

Zależność mechanicznych własności mosiądzów od temperatury.

Zarys historyczny. Badania wpływu temperatury na własności mechaniczne metali zapoczątkowano około 100 lat temu. Przy pierwszych tego rodzaju pomiarach zadowalano się ogrzaniem próbki przed rozerwaniem, nie zwracając uwagi na spadek temperatury w czasie trwania próby.

Znacznie dokładniejszymi były pomiary Martensa¹⁾, dotyczące stali. Rozerwanie prowadził on w temperaturach do 600°, umieszczając próbki w kąpieli olejowej, względnie w kąpieli ze stopu ołowiu z cyną. Temperatury do 400° mierzył termometrem rtęciowym, wyższe gazowym.

Badania mosiądzów przedsięwzięte przez A. Le Chateliera²⁾ wykazały, że około 250° wytrzymałość mosiądzu na rozerwanie jest tylko o 15% niższa aniżeli w temperaturze zwyczajnej, lecz pomiędzy 250 a 300° zarówno wytrzymałość na rozerwanie jak i wydłużenie poczyna szybko spadać. W tych badaniach temperatury mierzono termoelementem przymocowanym do próbki. Ogrzewanie odbywało się zapomocą gazu.

Charpy³⁾, Unvin⁴⁾, Bregowski i Spring⁵⁾ badali parametry wytrzymałościowe kilku mosiądzów, nie przekraczając jednak 500°.

¹⁾ Martens, Mitteilungen aus der Technischen Versuchsanst, zu Berlin, (1890), str. 159.

²⁾ A. Le Chatelier, Génie Civil, 1891; Revue Générale des Sciences, Août, 1891.

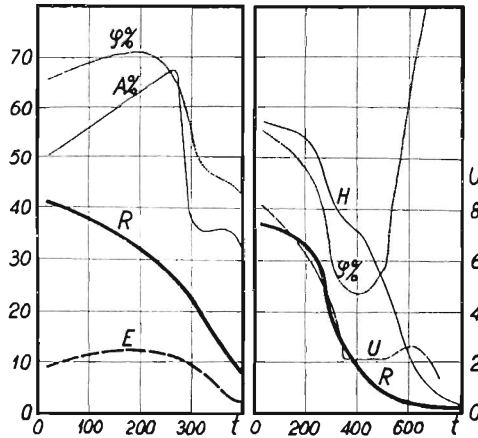
³⁾ Charpy, Bull. Soc. Encouragement, Février, 1899; Contributions à l'étude des alliages, Paris, 1901, str. 241.

⁴⁾ Unvin, Raport of British Association, 1899.

⁵⁾ Bregowski i Spring, Assoc. Intern. pour l'essai des matériaux, Congrès de New-York, 1912, rapport VII; Revue de Métall., 10, (1913), str. 111.

Bengough i Hudson¹⁾ wykonali pomiary aż do 600° dla mosiądzu o 30% cynku, zaś Bengough²⁾ dla mosiądzu tokarskiego o 39% cynku i 0,4% ołowiu przekroczył temperaturę 800°. Wytrzymałość na rozerwanie tych dwóch mosiądźców zmniejsza się przy wzroście temperatury dość regularnie, spadając szybciej pomiędzy 350 a 450°, podczas gdy wydłużenie wykazuje dwa minima, a mianowicie około 400° i 500° dla pierwszego, zaś około 350° i 800° dla drugiego mosiądzu.

Huntington³⁾ ustalił wszystkie parametry wytrzymałości aż do około 450° dla mosiądzu o 40% cynku. Temperaturę mierzył on w karbach wykonanych w probierkach poza ich częścią zwężoną. Wyniki tych pomiarów są przedstawione na rys. 1.



Rys. 1.

Rys. 2.

Temperatura.

Rys. 1. *R* — wytrzymałość na rozerwanie w kg/mm², *E* — granica sprężystości, *A*% — wydłużenie, *φ*% — przewężenie według Huntingtona dla mosiądzu o 40% cynku.

Rys. 2. *R* — wytrzymałość na rozerwanie, *φ*% — przewężenie, *H* — twardość Brinella, *U* — udarność dla mosiądzu o 40% cynku według Hansera.

Hanser⁴⁾ opublikował, w postaci wykresów, wartości na rozerwanie i przewężenia dla mosiądźców o 33 i 40% cynku (rys. 2). Pomiary wydłużenia wydały mu się zbyt niepewnymi, aby je podawać.

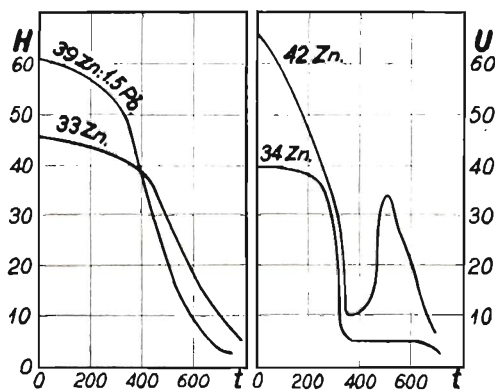
¹⁾ Bengough i Hudson, J. Inst. Met., 4, (1910), str. 92.

²⁾ Bengough, J. Inst. Met., 7, (1912), str. 123.

³⁾ Huntington, J. Inst. Met., 8, (1912), str. 126.

⁴⁾ Hanser, Zs. f. Metallkunde, 18, (1926), str. 247.

Badania twardości Brinella w niskich temperaturach przeprowadzili Guillet i Cournot¹⁾, w wysokich zaś Guillet²⁾. Dla pomiarów w niskich temperaturach próby wykonywano na probierkach zanurzonych w mieszaninach oziębiających, których temperatura dawała się z łatwością określić. Dla mosiądzu o 39% cynku i o 0,2% ołowiu nie zauważono aż do -80° żadnych zmian twardości, zaś przy -110° i -182° stwierdzono wzrost twardości o 20 względnie 30%. Pomiary w wysokich temperaturach były wykonywane przez wywarcie nacisku kulką nie ogrzaną na powierzchnię próbki ogrzewanej w piecu. Przyjmowano, że obniżenie temperatury powodowane takim postępowaniem wynosiło, zależnie od temperatury, 5 do 15° . Wyniki uzyskane dla mosiądzu do łusek nabojuowych i mosiądzu tokarskiego przedstawione są na rys. 3.



Rys. 3.

Rys. 4.

Temperatura.

Rys. 3. Twardość Brinella dla mosiądźców o 33 i 39% cynku i 1,5% ołowiu według Guilleta.

Rys. 4. Udarność mosiądźców o 34 i 42% cynku w funtach angielskich na cal kwadratowy, według Buntinga.

Wyniki uzyskane przez Hansera (H, rys. 2) dla mosiądzu o 40% cynku różnią się od wyników Guilleta zwłaszcza tem, że słabiej wykazują spadek twardości pomiędzy 300 a 400° .

Bassett i Davis³⁾ ustalają wykres twardości aż do 850° dla silnie zgniecionego mosiądzu o 30% cynku. Aż do 300° twardość

¹⁾ Guillet i Cournot, *Revue de Métall.*, 19, (1922), str. 215.

²⁾ Guillet, *Revue de Métall.*, 21, (1924), str. 295.

³⁾ Bassett i Davis, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Techn. Publ.*, N. 26, Sept., 1927.

utrzymuje się prawie na stałym poziomie, aby spaść następnie o 40% pomiędzy 300 a 350°.

Badania udarności w wysokich temperaturach podjęli po raz pierwszy dla stali Guillet i Revillon¹⁾. Próbkę, po ogrzaniu jej w piecu do żądanej temperatury, umieszczano na kowadle, oddzielając ją od niego tekturą azbestową. Temperaturę mierzono zapomocą termopary, której spoinę umieszczano w otworze wywierconym z jednej strony próbki.

