

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH

Wykaz urządzeń służących do wykonania ćwiczenia

1. Maszyna wytrzymałościowa do 10 ton (100 kN)
2. Twardościomierz Rockwella (HRC, HRB)
3. Twardościomierz Brinella - 2 szt. (HB)
4. Twardościomierz Vickersa-Brinella (HV, HB)
5. Młot udarnościowy
6. Młotek Poldi
7. Twardościomierz Shore'a

UWAGA!

Wszystkie pomiary na w/w urządzeniach należy wykonywać pod nadzorem prowadzącego ćwiczenie.

Wykaz próbek

1. Znormalizowane próbki okrągłe ze stali węglowej 45 - do próby rozciągania
2. Znormalizowane próbki o przekroju prostokątnym ze stali głębokotłocznej do próby rozciągania
3. Znormalizowane próbki ze stali węglowej 45 do pomiaru udarności
4. Próbki (kostki) do pomiaru twardości ze stali węglowej, z mosiądzu i z duraluminium

UWAGA!

Wszystkie pomiary i badania próbek na urządzeniach należy wykonywać w obecności asystenta

Merytoryczna opieka nad ćwiczeniem:

- prof n.dr hab. inż. Stanisław Skrzypek

Techniczna opieka nad ćwiczeniem:

- dr inż. Tadeusz Skowronek

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH

A. Statyczna próba rozciągania

1. Cel próby

Celem próby rozciągania jest ocena badanych metali pod względem wytrzymałościowym. Dla próbki wyznacza się obciążenie i wydłużenie odpowiadające poszczególnym etapom rozciągania oraz przewężenie.

Na podstawie tych wielkości określa się:

- a) granicę plastyczności i wytrzymałość na rozciąganie
- b) procentowe wydłużenie i przewężenie.

2. Symbole i oznaczenia

d_0 [mm] - pierwotna średnica próbki

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

a_0 [mm] - wymiar jednego z boków w przekroju prostokątnym próbki, odpowiadający grubości blachy, z której została wycięta próbka

b_0 [mm] - wymiar drugiego boku w przekroju prostokątnym próbki

S_0 [mm²] - pole pierwotnego przekroju próbki

S_u [mm²] - pole najmniejszego przekroju próbki w szyjce przewężenia po zerwaniu

L_0 [mm] - pierwotna długość pomiaru próbki

L_u [mm] - długość pomiarowa próbki po zerwaniu

F_{02} [kN] - siła obciążenia odpowiadająca trwałemu odkształceniu $\varepsilon = 0,02 \%$

F_e [kN] - siła obciążenia, odpowiadająca granicy plastyczności

F_m [kN] - największa siła obciążenia, uzyskana w czasie próby

$R_{02} = \frac{F_{02}}{S_0}$ [N/mm²] - umowna granica plastyczności

$R_e = \frac{F_{02}}{S_0}$ [N/mm²] - granica plastyczności

$R_m = \frac{F_m}{S_0}$ [N/mm²] - wytrzymałość na rozciąganie

A_p - wydłużenie całkowite (trwałe) po zerwaniu

$$A_p = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \% = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \cdot 100 \%$$

p - wskaźnik oznaczający stosunek pierwotnej długości pomiarowej do pierwotnej średnicy próbki okrągłej, lub średnicy koła, którego pole równe jest powierzchni przekroju próbki w przypadku próbek płaskich:

$$p = \frac{L_0}{d} \qquad d_0 = 1,13 \sqrt{S_0} \qquad S_0 = a_0 \cdot b_0$$

Z – przewężenie w miejscu zerwania próbki

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{S_u}{S_o}\right) \cdot 100\%$$

3. Próbkki

Dla metali plastycznych przewiduje się dwa zasadnicze typy próbek: okrągłe i płaskie.

Próbki okrągłe dzieli się na grupy w zależności od sposobu ich umocowania w uchwytach:

1. próbki z główkami do pierścieni,
2. z główkami do chwytania w szczęki,
3. z główkami nagwintowanymi.

