

J. CZOCHRAŁSKI i H. ŁUKOMSKI

Bronzy ołowiane

Bronzes au plomb

TREŚĆ: I. Część ogólna: Zastosowanie, skład i budowa bronzów ołowianych. Wpływ składu i warunków odlewania na własności technologiczne bronzów ołowianych według danych z literatury. II. Część doświadczalna: Wykonanie 20 odlewów piaskowych i wlewnicowych (8 stopów o rozmaitej zawartości *Cu*, *Pb*, *Sn* i *Ni*, tabl. I). Wyniki pomiarów granicy sprężystości na ściskanie, twardości i udarności (tabl. III) oraz badań metalograficznych.

I. Dotychczasowe dane o budowie i własnościach bronzów ołowianych.

Bronzy ołowiane zawierają jako główny składnik miedź, ołów zaś od nieznacznych ilości aż do 50%; naogół mogą one być stopami potrójnymi, poczwórnymi i o jeszcze bardziej złożonym składzie chemicznym¹⁾.

Bronzy ołowiane używane są nie tylko jako stopy łożyskowe (zwłaszcza w kolejnictwie i lotnictwie), lecz również do wyrobu innych części maszyn, których praca związana jest z poślizgiem, jak np. na zawory, mimośrodę, pierścienie tłokowe i t. p.²⁾.

Zakres stosowania oraz skład bronzów ołowianych jest w rozmaitych krajach różny; obszerne zastosowanie znalazły one zwłaszcza w Stanach Zjednoczonych. Czyste stopy *Cu-Pb* są rzadko używane. Zazwyczaj zawierają one cynę, obok niej zaś najrozmaitsze składniki dodatkowe: *Zn*, *Ni*, *P*, *Fe*, *S*, *Mn*, *As*, *Si*, *Cu*, *Na*, *Al*

i inne. Pierwiastki te mogą występować w bronzie albo jako umyślnie wprowadzone dodatki albo jako zanieczyszczenia.

Układ składników strukturalnych w bronzach ołowianych zbliża się swym charakterem do budowy, uważanej za odporną na ścieranie; roztwory stałe miedzi tworzą w nich twardą siatkę, wypełnioną miękkimi wtrąceniami ołowiu. Ułożenie składników jest tu więc odwrotne jak w innych stopach łożyskowych, gdzie w miękkiej osnowie eutektycznej ułożone są twarde kryształy roztworów stałych lub związków chemicznych. Podczas pracy brony ołowiane zachowują się podobnie jak „metal biały” i stanowią ważny człon przejściowy od stopów łożyskowych niskotopliwych, o małej wytrzymałości na ściskanie, do bronzów łożyskowych wysokotopliwych o wysokich własnościach wytrzymałościowych³⁾.

Stopy z ołowiem muszą być odlewane bardzo starannie, zwłaszcza przy większych zawartościach *Pb*. Wskutek znacznego ciężaru właściwego ołów posiada skłonność do segregacji, tak, że w dolnej części odlewu może nagromadzić się w znacznie większym stężeniu aniżeli w górnej.

