

XII. WŁASNOŚCI MECHANICZNE

(CZĘŚĆ PRAKTYCZNA)

Uwagi ogólne. Próby twardości. Metoda Brinella. Przyrządy. Odcisk. Próba uproszczona. Inne metody pomiarów twardości. — Próby wytrzymałości. Zarys historyczny. Prawo podobieństwa. Probierki. Osadzanie. Maszyny do rozciągania. Pomiary. Próby odporności. Zarys historyczny. Probierki. Przyrządy. Próba uproszczona.

Wykaz prac cytowanych w rozdziałach XI i XII.

Uwagi ogólne. Widzieliśmy, że można ustalić zależność między rozmaitemi własnościami mechanicznymi; wystarczy więc zbadać niektóre z nich, by wywnioskować o wartości pozostałych z dostatecznem przybliżeniem. Zazwyczaj bada się twardość, wytrzymałość na rozciąganie i odporność na uderzenie. Próba rozciągania, najdawniejsza ze wszystkich, jest też najbardziej rozpowszechniona; ponieważ jest ona dość kosztowna z powodu wielkich maszyn, jakich wymaga, a także względnie wysokiej ceny przygotowywania probierek, zastępuje się ją, o ile możności, próbą twardości, posługując się związkiem Brinella (str. 194).

Próba złamania przez uderzenie poprzeczne jest chronologicznie ostatnia z pomiędzy prób mechanicznych, ponieważ jednak odnosi się do własności ważnej w praktyce i niezależnej od wytrzymałości lub twardości, stała się niezbędną do określenia cech stopu technicznego.

W celu otrzymania pomiarów mechanicznych porównywalnych ze sobą, należy zapomocą umowy ustalić pewne czynniki. Wchodzi to w zakres kompetencji kongresów międzynarodowego Stowarzyszenia dla prób materiałów budowlanych (Association internationale pour l'essai des matériaux de construction).

PRÓBY TWARDOŚCI

Metoda Brinella. Stopień twardości wyraża się stosunkiem

$$H = \frac{P}{S},$$

gdzie P oznacza ciśnienie całkowite w kilogramach, wywarłe na kulkę, zaś S powierzchnię odcisku, wyrażoną w milimetrach kwadratowych. Odwrotność tego stosunku daje stopień miękkości.

Zazwyczaj, za przykładem Brinella (1900), używa się kulek z hartowanej stali, o średnicy 10 mm pod ciśnieniem całkowitem, wynoszącym 3000 kg dla stali, zaś 500 kg dla innych stopów.

Przy tej umowie trzeba wprowadzić poprawkę dla części pomiarów, gdyż stopień twardości zmienia się wraz z ciśnieniem całkowitem i ze średnicą kulki.

Przy danej średnicy kulki, pomiary wykazują większy stopień twardości przy wyższych ciśnieniach. Przy danym ciśnieniu całkowitem stopień twardości pozornie maleje w miarę jak średnica kulki wzrasta. Naprzykład, dla stali wyżarzzonej zawierającej 0,9% węgla, stopień twardości wynosi około 200, jeśli używamy kulki o średnicy 10 mm pod ciśnieniem całkowitem 3000 kg; pod ciśnieniem całkowitem 500 kg liczba ta spada do 175, lecz odyskuje swą pierwotną wartość pod temże ciśnieniem przy użyciu kulki o średnicy 5 mm.

Według Benedicksa (1904), przy danym ciśnieniu całkowitem, stopień twardości H jest odwrotnie proporcjonalny do pierwiastku piątego stopnia ze średnicy kulki D :

$$H \sqrt[5]{D} = \text{const.}$$

Według Meyera (1908), przy danej średnicy kulki, między ciśnieniem całkowitem P i średnicą odcisku d zachodzi związek

$$P = a d^n$$

gdzie a i n są stałe zależne od metalu. Stała a odpowiada ciśnieniu potrzebnemu do wywołania odcisku o 1 mm średnicy; przy 10 mm kulce waha się ona pomiędzy 20 dla ołowiu i 270 dla stali niklowej. W tychże warunkach, waha się stała n pomiędzy 1,91 i 2,26.



J. A. BRINELL

Jeśli się zastąpi ciśnienie statyczne przez uderzenie, stopnie twardości rosną wraz z twardością powolniej, niż przy ciśnieniu statycznym (Brinell i Dillner, 1906).

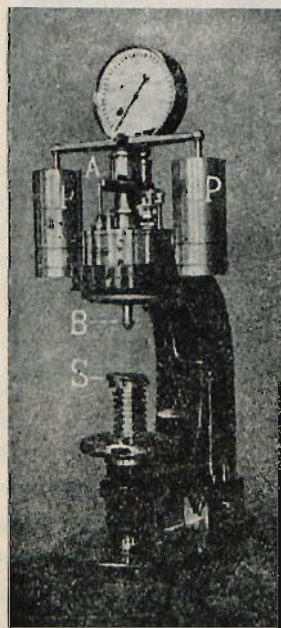
Czas trwania ciśnienia, przy próbie twardości, wpływa również, w pewnej mierze, na jej wyniki, gdyż równowaga pomiędzy ciśnieniem i odkształceniem nie ustala się natychmiastowo. Doświadczenia Guillery (1917) wykazują, naprzykład, następujące dane dla miękkiej stali.

Czas trwania próby	2 sekundy	2 minuty	4 minuty	nieograniczony
Znaleziony stopień twardości	171	163	161	159

Zazwyczaj, przy dokładnych pomiarach twardości nacisk jest wywierany w ciągu 5 minut.

Przyrządy. Z pośród przyrządów, służących do otrzymywania odcisku i do mierzenia ciśnienia całkowitego, najbardziej precyzyjnym jest — zdaje się — przyrząd firmy „Alpha“ w Sztokholmie.

Zasadniczą częścią przyrządu (rys. 196) jest prasa olejna, w której znajduje się tłok z trzonkiem, zwróconym ku dołowi i zakończonym kulką stalową B. Przedmioty, przeznaczone do badania, umieszcza się na stoliku S, który można podnosić lub zniżać, w miarę potrzeby zapomocą śruby. Ciśnienie całkowite, wskazane przez manometr, wytwarza mała pompa ręczna; może ono dojść do 3000 kg.

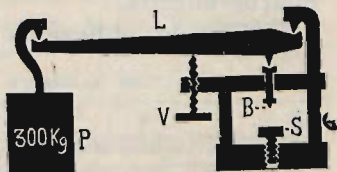


Rys. 196 — Przyrząd firmy „Alpha“, służący do prób twardości. B — kulka; S — stolik, na którym się umieszcza próbki; A i P — części składowe przyrządu do pomiaru ciśnienia

Przy pomiarach precyzyjnych, oznacza się ciśnienie całkowite bezpośrednio, bez użycia manometru. W tym celu łączy się zbiornik ciśnienia z małym cylindrem A, zamkniętym przez tłok bez użycia uszczelnień by uniknąć, o ile możności, tarcia. Na tłok nakładamy ciężar P, odpowiadający ciśnieniu całkowitemu, które chcemy wywrzeć i podnoszący się, gdy to ciśnienie zostanie osiągnięte. Dokładność pomiaru ciśnienia całkowitego wynosi tu 0,2%.

Przyrząd Martensa i Heyna (1909) jest zbudowany na podobnej zasadzie, lecz ciśnienie całkowite mierzy się w nim manometrem.

W przyrządzie firmy Bollée (rysunek 197) ciśnienie całkowite 3000 kg wywiera się przy pomocy dźwigni L; u końca jednego z jej ramion znajduje się ciężar $P = 300$ kg. Do manipulowania służy śruba ręczna V, podnosząca i spuszczaająca ciężar. Często używa się w fabrykach tego przyrządu, dokładnego i bardzo mocnego, dla kontroli postępowania termicznego.

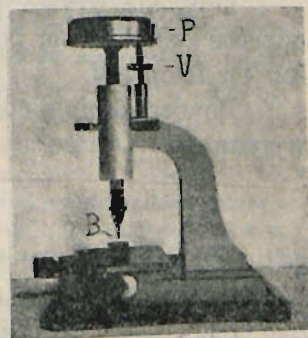


Rys. 197 — Schemat przyrządu firmy Bollée do pomiarów twardości. B — kulka; S — stolik, na którym się umieszcza próbki; L — dźwignia; P — ciężar; V — śruba



Rys. 198 — Kulka szklana, służąca do pomiarów twardości (Le Grix, 1911)

Jeśli celem prób twardości jest określenie budowy stopów, to ważną jest rzeczą, by używać do nich tych samych próbek, które już służyły do pomiarów elektrycznych, aby można porównać odpowiednie wykresy. Otóż próbki te mają średnicę, nie przenoszącą 5 mm, i byłoby rzeczą niemożliwą poddawać je ciśnieniom, jakich się używa przy próbach zwyczajnych. Można w tym wypadku uciec się do przyrządu Le Grix (1911), posługującego się kulkami ze szkła, o średnicy 1 mm pod ciśnieniem całkowitem 5 kg. Otrzymuje się z łatwością takie małe kulki (rys. 198), wyciągając pręcik szklany lub kwarcowy, a następnie obtapiając jego koniec w płomieniu dmuchawki. W celu zrobienia odcisku, kładziemy ciężar na talerzu P (rys. 199), połączonym z pręcikiem szklanym, na którego końcu znajduje się kulka B. Zapomocą śruby mikrometrycznej V zniżamy powoli całe to urządzenie, aż kulka spocznie na wypolerowanej powierzchni próbki.