Pomiary udarności mosiądzu o 38% cynku, wykonane przez Guilleta i Bernarda²⁾ wykazują spadek aż do 300°, poczem udarność aż do 600° pozostaje stałą, zaś około 700° wykazuje słabo zaznaczone maximum.

Bunting³⁾ wykonał badania udarności szeregu mosiądźców, ogrzewając probierkę Izoda, zaopatrzoną masą metaliczną, mającą za zadanie zmniejszać szybkość oziębiania, na kowadle. Temperaturę mierzył zapomocą termopary. Wyniki otrzymane przez Buntinga podaje rys. 4.

Widzimy tam, że mosiądz o 42% cynku, zawierający fazę β , okazuje około 500° maximum, którego mosiądz o 34% cynku, składający się jedynie z roztworu stałego α , jest pozbawiony.

Dla udarności mosiądzu o 40% cynku znajdujemy również wskazówki na wykresie Hansera (*U*, rys. 2).

Metoda pomiarów. Wyniki dotychczasowych pomiarów, dotyczących własności mechanicznych mosiądźców w zależności od temperatury nie zgadzają się dostatecznie pomiędzy sobą. Przyczyny tego stanu rzeczy należy się doszukiwać głównie w niedokładności określania temperatury probierki.

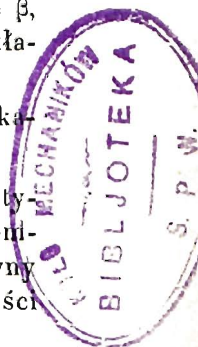
Przy rozrywaniu użycie próbki o dużym przekroju powoduje odprowadzanie ciepła ku zimnym szczekom maszyny, co utrudnia otrzymanie jednorodnej temperatury na długości pomiarowej.

Przy pomiarach twardości, skoro kulka i próbka posiadają temperatury różne, powstaje w chwili wywierania nacisku, dokoła miejsca zetknięcia, strefa o temperaturze niejednorodnej, wskutek czego dokładne określenie warunków, w jakich odbywa się próba, jest rzeczą trudną, lub zgoła niemożliwą.

¹⁾ Guillet i Revillon, *Revue de Métall.*, 6, (1909), str. 94.

²⁾ Guillet i Bernard, *C. R.*, 156, (1913), str. 1899.

³⁾ Bunting, *J. Inst. Met.*, 31, (1924), str. 47.



Dla wykonania pomiaru udarności, próbkę ogrzaną w piecu musi się pośpiesznie ułożyć na kowadle, które ją oziębia nieregularnie, tak, że termopara przymocowana do jednej strony próbki nie wskazuje temperatury jaka panuje w obrębie najważniejszym, t. zn. w pobliżu karbu.

Aby o ile możności usunąć powody tych błędów zastosowaliśmy do pomiarów wytrzymałości na rozerwanie cienkie probierki ($d = 5$ mm), przez co zmniejszyła się znacznie ilość odprowadzanego ciepła, a temperatura była tem równomierniejsza, że próbkę ogrzewano na długości trzykrotnie większej, niż długość pomiarowa. Ogrzewanie prowadzono w atmosferze dwutlenku węgla, jako gazu mało czynnego, a rozerwanie odbywało się ze stałą szybkością, aby zredukować zaburzający wpływ pełzania w wysokich temperaturach.

Odciski twardości wykonywano stożkiem, który ogrzewany był w piecu do tej samej temperatury co próbka, dzięki czemu temperatura dawała się ściśle wyznaczyć.

Udarność mierzono w ten sposób, że próbkę ogrzewano na kowadle, co pozwalało na staranne jej ułożenie. Temperaturę mierzono zapomocą termopary, której spoina znajdowała się w karbie próbki, co umożliwiało pomiar w chwili uderzenia.

Szczegóły tych urządzeń zostały opisane przez A. Krupkowskiego w jednej z poprzednich publikacji Zakładu Metalurgicznego¹⁾.

Zakres pomiarów. W naszych badaniach zostały zmierzone następujące parametry własności mechanicznych:

R — wytrzymałość na rozerwanie w kg/mm^2 określano na próbkach o średnicy 5 mm.

E — granicę sprężystości w kg/mm^2 odczytywano z wykresu rozerwania, zarejestrowanego automatycznie, odpowiadała ona więc faktycznie granicy proporcjonalności.

A — wydłużenie całkowite przy rozerwaniu określano w procentach na probierce międzynarodowej o długości pomiarowej równej dziesięciu średnicom. W celu przeliczenia wydłużenia dla probierki francuskiej lub krótkiej angielskiej, można się posługiwać wzorem Krupkowskiego²⁾ lub wzorem podanym w poprzedniej pracy³⁾.

¹⁾ Krupkowski, Własności mechaniczne miedzi. Prace Zakładu Metalurgicznego Pol. Warsz. Tom II, Warszawa, 1930.

²⁾ Krupkowski, l. cit., wzór 15.

³⁾ Broniewski i Trzebski, O mechanicznych własnościach stopów miedzi z cynkiem, str. 3.

a — wydłużenie równomierne przy rozerwaniu określano przez pomiary średnicy w pobliżu znaczków przed rozerwaniem (d_0) i po rozrywaniu (d_1). Wówczas:

$$a = 100 \left(\frac{d_0^2}{d_1^2} - 1 \right)$$

b — wydłużenie przewężeniowe otrzymywano z różnicy:

$$b = A - a$$

φ — przewężenie, w procentach mierzono z dokładnością 0,005 mm przy pomocy mikroskopu ze śrubą mikrometryczną.

H — twardość określano metodą Rockwella przez wywarcie nacisku 25 kg w ciągu 5 minut zapomocą stożka stellitego lub ze stopu widia (sprasowane węgliki wolframu), o kącie 120°. Wstępny nacisk 10 kg wywierano również w ciągu 5 minut. Mierzono średnicę odcisku pod mikroskopem ze śrubą mikrometryczną, zaś liczbę twardości wyrażano stosunkiem ciśnienia do powierzchni odcisku.

U — udarność w kg/cm^2 mierzono na probierce wzoru niemieckiego $10 \times 8 \times 100$ mm z karbem o głębokości 3 mm i kącie 45°. Probierka ta została wybrana wskutek wstępnych pomiarów, mających na celu zbadanie wpływu uderzenia na małe próbki rozmaitego typu (tablica I).

TABLICA I.

P r ó b k a	33% Zn		40% Zn		40% Zn i 1,3% Pb	
	wyżarzona	zgniec. do 12%	wyżarzona	zgniec. do 17%	wyżarzona	zgniec. do 12%
Francuska normalna $10 \times 10 \times 55$	16,3*	9,8*	9,6	5,7	5,6	3,0
Francuska Mesnagera $10 \times 10 \times 55$	23,1**	15,3*	13,0	6,8	8,7	3,0
Izoda $10 \times 10 \times 56$	9,6**	11,0*	9,5*	5,9	5,7*	2,8
Niemiecka $10 \times 8 \times 100$	14,3*	8,1	8,5	5,1	4,4	2,2

Cecha * oznacza próbkę zgiętą z pęknięciem, zaś ** próbkę zgiętą bez pęknięcia. Cyfry pozbawione gwiazdek odpowiadają normalnemu przełamaniu probierek.

Wszystkie pomiary wykonano dwukrotnie. W tablicach podajemy wartości średnie z cyfr uzyskanych w tych pomiarach.

Badania dotyczyły mosiądzów o następującym składzie:

33% cynku,

40% cynku,

40% cynku, i 1,3% ołowiu.

Resztę stanowiła miedź.

TABLICA II.