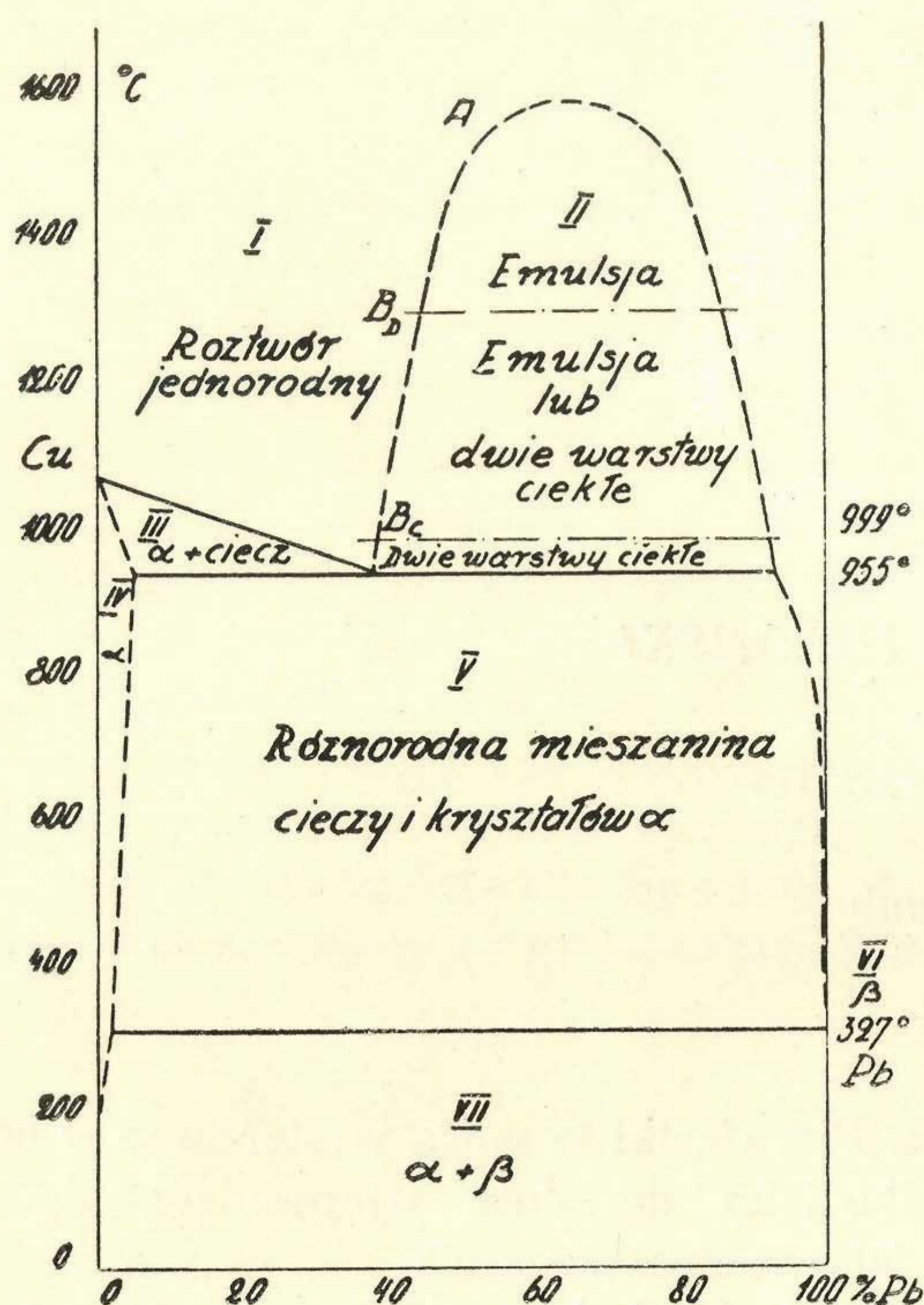
Na rys. 1 podany jest wykres termiczny stopów miedzi z ołowiem⁴⁾. W temperaturze monotetyki (955°) zakres niemieszania się w stanie ciekłym rozciąga się od 7,40% do 52,30% *Cu*.

³⁾ M. P. Sławiński, A. E. Woł, J. W. Gutman i L. R. Edelson, *Metallurg*, 8, Nr. 4, 91, Nr. 6, 3 (1933).

⁴⁾ W. Claus, *Z. Metallkunde*, 23, 264 (1931); *Metallwirtschaft*, 13, 226 (1934).

¹⁾ J. Czochrański, *Z. Metallkunde*, 13, 171 (1921).

²⁾ H. Blume, *Automobiltechn. Z.*, 35, 398 (1932).



Rys. 1. Wykres termiczny stopów miedzi z ołowiem (Claus⁴).

Krzywa graniczna A, ustalona przez Bornemanna i Wagenmanna⁵⁾, odpowiada pojawianiu się względnie zanikaniu drugiej fazy ciekłej w postaci dyspersji. Linia pozioma B_c oznacza początek przejścia ze stanu dyspersji do dwóch warstw ciekłych w procesie stygnięcia; linia pozioma B_d oznacza temperaturę zanikania dwóch warstw cieczy i przejścia w stan dyspersji przy ogrzewaniu.

Układom potrójnym Cu-Pb z trzecim składnikiem poświęcono niewielką ilość prac. W układach Cu-Ni-Pb⁶⁾ i Cu-Pb-Sn⁷⁾ oznaczone zostały w przybliżeniu zakresy niemieszania się w stanie stopionym (rys. 2 i 3), natomiast niema bliższych danych co do przebiegu linii krzepnięcia.

