

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
INSTYTUT MASZYN PRZEPIYWOVYCH

PRACE
INSTYTUTU MASZYN
PRZEPIYWOVYCH

TRANSACTIONS
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

74

WARSZAWA—POZNAN 1977

P A Ń S T W O W E W Y D A W N I C T W O N A U K O W E

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPŁYWOWYCH

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

KOMITET REDAKCYJNY—EXECUTIVE EDITORS
KAZIMIERZ STELLER — REDAKTOR — EDITOR
WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ZENON ZAKRZEWSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA — EDITORIAL OFFICE

Instytut Maszyn Przepływowych PAN,
80-952 Gdańsk, skr. pocztowa 621, ul. Gen. Józefa Fiszer 14, tel. 41-12-71

Copyright

by Państwowe Wydawnictwo Naukowe

Warszawa 1977

Printed in Poland

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE — ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 350+90 egz.	Oddano do składania 1 II 1977 r.
Ark. wyd. 13,5. Ark. druk. 10,25.	Podpisano do druku 2 VIII 1977 r.
Pap. druk. sat. kl. V, 70 g.	Druk ukończono w sierpniu 1977 r.
Nr zam. 72/239, 70×100 cm. U-1/466.	Cena zł 42,—

DRUKARNIA UNIwersytetu IM. A. Mickiewicza w Poznaniu

ZBIGNIEW KRÓLIKOWSKI, TADEUSZ KRZYSZTOFOWICZ

Gdańsk

Próba usystematyzowania stopów miedzi stosowanych na napędowe śruby okrętowe

Zebrano składy i własności mechaniczne około 80 stopów miedzi na śruby napędowe. Dla skorelowania własności wytrzymałościowych i składu chemicznego zaproponowano przeliczenie składników na równoważniki: cynku [ZN] dla mosiądzów i aluminium [AL] dla brązów.

1. Wstęp

W literaturze [1, 2, 3, 5, 9, 10, 15, 16, 18] spotyka się bardzo wiele gatunków stopów miedzi stosowanych w okrętownictwie do wytwarzania napędowych śrub okrętowych. W niniejszej pracy zebrano dane o około 80 stopach, rozważając ich składy chemiczne oraz własności mechaniczne. Już powierzchowna analiza tych materiałów nasuwa poważne wątpliwości co do sensu stosowania tak wielkiej ilości stopów. Wydaje się też, że kilka z nich opracowano tylko ze względów konkurencyjnych, stąd często obserwuje się małe różnice w składach chemicznych przy zbliżonych właściwościach mechanicznych.

Zasadniczym celem niniejszego opracowania jest próba uporządkowania tak znacznej ilości stopów, ze sprowadzeniem ich do „wspólnego mianownika”, co pozwoliłoby na łatwiejsze porównanie materiałów. Wspólnym mianownikiem będą równoważniki cynku [ZN] dla mosiądzów i równoważniki aluminium [AL] dla brązów obliczone ze znanych składów chemicznych poszczególnych stopów. Wielkościami porównywanymi będą wartości wytrzymałości na rozciąganie R_m . Dla możliwie pełnego scharakteryzowania rozważanych stopów podawano w tabelach także R_e , A_5 i HB , jednakże wielkości tych już nie analizowano. W zestawieniach rozważano tylko wieloskładnikowe stopy miedzi, pomijając stopy najprostsze, a mianowicie mosiądze dwuskładnikowe, brązy cynowe i brązy aluminiowe, które praktycznie nie są już stosowane do wytwarzania śrub okrętowych; jednakże własności mosiądzów dwuskładnikowych i brązów aluminiowych zostały przyjęte jako odniesienie dla omawianych wieloskładnikowych stopów miedzi.

Przedmiotem opracowania są stopy na osnowie miedzi oraz „Sonoston”, zawierający tylko 37% Cu, który roboczo włączono do brązów aluminiowo-manganowych.

Zakresy składów chemicznych i własności mechanicznych przedstawione w tabelach zbiorczych uzupełniono wartościami średnimi. Zdarzały się bowiem przypadki, że stopy o tej samej nazwie i podobnych własnościach mechanicznych wykazywały pozornie różne

składy chemiczne i dopiero określenie średnich zawartości poszczególnych składników wyjaśniło sytuację. Dla takich przypadków w dalszych rozważaniach pomijano odpowiedniki; jeżeli jednak wystąpiły różnice chociażby w zawartości jednego składnika, uwzględniano wszystkie stopy, traktując je jako równorzędne odmiany. Zawartości niektórych składników, a mianowicie cynku lub miedzi, określane są w materiałach jako „reszta”, co uwzględniono w tabelach zbiorczych znakiem *R*. Do obliczeń równoważników konieczna była jednak znajomość konkretnych wartości. Ustalono je jako dopełnienie do 100%, przyjmując dla pozostałych składników średnie ich zawartości.

W celu uniknięcia powtarzania w tekście nazw lub symboli stopów, w tabelach zbiorczych każdy z nich opatrzono kolejną liczbą porządkową, konsekwentnie używaną następnie w treści, tabelach i na wykresach. Sposób ten ma dodatkową zaletę łatwego odśledzenia charakterystyki każdego stopu, co było szczególnie korzystne przy analizowaniu wykresów.

2. Przegląd stopów na śruby okrętowe

Stopy miedzi dzieli się tradycyjnie na mosiądze, brązy i miedzionikle. Najistotniejszą różnicą między nimi jest zawartość cynku, która charakteryzuje mosiądze zawierające do 45% Zn. W brązach i miedzioniklach cynk nie występuje, albo jest drugim z kolei dodatkiem stopowym, np. w brązach cynowo-cynkowych. Własności wytrzymałościowe brązów, zarówno cynowych jak i aluminiowych, są na ogół większe od własności mosiądzów dwuskładnikowych.

Na śruby okrętowe stosuje się mosiądze i brązy wieloskładnikowe, przy czym głównymi dodatkami są: mangan, aluminium, nikiel i żelazo [10, 18]. Do końca lat sześćdziesiątych mosiądze wieloskładnikowe były w Polsce podstawowymi materiałami na śruby okrętowe. Obecnie ogranicza się ich stosowanie ze względu na nie najlepszą spawalność, która jest szczególnie ważna przy wszelkiego rodzaju remontach i naprawach, natomiast zastępuje się mosiądze wieloskładnikowe różnymi gatunkami brązów wieloskładnikowych. Wiele pływających jednostek posiada jednak jeszcze śruby mosiężne i z tego powodu celowe jest zapoznanie się i z tą grupą stopów.

2.1. Mosiądze wieloskładnikowe

2.1.1. Składy chemiczne i własności mechaniczne

Mosiądze wieloskładnikowe – oprócz głównego składnika, którym jest cynk – zawierają dodatki manganu, aluminium, żelaza, niklu oraz niewielką ilość cyny, którą w większości przypadków można byłoby określić jako domieszkę przypadkową. Stopy te w zastosowaniu na śruby okrętowe dzieli się na mosiądze z głównym dodatkiem manganu (tab. 1) i mosiądze z głównym dodatkiem aluminium (tab. 2). W tabelach 1 i 2 przedstawiono stopy uszeregowane według rosnącej średniej zawartości miedzi, co odpowiada też malejącej sumie pozostałych składników.

Analizując dane tabeli 1 stwierdzamy, że tylko jeden stop nie zawiera aluminium i także jeden nie zawiera żelaza. Ten ostatni składnik z reguły towarzyszy bowiem do-

Tabela 1

Zestawienie składników chemicznych i własności mechanicznych wieloskładnikowych mosiądzów na napędowe śruby okrętowe z głównym dodatkiem manganu

Lp.	Nazwa (symbol)	Produkcja	Zawartość składników w %							R_m [MN/m ²]	$R_{0,2}$ [MN/m ²]	A_5 [%]	HB	Źródło
			Cu	Zn	Mn	Al	Fe	Ni	Sn					
1	Bronzo Al - Mn	G. B.	50 - 56 śr. 53	R ok. 42,4	0,8 - 2 śr. 1,4	0,3 - 0,6 śr. 0,5	0,6 - 1,2 śr. 0,9	0,8 - 2 śr. 1,4	≤0,5 śr. 0,3	450	180*	22	110	[15, 18]
2	G - SoMsNi7	Ger.	R ok. 54,7	33 - 35 śr. 34	1 - 2 śr. 1,5	1 - 2 śr. 1,5	1 - 2 śr. 1,5	6 - 7,5 śr. 6,8	—	470 - 500 śr. 485	180 - 210 śr. 195	20 - 25 śr. 22,5	≥115	[18]
3	ASB 8	Jap.	R ok. 55	35 - 38 śr. 36,5	2 - 4 śr. 3	1 - 2 śr. 1,5	1 - 2 śr. 1,5	2 - 4 śr. 3	0,5	550 - 600 śr. 575	—	20 - 30 śr. 25	120 - 150 śr. 135	[18]
4	Ni Lima	Hol.	55	R ok. 35,6	2	1,2	1,2	5	—	470 - 550 śr. 510	200 - 250 śr. 225	25 - 30 śr. 27,5	120 - 140 śr. 130	[18]
5	G - SoMsNi5	Ger.	R ok. 55	34 - 36 śr. 35	1,5 - 2,5 śr. 3	1 - 2 śr. 1,5	1 - 2 śr. 1,5	4 - 6 śr. 5	—	480 - 500 śr. 490	180 - 210 śr. 195	25 - 35 śr. 30	≥110	[15, 18]
6	ŁMcZ-55-3-1	ZSRR	53 - 58 śr. 55,5	R ok. 40	3 - 4 śr. 3,5	—	0,5 - 1,5 śr. 1	—	—	500	190	20	—	[15, 18]
7	MM55	Pol.	53 - 58 śr. 55,5	R ok. 39,1	3 - 4 śr. 3,5	0,6	0,5 - 1,5 śr. 1	—	≤0,5 śr. 0,3	450	—	15	100	[18]
8	G-SoMs57F45	Ger.	R ok. 56	36 - 40 śr. 38	1 - 2 śr. 1,5	1 - 2 śr. 1,5	1 - 2 śr. 1,5	1 - 2** śr. 1,5	—	500	≥210	20 - 25 śr. 22,5	≥100	[18]
9	ASB 2	Jap.	R ok. 57,3	38 - 41 śr. 39,5	0,7 - 1 śr. 0,85	0,5 - 0,8 śr. 0,65	0,5 - 1 śr. 0,75	0,2 - 0,7 śr. 0,45	0,4 - 0,6 śr. 0,5	500 - 550 śr. 525	—	20 - 35 śr. 27,5	120 - 140 śr. 130	[18]
10	ASB 3	Jap.	R ok. 57,5	37 - 40 śr. 38,5	1 - 1,5 śr. 1,25	1 - 1,3 śr. 1,15	1 - 1,5 śr. 1,25	0,2 - 0,4 śr. 0,3	0,3 - 0,6 śr. 0,45	550 - 600 śr. 575	—	20 - 30 śr. 25	120 - 140 śr. 130	[18]
11	Class A QQ-B-726c	USA	55 - 60 śr. 57,5	R ok. 37,3	1,5	0,5 - 1,5 śr. 1	0,4 - 2 śr. 1,2	0,5	1	452	174***	20	—	[18]
12	QQ-B-723c	USA	57,5	R ok. 37,3	1,5	1	1	0,5	1	450	175***	20	—	[5]
13	Lima	Hol.	55 - 60 śr. 57,5	R ok. 39,7	0,5 - 2,5 śr. 1,5	0,5 - 2 śr. 1,3	—	—	—	450 - 500 śr. 475	—	20 - 30 śr. 25	120	[18]
14	Lima	Hol.	58	R ok. 38,6	1	1	1	—	0,4	500	170*	25	130	[5]
15	G-So-Ms	Ger.	55 - 61 śr. 58	R ok. 33,1	2 - 4 śr. 3	0,5 - 2 śr. 1,25	1,5 - 3 śr. 2,25	1 - 3,5 śr. 2,25	—	450 - 500 śr. 475	200 - 250 śr. 225	19 - 25 śr. 22	110 - 130 śr. 120	[18]
16	HTB 1	G. B.	58 - 62 śr. 60	R ok. 35,8	0,5 - 2 śr. 1,25	1 - 2 śr. 1,5	0,7 - 2 śr. 1,4	1 śr. 0,5	0,3 - 0,6 śr. 0,5	520 - 540 śr. 530	170 - 200 śr. 185	20 - 30 śr. 25	125 - 145 śr. 135	[18]

* $R_{0,1}$, ** 1,5% Ni ≥ Ni + Si + Pb, *** R_e .

