

УДК 539.375

В.В. Божидарнік, В.М. Садівський
ПРО ДЕЯКІ ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ
НАПРУЖЕНО – ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ І ГРАНИЧНОЇ РІВНОВАГИ
КОМПОЗИЦІЙНИХ ТІЛ З ДЕФЕКТАМИ ТИПУ ТРІЩИН

Проводиться огляд досліджень напружено-деформованого стану, який передує руйнуванню в околі точок звороту гострокінцевих вирізів і включень різної природи, а також аналізуються спроби визначення граничного навантаження, по досягненню якого наступає локальне руйнування (утворення макротріщини) біля гострокінцевого включення чи поширення існуючої тріщини. Зроблено висновки про застосування ізотропних моделей розрахунку до анізотропних конструктивних елементів.

Ключові слова: анізотропія, ортропія, гранична рівновага.

Лім. 22.

В.В. Божидарник, В.М. Садивский
О НЕКОТОРЫХ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ
ИССЛЕДОВАНИЙ НАПРЯЖЕННО - ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И
ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТЕЛ С ДЕФЕКТАМИ ТИПА
ТРЕЩИН

Проводится обзор исследований о напряженно-деформированном состоянии предшествующем разрушению в окрестностях точек возврата остроконечных вырезов и включений различной природы, а также анализируются способы определения предельной нагрузки, по достижению которой наступает локальное разрушение (появление макротрещины) возле остроконечного включения или распространения существующей трещины. Сделаны выводы о применении изотропных моделей расчёта к анизотропным конструктивным элементам.

Ключевые слова: анизотропия, ортропия, предельное равновесие

V. Bozhidarnik, V. Sadvivskiy
SOME THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH RESULTS OF THE STRESS -
STRAIN STATE AND LIMITING BALANS OF COMPOSITR BODIES WITH DEFECTS SUCH
AS CRACKS

It is provided an overview of the study on the stress-strain state in the vicinity of the previous destruction of cusps sharp-pointed notches and inclusions of different nature and it is explored ways to determine the ultimate load at which local failure occurs (the appearance of a macrocrack) near the sharp-pointed inclusion or dissemination of existing cracks. The conclusions about the use of isotropic models for calculating anisotropic structural elements are made.

Keywords: anisotropy, ortropiya, limit equilibrium

Метод чисельного розв'язку задачі про напружено-деформований стан обмежених тіл з розрізами і застосування його до задачі про центральну тріщину у скінченній прямокутній ортропній пластині розглянуто в [1]. Показано [2], що у безконечному ортропному тілі із прямолінійними колінеарними тріщинами у випадку самоврівноваженого навантаження коефіцієнти інтенсивності напружень співпадають з коефіцієнтами інтенсивності для ізотропного тіла. Для достатньо довгої пластинки навіть для суттєво ортропного матеріалу вплив анізотропії на коефіцієнти інтенсивності напружень незначний. У випадку несамозрівноваженого навантаження такий висновок не справджується.

А.І. Зобнін, Е.В. Ломакін [3] вивчали можливість використання коефіцієнтів інтенсивності напружень в ізотропному тілі при обчисленні аналогічних величин в ортропній смузі із прямолінійною тріщиною. Вони показали, що при обчисленні коефіцієнтів інтенсивності для прямолінійної тріщини-розрізу в ортропній смузі можливе застосування ізотропного К-тарування навіть для сильно анізотропних матеріалів (деревина, вуглепластик).

Л.А. Фільштинський [4] знайшов загальний вираз коефіцієнтів інтенсивності напружень поблизу вершини криволінійної тріщини нульового розкриття (наприклад, для розрізу по дузі еліпса) в анізотропній пластині. Розв'язано також декілька трьохмірних задач. Кассіра і Сі [5] розглянули задачу про еліптичну тріщину, поверхня якої перпендикулярна до осі пружної симетрії трансверсально-ізотропного тіла. Приведено поле напружень в околі тріщини при симетричному і антисиметричному навантаженні тіла. В огляді [6] статті Кассіра і Сі [5] автором доповнені результати роботи [7] про коефіцієнти інтенсивності і розподіл напружень у зоні еліптичної тріщини в трансверсально - ізотропному тілі.

