

O zgniocie, odpuszczaniu i wyżarzaniu mosiądzów.

Zarys historyczny. Zgniot mosiądzu był przedmiotem liczniejszych badań niż zgniot jakiegokolwiek innego stopu.

Pierwsze wzmianki o tym przedmiocie spotykamy w książce Reaumura, wydanej po jego śmierci, p. t. „Sztuka szpilkarza“¹⁾.

„Otwory, pisze on, przez które szpilkarze przeciągają mosiądz by go przerobić na drut, przyczyniają się jeszcze do tego, aby go wzmocnić.

Szpilkarze biorą zawsze drut grubszy od szpilek, które zamierzają robić; zastrzegają oni sobie przeciągnięcie przez kilka otworów drucidła, aby osiągnąć dobry zgniot drutu.

Gdy drut przejdzie przez dwa otwory, wyżarza się go w ogniu drzewnym. Dąb jest jedynym drzewem, którego się unika przy paleniu; jego ciepło jest zbyt żywe i drut z tego powodu łatwiej się rozrywa“.

Te szczupłe dane streszczają wszystko, co wiedziano o zgniocie aż do końca XIX wieku.

Naukowe badanie zgniotu zostało przedsięwzięte przez Charpy'ego²⁾ w 1893 r. Wskazał on wpływ temperatury wyżarzania na mechaniczne własności zgniecionego mosiądzu i określił, zapomocą mikrografji, odpowiednie zmiany budowy. Charpy zauważył już, że dla mosiądzów „im mniej, posunięty jest zgniot, tem wyższej potrzeba temperatury, aby spowodować zmianę w metalu“.

W 1909 r. pojawiły się klasyczne prace Grarda³⁾ nad zgniotem mosiądzu i miedzi. Jako miarę zgniotu przez walcowanie lub

¹⁾ Reaumur, *Art de l'épinglier, avec addition de MM. Duhamel et Perronet*, Paris, 1761, str. 8 i 11.

²⁾ Charpy, *C. R.* 116, (1893), str. 1131; 117, (1893), str. 850.

³⁾ Grard, *Revue de Métall.*, 6, (1909), str. 1069.

przeciąganie Grard przyjmuje stosunek pierwotnego przekroju próbki do przekroju po zgnioie S_1 . Ten sposób nie jest wygodny przy graficznym przedstawianiu wyników, gdyż maximum zgniotu wyrażałoby się liczbą dążącą do nieskończoności.

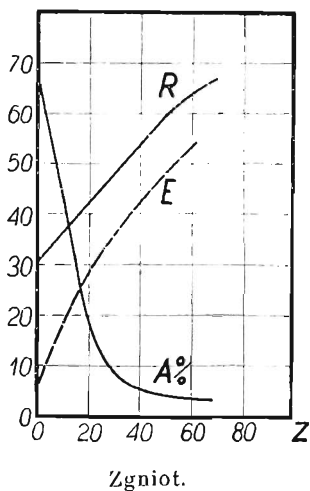
Znacznie praktyczniej jest uważać za miarę zgniotu stosunek zmniejszenia przekroju do przekroju pierwotnego S_0 . Wówczas zgniot wyraża się w procentach wzorem

$$Z = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100$$

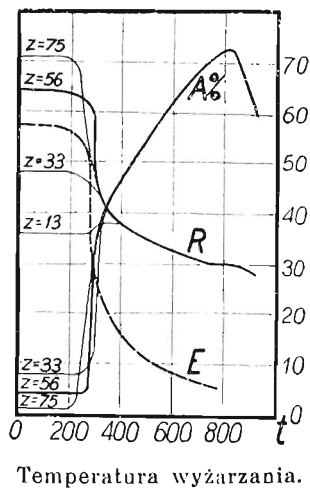
i cyframi niedosięgającymi 100.

Wyniki uzyskane przez Grarda dla mosiądzu o 33% cynku, przeliczone zapomocą powyższego wzoru, podajemy na wykresach.

Rys. 1 wskazuje, że wytrzymałość na rozerwanie (R) i granica sprężystości (E) wzrastają prawie proporcjonalnie do stopnia zgniotu (Z), podczas gdy krzywa wydłużenia (A) zmienia swój kierunek w pobliżu 30% zgniotu.



Rys. 1. Wytrzymałość na rozerwanie R , granica sprężystości E , wydłużenie przy rozerwaniu $A\%$ w zależności od stopnia zgniotu Z mosiądzu na łuski, według Grarda.



Rys. 2. Wpływ temperatury wyżarzania t na wytrzymałość na rozerwanie R , granicę sprężystości E i wydłużenie przy rozerwaniu $A\%$, dla mosiądźców o różnym stopniu zgniotu Z według Grarda.

Wpływ temperatury wyżarzania na własności mechaniczne zgniecionego mosiądzu podaje rys. 2.

Jak widać, mosiądze zdają się ulegać działaniu wyżarzania dopiero powyżej 200° , a pomiędzy 250 a 350° wykazują szybką zmianę własności, która ma miejsce w tem niższej temperaturze im dalej posuniętym był zgniot.

Wpływ zgniotu nie zanika jednak całkowicie w tych warunkach, przeciwnie daje się on odczuwać jeszcze aż do około 800° . Powyżej tej temperatury rozpoczyna się sfera spadku wytrzymałości.

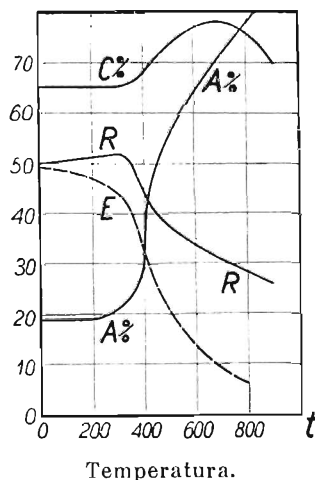
Czas trwania wyżarzania przy 300° musi, dla osiągnięcia stanu trwałego, wynosić 20 minut, podczas gdy wyżarzanie przy 400° lub w wyższej temperaturze może trwać o połowę krócej.

Grard przyjmuje, że „temperatury wyżarzania, dające mosiądzwowi do łusek określone własności, są w przybliżeniu niezależne od stanu początkowego zgniotu” oraz że „wartość tego zgniotu ma minimalny wpływ na czas trwania wyżarzania”.

Bengough i Hudson¹⁾ badają wpływ wyżarzania na własności mechaniczne mosiądzu zgniecionego, zawierającego 30% cynku (rys. 3). Znajdują oni, w przeciwieństwie do poprzednich badaczy, że odpuszczanie do 300° może powiększyć wytrzymałość na rozerwanie R .

Webster²⁾ podaje wytrzymałość na rozerwanie, wydłużenie i przewężenie w zależności od stopnia zgniotu dla trzech gatunków mosiądzu, w tem jeden na łuski. Ellis³⁾ mierzy twardość i parametry wytrzymałościowe mosiądzu o 39% cynku.

Portevin⁴⁾ bada twardość mosiądzów o 10 oraz 33% cynku w zależności od zgniotu, podczas gdy Bassett i Davis⁵⁾ porównują twardość z wielkością ziarn mosiądzu na łuski, wyżarzonego po zgniocie w temperaturze pomiędzy 200 a 850° .



Rys. 3. Wpływ wyżarzania w ciągu 30 minut na wytrzymałość na rozerwanie R , granicę sprężystości E , wydłużenie $A\%$ i przewężenie $C\%$, według Bengougha i Hudsona.

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

²⁾ Webster, *Revue de Métall.*, 10, (1913), str. 106.

³⁾ Ellis, *J. Inst. Met.*, 21, (1919), str. 319.

⁴⁾ Portevin, *Revue de Métall.*, 16, (1919), str. 235.

⁵⁾ Bassett i Davis, *Inst. of Mining. Ing.*, (1919), str. 158; *Revue de Métall.* (Extr.) 17, (1920), str. 224.

Masing¹⁾ bada naprężenia wewnętrzne w zgniecionych mosiądzach i wskazuje obróbkę termiczną, pozwalającą na uniknięcie pęknięć.

Nicolau²⁾ zaleca stosowanie mikroskopowych odcisków twardości (metoda Le Grix) do badania zgniotu i wyżarzania mosiądźców. Eugène³⁾ zastosowuje tę metodę do mosiądźców o 10, 28, 33 i 40% cynku, zgniecionych do 74% i wyżarzonych następnie aż do 600°.

Dawidenkow i Bugakow⁴⁾ badają wpływ zgniotu na twardość i parametry wytrzymałościowe mosiądzu na łuski.

