

УДК 664.788+631.171

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУГ РУЙНУВАННЯ ЗЕРНА

Ялпачик О.В., аспірант,*

Самойчук К.О., к.т.н.,

Гвоздєв О.В., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: (0619) 42-13-06

Анотація – проаналізовані сили та напруги в зернах пшениці та кукурудзи при їх руйнуванні.

Ключові слова – напруга, сила, руйнування, зерно.

Постановка проблеми. Руйнування в тілах починається з утворення субмікроскопічних тріщин, тобто з розбіжності двох сусідніх атомних шарів на відстань, при якій сили міжатомного тяжіння стають зневажливо малими. Якщо величина тріщини приймає розміри на декілька порядків більше, ніж розміри найбільшого із структурних елементів тіла, то вона перетворюється на макротріщину [1, 2].

Руйнування може бути частковим або повним. При частковому руйнуванні в тілі можуть виникати одна або декілька тріщин, які можуть змінювати механічні характеристики тіла. При повному руйнуванні відбувається розподіл тіла на частини. Умисний розподіл тіла на дрібніші частки під дією механічної (чи іншої енергії), що підводиться до нього, називається дробленням або подрібненням [3].

Аналіз останніх досліджень. Аналізуючи дані, приведені в джерелах [1, 2, 4], можна зробити висновок, що руйнування твердих тіл під дією зовнішніх сил відбувається, в основному, за наявності в тілі хоч би однієї з трьох умов:

- локальне перенапруження поверхневих мікрооб'ємів при прикладенні зовнішніх сил. При цьому в структурі мікрооб'єму спочатку відбуваються розриви зв'язків, а потім утворюється тріщина. Вірогідність розриву зв'язків в місцях перенапруження значно вища, ніж на інших ділянках тіла;

- наявність в структурі тіла дефектних місць (включення неоднорідностей, порожнеч та ін.), які не є концентраторами напруги, але ще перед прикладенням навантаження послабляють

© Ялпачик О.В., аспірант, Самойчук К.О., к.т.н., Гвоздєв О.В., к.т.н.

* Науковий керівник – к.т.н., доц. Гвоздєв О.В.

міжмолекулярні зв'язки і структуру тіла;

- розвиток в тілі великих пружних або пластичних деформацій. При цьому в тілі спостерігається розрив нормально-напружених зв'язків в місцях великих деформацій.

Руйнування твердих тіл є ступінчастим процесом, який починається значно раніше за появу видимих тріщин. Нині немає єдиної теорії руйнування, тому для різних фізичних станів тіл і умов руйнування приймаються різні моделі руйнування. Основними видами руйнування є [1, 4, 5, 6]:

- крихке руйнування без залишкових деформацій уповодж знову утворених поверхонь. Такий тип руйнування властивий матеріалам в склоподібному стані;

- пластичне руйнування. Воно відбувається при значних пластичних деформаціях в результаті втрати здатності опору пластичної деформації. При рості дотичної напруги пластична деформація завершується зрізом, а спільно з нормальною напругою – відривом;

- втомне руйнування. Цей вид руйнування обумовлений поступовим наростанням мікрошкоджень в структурі тіла при його циклічному навантаженні. В результаті циклічних навантажень межа міцності матеріалів знижується у декілька разів [1, 7]. Руйнування природних композитів значно відрізняється від руйнування тіл з однорідною структурою.