Tabela 2

Zestawienie składów chemicznych i własności mechanicznych wieloskładnikowych mosiądzów na napędowe śruby okrętowe z głównym dodatkiem aluminium

Lp.	Nazwa (symbol)	Produkcja	Zawartość składników w %							R_m [MN/m ²]	$R_{0,2}$ [MN/m ²]	A_5 [%]	HB	Źródło
			Cu	Zn	Al	Mn	Ni	Fe	Sn					
17	HTB 3C	G. B.	55	R	3 - 6	0 - 4	0 - 1	1 - 2,5	≤0,02	750	410 - 470*	12	180 - 230	[18]
18	G-SoMs57 F60	Ger.	57	ok. 36,7 R	śr. 4,5 **	śr. 2 **	śr. 0,5 3	śr. 1,75 **	śr. 0,01 **	700	śr. 440 300	20	śr. 205 160	[18]
19	QQ-B-726c	USA	66	ok. 32,5 R	3,25	3,25	—	3,25	0,2	625	310***	18	—	[5]
20	Class K (QQ-B-726c)	USA	66 - 68 śr. 67	ok. 21,5 R	3 - 7,5 śr. 5,25	2,5 - 5 śr. 3,75	—	2 - 4,5 śr. 3,25	≤0,2 śr. 0,1	625	313	18	—	[18]
21	Class E (QQ-B-726c)	USA	66 - 68 śr. 67	ok. 21,5 R	3 - 7,5 śr. 5,25	2,5 - 5 śr. 3,75	—	2 - 4,5 śr. 3,25	≤0,2 śr. 0,1	625	313	18	—	[18]
22	QQ-B-726d	USA	67	ok. 18,9 R	śr. 5 5	śr. 4 4	—	śr. 5 5	śr. 0,1 0,2	625	310	18	—	[5]
23	ŁAMcŻ-68-5, 5-2, 2	ZSRR	66 - 70 śr. 68	ok. 18,8 R	5,4 - 5,8 śr. 5,6	2 - 3 śr. 2,5	—	2 - 3 śr. 2,5	—	580 - 650 śr. 615	250 - 350 śr. 300	16 - 25 śr. 20,5	130 - 160 śr. 145	[15]
24	ŁAMc- 67-5-2-2	ZSRR	67 - 70 śr. 68,5	ok. 21,4 R	5 - 6 śr. 5,5	2 - 3 śr. 2,5	—	2 - 3 śr. 2,5	—	660 - 700 śr. 680	300 - 400 śr. 350	12 - 20 śr. 16	140 - 180 śr. 160	[15]

* $R_{0,1}$, ** (Al + Si + Mn + Fe + Sn) = 7,5, *** $R_{0,15}$.

datkowi manganu. Według tabeli 2 jeden stop wykazuje znaczny rozrzut manganu (od 0 do 4%), a tylko dwa stopy zawierają nikiel.

W tabeli 3 podano zakresy zawartości poszczególnych składników, przyjmując rzeczywiste, a nie średnie ilości pierwiastków. Podobnie ujęto także wielkości wytrzymałości na rozciąganie R_m . Porównanie zakresów R_m wykazuje znacznie większe wartości dla mosiądzów bogatszych w aluminium.

Tabela 3

Zakresy zawartości składników i wytrzymałości na rozciąganie R_m mosiądzów wieloskładnikowych stosowanych na śruby napędowe

Grupa stopów	Ilość stopów w grupie	Zakres zawartości składników w %							R_m [MN/m ²]
		Cu	Zn	Al	Mn	Ni	Fe	Sn	
Mosiądze z dodatkiem manganu	16	50 ÷ 62	33 ÷ 42,2	0,3 ÷ 2	0,7 ÷ 4	0,2 ÷ 7,5	0,4 ÷ 2	0 ÷ 1	450 ÷ 600
Mosiądze z dodatkiem aluminium	8	55 ÷ 70	18,8 ÷ 36,7	3 ÷ 6	2 ÷ 4	0 ÷ 3	1 ÷ 5,5	0 ÷ 0,2	580 ÷ 750
Ogółem	24	50 ÷ 70	18,8 ÷ 42,2	0,3 ÷ 6	0,7 ÷ 4	0 ÷ 7,5	0,4 ÷ 5,5	0 ÷ 1	450 ÷ 750

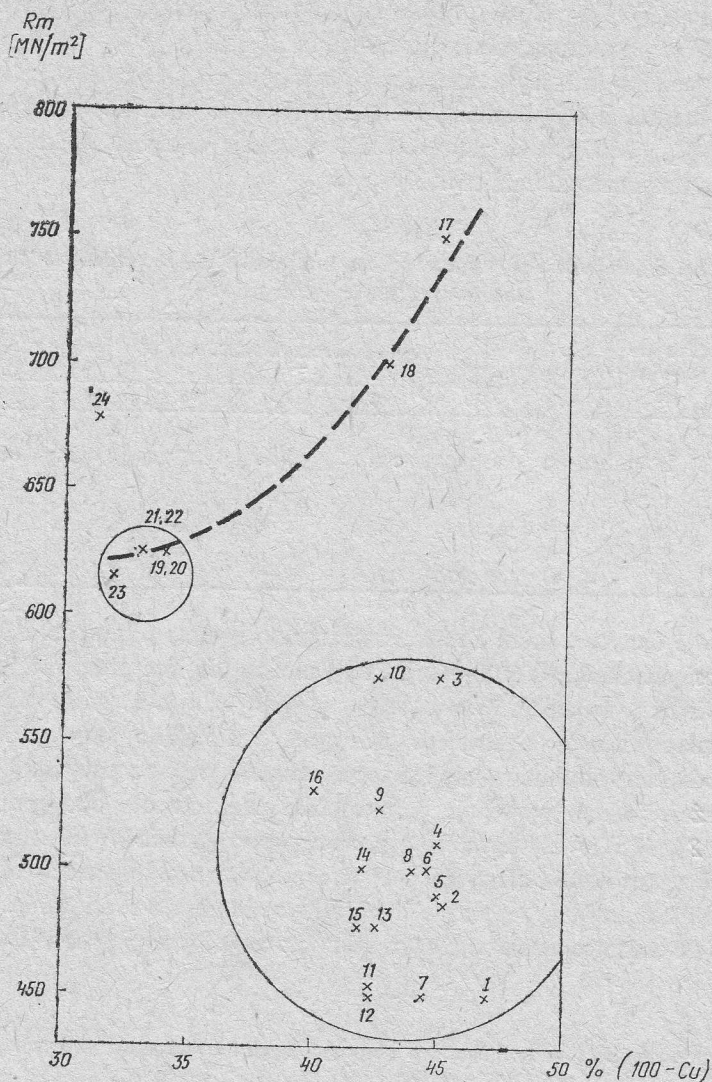
Na podstawie danych z tabel 1 i 2 skonstruowano wykres zależności R_m od sumy dodatków w mosiędzach $R_m = f(100 - \text{Cu})$, który można też interpretować jako zależność od stężenia miedzi w osnowie. Wynik przedstawiono na rys. 1, gdzie dla jednej grupy mosiądzów, mianowicie z dodatkiem manganu, wykreślono krzywą, natomiast dla mosiądzu z dodatkiem aluminium nie było to możliwe, a więc pozostawiono poszczególne punkty. Wyraźnie jednak występuje zgrupowanie punktów dla obu grup mosiądzów, a tylko stopy 24, 17 i 18 usytuowane są poza zgrupowaniami. Wynik z rys. 1 wskazuje na niecelowość zastosowania koncepcji bezpośredniego sumowania zawartości składników w mosiędzach i korelowania tej wartości z wytrzymałością na rozciąganie. Nie uwzględniono tu bowiem zróżnicowania oddziaływania poszczególnych pierwiastków na własności stopów.

Tabela 4

Zestawienie rzeczywistych zawartości cynku w poszczególnych mosiędzach z obliczonymi równoważnikami [ZN] oraz odpowiednimi wartościami R_m

Lp.	Zn _{śr} [%]	[ZN] [%]	$R_{m\text{śr}}$ [MN/m ²]	Lp.	Zn _{śr} [%]	[ZN] [%]	$R_{m\text{śr}}$ [MN/m ²]
1	42,4	45,7	450	13	38,6	46	575
2	34	37	485	14	35,8	46,2	530
3	36,5	45,8	575	15	38	47,3	475
4	35,6	38,9	510	16	33,1	41,6	475
5	35	40,4	490	17	36,7	65,7	750
6	40	42,7	500	18	32,5	—*	700
7	39,1	43	450	19	21,5	57	625
8	39,5	50,3	500	20	21,7	58,2	625
9	38,5	46,3	525	21	18,9	55,6	625
10	38,5	45,1	575	22	18,8	55,7	625
11	37,1	45,1	452	23	21,4	48,2	615
12	39,7	48,7	450	24	21	47,6	680

* Brak poszczególnych stężeń składników uniemożliwia obliczenie równoważnika cynku [ZN].



Rys. 1. Zależność R_m , dla mosiądzów wieloskładnikowych, od sumy dodatków

Dla bardziej miarodajnego ujęcia zależności R_m od składu chemicznego mosiądzów wieloskładnikowych posłużono się współczynnikami Guilleta [17], umożliwiającymi obliczenie wartości równoważnika cynku [ZN]. Równoważnik ten określa ilość cynku, która oddziaływa na strukturę tak, jak zawartość wszystkich dodatkowych składników. Wykorzystanie współczynników Guilleta powinno ograniczyć się w zasadzie do zakresu roztworu α albo mieszaniny $\alpha + \beta'$, tj. do ok. 45% Zn.

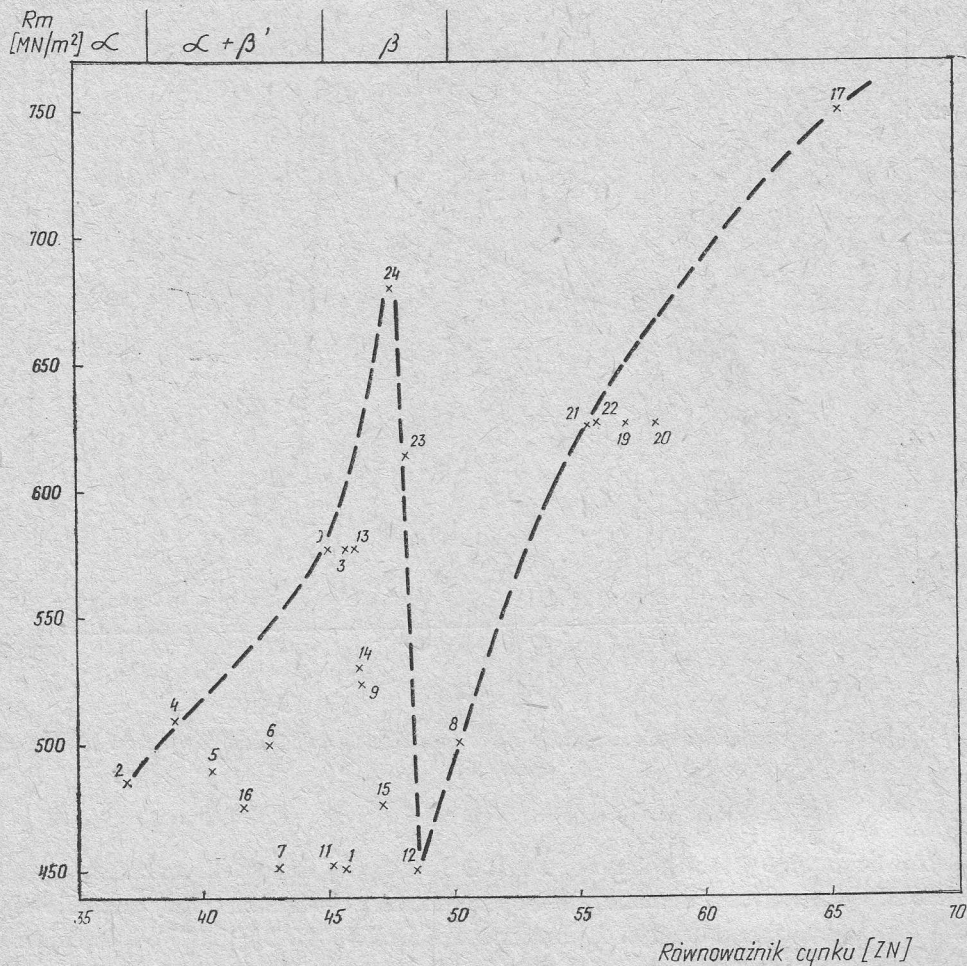
Dla obliczenia równoważników cynku w mosiądzach wieloskładnikowych posłużono się zależnością:

$$[ZN] = Zn + 6Al + 0,5Mn + 2Sn + 0,9Fe + Pb + 10Si - 1,2Ni, \quad (1)$$

gdzie symbolami chemicznymi oznaczono procentowe zawartości ciężarowe poszczególnych pierwiastków w mosiądzu, a liczbami współczynniki Guillela.