Mimo znacznej liczby prac nad zgniotem mosiądzu, wiadomości nasze o tym przedmiocie nie mogą być uważane za wystarczające. Maximum osiągniętego zgniotu nie przekroczyło 75%, podczas gdy dziedzina wyższych zgniotów wydaje się, pod pewnymi względami, najbardziej interesującą. Nawet w granicach osiągniętych dotąd stopni zgniotu nie mierzono niektórych własności mechanicznych, jak udarność i wydłużenie równomierne.

Uważaliśmy więc za pożyteczne podjąć ponownie ten temat, stosując go do mosiądźców przemysłowych o 33 i 40% cynku.

Przygotowanie próbek. Użyto mosiądz przemysłowy odlany z metali elektrolitycznych i praktycznie wolny od zanieczyszczeń. Materiał ten dostarczono nam w postaci prętów o przekroju zbliżonym do 250 mm² i o zgniocie około 20%.

Przez stopniowe walcowanie i przeciąganie wykonano próbki o przekroju prostokątnym 8 × 10 mm do pomiarów udarności oraz drut o średnicy 5 mm do prób rozerwania i twardości.

Rozpoczynano przez sprowadzenie pręta do obliczonego naprzód przekroju, od którego można było następnie osiągnąć żądany zgniot. Przekrój ten uzyskiwano przez stopniowe walcowanie i przeciąganie. Po każdym około 25%-ch zgniotu wstępnego następowało wyżarcie, a wreszcie, po uzyskaniu obliczonego naprzód przekroju, ostatecznie wyżarcie w ciągu 2 godzin przy 550° w piecu elektrycznym.

Badzo słaby zgniot, poniżej 10%, osiągnano przez rozciąganie, co według Guilleta⁵⁾ daje ten sam wynik jak przeciąganie. Na

¹⁾ Masing, Zs. f. Metallk., 16, (1924), str. 257 i 301.

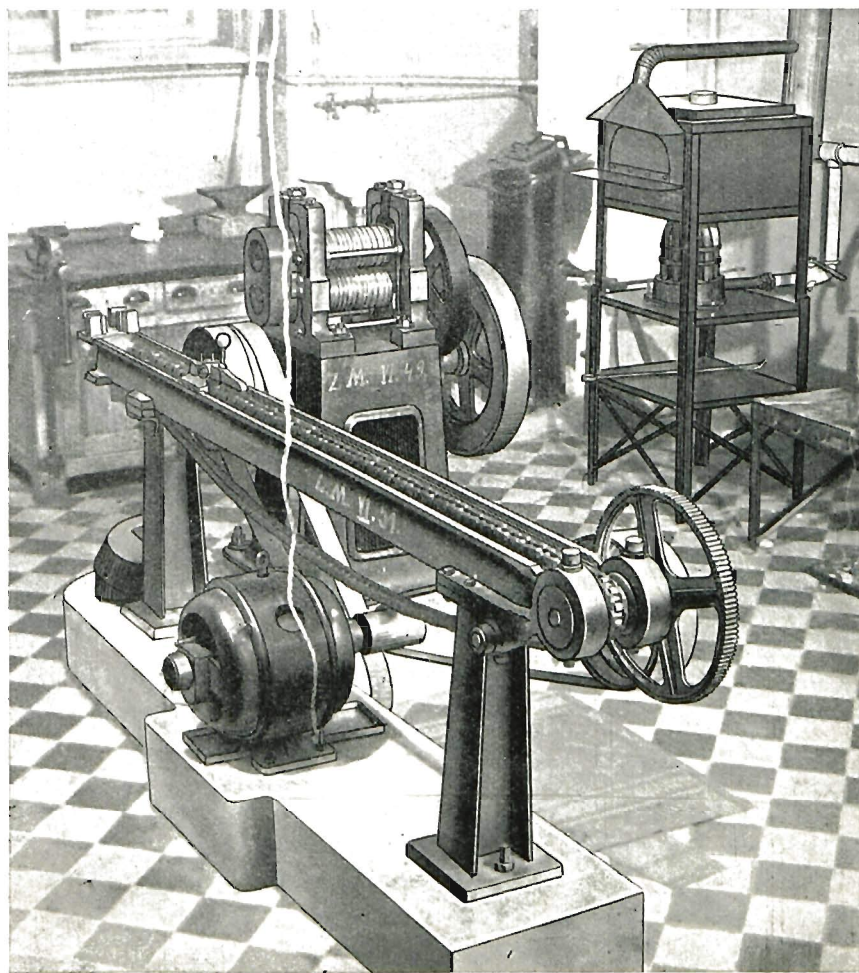
²⁾ Nicolau, Revue de Métall. 25, (1928), str. 155.

³⁾ Eugène, Revue de Métall. 25, (1928), str. 655; 26, (1929), str. 29.

⁴⁾ Dawidenkow i Bugakow, J. Inst. Met. (Abstr.), 47, (1932), str. 201.

⁵⁾ L. Guillet, Revue de Métall., 20, (1923), str. 65.

rys. 4 wskazane jest urządzenie, które służyło nam do wykonywania próbek.



Rys. 4. Urządzenie do przygotowania próbek. Od lewej ku prawej: maszyna do przeciągania, maszyna do walcowania i piec do wyżarzania.

Pomiary. Próbki poddano pomiarom wytrzymałości na zerwanie, za pomocą maszyny Amslera na 10 ton, twardości, za pomocą odcisków mikroskopowych i udarności, za pomocą taranu Charpy'ego systemu Amslera.

Zastosowano te same metody pomiarów, które zostały opisane w poprzednich publikacjach Zakładu Metalurgicznego P. W. ¹⁾.

Określono w ten sposób następujące parametry:

R — wytrzymałość na rozerwanie w kg/mm^2 .

E — granica sprężystości mierzona na wykresie wytrzymałościowym, a więc przyjęta jako równa granica proporcjonalności.

A — wydłużenie całkowite przy rozerwaniu w $\%$ na próbce międzynarodowej, której długość pomiarowa jest równa 10 średnicom.

a — wydłużenie równomierne w $\%$, określone przez pomiar zmniejszenia średnicy próbki po rozerwaniu, mierzonej na krańcach długości pomiarowej.

b — wydłużenie przewężeniowe w $\%$, obliczone ze wzoru $b = A - a$.

φ — przewężenie w $\%$.

H — twardość Brinella przez odcisk kulki 1 mm pod ciężarem 12 kg.

U — udarność w kg/cm^2 na próbce niemieckiej (8×10 mm przekroju z karbem o kącie 45° i 3 mm głębokości), która dla mosiądzów daje największe gwarancje złamania ²⁾.

Wartości podane w tablicach są cyframi średnimi z conajmniej 2 pomiarów.

Wpływ zgniotu. Wpływ zgniotu na własności mechaniczne mosiądzów o 33% cynku wskazany jest w tablicy I i na rys. 5 i 6.

Na wykresach 5 i 6 występują wyraźnie te same trzy fazy zgniotu, które stwierdzono u żelaza ³⁾. Pierwsza z nich wyróżnia się zwłaszcza spadkiem wydłużenia równomiernego a , jak również udarności U , i rozciąga się aż do około 30% zgniotu. Ostatnia, odznaczająca się zwłaszcza spadkiem przewężenia i silniejszym wzrostem wytrzymałości na rozerwanie R oraz twardości H , rozpoczyna się w pobliżu 70% zgniotu.

Poza obrębem pierwszej fazy wydłużenie przy rozerwaniu odbywa się jedynie kosztem przewężenia, co objawia się na krzywej A wyraźnym załamaniem. Daje się ono zaobserwować we

¹⁾ Prace Zakładu Metalurgicznego Politechniki Warszawskiej, tom II, (1930) i III, (1933).

²⁾ Broniewski i Wesołowski, Zależność mechanicznych własności mosiądzów od temperatury.

³⁾ Broniewski i Król, Prace Zakładu Metalurgicznego P. W. T. III, (1933), str. 27. C. R. 193, (1931), str. 38.