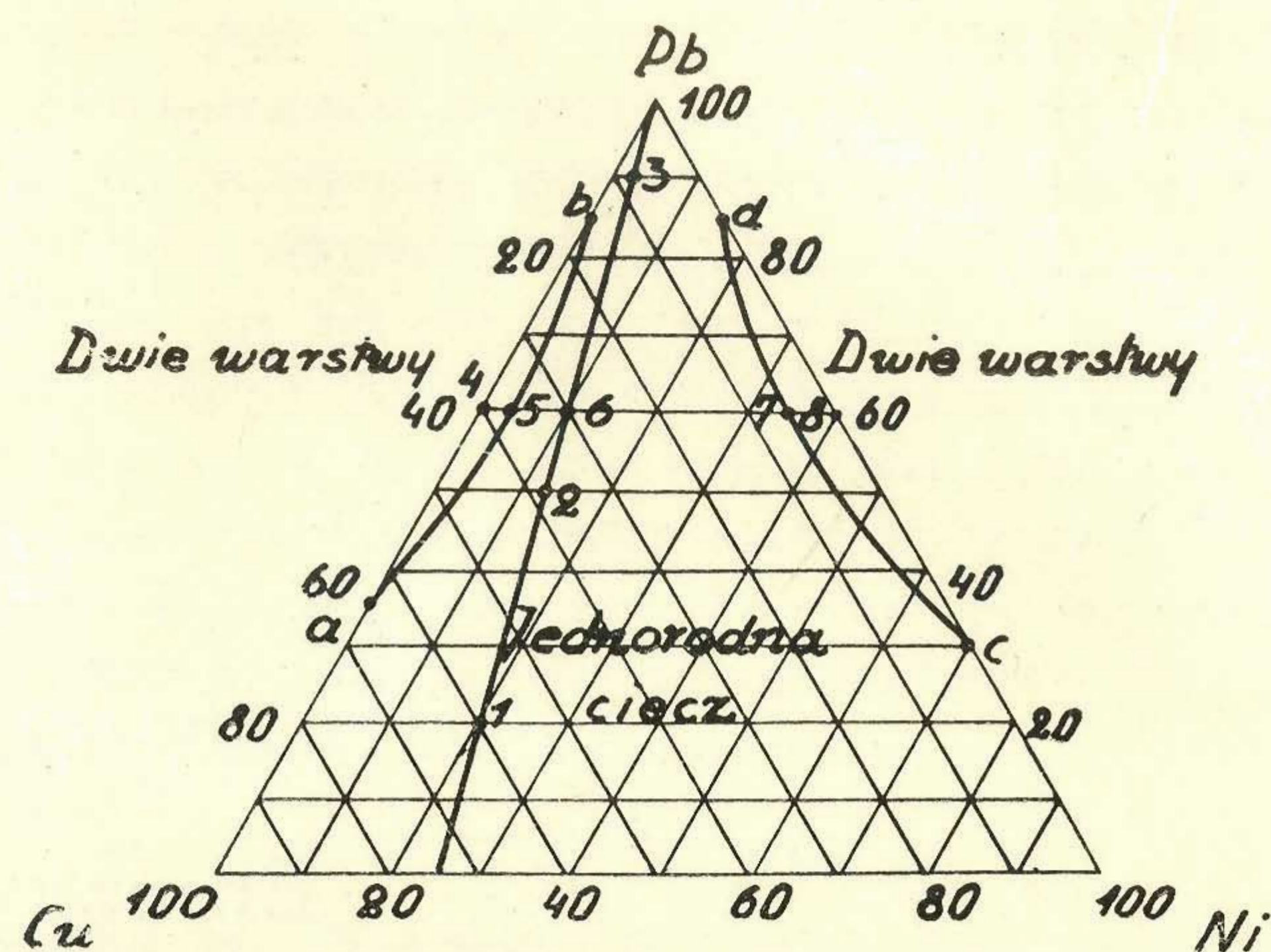
Zabiegi, stosowane celem otrzymywania dobrych odlewów, dadzą się podzielić na dwie grupy:

a) dodawanie do stopu lub do żużla przy topieniu substancyj, mających utrudnić segregację ołowiu;

