

На правах рукопису

МАРЧЕНКО
Григорій Петрович

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ДВОВИМІРНИХ ЗАДАЧ
МАТЕМАТИЧНОЇ ТЕОРІЇ ТРІЩИН
ПРИ КОНТАКНІЙ ВЗАЄМОДІЇ ТВЕРДИХ ТІЛ

Спеціальність: 01.02.04 — механіка деформівного твердого тіла

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00777594 (\$)

Робота виконана у Фізико-механічному інституті

ім. Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів

Навчальний керівник - кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
ДАЦИШИН Олександра Петрівна

Навчальні опоненти - доктор фізико-математичних наук,
професор КАМІНСЬКИЙ Анатолій Олексійович
кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
БЕРЕЖНИЦЬКИЙ Лев Теодорович

Провідна установа - Державний університет
"Львівська політехніка"

Захист відбудеться "12" жовтня 1994 р. о 15 год. на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 016.42.01 при
Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України за
адресою: 290601, м. Львів, МСП, вул. Наукова, 5.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці
Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України.

Автореферат розісланий "7" вересня 1994 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

НИКИФОРЧИН
Григорій Миколайович

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Серед різних форм механічного руйнування твердих тіл найбільш поширеним є поверхневе руйнування, особливо при їх контактній взаємодії. У даний час формується окремий напрям механіки руйнування – механіка контактного руйнування, яка займається вивченням процесів руйнування поверхонь контактуючих тіл. Значний вклад в її становлення внесли теоретичними та експериментальними дослідженнями такі вчені, як В.М.Александров, Д.В.Гриліцький, Ю.В.Колесников, І.І.Кудіш, А.Л.Майстренко, М.А.Махутов, Є.М.Морозов, С.В.Пінегін, Г.Я.Попов, М.П.Саврук, Г.М.Сорокін, Л.А.Сосновський, Г.П.Черепанов, J.R.Barber, A.F.Bower, M.D.Bryant, M.Comninou, M.C.Dubourg, P.R.Edwards, F.C.Frank, T.Goshima, K.L.Johnson, N.Hasebe, H.Hertz, D.A.Hills, M.Kaneta, L.M.Keer, B.R.Lawn, Y.Murakami, K.J.Nix, F.C.Roesler, A.R.Rosenfield, S.D.Shepard, N.P.Suh, T.E.Tallian, B.Villechaise, R.V.Waterhouse, T.R.Wilshaw та інші.

Практичне використання механіки контактного руйнування в основному розвивається в двох напрямках. Перший напрямок полягає у визначенні механічних властивостей матеріалів шляхом втискування індентора до появи поверхневих тріщин. Другий пов'язаний з розробкою теорій зношування в різних аспектах його проявів, якщо пояснювати зношування як формування і відокремлення фрагментів матеріалу з поверхні тіла за рахунок тріщиноутворення. Серед актуальних проблем інженерної практики слід, насамперед, виділити проблему контактної втоми при коченні твердих тіл, а також проблему фретинг-втоми матеріалу в місці защемлення деталі (або її контакту з іншою деталлю).

У зв'язку з цим виникає потреба в розробці ефективних методів розв'язання задач математичної теорії тріщин при контактній взаємодії твердих тіл. З другого боку, дослідження напружено-деформованого стану контактуючих тіл з тріщинами, а також знаходження траєкторій тріщин та коефіцієнтів інтенсивності напружень (KIH) вздовж них є теоретичною основою розрахунків на контактну міцність і довговічність. Актуальність теми дисертаційної роботи підтверджується її внесенням до недавно сформованої "Програми співробітництва між урядом Республіки Індія та урядом України в галузі науки і технології на 1993-1996 рр."

Метою дисертаційної роботи є розвиток методу сингулярних інтегральних рівнянь (СІР) стосовно до розв'язування двовимірних задач механіки контактної руйнування; побудова СІР деяких крайових задач теорії пружності для півплощини з системою криволінійних розрізів як найпростішої модельної області для реального тіла; розробка моделі для оцінки залишкової довговічності поверхні кочення; чисельний аналіз ряду задач для півнескінченної пластини з тріщиною при її статичному контактному навантаженні або циклічному навантаженні з елементами оцінки контактної міцності та довговічності, а також формулювання на його основі висновків механічного характеру.

