

Właściwości mechaniczne

3.1. Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawowymi właściwościami mechanicznymi oraz metodami ich pomiarów.

3.2. Wstęp teoretyczny:

3.2.1 Podstawowe właściwości mechaniczne

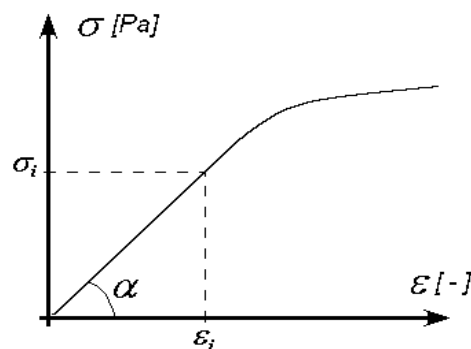
Właściwości mechaniczne to te które charakteryzują materiał poddawany różnego rodzaju obciążeniom, w wyniku których dochodzi do odkształcenia tego materiału. Odkształcenie może być sprężyste, plastyczne, lub prowadzić do nieodwracalnego zniszczenia (rozpadu) struktury materiału.

Do podstawowych właściwości mechanicznych zaliczamy:

- **twardość** – mówi o wielkości obciążenia wymaganego do wywołania określonego odkształcenia plastycznego.
- **sprężystość** – mówi o maksymalnej wartości naprężenia działającego na dane ciało, po którego ustaniu wraca ono do swej poprzedniej postaci. W przypadku materiałów konstrukcyjnych wartość graniczną obserwuje się w okolicach odkształcenia $\varepsilon=0,02$, zaś w przypadku materiałów biologicznych $\varepsilon=0,05$. Zwykle określanie tej właściwości towarzyszą także moduły sprężystości, takie jak np. moduł Younga czy moduł Kirchhoffa. W teście TPA sprężystość ma nieco inne znaczenie oraz genezę, o czym poniżej.
- **plastyczność** – najczęściej charakteryzowana przez wartość granicy plastyczności, która jest wartością naprężenia, po przekroczeniu której następuje trwałe plastyczne odkształcenie. Między granicą sprężystości a granicą plastyczności bywa obserwowany obszar przejściowy.
- **udarność** – mówi o wytrzymałości materiału na naprężenia dynamiczne (uderzenia). Określana jest jako stosunek pracy włożonej w złamanie próbki do pola przekroju próbki w danym miejscu. Jest mocno skorelowana z twardością.
- **lepkość** – jest to zdolność do przenoszenia naprężeń stycznych przez płyn, tym samym charakteryzująca jego opór przeciwko płynięciu.
- **wytrzymałość** (na: ściskanie, ścinanie, ścieranie, rozłupywanie itp.) – mówi o maksymalnej wartości naprężenia, po której przekroczeniu następuje zniszczenie danego materiału. Przykładem wytrzymałości jest łamliwość określana w teście TPA.
- **kąt tarcia** – jest to kąt nachylenia do poziomu równi pochyłej, po którego przekroczeniu następuje samoistne przesuwanie się materiału w dół tejże równi.
- **kąt usypowy** – dotyczy materiałów sypkich i mówi o kącie nachylenia do poziomu powierzchni bocznej stożka, usypanego swobodnie z danego materiału.

3.2.2 Moduł sprężystości wzdłużnej

Jak wspomniano powyżej, moduł sprężystości wzdłużnej, nazywany także **modułem Younga**, mówi o sprężystości materiału którego dotyczy. Ściślej rzecz ujmując, charakteryzuje on sposób zachowania się ciała idealnie sprężystego, poddawanego naprężeniu normalnemu (prostokątnemu) względem powierzchni przekroju poprzecznego tego ciała, w początkowej fazie jego odkształcania, gdy naprężenie w materiale jest wprost proporcjonalne do zadanego odkształcenia.



Rys.3.1: Zależność naprężenia od odkształcenia oraz kąt nachylenia do poziomu jej odcinka o charakterze liniowym.