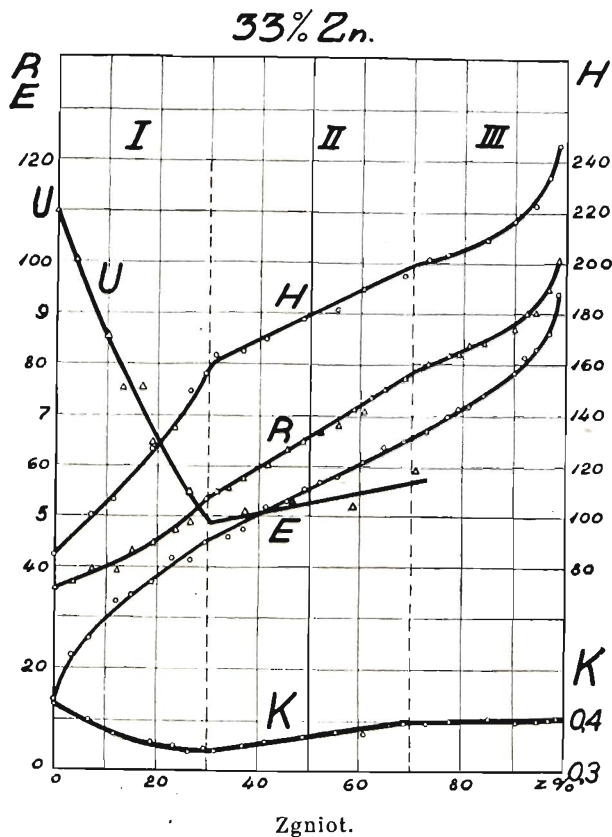
TABLICA I.

Własności mechaniczne mosiądzu zgniecionego o 33% cynku. Z — zgniot, R — wytrzymałość na rozernwanie, E — granica sprężystości, A_{max} i A_{min} — wydłużenie całkowite maximum i minimum, a — wydłużenie równomierne, b — wydłużenie przewężeniowe, φ_{max} i φ_{min} — przewężenie maximum i minimum, H — twardość Brinella, U — udarność, współczynnik $k = R/H$.

Z %	R kg/mm ²	E kg/mm ²	A_{max} %	A_{min} %	a %	b %	φ_{max} %	φ_{min} %	H kg/mm ²	U kg/mm ²	$k = R/H$
0	36,3	14,2	51,0	—	43,0	8,0	80,0	—	85	11,06	0,428
3,5	37,5	23,2	45,5	—	35,0	10,5	79,0	—	—	—	—
4,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10,10	—
7,0	40,2	25,8	39,0	—	29,0	10,0	—	72,5	101	—	0,398
8,1	40,2	—	—	—	30,6	—	77,5	—	—	—	—
10,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8,45	—
12,0	39,5	33,0	33,5	—	24,0	9,5	—	67,5	107	—	0,369
13,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,45	—
15,0	43,9	35,0	—	—	—	—	75,5	—	—	—	—
17,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,50	—
17,6	42,5	—	24,5	—	16,8	7,7	73,0	—	—	—	—
19,0	45,0	37,0	—	—	—	—	74,1	—	127	—	0,354
23,5	47,3	42,0	14,5	—	7,0	7,5	57,1	57,1	135	—	0,351
26,5	49,7	41,5	13,5	—	4,0	9,5	72,1	—	148	5,40	0,336
29,5	54,1	45,0	8,3	—	0,2	8,1	71,0	—	158	—	0,396
31,5	55,3	45,0	8,0	—	0,3	7,7	71,0	53,3	164	—	0,337
34,0	55,8	46,3	8,2	—	—	—	71,0	—	—	4,65	—
37,0	57,5	48,0	8,0	—	—	—	65,6	—	165	5,10	0,348
41,4	60,6	51,4	6,7	—	—	—	67,0	51,0	170	—	0,356
45,2	63,9	53,0	7,2	—	—	—	70,6	—	—	5,25	—
48,7	65,6	53,4	6,4	—	—	—	—	60,0	178	5,20	0,368
52,2	67,4	56,7	7,0	—	—	—	68,9	—	—	—	—
55,2	68,4	58,0	5,0	4,8	—	—	—	49,5	181	—	0,378
58,3	72,0	61,0	7,3	—	—	—	67,4	—	—	5,25	—
60,6	71,0	—	—	5,0	—	—	64,2	—	189	—	0,376
61,8	74,0	—	—	—	—	—	65,0	—	—	—	—
64,3	75,3	63,5	—	5,0	—	—	—	48,7	—	—	—
68,4	77,5	65,0	7,3	—	—	—	64,2	—	195	—	0,396
70,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,80	—
72,8	80,2	67,0	—	4,5	—	—	—	37,2	202	—	0,397
77,3	82,0	70,0	5,0	—	—	—	59,5	—	204	—	0,402
78,9	81,8	71,0	—	3,0	—	—	46,0	29,5	—	—	—
81,0	84,0	—	4,8	4,3	—	—	—	33,0	—	—	—
84,0	84,6	—	—	—	—	—	—	20,5	—	—	—
84,7	85,6	74,2	5,0	—	—	—	—	20,5	210	—	0,408
86,0	—	—	—	3,7	—	—	—	25,0	—	—	—
89,6	85,6	—	—	2,7	—	—	—	11,6	—	—	—
90,0	87,7	78,4	3,0	—	—	—	48,4	32,0	218	—	0,403
92,3	90,5	81,5	—	2,1	—	—	—	10,5	—	—	—
94,0	90,0	83,0	—	—	—	—	40,5	18,0	223	—	0,403
96,7	95,0	86,0	3,5	—	—	—	30,0	—	235	—	0,405
98,3	101,0	93,7	2,2	—	—	—	20,0	—	247	—	0,410

wszystkich badaniach nad zgniotem, przyczyna jego jednak nie była dotąd wskazana.

Koniec pierwszej fazy zgniotu jest również zaznaczony zagięciami na krzywych kilku innych parametrów (H , R , E i φ) i mini-



Rys. 5. Wpływ zgniotu Z na wytrzymałość na rozerwanie R , granicę sprężystości E , twardość H , udarność U i współczynnik $k = \frac{R}{H}$ dla mosiądzu o 33% cynku.

num współczynnika $k = \frac{R}{H}$ tak, że stop o tym zgnioście posiada największą twardość w stosunku do wytrzymałości na rozerwanie.

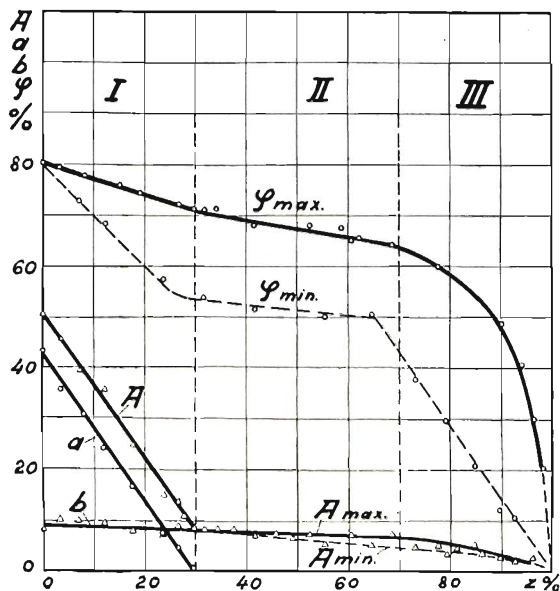
Koniec pierwszej fazy zgniotu może być dokładnie obliczony ze wzoru podanego przez Krupkowskiego¹⁾:

¹⁾ Krupkowski, Prace Zakładu Metalurgicznego P. W. T. II, (1930), str. 27, wzór 37.

$$Z = 100 \frac{a}{a + 100} = 100 \frac{43}{43 + 100} = 30\%$$

Mniej wyraźnie zaznaczony jest koniec drugiej fazy zgniotu. Na spadek przewężenia, który jest najważniejszym jej wskaźnikiem, wpływa w silnym stopniu sposób zerwania się próbki. Zerwanie

33% Zn.



Zgniot.

Rys. 6. Wpływ zgniotu Z na przewężenie φ , wydłużenie całkowite A , wydłużenie równomierne a i wydłużenie przewężeniowe b mosiądzu o 33% cynku.

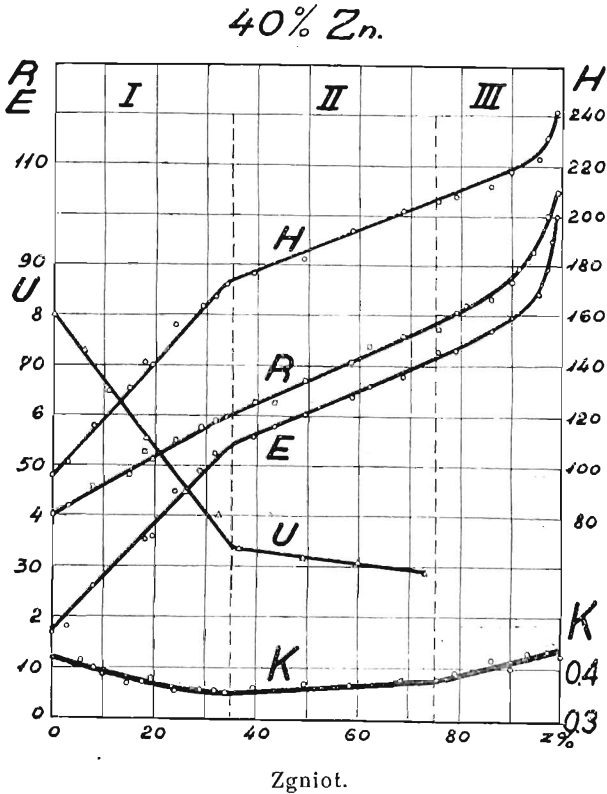
odbywa się albo z wytworzeniem normalnego przewężenia stożkowego, albo też następuje przez pęknięcie pod kątem, jak to już dla stali zauważył Leblond¹⁾.