Загальна методика досліджень. Для розв'язання двовимірних задач теорії тріщин при контактній взаємодії твердих тіл використовується метод СІР. При постановках задач вважається, що в порівнянні з радіусом кривини контактуючої поверхні тіла характерний лінійний розмір площадки контакту та довжини

приповерхневих тріщин малі, і як модельна область вибрана пружна ізотропна півплощина з криволінійними розрізами; контактний вплив на тіло з боку іншого тіла (контртіла) моделюється дією зовнішніх зусиль з врахуванням типу контактної взаємодії. Для знаходження чисельних розв'язків СІР задач застосовується метод механічних квадратур.

Наукова новизна та достовірність. Новизна роботи полягає в розв'язанні нового класу задач механіки руйнування, пов'язаних з руйнуванням поверхонь твердих тіл при їх контактній взаємодії. Побудовані СІР контактних задач теорії пружності для ізотропної півплощини з системою криволінійних розрізів при дії на границі півплощини зусиль, розподілених вздовж лінії контакту довільним чином, або штампу з плоскою горизонтальною основою; розроблена модель для оцінки залишкової довговічності поверхні кочення при сухому терті в контакті. На основі чисельного аналізу ряду задач для півнескінченної пластини з тріщиною встановлені деякі закономірності розвитку приповерхневих тріщин при різних видах контактної взаємодії твердих тіл.

Достовірність отриманих у роботі результатів забезпечується коректністю постановок задач, математичною строгістю їх розв'язання, а також підтверджується збіжністю чисельних розв'язків і їх узгодженням з відомими в літературі теоретичними та експериментальними результатами.

На захист виносяться наступні положення:

1. Встановлені СІР контактних задач теорії пружності для:
 - а) півплощини з системою криволінійних розрізів, на границі якої діють контактні зусилля, розподілені вздовж лінії

контакту довільним чином;

б) півплощини з системою криволінійних розрізів, у границю якої втискується штамп з плоскою горизонтальною основою.

2. Модель для оцінки залишкової довговічності поверхні кочення при сухому терті в контакті.

3.1. Чисельний аналіз задач при статичній постановці про:

а) дію зосередженої сили на границі півплощини з крайовою прямолінійною тріщиною;

б) втискування без тертя штамп з плоскою горизонтальною основою в півплощину, послаблену внутрішньою вертикальною тріщиною.

3.2. Чисельний аналіз задач при циклічному навантаженні про:

а) розвиток у півплощині за механізмом нормального відриву початково прямолінійної крайової або внутрішньої тріщини при одноосному розтязі на нескінченності;

б) розвиток у півплощині за механізмом нормального відриву або поперечного зсуву крайової початково прямолінійної тріщини при повторному поступальному переміщенні вздовж краю півплощини зосередженої сили;

в) розвиток у півплощині за механізмом нормального відриву крайової початково прямолінійної тріщини під дією рівномірно розподіленого тиску на її берегах;

г) розвиток у півплощині за механізмом нормального відриву крайової початково прямолінійної тріщини при дії на її берегах нормальних зосереджених сил.

4. Висновки механічного характеру, сформульовані на основі отриманих числових результатів.

Практична цінність. Отримані в роботі результати мають

теоретичне значення в галузі механіки контактного руйнування, а також можуть бути використані в машинобудуванні, будівництві, залізничному транспорті при оцінці контактної міцності та довговічності деталей машин та елементів конструкцій.

Деякі числові результати увійшли в довідковий посібник у 4-ох томах "Механика разрушения и прочность материалов" (Т. 2: Коэффициенты интенсивности напряжений в телах с трещинами/ Саврук М.П. - Киев: Наукова думка, 1988. - 620 с.).

Апробація роботи. Основні положення та результати роботи доповідались і обговорювались на II конференції молодих вчених і спеціалістів "Проблеми підвищення якості матеріалів, приладів і обладнання" (Львів, 1986), на I Всесоюзній конференції "Механіка руйнування матеріалів" (Львів, 1987), на XIV конференції молодих вчених Фізико-механічного інституту НАН України (Львів, 1989), на IV Всесоюзній конференції "Змішані задачі механіки деформівного тіла" (Одеса, 1989), на Всесоюзній конференції "Інтегральні рівняння і крайові задачі математичної фізики" (Владивосток, 1990), на III Всесоюзному симпозиумі по механіці руйнування (Житомир, 1990), на XVI та XVII наукових конференціях молодих вчених Інституту механіки НАН України (Київ, 1991, 1992), на VIII Міжнародній конференції по руйнуванню (Київ, 1993).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 17 друкованих робіт.