Mechaniczne własności 33% mosiądzu wyżarzzonego. t° — temperatura, R — wytrzymałość na rozerwanie, E — granica sprężystości, A — całkowite wydłużenie przy rozerwaniu, a — wydłużenie równomierne, b — wydłużenie przewężeniowe, φ — przewężenie.

t°	R	E	$A^{\circ}/_{\circ}$	$a^{\circ}/_{\circ}$	$b^{\circ}/_{\circ}$	$\varphi^{\circ}/_{\circ}$
—183	53,7	40,2	50,8	44,5	6,3	70,7
— 78	43,0	30,7	49,8	40,7	9,1	76,6
23	40,0	27,6	50,4	41,7	8,7	72,0
108	38,2	26,2	49,7	39,6	10,1	69,2
200	35,6	20,7	45,3	38,2	7,1	58,9
298	32,7	19,6	34,8	25,1	9,7	38,8
352	30,6	16,9	26,9	17,6	9,3	33,0
400	22,6	16,0	20,7	9,7	9,2	29,5
500	10,9	7,4	16,8	6,9	9,9	25,0
617	4,2	2,7	17,3	9,0	8,3	20,8
697	2,7	1,7	16,3	7,1	9,2	17,7

TABLICA III.

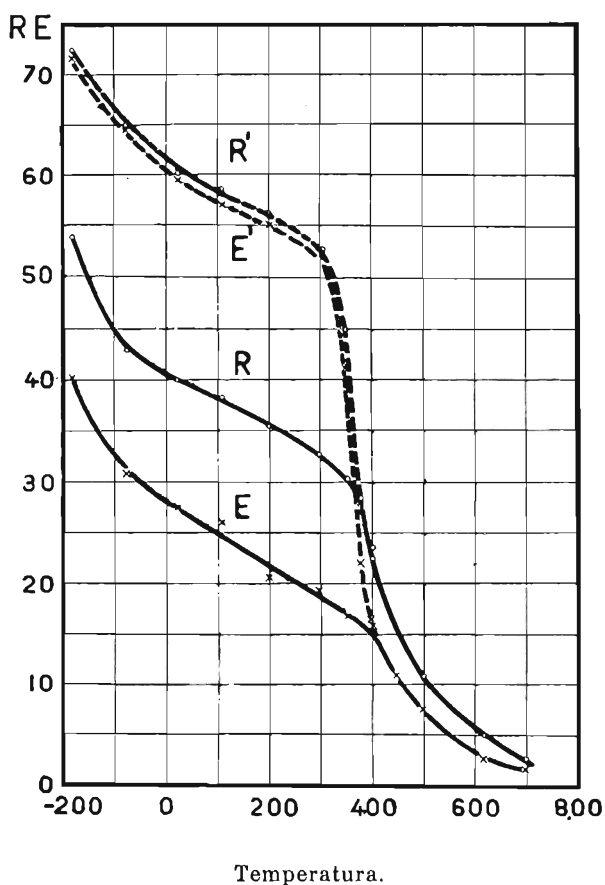
Mechaniczne własności 33% mosiądzu zgniecionego do 40%. t° — temperatura, R' — wytrzymałość na rozerwanie, E' — granica sprężystości, A' — całkowite wydłużenie przy rozerwaniu, a' — wydłużenie równomierne, b' — wydłużenie przewężeniowe, φ' — przewężenie.

t°	R'	E'	$A'^{\circ}/_{\circ}$	$a'^{\circ}/_{\circ}$	$b'^{\circ}/_{\circ}$	$\varphi'^{\circ}/_{\circ}$
—183	72,3	71,5	10,1	1,6	8,5	66,5
— 78	65,0	64,5	7,8	0,0	7,8	71,5
23	60,0	59,5	6,3	0,5	5,8	66,5
109	58,6	57,1	6,3	0,5	5,8	57,7
200	56,3	55,9	5,2	0,0	5,2	41,5
306	52,8	52,3	4,0	0,5	3,5	5,9
347	44,9	41,0	4,3	1,4	2,9	13,0
378	28,5	22,0	19,6	9,0	10,6	27,6
396	23,6	16,6	21,8	9,7	12,1	28,3

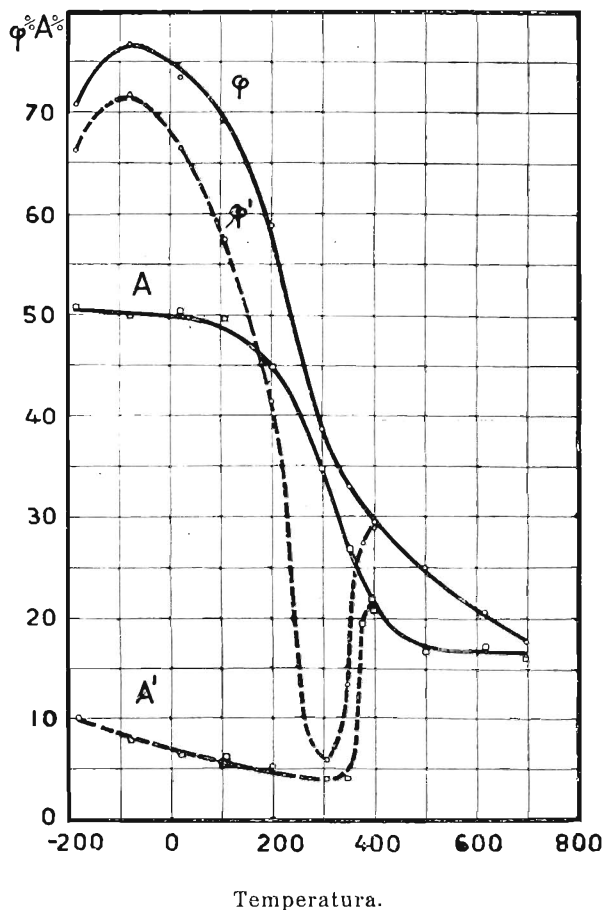
Pomiary były wykonywane równoległe na mosiądzach wyżarzonych i na mosiądzach zgniecionych. Wyżarzanie odbywało się przez 2 godziny przy 550° w atmosferze CO_2 . Zgniot wykonywano przy wyrobie probierek, a więc przez walcowanie lub przeciąganie.

Zakres naszych temperatur pomiarowych wynosił od wrzenia skroplonego powietrza do $+700^{\circ}$.

Mosiądz o 33% cynku. Wartości parametrów mechanicznych uzyskane dla tego mosiądzu zebrane są w tablicach II i III i na rys. 5, 6 i 7.



Rys. 5. R i E — wytrzymałość na rozzerwanie i granica sprężystości mosiądzu o 33% cynku wyżarzonego (linje ciągłe); R' i E' — wytrzymałość na rozzerwanie i granica sprężystości metalu zgniecionego do 40% (linje przerywane).



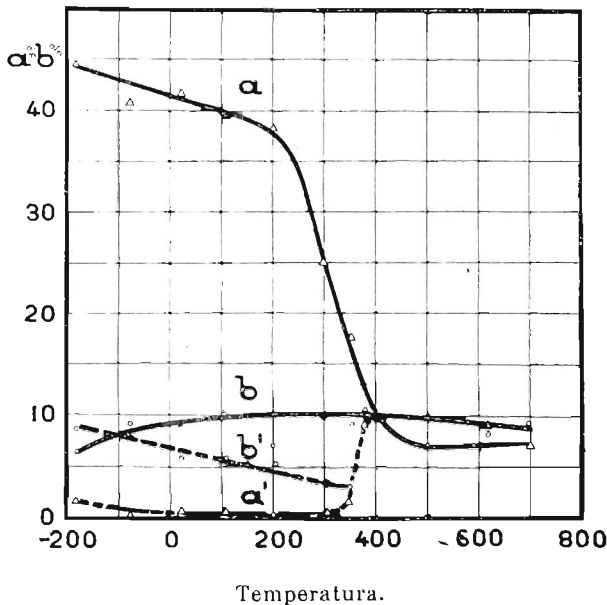
Rys. 6. A i φ — wydłużenie całkowite i przewężenie mosiądzu o 33% cynku wyżarzzonego (linje ciągłe); A' i φ' — wydłużenie całkowite i przewężenie metalu zgniecionego do 40% (linje przerywane).

