mm^2/mm^3 jak również ilość cząstek Pb na jednostkę powierzchni

Tab.7. Zestawienie niektórych parametrów rozkładu wielkości przekrojów kołowych cząstek monotektyki ołowiowej badanych próbek prętów z mosiądzu ołowiowego w gat. CuZn39Pb3.

Nr próbki	o najlepszej skrawalności	4	10	13	16	o najgorszej skrawalności
Odchylenie standardowe [μm]	0,9	0,9	0,9	0,8	0,6	0,9
rozstęp [μm]	6	6	6	4,8	/6/4,8	6
wartość mediany D_{50} [μm]	0,9	1,2	1,2	1,0	1,1	1,4
wartość modalna Mo [μm]	0,7	0,7	0,8	0,7	1,0	1,4

Tab.8. Zestawienie parametrów mikrostruktury badanych próbek prętów z mosiądzu ołowiowego w gat. CuZn39Pb3.

Nr próbki	o najlepszej skrawalności	4	10	13	16	o najgorszej skrawalności
średnia wielkość ziarna [μm] $\bar{D}$ — faza α	15,8	27,7	16,9	38,2	23,0	24,4
średnia wielkość ziarna [μm] $\bar{D}$ — faza β'	10,0	16,4	8,2	16,1	14,1	21,4
międzyfazowa powierzchnia właściwa $S_{V\alpha/\beta'}$ [mm^2/mm^3]	180	118	212	96	135	119
średnia średnica przekrojów kołowych cząstek monotektyki ołowiowej D_A [μm]	1,1	1,3	1,4	1,2	1,2	1,6
udział procentowy fazy β w osnowie stopu V_v [%]	32,5	34,9	31,3	27,7	34,5	46,0
Ilość cząstek Pb na jednostkę powierzchni N_A [$1/mm^2$]	19876	16393	12366	14912	15062	15639

$N_A \cong 20\,000\ ^1/mm^2$ na korzyść mosiądzu o dobrej skrawalności /tab.5./.

4. Wnioski

Po modernizacji stanowiska do badań skrawalności - oporu skrawania, przeprowadzono wieloseryjne próby przemysłowe metodą powiercania ze stałą siłą posuwową. Badanie oporu skrawania wyrażone przez "L" /bezwzględny wskaźnik skrawalności/ przeprowadzono dla 2 serii prętów z mosiądzów ołowiowych w gatunku CuZn39Pb3, a na długości prasówki dla stopu CuZn36Pb3. Z analizy zebranych wyników daje się zauważyć dużą czułość metody. Widoczna jest zmienność przyrostów drogi w funkcji czasu zarówno dla pojedynczej próbki jak i pomiędzy próbkami.

Dokładność metody została sprawdzona przez testowanie stanowiska specjalnym urządzeniem i ustalona na poziomie 5 %.

Rozrzut wyników z testu wiertła piórkowego, sprawdzanego na próbkach prętów z mosiądzu CuZn39Pb3, mieści się w granicach od 9-10 %. Z analizy matematycznej wykonanej metodą numeryczną, stwierdzono, że wartości mierzone /L, % Cu, % Pb/ mają rozkład normalny.

Dokładność ustalenia składu chemicznego jest duża, gdyż współczynniki zmienności są małe i wynoszą $5,17 \cdot 10^{-2}$ dla % Cu i $1,18 \cdot 10^{-1}$ dla % Pb. Natomiast współczynnik zmienności dla całej partii prób /I,II i III serii gat. CuZn39Pb3/ jest większy i wynosi 11,1 %. Powodem wpływającym na rozrzut wyników może być niejednorodność strukturalna.

Analizując uzyskane wyniki pomiaru oporu skrawania można stwierdzić pewien ich związek z wyznaczonymi parametrami mikrostruktury. Cechami charakterystycznymi próbek o dużym oporze skrawania /małym Lśr/ są:

- mała dyspersja ołowiu, największy udział fazy β',
- najmniejsza właściwa powierzchnia międzyfazowa $Sv_{\alpha/\beta'}$.

Natomiast próbki o małym oporze skrawania charakteryzują się:

- stosunkowo dużą dyspersją cząstek Pb,
- dużą międzyfazową powierzchnią właściwą.