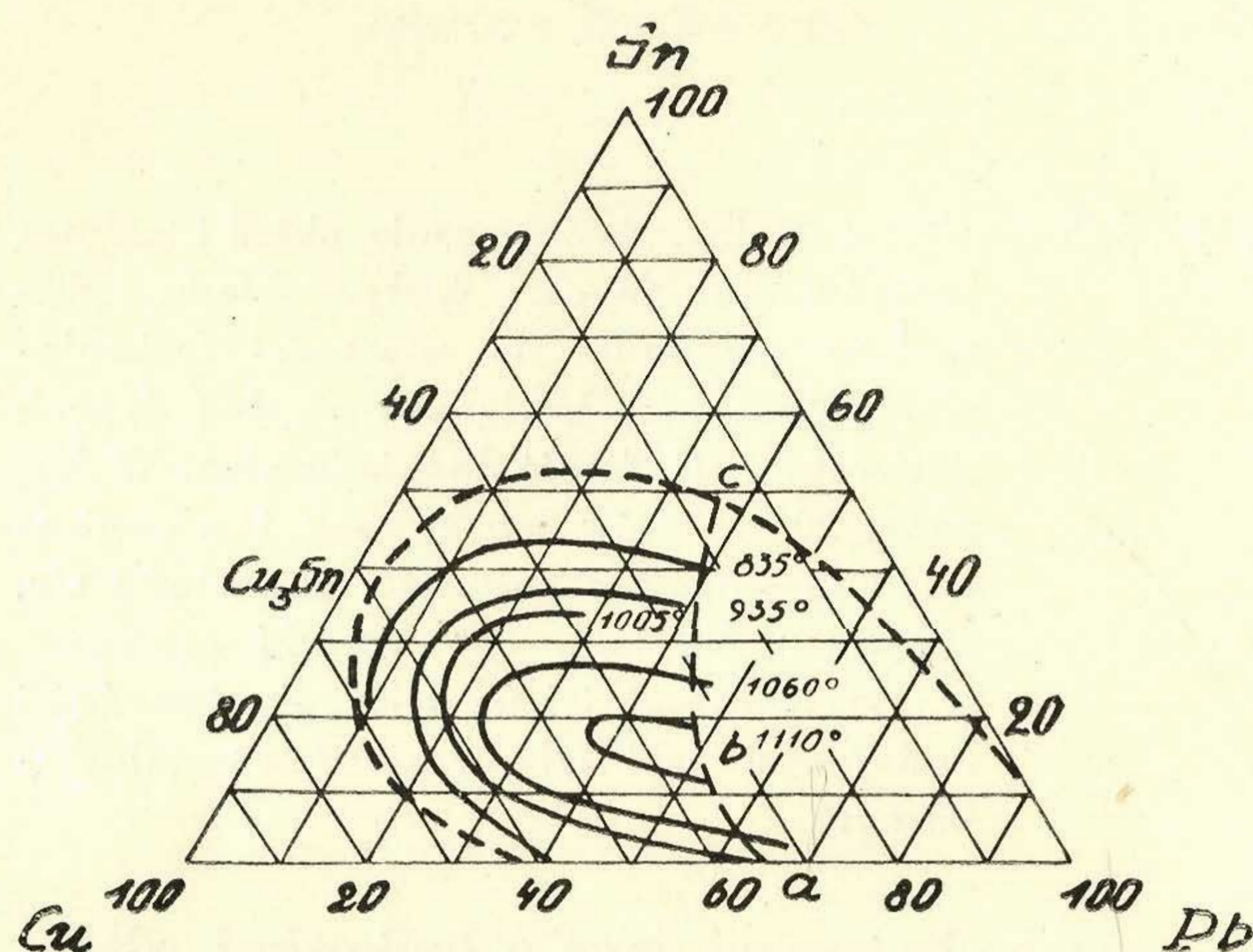
⁵⁾ E. Bornemann u. K. Wagenmann, *Ferrum*, 11, 276 (1913/14).

⁶⁾ W. Gürtler u. F. Menzel, *Z. Metallkunde*, 15, 223 (1923).

⁷⁾ S. Briesemeister, *Z. Metallkunde*, 23, 225 (1931).