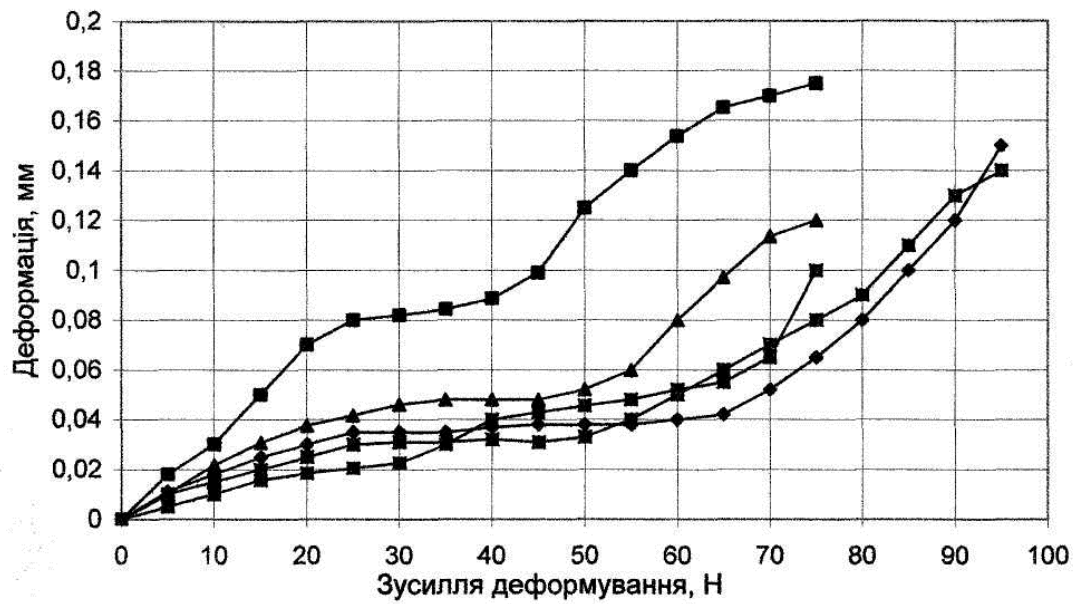
Нині добре вивчені міцносні характеристики матеріалів при їх одновісному вантаженні. З метою використання міцносних характеристик, отриманих при одновісному напруженому стані, для визначення характеристик того ж матеріалу при складному напруженому стані введені критерії руйнування - теорії міцності.

Механіка руйнувань розглядає різні моделі руйнувань при великих і малих деформаціях, втраті стійкості і теорію тріщин. За допомогою основних закономірностей механіки руйнування можна не лише пояснити різні явища при руйнуванні, але і прогнозувати умови руйнування.

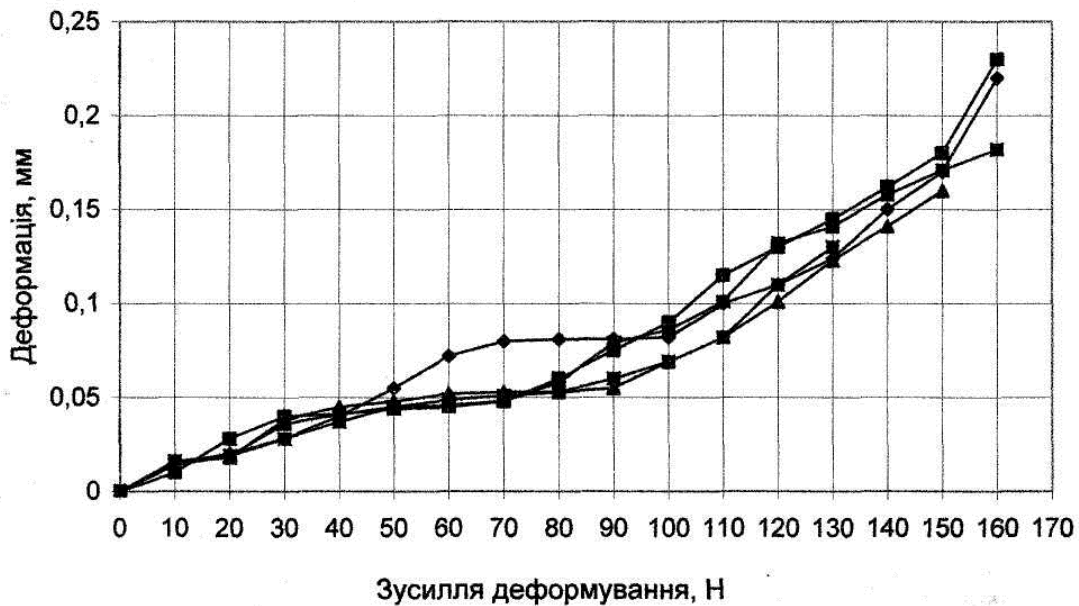
Основна частина. Проведені нами дослідження навантаження зерен пшениці і кукурудзи послідовно збільшуваним навантаженням (рис. 1) показали, що при навантаженні крихкого тіла, що малодеформується, деформація його пропорційна величині напруги аж до межі міцності, після чого зерно руйнується.