Reasumując można stwierdzić, że pręty z mosiądzu ołowiowego o dobrej skrawalności będą charakteryzować następujące czynniki:

- duża dyspersja cząstek ołowiu, mała wartość D_A - tj. średniej średnicy przekrojów kołowych cząstek monotektyki ołowiowej /na badanym stopie

CuZn39Pb3 w granicach ~ 1,1 /µm/, mała wartość mediany D_{50} ~ 0,9 µm i wartość modalna Mo ~ 0,7 µm/

- duża powierzchnia rozdziału faz /$S_{v\ \alpha/\beta'}$. ~ 180 mm^2/mm^3/,
- duża ilość cząstek Pb na jednostkę powierzchni/NA ~ 20 000 $1/mm^2$/.

Ponadto stwierdzić należy, że dla całej badanej partii prób /w ilości 300 szt./ mosiądzu ołowiowego w gatunku CuZn39Pb3 średni bezwzględny wskaźnik skrawalności Lśr = 42 mm/min. przy zachowaniu stałych ustalonych parametrów próby, tj. obciążeniu 4,33 kN, n = 5 600 obr./min, t = 3 s, ciśnieniu powietrza 0,5 bar nawiercaniu wiertłem krętym ø 3,0 mm, a powiercaniu wiertłem piórkowym z końcówką z węglika H10 o średnicy ø 6,0 mm. Dolna odchyłka rozrzutu od przedstawionego wyniku wynosiła Lśr = 10 mm/min. Oznacza to, że dla gatunku mosiądzu ołowiowego CuZn39Pb3 ustalona dolna wartość badanego oporu skrawania winna wynosić Lśr minimum = 32 mm/min. Wyniki przeprowadzonych prób i badań przedstawione skrótowo w referacie, wykazały, że zarówno proces wytwarzania jak i wartość poszczególnych składników, a szczególnie postać oraz forma występowania Pb mają zasadniczy wpływ na strukturę i własności otrzymywanego wyrobu.

Ilościowe badania opisu stereologicznych parametrów struktury stopu Cu-Zn-Pb pozwoliły na scharakteryzowanie stopów o dobrej skrawalności. Ponadto wykazały, że stopy te można w wielkiej mierze polepszyć, tak by spełniały warunki stawiane przez odbiorców ich pełnej przydatności do obróbki skrawaniem na wysokowydajnych automatach. Przedstawiona metoda badania oporu skrawania jest jedną z wielu, wg której można oceniać podatność do skrawania produkowanych prętów z mosiądzów ołowiowych. Może ona stanowić u producenta instrument klasyfikacyjny prętów przeznaczonych do obróbki wiórowej.

Zdajemy sobie sprawę, że jest to uproszczona metoda, według której mierzy się jeden z parametrów szeroko pojętej "skrawalności", gdyż dla pełnej oceny szeroko pojętej skrawalności należałoby jeszcze brać pod uwagę takie czynniki, jak: opór skrawania wyrażony w jednostkach siły, okres trwałości ostrza narzędzi, geometrię wióra oraz jakość powierzchni po obróbce skrawaniem jak również skłonność do tworzenia narostów na ostrzu narzędzia.

5. Literatura

1. P. Isler i inni. Prometall 3/73 str. 19-20

2. P. Isler i inni. Prometall 3/73 str. 21-23

3. W. Krochmal i inni. Sprawozdanie IMN nr 2027/76/1
Sprawozdanie IMN nr 2159/77 niepublikowane

4. W. Krochmal i inni. Sprawozdanie IMN nr 2480/79

5. W. Krochmal i inni. Sprawozdanie IMN nr 2480/II/81

Wiesław KROCHMAL, Antoni KUBIS

INVESTIGATION OF THE LEADED BRASS MACHINING PROPERTIES

Summary

The course of investigations is described and the laboratory and industrial test results are given. It is suggested to use for the machining properties evaluation the "L" absolute machinability index issuing from the cutting resistance measurement method carried aut at the constant feed force, the index being the factor classyfying the leaded brass rods assigned for machining. The trials are presented to define the interdependence of the "L" absolute machinability index and the chemical composition of the basic components, mechanical properties as well as the stereological structure description parameters of the CuZnPb two-phase alloy.