W związku z tem przewężenie przyjmuje albo wartości maksymalne przy zerwaniu stożkowem ($\varphi_{max.}$) albo wartości minimalne przy zerwaniu pod kątem ($\varphi_{min.}$). Najczęściej spotyka się pośrednie zerwania, które rozpoczynają się przewężeniem stożkowem, a kończą przez pęknięcie pod kątem. Zerwania takie dają też wyniki pośrednie pomiędzy maksymalnymi a minimalnymi wartościami.

¹⁾ Leblond, Revue de Métall. 20, (1923), str. 250.

Sposób pęknięcia wpływa również nieco na wydłużenie (A max. i A min.), natomiast dla innych parametrów rozerwania wpływ ten nie daje się prawie odczuwać.

Liczby dotyczące zgniotu mosiądzów o 40% cynku są podane w tablicy II i na wykresach rys. 7 i 8.

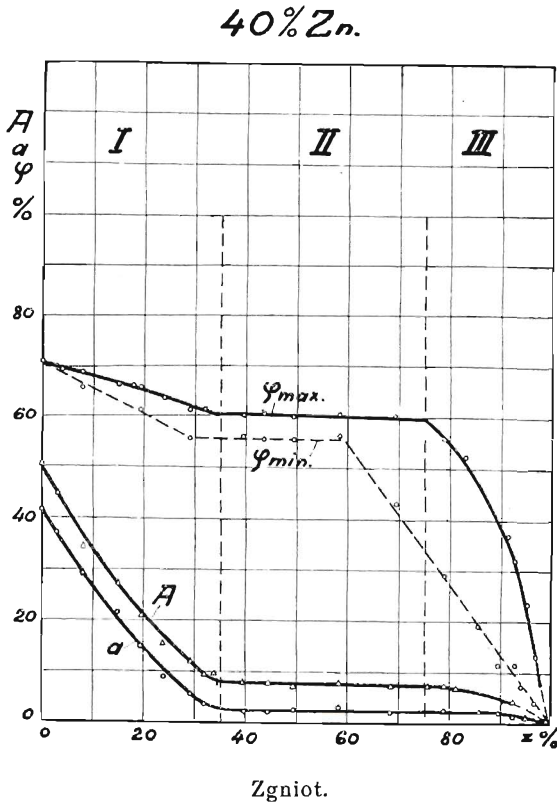


Rys. 7. Wpływ zgniotu Z mosiądzu o 40% cynku na wytrzymałość na rozerwanie R , granicę sprężystości E , twardość H , udarność U i współczynnik $K = \frac{R}{H}$.

Dla mosiądzów o tym składzie, podobnie jak dla mosiądzów na łuski, uwidaczniają się 3 fazy zgniotu.

Koniec pierwszej fazy, który występuje w pobliżu 35% zgniotu, zaznacza się głównie załamaniem krzywej udarności U , podczas gdy wydłużenie równomierne a dla mosiądzu o 40% cynku całkowicie nie zanika. Powodem tego jest zapewne niedosć jednorodny zgniot i zachowanie się przez to pewnej części metalu o stopniu zgniotu nieprzekraczającym granicy pierwszej fazy.

Obliczenie tej granicy według wzoru Krupkowskiego daje w wypadku mosiądzu o 40% cynku liczbę nieco za małą, prawdopodobnie wskutek stosowania zbyt niskiej temperatury wyżarzania wstępnego (550°), nie wystarczającej dla całkowitego usunięcia skutków zgniotu.



Rys. 8. Wpływ zgniotu Z mosiądzu o 40% cynku na przewężenie φ , wydłużenie całkowite A , wydłużenie równomierne a .

Początek trzeciej fazy (w pobliżu 75°) zaznacza się szczególnie spadkiem przewężenia φ , które, jak dla mosiądźców na łuski, przybiera wartości maximalne i minimalne, zależnie od tego czy zerwanie odbyło się z wytworzeniem stożka, czy też pęknięcia pod kątem.

Ogólnie można zauważyć, że zgniot metali wpływa zwłaszcza na wydłużenie równomierne i na przewężenie. W mosiądźcach na

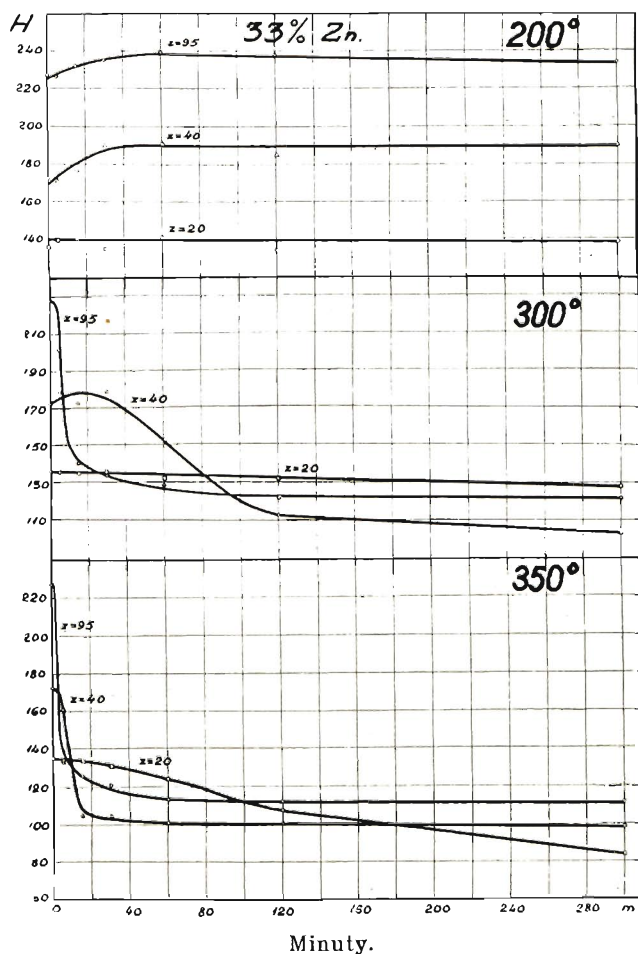
TABLICA II.

Własności mechaniczne mosiądzu zgniecionego o 40% cynku. Z -- zgniot, R -- wytrzymałość na rozerwanie, E -- granica sprężystości, A_{max} i A_{min} -- wydłużenie całkowite maximum i minimum, a -- wydłużenie równomierne, b -- wydłużenie przewężeniowe, φ_{max} i φ_{min} -- przewężenie maximum i minimum, H -- twardość Brinella, U -- Udarność, współczynnik $k = R/H$.

