

## Лабораторна робота №8

### ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХАРЧОВИХ МАТЕРІАЛІВ З ДОСВІДУ НА ПОВЗУЧОСТІ

#### Метароботи:

- визначення механістичних характеристик чотирьохелементної моделі пряничкового тіста при кімнатній температурі.

#### 1. Загальне становище

Реальні харчові матеріали володіють миттєвими пружними, запізнілими пружними і залишковими деформаціями. Тому найпростішою моделлю, за допомогою якої можна описати поведінку таких матеріалів, як тісто, цукеркові маси і ін., є модель, яка складається з послідовного з'єднання двох описаних вище двоелементних моделей (рисунок 1). Розвиток деформації в часі для реальних матеріалів при постійній нарузі називається повзучістю, а графіки залежності деформації від часу - кривими повзучості.

При миттєвому прикладанні нарузи  $\tau$  при  $t = 0$  виникає миттєва пружна деформація  $\gamma l = \tau / G l$  (рисунок 1, відрізок  $OA$ ). Подальший розвиток деформації йде по кривій  $AB$ . На цьому ділянці одночасно розвиваються запізнена пружна деформація і деформація в'язкої течії. Через певний час встановлюється прямолінійна залежність (рисунок 1, ділянка  $BC$ ),

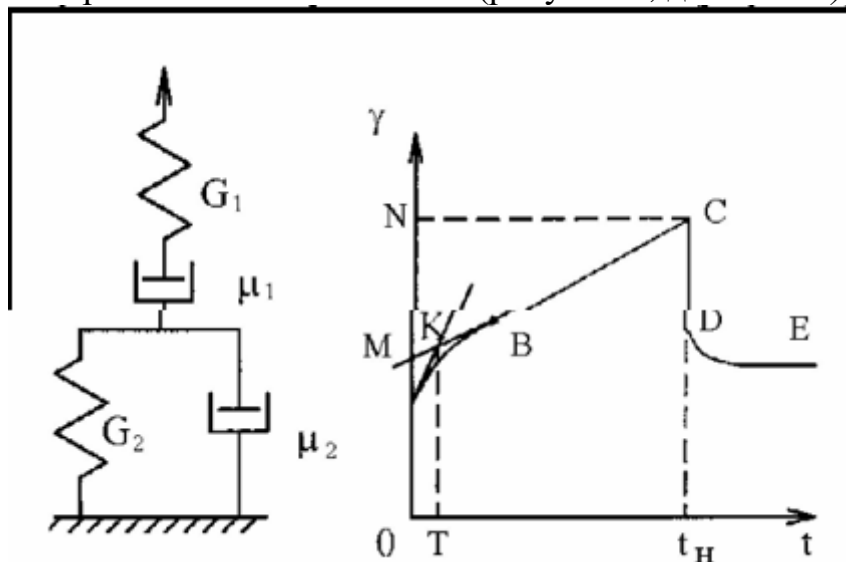


Рисунок 1 - Механічна модель і крива повзучості харчового матеріалу

що відповідає сталому стаціонарному процесу незворотної в'язкої течії при постійному значенні пружної деформації. на ділянці  $BC$  деформація наростає з постійною швидкістю, яка характеризується тангенсом кута нахилу прямої  $BC$  до осі абсцис. швидкість течії пропорційна нарузі  $\tau$  і оберненопропорційна в'язкості  $\mu$ . При  $t = t_H$  нарузу знімають, при цьому

зникає миттєва пружна деформація  $\gamma_1$  (відрізок  $CD = OA$ ), а потім монотонно убуває запізнїла пружна деформація  $\gamma_2$ . Зі збільшенням  $t$  крива  $DE$  асимптотично наближається до кінцевого значення деформації, яка дорівнює залишковї деформації в'язкої течії  $\gamma_3$ .

