

Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych

BADANIA WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH

Wprowadzenie

Związek między bodźcem zewnętrznym a wywołaną nim reakcją materiału stanowi własność danego materiału. Biorąc pod uwagę jako bodziec przyłożoną do próbki materiału siłę (zewnętrzne obciążenie mechaniczne) skutki tego działania można podzielić według reakcji materiału na odkształcenie oraz pękanie materiału.

Odształcenie materiału pod wpływem przyłożonych naprężeń może być:

- sprężyste, gdy po odciążeniu próbka powraca do pierwotnego kształtu i wymiarów;
- plastyczne, gdy pod wpływem obciążenia następuje trwała zmiana kształtu i wymiarów.

Pękanie materiału (tzn. jego rozerwanie lub rozdzielenie) wywołane naprężeniami może być:

- kruche, tzn. zachodzące nagle i w sposób gwałtowny;
- plastyczne, gdy materiał doznaje znaczącego odkształcenia plastycznego przed pęknięciem.

Znajomość reakcji materiału na przyłożone obciążenia mechaniczne jest ważna, gdyż pozwala na takie zaprojektowanie elementów konstrukcji, aby obciążenia eksploatacyjne nie prowadziły do ich odkształceń trwałych lub zniszczenia. Warunki pracy elementów konstrukcyjnych są różne, stąd wynika potrzeba znajomości ich własności przy różnych temperaturach i różnych sposobach obciążeń. Ze względu na sposób obciążenia własności mechaniczne można podzielić następująco:

- własności statyczne (obciążenie wzrasta powoli);
- własności dynamiczne (gwałtowne obciążenie);
- własności zmęczeniowe (obciążenia zmienia się cyklicznie);
- własności przy stałym obciążeniu (stała wielkość obciążenia w czasie).

Własności mechaniczne dzieli się na dwie podstawowe grupy, tzn. własności wytrzymałościowe (np. wytrzymałość na rozciąganie, twardość) oraz własności plastyczne (np. ciągliwość, udarność). Wytrzymałość materiału można najogólniej określić jako zdolność do przeciwstawiania się rozerwaniu pod działaniem naprężeń pochodzących od sił zewnętrznych, natomiast twardość - jako zdolność do stawiania oporu siłom zewnętrznym. Z kolei plastyczność względnie ciągliwość określa się jako zdolność materiału do osiągania odkształceń trwałych. W literaturze pojęcia plastyczności i ciągliwości stosowane są wymiennie. Wobec braku ścisłych definicji twardości, wytrzymałości i plastyczności wprowadzono umowne metody ich oceny.

W przypadku materiałów metalicznych własności mechaniczne zależą od rodzaju i składu chemicznego stopu, technologii wytwarzania oraz końcowej obróbki (cieplnej, cieplno-chemicznej, plastycznej, itp.). Wymienione czynniki określają strukturę, która determinuje własności mechaniczne materiału. Ponadto własności te są zależne od temperatury i sposobu obciążenia (stanu naprężeń), geometrii i kształtu wyrobu (próbki), stanu powierzchni, etc.

Cel ćwiczenia

Podstawowym celem ćwiczenia jest zapoznanie się z najczęściej stosowanymi metodami badań własności mechanicznych, do których zaliczane są :

- A. Statyczna próba rozciągania;
- B. Próba udarności;
- C. Pomiary twardości.

A. Statyczna próba rozciągania

A.1. Cel próby

Celem próby rozciągania jest określenie podstawowych parametrów charakteryzujących własności wytrzymałościowe i plastyczne badanych materiałów. Dla każdej próbki wyznacza się obciążenie (siłę), wydłużenie oraz przewężenie odpowiadające poszczególnym etapom rozciągania. Na podstawie tych wielkości wyznacza się:

- (a) granicę plastyczności (R_e) lub umowną granicę plastyczności (R_{02});
- (b) wytrzymałość na rozciąganie (R_m), tzw. granicę wytrzymałości;
- (c) względne wydłużenie procentowe (A_p)
- (d) względne przewężenie procentowe (Z).

Granica plastyczności i wytrzymałości określają własności wytrzymałościowe materiału natomiast względne wydłużenie i przewężenie to parametry określające własności plastyczne.

Sprzęt służący do przeprowadzenia próby rozciągania (tzw. maszyny wytrzymałościowe) jest standardowy. Próbka zamocowana jest w dwóch uchwytach maszyny, z których jeden przemieszcza się ze stałą prędkością. Podczas rozciągania rejestrowana jest wartość statycznie przykładanego obciążenia - siły (F) oraz przyrost długości części pomiarowej próbki (ΔL). Do pomiaru wydłużenia (odkształcenia) wykorzystuje się zwykle tensometry. Wymiary próbek, definicje określanych parametrów oraz sposoby ich obliczania są znormalizowane.

A.2. Próbki

Materiał do badania w próbie rozciągania musi być przygotowany w postaci próbek o znormalizowanych wymiarach. Rozróżnia się dwa podstawowe typy próbek: okrągłe i płaskie. Próbki okrągłe dzieli się na grupy w zależności od sposobu ich umocowania w uchwytach.

Za standardowe przyjmuje się próbki okrągłe o średnicy $d_0 = 10 \pm 0,075$ mm oraz próbki płaskie o szerokościach 20 mm i 30 mm i grubościach uzależnionych od odległości płaszczyzn surowych (np. blachy, taśmy, płyty kształtowników, etc.).

Stosuje się zasadniczo próbki 5 i 10-krotne, tzn. że zmiany długości próbki mierzy się na długości pomiarowej równej 5 lub 10-krotnej wartości średnicy początkowej d_0 dla próbek okrągłych oraz 5 lub 10-krotnej wartości średnicy zastępczej $d_0 = 1,13 \sqrt{S_0}$ dla próbek płaskich (gdzie: S_0 – powierzchnia przekroju poprzecznego próbki płaskiej). Można stosować również próbki specjalne dla prętów, drutów i rur.