Z %	R kg/mm ²	E kg/mm ²	A_{max} %	A_{min} %	a %	b %	φ_{max} %	φ_{min} %	H kg/mm ²	U kg/mm ²	$\frac{R}{H}$ $= k$
0	40,2	17,0	51,5	—	42,0	9,5	71,0	—	96	8,00	0,419
3,0	41,5	18,0	45,0	—	37,2	7,8	69,0	—	101	—	0,412
6,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,35	—
8,0	46,3	26,0	34,2	—	29,0	5,2	68,9	65,5	116	—	0,399
10,0	45,0	—	—	—	—	—	—	—	118	—	0,382
11,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,50	—
15,0	48,0	—	27,2	—	21,5	6,0	66,0	—	131	—	0,366
18,0	53,0	35,4	—	—	—	—	65,8	—	141	5,60	0,376
19,3	51,6	36,0	20,3	—	14,2	6,1	65,7	61,0	140	—	0,368
24,2	55,0	45,0	16,0	—	8,0	8,0	63,5	—	156	—	0,352
26,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,48	—
29,3	58,0	49,0	11,5	—	5,3	6,2	61,4	55,5	163	—	0,356
32,0	59,3	52,5	9,8	—	3,5	6,5	61,5	—	167	4,00	0,355
34,0	60,0	—	7,7	—	—	—	—	57,0	172	—	0,349
36,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,30	—
39,5	63,0	56,0	8,7	—	2,3	6,4	60,0	56,0	176	—	0,360
43,5	62,6	58,0	5,7	—	1,5	4,2	40,4	55,0	—	—	—
49,4	67,0	60,5	7,5	—	2,7	4,8	60,0	55,0	182	3,20	0,368
58,4	71,0	64,0	8,4	—	3,5	4,9	60,5	56,5	194	—	0,365
60,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,10	—
62,0	74,5	66,0	—	6,6	1,7	4,9	—	—	—	—	—
68,4	76,0	68,0	7,2	—	2,3	4,9	60,4	43,5	202	—	0,375
73,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,90	—
75,6	77,0	73,0	7,7	—	2,7	5,0	—	—	205	—	0,375
79,0	80,6	73,0	7,7	—	2,5	3,7	56,0	29,0	208	—	0,388
81,0	82,0	—	6,8	—	2,0	4,8	—	—	—	—	—
86,0	88,0	77,0	6,5	—	2,2	4,3	25,3	—	212	—	0,415
90,0	86,5	79,5	—	1,3	—	1,3	—	11,2	218	—	—
91,5	89,5	—	2,5	—	—	—	37,0	16,0	—	—	—
93,0	91,0	82,1	3,2	—	—	—	32,0	11,4	212	—	0,429
93,5	91,0	—	—	—	0,8	4,2	32,8	7,2	—	—	—
94,2	92,7	—	—	—	—	—	—	7,2	—	—	—
95,5	—	84,0	—	—	—	—	23,6	—	223	—	—
97,0	101,0	89,5	2,0	—	—	—	13,0	4,3	232	—	0,434
98,0	100,5	95,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
99,0	105,0	100,0	—	—	—	—	—	—	242	—	0,425

parametry te wpływa silnie stopień czystości materiału, a zwłaszcza stopień utlenienia w czasie topienia¹⁾.

Mosiądze otrzymane w laboratorium przez stopienie w piecu elektrycznym wysokiej częstotliwości, w tyglu z czystego grafitu



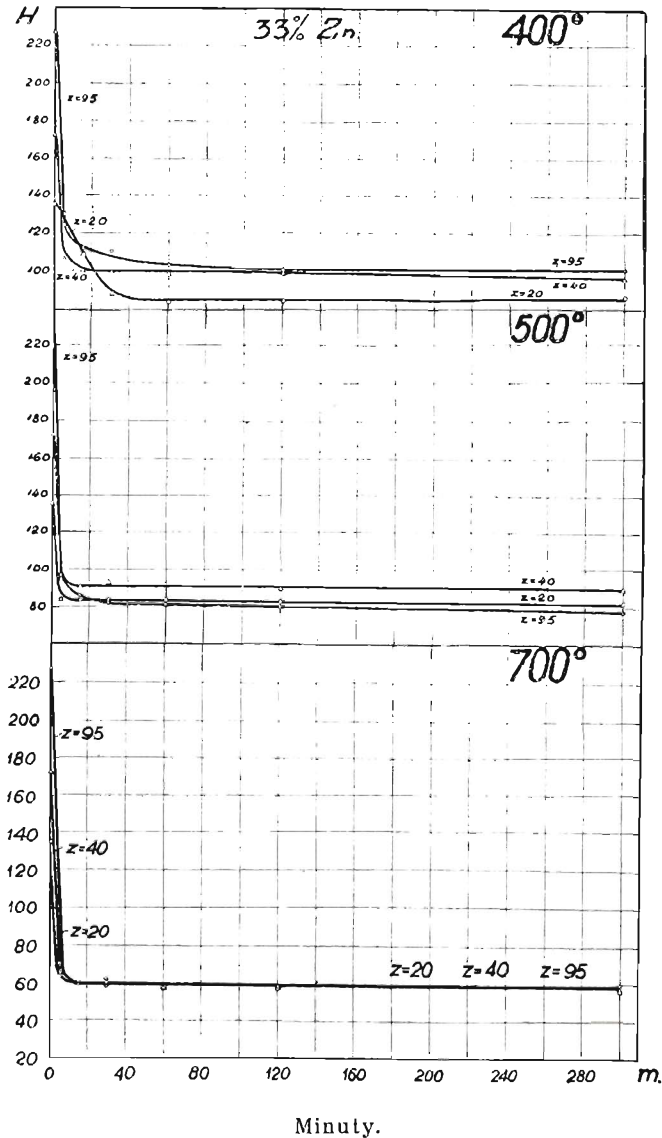
Rys. 9. Twardość H mosiądzu o 33% cynku zgniecionego w stopniu $Z\%$ i odpuszczanego przy 200, 300 i 350° w ciągu czasu m minut.

i wolne w ten sposób od tlenków, wykazują wydłużenie i przewężenie wyższe niż stopy techniczne, zatem badanie ich własności w zależności od stopnia zgniotu, dałoby wyniki nieco odmienne.

¹⁾ Broniewski i Lewandowski, Odtlenianie mosiądzów.

Wpływ czasu wyżarzania. Próbki zgniecionego mosiądzu o 5 mm średnicy i o długości 10 mm umieszczano w piecu elektrycznym oporowym, wyregulowanym na daną temperaturę.

Po upływie różnych odstępów czasu, od 5—300 minut, próbki



Rys. 10. Twardość H mosiądzu o 33% cynku zgniecionego w stopniu $Z\%$, i wyżarzonego przy 400, 500 i 700° w ciągu m minut.

TABLICA III.

Twardość H mosiądzu o 33% cynku zgniecionego do $Z\%$ i wyżarzzonego podczas t minut w temperaturze t .

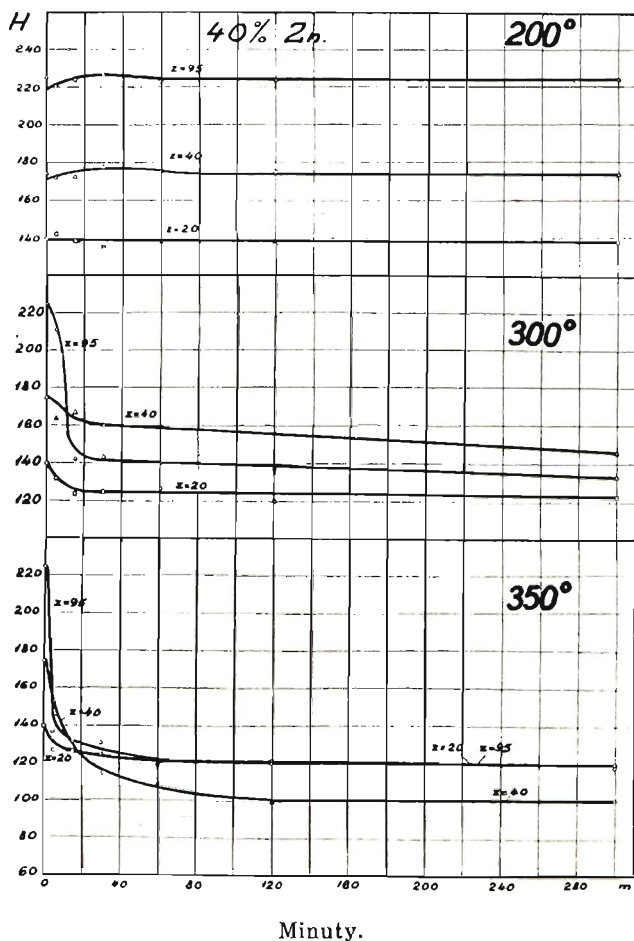
t°	$Z\%$	t min.					
		5	15	30	60	120	300
200	20	140	140	135	141	134	139
	40	171	177	190	191	185	190
	95	226	232	235	239	238	234
300	20	135	135	136	132	132	128
	40	179	173	179	153	113	103
	95	201	140	133	128	122	121
350	20	133	134	131	124	108	84
	40	161	105	105	100	100	99
	95	133	126	121	113	112	111
400	20	130	109	88	83	84	86
	40	107	101	100	99	99	96
	95	124	111	111	103	101	101
500	20	84	83	84	84	82	82
	40	94	91	93	93	90	90
	95	97	86	82	82	80	78
700	20	66	61	59	57	57	56
	40	65	59	63	57	57	57
	95	64	61	60	57	58	59
		H twardość					

wyjmowano kolejno z pieca i szybko oziębiano, poczem inkludowano w szellak, polerowano i badano twardość, wykonywując trzy odciski mikroskopowe na każdej próbce.

Wyniki otrzymane dla mosiądzów o 33% cynku są podane w tablicy III i na rys. 9 i 10.