Структура дисертації. Дисертація складається з передмови, вступу, п'яти глав, підсумків і містить 201 сторінку, у тому числі 41 рисунок, 7 таблиць та список літератури з 156 найменувань.

ЗМІСТ РОБОТИ

У передмові обгрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, визначена мета роботи, виділені основні положення, які виносяться на захист, а також поданий короткий зміст роботи.

У вступі міститься огляд робіт по плоских задачах теорії пружності для півнескінченних ізотропних тіл з тріщинами, які близько примикають до теми дисертаційної роботи.

Перша глава має допоміжний характер. У ній подані деякі загальні відомості з теорії аналітичних функцій, а також основні співвідношення плоскої задачі теорії пружності. Стисло викладений метод СІР стосовно до плоских задач теорії пружності для ізотропних тіл з тріщинами (В.В.Панасюк, М.П.Саврук, О.П.Дацишин), і розглянутий чисельний спосіб розв'язання цих рівнянь методом механічних квадратур.

Друга глава присвячена побудові СІР крайових задач теорії пружності для ізотропної півплощини з системою криволінійних розрізів, які використовувались у наступних главах при дослідженні процесів поверхневого руйнування контактуючих тіл.

Спочатку розглядається відома (М.П.Саврук; N.I.Ioakimidis, P.S.Theocaris) задача для півплощини з системою M криволінійних тріщин L_n ($n = \overline{1, M}$), на берегах яких задані несамозрівноважені зусилля. КІН у вершинах тріщин виражаються через шукані похідні від розривів зміщень $g'_n(\tau_n)$ при переході через контури L_n за формулою

$$K_{I_n}^+ - K_{III_n}^+ = \mp \lim_{\tau_n \rightarrow l_n^{\pm}} \left[\sqrt{2\pi|\tau_n - l_n^{\pm}|} g'_n(\tau_n) \right], \quad \tau_n \in L_n, \quad n = \overline{1, M}, \quad (1)$$

де знак "-" відноситься до початку (l_n^-), а знак "+" до кінця (l_n^+) тріщини. Зокрема, записане сингулярне інтегральне

рівняння задачі для півплощини з однією криволінійною тріщиною, а також розглянута методика чисельного розв'язання рівняння для випадків як внутрішньої, так і крайової тріщин. Слід зауважити, що в роботі використовувалась спрощена схема (В.В.Панасюк, М.П.Саврук, О.П.Дацишин) чисельного розв'язання інтегральних рівнянь задач для крайових тріщин, які крім ядер Коші містять також ядра з нерухожими особливостями.

На основі інтегрального зображення комплексних потенціалів напружень для півплощини з криволінійними розрізами (М.П.Саврук), а також потенціалів, обумовлених зовнішнім навантаженням у суцільній півплощині (М.І.Мухомелішвілі), побудовані СІР задачі для півплощини з системою M криволінійних тріщин, до границі якої прикладене контактне навантаження. Вважається, що під дією контактних зусиль береги деяких тріщин L_n ($n = \overline{1, M'}$) на ділянках у зонах стиску контактують, а інші тріщини відкриті. Сукупність ділянок тріщин L_n ($n = \overline{1, M'}$), на яких контакт берегів відсутній, позначалась через $L_n^* = \bigcup_{s=1}^{s_n} a_{ns}^* b_{ns}^*$. Слід зазначити, що границі цих ділянок наперед невідомі і визначаються одночасно з розв'язуванням інтегральних рівнянь задачі з додаткових умов

$$K_{In}(a_{ns}^*) = 0, \quad K_{In}(b_{ns}^*) = 0, \quad n = \overline{1, M'}, \quad s = \overline{1, s_n} \quad (2)$$

методом послідовних наближень. СІР були записані для двох випадків контактування берегів тріщин: повного зчеплення берегів при контакті і гладкого контакту.