При пластичному руйнуванні зовнішні зусилля викликають в руйнованому матеріалі нормальну і дотичну напругу. Слід зазначити, що крихкість і пластичність (в'язкість) не є незмінними властивостями більшості матеріалів, а визначаються лише їх фізичним станом, в яких матеріал може знаходитися при різних температурах, умовах

вантаження і так далі.



Пшениця



Кукурудза

Рис.1. Графіки залежності деформації зерниці від зусилля деформування.

Особливе місце в механіці руйнування займає теорія тріщин, оскільки вона формулює умови локального руйнування в даній точці тіла. Встановлено, що утворенню тріщини передують певний період часу накопичення мікродфектів в зоні руйнування [2]. Однією з найважливіших сторін теорії тріщин є використання ефекту нерівномірного розподілу напруги при утворенні тріщин під дією зовнішніх навантажень. Згідно цієї теорії саме у вершині тріщини має

місце найбільша концентрація напруги, і, отже, вершина тріщини є найбільш можливим місцем подальшого руйнування тіла [1, 2, 4]. У зв'язку з цим цікаве питання про напружений стан матеріалу в зоні, безпосередньо прилеглий до місця руйнування. Значний вплив на розподіл напруги у вершині тріщин робить також напрям зміщення знову освічених поверхонь (берегів) тріщини.

Вираження для визначення полів напруги і полів деформацій поблизу вершини тріщини при різних видах зміщення її берегів описуються за допомогою математичної теорії тріщин, запропонованою Мусхелишвілі Н.И. [8].

Якщо помістити точку початку полярних координат r і θ у вершині тріщини (рис. 2) і представити напружений стан елементарного об'єму зерна в області вершини тріщини, то напружений стан і переміщення елементарного об'єму в довільній точці M при руйнуванні зерна (відривне руйнування) описується рівняннями математичної теорії тріщин [1, 2]

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \cdot \sin \frac{3\theta}{2} \right), \quad (1)$$

$$\sigma_z = \mu (\sigma_x + \sigma_y), \quad (2)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{3\theta}{2}, \quad (3)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{yx} = 0, \quad (4)$$

де $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – нормальні напруги у зернівці, Па;

$\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ – дотичні напруги у зернівці, Па;

K_I – коефіцієнт інтенсивності напруги в даній точці об'єму, прилегло до вершини тріщини;

r – відстань від вершини тріщини до точки M ;

μ – коефіцієнт Пуассона;

θ – кут між віссю X і радіус-вектором r .

Коефіцієнт інтенсивності напруги K_I може бути визначений через коефіцієнт концентрації напруги K в околиці вершини надрізу

$$K_I = 0,5 \cdot \sqrt{\pi} \cdot \sigma_{max} \cdot \sqrt{\rho} = 0,5 \cdot \sqrt{\pi \rho} \cdot K \cdot \sigma_{ном}, \quad (5)$$

де σ_{max} – напруга у вершині надрізу;

$\sigma_{ном}$ – величина розтягуючої напруги у вершині надрізу;

ρ – радіус округлення у вершині, м.

Рівняння (1) і (3) мають сингулярний член $1/\sqrt{r}$ і при їх рішенні отримуємо, що величина розтягуючої (що зрушують) напруги в області вершини тріщини прагне до нескінченності. Це означає, що руйнування зерна в області, прилеглий до вершини тріщини, настає при будь-якій незначній величині зовнішнього зусилля.