Liczby twardości i udarności mosiądzu o 33% cynku podane są w tablicy IV i na rys. 8.

Widzimy, że spadek wytrzymałości na rozerwanie R i granicy sprężystości E (rys. 5) zaznacza się wyraźniej w niskich temperaturach i powyżej strefy rekrytalizacji, znajdującej się pomiędzy 350 i 400°. Poczawszy od 400° krzywe dla metalu zgniecionego zlewają się z krzywymi dla metalu wyżarzzonego.

Wydłużenie całkowite przy rozerwaniu A (rys. 6) spada gwałtownie pomiędzy 100 a 500°, zaś poza obrębem tych temperatur

prawie się nie zmienia. Przewężenie φ przechodzi przez maximum około -80° i wykazuje spadek szczególnie zaznaczony w tych samych granicach temperatur, co i wydłużenie. Krzywe dla metalu zgniecionego, zwłaszcza krzywa przewężenia, wykazują minimum około 300° , zaś przy 400° zbiegają się z wartościami dla metalu wyżarzzonego.



Rys. 7. a i b — wydłużenie równierne i wydłużenie przewężeniowe mosiądzu o 33% cynku wyżarzonego (linje ciągłe); a' i b' — wydłużenie równierne i wydłużenie przewężeniowe mosiądzu zgniecionego do 40% (linje przerywane).

Co do krzywej przewężenia, to zachowuje się ona tak, jak gdyby dążyła do zera w pobliżu 300° i wznosiła się jedynie wskutek rekrytalizacji usuwającej wpływ zgniotu.

Podział całkowitego wydłużenia A na jego dwie składowe wykazuje nam rolę tych ostatnich (rys. 7).

Widzimy, że wydłużenie przewężeniowe b mało zmienia się z temperaturą, tak, że krzywizna linii wydłużenia całkowitego jest całkowicie spowodowana wydłużeniem równiermem a . Przeciwnie, dla metalu zgniecionego wydłużenie równierne jest bardzo małe i na przebieg krzywej wydłużenia całkowitego, wraz z jej minimum, wpływa jedynie wydłużenie przewężeniowe b .

TABLICA IV.

Twardość H i H' oraz udarność U i U' 33% mosiądzu. H i U odpowiadają mosiądzom wyżarzonym, zaś H' i U' zgniecionym do 12%, t° — oznacza temperaturę. Próbki nieprzetłamane oznaczone są znakiem *).

t°	H	t°	H'	t°	U	t°	U'
— 183	100,0	— 183	172,0	— 183	14,15	— 183	9,40
— 78	85,7	— 78	149,0	— 78	16,89*	— 78	9,20
19	77,1	18	142,4	20	14,35*	20	8,12
57	79,2	50	142,4	46	12,10	50	8,44
100	77,6	100	140,7	106	11,10	100	8,10
150	77,1	144	134,5	150	10,90	152	7,10
196	77,1	200	126,2	203	10,60	200	7,03
248	68,9	254	109,1	251	9,52	250	5,91
302	58,8	274	92,5	301	3,37	302	3,70
330	46,4	303	87,1	350	1,55	350	1,82
346	44,7	309	78,5	401	1,30	401	1,01
401	25,9	324	69,3	450	1,01	450	0,93
454	14,8	330	63,7	498	1,08	500	0,79
496	11,1	343	54,9	550	0,86	550	0,60
552	9,7	353	45,9	598	0,80	600	1,01
603	5,7	374	38,3	646	0,97	650	1,20
657	3,7	397	31,5	695	0,96	700	0,99
703	2,6	462	15,3				
		501	11,0				
		552	8,1				
		595	5,0				
		665	4,0				
		700	2,8				

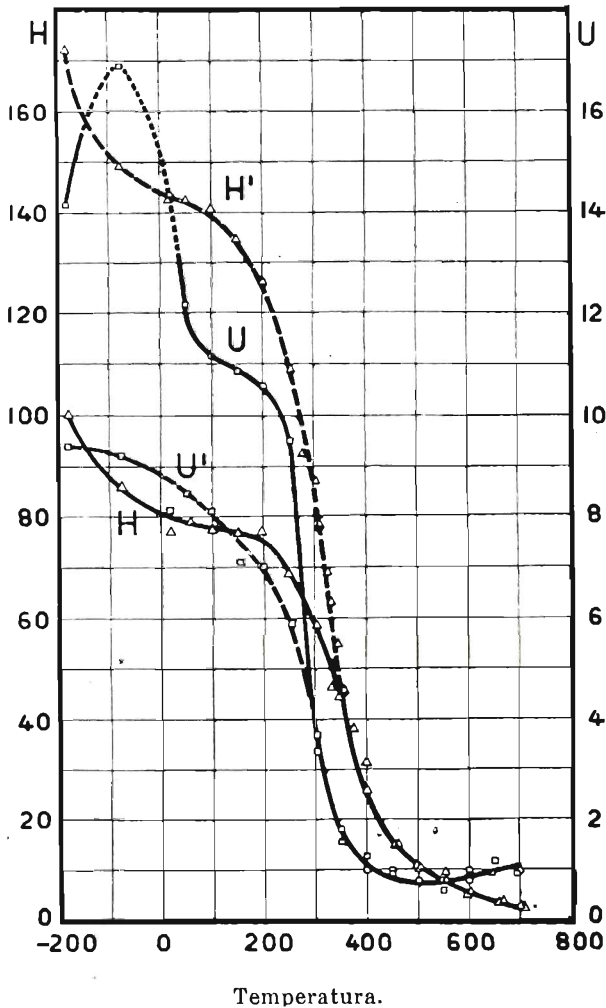
Krzywe twardości H i H' (rys. 8) są, w ogólnych zarysach, podobne do krzywych wytrzymałości na rozerwanie (rys. 5).

Udarność metalu wyżarzonego U (rys. 8) przechodzi przez maximum w pobliżu -80° , podobnie, jak to obserwowaliśmy dla przewężenia (rys. 6). Szybki spadek krzywej udarności daje się zauważyć w pobliżu strefy rekrytalizacji (jak na krzywej wydłużenia A rys. 6). Przed i po tym spadku krzywa przebiega prawie poziomo. Wpływ zgniotu na udarność, począwszy od 300° jest już nieznacznym, całkowicie zanika jednak dopiero powyżej 400° .

Porównując nasze wyniki z wynikami poprzednich prac możemy stwierdzić, że ogólny kształt krzywych uzyskanych przez Bengougha i Hudsona dla mosiądzu o 30% cynku i przez Hansera

dla mosiądzu o 33% cynku wskazuje na użycie do tych pomiarów metalu zgniecionego. Uwidacznia to zwłaszcza wykres wydłużenia, uzyskany przez Bengougha i Hudsona oraz wykres przewężenia w pracy Hansera.

Krzywa twardości według Guilleta (rys. 3) dla mosiądzu o 33% cynku różni się od naszej (H , rys. 8) tem, że spadek jej jest wolniejszy, podczas gdy krzywa otrzymana przez Bassetta i Devisa



Rys. 8. H i U — twardość i udarność mosiądzu o 33% cynku wyżarzonego (linje ciągłe); H' i U' — twardość i udarność metalu zgniecionego do 12%. Linja kropkowana podaje udarność próbek niezłamanych.

dla mosiądzu zgniecioneo o 30% cynku, wykazuje spadek spóźnio-ny, lecz pomiędzy 300 i 350° bardziej gwałtowny, niż nasza krzywa (*H*, rys. 8).

Przebieg udarnośći według Buntinga (rys. 4) dla mosiądzu o 34% cynku jest naogół zbliżony do naszej krzywej (*U*, rys. 8), lecz cyfrowo wyniki te nie dają się ze sobą porównać, ze względu na zupełnie inne warunki pomiarowe.

Mosiądz o 40% cynku. Tablice V, VI i VII i rysunki 9, 10, 11 i 12.