Widzimy na wykresach (rys. 9 i 10), że odpuszczanie przy 200° powoduje po godzinie przejście twardości mosiądzów zgniecionych do drugiej i trzeciej fazy ($Z = 40$ i 95%) przez płaskie maximum.

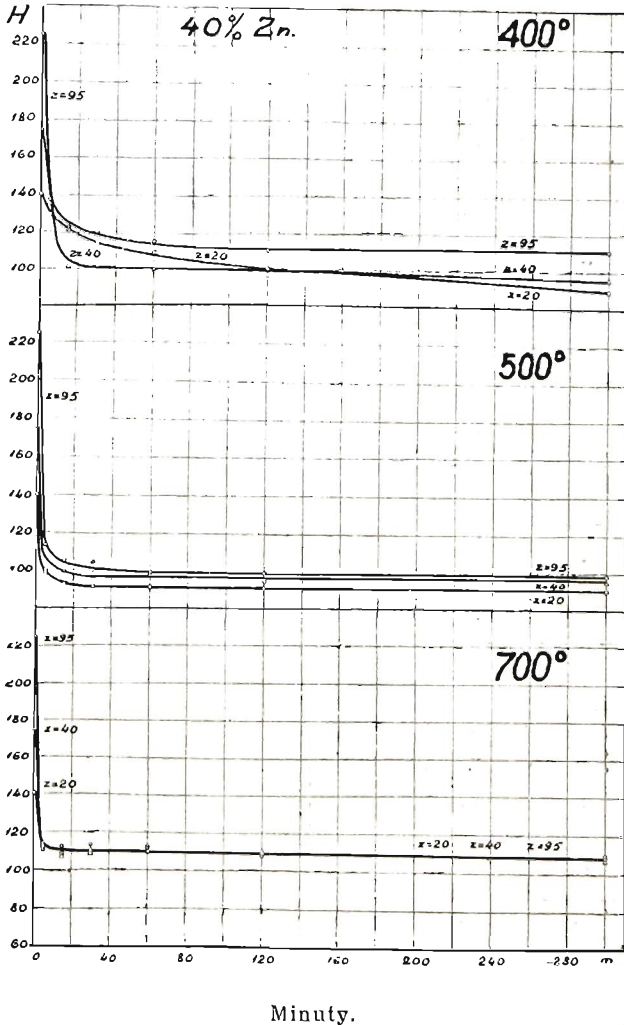
Dla odpuszczania w 300 i 350° maximum twardości tych



Rys. 11. Twardość H mosiądzu o 40% cynku zgniecionego do $Z\%$ i odpuszczonego przy 200, 300 i 350° w ciągu m minut.

mosiądzów zostaje osiągnięte w ciągu tem krótszego czasu im dalej posuniętym był zgniot. Po tem maximum następuje spadek twardości. Natomiast, mosiądz, który doznał tylko pierwszej fazy zgniotu ($Z = 20\%$) przy odpuszczaniu nie przechodzi przez maximum twardości.

Odpuszczanie do 400° , 500° i 700° nie uwidacznia już maximum twardości, które w tym wypadku zlewa się z osią rzędnych.



Rys. 12. Twardość H mosiądzu o 40% cynku zgniecionego do $Z\%$ i wyżarzono-
nego przy 400° , 500° i 700° w ciągu m minut.



TABLICA IV.

Twardość H mosiądzu o 40% cynku zgniecionego do $Z\%$ i wyżarzzonego podczas θ minut w temperaturze t .

t°	$Z\%$	θ min.					
		5	15	30	60	120	300
200	20	142	138	135	138	137	138
	40	172	173	177	176	175	174
	95	221	224	227	223	223	224
300	20	132	124	125	128	120	123
	40	164	167	160	159	156	146
	95	211	142	143	140	137	133
350	20	137	126	125	119	122	120
	40	153	129	114	110	100	101
	95	136	132	131	122	120	118
400	20	129	122	114	109	100	90
	40	136	102	102	100	97	97
	95	136	122	120	115	110	111
500	20	99	92	91	91	91	91
	40	100	99	98	99	95	95
	95	113	105	104	99	99	99
700	20	112	105	109	110	109	109
	40	115	107	110	113	111	108
	95	110	112	114	111	108	110
		H twardość					

Po gwałtownym spadku twardości następuje asymptotyczny bieg krzywych.

Można zauważyć ponadto, że krzywe nie nakładają się na siebie w określonym porządku. I tak przez wyżarzanie w ciągu 300 minut, mosiądz zgnieciony do 20% wydaje się najmniejszym z trzech próbek przy 200°, a najtwardszym przy 300°, gdyż w tej temperaturze nie podległ jeszcze odpuszczeniu. Staje się znów najmniejszym przy 350 i 400°, aby przyjąć średnią wartość przy 500°. Przy 700° wszystkie krzywe wyżarzania zlewają się ze sobą po upływie 15 minut, tak że wyżarzanie jest wówczas całkowite.

Przedmiot z mosiądzu na łuski, wytłoczony na zimno w taki sposób, że zgniot nie jest jednorodny, może więc przez stosowne ogrzewanie przybrać największą twardość w miejscach najsłabiej zgniecionych.

Wpływ odpuszczania i wyżarzania mosiądzu o 40% cynku jest wskazany w tablicy IV i na rys. 11 i 12.

Krzywe ogrzewania mosiądzu o 40% cynku (rys. 11) wykazują maxima twardości przy zgniocie 2-ej i 3-ej fazy, mniej jednak wyraźnie niż dla mosiądzu na łuski (rys. 9); podobnie jak tamte zdają się nie okazywać wzrostu twardości z temperaturą przy zgniocie pierwszej fazy. Także wpływ ogrzewania jest u tych mosiądzów nieco słabszy, tak, że ich odpuszczenie jest np. zaledwie dostrzegalne przy ogrzewaniu do 300° po zgniocie 40%-owym i przy ogrzewaniu do 350° po zgniocie 20%, podczas gdy mosiądz 33%-owy w tych warunkach podlegał już znacznemu wpływowi odpuszczania.

Krzywe wyżarzania mosiądzów o 40% cynku (rys. 12) mają powyżej 400° przebieg bardziej powolny, lecz dość podobny do przebiegu krzywych dla mosiądzu na łuski, a w 700° zlewają się ze sobą.

Wpływ temperatury wyżarzania. Podobnie jak przy badaniu wpływu czasu odpuszczania, próbki wkładano do pieca elektrycznego nagrzanego do danej temperatury, utrzymywano w ciągu 30 minut, a więc przez czas, jaki dla mosiądzów stosuje się często w przemyśle, poczem raptownie oziębiano.

Niektóre z tych pomiarów, jako schodzące się z poprzednimi, mogą służyć do ich skontrolowania, inne zaś odnoszą się do odmiennych zgniotów: 10, 30, 60, 70 i 85%.

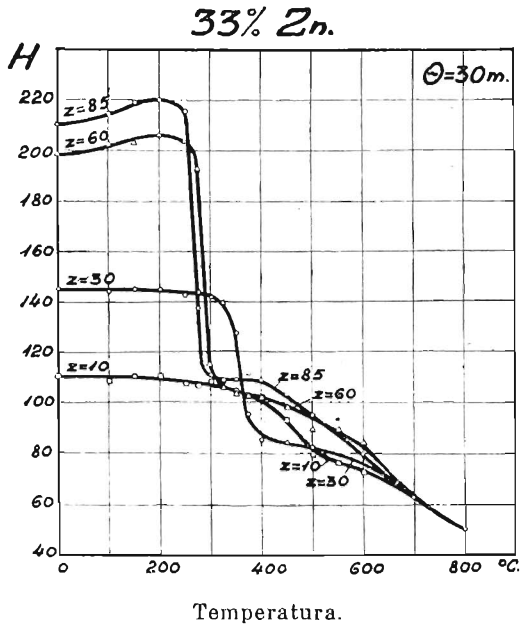
Wyniki uzyskane dla mosiądzu o 33% cynku są przedstawione na tablicy V i rys. 13 i 14.

TABLICA V.