З допомогою вище вказаних потенціалів отримані СІР задачі для півплощини з системою криволінійних тріщин, в границю якої втискується штамп з плоскою горизонтальною основою. Шуканими величинами крім похідних від розривів зміщень на контурах

тріщин, як у попередніх задачах, є також контактні зусилля під штампом. Для простоти вважалось, що береги тріщин не контактують, однак не виникає принципових ускладнень і при врахуванні можливого контакту берегів. У роботі розглядалися випадки, коли між штампом і півплощиною мають місце сили тертя, які зв'язані з контактним тиском за законом Кулона (штамп знаходиться в стані граничної рівноваги на зсув), або коли штамп жорстко зв'язаний з півплощиною.

У третій главі в статичній постановці проведений чисельний аналіз деяких контактних задач для півнескінченної пластини з тріщиною.

На початку глави, як допоміжний матеріал, подаються критеріальні рівняння граничної рівноваги тіл (пластин) з тріщинами при складному напруженому стані.

Отриманий чисельний розв'язок задачі для півплощини з крайовою прямолінійною тріщиною, до границі якої в довільній точці прикладена зосереджена сила. Пружний і гранично-рівноважний стан пластини досліджений при різних умовах взаємодії берегів тріщини: відсутність контакту, повне зчеплення при контакті, гладкий контакт. Зокрема, знайдені значення КІН для випадку вертикальної відкритої тріщини добре узгоджуються з відомим аналітичним результатом (D.P.Rooke, D.A.Jones).

Розв'язана задача про втискування без тертя штампу з плоскою горизонтальною основою в півплощину, послаблену приповерхневою внутрішньою вертикальною тріщиною. Встановлено, що для заданої геометрично-силової схеми задачі має місце контакт берегів тріщини по всій її довжині. Числові результати для КІН K_{II}^I отримані в припущенні гладкого контакту берегів

тріщини.

У четвертій главі запропонована загальна схема розрахунку залишкової довговічності твердих тіл при їх контактній взаємодії, основні положення якої полягають у наступному:

- Розвиток втомної тріщини моделюється побудовою траєкторії тріщини покроковим способом на основі методу СІР.

- Ріст тріщини в умовах складного напруженого стану контролюється розмахом параметра K (коефіцієнта інтенсивності напружень змішаного типу) в циклі навантаження. Вважається, що підростання тріщини відбувається при виконанні критеріальної умови

$$\Delta K > \Delta K_{th} \quad (3)$$

в напрямі, який забезпечує максимальну інтенсивність сингулярної частини нормальних або дотичних (в залежності від критерію локального руйнування) напружень у вершині тріщини і визначається кутом

$$\theta_* = f(K_I, K_{II}). \quad (4)$$

Тут $\Delta K = K_{max} - K_{min}$ - розмах параметра K у циклі навантаження, ΔK_{th} - його порогове значення. При цьому критеріальні співвідношення росту втомної тріщини за механізмом нормального відриву запишуться у вигляді

$$\Delta K_{I\theta} > \Delta K_{Ith} \quad (5)$$

і (В.В.Панасюк, Л.Т.Бережницький)

$$\theta_* = 2 \arctg \left[(K_I - \sqrt{K_I^2 + 8K_{II}^2}) / (4K_{II}) \right]. \quad (6)$$

а за механізмом поперечного зсуву - у вигляді

$$\Delta K_{II\theta} > \Delta K_{IIth}; \quad (7)$$

$$2K_{II} \operatorname{tg}^3 \frac{\theta_*}{2} - 2K_I \operatorname{tg}^2 \frac{\theta_*}{2} - 7K_{II} \operatorname{tg} \frac{\theta_*}{2} + K_I = 0, \quad (8)$$

де K_{II} і $K_{I\theta}$ визначаються співвідношеннями

$$K_{I\theta} = \cos^3 \frac{\theta_*}{2} \left[K_I - 3K_{II} \operatorname{tg} \frac{\theta_*}{2} \right]; \quad (9)$$

$$K_{II\theta} = \frac{1}{2} \cos \frac{\theta_*}{2} \left[K_I \sin \theta_* + K_{II} (3 \cos \theta_* - 1) \right]. \quad (10)$$

Умова переходу від руйнування за зсувним механізмом до руйнування відривом (А. Otsuka, К. Mori, Т. Miyata) приймається у вигляді (5).