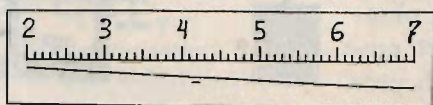


Rys. 199 — Przyrząd Le Grix do badania twardości. P — talerz, na którym się kładzie ciężar; B — kulka; V — śruba mikrometryczna

Przyrząd Le Grix daje wyniki, mało różniące się od tych, jakie otrzymujemy na podstawie zwyczajnych pomiarów, ponieważ małe rozmiary kulki kompensuje tutaj odpowiednio zmniejszone ciśnienie całkowite. Jednak, przy pomiarach precyzyjnych jest rzeczą wskazaną doświadczalnie oznaczyć poprawkę, jako czynnik, przez który należy mnożyć otrzymane wyniki.

Odcisk. Zanim się przystąpi do wykonania zwyczajnego odcisku twardości, należy powierzchnię wygładzić pilnikiem; dla zrobienia odcisku kulki szklanej, poleruje się próbkę, jak przed obserwacją mikrograficzną.

W celu obliczenia powierzchni odcisku, trzeba znać średnicę kulki oraz średnicę lub głębokość odcisku.



Rys. 200 — Linijka Le Chateliera do pomiarów średnicy odcisku twardości

Pomiaru *średnicy* odcisku można dokonać przy pomocy linijki Le Chateliera (rys. 200); podziałka linijki, wytrawiona na szkłe, kładzie się na próbce w ten sposób, by obie proste zbieżne były styczne do obwodu odcisku, oznaczając jego średnicę z dokładnością 0.1 mm.

Dokładność ta niekiedy nie wystarcza i w takich wypadkach używa się mikroskopu z podziałką w okularze, przez co osiąga się dokładność 0.02 mm.

Odczytywanie z dokładnością 0.01 mm da się uskutecznić przy pomocy mikroskopu, opatrzonego włoskiem i dającego się przesuwac poziomo zapomocą śruby mikrometrycznej w celu kolejnego wizowania obu końców średnicy odcisku.

Gdy się używa przyrządu Le Grix, średnicę odcisku oznacza się pod mikroskopem na matówce lub na fotografii.

Powierzchnia S odcisku, jako funkcja średnicy d , wyraża się wzorem:

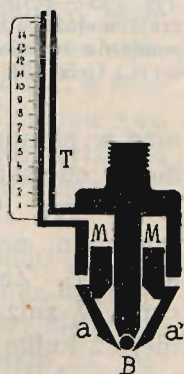
$$S = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

gdzie D jest średnicą kulki.

Dla pomiarów *głębokości* odcisku, zaopatruje się przyrząd firmy „Alpha” urządzeniem, przedstawionem na rys. 201. Składa się ono z naczynka z rtęcią, opatrzonego tłokiem i umocowanego do trzonka, na którego końcu znajduje się kulka. Tłok spoczywa, za pośrednictwem nóżek a i a' , na powierzchni próbki i, gdy kulka (lub stożek) zagłębia się w metal, wypycha do rurki włoskowatej ilość rtęci, odpowiadającą różnicy poziomów między kulką a nóżkami. Dokładność pomiaru głębokości wynosi tu 0.01 mm. Przyrząd Martensa i Heyna posiada podobne urządzenie.

Powierzchnia odcisku, jako funkcja głębokości h wyraża się wzorem

$$S = \pi D h$$



Rys. 201 — Urządzenie, służące do pomiarów głębokości odcisku twardości w przyrządzie firmy „Alpha”

Próba uproszczona. Mniej ściśle, ale wystarczająco dokładne dla praktyki warsztatowej próby twardości wykonywane być mogą prawie bez przyrządów.

Jednostką porównawczą jest wzorzec, zazwyczaj płytka stalowa, o znanej twardości H , ujawniającej się przy normalnej próbie odciskiem o średnicy d .

Kulka stalowa, uwięziona w jakimkolwiek sposób (drutem, blachą, pierścieniem i t. p.), by nie mogła wyskakiwać podczas próby, umieszczona zostaje na badanym stopie i przykryta próbką wzorcową. Uderzenie młotem wytwarza naraz dwa odciski: o średnicy d_1 na wzorcu i d_1' na badanej próbce.

Ciśnienie wywarłe przy tej próbie znane nie jest, lecz możemy go wyeliminować i obliczyć średnicę d' , jaką miałby odcisk na badanej próbce pod normalnem ciśnieniem 3000 kg (względnie 500 kg). Otrzymamy wtedy w przybliżeniu

$$d' = d \frac{d_1'}{d_1} \text{ lub } H' = H \left(\frac{d_1'}{d_1} \right)^2$$

gdzie H' jest poszukiwanym stopniem twardości badanego stopu.

Próba ta wprowadzona została we Francji do arsenału w Puteaux przez pułkownika Regnaulta.

Gdy mierzenie odcisku na samej próbce jest niewygodnem, kładzie się na niego małą blaszkę ołowianą i zlekka płaszczy uderzeniem młotka. Średnicę odcisku mierzy się wtedy w dogodniejszych warunkach na jego ołowianej odbitce.

Inne metody. Podamy w krótkości zasadę kilku metod, używanych, prócz metody Brinella, do pomiarów twardości.

1. Ludwik (1909) proponuje zastąpić kulkę *stożkiem z hartowanej stali, o kącie wierzchołkowym 90°*; stopień twardości wyraża się, jak przedtem, stosunkiem ciśnienia całkowitego do powierzchni odcisku. Zaletą tej metody, użytej w nieco innej formie już przez Calverta i Johnsona (1859), jest, że stopień twardości nie zależy od wywartego ciśnienia całkowitego, wadą zaś stępanie się końca stożku.

2. W *sklerometrze* Martensa (1889) stopień twardości definiuje się zapomocą obciążenia w gramach, diamentowego stożka o kącie wierzchołkowym 90°, powodującego rysę, szerokości 0.01 mm. Metoda ta, pochodząca od Seebeke (1833), posiada tę zaletę, iż nadaje się w wypadku próbek, bardzo kruchych, a także, iż podaje względną twardość rozmaitych pierwiastków metalograficznych, tworzących stop. Ujemną stroną tej metody stanowi trudność fabrykowania stożków o identycznych ostrzach, skutkiem czego stopień twardości zmienia się wraz z przyrządem. Zależnie od tego, czy przy badaniach posługujemy się sklerometrem, czy metodą Brinella, otrzymujemy dwie różne klasyfikacje stopów pod względem twardości.

3. W *skleroskopie* Shore'a (1907) miarą twardości jest wysokość odbicia się kulki z hartowanej stali, spadającej z określonej wysokości na powierzchnię próbki. Metody tej można używać tylko dla porównywania twardości ciał, posiadających bardzo zbliżone współczynniki sprężystości; stosując ją bez tego ważnego ograniczenia, doszłoby się do paradoksalnego wniosku, że kauczuk jest twardszy od żelaza, ponieważ ma większy współczynnik odbicia. W fabrykach, gdzie metody Shore'a często się używa dla kontroli postępowania termicznego u stali, ceni się u niej to przede-wszystkiem, że próby nie pozostawiają po sobie żadnych śladów i dają się szybko wykonywać.

4. W mineralogji używa się jeszcze *skali Mohsa* (1882); mamy w niej dziesięć ciał typowych, wybranych dowolnie, pomiędzy które umieszcza się badane co do twardości ciało tak, aby rysowało wszystkie ciała, zajmujące niższe miejsce w skali

twierdności, zaś ulegało zarysowaniu przez ciała, zajmujące wyższe miejsce. Twardość ciał typowych badał Auerbach (1896), a otrzymane wartości po przeliczeniu według zasad Brinella, dają następujące stopnie twardości (H):

	H		H
1. Łojek (talk)	3	6. Skaleń (ortoklaz)	147
2. Sól kamienna	12	7. Kwarzec	178
3. Kalcyt	53	8. Topaz	304
4. Fluoryt	64	9. Korund	667
5. Apatyt	137	10. Diament	?

Stopień twardości rozmaitych gatunków drzewa leży między 1 a 10, najmiększa jest sosna, najtwardszy heban; paznokieć ma twardość bliską 30; twardość szkła na szyby wynosi około 150, zaś ostrza scyzoryka od 150 do 200.

PRÓBY WYTRZYMAŁOŚCI

Zarys historyczny. Pierwszy Galileusz (1638) podjął doświadczalne i teoretyczne badania nad wytrzymałością materiałów na rozciąganie i zginanie.

Probiarki wytrzymałościowe pomysłu Musschenbroeka (1729) mało różnią się od form dzisiejszych.

W początkach XIX wieku umiano już budować wielkie maszyny hydrauliczne, przeznaczone do prób rozciągania, lecz rzadko ich używano (Frémont, 1900).

Dopiero od czasu prac Kirkaldyego (1862) i równoczesnego pojawienia się stali Bessemera próby rozciągania rozpowszechniły się. Badania te, czysto doświadczalne, obejmowały próby rozciągania na przeszło 1300 próbkach stalowych i wykazały, że w dużej ilości wypadków, ich wyniki nie zgadzały się z przyjętymi zapatrywaniem. Kirkaldy wykazał tedy całą korzyść z prób rozciągania i zaproponował klasyfikację stali według wytrzymałości.

Przez pewien czas uważano próby rozciągania za jedyne kryterjum jakości stopów, a i teraz jeszcze ich wyniki stanowią najważniejszą klauzulę przy zamówieniach.