Таким чином, в період дії постійного напруги  $\tau$  при  $0 < t < tH$  загальна деформація визначається наступним виразом:

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 = \frac{\tau}{G_1} + \frac{\tau}{G_2} \left( 1 - e^{-\frac{G_2 t}{\mu_2}} \right) + \frac{\tau}{\mu_1} t \quad (1)$$

в яке входять чотири фізико-механічні характеристики:

- $G_1$  - модуль миттєвої пружної деформації;
- $G_2$  - модуль запізнїлої пружної деформації;
- $\mu_1$  в'язкість матеріалу;
- $\mu_2$  - в'язкість пружного післядії.

За період навантаження  $t-tH$  загальна деформація  $\gamma$  згідно рисунка 1 відповідає відрізку  $ON$ , пружна деформація - відрізку  $OA$ , деформація вузького течії  $G_3-MN$ , де точка  $M$  виходить при перетині відрізка  $BC$  з віссю  $\gamma$ , деформація - відрізку  $AM$ . Характеристики  $G_1$  і  $\mu_1$  визначаються з урахуванням рівності (1) за такими формулами:

$$G_1 = \frac{\tau}{\gamma_1} \quad (2)$$

$$\mu_1 = \frac{\tau \cdot t_H}{\gamma_3} \quad (3)$$

Враховуючи те, що запізнїла пружна деформація  $\gamma_2$  практично повністю завершується в точці  $B$ , модуль  $G_2$  можна визначити:

$$G_2 = \frac{\tau}{\gamma_2} \quad (4)$$

В'язкість пружної післядії  $\mu_2$  визначають наступним чином. Відношення  $\mu_2/G_2$  має фізичний сенс часу, протягом якого деформація  $\gamma_2$  досягає 63% від максимального значення і носить назву час релаксації  $T$ . Величина  $T$  визначається абсцисою точки перетину дотичної до кривої повзучості в точці  $A$  з прямою  $MBC$ . Пояснюється це наступним.

Рівняння дотичної в точці  $A$  має вигляд:

$$\gamma = \gamma_1 + \left( \frac{\tau}{G_2 T} + \frac{\tau}{\mu_2} \right) t \quad (5)$$

а рівняння прямий  $MBC$  визначається виразом:

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \frac{\tau}{\mu_1} t \quad (6)$$

прирівнюючи вираження (5) і (6), отримаємо абсциссу точки перетину  $t = T$ .  
тоді

$$\mu_1 = G_2 T, \quad (7)$$

З метою підвищення точності визначення фізико-механічних характеристик отримують кілька кривих повзучості при різних напруженнях. Це дає можливість, по-перше, перевірити лінійність залежностей миттєвої пружної деформації, запізнїлої пружної деформації та швидкості деформації в'язкої течії від напруги зсуву і, по-друге, графічно визначити

характеристики матеріалу за результатами декількох паралельних випробувань.

Прикладом використання характеристик матеріалу є розрахунок процесу нанесення рисунка на тестову заготовку. Очевидно, що для збереження рисунка необхідно, щоб матеріал тестової заготовки володів залишковими деформаціями, істотно перевищують пружні. Знаючи напруження, що діє в матеріалі при впровадженні штампа, а також його фізико-механічні характеристики можна обчислити тривалість силового впливу на тестову заготовку.

Найпростішим видом випробування матеріалу на повзучість є зсув між двома паралельними пластинами. Схема навантаження показана на рисунку 2. Зразок матеріалу заповнює простір між горизонтальними пластинами (прилад Толстого). Поверхня пластин повинна бути рифленою для запобігання прослизання матеріалу по пластині. Площа пластини -  $F$ , зазор між пластинами -  $H$ . Нижня пластина нерухома, а верхня - пов'язана з індикатором годинникового типу. Якщо до верхньої пластині докласти навантаження  $P$  в горизонтальному напрямку, то на поверхні пластини виникнуть дотичні напруження  $\tau$ , що врівноважують прикладену навантаження, тобто  $\tau = P/F$ . Під дією напруження матеріал деформується, і верхня пластина отримує зміщення  $X$  яке реєструється індикатором годинникового типу. Деформація зсуву визначається ставленням зміщення до зазору:  $\gamma = X/H$ . Спостерігаючи за розвитком деформації в часі, отримуємо криві повзучості досліджуваного матеріалу.