- За встановленим на кожному етапі розрахунку траєкторії розмахом параметра K на основі однієї з формул, що описують кінетичні діаграми втомного руйнування матеріалів, визначається швидкість просування вершини тріщини

$$v = dl/dN = v(\Delta K(l), C_1, \dots, C_m), \quad (11)$$

де l - довжина тріщини, N - число циклів навантаження, C_1, \dots, C_m - характеристики тріщиностійкості матеріалу.

- Шляхом інтегрування в співвідношенні (11) визначається число циклів N_0 , протягом яких тріщина підостає вздовж траєкторії від початкової до критичної довжини.

Ключовим елементом загальної схеми є алгоритм розрахунку траєкторії розвитку втомної тріщини в умовах складного напруженого стану, який був розроблений на основі методики побудови статичної траєкторії тріщини, запропонованої М.П. Савруком і П.М. Осівим. Цей алгоритм цілком придатний для системи тріщин, а також при галуженні тріщини, коли слід спостерігати за більшою кількістю вершин тріщин, співвимірюючи прирости їх довжин зі швидкостями просування вершин. Зокрема, у випадку

крайової тріщини крок приросту траєкторії задавався сталим.

Як приклад була розглянута задача про розвиток за механізмом нормального відриву крайової початково прямолінійної тріщини в півнескінченній пластині з алкмініювого сплаву Ді6АТ в умовах циклічного розтягу на нескінченності. З допомогою заданої схеми навантаження можна наближено моделювати процес поширення тріщини на другому етапі фретинг-втоми, коли ріст тріщини відбувається головним чином під дією зовнішнього повторно-змінного навантаження, а вплив контактних зусиль, найбільш відчутний у зоні контакту стичних поверхонь, стає малим і ним нехтували. Побудовані траєкторії знаходяться у відповідності з результатами експерименту (P.R.Edwards). Крім того, для тріщин різних орієнтацій встановлено число циклів навантаження, протягом яких вони, поширюючись у глиб пластини, підостають до заданої довжини. Досліджувався також випадок розвитку внутрішньої тріщини в пластині. Зокрема, визначено число циклів навантаження, необхідних для виходу тріщин різних орієнтацій на край пластини.

Особлива увага в дисертаційній роботі приділяється проблемі контактної втоми при коченні, якій присвячена п'ята глава. У загальних зауваженнях коротко висвітлюється стан розв'язання цієї проблеми на даний момент з позицій механіки руйнування. На основі загальної розрахункової схеми, основні положення якої сформульовані в четвертій главі, розроблена модель для оцінки залишкової довговічності поверхні кочення при сухому терті в контакті. Контактний вплив на тіло з боку іншого тіла пари кочення моделюється повторним поступальним переміщенням вздовж границі півплощини контактних зусиль,

розподілених на площадці (лінії) контакту певним чином (еліптичний розподіл, зосереджена сила тощо). При цьому з допомогою дотичних зусиль, зв'язаних з нормальними зусиллями за законом Кулона, враховуються сили тертя, які виникають при проковзуванні тіл. Положення площадки контакту на границі півплощини відносно гирла тріщини задається параметром $\lambda = x_0/l_0$, де x_0 - абсциса центру площадки контакту, l_0 - довжина вихідної тріщини.

Нехай параметр K визначає при заданому λ коефіцієнт інтенсивності напружень змішаного типу, зв'язаний з механізмом локального руйнування у вершині тріщини. У кожному циклі навантаження при переміщенні площадки контакту вздовж границі півплощини (при зміні λ) параметр K змінюється, приймаючи при відповідних λ своє максимальне та мінімальне значення. Вважається, що тріщина підростає тільки при $\lambda = \lambda^*$, яке забезпечує максимальне за абсолютною величиною значення параметра K , у напрямі, що визначається кутом

$$\theta_* = f(K_I(\lambda^*), K_{II}(\lambda^*)), \quad (12)$$

якщо виконується критеріальна умова (3).