GALILEUS GALILEI FLORENTINUS
(1564—1642)

Prawo podobieństwa. Naprężenie roz-

rywające, granicę sprężystości i przewężenie można oznaczyć na jakiegokolwiek probierce o znanym przekroju. Z wydłużeniem, które w pierwszej linii jest związane z umiędscowieniem zjawiskiem przewężenia, sprawa ma się inaczej. Względne wydłużenie probierki zależy tedy nie tylko od przekroju, lecz także od jej długości, a raczej od odległości kresek, między którymi obserwuje się wydłużenie.

Np. przy rozerwaniu pręta z miękkiej stali ($R = 37 \text{ kg/mm}^2$), o średnicy 17 mm, otrzymujemy następujące wartości na wydłużenie procentowe, odniesione do odległości między kreskami (Barba, 1880):

Odległość między kreskami	50 mm	100 mm	300 mm	500 mm
Wydłużenie procentowe	50·8‰	39·9‰	29·5‰	24·8‰

Gdy długość między kreskami jest stała, wydłużenie wzrasta wraz ze średnicą pręta. Tak np. dla innej miękkiej stali ($R = 37 \text{ kg/mm}^2$) otrzymujemy następujące wydłużenia, gdy odległość między kreskami wynosi 100 mm:

Średnica probierki	5 mm	10 mm	20 mm
Wydłużenie procentowe	25·0‰	30·2‰	37·5‰

Zmiennością wydłużenia, jako funkcji średnicy i długości, rządzi prawo podobieństwa, sformułowane po raz pierwszy przez Lebas-teura i Marié'go (1878) dla prętów okrągłych.

Można je wyrazić w następujący sposób:

„Probierki o kształcie geometrycznie podobnym, dają równe wydłużenia względne“. Gdy się powiększy tedy średnicę probierki w tym samym stosunku, co odległość między kreskami, obserwowane wydłużenie względne nie zmieni się. Barba (1880) rozszerzył znacznie zakres stosowalności tego prawa, wykazując, że probierki prostokątne dają takie wyniki jak probierki okrągłe o identycznym przekroju.

Tak więc dla rozmaitych typów probierek, jedynie stosunek długości między kreskami l do średnicy d powinien pozostać stały:

$$\frac{l}{d} = \text{const.}$$

Przy porównywaniu probierek prostokątnych z okrągłymi oznaczamy fikcyjną średnicę ich przekroju f . Zatem $\frac{l}{\sqrt{f}} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{2} = \text{const.}$ czyli $l = n\sqrt{f}$, gdzie n oznacza stałą.

Przy zachowaniu tego stosunku wydłużenie nie zależy od kształtu probierki, w granicach błędów doświadczalnych. W następującym przykładzie zachowano stosunek $l = 8\cdot164\sqrt{f}$ przy próbach na miękkiej stali (Barba, 1895):

Kształt probierki:	Okrągły $d = 27.64 \text{ mm}$	Płaski $f = 25 \times 10 \text{ mm}$	Płaski $f = 40 \times 5 \text{ mm}$
L, długość między kreskami w mm	200	129	100
E, granica sprężystości w kg/mm^2	25.6	27.4	27.2
R, naprężenie rozrywające w kg/mm^2	37.9	39.9	38.4
S, przewężenie procentowe	67.1	62.0	59.2
A, wydłużenie procentowe	30.0	31.4	30.8

Kick (1885) stosował prawo podobieństwa nie tylko przy rozciąganiu, lecz także przy ściskaniu i zginaniu.

Probierki. Kongres brukselski (1906) międzynarodowego Stowarzyszenia dla prób materiałów budowlanych określił w następujący sposób kształt probierek wytrzymałościowych:

„U metali, dających przewężenie, wybór długości l , użytej do pomiarów, wpływa w znacznym stopniu na wydłużenie przy rozerwaniu. Określa się ją z równania: $l = n \sqrt{f}$ (gdzie f oznacza powierzchnię przekroju poprzecznego). W wielu krajach używa się $n = 11.3$. W każdym razie należy, jako długość, w ten sposób obliczoną, wziąć liczbę całkowitą centymetrów, zaś wartość n podać jako wskaźnik, a więc np.: $A_{11.3} = 10.9\%$.

Z powodu, iż kształt przekroju wpływa na przewężenie, należy u probierek o przekroju prostokątnym brać, o ile możliwości, jako szerokość, potrójną lub poczwórną grubość.

Aby wyeliminować wpływ główek, o ile probierki takowe posiadają, lub kleszczy, którymi się chwytą te, które ich nie posiadają, należy, by długość części przyrzątczej, względnie części zawartej między kleszczami, przewyższała długość, użytą do pomiarów co najmniej: o wielkość średnicy z każdego końca u probierek cylindrycznych, zaś o szerokość z każdego końca u probierek o przekroju prostokątnym.

U prętów próbnych, opatrzonych główkami, musi być zachowane przejście między główką a częścią użyteczną.

Probierka, polecona przez kongres, ma zatem długość między kreskami równą dziesięciokrotnej średnicy i pochodzi od wzorcowej probierki niemieckiej. We Francji i w krajach anglo-saskich obecnie używane probierki wzorcowe mają nieco inne rozmiary.

	Francja	Niemcy	Anglia i Stany Zjedn.
l , długość między kreskami w mm	200	200	203.2 (8 cali)
d , średnica w mm	(27.6)	20	19.1 ($3/4$ cala)
f , przekrój w mm^2	600	(314)	(285)

W Anglii i w Stanach Zjednoczonych używa się probierki wzorcowej przede wszystkim przy badaniu części konstrukcji żela-

znych, podczas gdy probierka o średnicy 12·7 mm ($1\frac{1}{2}$ cala) i długości między kreskami 50·8 mm (2 cale) często służy do badania stopów odlewanych, dających małe przewężenie.

Probierki podobne przedstawia się więc następującymi wzorami:

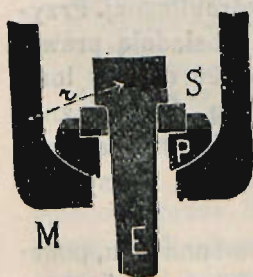
Francja		$l = 7\cdot23 d = 8\cdot16 \sqrt{f}$
Niemcy		$l = 10\cdot00 d = 11\cdot3 \sqrt{f}$
Anglia	} I	$l = 10\cdot67 d = 12\cdot04 \sqrt{f}$
i Stany Zjedn.		
	II	$l = 4\cdot00 d = 4\cdot51 \sqrt{f}$

Widzimy, że kształt probierek różni się jeszcze znacznie w rozmaitych krajach, pomiary wydłużenia nie są więc wprost porównywalne. Np. probierka francuska z miękkiej stali daje wydłużenie większe o jakieś 10% od wydłużenia wzorcowej probierki, ustanowionej przez kongres.

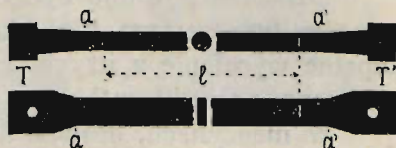
Przy próbach przemysłowych o niewielkiej dokładności zachowuje się zazwyczaj długość między kreskami 200 mm u probierek, mających przekrój większy od wzorcowego.

Całkowita długość probierek równa się, w przybliżeniu, podwójnej długości między kreskami; posiadają one zazwyczaj na końcach główki (rys. 202 i 203), służące do osadzenia w szczękach maszyny.

Osadzanie. Jeśli osadzenie jest sztywne, wykończenie probierki i nastawienie maszyny musi być bardzo



Rys. 204 — Osadzenie probierki okrągłej. E — probierka; M — szczeka; P — gniazdo; S — podkładka; r — promień krzywizny szczęki i gniazda



Rys 202 i 203 — Probierki wytrzymałościowe. Na górze: okrągła; na dole: prostokątna; l — długość między kreskami; aa' — krańce części przyrządkowej; T i T' — główki

staranne, gdyż, o ile rozciąganie nie odbywa się dokładnie w kierunku osi probierki, mogą dołączyć się do rozciągania zjawiska zginania lub ścinania powodujące fałszywe wyniki pomiarów.

By uniknąć tych ujemnych skutków, osadza się probierkę E w szczękę M za pośrednictwem gniazda P, o dnie kulistym, co umożliwia rektyfikację położenia (rys. 204 i 205). Probierki okrągłe opierają się o gniazdo występem główki (rys. 204) lub też wkręcają się weń, jeśli mają nacięty gwint.

Probierki prostokątne (płaskie) można utwierdzić zapomocą zatyczki, przechodzącej przez główkę i wspierającej się na gnieździe.

Częściej jednak osadza się je przy pomocy klinów K (rys. 205), mających powierzchnię wypolerowaną od strony gniazda, zaś chropowatą, podobnie jak powierzchnia pilnika, w miejscach zetknięcia z probierką. Wskutek ciągnięcia kliny wchodzi w gniazdo i przyciskają się do probierki, przytrzymując ją tarciem. Podobne urządzenie może również służyć do osadzenia okrągłych prętów bez główek, często używanych w przemyśle.



Rys. 205 — Osadzenie probierki prostokątnej. E — probierka; M — szczeka; P — gniazdo; K — kliny; r — promień krzywizny szczeki i gniazda

Osadzenie z pomocą klinów nie jest bardzo dokładne, gdyż powoduje łatwo natężenia skośne, mimo to jest dość powszechnie używane przy próbach przemysłowych z powodu zmniejszonych kosztów fabrykacji probierek.

