



Zachodniopomorski
Uniwersytet
Technologiczny
w Szczecinie

**KATEDRA MECHANIKI
I PODSTAW KONSTRUKCJI MASZYN**

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki

**Laboratorium
Wytrzymałości Materiałów**

Statyczna próba ściskania metali

Opracował : dr inż. Leus Mariusz

Szczecin 2013 r.

1. Wprowadzenie

W próbie ściskania, podobnie jak w próbie rozciągania występuje jednoosiowy stan naprężenia, jeżeli pominie się wpływ sił tarcia występujących na podstawach próbki. Stąd też z teoretycznego punktu widzenia próba ściskania jest jakby prostym odwróceniem próby rozciągania. Chociaż stany naprężenia przy rozciąganiu i ściskaniu różnią się tylko znakami, to jednak praktyczne przeprowadzenie próby ściskania nastęrcza w porównaniu z próbą rozciągania szereg trudności [2].

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z praktycznym sposobem przeprowadzania próby statycznej zwykłej ściskania metali zgodnie z normą PN-57/H-04320, używanymi do tego celu próbkami i urządzeniami (**uniwersalna maszyna wytrzymałościowa ZD 100, INSTRON 8501 i INSTRON 8850**) oraz interpretacją i opracowaniem wyników. Według tej normy próba ściskania nazywa się próbą zwykłą, jeżeli jej celem jest wyznaczenie wytrzymałości na ściskanie, wyraźnej granicy plastyczności, skrócenia względnego oraz wykonanie wykresu ściskania. Natomiast celem próby ściślej jest określenie współczynnika sprężystości wzdłużnej przy ściskaniu E_c , umownej granicy sprężystości i umownej granicy plastyczności.

Wykonanie ćwiczenia polega na poddaniu próbek wzrastającemu obciążeniu ściskającemu, dokonaniu obserwacji zachowania się tych próbek w procesie obciążania aż do ich zniszczenia lub wyczerpania zakresu siły obciążającej maszyny oraz wyznaczeniu wskaźników charakteryzujących własności wytrzymałościowe na ściskanie dla badanych materiałów.

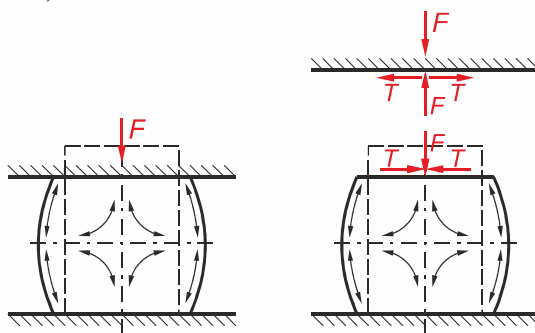
W szczególności wyznaczyć należy:

- wytrzymałość na ściskanie R_c w przypadku, gdy próbka podczas próby ulega zniszczeniu,
- wyraźną granicę plastyczności R_{plc} , jeżeli występuje.

3. Uwagi ogólne

W przeprowadzeniu próby ściskania zgodnie z jej teoretycznymi założeniami istnieją pewne trudności techniczne. Próbka ściskana musi mieć dosyć znaczne w stosunku do długości wymiary przekroju poprzecznego (średnica próbki d_o musi być niewiele mniejsza od jej wysokości h_o), w przeciwnym razie grozi jej pod działaniem siły osiowej boczne wygięcie – wyboczenie. Znaczne trudności nastęrcza również zapewnienie próbce ściskanej dokładnie osiowego działania siły. Mimośrodowe działanie siły obciążającej wywołuje niepożądane zginanie próbki.

Ściskając próbkę między dwiema płaskimi płytami prasy w przypadku materiałów silnie odkształcających się można stwierdzić bez trudności, że próbka cylindryczna zmieni swój kształt na baryłkowaty (rys. 1).