Rys. 2. Układ potrójny Cu-Pb-Ni (Gürtler i Menzel)



Rys. 3. Układ potrójny Cu-Pb-Sn (Briesemeister).

b) topienie bronzów w szczególnych warunkach fizycznych, które mają zapobiegać segregacji w odlewie. Specjalne znaczenie przypisuje się szybkiemu chłodzeniu stopu przy odlewaniu⁸⁾, ⁹⁾, ¹⁰⁾.

Dawniej uważano siarkę za dodatek, szczególnie utrudniający segregację ołowiu. Dodawano ją albo wprost do stopu albo też stosowano ją jako żużel w postaci rozmaitych związków. Wpływ siarki na bronz dotąd nie jest ostatecznie wyjaśniony. Wiadomo jednak, że siarka wpływa niekorzystnie na właściwości bronzu i dlatego w nowszych czasach stosuje się ją niechętnie⁹⁾, ¹⁰⁾.

Obecnie najbardziej zalecany jest dodatek niklu. Nikiel nie tylko ma zapobiegać segregacji

⁸⁾ W. Frölich, *Chem. Z.*, 57, 741 (1933).

⁹⁾ E. R. Thews, *Giesserei — Z.*, 26, 97 (1929).

¹⁰⁾ H. K. Herschman a. I. L. Basil, *Metal. Ind.*, London, 43, 219 (1933).

ołowiu w odlewie, ale polepszać również własności mechaniczne stopu.

Dodatek małych ilości sodu powoduje równomierne rozmieszczenie *Pb* w stopie⁹⁾.

Prócz tych trzech pierwiastków stosuje się albo zaleca cały szereg innych, pojedynczo lub po kilka naraz. Wszystkie te dodatki mają powodować równomierne rozmieszczenie ołowiu w stopie; w jaki sposób, tego nikt nie tłumaczy ani nie uzasadnia^{11), 12), 13), 14), 15), 16)}.

Do drugiej kategorii środków, zapobiegających segregacji w bronzach ołowianych, należy:

- a) mieszanie stopu przez cały czas topienia;
- b) powolne wkraplanie ołowiu do stopionej miedzi¹⁷⁾;

c) emulgowanie przez topienie w indukcyjnym piecu elektrycznym^{18), 19)};

d) znaczne przegrzewanie stopu²⁰⁾.

¹¹⁾ Pat. niem. Nr. 314345 z 1918 r.

¹²⁾ Pat. St. Zjedn. Nr. 1724896 z 1922 r.

¹³⁾ Pat. niem. Nr. 355336 z 1921 r.

¹⁴⁾ Pat. niem. Nr. 436440 z 1923 r.

¹⁵⁾ Pat. ang. Nr. 291462 z 1928 r.

¹⁶⁾ Pat. niem. Nr. 584020 z 1929 r.

¹⁷⁾ Pat. franc. Nr. 748681 z 1932 r.

¹⁸⁾ Pat. niem. Nr. 314346 z 1918 r.

¹⁹⁾ Pat. szwajc. Nr. 87223 z 1918 r.

²⁰⁾ Pat. St. Zjedn. Nr. 1584706 z 1923 r.

T A B L I C A I.

Zestawienie wykonanych odlewów.

L. p.	Nr. stopu	Znak odlewu	Skład chemiczny w % ^{*)}					Temperatura odlewania	Sposób odlewania
			Cu	Pb	Sn	Ni	Fe		
1	I	X	85,14	(4,83)	9,55	—	0,48	1050	do piasku
2	I	U	85,22	(4,96)	9,70	—	0,125	1050	" "
3	II	S	79,72	(10,13)	9,06	1,01	0,08	1025	" "
4	II	D	79,78	(10,04)	9,18	0,94	0,21	1025	" "
5	III	K	76,24	(14,93)	8,72	—	0,11	1000	" "
6	III	Y	76,15	(15,04)	8,64	—	0,17	1000	" "
7	IV	O	71,12	(19,84)	7,97	0,97	0,10	980	" "
8	IV	Z	70,51	(20,80)	7,64	0,98	0,075	980	" "
9	IV	M	70,65	20,05	8,26	0,97	0,20	980	" "
10	IV	Ł	70,89	20,04	8,33	0,94	0,14	980	do wlewnicy
11	IV	P	71,00	20,33	7,89	0,96	0,08	980	" "
12	V	V { $\begin{matrix} V_1 \\ V_2 \end{matrix}$	62,39 57,15	27,83 34,05	7,12 6,60	2,54 2,30	0,10 0,17	970	do piasku
13	V	H	53,81	(37,78)	6,13	2,26	0,08	970	" "
14	VI	J	71,96	28,11	—	—	0,10	1050	do wlewnicy
15	VIII	8	48,31	51,66	—	—	0,06	1050	" "
16	VII	M ₂	62,38	37,10	—	—	ślady	1000	" "
17	—	9	62	38	—	—	—	1000	" "
18	—	N	60,75	30	6,75	2,5	—	970	" "
19	IV	4	71,1	20	7,9	1,0	—	980	" "
20	—	—	70	30	—	—	—	—	nieodlany

