

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Метельова Володимира Олександровича

“Короткочасна ортотропна повзучість при плоскому напруженому стані”,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
01.02.04 - механіка деформівного твердого тіла

Актуальність теми дисертаційної роботи

В даний час короткочасна повзучість залишається недостатньо вивченим явищем. Порівняно з “класичною” високотемпературною повзучістю, яка триває від сотень годин до кількох років, кількість наукових публікацій, присвячених дослідженню короткочасної повзучості, особливо при кімнатних температурах, є досить незначною. Різноманітні технологічні процеси виробництва металевих виробів обмежені в часі і тривають від кількох десятків секунд до кількох хвилин. За цей час може відбутися накопичення незворотних деформацій повзучості, які є співмірними з пластичними деформаціями, отриманими миттєво. В зв'язку з цим, отримання сучасних моделей ізотропного та анізотропного деформування матеріалів в умовах короткочасної повзучості, а також методів розрахунку листових матеріалів при плоскому напруженому стані є актуальною проблемою механіки деформівного твердого тіла.

Роботу виконано на кафедрі відділі комп'ютерного моделювання процесів та систем Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» відповідно до держбюджетних тем МОН України. Розшифровка зазначених тем наводиться в дисертації (стор. 8), та авторефераті (стор.1).

Характеристика змісту роботи

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, задачі досліджень, основні наукові результати, їх наукова новизна й практичне значення, зазначений особистий внесок автора у роботи з співавторами, наведено відомості про публікації, інформацію про апробацію результатів досліджень.

Перший розділ містить огляд літературних джерел та аналіз сучасного стану теорії короткочасної повзучості. Наведено досить докладний аналіз робіт теоретичної та експериментальної спрямованості, в яких досліджується короткочасна повзучість при кімнатних та підвищених температурах, в умовах статичного та динамічного навантажень. Окрему увагу приділено аналізу робіт, в яких досліджується анізотропія властивостей повзучості та пошкоджуваності внаслідок повзучості та побудова відповідних визначальних співвідношень повзучості та пошкоджуваності. Також виконано аналіз робіт, присвячених нелінійним крайовим та початково-крайовим задачам механіки, які виникають при моделюванні технологічних процесів, зокрема при виробництві деталей із листових матеріалів. На основі проведеного аналізу зроблено висновок, що проблеми повзучості та пошкоджуваності анізотропних матеріалів при підвищених та кімнатних температурах досліджені недостатньо. Особливо це стосується, короткочасної повзучості матеріалів та виготовлених з них конструктивних елементів. Це обумовлює актуальність роботи та необхідність проведення відповідних досліджень, які здійснено в подальших розділах роботи.

Другий розділ дисертації присвячений розробці фізичних рівнянь повзучості, які описують ортотропну повзучість матеріалів з урахуванням пошкоджуваності. Розроблено нову форму кінетичного рівняння з тензорним параметром пошкоджуваності,

запропонованого в роботах О.К. Морачковського, на випадок періодичного навантаження. За допомогою гіпотези зміцнення отримані рівняння дозволяють описувати поведінку матеріалів, криві повзучості яких характеризуються переважно першою ділянкою повзучості. Проведено узагальнення отриманих одновісних законів повзучості на випадок складного (двовісного) напруженого стану. Проведено співставлення теоретичних результатів, отриманих на базі запропонованих рівнянь, з експериментальними даними, отриманими особисто автором дисертації, при розтягуванні для сталі 3 в умовах статичного та циклічного навантажень. Отримано задовільний збіг теоретичних й експериментальних значень для деформацій.

У третьому розділі виконано загальні математичні формулювання початково-крайових задач повзучості для плоского напруженого стану при статичному та періодичному навантаженні. Створено алгоритм та програми для розв'язання пружно-пластичних задач при визначенні початкових умов для основних невідомих задачі повзучості. Для розв'язання початково-крайової задачі повзучості в роботі використано метод скінченних елементів в поєднанні з методом Ейлера. Для чисельних розрахунків використовується розроблений в НТУ «ХП» програмний комплекс FEM CREEP, модернізований автором для задач повзучості та пошкоджуваності елементів конструкцій, виготовлених з матеріалів з ортотропними властивостями та з урахуванням початкових пластичних деформацій. Для перевірки модернізованого програмного комплексу були розв'язані тестові задачі для плоского стрижня та квадратної пластини з центральним круговим отвором. Зроблено висновок, що запропоновані математичні моделі та модернізований програмний комплекс задовільно моделюють одновимірну та двовимірну повзучість при статичному та періодичному навантаженні з урахуванням пластичних деформацій.