Wyniki przeliczeń dla mosiądzów wieloskładnikowych z tabel 1 i 2 zestawiono w tabeli 4, gdzie podano ponadto rzeczywiste zawartości cynku w tych stopach. Porównanie tych wielkości wykazuje, że równoważnik cynku [ZN] w większości przypadków przekracza wartość 45%, a więc można przypuszczać, że stopy te już nie zawierają fazy α .

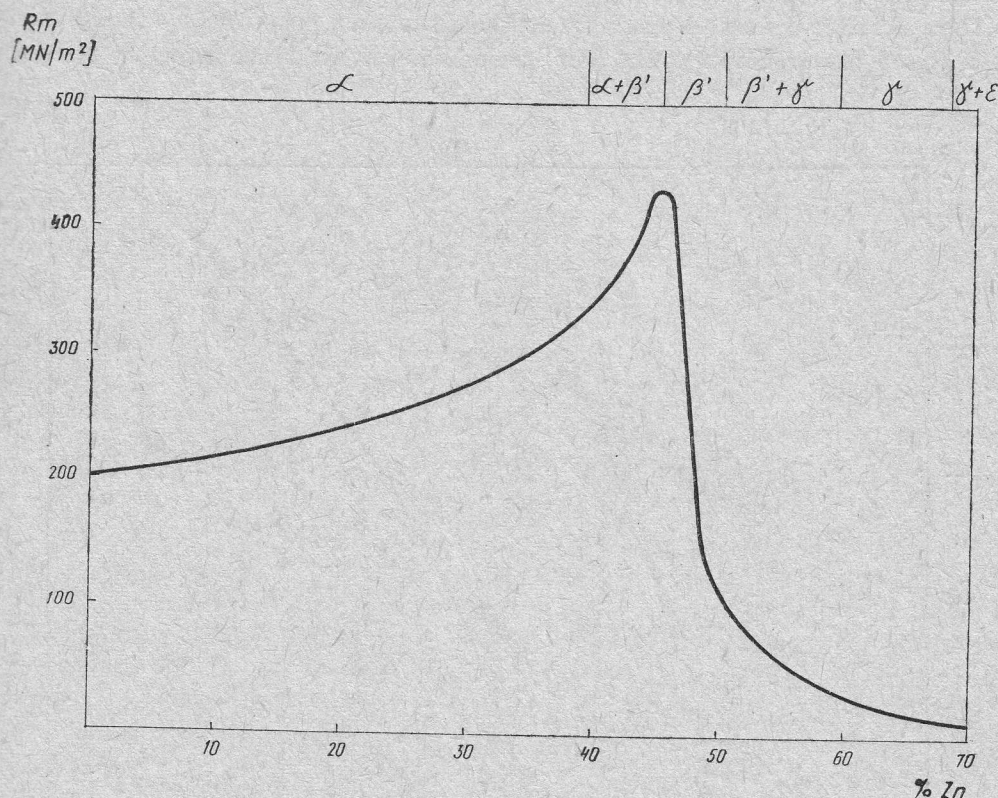
Dane liczbowe z tabeli 4 posłużyły do skonstruowania punktowego wykresu zależności R_m od równoważnika cynku [ZN] dla mosiądzów wieloskładnikowych, przedsta-



Rys. 2. Zależność wytrzymałości na rozciąganie R_m w mosiądzach wieloskładnikowych od równoważnika cynku [ZN]

wionego na rys. 2. Punkty te wytworzyły dosyć charakterystyczne skupienie, a po połączeniu „zewnętrznych” punktów skupień skonstruowano krzywą z charakterystycznym maksimum udokumentowanym punktami 10, 3, 13, 24 i 23, a także minimum — punktami 15, 12 i 8. Krzywa ta do 50% [ZN] odpowiada krzywej z rys. 3, podającej zależność R_m

od zawartości cynku w mosiądzach dwuskładnikowych. Powyżej 50% [ZN] dla mosiądzów wieloskładnikowych następuje zwiększenie R_m , czego nie obserwuje się w mosiądzach dwuskładnikowych powyżej 50% Zn. Podwyższenie R_m charakterystyczne jest dla mosiądzów bogatych w aluminium i wywołane jest działaniem tego składnika.



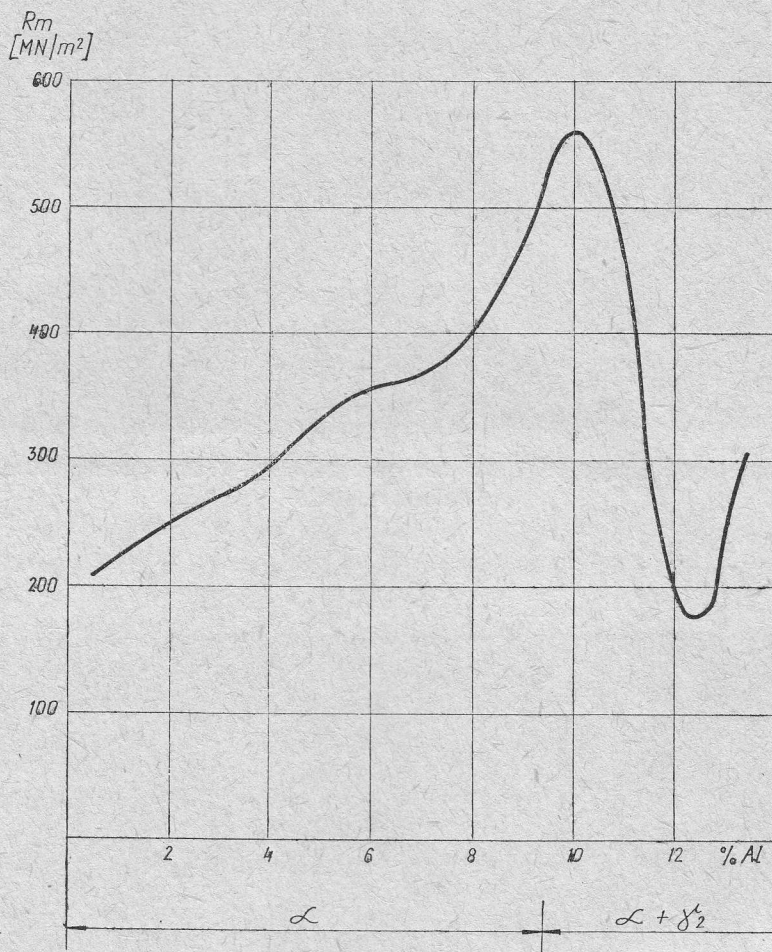
Rys. 3. Zależność wytrzymałości na rozciąganie R_m w mosiądzach dwuskładnikowych od zawartości cynku [6]

Przyrównano więc przebieg krzywej z rys. 2 do krzywej na rys. 4, charakteryzującej zależność R_m od zawartości aluminium w stopach miedzi z aluminium (brązy aluminiove). Okazuje się, że maksimum na rys. 2 przy zawartości około 47, 5% [ZN] odpowiada na rys. 4 maksimum przy zawartości 10% Al, minimum występujące przy zawartości około 48,5 [ZN] (rys. 2) i około 12,5% Al (rys. 4). Powyżej tych ostatnich wartości, na obu rysunkach występuje wzrost krzywych. Wskazuje to więc na silniejsze oddziaływanie aluminium w tej grupie mosiądzów aniżeli dodatku cynku.

Z porównania wykresów na rys. 2, 3 i 4 wynika także, że sumaryczne oddziaływanie dodatków w mosiądzach wieloskładnikowych na wartość R_m jest większe aniżeli indywidualne oddziaływanie dodatków cynku i aluminium.

2.1.2. Budowa strukturalna mosiądzów wieloskładnikowych

Analiza wykresów równowagi dwu- i trójskładnikowych od strony miedzi, jak również dane literaturowe [4, 6, 8, 11, 17, 18] zgodnie wskazują na złożoną budowę strukturalną mosiądzów wieloskładnikowych. Rysunek 2 uzupełniono zakresami występowania charak-



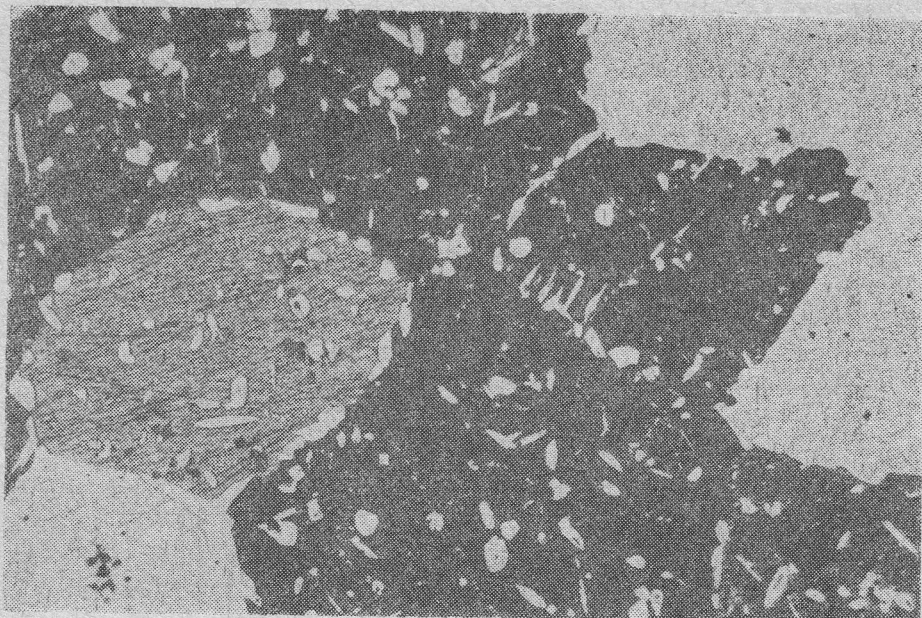
Rys. 4. Zależność wytrzymałości na rozciąganie R_m w stopach Cu-Al od zawartości aluminium [17]

terystycznych struktur w układzie Cu-Zn [6, 7, 11, 17] uzyskując w ten sposób orientacyjny zakres występowania poszczególnych faz w zależności od równoważnika cynku [ZN]. Na podstawie uzupełnionego rysunku 2

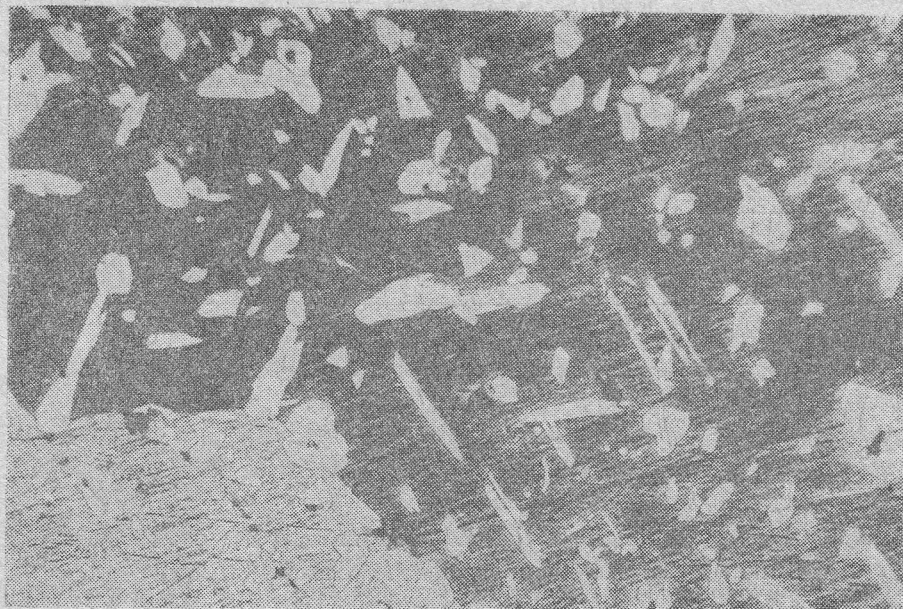
poniżej 35% [ZN] w mosiądzu wieloskładnikowym może występować tylko faza α – roztwór stały cynku, niklu, aluminium, manganu i żelaza w miedzi,