A.3. Wykonanie próby

Bezpośrednim wynikiem próby rozciągania jest wykres przedstawiający siłę - F w funkcji wydłużenia - ΔL (Rys.1). Stosowanie układu współrzędnych: siła - wydłużenie bezwzględne, czyli $F - \Delta L$, jest w praktyce niewygodne z tego względu, że porównywanie wyników może się odbywać tylko wtedy, gdy przekroje stosowanych próbek są jednakowe. Dlatego też normalizuje się wykres próby rozciągania ze względu na wymiary próbki. Normalizacja polega na tym, że obciążenie (F) zastępuje się naprężeniem nominalnym ($\sigma_n = F / S_0$), natomiast wydłużenie (ΔL) zastępuje się odkształceniem nominalnym ($\epsilon_n = \Delta L / L_0$). Ponieważ S_0 i L_0 są stałymi, wobec tego kształt wykresu $\sigma_n = f(\epsilon_n)$ jest identyczny do kształtu krzywej siła-wydłużenie (Rys.2). Wykresy $\sigma_n = f(\epsilon_n)$ pozwalają jednak na porównywanie wyników dla próbek mających różne (choć znormalizowane) wymiary.

Własności mechaniczne w zasadniczy sposób zależą od struktury badanego materiału. Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono przykładowo wpływ zawartości węgla i obróbki cieplnej na przebieg krzywych rozciągania i własności mechaniczne stali węglowych.

Przed rozciąganiem próbki należy zmierzyć średnicę próbki z dokładnością do 0,01 mm w trzech miejscach na długości pomiarowej L_0 . Każdy pomiar wykonuje się w dwu wzajemnie do siebie prostopadłych kierunkach. Do obliczeń przyjmuje się najmniejsze pole powierzchni przekroju poprzecznego próbki. Obliczone długości pomiarowe ($L_0 = 5d_0$ lub $L_0 = 10d_0$) należy zaznaczyć na próbce za pomocą kresek przy użyciu aparatu podziałowego lub szablonu i rysika. Długość pomiarowa powinna być podzielona na działki w odstępach co 5 mm:

- na bęben maszyny nawinąć papier milimetrowy w celu zarejestrowania wykresu;
- dobrać skalę siłomierza maszyny tak, aby maksymalna siła osiągnięta przy rozciąganiu próbki mieściła się w granicach 30 % do 95 % pełnego zakresu obciążeń;
- zamocować próbkę w szczękach maszyny rozciągającej zwracając uwagę na osiowe ustawienie próbki w uchwytach;
- uruchomić maszynę i rozciągać próbkę aż do zerwania z szybkością tak dobraną, aby przyrost naprężenia nie przekraczał $10 \text{ N/mm}^2 / \text{sek.}$;
- podczas próby zapisać F_e (o ile wyraźnie występuje) i F_m ;
- po zerwaniu zmierzyć długość próbki po zerwaniu L_u , z dokładnością 0,1 mm i średnicę szyjki d_u z dokładnością 0,05 mm;
- obliczyć R_e i R_m - z dokładnością do $5,0 \text{ N/mm}^2$ oraz A i Z - z dokładnością 0,5 %;
- wyniki ująć w protokole (tabeli) próby rozciągania:

			Własności wytrzymałościowe				Własności plastyczne				
Oznaczenie	S_o	L_o	F_e	R_e	F_m	R_m	$\frac{R_e}{R_m} 100$	L_u	A	S_u	Z
Jednostka	mm^2	mm	kG	KG/mm^2	kG	KG/mm^2	%	mm	%	mm	%
Jedn. wg. PN(IS,EU)	mm^2	mm	N	N/mm^2 MPa	N	N/mm^2 MPa	%	mm	%	mm	%

A.4. Symbole i oznaczenia

d_0 [mm] – początkowa średnica próbki;

d_u [mm] – średnica najmniejszego przekroju w szyjce przewężenia po zerwaniu;

a_o, b_o [mm] – wymiary boków w przekroju prostokątnym próbki płaskiej;

S_o [mm^2] – pole przekroju początkowego próbki;

S_u [mm^2] – pole najmniejszego przekroju próbki w szyjce przewężenia po zerwaniu;

$L_o = k d_o$ [mm] (gdzie: $k = 5$ lub 10) – początkowa długość pomiarowa próbki okrągłej;

$L_o = k 1,13 \sqrt{S_o}$ [mm] (gdzie: $S_o = a_o \cdot b_o$) – początkowa długość pomiarowa próbki płaskiej;

L_u [mm] – długość pomiarowa próbki po rozerwaniu;

F_{02} [kN] – siła odpowiadająca trwałemu odkształceniu $\varepsilon = 0,2 \%$;

F_e [kN] – siła odpowiadająca granicy plastyczności;

F_m [kN] – największa (maksymalna) siła uzyskana w czasie próby;

$R_{02} = F_{02} / S_o$ [N/mm^2]; [MPa] – umowna granica plastyczności;

$R_e = F_e / S_o$ [N/mm^2]; [MPa] – granica plastyczności;

$R_m = F_m / S_o$ [N/mm^2]; [MPa] – wytrzymałość na rozciąganie;

$A_p = \Delta L / L_o \cdot 100\% = (L_u - L_o) / L_o \cdot 100\%$ – wydłużenie końcowe po zerwaniu;

$Z = \Delta S / S_o \cdot 100\% = (S_o - S_u) / S_o \cdot 100\%$ – przewężenie w miejscu zerwania próbki.

B. Próba udarności

B.1. Cel próby

Próba udarności służy do oceny zachowania się materiału w warunkach sprzyjających kruchemu pękaniu, tzn. wywołanych obecnością karbu i odkształceniami powstałymi w wyniku udarowego działania siły. Próba polega na złamaniu próbki z karbem, o przepisanej formie i wymiarach (Rys.5), jednorazowym uderzeniem młota wahadłowego. Miarą udarności jest stosunek pracy młota L w [kJ] zużytej na złamanie próbki do przekroju próbki w miejscu karbu S_0 [cm²]:

$$U = \frac{L}{S_0} \left[\frac{kJ}{cm^2} \right]; \left[\frac{J}{cm^2} \right]; \left[\frac{J}{m^2} \right]$$

gdzie: U – udarność; L – praca młota; S_0 – powierzchnia przekroju w miejscu karbu.