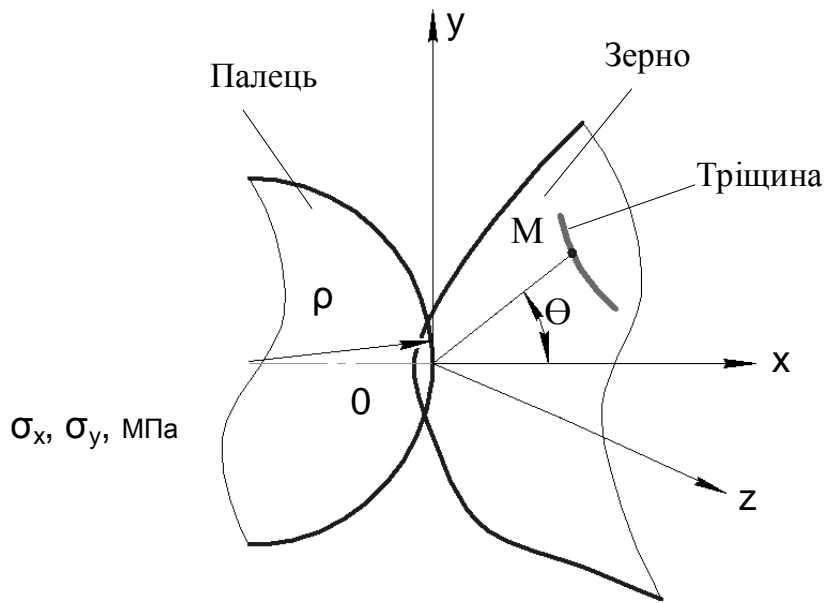


Рис.2. Схема розподілення напруг вздовж вісі X при утворенні тріщини у зернівці.

У ідеальному твердому і крихкому тілі процес утворення тріщини необхідно розділяти на два абсолютно різних за своєю природою етапу зародження тріщини і її поширення [2, 4].

По формулах (1-4) зробимо розрахунки напруги при утворенні тріщин в зерні пшениці і кукурудзи. Результати розрахунків представлені графіками змін напруги від радіуса r (рис. 3-5).