35 - 45% [ZN] – mieszanina $\alpha + \beta'$, przy czym β' jest roztworem wtórnym niklu, aluminium, manganu i żelaza w fazie międzymetalicznej CuZn,

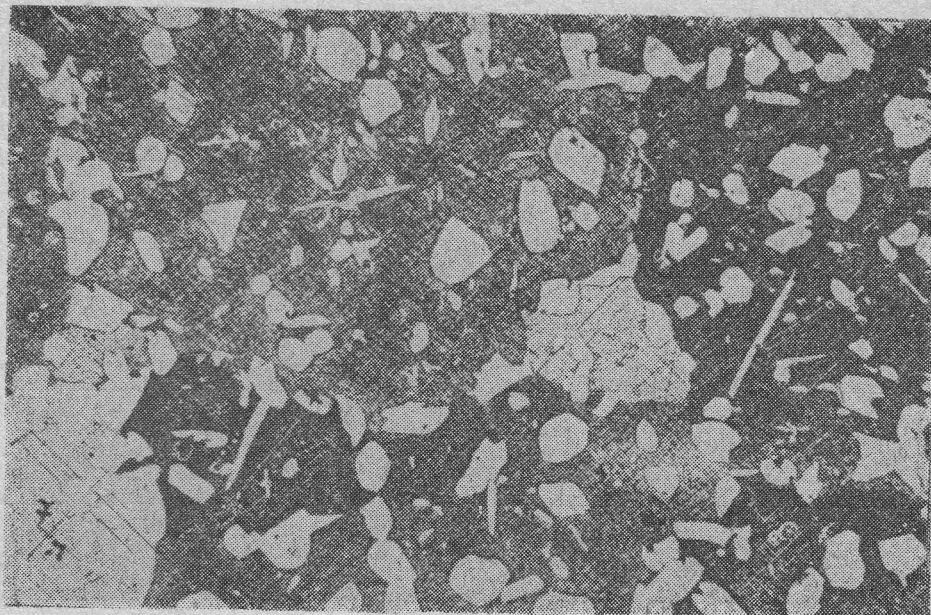
powyżej 45% [ZN] – faza β' .



Rys. 5. Struktura lanego mosiądzu wieloskładnikowego MM55 α + β' . Powiększenie 100 $\times$, trawienie chlorkiem żelaza



Rys. 6. Szczegół z rys. 5. Powiększenie 250 $\times$, trawienie chlorkiem żelaza



Rys. 7. Szczegół z rys. 5. Powiększenie 250 $\times$, trawienie chlorkiem żelaza

Powyżej 50% [ZN] struktur mosiądzów nie można już rozważać na podstawie dwuskładnikowego układu równowagi Cu—Zn, zresztą zgodnie z zastrzeżeniem [17] o możliwości stosowania współczynników Guillela.

Fragmentaryczne badanie metalograficzne przeprowadzone dla mosiądzu manganowego MM55 (7) wykazało rzeczywiście budowę dwufazową: $\alpha + \beta'$ (rys. 5÷7). Szerszych badań nie wykonywano ze względu na brak odpowiednich materiałów, jakkolwiek byłoby wskazane zweryfikowanie za pomocą badań metalograficznych wykresu z rys. 2.

2.2. Brązy

2.2.1. Składy chemiczne i własności mechaniczne

W tabelach zbiorczych 5 i 6 podano składy chemiczne i własności mechaniczne kilkudziesięciu brązów, zebranych z różnych źródeł. Uszeregowano je według rosnącej zawartości aluminium. Wybrano ten pierwiastek, ponieważ — jak już wykazały rozważania dla mosiądzów — oddziałuje on bardzo silnie na własności, a także, ponieważ z reguły występuje w brązach, z których wykonuje się śruby napędowe.

Tabela 5 obejmuje brązy manganowe wieloskładnikowe oraz manganowo-aluminiowe, a tabela 6 brązy aluminiowo-niklowe, żelazowe i stop „Sonoston”, który formalnie już brązem nie jest ze względu na zawartość 54% Mn. Jak wynika z rozważania dwuskładnikowego układu równowagi Cu—Mn, Sonoston może posiadać osnowę składającą się z roztworu stałego granicznego α miedzi w manganie (zawierającego ok. 25% Cu).

Podobnie jak w mosiądzach, w brązach występuje dodatek żelaza, z wyjątkiem jednego stopu (79), niekiedy mała zawartość cynku i w jednym przypadku dodatek kobaltu (27). Za-

Zestawienie składów chemicznych i własności mechanicznych brązów manganowych wieloskładnikowych i aluminium-manganowych (40, 43 i 44)

Lp.	Nazwa (symbol)	Produkcja	Zawartość składników w %						R_m [MN/m ²]	$R_{0,2}$ [MN/m ²]	A_5 [%]	HB	Źródło
			Cu	Al	Mn	Ni	Fe	Zn					
25	Sonoston 50HD	G. B.	37	4,25	R ok. 54	1,5	3	—	550 - 630 śr. 590	250 - 315* śr. 287,5	20 - 40 śr. 30	130 - 170 śr. 150	[15, 18]
26	Cumanal	RFN	R ok. 61,35	5 - 6,5 śr. 5,75	9 - 11,5 śr. 10,25	1 - 3,5 śr. 2,25	1,5 - 3 śr. 2,25	7,1 - 9,2 śr. 8,15	650 - 750 śr. 700	300 - 350 śr. 325	19 - 30 śr. 24,5	160 - 200 śr. 180	[15, 18]
27	Lidrunal (a)	Hol.	R ok. 52	3 - 9 śr. 6	17 - 21 śr. 19	7** śr. 5	1 - 9** śr. 4	1 - 7 śr. 4	725 śr. 725	—	20	—	[15, 18]
28	Lidrunal (b)	Hol.	R ok. 64	3 - 9 śr. 6	17 - 21 śr. 19	1 - 6,5*** śr. 3,75	1 - 6,5*** śr. 3,75	2 - 5 śr. 3,5	725 śr. 725	—	24	—	[15, 18]
29	Lidrunal (c)	Hol.	R ok. 71	5 - 8 śr. 6,5	10 - 16 śr. 13	1 - 5 śr. 3	1 - 5 śr. 3	1,6 - 5,5 śr. 3,5	725 śr. 725	—	24	—	[15, 18]
30	BM12733	Pol.	R ok. 74,5	6,9	12	3,5	3	—	590	370	15	170 - 180 śr. 175	[15, 18]
31	Lidrunal	Hol.	R ok. 76	6 - 8 śr. 7	10 - 15 śr. 12,5	1	2 - 3 śr. 2,5	3	700 śr. 680	310 śr. 310	20 śr. 22	170 śr. 170	[15, 18]
32	Lidrunal	Hol.	70,5	7	14	2	2	3,5	680	310	22	160 - 180 śr. 170	[5, 15]
33	BM12733	Pol.	R ok. 75	6 - 8 śr. 7	11 - 13 śr. 12	2 - 4 śr. 3	2 - 4 śr. 3	—	700	—	25	180	[15, 18]
34	Superston 70	G. B.	R ok. 70,75	6,5 - 8 śr. 7,25	13,5 - 20 śr. 16,75	1,5 - 3 śr. 2,25	2 - 4 śr. 3	—	700 - 770 śr. 735	315 - 395* śr. 355	20 - 35 śr. 27,5	170 - 210 śr. 190	[15, 18]
35	Cumanal ozet	RFN	R ok. 74,25	6,5 - 9 śr. 7,75	11 - 15 śr. 13	1 - 3,5 śr. 2,25	1,5 - 4 śr. 2,75	—	640 - 730 śr. 685	250 - 300 śr. 275	19 - 30 śr. 24,5	160 - 200 śr. 180	[15, 18]
36	Novoston SM 41	G. B.	R ok. 74,4	7,8	12,5	2,3	3	—	660 - 720 śr. 690	280 - 330* śr. 305	20 - 35 śr. 27,5	160 - 210 śr. 185	[5, 15]
37	Novoston	Hol.	R ok. 75	8	12	2	3	—	690	310	28	185	[5, 15]
38	Superston	Hol.	R ok. 75	8	12	2	3	—	590 - 690 śr. 640	340	26	185	[5]
39	Mangal	F	R ok. 78	8	9	2	3	—	500 - 600 śr. 550	220 - 280 śr. 250	25	140 - 160 śr. 150	[5, 18]
40	G-MnAlBzF42	RFN	82 - 85 śr. 83,5	7 - 9 śr. 8	5 - 6,5 śr. 5,75	1 - 2 śr. 1,5	≤1,5 śr. 1	—	520	290	26	120	[18]
41	AlMn Bz 13	RFN	R ok. 73,25	7 - 9 śr. 8	10 - 15 śr. 12,5	1,5 - 5 śr. 3,25	2 - 4 śr. 3	—	660 - 830 śr. 745	280 - 470 śr. 375	10 - 40 śr. 25	—	[18]
42	ASB 7	Jap.	R ok. 78,75	8	8,25	2	3	—	650 - 700 śr. 775	—	18 - 25 śr. 21,5	150 - 160 śr. 155	[5, 18]
43	Nikalium III	G. B.	R ok. 75,5	9	7	1,5	7	—	650	210*	18	170 - 180 śr. 175	[18]
44	BA 1032	Pol.	R ok. 84,9	10,25	1,6	—	3,25	—	500	—	15 - 20 śr. 17,5	110 - 120 śr. 115	[5, 18]

* $R_{0,1}$, ** Fe+Ni+Co=3 - 9, Co=7%, *** Fe+Ni=5 - 9.

kresy zawartości poszczególnych składników oraz średnie wartości R_m dla poszczególnych grup stopów zestawiono w tabeli 7.

Zgodnie z poprzednim ustaleniem, pierwiastki stopowe w brązach wieloskładnikowych postanowiono przeliczyć na równoważnik aluminium $[AL]$. W dostępnej literaturze [8] znaleziono tylko jeden zamiennik żelaza na aluminium, a samodzielne ustalenie współczynników na podstawie danych literaturowych [11, 15, 16, 17] nie dało pozytywnych rezultatów.

Dla określenia spawalności brązów na śruby napędowe [19, 20, 21] oblicza się równoważnik cynku $[ZN]$ i jeżeli nie przekroczy on wartości 45%, stop uważa się za spawalny. Spawalnicy korzystają przy tym z odpowiedniego wzoru i współczynników [19]. Sprawdzające obliczenie dla mosiądzów z dodatkiem aluminium dało wyniki znacznie różniące się od wyników z wzoru (1), stosującego współczynniki Guillela. Wykorzystano jednak zasadę określania równoważnika cynku, przy czym zastosowano i dla brązów wzór (1). W celu ustalenia zamiennika k – równoważnika cynku $[ZN]$ na równoważnik aluminium $[AL]$, wykorzystano podobieństwo zmian R_m w zależności od składu chemicznego w stopach Cu–Zn i Cu–Al (rys. 3 i 4).

W stopach Cu–Zn maksimum R_m występuje przy około 46,5% Zn (rys. 3), a w stopach Cu–Al przy około 10% Al (rys. 4). Dzieląc zawartość obu składników przy występowaniu maksimów

$$k = \frac{46,5}{10} = 4,65 \quad (2)$$

ustalono zamiennik cynku na aluminium.

Chcąc określić równoważnik aluminium $[AL]$ dla brązów wieloskładnikowych posłużono się więc zależnością (1) podzieloną przez współczynnik k

$$[AL] = \frac{[ZN]}{k} = \frac{6Al + 0,5Mn + 2Sn + 0,9Fe + Zn - 1,2Ni}{4,65} \quad (3)$$

W tabeli 8 zestawiono obliczone równoważniki aluminium $[AL]$ dla mosiądzów z dodatkiem aluminium, Sonostonu oraz brązów z tabel 5 i 6. Podano tam także R_m średnie dla poszczególnych stopów oraz dla celów porównawczych rzeczywiste zawartości aluminium. Punkty z tabeli 8, charakteryzujące poszczególne stopy naniesiono na wykres (rys. 8). Widać na nim wyraźnie dwa zgrupowania punktów obejmujące większość (około 75%) omawianych stopów. Zgrupowanie I, obejmujące tylko kilka stopów, mieści się w okolicy 10% $[AL]$, a własności wytrzymałościowe wynoszą od 680 do 725 MN/m². Zgrupowanie II, rozłożone prawie symetrycznie wokół zawartości eutektoidalnej 11,8% $[AL]$, obejmuje kilkadziesiąt stopów o rozpiętości wytrzymałości R_m od 590 do 710 MN/m², przy czym średnia wytrzymałość $R_m \cong 650$ MN/m², a więc poniżej R_m średniego dla zgrupowania I.