Jako normalne uważa się próbki okrągłe o średnicy $d = 10 + 0,075$ mm oraz płaskie próbki o szerokościach 20 mm i 30 mm o grubościach uzależnionych od odległości płaszczyzn surowych (np. walcowanej blachy, płyt kształtowników).

Rozróżnia się zasadniczo próbki 5 i 10 krotne, tzn. że zmiany długości próbki mierzy się na długości pomiarowej równej: 5 lub 10-cio krotnej wartości średnicy pierwotnej dla próbek okrągłych oraz 5 lub 10-krotnej

wartości średnicy zastępczej $d_0 = 1,13 \sqrt{S}$ dla próbek płaskich (S – powierzchnia przekroju poprzecznego).

Można stosować również próbki specjalne dla prętów, drutów i rur.

4. Wykonanie próby

Przed rozciąganiem próbki należy zmierzyć średnicę próbki z dokładnością do 0,01 mm w trzech miejscach na długości pomiarowej L. Każdy pomiar wykonuje się w dwu wzajemnie do siebie prostopadłych kierunkach. Do obliczeń należy przyjąć najmniejsze pole powierzchni przekroju poprzecznego próbki. Obliczone długości pomiarowe ($L_0 = 5d_0$ lub $L_0 = 10d_0$) 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 nawinać papier milimetrowy do zdjęcia 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 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 $10 \text{ N/mm}^2 / \text{sec}$.
- Podczas próby zapisać F_e (o ile wyraźnie występuje) i F_m .
- po zerwaniu oglądać dokładnie złom próbki.
- zmierzyć L_u - długość próbki po zerwaniu y dokładnością 0,1 mm, średnicę szyjki d_u z dokładnością 0,05 mm.
- obliczyć R_e i R_m z dokładnością do $\pm 5,0 \text{ N/mm}^2$ oraz A i Z z dokładnością 0,5 %.
- wyniki ująć w protokole próby rozciągania:

	Własności wytrzymałościowe						Własności plastyczne				
Ozna- czenie	S _o	L _o	F _e	R	F _m	R _m	$\frac{R_e}{R_m} \cdot 100$	L _u	A _p	d _u	Z
	mm ²	mm	kG	KG/mm ²	kG	KG/mm ²	%	mm	%	mm	%
Wg PN(IS)	mm ²	mm	N	N/mm ²	N	N/mm ²	%	mm	%	mm	%

-

B. Próba udarności

1. Cel próby

Próba udarności charakteryzuje zdolność do odkształceń plastycznych materiału przy obciążeniach dynamicznych w trójwymiarowym stanie naprężeń. Polega ona na złamaniu próbki z karbem o przepisanej kształcie i wymiarach jednorazowym uderzeniem młota wahadłowego. Miarą udarności jest stosunek pracy młota L (w kGm) zużytej na złamanie próbki do przekroju próbki w miejscu karbu S_o (cm²):

$$U = \frac{L}{S_o} \left(\frac{kGm}{cm^2} \right), \left(\frac{J}{cm^2} \right), \left(\frac{J}{m^2} \right)$$

U - udarność

L - praca młota

S_o - przekrój (powierzchnia przekroju)

2. Próba - młot udarnościowy (uwaga na bezpieczeństwo)

Próbie udarności przeprowadza się na próbkach typu Mesnagera o wymiarach 55x10x10mm z karbem o głębokości 2 mm i promieniu zaokrąglenia 1 mm. Do przeprowadzenia prób używa się młota wahadłowego Charpye`go.

3. Wykonanie próby

Po otrzymaniu próbki należy:

- zmierzyć jej wymiary i obliczyć powierzchnię przekroju w miejscu karbu,
- podnieść i zamocować młot w górnym położeniu
- ustawić wskazówkę w położeniu zerowym skali (0°),
- 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.
- zwolnić zacisk młota; po złamaniu próbki młot zahamować i odczytać kąt wychylenia.
- oglądnąć złom próbki,
- odczytać w tabeli energię zużytą na złamanie próbki i obliczyć udarność.