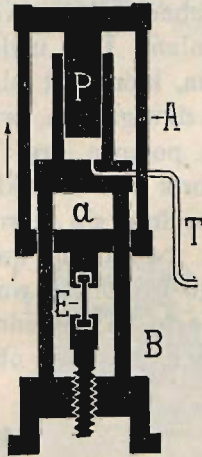
Maszyny do rozciągania. Przyrządy do rozciągania muszą być dość potężne. Np. zerwanie wzorcowej probierki francuskiej z twardej stali wymaga siły około 40 tonn.

Działanie powinno być ciągłe (bez szarpnięć) i stale skierowane w tym samym kierunku. Ten warunek spowodował prawie zupełne wycofanie z użycia maszyn do rozciągania systemu dźwigniowego, początkowo bardzo rozpowszechnionych.

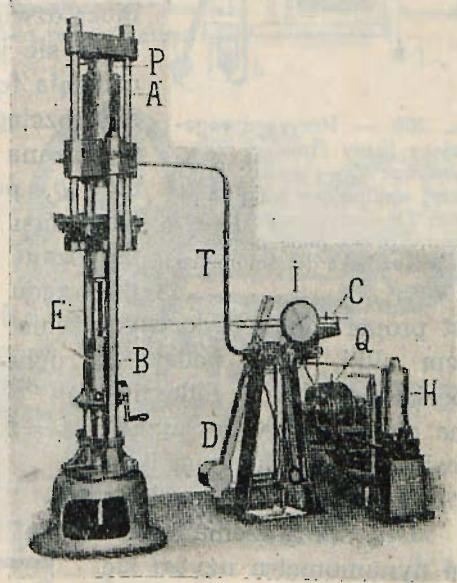
W maszynach, obecnie używanych, siła pochodzi albo od śruby ciągniętej skutkiem obrotu naśrubka, albo od prasy hydraulicznej. Przyrządy o niewielkiej sile, nie dochodzącej do 20 tonn, posiadają prawie z reguły śrubę; maszyny, najczęściej używane, od 20 do 100 tonn mogą równie dobrze być poruszane śrubą, jak prasą. Bardzo znaczne natężenia, mogące dojść do 500 tonn, jakich się używa przy próbach lin i łańcuchów, otrzymuje się tylko zapomocą prasy hydraulicznej.

Pomiaru siły dokonuje się bądźto zapomocą manometru, podającego ciśnienie cieczy, bądźto metodą ważenia (zazwyczaj zapomocą przemieszczania) po zredukowaniu siły układem dźwigni. Dokładniejsze pomiary daje użycie układu dźwigni, aniżeli manometru, lecz ten ostatni jest wygodniejszy w użyciu. Zazwyczaj, maszyny ze śrubą posiadają system dźwigni, zaś maszyny z prasą manometr. Reguła ta nie jest jednak ogólną: u potężnych maszyn z prasą często służy do pomiaru siły układ dźwigni, podczas gdy maszyny ze śrubą rejestrują niekiedy wykres wytrzymałościowy przy pomocy manometru.

Jako przykład *maszyny z prasą* posłuży nam przyrząd o sile 40 tonn, skonstruowany przez firmę Amsler. Dolny koniec probierki E (rys. 206) jest osadzony w korpusie B maszyny, zaś górna szczeka porusza się razem z ramą A, przytwierdzoną do tłoka P. Źródłem siły rozciągającej jest ciśnienie, jakie wywiera, na ów tłok olej o znacznej lepkości, doprowadzany rurą T. Użycie oleju do pras,



Rys. 206 — Schemat maszyny do rozciągania firmy Amsler. E — probierka; B — rama, tworząca korpus maszyny; A — rama, przytwierdzona do tłoka P; T — rura, doprowadzająca olej



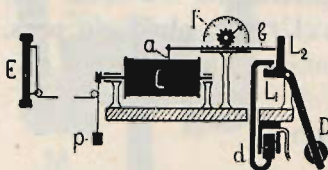
Rys. 207 — Maszyna do rozciągania firmy Amsler, o sile 40 tonn. E — probierka; B — rama, tworząca korpus maszyny; A — rama, przytwierdzona do tłoka P; T — rura, doprowadzająca olej; D i I — dynamometr i jego wskazówka; C — przyrząd rejestrujący; H — pompa; Q — motor elektryczny

polecane przez Amagata, pozwala wyeliminować natłoczki

skórzane i szczeliwa, tak, że tłok dobrze doszlifowany, lecz bez natłoczki porusza się prawie bez tarcia. Tłok P pociąga za sobą ramę A i wywołuje rozciąganie probierki; tenże ruch może wywołać ściskanie lub zginanie w przestrzeni a.

Olej dostaje się do cylindra tłoczni za pośrednictwem pompy H (rys. 207), poruszanej motorkiem elektrycznym Q. Siłę rozciągania mierzy się dynamometrem wahadłowym D, zaś wykres rozciągania otrzymuje się automatycznie na walcu przyrządu rejestrującego C.

Dynamometr wskazuje ciśnienie oleju; możemy jednak przyjąć, zważywszy, iż straty skutkiem tarcia są nieznaczne, że siła rozciągająca równa się ciśnieniu cieczy, pomnożonemu przez przekrój tłoka. Do tego pomiaru służy następujące urządzenie: ciśnienie oleju działa

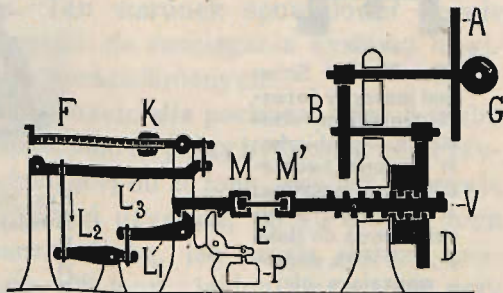


Rys. 208 — Przyrząd rejestrujący firmy Amsler. E — probierka; C — walec; P — ciężar, napinający nitkę; a — pióro; D — dynamometr, poruszany przez małą prasę d; I — wskazówka dynamometru

na mały tłok d (rys. 208), podobnie skonstruowany, jak duży tłok P. Działanie, jakiego doznaje tłok d , przenosi się za pomocą dźwigni L_1 , na wahadło D i równoważy się jego wychyleniem. Dla uwidocznienia tego wychylenia, które jest miarą siły rozciągającej, druga dźwignia L_2 , przymocowana do wahadła, posuwa pręt zębaty b , powodujący obrót wskazówki I. Na końcu tego pręta znajduje się pióro a , poruszane w kierunku tworzącej walca przyrządu rejestrującego C. Obrót walca

jest proporcjonalny do wydłużenia probierki E, a to za pośrednictwem nitki, która podąża za ruchem wydłużania i powoduje obrót błočka przy walcu; nitkę napina ciężar p . Wykres przedstawia tedy wydłużenia, jako funkcję siły rozciągającej.

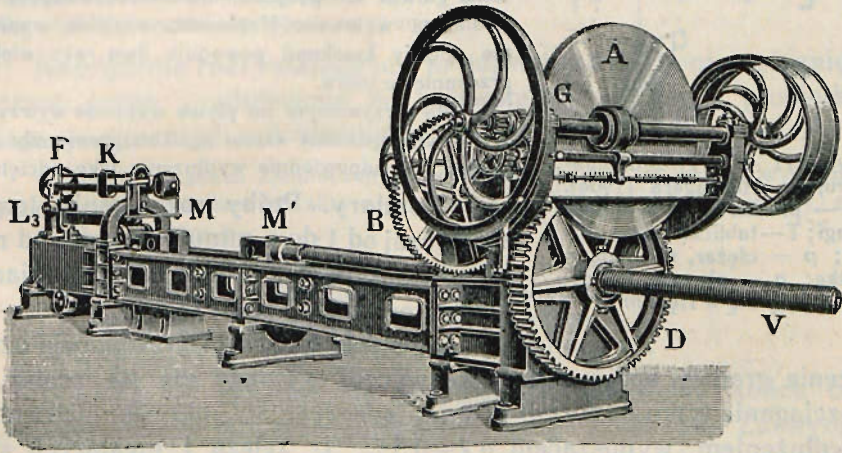
Dla sprawdzenia wskazań dynamometru używa się pudeł mierniczych, cechowanych w fabryce bezpośrednio za pomocą ciężarów. Pudełko miernicze, jest to naczynie walcowate, napełnione rtęcią; stopień napełnienia odczytuje się na rurce włoskowatej, przymocowanej do przyrządu. Gdy poddamy naczynie rozciąganiu osiowemu, jego objętość powiększy się, a rtęć opadnie w rurce włoskowatej. Przyrost objętości naczynia jest miarą siły działającej, gdyż ta jest proporcjonalna do sprężystego odkształcenia pudła mierniczego. Jeśli przyrząd ulega ściskaniu, następuje odpowiednie zmniejszenie objętości.



Rys. 209 — Schemat maszyny do rozciągania firmy Falcot. E — probierka, osadzona w szczękach M i M'; G — koło, obracające tarczę A; B — zębata przenośnia, redukująca szybkość; D — nasrutek, wytwarzający rozciąganie przez cofanie się śruby V; L_1 , L_2 i L_3 — dźwignie, redukujące siłę rozciągania; F — belka wagi za suwakiem K; P — ciężar kontrolny

Maszyna firmy Falcot o sile 100 tonn posłuży nam za przykład *maszyny ze śrubą*. Probierka E (rys. 209) jest tu osadzona w szczękach M i M', z których jedna jest połączona ze śrubą ciągnącą V, zaś druga z układem dźwigni.