Przy równoważnikach aluminium $[AL]$ powyżej 12,5% rozrzuty R_m dla stopów o zbliżonych równoważnikach są bardzo znaczne (w granicznym przypadku od 500 do 750). Należy przypuszczać, że dla tych stopów, oprócz składu chemicznego, bardzo istotna będzie technologia wykonania odlewu, np. sposób odlewania, modyfikowanie itp.

Ponieważ po przeliczeniu składów chemicznych różnych stopów, przy poszczególnych

Tabela 6

Zestawienie składów chemicznych i własności mechanicznych brązów aluminiumo-niklowo-żelazowych

Lp.	Nazwa (symbol)	Produkcja	Zawartość składników w %					R_m [MN/m ²]	$R_{0,2}$ [MN/m ²]	A_5 [%]	HB	Źródło
			Cu	Al	Mn	Ni	Fe					
45	BA 9333	Pol.	R ok. 81,5	8,5	3	3,5	3,5	590 - 690 śr. 640	—	20 - 25 śr. 22,5	150 - 200 śr. 175	[5]
46	Alcunic	RFN	70 - 80 śr. 75	6 - 11 śr. 8,5	4 - 8 śr. 6	2 - 5 śr. 3,5	2 - 5 śr. 3,5	620 - 680 śr. 650	280 - 340 śr. 310	20 - 35 śr. 27,5	150 - 180 śr. 165	[5, 18]
47	Cunial	Hol.	R ok. 80,5	8 - 10 śr. 9	1 - 3 śr. 2	3 - 5,5 śr. 4,25	3 - 5,5 śr. 4,25	660 - 750 śr. 705	280 - 350* śr. 315	20 - 35 śr. 27,5	160 - 205 śr. 182,5	[5, 15, 18]
48	NiAlBz	NRD	R ok. 79	8 - 10 śr. 9	1 - 8 śr. 4,5	3 - 5 śr. 4	2 - 5 śr. 3,5	600 - 700 śr. 650	250 - 300 śr. 275	19 - 25 śr. 22	150 - 180 śr. 165	[18]
49	ABC-2	G.B.	R ok. 79,5	9	3	5,5	3	600	—	15	180	[5]
50	G-CuAl9Ni FeMn	NRD	R ok. 81,5	9	2	4,5	4	500 - 550 śr. 525	200 - 300 śr. 250	8 - 12 śr. 10	120 - 135 śr. 127,5	[5, 18]
51	BA 9333	Pol.	R ok. 81,4	8,9 - 9,3 śr. 9,1	3 - 4 śr. 3,5	2,5 - 4,5 śr. 3,5	0,5 - 4,5 śr. 2,5	630	300	15	160	[5]
52	BA 933	Pol.	R ok. 81	9,1	3,5	3,25	3,15	600	300	20	160	[5]
53	BrAZN 9-4-4	ZSRR	R ok. 80,9	8,6 - 9,6 śr. 9,1	≤1	4 - 5 śr. 4,5	4 - 5 śr. 4,5	600 - 650 śr. 625	220 - 250 śr. 235	20 - 30 śr. 25	150 - 180 śr. 165	[18]
54	G-NiMBzF50/60	RFN	R ok. 79	9,25	1,5	5,25	5	600 - 750 śr. 675	—	16 - 25 śr. 20,5	150 - 180 śr. 165	[5, 15, 18]
55	Nibral	USA	R ok. 80,25	9,25	1,5	5	4	630	290	18	180	[5, 18]
56	Nantial	F	R ok. 80,8	9 - 9,8 śr. 9,4	1 - 1,6 śr. 1,3	4 - 5,5 śr. 4,75	3 - 4,5 śr. 3,75	660	260	18	140 - 160 śr. 150	[5, 18]
57	Cunickel	USA	78 - 81 śr. 79,5	9,4	1,3	4,5	4,5	600	250	15	—	[5]
58	Nicalium	Hol.	R ok. 79,8	9,5	1,2	4,5	5	680	270	25	165 - 190 śr. 177,5	[5]
59	NicaliumABZ	G.B.	R ok. 80,2	9,5	1	4,5	4,8	660 - 710 śr. 685	270 - 300** śr. 285	18 - 30 śr. 24	165 - 190 śr. 177,5	[5, 18]
60	NicaliumABZ	G.B.	R ok. 80	9 - 10 śr. 9,5	0,5 - 1,5 śr. 1,25	4 - 5 śr. 4,5	4 - 5,5 śr. 4,75	660 - 710 śr. 685	270 - 300** śr. 285	18 - 30 śr. 24	165 - 190 śr. 177,5	[18]
61	Cunial	USA	R ok. 80,5	9,5	0,7	5	4,3	660	295	22	150	[5, 18]

Lp.	Nazwa (symbol)	Produkcja	Zawartość składników w %					R_m [MN/m ²]	$R_{0,2}$ [MN/m ²]	A_5 [%]	HB	Źródło
			Cu	Al	Mn	Ni	Fe					
62	Cunickel	USA	R ok. 79,9	9,5	0,75	5,6	4,3	660	265	15	—	[5]
63	ASB 4	Jap.	R ok. 82,5	9 - 10 śr. 9,5	0,5 - 1,5 śr. 1	3 - 4 śr. 3,5	3 - 4 śr. 3,5	600 - 650 śr. 625	—	20 - 30 śr. 25	140 - 160 śr. 150	[5, 18]
64	ASB 6	Jap.	R ok. 79,75	9,5	0,75	5	5	650 - 700 śr. 675	—	18 - 25 śr. 21,5	150 - 160 śr. 155	[5, 18]
65	AIBC 2	Jap.	≥78	8 - 11 śr. 9,5	≤3,5	1 - 3 śr. 2	2,5 - 6 śr. 4,25	≥500	—	≥20	≥120	[5, 18]
66	AIBC 2	Jap.	78	9,5	3,5	2	4,25	500	—	20	120	[18]
67	AIBC 3	Jap.	≥78	8,5 - 11 śr. 9,75	≤3,5	2,5 - 6 śr. 4,25	2,5 - 6 śr. 4,25	≥600	—	≥15	≥150	[15, 18]
68	AIBC 3	Jap.	78	9,75	3,5	4,25	4,25	600	—	15	150	[5]
69	Brąz Nakashima	Jap.	78	8,5 - 11 śr. 9,75	3,5	2,5 - 6 śr. 4,25	2,5 - 6 śr. 4,25	600	—	15	—	[18]
70	Nialma	I	79	9,85	3	4,85	3,2	≥580	≥260	≥18	140	[5, 18]
71	Cunickel	USA	78 - 81 śr. 79,5	9 - 10,3 śr. 9,65	0,5 - 1 śr. 0,75	4,5 - 5,5 śr. 5	3,5 - 5,5 śr. 4,5	600	250	15	140 - 180 śr. 160	[18]
72	Nialit	USA	78,5	10	1,5	5	5	600	270	24	—	[5, 18]
73	ABZC	G.B.	R ok. 78,5	9,5 - 10,5 śr. 10	1,5	4,5 - 6,5 śr. 5,5	3,5 - 5,5 śr. 4,5	640	—	15	180	[18]
74	Brąz Mitsubishi	Jap.	R ok. 79,5	10	1	4,5	5	700	250	20 - 30 śr. 25	—	[5, 18]
75	—	F	R ok. 80,3	10	1,2	5	3,5	550	300	19	180	[5]
76	BA 1044	Pol.	R ok. 80,75	9,5 - 11 śr. 10,25	—	3,5 - 5 śr. 4,25	4 - 5,5 śr. 4,75	≥600	—	≥5	170	[18]
77	G-NiAlBzF60	RFN	80	10,5	—	5	4,5	≥560	246	≥15	140 - 180 śr. 160	[5, 18]
78	Cunickel	USA	78	10,75	3,5	4,25	4	560	—	15	140 - 180 śr. 160	[5]
79	Patent 10L15Nr4718	Jap.	R ok. 81,5	7,5 - 9,5 śr. 8,5	≤3 śr. 1,5	1 - 5 śr. 3	Zn = 4 - 7 śr. 5,5	712	—	29,4	170	[18]
80	CuAl10Fe10	Pol.	R ok. 79,25	10 - 11,5 śr. 10,75	—	—	8 - 12 śr. 10	700	—	15	250 - 280 śr. 265	[5]

* $R_{0,10}$, ** $R_{0,1}$

wartościach równoważników aluminium występowały różne R_m , uśredniono je i zestawiono w tabeli 9, a wyniki naniesiono na rys. 9. Po połączeniu punktów uzyskano krzywą łamaną. Dwa punkty między 10 i 11 [AL], które wybitnie odbiegają od wartości sąsied-

Tabela 7

Zawartość składników i wytrzymałość na rozciąganie R_m brązów wieloskładnikowych stosowanych na śruby napędowe

Grupa stopów	Ilość stopów w grupie	Zawartość składników w %							R_m [MN/m ²]
		Cu	Al	Mn	Ni	Fe	Zn	inne	
Sonoston	1	37	4,25	54	1,5	3	—	—	590
Brązy manganowe wieloskładnikowe	16	52 ÷ 78,8	3 ÷ 9	8,25 ÷ 21	1 ÷ 7	1 ÷ 9	1 ÷ 9,2	7 Co	500 ÷ 770
Brązy aluminium-manganowe	3	75 ÷ 85	7 ÷ 10,3	1,6 ÷ 6,5	1 ÷ 2	1,5 ÷ 7	—	—	500 ÷ 650
Brązy aluminium-niklowo-żelazowe	36	70 ÷ 82,5	7,5 ÷ 11	1 ÷ 8	1 ÷ 6	0,5 ÷ 10	4 ÷ 7	—	500 ÷ 750
Brązy ogółem	55	52 ÷ 84,9	3 ÷ 11	1 ÷ 21	1 ÷ 7	0,5 ÷ 10	1 ÷ 9,2	7 Co	500 ÷ 770

Tabela 8

Zestawienie rzeczywistych zawartości aluminium w poszczególnych stopach miedzi, obliczonych równoważników [AL] i wytrzymałości R_m

Lp.	Zawartość Al [%]	[AL]	$R_{m\dot{s}r}$ [MN/m ²]	Lp.	Zawartość Al [%]	[AL]	$R_{m\dot{s}r}$ [MN/m ²]
Mosiądze z dodatkiem Al				brązy wieloskładnikowe			
17	4,5	14,1	750	45	8,5	11,0	640
19	3,3	12,3	625	46	8,5	11,0	650
20	5,3	12,5	625	47	9,0	10,0	705
21	5,0	12,0	626	49	9,0	11,1	600
22	5,0	12,0	625	50	9,0	11,5	520
23	5,6	10,4	615	51	9,1	11,7	630
24	5,5	10,2	680	52	9,1	11,9	600
Sonoston — stop Mn-Cu				53	9,1	11,5	625
25	4,3	11,5	590	54	9,3	11,7	675
brązy wieloskładnikowe				55	9,3	11,6	630
26	5,8	10,1	700	56	9,4	11,8	660
27	6,0	9,8	725	57	9,4	12,0	600
28	6,0	10,3	725	58	9,5	12,2	680
29	6,5	10,3	725	59	9,5	12,1	685
30	6,9	9,9	590	61	9,5	11,5	660
31	7,0	11,2	700	63	9,5	12,1	625
32	7,0	11,1	680	64	9,5	12,0	675
33	7,0	9,9	700	65	9,5	12,9	≥ 500
34	7,3	11,2	735	70	9,9	12,4	≥ 580
35	7,8	11,4	685	72	10,0	12,7	600
36	7,8	11,4	690	74	10,0	12,8	700
37	8,0	11,7	690	75	10,0	12,4	500
38	8,0	11,7	640	76	10,3	13,0	≥ 600
39	8,0	11,4	550	77	10,5	13,1	725
40	8,0	10,7	520	78	10,8	13,9	560
41	8,0	11,7	745	79	8,5	11,5	712
42	8,0	11,3	675	80	10,8	15,8	700
43	9,0	13,3	650				
44	10,3	13,9	500				