W metodzie tej energia (praca) konieczna do złamania próbki określana jest z różnicy położenia początkowego i końcowego wahadła, tzn. kąta wychylenia wahadła po złamaniu próbki (Rys.6).

Udarności charakteryzuje zatem zdolność do odkształceń plastycznych materiału przy obciążeniach dynamicznych w trójwymiarowym stanie naprężeń.

Pomiędzy wartością pracy łamania (L) a rodzajem przełomu istnieje pewna zależność. Dlatego też przeprowadza się obserwacje przełomów po wykonaniu próby. Rozróżnić można dwa charakterystyczne rodzaje przełomów:

- przełom ciągliwy (plastyczny) - próbka zostaje zgięta, a pęknięcie następuje po przekroczeniu granicy plastyczności, tzn. po pewnym odkształceniu trwałym;
- przełom kruchy - próbka pęka nie wykazując widocznego odkształcenia plastycznego.

Pomiar udarności jest czuły na takie warunki przeprowadzenia próby, jak np. temperatura i kształt karbu. Określenie udarności przy różnych temperaturach pozwala dla niektórych materiałów metalicznych na wyznaczenie tzw. temperatury przejścia w stan kruchy. Poniżej tej temperatury materiał charakteryzuje się niską udarnością (przewaga przełomu kruchego), natomiast powyżej - wyższą udarnością (przewaga przełomu ciągliwego). Na ogół metale i stopy o strukturze regularnej ściennie centrowanej (RSC) charakteryzują się dobrą udarnością niezależnie od temperatury, natomiast metale i stopy o strukturze heksagonalnej (HZ) są zazwyczaj kruche. Największe zmiany wartości udarności a tym samym sposobu pękania w zależności od temperatury wykazują stopy o strukturze regularnej przestrzennie centrowanej (RPC). W przypadku stali niskowęglowych temperatura przejścia w stan kruchy silnie zależy od zawartości węgla (Rys.7).

B.2. Próbki - młot udarnościowy

Próbie udarności przeprowadza się na dwóch typach próbek o wymiarach 55x10x10mm z karbem o głębokości 2 mm (Rys.5):

- typu Mesnagera z karbem w kształcie litery "U" i promieniu zaokrąglenia 1 mm;
- typu Charpy'ego z karbem w kształcie litery "V" i promieniu zaokrąglenia 0,01 mm.

Do przeprowadzenia próby używa się młota wahadłowego typu Charpy'ego (Rys.6).

B.3. Wykonanie próby → (Uwaga na bezpieczeństwo !!)

Po otrzymaniu próbki należy:

- ♦ zmierzyć jej wymiary poprzeczne i obliczyć powierzchnię przekroju w miejscu karbu;
- ♦ ustawić próbkę na podporach tak aby uderzenie młota było środkowe, oś karbu leżała w płaszczyźnie ruchu młota, karb był skierowany do podpór i próbka przylegała do podpór;
- ♦ podnieść i zamocować młot w górnym położeniu i ustawić wskazówkę w położeniu 0° na skali;
- ♦ zwolnić zacisk młota - po złamaniu próbki młot zahamować i odczytać na skali kąt wychylenia;
- ♦ odczytać energię zużytą na złamanie próbki i obliczyć udarność oraz oglądnąć złom próbki.

C. Pomiary twardości

Twardość określa się jako opór plastyczny stawiany przez badany materiał pod działaniem zlokalizowanej siły, przy wciskaniu ciała nie odkształcającego się plastycznie, tzw. wgłębnika lub penetratora. Podstawowe dane dotyczące najczęściej stosowanych metod pomiaru twardości, tzn. metody Rockwella, Brinella i Vickersa, wraz z geometrią wgłębników zestawiono w tabeli I.

W metodzie Rockwella głębokość zagłębienia wgłębnika jest mierzona automatycznie i przetwarzana na liczbę twardości Rockwella. Natomiast w metodach Brinella i Vickersa należy zmierzyć wymiary odcisków pozostawionych na powierzchni badanego materiału a liczbę (miarę) twardości obliczyć stosując odpowiednie wzory.

C.1. Metoda Rockwella

Próba twardości metodą Rockwella opiera się na pomiarze głębokości (h) odcisku, który powstał wskutek dwustopniowego wciskania wgłębnika (stożka diamentowego lub kulki stalowej) w płaską dostatecznie gładką powierzchnię badanego materiału.

Czujnik umieszczony w twardościomierzu Rockwella umożliwia pomiar głębokości - działka elementarna podziałki odpowiada wciśnięciu wgłębnika na głębokość 0,002 mm.

Dla oznaczenia twardości Rockwella przyjmuje się wyrażenie:

$$HR = K - \frac{h}{0,002}$$

gdzie: K - stała zależna od rodzaju użytego wgłębnika (dla stożka K = 100, dla kulki K = 130).

Wgłębnikiem jest kulka stalowa o średnicy 1/16" lub stożek diamentowy o kącie wierzchołkowym 120° i promieniu zaokrąglenia 0,2 mm. Przy zastosowaniu kulki, twardość należy odczytać na skali B (czerwonej), przy zastosowaniu stożka - na skali C (czarnej). Niezależnie od rodzaju wgłębnika, obciążenie wstępne zawsze wynosi 10 kG a obciążenie główne 90 kG (dla kulki) oraz 140 kG (dla stożka). Skalę B (kulka 1/16" i nacisk 100 kG) stosuje się do pomiaru twardości stali węglowych, brązów, mosiądzów i innych stopów metali nieżelaznych o twardości w granicach od 30 do 100 HRB. Skalę C (stożek i nacisk 150 kG) stosuje się do pomiarów twardości stali twardych, zahartowanych, stali stopowych i innych stopów twardych o twardości HRB > 100. Stosowanie skali C zaleca się w granicach od 20 do 70 HRC.

Grubość (g) przedmiotu w badanym miejscu powinna być większa niż dziesięciokrotne zagłębienie penetratora (tzn. $g = 10 h$). Odległość środków sąsiednich odcisków oraz ich odległość od brzegów przedmiotu powinna wynosić co najmniej 3 mm.