Co do wartości, moduł Younga odpowiada tangensowi kąta nachylenia wspomnianego odcinka liniowego do osi odkształcenia, stanowi on zatem **współczynnik kierunkowy** tego odcinka. Stąd najprostszą metodą jego wyznaczenia dla danego materiału, jest przeprowadzenie testu ściskania lub rozciągania oraz skorzystanie z równań **regresji liniowej**, w celu wyznaczenia zależności opisującej początkowy, prostoliniowy odcinek wspomnianej zależności. Przekształcone na potrzeby obliczenia modułu Younga równanie regresji liniowej, wygląda następująco:

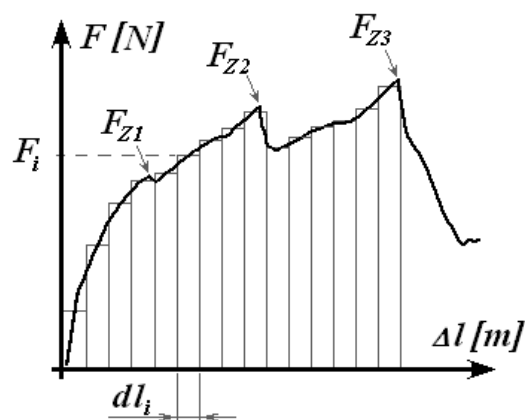
$$\hat{E} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \cdot \sigma_i - \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \varepsilon_i \right)^2}, \quad \delta_E = \sqrt{\frac{\hat{E} \cdot \left(\sum_{i=1}^n \varepsilon_i - n \cdot \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \cdot \sigma_i \right) + n \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 - \sum_{i=1}^n \sigma_i}{(n-2) \cdot \left(n \cdot \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \varepsilon_i \right)^2 \right)}} \quad (14)$$

gdzie: \hat{E} - średnia wartość modułu Younga [Pa],
 n - ilość punktów na wykresie opisanych linią prostą,
 ε_i - poszczególne wartości odkształcenia względnego [-],
 σ_i - poszczególne wartości naprężenia [Pa],
 δ_E - wartość odchylenia średniej wartości modułu Younga [Pa],

Pamiętać należy, że powyższe podejście do zagadnienia sprężystości, właściwe jest materiałom idealnie sprężystym takim jak na przykład stal wysokogatunkowa, natomiast materiał biologiczny, głównie ze względu na swą strukturę i dużą niejednorodność, stwarza trudności w opisie jego właściwości sprężystych. Odczuwana fizycznie przez obserwatora sprężystość materiałów biologicznych, z reguły jest wypadkową sprężystości poszczególnych elementów, czy też tkanek, stanowiących ich strukturę, co na wykresie zależności pomiędzy naprężeniem a odkształceniem owocować może nie jednym a wieloma odcinkami o charakterze liniowym ułożonymi względem siebie pod różnymi kątami a nawet, porozdzielanymi obszarami odkształcenia plastycznego. Dlatego też, sensowność stosowania zaprezentowanego wyżej podejścia zależy od charakteru badanego materiału.

3.2.3 Praca ściskania

Ściskanie (zgniatanie), czyli oddziaływanie na jednostkę materiału dwiema siłami działającymi w jednym kierunku, lecz o przeciwnych zwrotach (skierowanych do tego materiału), jest jednym z podstawowych sposobów mechanicznego rozdrabniania. Proces ten należy do najbardziej energochłonnych w całym przetwórstwie materiałów biologicznych, zaś obniżenie tej energochłonności, przekładające się pośrednio na obniżenie kosztów całego procesu, wymaga określania jednostkowej pracy zgniatania oraz właściwości mających wpływ na jej wartość, w celu jej minimalizacji.