Krzywe wytrzymałości na rozerwanie i granicy sprężystości (rys. 9) mają dla mosiądzu o 40% cynku kształt podobny jak dla 33%-owego (rys. 5).

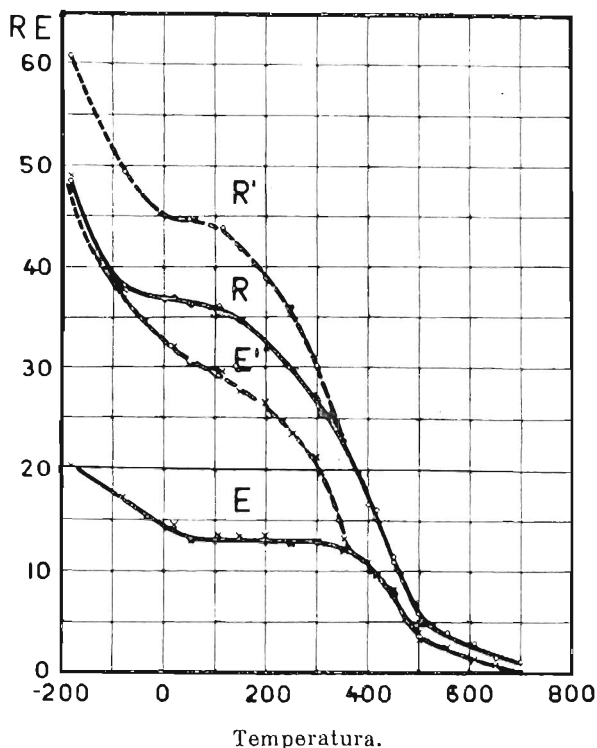
Przeciwnie, dość znaczne różnice wykazują te dwa gatunki mosiądzów pod względem wydłużenia i przewężenia. W mosiądzach

TABLICA V.

Mechaniczne własności 40% mosiądzu wyżarzzonego. t^0 — temperatura, R — wytrzymałość na rozerwanie, E — granica sprężystości, A — całkowite wydłużenie przy rozerwaniu, a — wydłużenie równomierne, b — wydłużenie przewężeniowe, φ — przewężenie.

t^0	R	E	$A\%$	$a\%$	$b\%$	$\varphi\%$
—183	53,3	20,0	20,0	55,3	11,1	71,0
— 78	43,0	15,8	53,0	53,0	11,5	74,6
20	40,5	14,0	51,3	40,6	10,7	75,5
55	39,7	14,0	51,0	39,9	11,1	75,7
100	38,8	14,0	50,8	38,7	12,1	75,5
154	35,2	14,0	50,3	36,6	14,3	76,0
206	34,4	14,5	49,8	34,8	15,0	74,8
250	31,5	13,5	48,7	34,3	14,4	68,7
283	30,6	12,5	47,8	33,0	14,8	57,3
310	30,2	12,5	46,1	31,7	14,4	52,2
336	26,9	12,0	33,2	23,2	10,0	41,0
355	25,3	11,5	37,2	21,1	16,1	39,8
400	21,2	10,5	41,6	18,4	23,2	47,9
454	16,7	8,0	34,7	11,2	23,5	48,3
500	9,6	6,0	33,3	8,0	25,3	45,9
560	3,7	2,3	29,1	8,0	21,1	40,3
613	2,9	1,7	33,0	8,4	24,6	46,7
649	1,5	1,1	38,0	5,3	32,7	49,7
704	1,0	0,3	50,1	6,7	43,4	71,8

o 40% cynku (rys. 10) te dwa parametry wykazują, nawet w stanie wyżarzonym minimum w strefie rekrytalizacji, czyli około 350° i drugie około 550°, podczas gdy w mosiądzu o 33% cynku (rys. 6) widoczne było tylko jedno minimum w temperaturze rekrytalizacji i to jedynie na krzywej metalu zgniecionego.

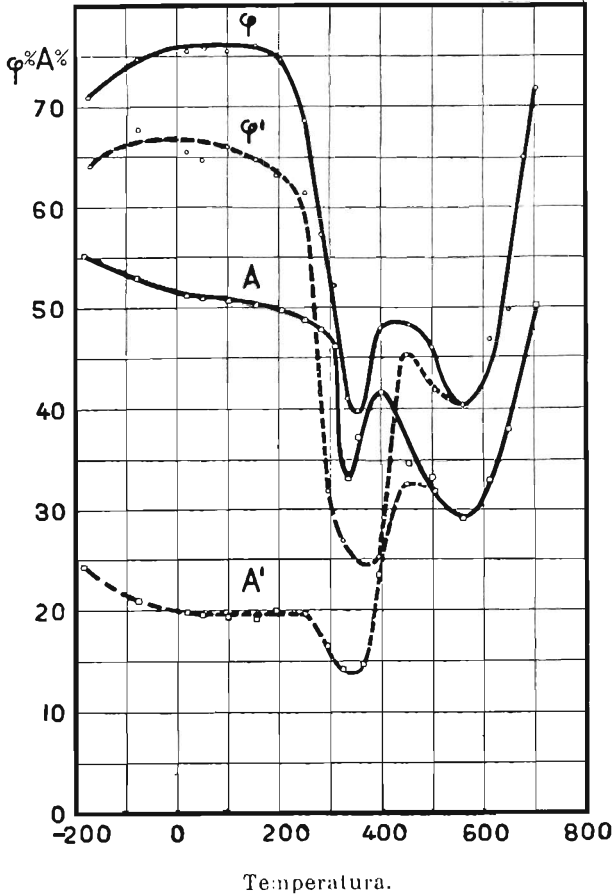


Rys. 9. R i E — wytrzymałość na rozzerwanie i granica sprężystości mosiądzu o 40% cynku; R' i E' — te same parametry dla metalu zgniecionego do 25%.

Podział wydłużenia całkowitego na jego składniki wykazuje (rys. 11), że punkty szczególne ujawniają się głównie na wydłużeniu przewężeniowym. Zejście się krzywych dla metalu zgniecionego z krzywymi dla wyżarzonego odbywa się dopiero około 500°, t. zn. w temperaturze o blisko 100° wyższej, niż to miało miejsce dla mosiądzu 33%-owego.

Twardość mosiądźców o 40% cynku (rys. 12) wykazuje przebieg podobny jak wytrzymałość na rozzerwanie (rys. 9). Krzywa udarności mosiądzu 40%-owego (rys. 12) aż do temperatury rekry-

stalizacji jest podobna do krzywej udarności mosiądzu 33⁰/₀-owego. Natomiast powyżej 400° podobieństwo to zanika i bardzo wyraźne maximum daje się zauważyć przy 650°. Ten wzrost udarności, któremu towarzyszy niełamanie się probierek, jest prawdopodobnie



Rys. 10. A i φ — wydłużenie przy rozerwaniu i przewężeniu mosiądzu o 40% cynku; A' i φ' — te same parametry dla metalu zgniecionego do 25%.

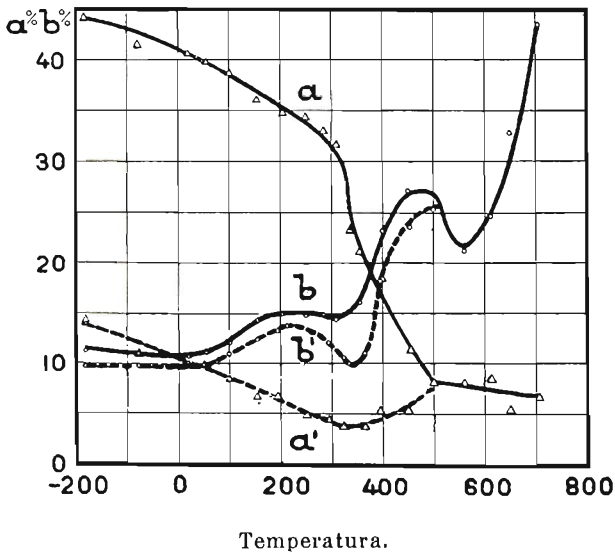
spowodowany wzrastającą rozpuszczalnością składnika α w składniku β , podlegającemu przemianie powyżej 460°.