C.2. Metoda Brinella

Próba twardości metodą Brinella polega na wgniataniu kalibrowanej kulki hartowanej o średnicy D [mm] w płaską dostatecznie gładką powierzchnię przedmiotu lub próbki pod naciskiem P [kG], prostopadłym do tej powierzchni, oraz na zmierzeniu (po odciążeniu) średnicy d [mm] trwałego odcisku kulki powstałego na powierzchni badanego przedmiotu.

Średnicę odcisku mierzy się za pomocą lupy lub mikroskopu z dokładnością 0,01mm przy średnicy odcisku poniżej 2,5 mm lub 0,05 mm przy średnicy odcisku powyżej 2,5 mm.

Twardość Brinella HB w [kG/mm²] jest ilorazem nacisku P w [kG] przez powierzchnię kulistego wgłębienia (czaszy) - A_{cz} w [mm²] i określa się wzorem:

$$HB = \frac{P}{A_{cz}} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

gdzie: P - siła wtlaczająca kulkę [kG]; D - średnica kulki [mm]; d - średnica odcisku [mm] .

Nacisk P wyznacza się ze wzoru $P = n D^2$, w którym wartość współczynnika (n) zależy od twardości badanego metalu.

$n = 30$ dla metali o twardości - HB > 100 (stal i żeliwo)

$n = 10$ „ „ „ 60 < HB < 100

$n = 5$ „ „ „ 20 < HB < 60

$n = 2,5$ „ „ „ - HB < 20

Nacisk należy zwiększać stopniowo, bez uderzenia, do wielkości P w ciągu co najmniej 15 sekund.

Stosowane kulki mają średnice: 10, 5 i 2,5 mm. Przy odpowiednio dobranych warunkach pomiaru średnica (d) otrzymanego odcisku powinna spełniać następujący warunek: $0,25 D \leq d \leq 0,7 D$.

Odstęp środków dwóch sąsiednich odcisków powinien być większy od czterokrotnej średnicy odcisku, odstęp środka odcisku od krawędzi badanej powierzchni powinien być większy od dwu i półkrotnej średnicy odcisku. Warunek ten podyktowany jest okolicznością, że na skutek wgniatania kulki próbka ulega umocnieniu w najbliższej okolicy odcisku.

Czas działania pełnego nacisku wynosi:

$t = 15$ sek dla metali o twardości HB 100

30 sek „ „ 32 HB 100

60 sek „ „ HB 32

Grubość przedmiotu lub próbki (g) powinna być większa niż 10-krotna głębokość odcisku (h), aby uniknąć wpływu twardości podłoża. W wypadku gdy grubość (g) przedmiotu jest zbyt mała w stosunku do głębokości (h) odcisku, należy próbę powtórzyć stosując kulkę o większej średnicy. Metodą Brinella można mierzyć twardość stali w granicach do 500 HB. Przy wyższych twardościach występuje odkształcenie stalowej kulki i dlatego używa się specjalnych twardych kulek z węglików spiekanych.

Między twardością (zwłaszcza Brinella) i wytrzymałością na rozciąganie występuje dobra zależność liczbowa i tak np. dla stali;

$$R_m = (0,34 \div 0,36) HB$$

C.3. Metoda Vickersa

Metoda Vickersa polega na wgniataniu w badany materiał czworobocznego ostrosłupa diamentowego o kącie wierzchołkowym 136° . W zależności od wartości zastosowanego obciążenia rozróżnia się cztery zakresy skali Vickersa:

- ◆ Nanotwardość - dla obciążeń do 10 G
- ◆ Mikrotwardość - dla obciążeń do 200 G.
- ◆ Twardość pod małymi obciążeniami - dla obciążeń od 200 do 1000G.
- ◆ Twardość - dla obciążeń od 1 do 120 kG.

Kąt wierzchołkowy ostrosłupa jest tak dobrany, że umożliwia porównanie wyników z próbą Brinella dla materiałów o średniej twardości. Jednak dla materiałów twardych wyniki pomiarów twardości uzyskane obydwoma metodami znacznie różnią się od siebie.

Twardość Vickersa oblicza się jako stosunek obciążenia (P) do powierzchni bocznej odcisku (A_b)

w postaci wgniecionego ostrosłupa:
$$HV = \frac{P}{A_b} \quad [\text{kg/mm}^2] \quad (1)$$

Powierzchnia boczna ostrosłupa:
$$A_b = \frac{a^2}{2 \sin(\alpha/2)} \quad [\text{mm}^2] \quad (2)$$

gdzie: a - średnia przekątna odcisku (pomiar obu przekątnych), α - kąt wierzchołkowy ostrosłupa.

Po podstawieniu $\alpha = 136^\circ$ do wzoru (2), obliczeniu wartości $\sin \alpha/2$ oraz podstawieniu A do wzoru (1) otrzymujemy:

$$HV = 1,8544 \frac{P}{a^2} \quad [\text{kG/mm}^2] \quad (3)$$

Obciążenia stosowane przy próbie Vickersa są znormalizowane i wynoszą 1, 5, 10, 20, 30, 50 i 100 [kG] lub ekwiwalentne obciążenie w [N]. Twardość oblicza się ze wzoru (3) lub odczytuje z tablic.

Powierzchnia badanego przedmiotu w miejscu pomiaru powinna być płaska, gładka, wolna od zgorzeliny i innych zanieczyszczeń. Przy wygładzaniu należy wystrzegać się zginięcia lub podgrzewania próbki. Dopuszczalne są ślady obróbki mechanicznej, jeżeli nie wpływają na dokładność pomiaru przekątnej odcisku. Grubość przedmiotu w miejscu badania powinna być co najmniej 1,2 razy większa od średniej arytmetycznej obu przekątnych odcisku.

Czas działania pełnego obciążenia powinien wynosić dla stali i żeliwa 10 - 15 sekund, a dla innych metali 30 - 35 sekund. Różnice w wymiarach przekątnych jednego odcisku nie powinny przekraczać 8 % długości większej przekątnej.

Podsumowanie omówionych powyżej metod określania twardości, obejmujące sposoby przeprowadzenia pomiaru i obliczania twardości, przedstawiono w Tabeli I.