Ruch motoru powoduje obrót koła G, trącego o tarczę A. Obrót ten, zmniejszony przez zębatą przenośnię, udziela się wkońcu kołu zębatemu, przymocowanemu do naśrubka D. Naśrubek opiera się o korpus maszyny, tak, że jego obrót może jedynie spowodować cofanie się śruby V i wytwarza tym sposobem rozciąganie. By siłę rozciągającą można było zmierzyć, redukuje się ją 1000-krotnie zapomocą dźwigni L₁, L₂ i L₃ i równoważy się przez stosowne przesunięcie suwaka K na belce F wagi. Położenie tego suwaka podaje zatem siłę rozciągającą.



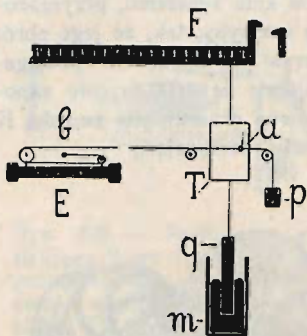
Rys. 210 — Maszyna do rozciągania firmy Falcot, o sile 100 tonn. M i M' — szczęki; G — koło cienne, obracające tarczę A; B — koło zębate, redukujące szybkość; D — naśrubek, wytwarzający rozciąganie przez cofanie się śruby V; L₃ — jedna z dźwigni, redukujących siłę rozciągania; F — belka wagi ze suwakiem K

Dla sprawdzenia układu dźwigni używa się znanego ciężaru P, np. 100 kg, który, ciągnąc szczękę M znaną siłą, podnosi belkę wagi. Aby przywrócić równowagę, obciąża się koniec belki ciężarkiem, którego stosunek do ciężaru P wyznacza wartość redukcji układu dźwigni. Znając wartość redukcji, sprawdzamy, podczas próby rozciągania, czy suwak dobrze wskazuje, umieszczając go mianowicie na zerze i przywracając równowagę zapomocą ciężaru przyczepionego na końcu belki. Rysunek 210 przedstawia maszynę do rozciągania, opisaną wyżej, przyczem oznaczenia są te same, co na schemacie. Widzimy, że odległość między szczękami M i M' jest dostatecznie wielka, by można próbować liny lub łańcuchy.

Urządzenie, podane przez Mesnagera (1904), pozwala automatycznie rejestrować wykres wytrzymałościowy na maszynie ze śrubą. Zamiast starać się o równowagę na belce, pozwalamy jej lekko się wychylać przezwyciężając opór, proporcjonalny do tego wychylenia. W tym celu zawieszamy na końcu belki F (rys. 211) pływaka q, nurzającego się w rtęci m i obciążającego dźwignię proporcjonalnie

do długości wynurzonej. Tabliczka T, przymocowana do nitki pływaka, będzie się więc poruszała pionowo proporcjonalnie do siły ciągnącej.

Ażeby otrzymać przesunięcie proporcjonalne do wydłużenia probierki E, przymocowuje się do korpusu maszyny w punkcie b nitkę, przechodzącą następnie przez dwa małe bloczki, przytwierdzone do probierki w miejscach, oznaczonych kreskami; do nitki, naprężonej ciężarkiem p , jest przymocowane pióro a , lekko wspierające się na tabliczce. Jeśli długość probierki się nie zmienia, można ją przesuwac równolegle do nitki, nie zmieniając przez to położenia pióra. Odształcenia główek lub połączeń nie uwidoczniają się więc wcale na wykresie. Natomiast, wszelkie wydłużenie między kreskami powoduje dwa razy większe przesunięcie pióra.



Rys. 211 — Przyrząd rejestrujący Mesnagera (1904). E — probierka; F — belka wagi; T — tabliczka; a — pióro; p — ciężar, napinający nitkę; q — pływak, nurzający się w rtęci m

Na otrzymanym na płytce wykresie wytrzymałościowym będziemy zatem mieli natężenia siły jako rzędne, zaś odpowiednie wydłużenia jako odcięte.

Pomiary. Próby rozciągania trwają zazwyczaj od 1 do 6 minut, zależnie od rozmiarów probierek. Dokładność pomiarów rzadko przenosi 1 do 2%.

Najwięcej trudności przedstawia oznaczenie granicy sprężystości. Zazwyczaj wymaga się od próby na rozciąganie tylko *pozornej granicy sprężystości*, określonej trwałem wydłużeniem, wynoszącym 0.2—0.5%. U żelaza i niektórych stali wskazuje ją, dosyć wyraźnie, zatrzymanie się wskazówki manometru lub spadek belki wagi; dla innych materiałów odszukuje się ją na wykresie wytrzymałościowym (por. rys. 155 i 157).

Frémont (1903) podaje metodę, pozwalającą oznaczyć granicę sprężystości niezależnie od wykresu. W tym celu poddaje się rozciąganiu probierkę, stopniowo zwiężającą się ku środkowi i wypolerowaną na powierzchni. Po rozerwaniu ta część probierki, w której została przekroczona granica sprężystości, matowieje z powodu linii przesuwu na zgniecionych kryształach. W tym miejscu probierki, w którym połysk znów się zaczyna, metal został więc rozciągnięty aż do granicy sprężystości. Aby oznaczyć ją, należy odnieść natężenie rozrywające do przekroju probierki na granicy połysku.

Rzeczywistej granicy sprężystości, określonej pojawieniem się trwałego wydłużenia, odpowiada tem mniejsze naprężenie, im pomiar jest dokładniejszy. Dlatego musiano uciec się do dowolnej umowy, mianowicie, że trwale wydłużenie, wskazujące przekroczenie tej granicy, wynosi 0.001%. Nawet przy tem ograniczeniu nie

można oznaczyć rzeczywistej granicy sprężystości dla niektórych metali, ulegających trwałemu wydłużeniu pod działaniem najmniejszej siły, jeśli czas działania jest dostatecznie długi (Carrière, 1905). Można by nawet przyjąć hipotezę, że, w ogólności, u metali rzeczywista granica sprężystości dąży do zera, gdy czas trwania próby wzrasta nieograniczenie.

Niekiedy, mierzy się również podczas próby rozciągania *proporcjonalną granicę sprężystości*, od której począwszy przestaje być ważne prawo Hooke'a (1678) o proporcjonalności między odkształceniem a siłą: „ut tensio, sic vis“. Ponieważ prawo to jest tylko w przybliżeniu ważne (Thompson, 1891), granica jego stosowności jest bardzo zmienna, zależnie od dokładności pomiarów. By móc porównać wyniki pomiarów, należało dowolnie ograniczyć ich dokładność do 0·0005% długości przy nadwyżce naprężenia, wynoszącej 1 kg/mm²; wydłużenia, różniące się mniej, niż o ową wielkość, uważa się zatem za równe.

Naprężenie rozrywające jest to największe natężenie, osiągnięte podczas próby i odniesione do pierwotnego przekroju probierki; można je oznaczyć z dokładnością 0·1 kg/mm².

W Anglii i Stanach Zjednoczonych, najczęściej, wyraża się jeszcze wytrzymałość na rozciąganie w tonnach albo w funtach na cal kwadratowy. Zważywszy, że

1 cal = 25·40 mm

1 funt angielski = 0·4536 kg

1 tona angielska = 2240 funtów = 1016 kg, otrzymamy

1 tona na cal² (Tons per sq. in.) = 1·5749 kg/mm²

1000 funtów na cal² (Lbs. per sq. in.) = 0·7031 kg/mm².

Wydłużenie oznacza się, przykładając do siebie końce obu fragmentów pręta i mierząc długość między kreskami. Zazwyczaj odrzuca się te probierki, w których rozerwanie nastąpiło w skrajnych ćwiartkach użytecznej długości.

Przewężenie mierzy się śrubą mikrometryczną Palmera.

PROBY ODPORNOŚCI

Zarys historyczny. Swedenborg (1734) opowiada, że w Szwecji i w Anglii kupcy badali stal, pod względem kruchości, zanim ją wysłali zagranicę.

„Jeśli mają wątpliwości co do jakości sztaby żelaznej, rzucają ją z całej siły na klin żelazny, osadzony w drzewie.. lub też kładą sztabę na ów klin i uderzają z góry maczugami; jeśli uderzenia pozostawiają ślad na żelazie, a żadna część sztaby się przytem nie łamie, jest to znak odporności“.

Dopiero pod koniec XIX wieku powrócono do prób odporności, gdyż okazało się, że rozciąganie nie określa w zupełności własności stopu. Znane są przypadki, iż pręty stalowe, które dały dobre wyniki przy próbie rozciągania, łamały się, spadając na ziemię (Considère, 1892).

A. Le Chatelier (1892) powiększa czułość prób odporności na uderzenie wytwarzając na prętach próbnych strefę kruchości przez nacięcie karbu. Używanie próbek, opatrzonych karbem, szybko się rozpowszechniło, lecz otrzymane wyniki różniły się znacznie między sobą, zależnie od kształtu karbu (zaokrąglony, płaski lub

ostrej), położenia pręta (położony swobodnie lub umocowany jednym końcem) oraz sposobu mierzenia zużytej pracy (kilkakrotne uderzenia lub jedno uderzenie).

Frémont (1897) i Russel (1898) skonstruowali pierwsze przyrządy, wskazujące energię rzeczywiście pochłoniętą przy złamaniu jednym uderzeniem. Przyrząd Frémonta jest to taran, spadający z określonej wysokości, a którego resztę energii, pozostałą po złamaniu probierki, mierzy się ściśnięciem sprężyny. W przyrządzie Russela mamy wahadło, którego resztę energii wskazuje poziom, do jakiego wznosi się ono po złamaniu probierki.