^{*)} Stopy 1 do 16 były analizowane chemicznie; zawartości Pb, wzięte w nawias, obliczone zostały z analizy jako reszta. Dla stopów 17 do 20 podano skład wsadu.

II. Część doświadczalna.

a) Odlewanie stopów.

Tablica I. podaje wykaz odlanych i zbadanych stopów. Jako materiały wyjściowe służyły:

- 1) miedź elektrolityczna,
- 2) ołów techniczny rafinowany,
- 3) cyna techniczna w prętach,
- 4) nikiel Monda w kulkach,
- 5) fosforomiedź o zawartości 15% *P*.

Nikiel był dodawany w postaci stopu przejściowego o składzie: 64,76% *Cu*; 14,94% *Sn*; 19,80% *Ni*; 0,40% *Fe*.

Wszystkie wytopy przeprowadzono w piecu Tammanna, w tyglu węglowym, bez stosowania żużla. Wsad wynosił 4 kg metalu. Wytop prowadzono w sposób następujący: najpierw topiono miedź, do niej dodawano obliczoną ilość stopu przejściowego (stopy z niklem), następnie cynę. Stopy z cyną odtleniano dodatkiem fosforomiedzi. Po wymieszaniu zawartości tygla prętem żelaznym dodawano ołów w kawałkach wielkości 10 do 70 g. Stop przegrzewano do temperatury 1200° lub 1300° i mieszano.

Następnie, po ostygnięciu w piecu do odpowiedniej temperatury, mieszano stop jeszcze raz i odlewano.

W celu zmniejszenia do minimum warunków, sprzyjających segregacji ołowiu przy krzepnięciu, wybrano temperatury odlewania tylko o 60° do 70° wyższe od temperatur początku krzepnięcia tych stopów. Dla uniknięcia zakłóceń w krzepnięciu w czasie wlewania metalu wlew umieszczony był z boku i łączył się z główną przestrzenią formy na całej wysokości. Wysokość wlewków wynosiła około 180 mm, średnica 50 mm. Celem zwiększenia szybkości stygnięcia, wszystkie odlewy piaskowe z wyjątkiem odlewu *M* (tabl. I) wrzucono do zimnej wody po ośmiu minutach od chwili odlania. Wlewnice stalowe natychmiast po napełnieniu wrzucano wraz z metalem do zimnej wody. Jedynie odlew *Ł* został ostudzony we wlewnicy na powietrzu.

Dobre odlewy otrzymano tylko przy nieprzerywanym wlewaniu. Stop 19 był odlewany do wlewnicy, wstawionej do wody. Spowodu nieuszczelności wlewnicy odlewanie przerwano.

Wlewki, odlane do piasku, posiadały jamy usadowe o głębokości od 1 do 3 cm. Odlewy do wlewnic miały jamy usadowe znacznie mniej-

sze. Stopy podwójne *Cu-Pb* nie wykazały jam usadowych.

Analiza chemiczna odlewów *H* i *V* wykazała ich niejednorodność. Dla odlewu *H* podano wynik średni z trzech oznaczeń. Odlew *V* zanalizowano jako dwa odrębne stopy po przecięciu w połowie wysokości; górną część oznaczono *V*₁, dolną *V*₂.