C.4. Inne metody

Młotek Poldi - Badanie zezwala na dokonywanie orientacyjnego wyznaczenia twardości HB metodą dynamiczną. Pod wpływem uderzenia stalowa kulka jednocześnie jest wgniata w badaną powierzchnię oraz w powierzchnię płytki wzorcowej o znanej twardości HB. Przez porównanie średnic otrzymanych odcisków można wyznaczyć twardość badanego przedmiotu:

$$HB_2 = K \cdot HB_1 ; \quad K = \frac{D - \sqrt{D^2 - d_1^2}}{D - \sqrt{D^2 - d_2^2}}$$

gdzie: HB_2 - twardość badanego metalu; HB_1 - twardość płytki wzorcowej; d_1 - średnica odcisku w płytce wzorcowej; d_2 - średnica odcisku w badanym metalu

Twardościomierz Shore'a - Badanie twardości Shore'a polega na pomiarze wysokości odskoku bijaka, spadającego ze stałej wysokości 275 mm. Bijak o ciężarze 2,626 G, wykonany jest ze stali i na końcu posiada diamentowy wgłębnik. Wysokość odskoku bijaka jest odczytywana na podziałce, ilość działek odpowiadająca odskokowi określa liczbę twardości Shore'a. Wysokość odskoku zależy od sprężystości badanego materiału, a sprężystość jest na ogół zgodna z twardością. W celu otrzymania poprawnych wyników badanie należy powtórzyć kilkakrotnie (5-6 uderzeń) ale zawsze w różnych miejscach aby uniknąć nieprawidłowych wskazań spowodowanych utwardzaniem powierzchni. Metoda Shore'a jest nieniszcząca a współczesne twardościomierze są lekkie i przenośne.

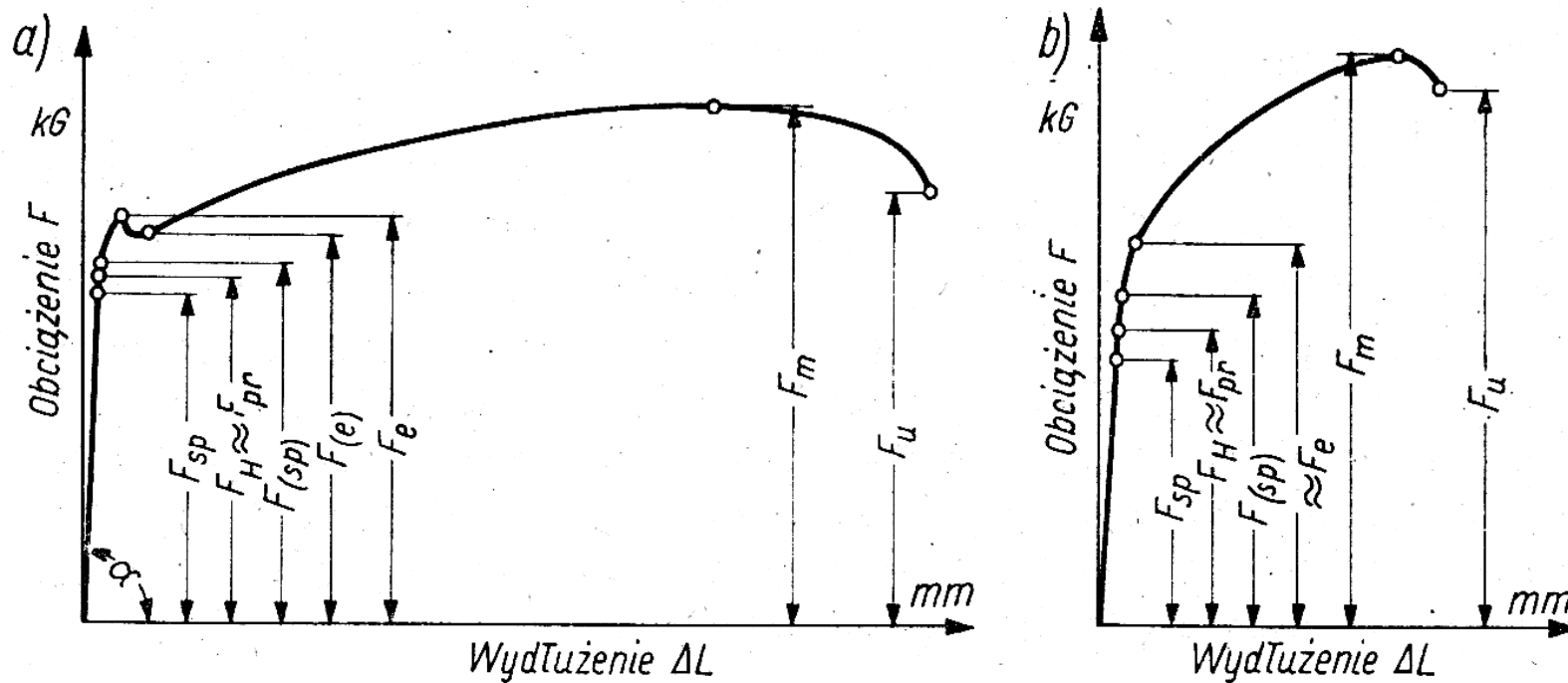
Literatura:

- S. Katarzyński, S. Kocańda, M. Zakrzewski, "Badania własności mechanicznych Metali", WNT, W-wa, 1967;
M. Blicharski, "Wstęp do inżynierii materiałowej", WNT, W-wa, 1998 (wyd I), 2001 (wyd. II);
S. Błazewski, J. Mikoszewski, "Pomiary twardości metali", W-wa, WNT, 1981;
M.L. Bernsztejn, W.A. Zajmowski, "Struktura i własności mechaniczne metali", WNT, W-wa, 1973;
M.F. Ashby, D.R.H. Jones, "Materiały inżynierskie", cz. 1, "Właściwości i zastosowania", WNT, W-wa 1998 (wyd. II);

Podstawowe zagadnienia i pytania kontrolne:

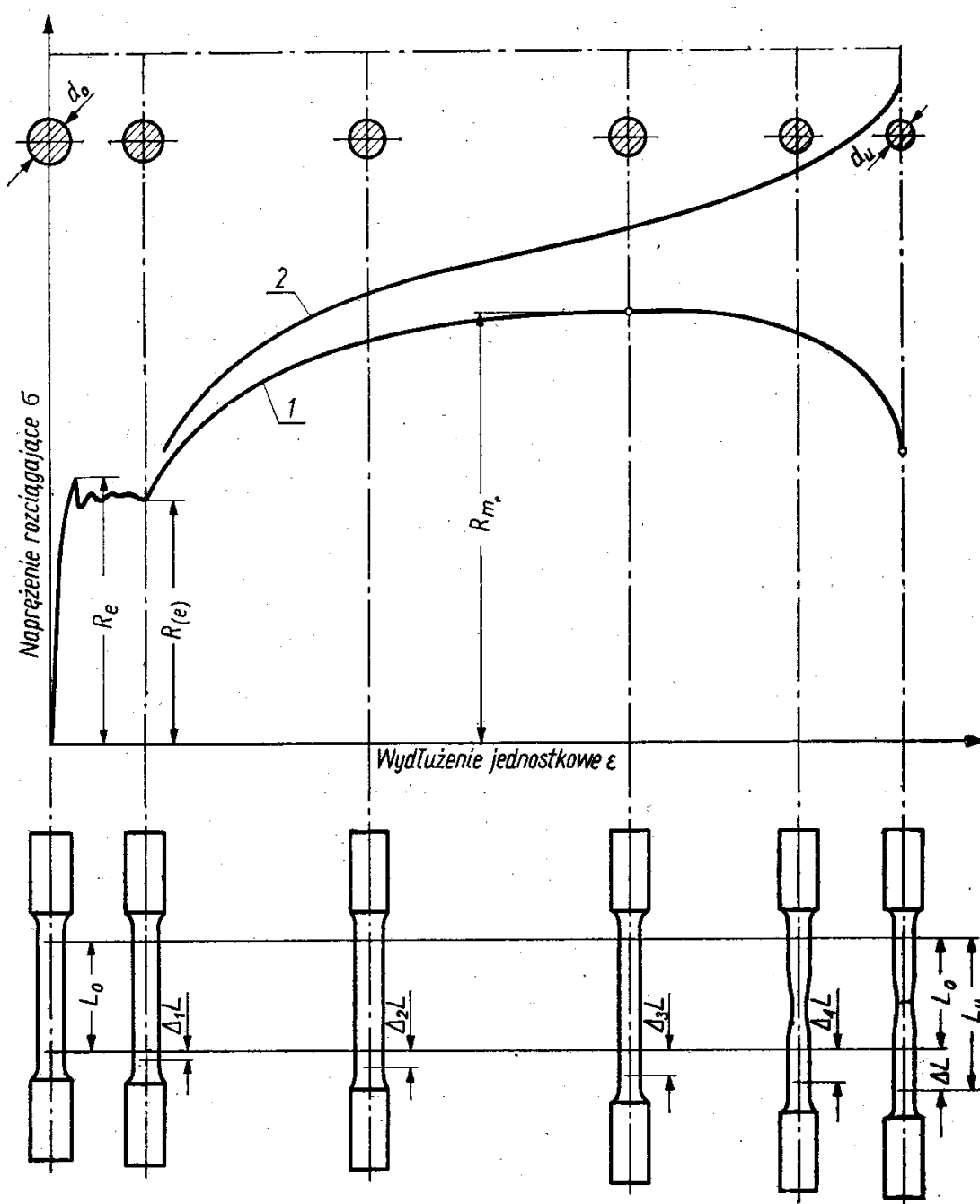
- ◆ Omówić możliwe reakcje materiału na przyłożone obciążenia mechaniczne.
- ◆ Przeprowadzić podział i podać przykłady własności mechanicznych.
- ◆ Wymienić rodzaje i podstawowe metody badań własności mechanicznych.
- ◆ Podać cel i omówić sposób przeprowadzania statycznej próby rozciągania.
- ◆ Wyjaśnić jakiego rodzaju własności mechaniczne określają wielkości mierzone w statycznej próbie rozciągania;
- ◆ W oparciu o wykres rozciągania podać definicje wielkości określanych w próbie rozciągania.
- ◆ Narysować i omówić przebieg krzywej rozciągania dla stali z wyraźną granicą plastyczności;
- ◆ Przedstawić schematycznie i wyjaśnić różnice w przebiegu krzywych rozciągania odniesionych do początkowego i rzeczywistego przekroju próbki;
- ◆ Omówić wpływ zawartości węgla i obróbki cieplnej na przebieg krzywych rozciągania i własności mechaniczne stali węglowych.
- ◆ Wyjaśnić pojęcie udarności i znaczenie pomiarów udarności.
- ◆ Podać cel i omówić sposób przeprowadzania pomiaru udarności.
- ◆ Wytlumaczyć związek pomiędzy wartością udarności a charakterem przełomów.
- ◆ Omówić zagadnienie temperatury przejścia w stan kruchy.
- ◆ Podać ogólną definicję twardości oraz wymienić podstawowe metody pomiaru twardości;
- ◆ Wyjaśnić zasadę pomiaru twardości metodami Brinella i Vickersa;
- ◆ Omówić sposób przeprowadzenia pomiaru twardości metodą Rockwella;
- ◆ Wyjaśnić podstawowe różnice w pomiarze twardości metodami Brinella i Rockwella.