Uwaga: Nie wolno manipulować rączką zwalniającą zaczep młota. Stanie w płaszczyźnie ruchu młota grozi śmiercią !!!

C. Badanie twardości

Twardość metalu określa się jako opór stawiany przez badany metal przy wciskaniu ciała nie odkształcającego się plastycznie.

1. 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:

- 1) Nanotwardość dla obciążeń do 10 G
- 2) Mikrotwardość - dla obciążeń do 200 G.
- 3) Twardość pod małymi obciążeniami i dla obciążeń od 200 do 1000G.
- 4) Makrotwardość dla obciążeń od 1 do 120 kG.

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

Twardość Vickersa oblicza się jako stosunek obciążenia wgłębnika do powierzchni bocznej wgniecionego ostrosłupa:

$$HV = \frac{P}{A_b} \quad [\text{kG/mm}] \quad (1)$$

Powierzchnia boczna ostrosłupa:

$$A_b = \frac{a^2}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \quad [\text{mm}^2] \quad (2)$$

Gdzie "a" jest przekątną odcisku, α - kątem wierzchołkowym ostrosłupa.

Po podstawieniu $\alpha = 136^\circ$ do wzoru (2), obliczeniu wartości $\sin \frac{\alpha}{2}$ 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 się 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 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.

2. 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 - oznacza stałą wartość, zależną 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, twardości 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) i 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 nieżelaznych o twardości HRB zawartej w granicach od 30 do 100. 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 HRC od 20 do 70.

Grubość „g” przedmiotu w badanym miejscu powinna być większa niż dziesięciokrotne zagłębienie penetratora h czyli

$$g = 10h$$

Odległość środków odcisków sąsiednich i odległość ich od brzegów przedmiotu powinna wynosić co najmniej 3 mm.

3. Metoda Brinella

Próba twardości metodą Brinella polega na wgniataciu 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 kulki) średnicy d (mm) powstałego na powierzchni badanego przedmiotu trwałego odcisku kulki.

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

Twardość Brinella HB w kG/mm^2 jest ilorazem nacisku P w kG przez powierzchnię kulistego wgłębienia „A” w mm^2 i określa się wzorem:

$$H = \frac{P}{A_{cz}} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad [\text{HB}]$$

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 współczynnik zależy od twardości badanego metalu.

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

10 „ „ „ 60 HB 100

5 „ „ „ 20 HB 60

2,5 „ „ „ HB 20

Nacisk zależy zwiększyć stopniowo do wielkości P bez uderzeń w ciąg 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 próbek 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 o twardości HB do 500. Przy wyższych twardościach występuje odkształcenie stalowej kulki i dlatego używa się specjalnych twardych kulek z węglików spiekanych.

4. Młotek Poldi

Młotek Poldi zezwala na dokonywanie orientacyjnego wyznaczenia twardości HB metodą dynamiczną.

Pod wpływem uderzenia stalowa kulka jednocześnie jest wgniatana w badaną powierzchnię oraz w powierzchnię płytki wzorcowej o znanej twardości HB: przez porównanie średnic otrzymanych odcisków można wyznaczyć twardość badanego przedmiotu:

$$HB_2 = K \cdot HB_1$$

gdzie: HB_2 - twardość badanego metalu
 HB_1 - twardość płytki wzorcowej

$$K = \frac{D - \sqrt{D^2 - d_1^2}}{D - \sqrt{D^2 - d_2^2}}$$

d_1 - średnica odcisku w płytce wzorcowej
 d_2 - średnica odcisku w badanym metalu

4. 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 pewniejszych wyników należy badania powtórzyć kilkakrotnie (5-6 uderzeń) ale zawsze w różnych miejscach aby uniknąć nieprawidłowych wskazań spowodowanych utwardzaniem powierzchni.

Metoda Shore'a jest nieniszcząca i współczesne twardościomierze są lekkie i przenośne.

5. Metody badawcze zmęczeniowej wytrzymałości metali - Wstęp

Badania przy stałym odkształceniu lub naprężeniu mogą być wykonywane na maszynach o napędzie hydraulicznym, z systemem sterowania o wysokiej czułości i szybkości reakcji, najlepiej z elektronicznym układem sterującym.