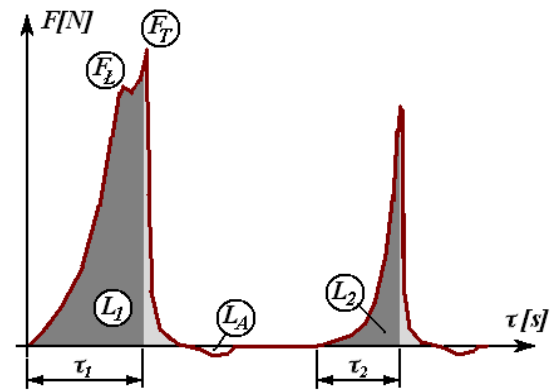
Rys. 3.2: Wykres ściskania materiału biologicznego oraz sposób wyznaczania pola pod nim.

By wyznaczyć wartość pracy zgniatania materiału, należy na jego elementarnej jednostce przeprowadzić próbę ściskania, aż do zniszczenia (zgniecenia), rejestrując zależność siły (F) nań działającej i odkształcenia względnego (Δl). Wartość pracy włożonej w zgniecenie materiału będzie odpowiadała polu pod wykresem nakreślonej na podstawie próby zależności $F=f(\Delta l)$ (Rys.3.2). Zaznaczyć przy tym należy, że materiał biologiczny, z powodu swej niejednorodności i wysoce złożonej struktury, może ulegać wielokrotnemu częściowemu zniszczeniu (zgnieceniu), nim nastąpi jego całkowite zgniecenie do wartości zadanej, co obrazują punkty oznaczone jako F_{Z1} , F_{Z2} i F_{Z3} na Rys.3.2.

Jednym ze sposobów na wyznaczenie pola pod wykresem ściskania, a tym samym pracy zgniatania jest jego **planimetrowanie**, które polega na dzieleniu go na elementarne figury proste (np. Prostokąty), obliczenie i zsumowanie ich pól.

3.2.4 Tekstura materiału - test TPA

Test TPA (*Texture Profile Analysis*), służy do opisywania tekstury materiału, na którą składają się właściwości, wpływające na wrażenia odbierane przez konsumenta podczas przeżuwania produktów spożywczych w ustach, dlatego test ten wykorzystywany jest najczęściej właśnie w odniesieniu do produktów spożywczych. Polega on na dwukrotnym ściśnięciu próbki w zakresie odkształceń 50-70% w krótkim odstępie czasu, podczas których rejestrowane jest przemieszczenie tłoka oraz siła z jaką działa on na próbkę.