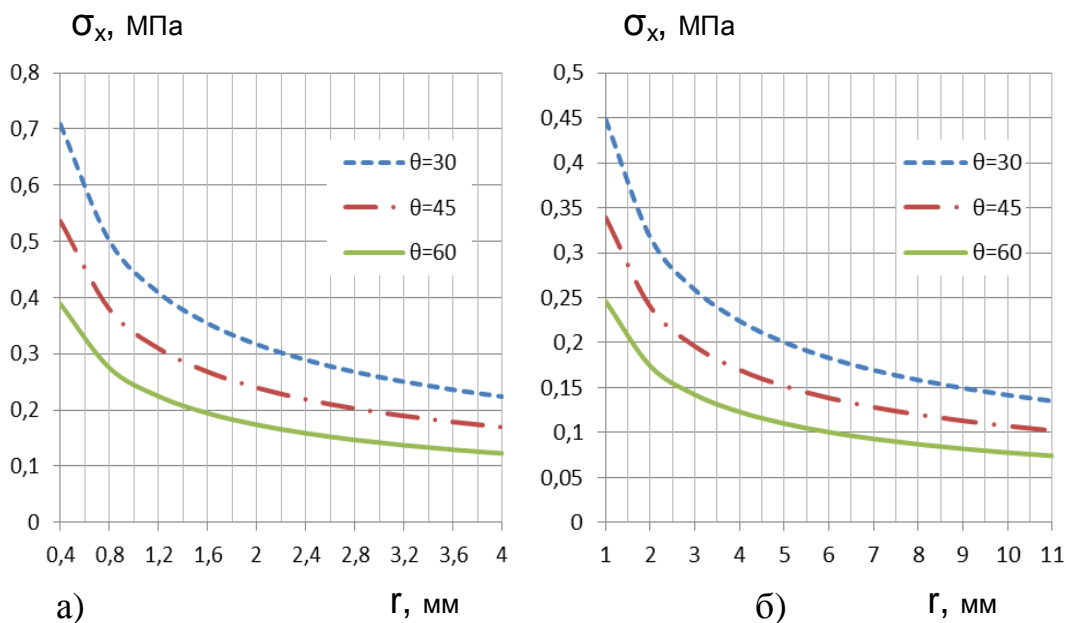


Рис.3. Залежність σ_x, σ_y від відстані r для: а) пшениці, б) кукурудзи.

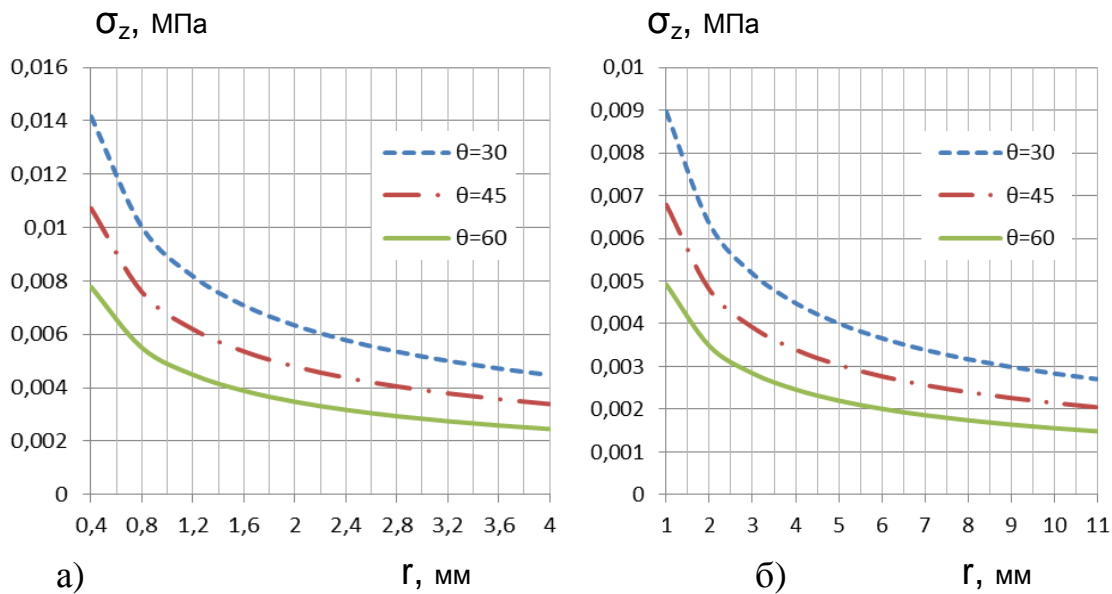


Рис.4. Залежність σ_z від відстані r для: а) пшениці, б) кукурудзи.