У [8, 9] досліджувався поздовжній зсув анізотропного циліндричного тіла, що містить тріщину у площині симетрії, нормальну до твірних тіла. Розглянуті випадки полярної і прямолінійної анізотропії пружних властивостей. Відмітимо, що у співвідношеннях, які визначають локальний розподіл напружень, особливості напружень по даних робіт Чепкіса, Вільямса [9] і Сі [8] не співпадають між собою. При дослідженні поля напружень і переміщень у випадку антиплоскої деформації анізотропного тіла з тріщиною слід використовувати роботу Сі [8], яка вийшла пізніше.

Для оцінки граничної рівноваги анізотропної пластини з тріщиною А.М. Михайлов [10] розглядає задачу про рівновагу тріщини зсуву у однонаправленому склопластику, який розтягується вздовж волокон на безконечності. Тріщина зсуву перпендикулярна до тріщини нормального розриву, утвореної розривом одного чи декількох волокон і проходить через її вершину.

А.Н. Полілов і Ю.Н. Работков [10], А.Н. Полілов [11] вивчають руйнування анізотропних пластин з гладкими отворами і тонкими надрізами. У випадку тріщин в сильно ортропній пластині пропонується критерій міцності при розтязі, який полягає в тому, що гранична рівновага пластини досягається для деякого критичного значення комбінації напружень у площині, зв'язаній з головними напрямками пружності. Зроблені висновки про міцнісні властивості анізотропного тіла з отвором, що розтягується під кутом до напрямку більшої жорсткості матеріалу, про оптимальні міцнісні і пружні властивості матеріалу.

Тірош [12] з допомогою методу кінцевих елементів вивчає вплив пластичності і затуплення тріщин на розподіл напружень в ортропних матеріалах. Виконаний розрахунок розміру пластичної зони в околі вершини тріщини і проведені експериментальні дослідження.

Сі і ін. [13, 14] для оцінки міцності анізотропного матеріалу рекомендують застосовувати критерій мінімуму густини локальної енергії деформації, що накопичена в вершині тріщини. Для різних ортропних матеріалів знаходився вплив неоднорідності матеріалу з допомогою моделі ізотропного тіла з тріщиною армованою волокнами на деякій віддалі від вершини тріщини. Вважається, що пластина досягне граничної рівноваги в тому випадку, коли густина локальної енергії деформації досягне граничного значення $W=W_{кр}$, при чому це граничне значення необґрунтовано приймається незалежним від вибраного напрямку відносно головних осей пружної симетрії матеріалу. Очевидно, що постійність $W_{кр}$ має місце лише для матеріалів, ізотропних відносно міцнісних властивостей, а розглядувані у [14] волокнисті композити суттєво анізотропні по пружних і міцнісних характеристиках.

Виходячи із співвідношень для швидкості зміни енергії при поширенні тріщини [15], проведена значна кількість досліджень для визначення в'язкості руйнування тіл з тріщиною, що співпадає з головними напрямками пружності матеріалу. Ву [16] поряд із в'язкістю руйнування для тріщини відриву K_{1c} , вводить в'язкість руйнування для тріщини поперечного зсуву K_{2c} , а Сейнт Джон і Стріт [17] – K_{3c} для тріщини поздовжнього зсуву. В цих результатах експериментальні значення K_{2c} і K_{3c} , відповідно, значно більші теоретичних. Ву [16] пояснює це тим, що спостережуване значення K_{2c} перевищує теоретичне через добавлення напружень, що сприймаються волокнами, не зруйнованими у процесі стрибкоподібного росту тріщини. Неспівпадіння теоретичного і експериментального значень K_{3c} автори роботи [17] пояснюють незастосовністю критерію постійності енергії руйнування при даному типі деформації. На нашу думку, основною причиною розбіжності між теорією і експериментом є те, що використання критерію постійності енергії руйнування припускає обов'язкове поширення тріщини у своїй площині, а при поперечному (K_{2c}) і поздовжньому (K_{3c}) зсувах початкове руйнування, як правило, іде під деяким кутом до початкового дефекту.

У роботах [18, 19] досліджені матеріали, ізотропні відносно пружних і ортропні відносно міцнісних властивостей. Припускається, що тріщина починає поширюватись у напрямку, для якого нормальні розтягуючі напруження досягнуть граничної інтенсивності раніше, ніж у інших напрямках. При цьому гранична інтенсивність залежить від кута орієнтації тріщини відносно головних осей міцності матеріалу (осі максимального і мінімального значення в'язкості руйнування). Побудовані діаграми міцності для матеріалів із міцнісною ортропією [19]. У [20] приведені експериментальні дані про трьохточковий згин ортропних зразків з тріщинами. Приводиться графік зміни роботи руйнування для тіла з тріщиною, орієнтованою під деяким кутом до напрямку головних осей симетрії.