Nasze wykresy (rys. 9) nie wykazują zauważonego przez Charpygo oraz przez Huntingtona (rys. 1) wzrostu granicy sprężystości pomiędzy 0 a 200°. Wydaje się raczej, że własność ta utrzymuje się w tych granicach temperatury na stałym poziomie.

TABLICA VI.

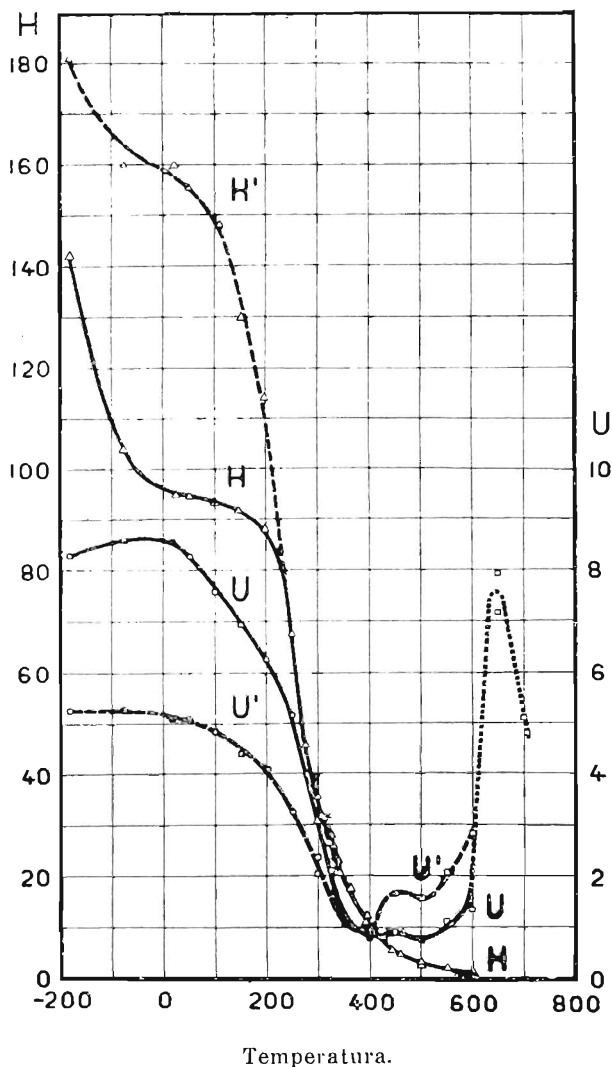
Mechaniczne własności 40% mosiądzu zgniecionego do 25%. t° — temperatura, R' — wytrzymałość na zerwanie, E' — granica sprężystości, A' — całkowite wydłużenie przy zerwaniu, a' — wydłużenie równomierne, b' — wydłużenie przewężeniowe, ψ' — przewężenie.

t°	R'	E'	$A' \%$	$a' \%$	$b' \%$	$\psi' \%$
-183	69,2	56,3	24,4	14,5	9,9	64,1
-78	58,3	42,1	21,0	11,1	9,9	67,7
21	56,0	40,0	19,8	9,8	10,0	65,5
50	54,2	39,0	19,6	9,8	9,8	64,7
100	53,0	37,0	19,4	8,4	11,0	66,0
156	49,3	34,0	19,2	6,7	12,5	64,7
194	45,1	31,5	20,0	6,7	13,3	63,1
253	43,2	28,0	19,6	4,9	14,7	61,1
296	38,4	26,0	16,5	4,5	12,0	31,8
325	36,7	20,0	14,2	3,7	10,5	26,8
365	22,7	12,0	14,7	3,7	11,0	34,1
396	20,7	11,5	23,4	5,3	18,2	25,1
450	13,6	9,0	32,5	5,3	27,2	45,2
505	5,5	3,0	31,8	4,5	27,3	41,7



Rys. 11. a i b — wydłużenie równomierne i wydłużenie przewężeniowe mosiądzu o 40% cynku; a' i b' — te same parametry dla metalu zgniecionego do 25%.

Zgodnie z wynikami Charpyego znajdujemy dla wydłużenia (rys. 10) stałe zmniejszanie się wartości od temperatury zwyczajnej do 250°, nie odnajdujemy zaś maximum w tej temperaturze, które otrzymał Huntington (rys. 1). Nasza krzywa przewężenia przebiega naogół podobnie jak krzywa uzyskana przez Huntingtona. Znaczne różnice natomiast wykazują nasze wyniki pomiarów przewężenia i twardo-



Rys. 12. H i U — twardość i udarność mosiądzu o 40% cynku; H' i U' — te same parametry dla metalu zgniecione go do 17%.

TABLICA VII.

Twardość H i H' oraz udarność U i U' 40% mosiądzu. H i U odpowiadają mosiądzom wyżarzonym, zaś H' i U' —zgniecionym do 17%. t° oznacza temperaturę. Próbki nieprzełamane oznacza się znakiem *).

t°	H	t°	H'	t°	U	t°	U'
—183	142,0	—183	181,0	—183	8,30	—183	5,27
— 78	104,0	— 78	159,8	— 78	8,57	— 78	5,29
23	95,0	23	159,8	19	8,55	19	5,08
50	94,6	50	155,4	51	8,26	53	5,09
98	93,3	109	148,1	100	7,56	100	4,85
145	91,7	149	129,6	151	6,94	152	4,41
196	88,0	196	114,1	200	6,27	201	4,11
257	56,4	252	67,9	250	5,17	250	3,27
280	40,1	277	45,6	300	2,38	301	2,06
300	31,0	300	35,8	327	2,13	351	1,06
325	27,8	310	31,5	351	1,08	400	0,96
338	23,2	322	26,6	400	0,81	450	1,68
396	12,2	330	26,0	450	0,92	500	1,59
449	5,6	340	20,4	500	0,77	550	2,07
500	2,7	360	17,5	550	1,14	600	2,84
550	2,3	396	11,1	599	1,37	650	7,93*
600	1,1	460	4,8	650	7,18*	700	5,10*
		500	3,1	704	4,82*		
		550	2,3				
		600	1,4				

dości w porównaniu do wyników Hansera (rys. 2). Badacz ten znalazł mianowicie przy 400° spadek twardości bliski 40%, podczas gdy u nas wynosi on około 90% (rys. 12). Przeciwnie, ogólny przebieg krzywej udarności według Hansera (rys. 2) zgadza się z wyglądem naszej krzywej (rys. 12), natomiast znalezione przez Buntinga (rys. 4) maximum udarności przy 500°, u nas występuje w znacznie wyższej temperaturze

Mosiądz tokarski o 40% cynku i 1,3% ołowiu.

Mosiądze drugiej próby zawierają częstokroć od 1 do 2% ołowiu, co ułatwia ich obróbkę mechaniczną.

Wyniki uzyskane dla mosiądzu o takim składzie podane są w tablicach VIII, IX i X oraz na rys. 13, 14, 15 i 16.

Porównywując wykresy dla mosiądzu czystego o 40% cynku z wykresami dla mosiądzu tej samej próby, lecz zawierającego ołów, widzimy, że ta domieszka powoduje, zwłaszcza powyżej 300°,

TABLICA VIII.

Mechaniczne własności wyżarzzonego mosiądzu o 40% cynku i 1,3% ołowiu. t° — temperatura, R — wytrzymałość na rozerwanie, E — granica sprężystości, A — całkowite wydłużenie przy rozerwaniu, a — wydłużenie równomierne, b — wydłużenie przewężeniowe, φ — przewężenie.