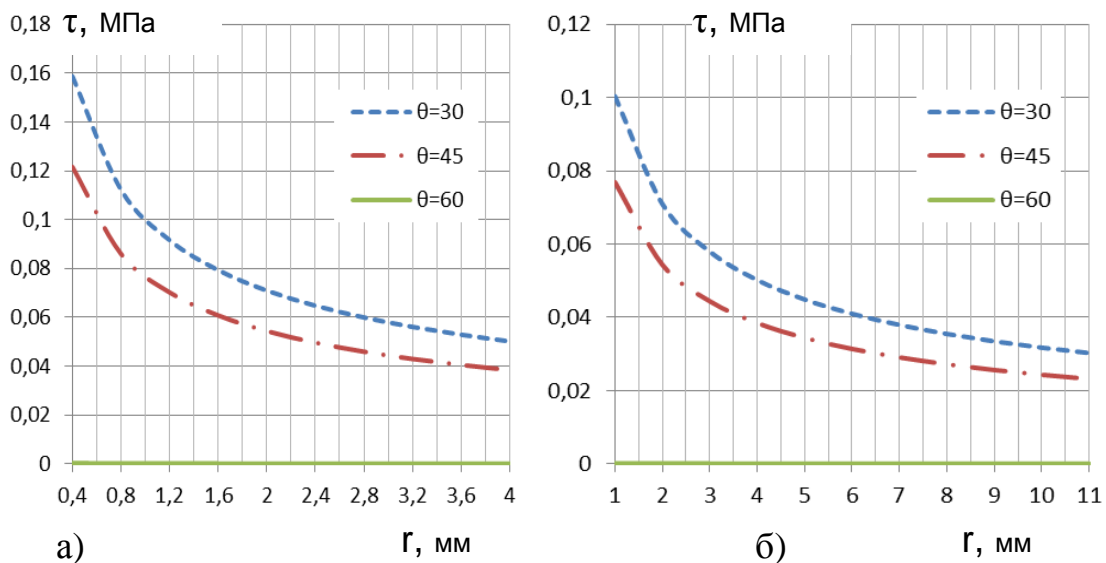


Рис.5. Залежність τ від відстані r для: а) пшениці, б) кукурудзи.

З графіків (див. рис. 3-5) можна побачити, що потік напружень спрямований до вершини тріщини викликає різке зростання напруг у цій зоні. Інтенсивність пружної енергії, що вивільнюється та швидкість її розповсюдження у вершину тріщини при здійсненні удару залежить від рівня внутрішніх напружень (деформацій) у зернині, але не перевищує швидкість розповсюдження у даному середовищі хвиль Релея [1, 2]. Напруга у вершині тріщини має кінцеве значення.

Висновки. Порівняння результатів визначення напруг за формулами (1-4) і графіками деформації зерна від зусилля деформації (напряга деформації знаходилась як відношення сили деформації до площі перерізу зерна), показали, що розрахункові значення незначно відрізняються від експериментальних, що дає можливість рекомендувати наведену методику розрахунку для визначення напруг у анізотропних матеріалах.

Література:

1. *Биргер А.И.* Расчет на прочность деталей машин: Справочник / А.И. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1979. - 702 с.
2. *Kapsalis J. G.* Texture Stud. J. G.Kapsalis, I. E.Walker, M. I.Wolf, 1970, 1, p. 464.
3. *Даурский А.Н.* Резание пищевых материалов / А.Н. Даурский, Ю.А. Мачихин. - М.: Пищ. пром-сть, 1980. - 240 с.
4. Разрушение твердых полимеров / Под ред. Б. Роузена; Пер. с англ. - М.: Химия, 1971.-523 с.
5. *Огибалов П.М.* Механика полимеров / П.М. Огибалов, В.А. Ломакин, В.П. Кишкин. - М.: Изд-во МГУ, 1975. - 518 с.
6. *Эпнер Ф.* Колбасное производство / Ф. Эпнер. - СПб., 1987. - 112 с.
7. *Степанов Г.В.* Упругопластическое деформирование материалов под действием импульсных нагрузок / Г.В. Степанов. - Киев: Наукова думка, 1979.-268 с.
8. *Гольберг И.И.* Механическое поведение полимерных материалов / И.И. Гольберг. - М.: Химия, 1970. - 190 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ РАЗРУШЕНИЯ ЗЕРНА

Ялпачик Е.В., Самойчук К.О., Гвоздев А.В.

Аннотация - проанализированы силы и напряжения в зернах пшеницы и кукурузы при их разрушении.

DETERMINATION OF TENSIONS OF DESTRUCTION OF GRAIN

O. Yalpachik, K. Samoychuk, A. Gvozdev

Summary

An annotation is the analysed forces and tensions in grains of wheat and corn at their destruction.