Слід зауважити, що для заданої схеми навантаження алгоритм побудови траєкторії тріщини ускладнюється, оскільки крім кроку приросту траєкторії вводиться також крок приросту параметра λ для врахування перерозподілу напружень у вершині тріщини, викликаного переміщенням площадки контакту.

Розрахунки проведені для випадку моделювання контактних зусиль при коченні зосередженою силою. Побудовані траєкторії розвитку за механізмом нормального відриву крайової початково прямолінійної тріщини в півнескінченній пластині 1 зроблена

оцінка залишкової довговічності поверхні кочення зі сталі 75ХГСТ із структурою пластинчастого перліту для різних кутів орієнтації тріщини та коефіцієнтів тертя в контакті $f = 0,25$; $0,30$. У роботі досліджувався також випадок розвитку крайової тріщини за механізмом поперечного зсуву ($f = 0,1$). Зокрема, встановлені найбільш небезпечні для руйнування поверхні кути орієнтації вихідної тріщини. Отримані результати корелюють з експериментальними даними (W.T.Shieh; T.Yamamoto).

На основі проведених досліджень робиться висновок, згідно з яким викришування (пітинг) поверхні кочення при сухому терті в контакті може виникнути, коли тріщина, яка розвивається від поверхні в глиб матеріалу, зустрічається з іншими тріщинами або коли її розвиток супроводжується галуженням у бік поверхні матеріалу.

Окремо в роботі вивчалось питання впливу мастила та інших заповнювачів на викришування поверхонь кочення. Тиск мастила всередині поверхневої тріщини моделювали циклічною дією рівномірно розподіленого на берегах тріщини нормального тиску, інтенсивність якого на протязі циклу навантаження змінюється від нульового до деякого максимального значення. Дією контактних зусиль на краю півплощини нехтували. Встановлено, що довільно орієнтована в напрямі пересування контртіла початково прямолінійна тріщина, яка розвивається за механізмом нормального відриву, намагається вийти вздовж дугоподібної траєкторії на границю області. Тим самим підтверджується експериментальний висновок (S.Way) про те, що тиск мастила є головною причиною викришування поверхонь кочення. Зроблений розрахунок залишкової довговічності поверхні зі сталі ШХ15.

пошкодженої крайовою тріщиною. З метою отримання необхідних для розрахунків характеристик тріщиностійкості сталі були проведені експериментальні дослідження. Для випробувань використовували дискові зразки з боковою тріщиною на позацентровий розтяг зі сталі ШХ15 у стані поставки і після стандартної термообробки.

Досліджувався також і вплив на викришування поверхні дрібних частинок засмічення, які, попадаючи в середину поверхневої тріщини при контакті кочення, відіграють роль дискретно розподілених вздовж її берегів розклинюючих факторів. На основі σ_{θ} -критерію побудовані траєкторії тріщини, що виходить під кутом $\pi/6$ на край півплощини, при циклічній дії на берегах тріщини нормальних зосереджених сил, точка прикладання яких знаходиться на різних відстанях від гирла.

У підсумках сформульовані основні результати і висновки, які впливають з проведених у роботі досліджень.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ РОБОТИ

У дисертаційній роботі на основі методу СІР розвинутий загальний підхід до розв'язування деяких двовимірних задач механіки контактної руйнування, який дозволяє враховувати різні форми контактної взаємодії твердих тіл, а також можливий контакт берегів тріщин.

Побудовані СІР контактних задач теорії пружності для півплощини з системою криволінійних тріщин при дії на її границі зусиль, розподілених вздовж лінії контакту довільним чином, або штампу з плоскою горизонтальною основою. Сформульовані основні положення загальної схеми розрахунку

залишкової довговічності твердих тіл при їх контактній взаємодії, ключовим елементом якої є алгоритм розрахунку траєкторії розвитку втомної тріщини в умовах складного напруженого стану. На основі цієї схеми розроблена модель для оцінки залишкової довговічності поверхні кочення при сухому терті в контакті.