Tabela 9

Zestawienie równoważników aluminium $[AL]$ i R_m dla różnych stopów miedzi oraz uśrednionych wartości R_m

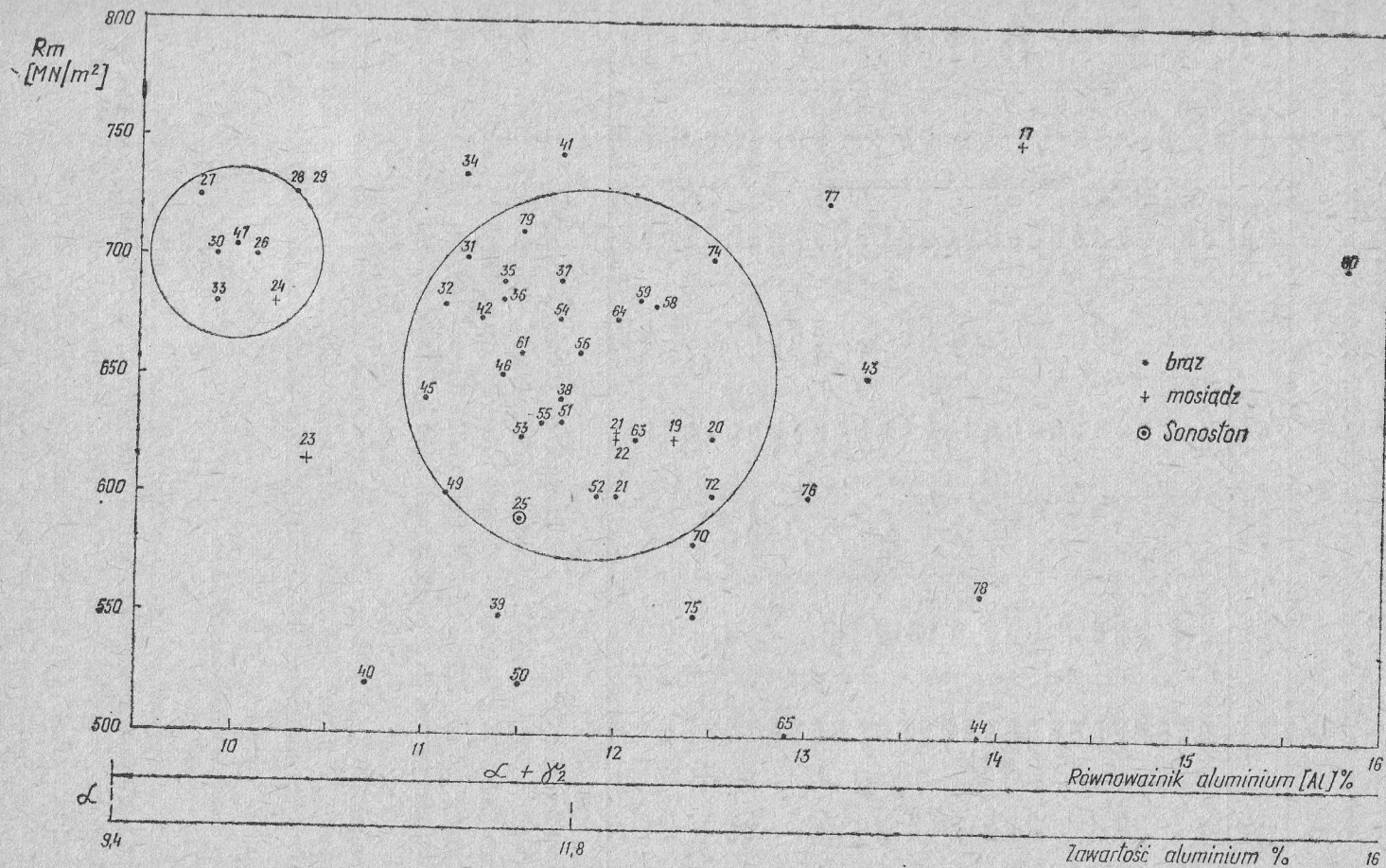
Lp. stopu	[AL] [%]	R_m [MN/m ²]	R_m uśr [MN/m ²]	Rodzaj stopu	Lp. stopu	[AL] [%]	R_m [MN/m ²]	R_m uśr [MN/m ²]	Rodzaj stopu
27	9,8	725	725	brązy	51	11,7	630	676	brązy
30	9,9	700	690		38		640		
33		680			54		675		
47	10,0	705	705	mosiądz	37	11,8	690	660	brązy
26	10,1	700	700		41		745		
24	10,2	680	680	brązy	56	11,9	660	600	mosiądze
28	10,3	725	725		52		600		
29		725		57	600	12,0	21	626	632
23	10,4	615	615	22	625				
40	10,7	520	520	brązy	64		675	655	
45	11,0	640	640		59	685			
32	11,1	680	640		58	680	680		655
49		600		19	625	625		mosiądz	
31	11,2	700	718	75	550	≥ 565	≥ 565		
34		735		70	≥ 580				
42	11,3	675	675	20	12,5	625		625	brązy
39	11,4	550	644	72	12,7	600	600		
35		685		74	12,8	700	700		
36		690		65	12,9	≥ 500	≥ 500		
46	11,5	650	621	76	13,0	≥ 600	≥ 600		
50		520		77	13,1	725	725		
25		590		43	13,3	650	650		
53	11,6	625	630	78	13,9	560	530	brązy	
61		660		44		500			
79		712		17	14,1	750	750		mosiądz
55	630	80	15,8	700	700	brąz			

nich, postanowiono przy dalszych rozważaniach pominąć. Pozostałe punkty „zewewnętrzne” połączono, wyznaczając w ten sposób pole zmian R_m w zależności od równoważnika aluminium $[AL]$. W połowie pola zmian przeprowadzono krzywą, która najogólniej charakteryzuje zmiany R_m od równoważnika aluminium $[AL]$ (rys. 9). Przebieg krzywej przeprowadzono w ten sposób, ażeby nad i pod linią występowała podobna ilość punktów.

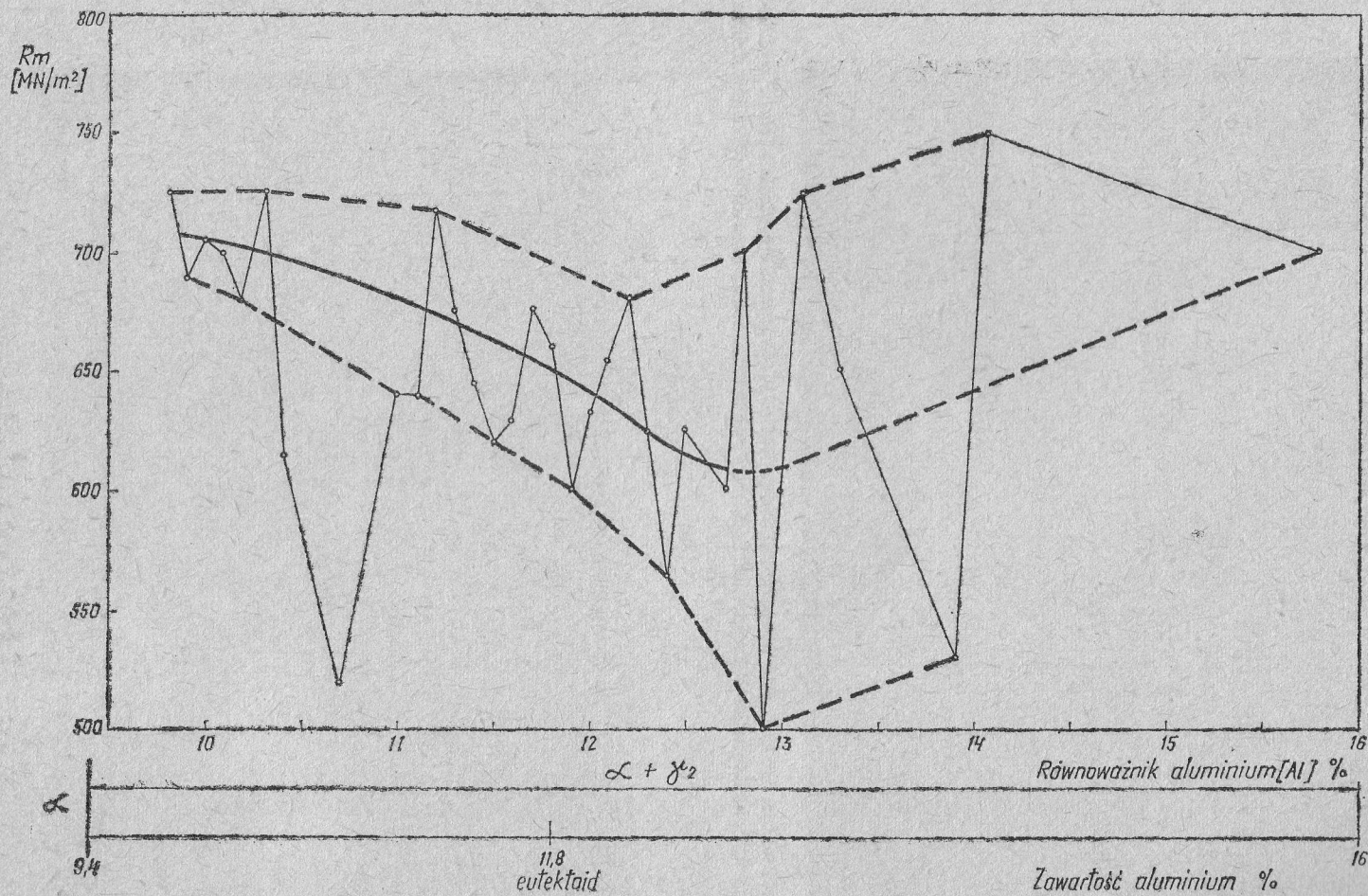
Przy około 13% $[AL]$ obserwuje się występowanie minimum i po porównaniu z wykresem na rys. 8 widać, że z prawej strony minimum występują tylko nieliczne stopy. Dlatego w tym zakresie przebieg średniej można uważać za prawdopodobny.

2.2.2. Budowa strukturalna brązów wieloskładnikowych

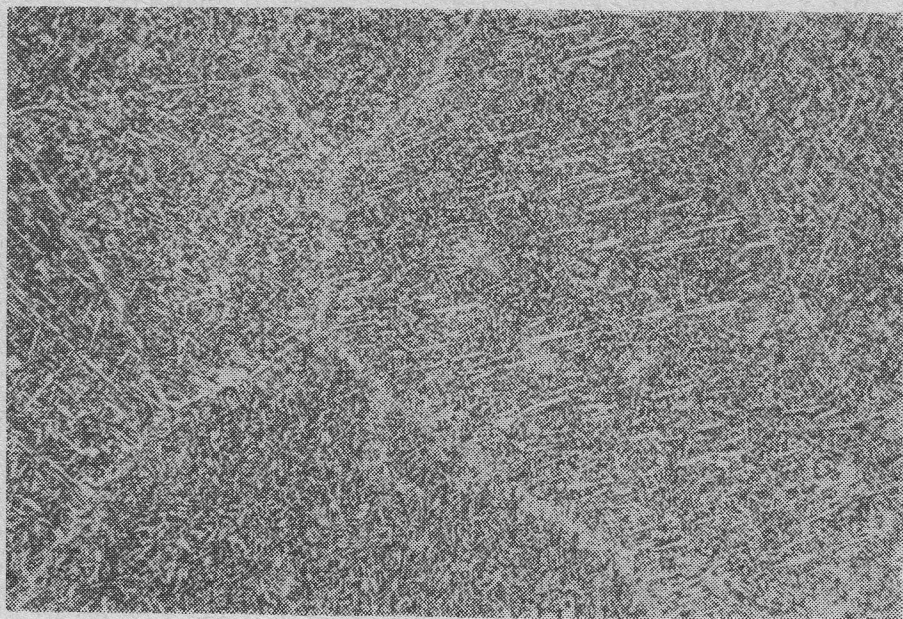
Badanie metalograficzne zostało przeprowadzone dla kilku brązów wieloskładnikowych o różnych wartościach równoważnika aluminium $[AL]$. Dla wszystkich przypadków stwierdzono budowę wieloskładnikową: roztwór stały graniczny α , faza γ_2 oraz faza bogata w żelazo ($FeAl_3$). Jako ilustrację badań przedstawiono fotografie struktur dwóch brązów produkcji krajowej: BM12733 (30) oraz BA1032 (44). Na rys. 10 i 11 przedstawiono strukturę brązu BM12733 bezpośrednio po odlaniu. Charakteryzuje się ona igła-