Badania przy $\epsilon = \text{const}$ są korzystniejsze w porównaniu z badaniami przy $\sigma_a = \text{const}$, gdyż unika się cyklicznego pełzania, zwłaszcza przy dużych naprężeniach.

Badania przy obciążeniach jednoosiowych

Przy obciążeniach jednoosiowych musi być zapewniona możliwość dokładnego ustawienia osi próbki w osi działania obciążenia. Konstrukcja mechaniczna maszyny wytrzymałościowej wraz z uchwytami oraz układ sterowania obciążeniem muszą zapewniać prowadzenie badań przy płynnym przejściu przez zero zmiennej sterującej z ciągłą kontrolą wartości zmiennej zależnej. Rejestrować można ciągle bądź okresowo.

Oddzielną grupę maszyn wytrzymałościowych stanowią maszyny do cyklicznego zginania i skręcania. Korzystną cechą zginania jest możliwość uzyskania stosunkowo dużych odkształceń w warstwach wierzchnich próbki bez obawy utraty stateczności.

Próbki jakie stosujemy do badań muszą zapewniać jednorodny stan naprężeń lub odkształceń na długości pomiarowej próbki. Zalecane są próbki walcowe lub klepsydrowe (o zmiennym przekroju).

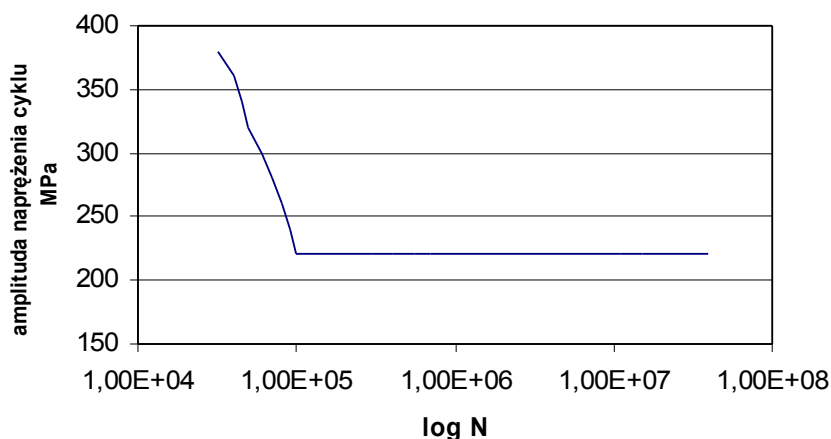
Sposób pomiaru odkształcenia i odpowiedni dobór czujników ma duże znaczenie, gdyż zależy od tego możliwość dokładnego sterowania odkształceniem i dokładnej rejestracji. W praktyce stosuje się tensometry.

Klasycznym i najstarszym wykresem zmęczeniowym jest wykres Wohlera. Uzyskuje się go doprowadzając określoną liczbę próbek do zmęczeniowego zniszczenia zmieniając σ_a (amplituda naprężenia cyklu). W najczęściej stosowanym układzie współrzędnych $\sigma_a - \log N$ wykres zmęczeniowy jest linią łamaną.

Wytrzymałością zmęczeniową dla nieograniczonej liczby cykli (w praktyce $N > 10^6$ cykli) jest amplituda σ_z , która jest ułamkiem granicy sprężystości σ_s ;

$$\frac{\sigma_z}{\sigma_s} = 0,2 - 0,6$$

Wykres Wohlera



Literatura:

- S. Katarzyński, S.Kocańda, M.Zakrzowski - „Badania własności mechanicznych Metali”. Warszawa, WNT, 1967.
- S. Błażewski, J.Mikoszewski - Pomiary twardości metali. Warszawa, WNT, 1981.
- K.Przybyłowicz, Fizyczne podstawy odkształcenia plastycznego metali, Skrypty uczelniane nr 939, AGH Kraków 1984
- S.Kocańda – Zmęczeniowe niszczenie metali, WNT Warszawa 1978