Twardość H mosiądzu o 33% cynku zgniecionego do $Z\%$ i wyżarzzonego podczas 30 minut w temperaturze t° .

t°	$Z\%$							
	10	20	30	40	60	70	85	95
0	108	135	145	171	199	205	210	225
100	111	135	144	176	203	210	214	229
150	110	134	145	185	203	215	219	234
200	110	134	146	190	206	218	220	235
250	108	135	143	187	204	217	215	167
275	106	134	144	186	193	176	138	139
300	108	134	142	167	115	111	110	132
325	109	131	140	112	106	107	109	128
350	104	125	127	106	103	106	109	117
375	102	96	95	98	102	102	112	115
400	101	89	85	100	101	102	108	111
450	93	86	84	100	98	101	103	100
500	80	85	82	93	89	95	95	84
550	76	85	90	82	90	91	93	81
600	73	84	79	81	85	84	79	71
700	64	60	60	64	60	60	60	60
800	51	48	48	50	51	51	53	50
	H twardość							

Te wykresy (rys. 13 i 14) potwierdzają zapatrywanie Grarda, że wyżarzanie mosiądzu, objawiające się szybkim spadkiem twardości, zachodzi w tem niższej temperaturze, im silniejszym był zgniot. Pod tym względem mosiądże różnią się zasadniczo od żelaza, dla którego temperatura wyżarzania wzrasta ze stopniem zgniotu¹⁾.



Rys. 13. Twardość H mosiądzu o 33% cynku zgniętego do 10, 30, 60 i 85% i wyżarzonego w ciągu 30 minut w temperaturze C .

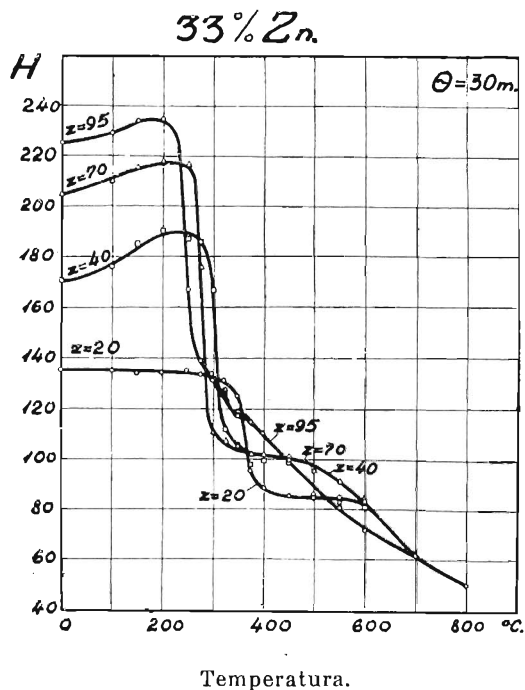
Dla mosiądżów, które doznały tylko pierwszej fazy zgniotu (10, 20 i 30%) twardość utrzymuje się na tym samym poziomie lub obniża się tylko lekko przy odpuszczaniu, t. zn. przy ogrzewaniu poniżej od temperatury wyżarzania. Przeciwnie mosiądże zgnięte w wyższym stopniu, wykazują wzrost twardości przy odpuszczaniu.

Po spadku twardości spowodowanym wyżarzaniem następuje, przy wszystkich zgniotach, część pozioma krzywej, poczem dalszy spadek. Można uważać za prawdopodobne, że ta część pozioma odpowiada skupianiu się kryształków ultramikroskopowych, utworzonych w czasie spadku twardości, lecz stających się widocznymi

¹⁾ Broniewski i Król, l. cit.

pod mikroskopem dopiero po ogrzewaniu w temperaturze o jakie 100° wyższej.

Pomiędzy temperaturą początku wyżarzania, objawiającą się spadkiem twardości, i temperaturą całkowitego wyżarzenia, w której schodzą się wszystkie krzywe, własności mosiądzów okazują się



Rys. 14. Twardość H mosiądzu o 33% cynku, zgnieczonego do 20, 40, 70 i 95% i wyżarzonego w ciągu 30 minut w temperaturze C .

zależnymi nie tylko od temperatury wyżarzania, lecz także od stopnia zgniotu początkowego, co sprzeciwia się obecnym poglądom. Jak to już zaznaczyliśmy, wyżarzanie w pewnej temperaturze może uczynić mosiądz lekko zgnieciony twardszym, niż mosiądz silnie zgnieciony.

Jako temperaturę zupełnego wyżarzenia otrzymujemy 700°, t. zn. temperaturę w przybliżeniu o 100° niższą od zazwyczaj przyjętej.

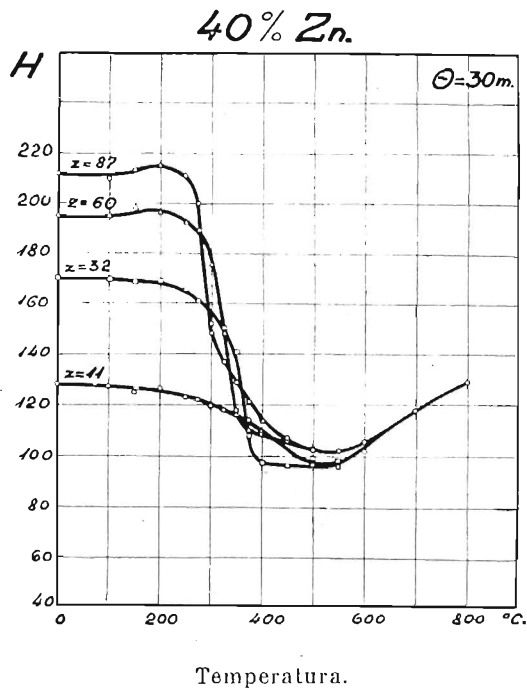
Wyniki otrzymane dla mosiądzu o 40% cynku podane są w tablicy VI i na rys. 15 i 16.

TABLICA VI.

Twardość H mosiądzu o 40% cynku zgniecionego do $Z\%$ i wyżarzonego podczas 30 minut w temperaturze t° .

t°	$Z\%$							
	10	20	30	40	60	70	85	95
0	129	140	170	175	195	210	212	227
100	127	138	170	175	195	214	210	232
150	124	135	169	177	199	214	213	232
200	126	134	169	179	196	216	215	227
250	123	133	165	173	192	212	211	210
275	122	132	161	172	190	199	200	181
300	119	128	151	169	176	148	148	143
325	118	126	150	162	149	126	137	135
350	118	124	141	130	117	118	129	134
375	114	124	109	118	110	113	122	129
400	109	113	98	107	108	108	114	122
450	106	92	96	103	105	104	107	109
500	97	93	100	102	104	105	103	106
550	96	93	98	98	100	97	102	101
600	102	100	106	105	105	104	106	106
700	116	115	118	116	118	118	117	117
800	129	127	127	128	126	128	126	128
	H twardość							

Poniższe wykresy (rys. 15 i 16) wykazują te same cechy charakterystyczne co wykresy dla mosiądzu na Iuski.



Rys. 15. Twardość H mosiądzu o 40% cynku zgniecionego do 10, 32, 60 i 87% i wyżarzonego w ciągu 30 minut w temperaturze C.

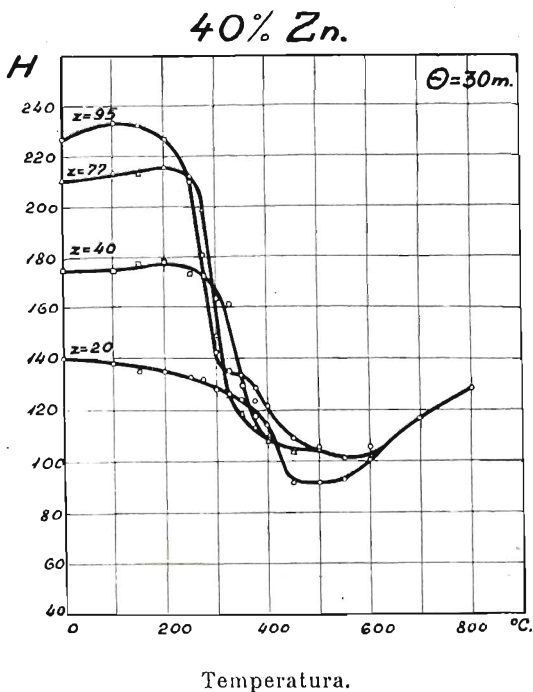
A więc temperatura wyżarzania okazuje się tem niższą, im wyższym był zgniot. Zgniot w drugiej i trzeciej fazie, w przeciwieństwie do zgniotu w 1 fazie, powoduje wzrost twardości przy odpuszczaniu. Wreszcie, po spadku twardości przy wyżarzaniu następuje poziomy bieg krzywej.

Natomiast, po tej części poziomej następuje dla mosiądzu o 40% cynku wzrost twardości, podczas gdy mosiądz 33%-wy wykazywał dalszy spadek. Fakt ten jest spowodowany wzrastającą rozpuszczalnością składnika α w składniku β powyżej 500°, zaś utworzony roztwór zachowuje się w próbkach wskutek szybkiego oziębiania po wyżarzeniu.

Całkowite wyżarzanie osiąga się dla mosiądzu o 40% cynku przy około 600°.