Отримані чисельні розв'язки ряду задач для півнескінченної пластини з тріщиною при її статичному контактному навантаженні або циклічному навантаженні. Для деяких матеріалів (алюмінієвий сплав Ді6АТ, сталь 75ХГСТ, сталь ШХ15) зроблена оцінка залишкової довговічності їх поверхонь при різних схемах циклічного навантаження. При визначенні кутів відхилення тріщин переважно використовувався σ_{θ} -критерій. За результатами чисельного аналізу можна зробити наступні висновки:

1. При дії на границі півплощини з крайовою прямолінійною тріщиною зосередженої сили існують такі діапазони віддалей точки контакту від гирла тріщини, для яких тріщина відкрита або частково чи повністю закрита. Довжини цих діапазонів залежать від орієнтації тріщини, а також співвідношення між нормальною і дотичною складовими зосередженої сили. Тріщина відкрита, якщо точка контакту належить півнескінченному інтервалу на границі півплощини, що знаходиться з того боку від гирла тріщини, куди направлене дотичне зусилля, і з ростом дотичного зусилля цей інтервал збільшується. Зокрема, при дії в довільній точці границі півплощини нормальної зосередженої сили будь-як орієнтована тріщина закрита.

Похилі тріщини при невеликих віддальях точки контакту від гирла, для яких вони відкриті, починають поширюватись до

границі півплощини, а вертикальна тріщина - в бік, протилежний напрям дії дотичного зусилля.

2. У випадку втискування без тертя штамп з плоскою горизонтальною основою в півплощину, послаблену приповерхневою внутрішньою вертикальною тріщиною, має місце контакт берегів тріщини по всій її довжині.

Інтенсивність дотичних напружень у вершинах тріщини максимальна, коли вона знаходиться поблизу краю штамп. Тріщина, яка розміщена вздовж осі штамп, перестає бути концентратором напружень і не впливає на розподіл тиску під штампом.

3. При циклічному розтязі півплощини на нескінченності її границя мало впливає на напрям розвитку приповерхневої (внутрішньої або крайової) тріщини і тріщина намагається поширюватись перпендикулярно лінії дії зовнішніх зусиль.

4. У випадку повторного поступального переміщення вздовж границі півплощини зосередженої сили (при моделюванні контакт-ного навантаження кочення) напрям розвитку крайової тріщини мало залежить від її орієнтації і після деякого початкового періоду вона росте в глиб матеріалу під одним і тим же гострим кутом до границі в бік дії дотичного зусилля. Чим більше дотичне зусилля, тим сильніше тріщина "притискається" до границі.

При розрахунку траєкторії тріщини на основі τ -критерію отримано підтвердження відомого експериментального факту, згідно з яким поверхневі зсувні тріщини у веденому тілі пари кочення поширюються примолінійно під кутом 20° - 30° до напрям, протилежному напрям дії сил тертя в контактї.

5. Будь-як орієнтована крайова тріщина, за винятком

вертикальної, під дією рівномірно розподіленого тиску на її берегах розвивається до краю півнескінченної пластини, а розміри фрагментів матеріалу при відколі тим більші, чим більший кут нахилу тріщини до краю.

Крайова похила тріщина розвивається до границі півплощини I при дії на її берегах нормальних зосереджених сил, причому чим ближче точка прикладання сил до гирла тріщини, тим сильніше тріщина завертає в бік границі.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО ДИСЕРТАЦІЇ

1. Давидяк А.П., Марченко Г.П. Взаимодействие криволинейных трещин с границей упругой полуплоскости// Физ.-хим. механика материалов. - 1984. - 20, N 5. - С. 64-71.
2. Давидяк А.П., Марченко Г.П. Краевая криволинейная трещина в упругой полуплоскости// Там же. - 1985. - 21, N 1. - С. 67-71.
3. Марченко Г.П. О предельном равновесии полуплоскости с краевой криволинейной трещиной// Мат. II конф. молодых ученых и специалистов "Проблемы повышения качества материалов, приборов и оборудования", Львов, 28-30 окт. 1986 г. - Львов, 1986. - С. 64-67. - Деп. в ВИНТИ 27.04.87, N 3007-В87.
4. Давидяк А.П., Осив П.Н., Марченко Г.П. Статические траектории развития трещин в пластинах// Тез. докл. I Всесоюз. конф. "Механика разрушения материалов". Львов, 20-22 окт. 1987 г. - Львов, 1987. - С. 115.
5. Марченко Г.П., Давидяк А.П. Предельное равновесие полуплоскости с криволинейной трещиной// Ред. журн. "Физ.-хим. механика материалов". - Львов, 1987. - 82 с. - Деп. в ВИНТИ 11.12.87, N 8663-В87.
6. Давидяк А.П., Марченко Г.П., Осив П.Н. Статические траектории развития двух сдвинутых параллельных трещин// Теоретич.