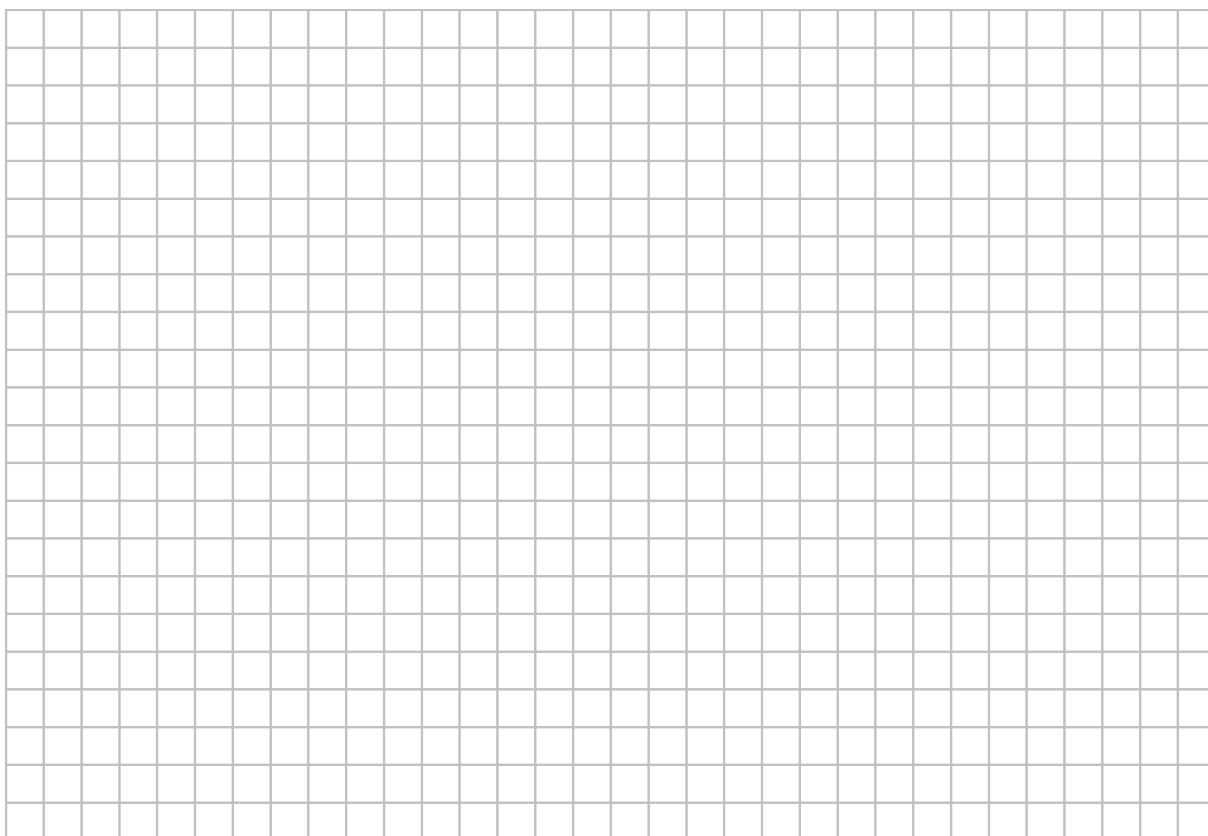


Rys. 3.3: Analiza profilu tekstury – wykres testu TPA.

Efektom takiego testu jest możliwość wyznaczenia kilku parametrów tekstury danego materiału, takich jak: twardość, łamliwość, sprężystość, kohezynność, adhezynność, gumiaństwo czy żujność; w następujący sposób:

- **twardość** – jest to maksymalna wartość siły użytej podczas testu (F_T na Rys. 3.3). Wielkość wyrażana w jednostkach siły, np. [N].
- **łamliwość** – jest to wartość siły przy której doszło do znacznego zniszczenia struktury wewnętrznej materiału, towarzyszy temu nagły (chwilowy) spadek siły, który można zaobserwować na wykresie przedstawiającym przebieg testu TPA (F_L na Rys. 3.3).
- **sprężystość** – parametr, który interpretowany bywa różnie – albo jako różnica w wysokości próbki przed i po pierwszym cyklu ściskania (wówczas opatrzony jest jednostką długości, np. [m]), albo jako stosunek czasu ściskania (który jest wprost proporcjonalny do odkształcenia!) w drugim cyklu do czasu ściskania w pierwszym cyklu (wówczas wyrażany jest wielkością bez wymiarową).
- **kohezynność** (ściśliwość) – jej wartość odpowiada stosunkowi pracy (pola pod krzywą) ściskania w cyklu drugim, do pracy (pola pod krzywą) w cyklu pierwszym.
- **adhezynność** – jej wartość odpowiada pracy jaką trzeba włożyć w oderwanie tłoka od powierzchni próbki po pełnym cyklu jej ściskania. Jednostką adhezynności jest, jednostka pracy, czyli [J].
- **gumiaństwo** – wartość tego parametru określana jest przez iloczyn twardości i kohezynności, wyrażana w jednostkach siły.
- **żujność** – wartość tego parametru wyznaczana jest na podstawie iloczynu gumiaństwa i sprężystości. Jednostką jego jest zatem jednostka siły lub pracy (w zależności od podejścia).

3.6. Wykresy:



Rys.3.4: Wykres naprężenia w funkcji odkształcenia względnego: $\sigma=f(\epsilon)$ w zakresie do $\epsilon=0,05$.