Probierki. Kongres w Kopenhadze (1909) międzynarodowego Stowarzyszenia dla prób materiałów budowlanych określił w następujący sposób warunki dla pomiarów odporności na uderzenie:

„Próba zgięcia przez uderzenie poprzeczne w pręt z naciętym karbem, ma na celu określenie pracy właściwej złamania, czyli odporności na uderzenie, odniesionej do centymetra kwadratowego przekroju nienaciętego (mierzonego od dna karbu).

a) Pręty, wycięte z dostatecznie dużych sztuk mają mieć rozmiary: $30 \times 30 \times 160$. Głębokość karbu ma wynosić 15 mm. Dno karbu ma mieć kształt walca o promieniu 2 mm.

b) Pręty, pochodzące z produktów walcowania, jak np. blach, mają mieć grubość samejże blachy, której obie powierzchnie się zachowuje, zaś szerokość ich ma wynosić 30 mm. Głębokość karbu ma wynosić 15 mm. Karb, prostopadły do płaszczyzny walcowania, ma mieć dno walcowate o promieniu 2 mm.

c) Pręty ze sztuk, których rozmiary nie pozwalają na wycięcie prętów o przekroju 30×30 , mają mieć rozmiary: 10×10 . Karb ma być nacięty w kształcie walca o promieniu $\frac{2}{3}$ mm.

d) Rozmiary używanych prętów należy zawsze wymienić.

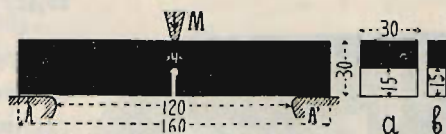
e) Próby zgięcia mają odbywać się w ten sposób, że pręty doznają w środku, na stronie przeciwległej do karbu, uderzenia tarana, zakończonego ostrzem zaokrąglonem o promieniu 2 mm. Pręty mają spoczywać na ostrzach, oddalonych od siebie o 120 mm dla typów a i b, zaś o 40 mm dla typu c.

f) Złamanie pręta ma nastąpić za pierwszym uderzeniem za pomocą przyrządu, pozwalającego zmierzyć pracę zużytą na złamaniu.

g) Temperatura powinna, o ile możności, mieścić się w granicach od 15° do 25° C, a w każdym razie ma być podana obok wyników pomiarów“.

Kongres przyjmuje zatem trzy rodzaje probierek, z których jedna jest wzorcowa (a, rys. 212), a dwie pomocnicze. Te trzy typy nie dają identycznych wartości na odporność.

Ponieważ, przy danej wysokości probierki, odporność na uderzenie wzrasta, gdy grubość maleje, pręty próbne dla blach (b) dają wartości za wielkie, względnie za małe, zależnie od tego, czy ich grubość jest mniejsza, czy też większa od grubości pręta wzorcowego. Tak np. odporność na uderzenie dla pewnego rodzaju stali, mierzona na probierce wzorcowej o grubości 30 mm, wynosi 17 kgm, zaś mierzona na probierce pomocniczej o grubości 10 mm, 25 kgm (Ehrensberger, 1908).



Rys. 212 — Probierki odpornościowe; a — przekrój probierki wzorcowej w płaszczyźnie karbu; b — przekrój probierki dla blach; M — ostrze młota; A, A' — kowadło

Probierka zredukowana (c) jest podobna do probierki wzorcowej, gdyż każdy z jej wymiarów linjowych jest trzy razy mniejszy od wzorcowego. Daje ona za małe wartości na odporność; np. gdy odporność na uderzenie probierki wzorcowej dla pewnego rodzaju stali wynosi 18 kgm, to odporność probierki zredukowanej wynosi 12 kgm (Charpy i Cornu-Thénard, 1917).

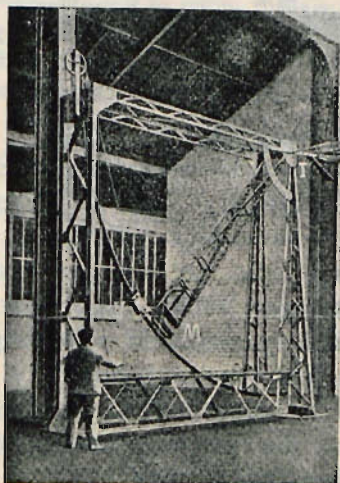
Prawo podobieństwa nie stosuje się zatem do prób zgięcia przez uderzenie poprzeczne, prawdopodobnie dlatego, że energia zużywa się w tym wypadku nie tylko na złamanie pręta, lecz także na odkształcenie i na zgniot części jego masy. Zatem część pracy, zużytej na złamanie, należałoby odnieść do powierzchni złamania, zaś resztę do objętości zgniecionej, co jest rzeczą trudną, jeśli nie zgoła niemożliwą, do wykonania przy pomiarach zwyczajnych.

Można powiększyć odporność na uderzenie u probierki zredukowanej zmniejszając głębokość karbu i zwiększając promień krzywizny jego dna. Naprzykład, odporność zredukowanej probierki ze stali poprzednio cytowanej wynosi 17 kg/cm², o ile karb, pogłębiony tylko do 3 mm, ma 1-milimetrowy promień krzywizny na dnie. Wartość ta zbliża się już znacznie do wykazanej przez probierkę normalną (18 kgm). Na tej podstawie używane są najczęściej nie zalecone przez kongres probierki zredukowane, lecz **probierki typu Mesnagera** o przekroju 10×10 mm i karbie głębokim na 2 mm, mającym zaokrąglone dno szerokości 2 mm.

W granicach zwykłych pomiarów odporności, ciężar młota i ciężar kowadła mało wpływają na wyniki (Charpy i Cornu-Thénard, 1917).

Natomiast szybkość uderzenia wpływać może na wyniki pomiarów odporności i stopów kruchych (por. str. 200). Stosuje się, wobec tego, szybkości uderzenia od 8 do 9 m/sek. dla normalnych probierek i szybkości od 3 do 4 m/sek. dla probierek zredukowanych (Cornu-Thénard, 1920).

Nie jest również wykluczonem, że przy bardzo znacznych prędkościach, wynoszących kilkaset metrów na sekundę, jakie zachodzą przy wybuchach lub przy uderzeniu pociskiem, złamanie odbywa się w odmiennych warunkach znacznie obniżających odporność na uderzenie.



Rys. 213 — Taran wahadłowy Charpyego. M — młot; V — wózek; I — wskazówka

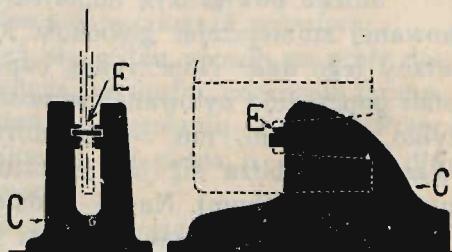
wywołuje się spadek tarana, który napotyka probierkę, przechodząc przez położenie równowagi, łamie ją i wznosi się na pewną wysokość pod wpływem nabytej prędkości. Z różnicy między poziomem początkowym a poziomem końcowym, podanym przez wskazówkę I, przymocowaną do osi, możemy wnioskować o wielkości pracy, zużytej na złamanie.

Na rysunku 214 widzimy położenie probierki E na kowadle C.

Przy próbach metali o średniej odporności na uderzenie, można zastąpić młot tarana innym, lżejszym, przez co energia rozporządzalna redukuje się do 75 kgm.

Przyrządy. Z pośród przyrządów używanych do prób odporności na uderzenie, najdokładniejsze wyniki daje *taran wahadłowy* Charpyego (1901). W taranie tym (rys. 213) energia rozporządzalna wynosi 250 kgm, długość wahadła jest równa 4 m, zaś masę czynną stanowi młot M o ciężarze 85 kg. Młot jest spłaszczony, by mógł przesunąć się między podporami probierki i wyciągnięty w ten sposób, by ostrze noża znajdowało się na pionowej, przechodzącej przez środek ciężkości części ruchomej w chwili uderzenia.

Taran podnosi się do wysokości 3-m zapomocą małego wózka V, wyciąganego do góry ręcznie kołowrotem. Przez odpowiedni manewr zapadką

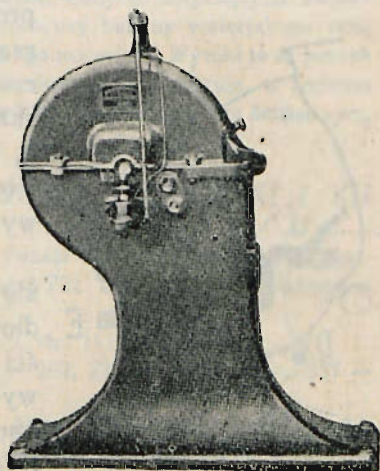


Rys. 214 — Położenie probierki w taranie wahadłowym. E — probierka; C — kowadło. Na lewo: widok z przodu; na prawo: widok z boku

Przy obliczaniu odporności na uderzenie, wprowadza się poprawkę, odnośnie do energii, zużytej na tarcie i na odrzucenie kawałków probierki. Poprawka ta nie przenosi 4% energii rozporządzalnej tak, że błędy pomiarów wynoszą mniej, niż 1%.

Najważniejszą zaletą tarana wahadłowego jest dokładność pomiarów i łatwość, z jaką można sprawdzić jego podziałkę. Ujemną stroną stanowią jego duże rozmiary, a także odrzucanie kawałków probierki.