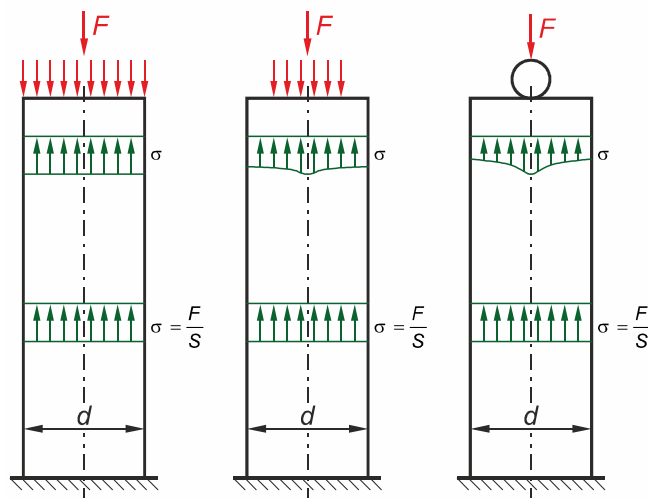
Rys. 1. Odkształcenia próbki walcowej poddanej próbie ściskania

Z tego wynika, że na powierzchni styku z płytami dociskowymi próbka posiada ograniczoną możliwość zwiększania wymiarów poprzecznych. Przyczyną tego są występujące na tych powierzchniach siły tarcia T . Wpływ sił tarcia jest tak wielki, że rzeczywisty stan naprężenia nie odpowiada przyjętemu założeniu o równomiernym jednoosiowym rozkładzie naprężeń w materiale. Aby tego uniknąć, należałoby część pomiarową odsunąć od końców próbki zgodnie z zasadą de Saint-Venanta przynajmniej o 1.5 wymiaru poprzecznego. Spowodowało by to jej wydłużenie, co jest niewskazane ze względu na wspomniane wyboczenie.

Powyższe względy powodują, że próba ściskania ma dość ograniczone znaczenie praktyczne, zwłaszcza w zastosowaniu dla materiałów sprężysto-plastycznych, dla których stałe sprężystości oraz granica proporcjonalności, sprężystości i plastyczności mają w przybliżeniu takie same wartości przy rozciąganiu jak przy ściskaniu. W obliczeniach dla tych materiałów przyjmuje się jednakową wytrzymałość na rozciąganie jak i ściskanie. Natomiast w odniesieniu do materiałów kruchych, dla których R_c jest znacznie większe od R_m , należy przeprowadzić próbę ściskania.

Zasada de Saint-Venanta

Rozważmy przypadek gdy mamy 3 jednakowe pręty ściskane obciążeniem równym co do wartości sile F , lecz o różnej realizacji tego obciążenia (rys. 2). W pierwszym działaniu siły o wartości F rozkłada się równomiernie na całym przekroju, w drugim tylko na części, a w trzecim przenosi się za pośrednictwem kulki, a więc rozkłada się na bardzo małą powierzchnię i nierównomiernie. Zatem rozkłady naprężeń w sąsiedztwie obciążonej powierzchni będą różniły się między sobą.



Rys. 2. Rozkłady naprężeń w prętach obciążonych taką samą wartością siły F , lecz realizowaną w inny sposób [1]

Wystarczy jednak przesunąć rozpatrywany przekrój nieco dalej (ok. $1,5d$), a zauważalnych różnic w poszczególnych rozkładach nie będzie i do wyznaczenia naprężeń, można stosować zależność $\sigma = F/S$. Do tych wniosków doszedł de Saint-Venant (1855 rok), formułując jedną z podstawowych zasad, którą przyjmujemy w obliczeniach konstrukcji:

„Jeżeli na pewien niewielki obszar ciała sprężystego pozostającego w równowadze działają kolejno rozmaicie rozmieszczone, ale statycznie równowarte obciążenia, to w odległości od obszaru przewyższającej wyraźnie jego rozmiary powstają praktycznie jednakowe stany naprężenia i odkształcenia” [1].

4. Rodzaje próbek

Do próby ściskania stosuje się zasadniczo próbki walcowe. Średnica próbki d_o zależy od wymiarów i kształtu materiału, z którego pobrano odcinki próbne. Zaleca się stosowanie średnic próbek 10, 20 lub 30 mm. Wysokość próbki h_o zależy od rodzaju próby i wynosi:

$$h_o = x \cdot d_o \quad (1)$$

gdzie:

x – krotność próbek przy ściskaniu:

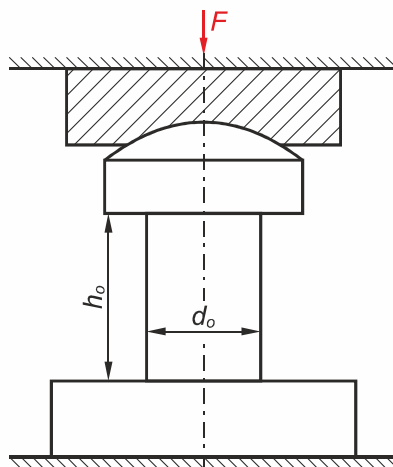
- $x = 1,5$ dla próbek krótkich, przeznaczonych do próby zwykłej,
- $x = 3,0$ dla próbek długich, przeznaczonych do wyznaczenia umownej granicy plastyczności przy ściskaniu $R_{c0,2}$, czyli naprężenia, którego osiągnięcie powoduje trwałe skrócenie próbki o 0,2% pierwotnej długości pomiarowej,
- $x = 10$ dla próbek długich przeznaczonych do wyznaczenia modułu sprężystości podłużnej przy ściskaniu E_c .

Próbki powinny być obrabiane mechanicznie. Powierzchnie czołowe próbki powinny być równoległe względem siebie i prostopadłe do osi próbki. Zaleca się ich szlifowanie.

5. Urządzenia do próby ściskania

Próbę ściskania przeprowadza się na uniwersalnych maszynach wytrzymałościowych (ZD 100, INSTRON 8501 i INSTRON 8850), bądź z użyciem zwykłych pras hydraulicznych wyposażonych w siłomierz i rejestrator, który rejestruje zmiany skrócenia próbki w zależności od siły ściskającej.

Próbkę układa się między umieszczone w maszynie wytrzymałościowej płyty naciskowe, z których jedna powinna się opierać na kulistym przegubie (rys. 3). Przegub ten eliminuje punktowy styk między płytą a próbką i ułatwia ich bardziej równomierne przyleganie.



Rys. 3. Schemat próby ściskania

Powierzchnie płyt naciskowych powinny być płaskie, polerowane i twardsze od badanych próbek. Oś próbki powinna pokrywać się z osią obciążenia.

6. Ściskanie materiałów sprężysto-plastycznych

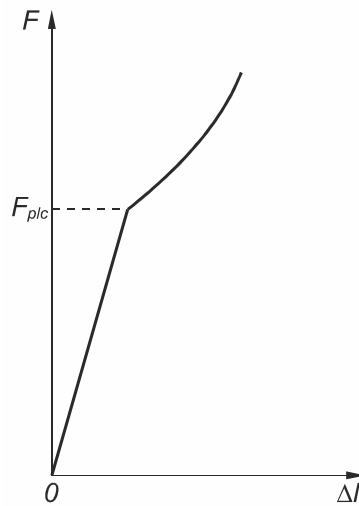
Materiały sprężysto-plastyczne (cyna, miedź i ich stopy, stal niskowęglowa) przy ściskaniu zachowują się początkowo podobnie jak przy rozciąganiu. Po przekroczeniu granicy sprężystości zaczynają występować niewielkie odkształcenia trwałe. Przy dalszym wzroście naprężeń dochodzi się do granicy plastyczności, przy której próbka ulega skróceniu bez

wzrostu obciążenia (płynie). Osiągnięcie siły F_{plc} , odpowiadającej wyraźnej granicy plastyczności przy ściskaniu uwidacznia się zatrzymaniem na chwilę wskazówki siłomierza i zostaje zarejestrowane na wykresie ściskania w postaci załamania lub zagięcia krzywej (rys. 4). Okres płynięcia przy ściskaniu trwa znacznie krócej niż przy rozciąganiu i nie wykazuje górnej i dolnej granicy plastyczności. Znając F_{plc} , oblicza się granicę plastyczności przy ściskaniu ze wzoru:

$$R_{plc} = \frac{F_{plc}}{S_o} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \quad (2)$$

gdzie:

S_o – pole powierzchni pierwotnego przekroju poprzecznego próbki

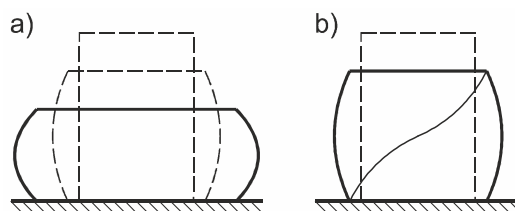


Rys. 4. Wykres ściskania próbki ze stali niskowęglowej

Jeżeli dany materiał nie wykazuje wyraźnej granicy plastyczności, to podobnie jak przy rozciąganiu, wyznacza się umowną granicę plastyczności $R_{c0.2}$, dzieląc siłę $F_{c0.2}$, która wywołuje powstanie w próbce odkształceń trwałych wynoszących 0.2% długości początkowej, przez pole S_o :

$$R_{c0.2} = \frac{F_{c0.2}}{S_o} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \quad (3)$$

Przy dalszym ściskaniu próbki ze stali niskowęglowej wzrośtowi siły ściskania towarzyszy coraz większe spłaszczenie próbki (rys. 5a) aż do całkowitego wyczerpania zakresu siłomierza maszyny. Dla materiałów o dobrych własnościach plastycznych nie można wyznaczyć granicy wytrzymałości na ściskanie.



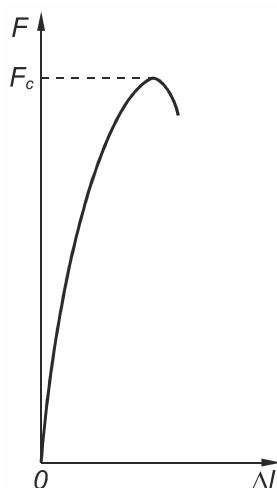
Rys. 5. Ściskanie próbek: a) ze stali niskowęglowej, b) ze stali o wyższej zawartości węgla

Próbki walcowe wykonane z materiałów mniej plastycznych jak stal o wyższej zawartości węgla, w czasie próby ściskania odkształcają się w mniejszym zakresie przyjmując kształt baryłki, przy czym powstają charakterystyczne pęknięcia ukośne (rys. 5b).

7. Ściskanie materiałów kruchych

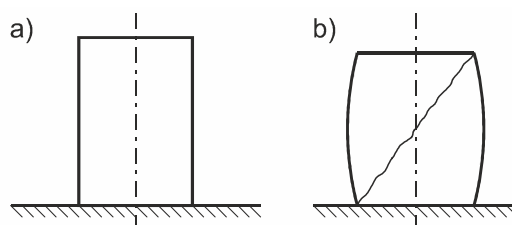
Próbę ściskania materiałów kruchych, między innymi takich jak żeliwo, przeprowadza się w identycznych warunkach jak dla materiałów sprężysto-plastycznych.

W przeciwieństwie do stali, żeliwo zachowuje się inaczej przy ściskaniu niż przy rozciąganiu. Na rys. 6 przedstawiono przykładowy wykres ściskania próbki wykonanej z żeliwa. Wykres prawie od początku ma charakter krzywoliniowy. Zależność dokszałceń próbki od wywołującej je siły dość znacznie odbiega od prawa Hooke'a. W miarę wzrostu siły ściskającej krzywa odchyła się coraz bardziej od osi siły i osiąga maksimum, po czym następuje gwałtowny jej spadek. Nie można więc właściwie mówić tutaj o stałej wartości modułu sprężystości E_c czy też o granicy proporcjonalności. Dla celów praktycznych przyjmuje się średnią wartość modułu E_c .



Rys. 6. Wykres ściskania próbki żeliwa

Próbka żeliwa pod wpływem sił ściskających ulega pewnemu skróceniu i przyjmuje z lekka baryłkowaty kształt. W momencie gdy siła ściskająca osiągnie największą wartość (maksimum krzywej) próbka ulega zniszczeniu, przy czym na powierzchni bocznej próbki występują pęknięcia nachylone pod kątem ok. 45° do osi (rys. 7).



Rys. 7. Próbka z żeliwa: a) przed obciążeniem, b) po zniszczeniu

Zniszczenie żeliwa następuje dość nagle, co jest cechą charakterystyczną dla materiałów kruchych. Mając wartość siły niszczącej F_c oraz pole przekroju S_o próbki wyznacza się wytrzymałość na ściskanie żeliwa ze wzoru:

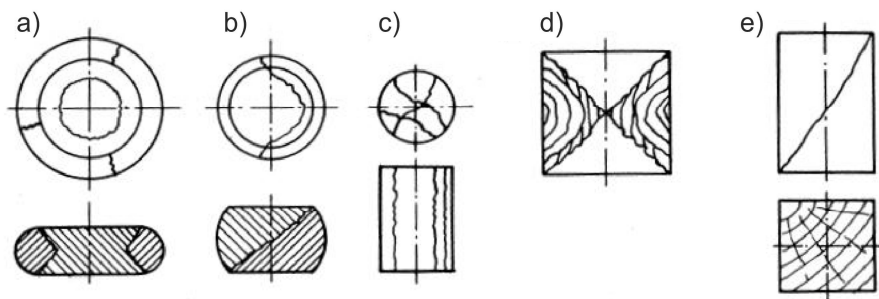
$$R_c = \frac{F_c}{S_o} \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \quad (4)$$

Wytrzymałość na ściskanie R_c dla żeliwa jest około 3÷5 razy większa od wytrzymałości na rozciąganie R_m . Jest to cecha materiałów kruchych. Przykładowo dla betonu $R_c = (5\div 20)R_m$, dla granitu $R_c = (40\div 70)R_m$.

8. Przełomy próbek przy ścisaniu

W przeciwieństwie do próby rozciągania niemal wszystkie metale i ich stopy podczas ściskania ulegają odkształceniom plastycznym. Uzyskane przełomy próbek to przede wszystkim przełomy poślizgowe i rozdzielcze wiązkie, a tylko w rzadkich przypadkach pojawia się w wyniku ściskania przełom rozdzielczy kruchy.

Działanie sił ściskających wraz z siłami tarcia występującymi na podstawach można przyrównać do działania dwóch stożków zwrócony wierzchołkami do siebie i rozpychających części boczne próbki. W próbkach walcowych z betonu części boczne ulegają wykruszeniu i odsłaniają nienaruszone części próbki w postaci połączonych ze sobą stępienymi wierzchołkami stożków. Typowe przełomy przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Typy przełomów próbek wykonanych z różnych materiałów: a) stal niskowęglowa – przełom plastyczny, b) stal o zwiększonej zawartości węgla – przełom poślizgowy, c) stal o zwiększonej zawartości węgla, przy smarowaniu płaszczyzn czołowych – przełom kruchy, d) beton – uwidocznione stożki po wykruszeniu się części bocznych, e) drewno – przełom poślizgowy [3]

9. Przebieg ćwiczenia

Ćwiczenie wykonać w następujących etapach:

- zmierzyć średnicę d_o i wysokość h_o próbki,
- przygotować maszynę do próby ściskania, wybrać odpowiedni zakres siły,
- ustawić próbkę między płytami dociskowymi maszyny,
- uruchomić maszynę i obserwować przebieg próby,
- zmierzyć wymiary próbki po próbie,
- narysować wykres ściskania w protokole,
- wykonać obliczenia R_{plc} i R_c i zapisać wyniki w protokole.

Czynności powtórzyć dla każdej próbki przyjętej do badań.

10. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- określenie celu próby,
- definicje wyznaczanych wskaźników,
- schemat urządzenia do próby ściskania,
- porównanie wyników próby ściskania z wielkościami wyznaczonymi w próbie rozciągania lub wziętymi z odpowiednich norm, wg podanej tabeli,

Własności wytrzymałościowe na ściskanie i rozciąganie badanych materiałów

Nr Próbki	Materiał	R_{plc} lub R_c [N/mm ²]	R_{eH} lub R_m [N/mm ²]	R_{plc}/R_{eH} lub R_c/R_m

- dyskusje otrzymanych wyników:
 - omówienie własności badanych materiałów ujawnionych w próbie ściskania,
 - analizę ilościową wyznaczonych wskaźników (porównanie z analogicznymi wskaźnikami na rozciąganie),
 - charakterystykę próbek po wykonaniu próby ściskania (kształt, rodzaj przełomu),
 - uwagi i wnioski.
- protokół pomiarów.

Literatura:

1. Dyląg Z., Jakubowicz A., Orłóś Z.: Wytrzymałość materiałów. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1997.
2. Grudzinski Karol: Ćwiczenia laboratoryjne z Wytrzymałości Materiałów. Politechnika Szczecińska. Szczecin 1972 r.
3. Jakowluk A.: Mechanika techniczna i ośrodków ciągłych – Ćwiczenia laboratoryjne. PWN. Warszawa 1977.