Celem stwierdzenia, w jakim stopniu nastąpiła segregacja w tych odlewach, które mają wygląd zupełnie jednolitych, zanalizowano na trzech poziomach odlew *M*₂ (jako zawierający największą ilość *Pb* spośród dobrze odlanych wlewków). Pobrano próbki wysokości około 10 mm z dolnej części odlewu, środkowej i górnej. W próbach tych oznaczono *Cu* i *Pb*. Otrzymane wyniki podane są w tablicy II.

T A B L I C A II.

Analiza chemiczna odlewu *M*₂

Miejsce pobrania próby z wlewka	% <i>Cu</i>	% <i>Pb</i>
Część górna	63,22	36,80
" środkowa	62,95	36,79
" dolna	61,55	38,40
Analiza przeciętna (Tablica I)	62,38	37,10

b) Badania własności mechanicznych.

Oznaczono granicę sprężystości przy ścisnieniu przez pomiar mikroodkształceń zapomocą aparatu lusterkowego. W tym celu z każdego dobrze odlanego wlewka wycięto po dwie próbki cylindryczne; *h* = 70 mm, *d* = 20 mm, i ścisniano je na 20-tonnowej maszynie Amslera. Za granicę sprężystości przyjęto naprężenie, któremu odpowiada odkształcenie trwałe próbki, wynoszące 0,01% długości pomiarowej (50 mm) czyli 0,005 mm.

Do badań udarności z każdego wlewka wykonano po cztery próbki typu Mesnager'a (wymiar 10×10×55 mm, karb okrągły). Pomiar przeprowadzono przy użyciu młota Charpy'ego o mocy 30 kgm. Najbardziej rozbieżne wyniki otrzymano dla stopów z małymi zawartościami *Pb*, odlanymi w piasek. Twardość mierzono na aparacie Brinell'a (*P* = 250 kg lub 62,5 kg, zależnie od twardości stopu, kulka *d* = 5 mm, czas 30 sek.). Dla stopów 16 i 17 (tablica III)

TABLICA III.
Wyniki badań własności mechanicznych.

L. p.	Nr. stopu	Znak odlewu	Q _c Granica sprężystości na ściskanie kg/mm ²			H _B Twardość Brinell'a kg/mm ²							U Udarność kgm/cm ²					
			P r ó b a		Wartość średnia	Na próbkach do badania udarności				Na próbkach z dolnej części wlewka			wartość średnia	P r ó b a				wartość średnia
			I	II		I	II	III	IV	V	VI	VII		I	II	III	IV	
1	I	X	11,75	10,50	11,17	82,1	82,1	72,4	73,2	72,4	67,5	66,8	73,4	—	1,91	1,72	0,91	1,51
2	I	U	11,80	10,90	11,35	67,5	64,2	77,1	68,8	77,1	67,5	65,5	68,3	1,16	2,39	1,53	1,24	1,58
3	II	S	11,30	10,60	10,95	66,8	71,7	60,1	65,5	63,0	64,9	63,6	64,9	0,99	—	1,06	—	1,02
4	II	D	10,60	13,00	11,80	64,2	71,0	68,2	60,1	84,0	79,6	—	73,8	0,64	1,11	0,64	1,02	0,85
5	III	K	10,10	10,10	10,05	58,4	61,2	64,9	70,2	68,8	62,4	63,6	64,2	0,99	0,82	0,99	1,15	0,99
6	III	Y	10,20	10,15	10,17	64,2	61,8	63,0	64,9	60,6	56,3	57,3	61,3	0,82	0,83	1,02	0,85	0,88
7	IV	O	9,50	10,10	9,80	62,4	53,8	59,0	58,4	59,5	58,4	57,9	58,5	0,84	1,13	1,11	0,99	1,02
8	IV	Z	10,80	11,35	11,07	60,1	71,0	63,0	59,5	58,4	58,4	57,9	60,5	1,02	0,98	0,79	0,89	0,92
9	IV	M	10,20	11,60	10,90	59,0	73,9	59,0	61,8	71,0	73,9	—	68,0	0,82	0,97	0,76	1,05	0,90
10	IV	Ł	12,50	12,00	12,25	65,5	75,5	71,0	70,2	87,7	84,0	—	78,1	0,67	0,64	0,62	0,58	0,63
11	IV	P	11,50	11,50	11,50	67,5	64,2	69,5	67,5	—	—	—	67,2	0,53	0,84	0,59	0,84	0,70
12	VI	I	3,40	3,10	3,25	27,7	28,4	25,2	26,7	—	—	—	27,0	0,38	0,47	0,47	0,36	0,42
13	VII	M ₂	4,25	4,00	4,12	27,7	28,1	27,0	29,5	—	—	—	28,1	0,43	0,42	0,39	0,48	0,43
14	V	V	—	—	—	59,5	58,4	60,6	54,9	44,0	42,9	6,7	—	0,85	0,84	0,79	0,55	0,78
15	V	H	7,80	—	—	55,8	51,0	54,0	55,8	40,5	—	—	—	0,72	0,82	0,75	0,81	0,78
16	IV	4	—	—	—	79,6	82,1	81,3	82,1	77,1	77,9	68,2	—	—	—	—	—	—
17	VIII	8	—	—	—	22,7	22,9	25,8	22,9	21,2	23,2	—	23,1	—	—	—	—	—