Четвертий розділ присвячено експериментальному вивченню властивостей повзучості сталі 3 при кімнатній температурі при лінійному та складному напружених станах. Експерименти було виконано на плоских зразках в умовах розтягування та однорідного напруженого стану, а також на прямокутних пластинах з отворами. Експериментально встановлено ортотропію (трансверсальну ізотропію) властивостей повзучості сталі 3. Показано, що для даного матеріалу властива короткочасна повзучість, оскільки основний процес триває не більш 10-15 хвилин, після чого ще приблизно через 15 хвилин повзучість істотно уповільнюється. Проведено дослідження впливу періодичного навантаження на деформування сталі з трансверсально-ізотропними властивостями повзучості при кімнатній температурі.

Експериментально досліджено процес короткочасної повзучості при плоскому напруженому пластин з 5-ма отворами при чисто статичному та періодичному навантаженнях. Встановлено, що криві повзучості у цьому випадку якісно співпадають з кривими, отриманими при простому напруженому стані. Для роботи з мірними сітками, що були нанесені на пластини, які досліджувались, було розроблено та застосовано спеціальну комп'ютерну програму.

У п'ятому розділі проведено чисельні дослідження повзучості та пошкоджуваності пластин з отворами. Досліджено статичну та динамічну повзучість титанової пластини з круговим отвором з урахуванням пошкоджуваності. Зроблено висновок, що в залежності від співвідношення статичної та амплітудної складових навантаження, періодичне навантаження може прискорювати релаксацію напружень біля отвору та знижувати швидкість накопичення пошкоджень. Досліджено повзучість статично та періодично навантаженої пластини, виготовленої із сталі 3, з п'ятьма отворами під

дією розтягуючого навантаження. Теоретичні результати розрахунків було порівняно з експериментальними даними, отриманими автором у 4-му розділі дисертації. Отримано задовільний збіг результатів, на основі чого було зроблено висновок про змогу використання розробленого програмного засобу для розв'язання практичних задач. Розглянуто практичну задачу моделювання листової прокатки, де враховуються деформації короткочасної повзучості. За даними чисельного моделювання процесу витяжки сталевих листів при прокатці знайдено, що існують граничні значення зусиль витягування, при перевершенні яких в матеріалі листів починають швидко зростати деформації повзучості. При цьому завдяки несиметричному розподілу остаточних напружень, що має місце після прокатки, листи можуть загубити свою форму, що є неприпустимим з технологічної точки зору.

Наукова новизна результатів дисертації

Підсумовуючи аналіз роботи, можна виділити наступні нові наукові результати, що одержані дисертантом:

- розроблено нові визначальні рівняння ортотропної повзучості при періодичному навантаженні для матеріалів, що виявляють суттєву першу ділянку неусталеної повзучості;
- розроблено нову форму кінетичного рівняння для випадку періодичного навантаження з тензорним параметром пошкоджуваності, запропонованим в роботах О.К. Морачковського;
- отримані нові експериментальні дані та закономірності короткочасної ортотропної повзучості одновісних зразків та пластин з отворами зі сталі 3 при кімнатній температурі та статичному й періодичному навантаженнях;
- на випадок деформування з початковими деформаціями пластичності та для кінетичного рівняння з тензорним параметром пошкоджуваності розвинуто розрахунковий метод та модифіковано скінченно-елементний програмний комплекс для розв'язання плоских задач повзучості та пошкоджуваності; встановлено нові закономірності деформування з урахуванням деформацій короткочасної повзучості при прокатці сталевих листів.
- встановлено нові закономірності деформування з урахуванням деформацій короткочасної повзучості при прокатці сталевих листів.

Оцінка достовірності отриманих результатів

Достовірність отриманих в дисертаційній роботі визначальних рівнянь повзучості забезпечується використанням, при їх виведенні, основних положень загальної теорії визначальних співвідношень суцільних середовищ. Достовірність числових результатів розрахунку повзучості, пошкоджуваності та часу до руйнування пластин, забезпечується використанням універсальних математичних методів, дослідженням збіжності результатів в залежності від кількості скінченних елементів та шагу інтегрування за часом, розв'язанням тестових задач та зіставленням із розв'язками інших авторів та експериментальними даними.