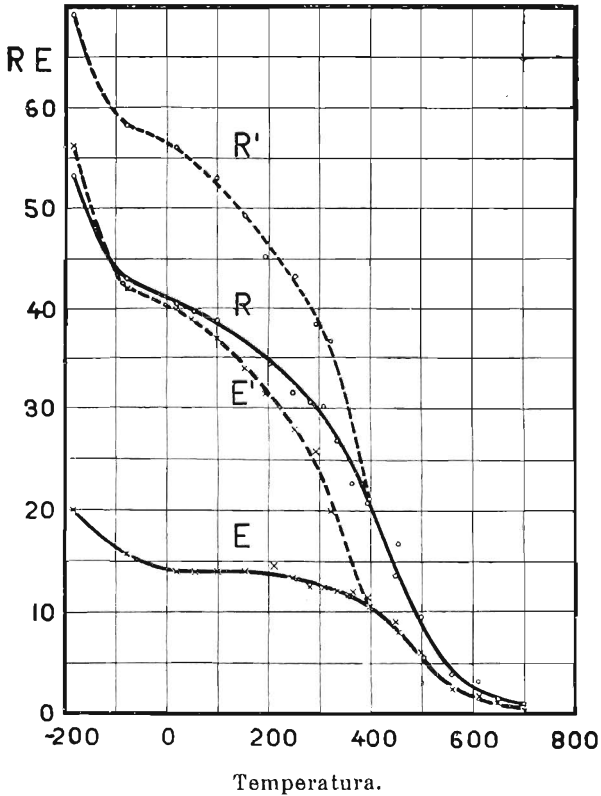
t°	R	E	A %	a %	b %	φ %
— 183	48,5	20,3	50,6	44,0	6,6	62,1
— 78	38,4	17,3	49,8	42,4	7,4	64,0
20	37,1	14,5	50,2	41,3	8,9	62,5
53	36,2	13,0	49,1	40,3	8,8	61,7
109	36,1	13,5	46,2	37,5	8,7	58,0
150	33,6	13,5	45,5	35,7	9,8	54,5
200	31,7	13,5	42,2	33,8	8,4	48,4
248	30,0	12,5	37,4	30,0	7,4	37,3
301	26,9	13,0	28,1	21,0	7,1	31,1
354	22,9	12,0	17,5	12,8	4,7	18,8
400	16,6	10,9	25,4	10,0	15,4	28,7
450	11,5	7,8	24,8	8,6	16,2	28,7
496	5,9	3,2	21,8	7,7	14,1	27,7
555	4,1	2,6	22,6	8,1	14,5	26,6
610	3,1	1,3	22,5	8,1	14,4	24,9
650	1,5	0,8	24,0	6,8	17,2	27,3
700	1,1	0,2	26,7	8,1	18,6	29,0

TABLICA IX.

Mechaniczne własności zgniecionego do 12% mosiądzu o 40% cynku i 1,3% ołowiu. t° — temperatura, R' — wytrzymałość na rozerwanie, E' — granica sprężystości, A' — całkowite wydłużenie przy rozerwaniu, a' — wydłużenie równomierne, b' — wydłużenie przewężeniowe, φ' — przewężenie.

t°	R'	E'	A' %	a' %	b' %	φ' %
— 183	60,8	49,1	30,8	22,9	7,9	57,0
— 78	49,5	38,0	27,0	20,8	6,2	59,0
22	44,8	32,2	28,2	21,0	7,2	57,0
51	44,8	30,2	27,1	20,4	6,7	54,7
116	43,9	29,6	24,5	16,8	7,7	48,8
150	41,8	27,6	22,0	13,8	8,2	45,7
200	39,2	26,5	17,6	9,4	8,2	33,1
250	36,1	23,4	8,5	3,6	4,9	14,4
301	30,4	21,3	5,2	2,5	2,7	11,7
354	22,8	13,3	5,3	2,0	3,3	9,8
416	16,1	9,6	10,9	3,3	7,6	14,4
450	10,9	8,3	21,7	7,7	13,4	24,3
504	5,8	3,9	22,1	6,8	15,3	26,3

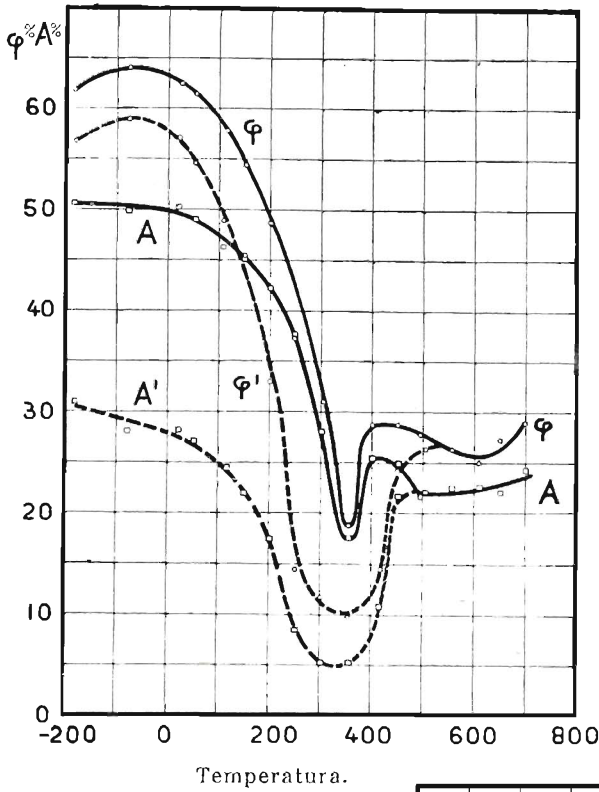
pogorszenie się wszystkich własności mechanicznych, nie zmieniając jednak ogólnego charakteru krzywych. Ołów wywiera mniejszy wpływ na wytrzymałość na rozerwanie i granicę sprężystości (rys. 13) niż na przewężenie i wydłużenie (rys. 14), zwłaszcza na wydłużenie przewężeniowe (rys. 15). Silniej niż na inne parametry



Rys. 13. R i E — wytrzymałość na rozerwanie i granica sprężystości mosiądzu wyżarzonego o 40% cynku i 1,3% ołowiu; R' i E' — te same parametry dla metalu zgniecionego do 12%.

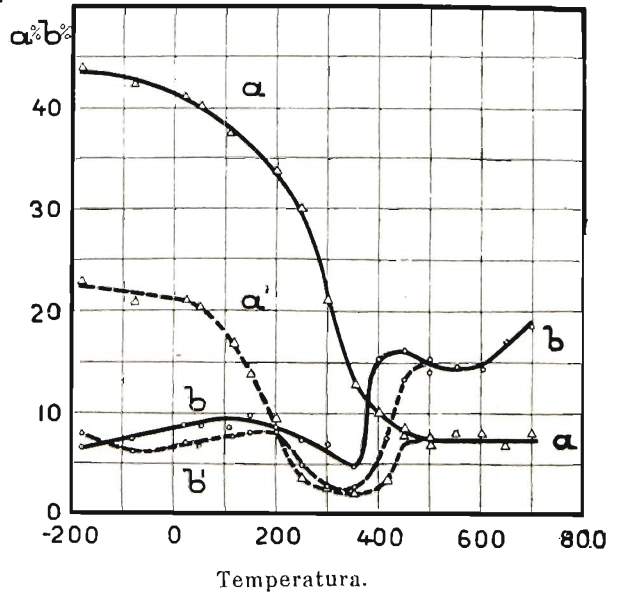
mechaniczne wpływa ołów na udarność (rys. 16), nie tylko bowiem wartość jej spada prawie do połowy, lecz zanika również charakterystyczne maximum około 650°.

Wykres wytrzymałości na rozerwanie mosiądzu tokarskiego o 0,4% ołowiu, badanego przez Bengougha, wykazuje przebieg podobny do naszej krzywej dla metalu zgniecionego, natomiast krzywa wydłużenia różni się od naszej znacznie, zwłaszcza powyżej 500°.