twardość mierzono tylko na dolnej, jednolitej części bloczków. Pomiaru te wykazały, że odlane wlewki, z wyjątkiem V i H, pod względem twardości są w przybliżeniu jednolite. Ogólne wyniki badań własności mechanicznych podane są w tablicy III.

c) Badania metalograficzne.

Każdy z odlanych stopów badano mikroskopowo przy różnych powiększeniach (szlify nietrawione i trawione). Przekonano się, że wygląd szlifów w znacznym stopniu zależy od sposobu szlifowania. Ilość i wielkość ciemnych plamek

na szlifach nietrawionych (Fot. 1 i 2, Pl. IX), niezupełnie odpowiada zawartości ołowiu w danym stopie. Wszystkie stopy z cyną, oglądane pod silniejszymi powiększeniami, wykazały obecność fazy δ . Stopy, odlane do form piaskowych, miały dobrze wykształconą budowę dendrytyczną (Fot. 3 i 4). W odlewach kokilowych dendryty były bardzo drobne i źle wykształcone (Fot. 5). Stopy podwójne Cu-Pb wykazały strukturę, zbliżoną do eutektycznej (Fot. 6, Pl. IX).

Warszawa, 1936,

Zakład Metalurgii i Metaloznawstwa
Politechniki Warszawskiej.

Ueber Bleibronzen

von J. CZOCHRAŁSKI und H. ŁUKOMSKI

Zusammenfassung

1) Auf Grund von Literaturangaben wurde die Anwendung und der Einfluss des Schmelz- und Giesserverfahrens sowie die Zusammensetzung und die Struktur von Bleibronzen auf deren technologische Eigenschaften kurz besprochen.

2) Es wurden 8 Legierungen mit verschiedenem Cu-, Pb-, Sn-, und Ni-Gehalt geschmolzen und in Sand- oder Stahlformen gegossen. Die Zusammensetzung der geprüften Legierungen ist auf Tafel I (Tablica I), S. 71, angegeben. Die Zahlen bzw. Buchstaben in den drei ersten Spalten sind die Kennzeichen der einzelnen Proben und Schmelzen. In der letzten Spalte (Tablica I, rechts) ist die Art des Gussverfahrens angegeben (do piasku = Sandguss, do wlewnicy = Kokillenguss).

3) In der Tafel III (Tablica III, S. 73) sind

Messergebnisse der Elastizitätsgrenze beim Zusammendrücken (Q_c , bis 0,01% bleibender Deformation), der Brinellhärte (H_B , Belastung 250 bzw. 62,5 kg, Kugeldurchmesser 5 mm, Zeit 30 Sek.) sowie der Schlagfestigkeit (U, Charpy-Pendelhammer, kleine Mesnager-Probe) angegeben. Einzelne Härtemessungen, die an verschiedenen Teilen der Proben vorgenommen wurden (Tablica III, H, Spalte I, II, III usw.) zeigen die Ungleichmässigkeit des Gusses der Blöcke. Die Mittelwerte (wartość średnia) sind in der Tafel III angegeben.

4) Die Mikrostruktur einzelner Proben ist aus Fot. 1 bis 6 (Pl. IX) ersichtlich.

Warszawa, 1936,

Institut für Metallurgie und Metallkunde
der Technischen Hochschule.