Oprac. Dr hab. inż. Janusz Ryś

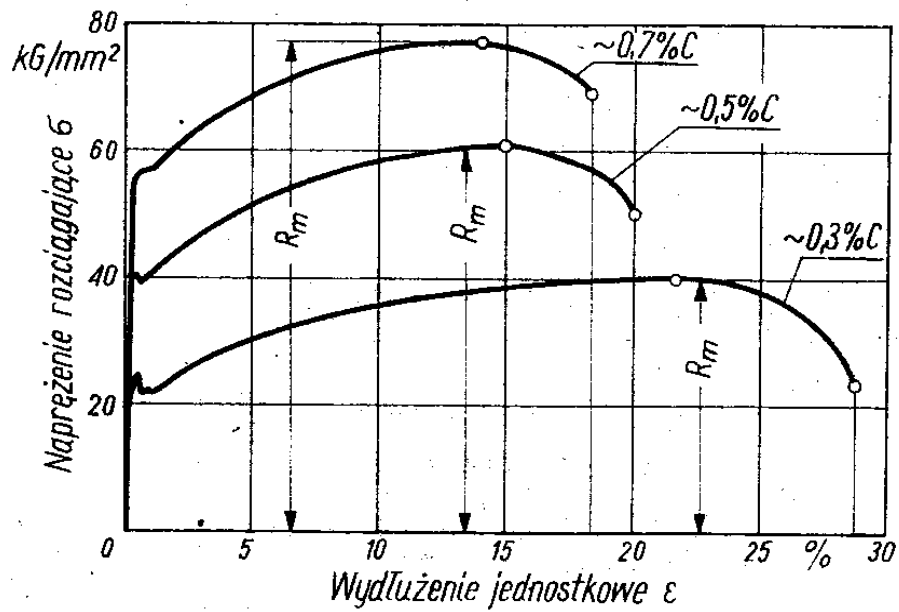


Rys. 1. Wykresy rozciągania - siła (F) w funkcji wydłużenia (ΔL) dla materiałów: (a) - wykazujących wyraźną granicę plastyczności, (b) - bez wyraźnej granicy plastyczności.

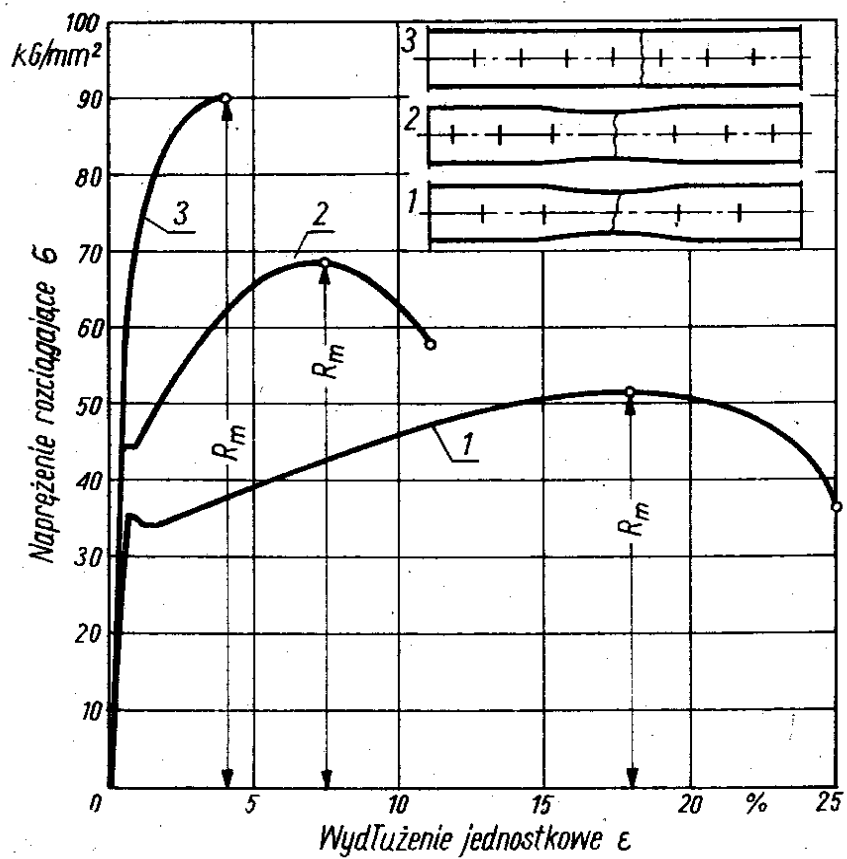
Na obu wykresach zaznaczono wartości obciążenia (siły) odpowiadające: granicy sprężystości (F_{sp}), granicy proporcjonalności względnie stosowalności prawa Hooke'a ($F_H \approx F_{pr}$), dolnej i górnej granicy plastyczności (F_e) względnie umownej granicy plastyczności ($\approx F_e$) jak również maksymalną wartość obciążenia (F_m) oraz wartość siły, przy której następuje zerwanie próbki (F_u).



Rys. 2. Wykresy rozciągania stali z wyraźną granicą plastyczności oraz schematyczne przedstawienie wydłużenia próbki i tworzenia szyjki: **1** – krzywa $\sigma = f(\epsilon)$, odniesiona do początkowego przekroju próbki (wykres naprężeń $\sigma = F / S_0$); **2** – krzywa $\sigma = f(\epsilon)$, odniesiona do rzeczywistego przekroju próbki (wykres naprężeń rzeczywistych $\sigma = F / S_U$).

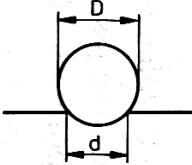

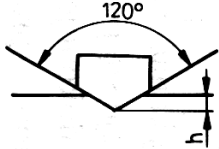



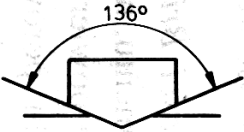
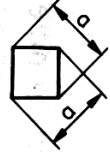