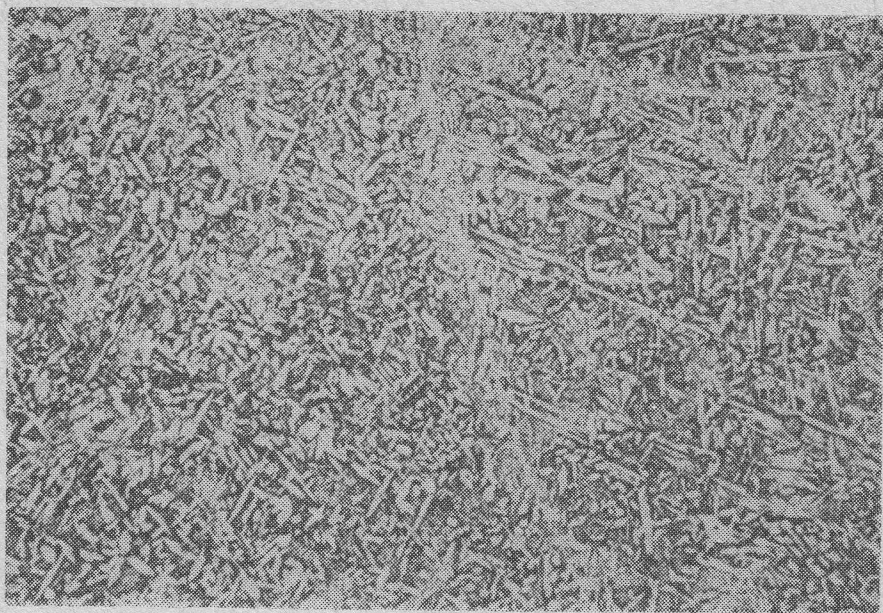
Rys. 8. Zależność R_m stopów miedzi od równoważnika aluminium [AL]. Charakterystyczne dwa skupienia punktów odniesione do struktury dwufazowych stopów Cu-Al



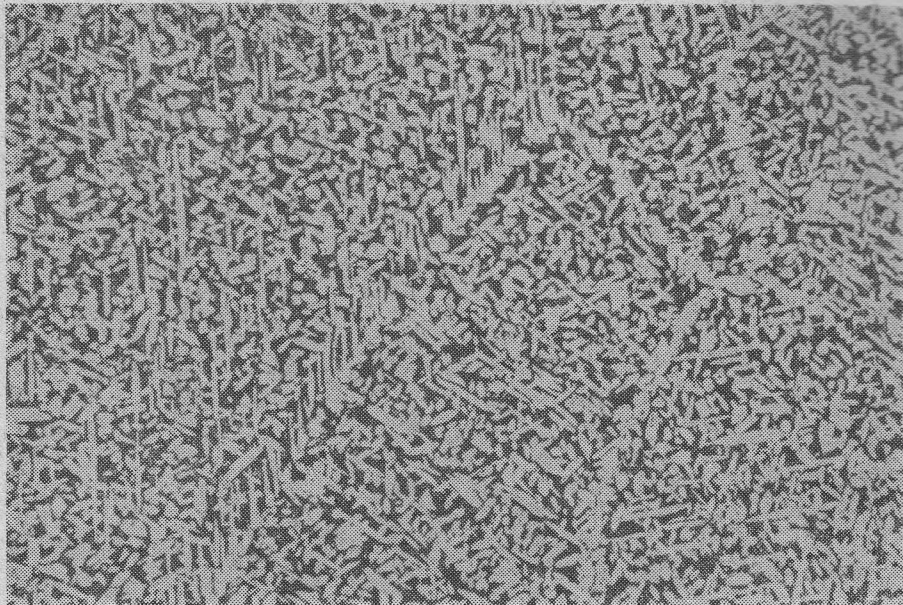
Rys. 9. Zakres zmian wytrzymałości na rozciąganie R_m od równowaznika aluminium [AL] i średnia krzywa obrazująca tę zależność



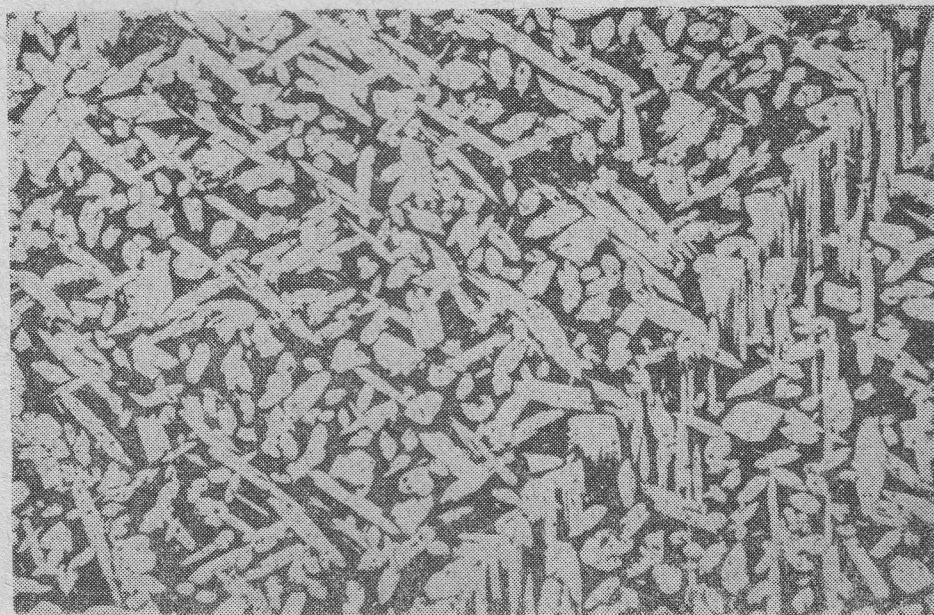
Rys. 10. Struktura lanego brązu wieloskładnikowego BM12733. W osnowie γ_2 drobne iglaste wydzielania fazy α ; ponadto siatka α na granicach ziarn. Powiększenie $100\times$, trawienie chlorkiem żelaza



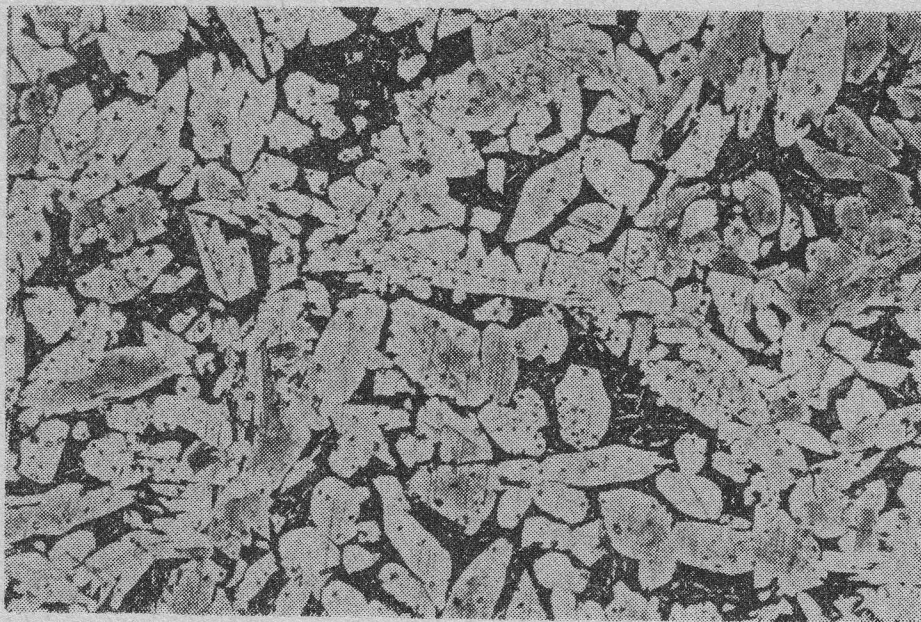
Rys. 11. Szczegół z rys. 10. Powiększenie $250\times$, trawienie chlorkiem żelaza



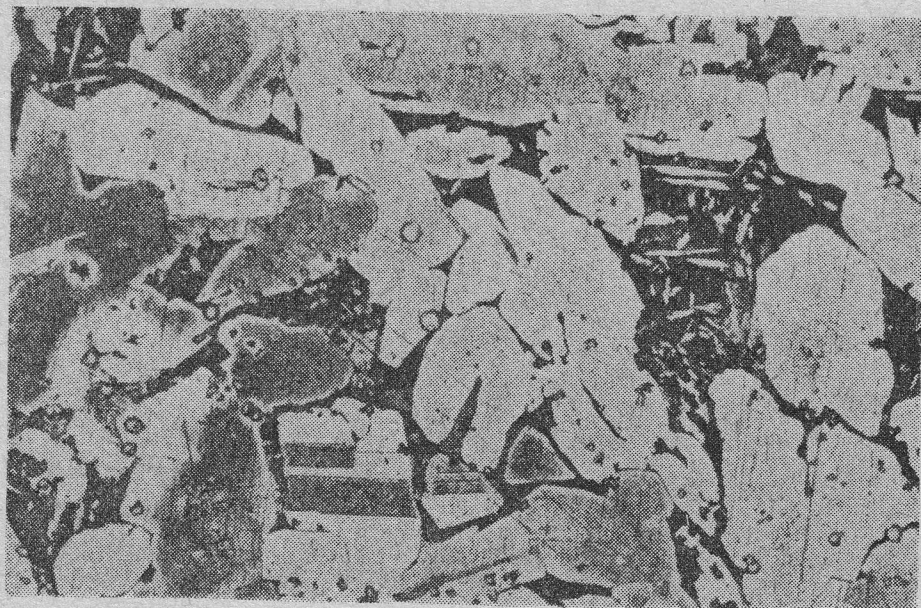
Rys. 12. Struktura brązu wieloskładnikowego BM12733 po wygrzaniu w temperaturze 850°C z następnym powolnym chłodzeniem. W osnowie γ_2 igły fazy α , ponadto siatka α na granicach ziarn. W wyniku obróbki cieplnej nastąpił wzrost ilości α i wielkości ich wydzieleni. Powiększenie 100 $\times$, trawienie chlorkiem żelaza



Rys. 13. Szczegół z rys. 12. Na tle jasnych ziarn fazy α widoczne ciemne, bardzo drobne wydzielienia najprawdopodobniej fazy bogatej w żelazo (FeAl_3). Powiększenie 250 $\times$, trawienie chlorkiem żelaza



Rys. 14. Struktura lanego brązu wieloskładnikowego BA 1032. Dendryty roztworu stałego α na ciemnym tle eutektoidu $\alpha + \gamma_2$. Na tle fazy α widoczne wydzielenia FeAl_3 . Powiększenie $100\times$, trawienie chlorkiem żelaza



Rys. 15. Szczegół z rys. 14. Ujawnione otwory bliźniacze w niektórych ziarnach α . Powiększenie $250\times$, trawienie chlorkiem żelaza



Rys. 16. Szczegół z rys. 14. Charakterystyczne zgrupowanie eutektoidu pomiędzy ziarnami α

stymi wydzieleniami roztworu granicznego α na tle fazy γ_2 (lub β , jeżeli nastąpiło jej przechłodzenie). Po obróbce cieplnej, wygrzaniu w temperaturze 850°C z następnym powolnym chłodzeniem (rys. 12 i 13) charakter struktury nie zmienił się, nastąpiło jednak zwiększenie ilości i wielkości wydzieleni fazy α ; na tle jasnych igieł fazy występują ciemne, bardzo drobne wydzielenia, najprawdopodobniej fazy bogatej w żelazo.

Brąz BA1032 (rys. 14, 15 i 16) wykazuje budowę wielofazową, przy czym γ_2 występuje między ziarnami fazy α . Na tle α obserwuje się wydzielenia bogate w żelazo (FeAl_3).

3. Dyskusja

W niniejszym opracowaniu rozważano wyłącznie problem powiązania wytrzymałości na rozciąganie R_m , podawanej w literaturze z reguły dla każdego cytowanego stopu, ze składem chemicznym zredukowanym do jednego dodatku, mianowicie cynku dla mosiądzów i aluminium dla brązów.