Twardość rzeczywista. Pomiar twardości obciążony jest błędem powodowanym przez to, że kulka, którą wywieramy nacisk na próbkę, wywołuje miejscowy zgniot metalu.

W celu określenia rzeczywistej twardości zastosowaliśmy znaną metodę kolejnych odcisków, wskazaną przez Hanriota. Na próbkę mosiądzu wyżarzzonego przy 550° wywierano nacisk kulką o 10 mm średnicy pod ciśnieniem 500 kg, następnie wyżarzano próbkę i ponawiano odcisk w tym samym miejscu co poprzednio,



Rys. 16. Twardość H mosiądzu o 40% cynku zgniecionego do 20, 40, 77 i 95% i wyżarzzonego w ciągu 30 minut w temperaturze C .

powtarzając kolejno te czynności aż do ustalenia się cyfry twardości. Osiągano w ten sposób liczbę odnoszącą się do stanu równowagi pomiędzy naciskiem kulki a reakcją sprężystą metalu wyżarzzonego.

Otrzymane w ten sposób wyniki podaje tablica VII i rys. 17.

Ilość kolejnych odcisków i wyżarzeń posunięto aż do 50, lecz już 45-y odcisk może być uważany za odnoszący się do stanu równowagi dla obu mosiądzów.

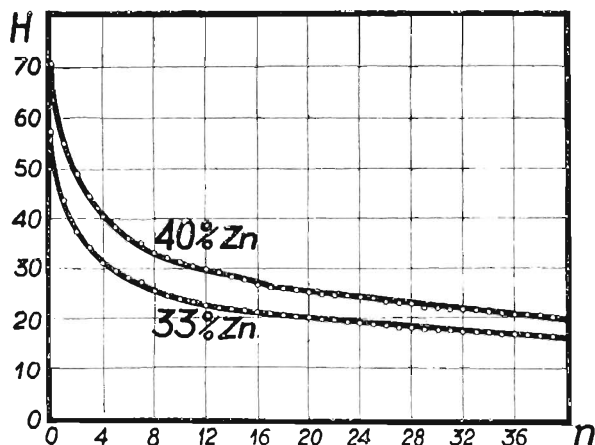
TABLICA VII.

Rzeczywista twardość mosiądzu o 33 i 40% cynku. n —ilość kolejnych wyzarzeń po odcisku twardości, H — twardość zmierzona.

n	twardość		n	twardość		n	twardość	
	33% Zn	40% Zn		33% Zn	40% Zn		33% Zn	40% Zn
0	57,4	71,0	17	20,8	26,1	34	16,8	20,5
1	43,8	55,0	18	20,5	25,9	35	16,6	20,4
2	37,5	49,0	19	20,3	25,3	36	16,5	20,3
3	34,4	44,5	20	20,0	24,9	37	16,4	20,1
4	31,2	40,5	21	19,8	24,5	38	16,3	19,9
5	29,7	38,5	22	19,5	24,3	39	16,1	19,7
6	28,4	36,2	23	19,1	24,0	40	16,0	19,6
7	27,3	35,2	24	18,9	23,8	41	16,0	19,5
8	25,5	33,3	25	18,6	23,0	42	15,9	19,4
9	24,4	32,1	26	18,4	22,0	43	15,7	19,3
10	23,8	31,2	27	18,2	21,8	44	15,6	19,3
11	23,3	30,4	28	17,9	21,6	45	15,5	19,2
12	22,5	29,4	29	17,6	21,6	46	15,5	19,2
13	22,0	29,1	30	17,4	21,5	47	15,4	19,2
14	21,7	28,1	31	17,3	21,3	48	15,5	19,1
15	21,5	27,7	32	17,1	21,0	49	15,5	19,2
16	21,2	26,5	33	17,0	20,7	50	15,5	19,2

Twardość mosiądzu na łuski, która wynosiła początkowo 57,4, ustala się w ten sposób na 15,5, a dla mosiądzu o 40% cynku spada z 71 na 19,2.

W obu wypadkach spadek twardości jest w przybliżeniu jednokowy, bliski 73%. Dla mosiądzów twardość rzeczywista jest więc ściśle proporcjonalna do ich twardości normalnej Brinella, przyczem



Odciski.

Rys. 17. Twardość mosiądzów o 33% i 40% cynku w zależności od ilości n kolejnych odcisków.

stosunek wynosi $k = 3,7$. Spółczynnik ten dla mosiądzu jest wyższy niż dla miedzi¹⁾ ($k = 2,8$) i dla żelaza²⁾ ($k = 2,5$).

Streszczenie. 1. Określono wartości 5 parametrów wytrzymałościowych, twardość oraz udarność mosiądzów o 33 i 40% cynku w zależności od stopnia zgniotu.

2. Stwierdzono w ten sposób istnienie trzech faz zgniotu. Koniec pierwszej fazy wyróżnia się przede wszystkim prawie zupełnym zaniknięciem wydłużenia równomiernego i załamaniem, występującymi na większości wykresów, zwłaszcza na krzywej udarności.

Początek trzeciej fazy zgniotu uwydatnia się przede wszystkim spadkiem przewężenia i załamaniem innych krzywych.

¹⁾ Krupkowski, loco cit. str. 122.

²⁾ Broniewski i Król, loco cit. str. 42.

Granice faz zgniotu są, dla mosiądzu na łuski, 30 i 70%, zaś dla mosiądzu o 40% cynku, 35 i 75%.

3. Odpuszczanie i wyżarzanie mosiądźców, badane jako funkcja czasu, wykazało, że twardość mosiądźców, które doznały drugiej i trzeciej fazy zgniotu przechodzi przez maximum, nie dające się zaobserwować u mosiądźców zgniecionych w obrębie granic pierwszej fazy.

Spadek twardości, spowodowany wyżarzeniem, ma miejsce w tem niższej temperaturze, im wyższym był zgniot.

4. Zapomocą odpuszczania i wyżarzania mosiądźców w ciągu określonego czasu (30 minut) w rozmaitych temperaturach stwierdziliśmy, że po spadku twardości wskutek wyżarzenia następuje dla wszystkich zgniotów pozioma część krzywej, co prawdopodobnie odpowiada aglomeracji kryształów ultramikroskopowych.

Aż do temperatury zupełnego wyżarzenia, czyli 700° dla mosiądzu na łuski i 600° dla mosiądzu o 40% cynku, ich własności mechaniczne okazują się zależnymi nie tylko od temperatury wyżarzania, lecz także od stopnia początkowego zgniotu.

R É S U M É.

*Sur l'écrouissage, le revenu et le recuit des laitons¹⁾
par MM. W. Broniewski et T. Pelczyński.*

1. Pour les laitons à 33 et à 40 p. 100 de zinc les 5 paramètres de la traction, la dureté et la resiliance ont été mesurés en fonction de l'écrouissage, poussé jusqu'à 99 p. 100.

2. Trois phases de l'écrouissage ont pu ainsi être établies. La fin de la première est caractérisée surtout par la disparition presque complète de l'allongement proportionnel (fig. 6 et 8) et par des points d'inflexion sur la majeure partie des courbes, en particulier sur celle de la résilience (fig. 5 et 7).

Le commencement de la troisième phase d'écrouissage se fait surtout remarquer par le fléchissement de la striction (fig. 6 et 8) et des points d'inflexion sur les autres courbes.

Les limites des phases d'écrouissage sont pour le laiton à cartouches à 30 et à 70%, pour le laiton à 40% de zinc à 35 et à 75%.

¹⁾ Revue de Metallurgie, 31, (1934), pp. 48 et 90.

3. Le revenu et le recuit des laitons en fonction du temps nous a montré que la dureté des laitons ayant subi l'écrouissage de la deuxième et de la troisième phase passe par un maximum, qui ne se fait pas remarquer pour les laitons écrouis dans les limites de la première phase (fig. 9 et 11).

Le fléchissement de la dureté due au recuit a lieu à une température d'autant plus basse que l'écrouissage du laiton a été plus élevé.

4. Le revenu et le recuit des laitons pendant un temps déterminé (30 min.) à différentes températures nous a montré que la chute de la dureté au recuit est suivie pour tous les écrouissages par un palier correspondant probablement à l'agglomération des cristaux ultra microscopiques (fig. 13 — 16).

Jusqu'à la température de recuit complet, soit 700° pour le laiton à cartouches et 600° pour le laiton à 40 p. 100 de zinc, leurs propriétés mécaniques se montrent dépendantes non seulement de la température de recuit mais aussi de l'écrouissage initial.

5. La vraie dureté des laitons, établie par la méthode des empreintes successives a été trouvée égale à 27 p. 100 du nombre de dureté Brinell.