Теоретична і практична цінність

Запропоновані в дисертації визначальні співвідношення ортотропної повзучості та програмний комплекс розв'язання початково-крайових задач повзучості і пошкоджуваності, що базується на використанні метода скінченних елементів, можуть ста-

новити теоретичну базу інженерних розрахунків повзучості, пошкоджуваності і тривалої міцності пластин при плоскому напруженому стані. Результати роботи у вигляді розрахункових даних та рекомендацій використовуються у практиці проектування Публічним акціонерним товариством «Дніпропетровський металургійний завод ім. Комінтерну» та були використані при виконанні держбюджетних тем МОН України «Розробка методів, алгоритмів та програм для оцінювання динаміки, міцності і точності управління ракетної техніки» (Д.Р. № 0113U000448, 2013-2014 рр.) та «Розробка методів та алгоритмів розрахунку впливу теплових полів на працездатність приладів та елементів ракетно-космічної техніки» (Д.Р. № 0117U0004891, 2017 р.), де здобувач був виконавцем окремих розділів. Акти про застосування результатів дисертаційної роботи наведено в додатках Б і В.

Апробація результатів

Результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на 12 наукових конференціях, в тому числі міжнародних, та семінарах. Перелік конференцій наведено на стор. 9 дисертації. Робота в повному обсязі розглядалась та обговорювалась в НТУ «ХП» на семінарі кафедри комп'ютерного моделювання процесів та систем НТУ «ХП» та на засіданні НТПР ІПМаш НАН України.

Основні наукові положення і результати досліджень за темою дисертаційної роботи опубліковані в 18 наукових працях, серед яких 4 статті у фахових виданнях за переліком ДАК МОН України, 1 одна стаття у закордонному виданні, що індексується науково-метричною базою Scopus, 1 свідоцтво на авторське право на програмний комплекс та 12 матеріалів конференцій.

Аналіз публікацій дозволяє зробити висновок, що основні результати дисертації знайшли повне відображення в наукових виданнях.

Автореферат у достатній мірі відбиває основні положення та отримані автором результати досліджень.

Зауваження по дисертації

1. При розробці та обґрунтуванні нових визначальних співвідношень в розділі 2 автором виконані співставлення експериментальних та теоретичних результатів тільки для випадків одновісного напруженого стану, а саме розтягу. Бажано було б навести співставлення для складного напруженого стану.
2. На сторінці 55 стверджується, що для постановки задачі повзучості використовується варіаційний принцип мінімуму повної потужності. Але, як відомо, цей принцип застосовується для задач усталеної повзучості, коли деформації повзучості помітно переважають над пружними і миттєвими пластичними деформаціями і в припущенні, що ними можна знехтувати. Автором же в подальшому розв'язуються початково-крайові задачі неусталеної повзучості пластин, з урахуванням як пружних, так і миттєвих пластичних деформацій.
3. Рівняння (3.6), (3.7) розглядаються відірвано від основного контексту підрозділу 3.2 дисертаційної роботи. Вони не є варіаційними рівняннями і з них не випливають рівняння (3.8) та (3.11) для скінченного елемента.

4. При постановці та розв'язанні задач повзучості пластин з отворами (розділ 5) автором не конкретизовані загальні системи рівнянь (3.3)-(3.5), які розв'язуються в кожному випадку.
5. При дослідженні повзучості пластин з п'ятьма отворами (підрозділи 4.2, 5.5) відсутня інформація про відстані між центрами отворів. Якщо товщина пластини співмірна з відстанями між отворами, то в цьому випадку основні гіпотези узагальненого плоского напруженого стану можуть не виконуватися. Зроблені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Висновок

На підставі викладеного вважаю, що дисертація Метельова Володимира Олександровича "Короткочасна ортотропна повзучість при плоскому напруженому стані" є завершеною науковою працею. В ній отримано нові наукові результати, які у сукупності розв'язують наукову задачу, що пов'язана із розробкою й обґрунтуванням методу розрахунку ортотропної повзучості при плоскому напруженому стані в умовах статичного та періодичного навантажень. Дисертаційна робота за актуальністю, рівнем вирішення основних наукових задач, науковою новизною, відповідає вимогам, зокрема пп. 11, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів» (зі змінами), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567, а її автор заслуговує присудження йому наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.04. – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент,
старший науковий співробітник відділу математичного
моделювання й оптимального проектування
Інституту проблем машинобудування
ім. А.М. Підгорного НАН України,
доктор технічних наук



С.М. Склепус

Підпис д.т.н. Склепуса С.М. засвідчую
Учений секретар
Інституту проблем машинобудування
ім. А.М. Підгорного НАН України
д.т.н.




К.В. Максименко-Шейко