Деякі відомості про тормозіння тріщини в анізотропних матеріалах приводились у монографії А. Келлі [21], зібрані у довіднику «Руйнування» під ред. Г. Лібовіца, а також у книзі

В.М. Фінкеля [22]. У даних дослідженнях вивчаються критеріальні умови поширення крихкого руйнування в тілах в анізотропією пружних та міцнісних властивостей, які дають точнішу модель для розрахунку міцності таких матеріалів.

1. *Bowie O.L., Freese C.E.* Central crack in orthotropic rectangular sheet. – Intern.journ.fracture mechanics. – 1972. t.8, 1, p.49-58.
2. *Walsh P.F.* Linear fracture mechanics in orthotropic materials. – Engineering fracture mechanics. – 1972, t.4,3, p. 533-541.
3. *Зобнин А.И., Ломакин Е.В.* Центральная поперечная трещина в ортропной упругой полосе. – Известия АН СССР. Механика твердого тела. – 1974. -1. – С. 44-51.
4. *Фільштинський Л.А.* Пружна рівновага плоского анізотропного середовища, ослабленого криволінійними тріщинами. Граничний перехід до ізотропного середовища. – Известия АН СССР. Механика твердого тела. – 1976-5. – С. 91-97.
5. *Kassir M.K., Sih G.C.* Three dimensional stresses around elliprical cracks in transversely isotropic solids. – Engineering fracture mechanics. – 1968-1.p. 327-345.
6. *Чен В.Т.* Трехмерное распределение напряжений вблизи эллиптической трещины при произвольных нагрузках. – Прикладная механика, сер.Е. – 1967 – 3. – С. 140-142.
7. *Chen W.T.* On some aspects of a flat elliptical crack under shear stress. – Journ.of mathematics and physics. – 1966 - 45(june), p. 213-223.
8. «Математические основы разрушения» в «Разрушении» под ред.Г.Либовица. – Москва. – Мир – 1975, т.2., – 769с.
9. *Chapkis R.L., Williams M.L.* Proceeding of the 3-rd U.S.National Congress for Applied mechanics. – 1958, p. 281-286.
10. *Полилов А.Н., Работнов Ю.Н.* Разрушение около боковых выточек композитов с низкой сдвиговой прочностью. – Известия АН СССР, Механика твердого тела, 1976, – С. 112-119.
11. *Полилов А.Н.* Торможение трещины поверхностью раздела. – Известия АН СССР. – Механика твердого тела. – 1974-1, С.68-72.
12. *Тирош Д.* Влияние пластичности и затупления трещин на распределение напряжений в ортотропных композитных материалах. Прикладная механика, с.Е. 1971, 2, с.149-155.
13. *Sih G.C., Chen E.P., Huang S.L.* Fracture mechanics of plastic fiber composites. Engineering fracture mechanics, 1974, 6, 2, p.343-359.
14. *Sih G.C., Chen E.P., Huang S.L., McQuillen E.I.* Material characterization of the fracture of filament-reinforced composites. Journal of composite materials, 1975 (April), v9, p. 167-186.
15. *Sih G.C., Paris P.C., Irwin G.R.* On cracks in rectilinearly anisotropic bodies. Internat.Journal of fracture mechanics, 1965, t.1,3, p. 189-203.
16. *Wu E.M.* Application of fracture mechanics to anisotropic plates. Journal of applied mechanics. Trans. ASME, S.E., Dec.1967, t.34,4, p. 967-974.
17. *Saint-John C.F., Street K.N.* B-Al composite failure under combined torsion and tension loading. Journal of composite materials, 1974, (july), 8, p. 266-274.
18. *Романив О.Н., Косычин Р.С.* О несущей способности анизотропной пластины с произвольно ориентированной трещиной. Физико-химическая механика материалов, 1968, 4, – С.408-412.
19. *Ярема С.Я., Крестин Г.С.* Построение диаграмм предельных напряжений для анизотропных хрупких материалов. Физико-химическая механика материалов, 1968, 4, – С. 420-423.
20. *Ellis C.D., Harris B.* The effect of specimen and testing variables on the fracture of some fiber reinforced epoxy resins. Journal of composite materials, 1973 (January), t.7, p. 76-88.
21. *Келли А.* Высокопрочные материалы. – Москва: Мир, 1976. – 261 с.
22. *Финкель В.М.* Физические основы торможения разрушения. Москва, 1977. – 359 с.

Стаття надійшла до редакції 24.04.2013.