Rys. 14. A i φ — wydłużenie całkowite i przewężenie mosiądzu wyżarzzonego o 40% cynku i 1,3% ołowiu; A' i φ' — wydłużenie i przewężenie dla metalu zgniecionego do 12%.

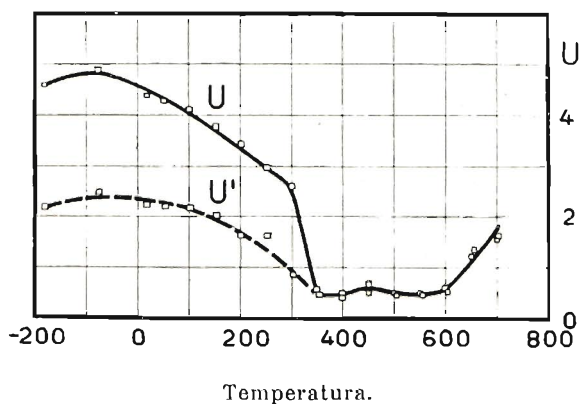
Rys. 15. a i b — wydłużenie równomierne i wydłużenie przewężeniowe mosiądzu wyżarzzonego o 40% cynku i 1,3% ołowiu; a' i b' — te same parametry dla mosiądzu zgniecionego do 12%.



TABLICA X.

Udarność mosiądzu o 40% cynku i 1,3% ołowiu. U — odnosi się do mosiądzu wyżarzzonego, U' — do zgniecionego do 12%, t^0 — oznacza temperaturę.

t^0	U	t^0	U'
-183	4,61	-183	2,19
-78	4,91	-78	2,48
19	4,40	18	2,23
51	4,30	54	2,21
100	4,12	102	2,18
152	3,78	152	2,02
201	3,44	200	1,65
251	2,98	252	1,64
301	2,13	301	0,86
349	0,58	353	0,45
397	0,42	397	0,50
450	0,50	450	0,69
504	0,45	500	0,49
555	0,47	550	0,49
604	0,54	600	0,59
655	1,38	650	1,25
703	1,63	700	1,57



Rys. 16. U — udarność dla mosiądzu wyżarzzonego o 40% cynku i 1,3% ołowiu; U' — udarność dla tego samego metalu zgniecionego do 12%.

To samo odnosi się do badań Bregowskiego i Springa dla mosiądzu o 35% cynku i 2,5% ołowiu, gdzie wytrzymałość na rozerwanie i granica sprężystości mają na wykresie przebieg po-

dobny do naszych wyników, lecz wydłużenie i przewężenie różnią się od nich znacznie, gdyż zamiast maximumów znalezionych przez tych badaczy na krzywych wydłużenia i przewężenia w pobliżu 150° odnajdujemy na naszym wykresie jedynie maximum przy -50° na krzywej przewężenia (rys. 14).

Streszczenie. 1. Wykonano pomiary własności mechanicznych mosiądzów czystych o 33 i 40% cynku i mosiądzu o 40% cynku i 1,3% ołowiu, w temperaturach pomiędzy -182° a $+700^{\circ}$.

2. Mierzono wytrzymałość na rozerwanie, granicę sprężystości, wydłużenie całkowite przy rozerwaniu, wydłużenie równomierne, wydłużenie przewężeniowe, twardość i udarność dla stopów wyżarzonych i dla zgniecionych.

3. Dla trzech gatunków badanych mosiądzów krzywe wytrzymałości na rozerwanie granicy sprężystości i twardości mają kształt podobny: szybki spadek w niskich temperaturach i w sferze rekrytalizacji, zaś poniżej i powyżej temperatury rekrytalizacji, przebieg prawie poziomy.

4. Przewężenie i wydłużenie mosiądzów o 40% cynku wykazują dwa minima, z których jedno w sferze rekrytalizacji, około 350° , drugie zaś pomiędzy 500 a 600° . Natomiast dla mosiądzu wyżarzonego o 33% cynku zachodzi ciągły spadek tych parametrów, gdy jedno minimum widoczne jest dla metalu zgniecionego w pobliżu 300° .

5. Minima widoczne na krzywych całkowitego wydłużenia mosiądzów o 40% cynku spowodowane są wydłużeniem przewężeniowym; wydłużenie równomierne spada dla wszystkich mosiądzów stale przy wzroście temperatury.

6. Udarność wykazuje dla mosiądzu 33%-owego maximum około -80° , część pozioma pomiędzy 100 a 200° , szybki spadek w pasie rekrytalizacji i minimum około 500° . Dla mosiądzu czystego o 40% cynku maximum w niskiej temperaturze spłaszcza się i rozszerza aż do temperatury zwyczajnej, poczem następuje spadek zwłaszcza w strefie rekrytalizacji, za nim szerokie minimum i ostre maximum przy 650° . Obecność ołowiu w mosiądzu powoduje zanik tego maximum.

7. W mosiądzach o 33% cynku wpływ zgniotu na własności mechaniczne nie daje się już odczuwać począwszy od 400° . W czystych mosiądzach o 40% cynku wpływ ten jest bardziej trwałym; na wykresie udarności zanika on dopiero przy 600° . Wprowadzenie ołowiu zdaje się obniżać tę granicę do około 500° .

R É S U M É.

Influence de la température sur les propriétés mécaniques des laitons¹⁾
par MM. W. Broniewski et K. Wesolowski.

1. L'étude des propriétés mécaniques entre -182° et 700° a été faite pour les laitons purs à 33 et 40% de zinc ainsi que pour le laiton à 40% de zinc et 1,3% de plomb.

2. Les mesures se rapportaient à la résistance à la traction, la limite élastique, la striction, l'allongement total à la rupture, l'allongement proportionnel, l'allongement de striction, la dureté et la résilience des alliages recuits et des alliages écrouis.

3. Pour les trois laitons étudiés, les courbes de la résistance à la traction, de la limite élastique et de la dureté ont une allure similaire: une descente plus rapide à basse température et dans la zone de recristallisation voisinent avec des paliers de variation moins accentuée précédant et suivant la zone de recristallisation (fig. 5, 8, 9, 12 et 13).

4. La striction et l'allongement à la rupture des laitons à 40% de zinc montrent deux minima, dont un dans la zone de recristallisation, vers 350° , et l'autre entre 500° et 600° . Par contre, les laitons à 33% de zinc recuits manifestent pour les mêmes paramètres une allure descendante d'une façon continue et ce n'est que pour les alliages écrouis qu'on remarque un minimum vers 300° (fig. 6, 10 et 14).

5. Les minima visibles sur les courbes d'allongement des laitons à 40% de zinc sont provoqués par l'allongement de striction, tandis que les courbes d'allongement uniforme ont pour tous les laitons étudiés une allure continuellement descendante (fig. 7, 11 et 16).

6. La résilience présente pour les laitons à 33% de zinc un maximum vers -80° , une descente rapide dans la zone de recristallisation, précédée d'un palier entre 100° et 200° et suivie d'un minimum vers 500° . Pour le laiton à 40% de zinc pur le maximum à basse température s'aplatit et s'étend jusqu'à la température ordinaire, la descente rapide dans la zone de recristallisation n'est plus précédée d'un palier, mais se trouve suivie d'un large minimum et d'un maximum accentué vers 650° . La présence du plomb dans le laiton fait disparaître ce maximum (fig. 8, 12 et 15).

¹⁾ Revue de Métall., 30, (1933), pp. 396 et 453.

7. Dans les laitons à 33% de zinc, l'effet de l'érouissage ne se fait plus sentir sur les propriétés mécaniques à partir de 400°. Dans les laitons purs à 40° de zinc l'effet de l'érouissage est plus tenace et ne disparaît sur le diagramme de la résilience qu'à partir de 600°. L'introduction du plomb dans le laiton paraît abaisser cette limite jusqu'à 500° environ.