Для проведення досліджень може бути використано пристрій у вигляді рифленої пластини, поміщеної в посудину з паралельними стінками. До пластини прикладається навантаження, витягаючи її з досліджуваного матеріалу (прилад Вейлера-Рєбіндера). При цьому в шарі маси, що знаходиться між пластиною і стінками судини, виникають напруження зсуву.

## 2. Порядок виконання роботи

## 3. Схема лабораторної установки

### Опис експериментальної установки приладу Толстого

На рисунку 3 показана кінематична схема приладу Толстого, призначеного для вивчення повзучості при зсуві. Прилад складається з двох рифлених пластин 1 і 2, між якими поміщається досліджувана маса, навантажуючого

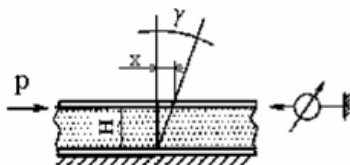


Рисунок 2 - Схема пристрою для отримання кривої повзучості харчових матеріалів

пристрою, що складається з важелів 7, 10 і вантажу 8, обмежувача 9 і індикатора годинного типу 4. Для закріплення нижньої пластини 1 в гнізді 3 служить гвинт 12. Обмежувач 9 необхідний для забезпечення строго горизонтального переміщення верхньої пластини в процесі випробувань, кулачок 5 і упор 6 призначені для безударного прикладання навантаження до верхньої пластини. Для ліквідації люфтів в важільному механізмі служить гвинт 11 проміжного важеля 10.

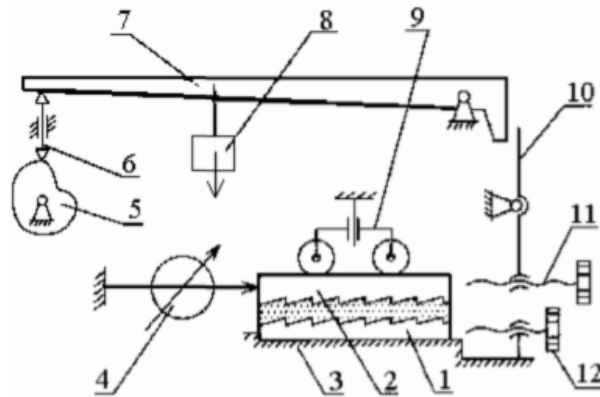


Рисунок 3 - Кінематична схема приладу Д.М. Толстого

### Опис експериментальної установки приладу Вейлера-Ребіндера

На рисунку 4 показана схема приладу Вейлера-Ребіндера. Прилад складається з посуду з паралельними стінками 1, рифленої пластини 2 з хвостовиком, навантажуючого пристрою, що представляє собою вантаж 3, підвішений на нитці 4, перекинutoї через блок 5, вимірювального мікроскопа 7, укріпленого на штативі 8. Для вимірювання переміщень на хвостовику пластини нанесені риси, які знаходяться в полі зору вимірювального мікроскопа. Ціна ділення шкали мікроскопа - 0,1 мм.

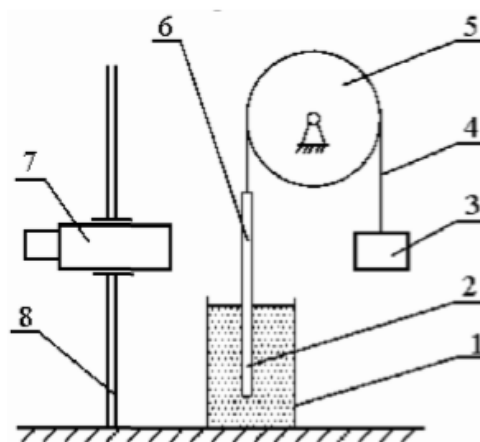


Рисунок 4 - Кінематична схема приладу Вейлера-Ребіндера

### 4. Обробка результатів