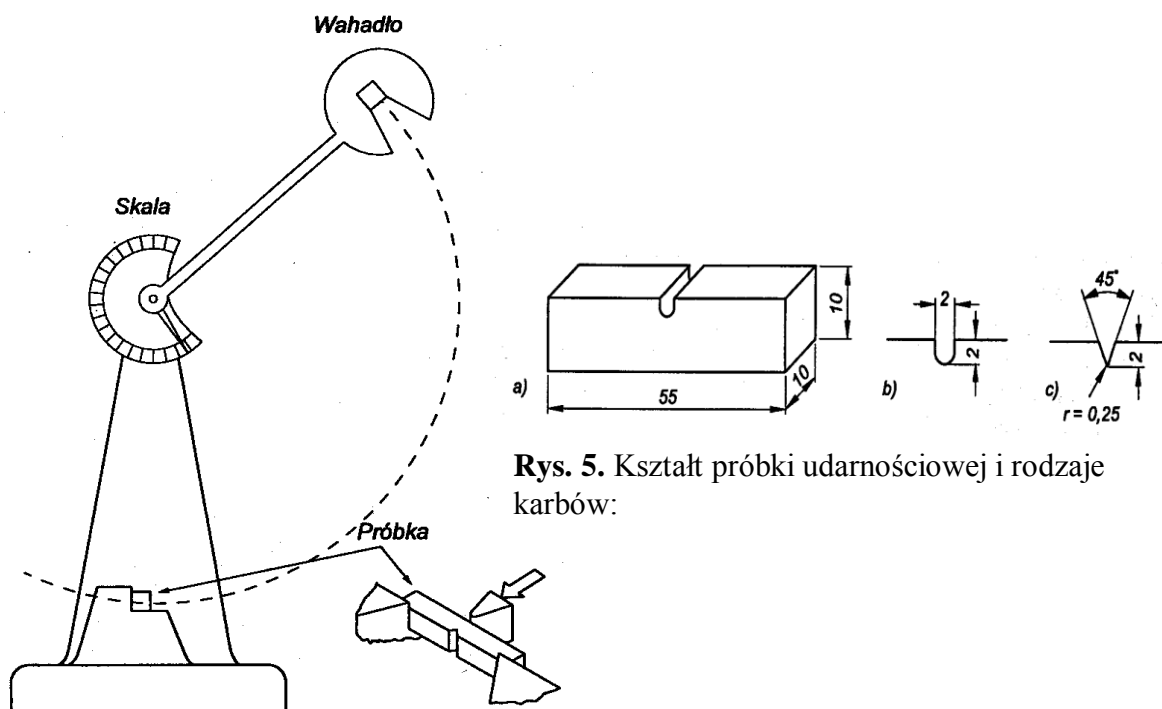
Rys. 3. Wykresy rozciągania $\sigma = f(\epsilon)$ dla stali o różnych zawartościach węgla.



Rys. 4. Wykresy rozciągania $\sigma = f(\epsilon)$ dla stali o zawartości około 0,4%C po różnej obróbce cieplnej: 1 - w stanie wyżarzonym, 2 - w stanie zahartowanym i odpuszczonym (ulepszonym cieplnie), 3 - w stanie zahartowanym.

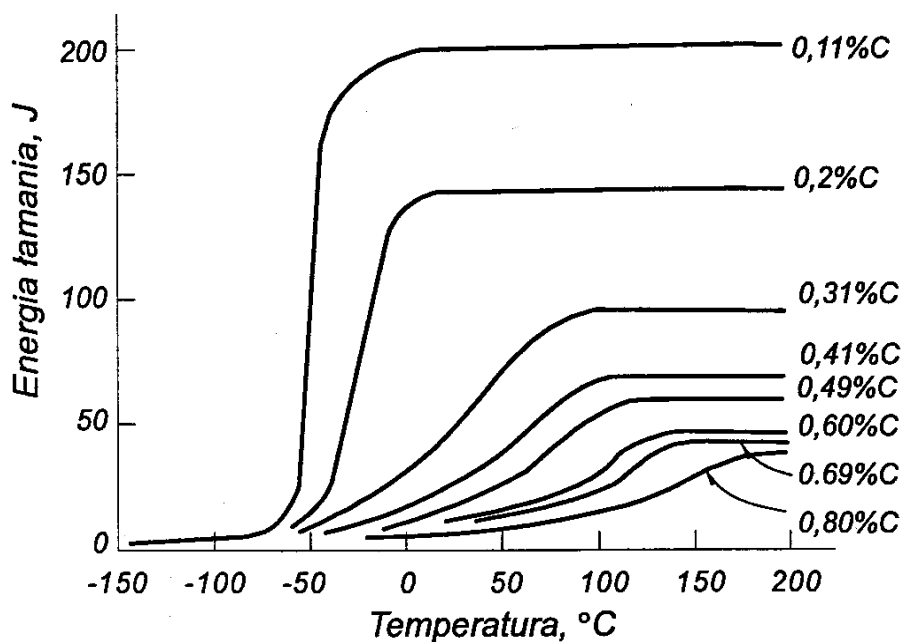
Tabela I. Podstawowe metody określania twardości oraz sposoby przeprowadzenia pomiaru i obliczania twardości.

Metoda	Wgłębnik	Kształt odcisku		Obciążenie*	Wzór do obliczenia twardości**
		widok z boku	widok z góry		
1	2	3	4	5	6
Brinella	kulka stalowa lub z węgla wolframu o średnicy 10; 5; 2,5; lub 1 mm		$0,25D < d < 0,7D$ 	$F = n D^2$ n=30; HB >100 n=10; HB 60 ÷ 100 n=5; HB 20 ÷ 60 n=1; HB < 20	$HB = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Rockwella	stożek diamentowy			dwustopniowe: $F = 10 + 140 \text{ kG}$	$HR = K - \frac{h}{0,002};$ $HRC = 100 - 500 h \text{ (} K_C = 100 \text{)}$
	kulka stalowa 1/16 cala			$F = 10 + 90 \text{ kG}$	$HRB = 130 - 500 h \text{ (} K_B = 130 \text{)}$
Vickersa	piramida diamentowa			$F = 1 \div 120 \text{ kG}$	$HV = F / A_b ;$ $A_b = a^2 / 2 \sin (\alpha/2)$
<p>* Obciążenie jest podawane w kG siły; 1 kG \approx 9,81 N.</p> <p>** Występującą we wzorach wielkość odcisków należy podawać w mm.</p>					



Rys. 5. Kształt próbki udarnościowej i rodzaje korbów:

Rys. 6. Schemat młota Charpy'ego do pomiarów udarności. Energia łamania (L), czyli praca konieczna do złamania próbki, określana jest z różnicy położenia początkowego i końcowego wahadła (odczyt na skali).



Rys. 7. Wpływ zawartości węgla na temperaturę przejścia w stan kruchy dla stali węglowej (niestopowej) o strukturze ferrytyczno-perlitycznej.

Temperatura przejścia w stan kruchy - pękanie plastyczne (przełom ciągliwy) \rightarrow pękanie kruche (przełom kruchy).