Przy zredukowanych probierkach używa się często tarana obrotowego Guilleryego (rys. 215). Taran ten składa się z masywnego koła zamachowego, na którego obwodzie jest przytwierdzony nóż. Gdy koło robi 302 obrotów na minutę, nagromadzona w nim energia wynosi 60 kgm, zaś prędkość linjowa noża równa się wówczas prędkości ciała, spadającego z wysokości 4 m; można go więc postawić na równi z taranem zwyczajnym o ciężarze 15 kg, spadającym z wysokości 4 m.



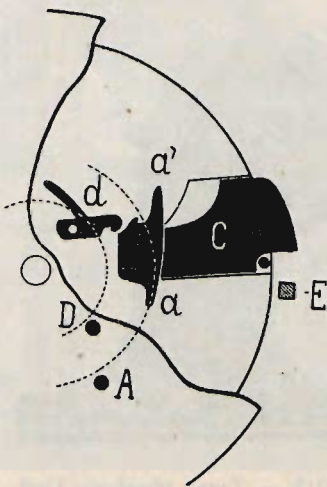
Rys. 215 — Taran obrotowy Guilleryego. W środku widzimy tachometr; na prawo odeń znajdują się dwa guziki, z których górny służy do wysuwania, zaś dolny do chowania noża

Koło zamachowe wprawia się w ruch zapomocą korby ręcznej; wielkość energii rozporządzalnej podaje tachometr. Jest to mała turbina, której ruch obrotowy powoduje podnoszenie się wody w rurze, opatrzonej podziałką. Wysokość słupa wody w rurze zmienia się proporcjonalnie do kwadratu prędkości, a ponieważ energia, nagromadzona w kole zamachowym, zmienia się w tym samym stosunku, przeto na podziałce o równych odstępach, można odczytywać bezpośrednio wielkość rozporządzalnej energii w kilogrammetrach.

Różnica między wartością tej energii przed i po złamaniu, daje pracę, zużytą na złamanie.

Nóż C, łamiący probierkę E (rys. 216), może przybierać dwa położenia. Na rysunku przedstawione jest położenie bezpośrednio przed uderzeniem, gdy podczas wirowania nóż jest schowany w obwód koła zamachowego.

Dla schowania noża przyciska się guzik A, który ślizga się wtedy po łyżwie aa, zmuszając nóż do wsunięcia się, przyczem zapadka d przytrzymuje go w tem położeniu. Wówczas kładzie się probierkę E na kowadle i puszcza przyrząd w ruch. Gdy koło zamachowe nabierze dostatecznie dużej szybkości, przyciska się guzik D, który odsuwa zapadkę d, i uwalnia nóż. Ten wychodzi skutkiem siły odśrodkowej i przybiera położenie, wysunięte, w którym łamie probierkę.



Rysunek 216 — Schemat noża w taranie obrotowym E — probierka; C — nóż; aa' — łyżew do chowania noża; A — guzik do chowania noża; d — łyżew do wysuwania noża; D — guzik do wysuwania noża

Wskazania tarana obrotowego nie dają się tak łatwo sprawdzać, jak tarana wahadłowego, lecz dokładność jego w zupełności wystarcza do pomiarów przemysłowych. Często posługują się nim we fabrykach, ponieważ jest niewielkich rozmiarów i łatwy w użyciu.

Próby uproszczone. Podstawą do prób uproszczonych jest równoległość pomiędzy odpornością na uderzenie i kątem zgięcia (patrz str. 197) probierki.

Zestawiając końce złamanej probierki odtworzyć można kąt α o który została wygięta przed złamaniem. Kąt zgięcia zmienia się, w pierwszym przybliżeniu, proporcjonalnie do odporności na uderzenie. Zależność ta wykazuje, że przy złamaniu główna praca poświęcona zostaje zgięciu przed złamaniem, mniejsza złamaniu.

Przybliżona proporcjonalność pomiędzy kątem zgięcia i odpornością na uderzenie utrzymuje się przy zwykłej temperaturze dla rozmaitych stopów o zbliżonym współczynniku wydłużenia (np. według Charpyego dla rozmaitych gatunków stali węglistej), a także niekiedy dla jednego stopu przy rozmaitych temperaturach.

Naprzykład dla stali o 0,08 węgla znaleźli Goerens i Hartel (1913) następujące dane:

temperatura	—75°	—50°	—25°	0°	10°
odporność w kg/cm ²	2	14	19	24	28
kąt zgięcia α	5°	18°	24°	41°	54°

Znając więc kąt zgięcia przy złamaniu stopu wzorcowego, porównać z nim możemy stop badany. Probierki mogą mieć jakikolwiek kształt, gdyż próba odbywa się w identycznych warunkach dla obu stopów.

Heyn (1902) używa probierek o długości 6 cm i przekroju 6×4 mm. W poprzek 6 mm strony nacięty zostaje, zapomocą narzędzia zaostzonego pod kątem 60°, karb o głębokości 0,5 mm. Probierka ta, umocowana aż do karbu w imadle, zgięta zostaje uderzeniami młotka, w to samo zawsze miejsce, aż utworzy kąt prosty z karbem na zewnątrz. Zmieniając kierunek uderzeń, wyprostowuje się następnie probierkę.

licząc kąty zgięcia od 90 do 180°, poczem ponownie się ją zgina i wyprostowuje aż do złamania. Dobra blacha kotłowa wykazuje, w tych warunkach, kąt zgięcia zbliżony do 300°, przepalona, mniejszy od 90°.

Próba uproszczona nie daje żadnych cyfrowych danych dotyczących odporności na uderzenie. Wskazuje ona jedynie jakościowo, czy badany materiał ma znacznie większą czy mniejszą odporność od wzorcowego materiału. Wyniki te są jednak częstokroć zupełnie wystarczające dla celów przemysłowych i wskazują, w każdym razie, czy badany materiał należy uważać za wątpliwy i poddać próbom ściślejszym.

WYKAZ PRAC CYTOWANYCH W ROZDZIAŁACH XI I XII

- „Alpha“ (Przyrząd firmy...), *Assoc. intern. pour l'essai des mat. de constr. Congrès de Bruxelles*, 1906, sprawozd. 27 f, str. 22; *Congrès de Copenhague*, 1909, II część, str. 82.
- Anczyc. — *Wykład technologii metali*, Lwów, 1913, str. 111.
- Auerbach. — *Wied. Ann.*, 43 — 61 — 1891; 45 — 262, 277 — 1892; 58 — 357 — 1896; *Drüdes Ann.*, 3 — 108 — 1900.
- Barba. — *Mém. Soc. Ing. civ.*, 1880, tom I, str. 683; *Commission des méthodes d'essais des matériaux de construction*, Paris, 1895, tom III, str. 5.
- Barus. — *Wied. Ann.*, 7 — 383 — 1879.
- Bauschinger. — *Mitteil. mechan. techn. Lab. München*, 1883, zeszyt 13.
- Beilby G. T. — *Phil. Mag.*, (6) — 8 — 258 — 1904.
- Benedicks. — *Zs. phys. Chem.*, 36 — 528 — 1901.
- *Recherches physiques et physico-chimiques sur l'acier au carbone* (Thèse), Upsala, 1904.
- Benoît. — *Etude sur la résistance électrique des métaux* (Thèse), Paris, 1873, str. 41.
- Bernard i Guillet, patrz Guillet i Bernard.
- Bottone. — *Amer. Journ. of Sc.* (3) — 6 — 457 — 1873.
- Brinell. — *Assoc. intern. pour l'essai des matériaux, Congrès de Paris*, 1900, tom II, część I, str. 83.
- Brinell i Dillner. — *Assoc. intern. pour l'essai des matériaux, Congrès de Bruxelles*, 1906, sprawozd. 27 f.
- Broniewski i Le Grix, patrz Le Grix i Broniewski.
- Calvert i Johnson. — *Phil. Mag.* (4) — 17 — 114 — 1859; *Monit. Scientif.*, 4 — 141 — 1862.
- Carrière. — *Sur la déformation de l'alliage eutectique plomb-étain et les métaux visqueux* (Thèse), Paris, 1905.
- Chapell. — *Jour. of Iron and Steel Inst.*, 89 — 460 — 1914; *Ferrum*, 13 — 6 i 17 — 1915/16 (Zgniot żelaza).
- Charpy. — *C. R.*, 116 — 1131 — 1893; 117 — 850 — 1893 (Zgniot).
- *Assoc. intern. pour l'essai des matériaux, Congrès de Budapest*, 1901; *Mémoires Soc. Ing. civils*, 1904, t. II, str. 468 (Odporność).
- *Technique moderne*, 1 — 590 — 1909; 2 — 14 — 1910 (Odporność).
- *C. R.*, 151 — 389 — 1910 (Zgniot).
- Charpy i Cornu-Thénard. — *C. R.*, 164 — 473 — 1917; *Revue de Métall.*, 14 — 473 1917 (Odporność).
- Cohen. — *Zs. phys. Chem.*, 68 — 214 — 1909; *Revue de Métall.*, 7 — 241 — 1910 (Zgniot).