Przedstawiona na rys. 2 zależność R_m od równoważnika cynku $[\text{ZN}]$ w mosiądzach wieloskładnikowych wykazuje duże podobieństwo dla identycznej zależności od stężenia cynku w mosiądzach dwuskładnikowych $\text{Cu}-\text{Zn}$ (rys. 3). Obserwuje się jednak niewielkie przesunięcia maksimów, na podstawie czego można wnioskować, że w mosiądzach wieloskładnikowych zakres występowania fazy β' jest prawdopodobnie zawężony; w mosiądzach dwuskładnikowych zakres fazy β' zawiera się w obszarze od 45 do 50% Zn , a dla mosiądzów wieloskładnikowych (wg rys. 2) od ok. 47,5 do 48,5% równoważnika cynku $[\text{ZN}]$. Po pojawieniu się fazy γ — w mosiądzach dwuskładnikowych następuje dalsze obniżenie R_m , natomiast po przekroczeniu ok. 48,5% $[\text{ZN}]$ w mosiądzach wieloskładni-

kowych obserwuje się znaczny wzrost R_m . Powodem tego może być wydzielanie się nowej fazy, ale znacznie różniącej się od fazy β' układu Cu—Zn.

Zwiększanie się R_m dla tej grupy mosiądzów, na pewno jest wynikiem wpływu dodatku aluminium, występującego tam w ilościach od 3 do 7,5% (tab. 2). Jak wynika z porównania rys. 2 i 4 podobny przebieg krzywej R_m w zależności od dodatków obserwuje się w stopach Cu—Al, gdzie po przekroczeniu ok. 12,5% Al, w zakresie mieszaniny $\alpha + \gamma_2$, zwiększa się R_m . Na podstawie tego podobieństwa można przypuszczać, że ta grupa stopów z dodatkiem cynku i aluminium raczej powinna być zaliczona do brązów (analogia do brązów cynowo-cynkowych).

Szereg punktów (16, 7, 11, 1) na wykresie (rys. 2) odbiega dosyć znacznie od wykreślonej krzywej. Być może, że dobranie odpowiednich wartości zamienników, odmiennych od współczynników Guilleta, spowodowałoby przesunięcie tych punktów w pobliże wykreślonej krzywej. Problemu tego jednak nie rozwijano.

Korzystając z wykresu (rys. 2), z ustaleniami co do zakresu występowania fazy β' , należy spodziewać się, że przeważająca liczba mosiądzów wieloskładnikowych winna mieć strukturę przynajmniej dwufazową. Zbadanie jednego dostępnego stopu (MM55) wykazało istotnie występowanie mieszaniny $\alpha + \beta'$ (rys. 5 - 7). Jest to jednak zbyt ograniczona baza doświadczalna dla wysnuwania bardziej ogólnych wniosków.

Przy rozważaniach dalszych, odnoszących się do brązów wieloskładnikowych zawierających aluminium, do grupy tej włączono mosiądze wieloskładnikowe z aluminium (zgodnie z wykazaną ich odrębnością) i Sonoston. Rozważano więc znaczną liczbę stopów, co spowodowało początkowo trudności w określeniu R_m od [AL]. Jak wynika z rys. 8 wystąpiły wyraźne dwa skupienia punktów, I w okolicy 10% i II ok. 11,8% [AL]. Uśrednienie wartości R_m dla stopów o jednakowym równoważniku [AL] (tab. 9) umożliwiło wykreślenie zakresów R_m , a następnie krzywej średniej. Jej przebieg (rys. 9) zgodny jest z przebiegiem dla stopów Cu—Al (rys. 4), a mianowicie od ok. 9,5% [AL] (odpowiednio 9,4% Al w stopie Cu—Al) wartości R_m maleją do ok. 13% [AL] (odpowiednio 12,5% Al), a następnie rośnie. Należy jednak zaznaczyć, że odcinek dla rosnącego R_m (rys. 9) nie jest dostatecznie udokumentowany, gdyż występujący rozrzut punktów jest bardzo znaczny. Jak już wspomniano, wydaje się, że na własności wytrzymałościowe może mieć tu znaczny wpływ technologia wytwarzania stopu, co już wybiega poza zakres niniejszej pracy.

Struktury przebadanych dwóch brązów BM12733 (30) i BA1032 (44) wykazują budowę wielofazową, przy czym podstawowymi składnikami są dwie fazy $\alpha + \gamma_2$ (lub $\alpha + \beta$, jeżeli po odlaniu nastąpiło przechłodzenie fazy β).

Odnosnie do mosiądzów wieloskładnikowych zawierających aluminium, należy podkreślić, że tylko stop 23 leży poza zakresem pola zmian R_m , a 17 na górnej jego granicy. Inne mosiądze, podobnie jak i Sonoston, znajdują się wewnątrz pola zmian R_m .

W niniejszej pracy rozważano tylko wpływ składu chemicznego wieloskładnikowych stopów miedzi na własności mechaniczne, reprezentowane przez R_m , przy czym z przebiegu krzywych zmian $R_m = f[ZN]$ oraz $R_m = f[AL]$ wnioskowano o przypuszczalnej budowie strukturalnej; postępowano więc według schematu:

$$\text{skład chemiczny} \rightarrow R_m \rightarrow \text{struktura},$$

przy czym przebadano przykładowo trzy dostępne stopy, stwierdzając zgodność z prze-

widywaniami. Uzyskana zgodność przebiegów zmian $R_m = f[ZN]$ dla mosiądzów wieloskładnikowych, stosowanych na śruby okrętowe, oraz $R_m = f[AL]$ dla brązów wieloskładnikowych z zawartością aluminium, mosiądzów aluminowych i Sonostonu, z odpowiednimi krzywymi dla stopów dwuskładnikowych Cu–Zn i Cu–Al, potwierdza możliwość przeliczenia dodatków w wieloskładnikowych stopach miedzi na równoważniki cynku [ZN] oraz aluminium [AL] i na podstawie ich wartości wnioskowanie o R_m i strukturze.

Zastosowano przy tym współczynniki Guilleta z pewnymi modyfikacjami, gdyż przy określaniu [AL] na podstawie obliczonego [ZN] zastosowano dzielnik $k=4,65$.

Należy jednak zaznaczyć, że R_m i skład chemiczny nie mogą być jedynymi kryteriami oceny przydatności stopów miedzi na napędowe śruby okrętowe. Należy uwzględnić także, a może nawet przede wszystkim, wytrzymałość zmęczeniowo-korozyjną i odporność kawitacyjną. Są to jednak problemy całkowicie odrębne, ale na pewno istnieje zależność między R_m i strukturą a wytrzymałością zmęczeniowo-korozyjną oraz odpornością kawitacyjną.

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych rozważań, obliczeń i badań można stwierdzić co następuje:

1. Przeliczenie zawartości składników mosiądzów wieloskładnikowych na równoważnik cynku [ZN] przy zastosowaniu powszechnie znanych współczynników Guilleta pozwala na uszeregowanie tych stopów według R_m ; krzywa zmian R_m w zależności od [ZN] wykazuje duże podobieństwo do odpowiedniej krzywej stopów Cu–Zn.

2. Przeliczenie zawartości składników brązów wieloskładnikowych na równoważnik aluminium [AL], przy zastosowaniu współczynników Guilleta wymaga użycia dodatkowego przelicznika. W pracy niniejszej zastosowano zależność:

$$[AL] = \frac{[ZN]}{4,65}.$$

3. Obliczenie równoważników aluminium [AL] dla brązów wieloskładnikowych umożliwiło uszeregowanie stopów według wartości R_m ; krzywa R_m w zależności od [AL] wykazuje podobieństwo do fragmentu krzywej stopów Cu–Al.

4. W mosiądzach wieloskładnikowych z zawartością aluminium silniej oddziaływa na R_m dodatek cynku aniżeli aluminium. Z tego powodu wydaje się słuszne wydzielenie tej grupy stopów i zaliczenie ich do brązów (na wzór brązów cynowo-cynkowych).

5. Na podstawie krzywych przebiegu $R_m = f[ZN]$ i $R_m = f[AL]$ można w przybliżeniu wnioskować o strukturze stopów.

6. Rozrzuty R_m , przy zbliżonych równoważnikach [ZN] i [AL] dla analizowanych stopów, są najprawdopodobniej wynikiem technologii wykonywania odlewów. Problemem tym nie zajmowano się w pracy.

7. Zadaniem równań (1) i (3) było uszeregowanie stopów na podstawie jednego składnika przeliczeniowego. Nie zaleca się określania składu chemicznego stopu według wymienionych równań.

Literatura

- [1] B. P. Arawin, S. P. Łazarienko, E. Ja. Kazakin, W. I. Żurawliw, *Korrozionnostojkije wysokoprocnyje bronzy „Niewa-60” i „Niewa-70” dlja griebnych wintow*. Tiejnolohija sudostrojienija. Nr 7, 1971.
- [2] J. Birkenfeld, *Miedź i jej stopy w budownictwie okrętów*. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej, pt. Metale nieżelazne w przemyśle okrętowym, Świnoujście-Szczecin, październik 1972.
- [3] L. Bosman, I. Haanastra, *The Manufacture of Bronze Propellers from a Metallurgical Point of View*. International Shipbuilding Progress. Nr 198, 1971.
- [4] R. P. Elliot, *Struktury dwójnych spławow*. Tom I i II, Mietałurgija, Moskwa 1970.
- [5] M. Głowacka, J. Hucińska, Z. Królikowski, T. Krzysztofowicz, *Stopy miedzi na śruby okrętowe*. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej, pt. Metale nieżelazne w przemyśle okrętowym. Świnoujście-Szczecin, październik 1972.
- [6] A. P. Gulajew, *Metaloznawstwo* (tłum. z jęz. ros.). Wyd. Śląsk, Katowice 1969.
- [7] M. Hansen, K. Anderko, *Struktury dwójnych spławow*. Tom I i II, Mietałurgija, Moskwa 1962.
- [8] K. Kurski, *Miedź i jej stopy techniczne*. Wyd. Śląsk, Katowice 1967.
- [9] I. M. Langham, A. W. C. Wabb, *The new high strength copper-manganese-aluminium alloys, their development, properties and applications*. International Foundry Congress, Detroit, May 1962.
- [10] K. P. Liebiediejew, *Litiejnyje bronzy*. Maszynostrojienije, Leningrad 1973.
- [11] W. Łoskiewicz, M. Orman, *Układy równowagi podwójnych stopów metali*. PWN, Warszawa 1956.
- [12] M. M. Malcew, *Modificirowannyje struktury mietałłow i spławow*. Mietałurgija, Moskwa 1964.
- [13] *Metałofizyka „Naukowa dumka”* 48, Kiew 1973.
- [14] I. Nowicki (praca dyplomowa, nie opublikowana), Politechnika Gdańska, Gdańsk 1970.
- [15] N. N. Sokołow, S. P. Łazarienko, W. I. Żurawliw, *Griebnyje winty iz aluminiewoj bronzy „Sudostrojienije”*, Leningrad 1971.
- [16] E. Tuschy, *Aluminijewo-nikielewyje bronzy*. Mietałurgija, Moskwa 1966.
- [17] K. Wesołowski, *Metaloznawstwo*. Tom III, WNT, Warszawa 1966.
- [18] Z. Zaczek, *Rozwój stopów miedzi na okrętowe śruby napędowe w latach 1940 - 1970*. Zeszyty Naukowe WSMW, Gdynia 1974.
- [19] R. Pasierb, I. Andriejew, *Spawanie brązów wieloskładnikowych*. Przegląd Spawalnictwa, Nr 6, 1971.
- [20] M. Wincza, *Technologia remontu śrub okrętowych z nowych stopów o podwyższonej wytrzymałości*. Projekt nr 1673, Gdańsk 1972.
- [21] Stone Manganese Marine Limited. Nr 2, 3, 4, 5, 6 i 8.

Попытка систематизации сплавов меди применяемых в производстве судовых гребных винтов

Резюме

Анализируются химические составы и механические свойства 80 сплавов меди, применяемых в производстве судовых гребных винтов (табл. 1, 5 и 6) и сделан вывод, что применение так значительного числа материалов не является обоснованным. Для возможности сравнения различных сплавов предлагается пересчет компонентов латуни на эквивалент цинка $[Zn]$ пользуясь коэффициентами Жюе и бронзов на эквивалент алюминия $[Al]$. Применение эквивалентов позволило систематизировать сплавы. Результат представлен графически на рис. 2 и 8. Для бронзов кроме того представлена зависимость (4) позволяющая определить R_m алюминиевых бронзов, применяемых в производстве гребных винтов, в зависимости от эквивалента алюминия $[Al]$. Представленный материал указывает на возможность унификации сплавов меди для судостроительной промышленности.