и прикл. механика. - Харьков: Вища школа, 1989. - N 20. - С. 44-50.

7. Марченко Г.П. О напряженном состоянии полуплоскости с краевой трещиной, на границе которой действует сосредоточенная сила // Мат. XIV конф. молодых ученых Физ.-мех. ин-та АН УССР. Секция физ.-хим. механики материалов, Львов, 29-30 нояб. 1989 г. - Львов, 1989. - С. 103-107. - Деп. в ВИНИТИ 06.04.90, N 1890-В90.
8. Дацишин А.П., Марченко Г.П. О развитии трещин в полуплоскости при действии штампа на ее границе// Тез. докл. IV Всесоюз. конф. "Смешанные задачи механики деформируемого тела", Одесса, 26-29 окт. 1989 г. - Одесса, 1989. - Ч. 1. - С. 110.
9. Дацишин А.П., Марченко Г.П. Применение сингулярных интегральных уравнений к расчету траекторий развития трещин в ограниченных пластинах// Тез. докл. Всесоюз. конф. "Интегральные уравнения и краевые задачи математической физики", Владивосток, 22-26 окт. 1990 г. - Владивосток, 1990. - С. 68.
10. Дацишин А.П., Марченко Г.П. К вопросу о выкрашивании поверхностей элементов конструкций// Тез. докл. III Всесоюз. симпоз. по механике разрушения, Житомир, 30 окт. - 1 нояб. 1990 г. - Житомир, 1990. - Ч. 3. - С. 31-32.
11. Марченко Г.П. Напряжения около краевой трещины в упругой полуплоскости при действии на ее границе сосредоточенной силы// Тр. XVI науч. конф. молод. ученых Ин-та механики АН УССР, Киев, 21-24 мая 1991 г. - Киев, 1991. - Ч. 1. - С. 130-134. - Деп. в ВИНИТИ 12.11.91, N 4259-В91.
12. Дацишин О.П., Марченко Г.П. Квазістатичний розвиток крайової тріщини при несамозрівноваженому навантаженні на її берегах// Физ.-хим. механіка матеріалів. - 1991. - 27, N 4. - С. 53-59.
13. Дацишин О.П., Марченко Г.П. Про розвиток крайових тріщин// Там же. - 1991. - 27, N 5. - С. 42-48.
14. Дацишин А.П., Марченко Г.П. Применение сингулярных

интегральных уравнений к расчету траекторий развития трещин в ограниченных пластинах// Сборник тр. Всесоюз. конф. "Интегральные уравнения и краевые задачи математической физики", Владивосток, 22-26 окт. 1990 г. - Владивосток: ДВО АН СССР, 1992. - Ч. 1. - С. 89-100.

15. Марченко Г.П. К вопросу о сдвиговой модели развития усталостной трещины// Тр. XVII науч. конф. молод. ученых Ин-та механики АН Украины, Киев, 19-22 мая 1992 г. - Ч. 1. - Киев, 1992.- С. 96-100. - Деп. в УкрИНТЭИ 07.07.92, N 1021-Ук92.
16. Datsyshyn A.P., Marchenko G.P. Cracks propagation under rolling contact interaction// Fracture mechanics: successes and problems. Collection of abstracts 8th Intern. Conf. Fract., Kyiv, June 8-14, 1993. - Lviv, 1993. - Part 1. - P. 190-191.
17. Дядилин О.П., Марченко Г.П., Панасюк В.В. До теорії розвитку тріщин при контакті кочення// Фіз.-хім. механіка матеріалів. - 1993. - 24, N 4. - С. 49-61.



Відомості про наукові праці, опубліковані в журналі "Фізико-хімічна механіка матеріалів" за 1993 рік, № 4.

Нідписано до друку II.08.94р. Формат 60x84/16.
Обем Ідрук.арк. Зам.516. Тир.100.Івзплатно.
Львів, Личаківська, 3. Друк.УПІ ім.Ів.Федорова.

Безплатно

AB 30.583

AB 30.583