- Cohen i Inouye. — *Zs. phys. Chem.*, 71 — 301 — 1910.
- Considère. — *Assoc. ingénieurs des Ponts et Chaussées du sud-ouest de la France*, styczeń 1888 r. *Contribution à l'étude de la fragilité*, Paris, 1904 str. 1.
- *Rapport présenté à la commission française des méthodes d'essais en 1892. Contribution à l'étude de la fragilité*, Paris, 1904, str. 47.
- Cornu-Thénard A. — *Revue de Métall.*, 17 — 536, 584 i 648 — 1920 (Odporność).
- Cornu-Thénard i Charpy, patrz Charpy i Cornu-Thénard.
- Credner. — *Zs. phys. Chem.*, 82 — 457 — 1913.
- Dillner i Brinell, patrz Brinell i Dillner.
- Ehrensberger. — *Revue de Métall.*, 5 — 207 — 1908 (Odporność).
- Ewing. — *Journ. of Inst. of Metals*, 8 — 4 — 1912.
- Ewing i Humfrey. — *Phil. Trans. Roy. Soc.*, (A) — 200 — 241 — 1903.
- Ewing i Rosenhain. — *Phil. Trans. R. Soc.*, (A) — 193 — 353 — 1900 (Zgniot).
- Frémont. — *C. R.*, 125 — 492 — 1897 (Taran).
- *Assoc. intern. pour l'essai des matériaux, Congrès de Paris*, 1900, tom I, str. 351 (Zarys historyczny).
- *Bull. Soc. encour.*, 1903, 2-gie półr., str. 350 (Granica sprężystości).
- *Revue de Métall.*, 3 — 288 — 1906 (Ścinanie).
- Fremont i Osmond. — *Bull. Soc. encour.*, 1901 (I) str. 505.
- Galileo. — *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze del Galileo Galilei Linceo*, in Leida, 1638 (Edizione Nazionale, Firenze, 1898, tom VIII).
- Glasunow i Matweew. — *Intern. Zs. f. Metallogr.*, 5 — 113 — 1914 (Cd.Zn).
- Goerens. — *Ferrum*, 10 — 265 — 1913.
- Goerens i Hartel. — *Zs. f. anorg. Chem.*, 81 — 130 — 1913 (Odporność).
- Grard. — *Revue de Métall.*, 6 — 1069 — 1909 (Zgniot).
- *Revue de Métall.*, 8 — 244 — 1911.
- Guillery. — *Revue de Métall.*, 1 — 405 — 1904; *Assoc. intern. pour l'essai des matériaux, Congrès de New-York*, 1912, spr. III (5).
- *C. R.*, 165 — 468 — 1917 (Twardość).
- Guillet. — *Revue de Métall.*, 11 — 1094 — 1914 (Mosiądze).
- Guillet i Bernard. — *C. R.*, 156 — 1899 — 1913.
- Hartel i Goerens, patrz Goerens i Hartel.
- Hartmann L. — *Distribution des déformations dans les métaux soumis à des efforts*, Paris, 1896.
- Hertz. — *Verh. Berl. phys. Gesell.*, 1882, str. 67.
- Heyn. — *Zs. d. Ver. deutsch. Ing.*, 46 — 1902.
- Heyn i Martens, patrz Martens i Heyn.
- Hooke. — *Lectures de potentia restitua or of spring*, London, 1678. Pierwsze sformułowanie prawa było ukryte pod formą anagramu w dziele: *A description of helioscopes*, London, 1675.
- Humfrey i Ewing, patrz Ewing i Humfrey.
- Huntington. — *Journ. Inst. of Metals*, 8 — 126 — 1912.
- Inouye i Cohen, patrz Cohen i Inouye.
- Johnson i Calvert, patrz Calvert i Johnson.
- Kahlbaum i Sturm. — *Zs. anorg. Chem.*, 46 — 217 — 1905.
- Kick. — *Das Gesetz der proportionalen Widerstaende*, Leipzig, 1885.

- Kirkaldy D. — *Results of an experimental inquiry into the comparative tensile strength and other properties of various kinds of wrought-iron and steel*, Glasgow, 1862. Po francusku: *Résultats d'une recherche expérimentale*, Paris, 1865 (Streszczenie).
- Kurnakow, Puschin i Senkowski. — *Zs. anorg. Chem.*, 68 — 123 — 1910 (Ag Cu).
- Kurnakow i Rapke. — *Jurnale russ. chim. obszcz.*, 46 — 380 — 1914 (Cu Ni).
- Kurnakow i Smirnow, patrz Smirnow i Kurnakow.
- Kurnakow i Żemczużny. — *Zs. anorg. Chem.*, 60 — 1 — 1908.
— *Zs. anorg. Chem.*, 64 — 149 — 1909.
- Lebasteur i Marié. — (1878), porówn. *Commission d'essai des matériaux de construction*, Paris, 1894, tom I, str. 120.
- Le Chatelier André. — Porówn. sprawozdanie Considère'a (1892), *Contribution à l'étude de la fragilité*, Paris, 1904, str. 51.
— *Assoc. intern. pour l'essai des matériaux*, *Congrès de Paris*, 1900, tom II, str. 1.
- Le Chatelier Henry. — *Assoc. intern. pour l'essai des matériaux*, *Congrès de Budapest*, 1901. *Contribution à l'étude de la fragilité*, Paris, 1904, str. 260.
- Le Grix. — *Revue de Métall.*, 8 — 613 — 1911.
- Le Grix i Broniewski. — *Revue de Métall.*, 10 — 1055 — 1913 (Ag Al).
- Lehmann. — *Phys. Zs.*, 8 — 386 — 1907 (Plastyczność metali); *Wied. Ann.* 40 — 401 — 1890 (Ciekłe kryształy); *Phys. Zs.* 14 — 1129 — 1913 (Streszczenie prac).
- Luders. — *Dinglers Politechn. Journ.*, Stuttgart, 155 — 18 — 1860.
- Ludwik. — *Assoc. intern. pour l'essai des matériaux*, *Congrès de Copenhague*, 1909, spraw. II (1); *Zs. d. oesterr. Ingenieur u. Architekten Vereins*, 1907, nr. 11 i 12.
- Marié i Lebasteur, patrz Lebasteur i Marié.
- Martens. — *Sitzungsber. d. Vereins zur Beförderung des Gewerbeleißes*, 1889, str. 197; *Mitteilungen aus d. Königl. techn. Versuchsanstalten zu Berlin*, 8 — 215 — 1890.
- Martens i Heyn. — *Revue de Métall.*, 6 — 105 — 1909.
— *Handbuch der Materialienkunde*, Berlin, 1912, str. 303.
- Matweew. — *R. de Métall.*, 8 — 708 — 1911.
- Matweew i Glasunow, patrz Glasunow i Matweew.
- Mesnager. — *Revue de Métall.*, 1 — 193 — 1904 (Przyrząd rejestrujący).
- Meyer. — *Zs. d. Ver. deutsch. Ing.*, 52 — 645 — 1908.
- Moos. — *Grundriss d. Mineralogie*, Dresden, 1822, część I, str. 374.
- Muschenbrock. — *Physicae experimentales et geometriae dissertationes*, Lugduni Batavorum, 1729, str. 421, rozprawa: „*Introductio ad cohaerentiam corporum firorum*“.
- Noll. — *Wied. Ann.*, 53 — 874 — 1894.
- Osmond. — *Commission des méthodes d'essai*, 1-ère session (A) — 3 — 279 — 1895.
- Osmond i Frémont, patrz Frémont i Osmond.
- Piobert. — *Mémorial de l'Artillerie*, 5 — 505 — 1842.
- Puschin, Senkowski i Kurnakow, patrz Kurnakow, Puschin i Senkowski.
- Rapke i Kurnakow, patrz Kurnakow i Rapke.
- Réaumur. — *L'art de convertir le fer forgé en acier*, Paris, 1722, str. 281.
— *Art de l'épinglier, avec addition de MM. Duhamel et Perronet*, Paris, 1761, str. 8 i 11.
- Rosenhain i Ewing, patrz Ewing i Rosenhain.

- Russel. — *Trans. Amer. Soc. civil. Engin.*, 1898, str. 237; 1900, str. 6.
- Seebeck. — *Ueber Härteprüfung an Kristallen*, Berlin, 1833.
- Senkowski, Kurnakow i Puschin, patrz Kurnakow, Puschin i Senkowski.
- Shore. — *Amer. Maschinist.*, 30 — 747 — 1907. *Revue de Métall.*, 5 — (II) — 857 — 1908.
- Smirnow i Kurnakow. — *Zs. anorg. Chem.*, 72 — 31 — 1911 (Ag Mg).
- Smith. — *Revue de Métall.*, 8 — 376 — 1911.
- Spring. — *Bull. Acad. Belg.*, 12 — 1066 — 1902.
- Stadeler. — *Ferrum*, 9 — 271 — 1913/14 (Odporność).
- Stanton. — *Assoc. intern. pour l'essai des matériaux, Congrès de New-York*, 1912, sprawozd. V (I).
- Sturm i Kahlbaum, patrz Kahlbaum i Sturm.
- Swedenborg. — *Opera philosophica et mineralia, Dresdae et Lipsiae*, 1734, tom III. „Regnum subterraneum sive minerale de ferro“, str. 266. Po francusku w tłumaczeniu Bouchuego: „*Traité du fer*“, Paris, 1762; str. 135.
- Tammann. — *Zs. f. Elektrochemie*, 14 — 584 — 1912.
— *Lehrbuch der Metallographie*, 1914, str. 74.
- Thompson. — *Wied. Ann.*, 44 — 555 — 1891.
- Tresca. — *C. R.*, 59 — 754 — 1864; 60 — 398 — 1865; 64 — 809 — 1867; 66 — 263 — 1868; 68 — 1197 — 1869; 70 — 27, 288, 368 — 1870.
- Urasow. — *Zs. anorg. Chem.*, 73 — 31 — 1912 (Cd Mg).
- Woehler. — *Zs. für Bahnwesen*, 1863, str. 240; 1866, str. 67.
- Żemczużny i Kurnakow, patrz Kurnakow i Żemczużny.