

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Метельова Володимира Олександровича

«Короткочасна ортотропна повзучість при плоскому напруженому стані», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

Актуальність теми. Значну частину сучасних виробів машинобудівної, транспортної і енергетичної галузей промисловості складають оболонкові конструктивні елементи, які виготовляються з листових металічних та неметалічних матеріалів. Процес виготовлення листових заготовок зумовлює початкову анізотропію механічних властивостей матеріалу, яка суттєво впливає на розподіл напружено-деформованого стану в конструкції при експлуатаційних навантаженнях. Зазвичай виготовлення кінцевого виробу та експлуатаційні навантаження супроводжуються впливом значних статичних та циклічно змінюваних термосилових навантажень, які викликають появу і накопичення пошкоджень і, як наслідок, до зменшення довговічності. Для адекватної оцінки процесів, що супроводжують короткочасну повзучість матеріалу при виготовленні оболонкової конструкції, а також при визначенні її напружено-деформованого стану та ступеню пошкодження від циклічного напрацювання під час експлуатації слід використовувати ефективні розрахункові методи чисельного аналізу на основі крайових задач механіки деформівного твердого тіла. Тому вибрана тема дисертації, яка стосується розробки чисельного методу розрахунку ортотропної повзучості матеріалів при плоскому напруженому стані з урахуванням пошкодження матеріалу, його верифікація шляхом порівняння отриманих розрахункових даних з відповідними результатами виконаних експериментів по дослідженню короткочасної ортотропної повзучості та подальше впровадження в розрахунковий код методу скінчених елементів є актуальною задачею як з наукової, так і практичної точки зору.

Загальна характеристика дисертації. Дисертація складається з анотації українською і англійською мовами, вступу, п'яти розділів, висновків за розділами, загальних висновків, списку використаних літературних джерел і додатка з актами впровадження результатів. Загальний обсяг дисертації складає 178 сторінок. Основний текст дисертації з літературою викладено на 147 сторінках, які містять 95 рисунків та 3 таблиці. Список використаних літературних джерел нараховує 224 позиції на 21 сторінці. Додатки представлені на 5 сторінках.

В анотації стисло по розділам представлені основні положення роботи та наведено повний перелік публікацій здобувача. У вступі викладено сутність та актуальність поставленої наукової задачі, зв'язок роботи з науковими програмами і проектами, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів та інші загальні характеристики роботи.

В першому розділі наведено огляд літератури за обраною темою досліджень, який стосується: опису фізичного явища пластичного деформування і повзучості матеріалів; особливостей виготовлення листових матеріалів та набуття ними анізотропних властивостей; моделей описання анізотропної повзучості з урахуванням пошкоджуваності на основі континуальної механіки пошкоджуваності матеріалів; особливостей врахування плоского напруженого стану; загальних принципів розв'язку крайових задач з використанням методу скінчених елементів. Здійснена

постановка задач дослідження та сформульовано основні висновки за оглядом літератури.

У другому розділі представлено удосконалення основних рівнянь стану для описання повзучості листових матеріалів, що проявляють ортотропні властивості під час повзучості. Вони отримані на основі кінетичних залежностей теорії структурних параметрів для описання ефектів повзучості у випадку комбінованої дії на елемент конструкції статичного та циклічного (малоциклового) навантаження. Для матеріалів з ортотропними (трансверсально-ізотропними) властивостями використана відома техніка асимптотичних розкладань для отримання визначальних рівнянь на основі закону повзучості та зміни параметру втомної пошкоджуваності на випадок одновісного та складного (плоского) напруженого стану в двох масштабах часу. Представлена верифікація розроблених рівнянь стану на випадок аналізу матеріалів, які проявляють ортотропні властивості за статичної і циклічної повзучості, шляхом порівняння розрахункових кривих статичної та циклічної повзучості з відповідними експериментальними кривими повзучості, отриманими на зразках з різними напрямками вирізки по відношенню до напрямку прокатки.

Третій розділ роботи стосується постановки крайової задачі теорії повзучості для ортотропних тіл при плоскому напруженому стані. На основі розроблених визначальних рівнянь, представлених у другому розділі, створено скінчено-елементний алгоритм розв'язання двовимірної задачі теорії повзучості. В розділі наведена класична схема методу скінчених елементів з урахуванням трансверсальної ізотропії властивостей матеріалів для визначення деформацій повзучості у вигляді суми статичної та циклічної складових та міри пошкоджуваності. Представлено опис удосконаленого програмного комплексу та його основних функцій. Проведено дослідження достовірності запропонованого розрахункового методу шляхом порівняння результатів розрахунків з результатами експериментальних випробувань за одновісного розтягу плоских зразків, виконаних в даній роботі, а також під час моделювання повзучості пластини з трансверсально-ізотропними властивостями за літературними даними. Отримана відповідність результатів дозволила верифікувати розроблений скінчено-елементний алгоритм, який надалі був впроваджений в розрахунковий комплекс FEM CREEP.

В четвертому розділі роботи представлена методика та результати експериментальних досліджень сталевих зразків на короткочасне і повторно-статичне (циклічне) навантаження розтягом з контролем по напруженнях в залежності від трьох напрямків вирізки зразків для визначення ступеню ізотропії/анізотропії властивостей матеріалу та конкретизації визначальних рівнянь під час моделювання. Крім того у розділі представлені результати випробувань пластин з технологічними отворами за статичного і повторно-статичного м'якого навантаження. Описана методика обробки експериментальних даних на основі методу мірних сіток і їх оптичного сканування з автоматизованою обробкою зображень з похибкою до 30%.

У п'ятому розділі роботи містяться результати практичного застосування розроблених методів і удосконалених програмних засобів при вирішенні прикладних задач. Представлено чисельне моделювання навантаження конструктивних елементів з проявом ефектів повзучості. Оцінена довговічність пластини з центральним отвором під час її статичного навантаження постійною силою. Промодельовано повзучість пластин з технологічними отворами, які експериментально досліджувались у розділі 4 за статичного навантаження та виконано порівняння експериментальних та визначених чисельно переміщень. Максимальна похибка такого моделювання не перевищила 33%. Аналогічне моделювання виконано для таких же пластин за

повторно-статичного навантаження. Показано добру відповідність експериментальних і розрахункових кривих повзучості в різних характерних вузлових точках конструктивного елемента. З застосуванням розробленого методу і відповідного програмного забезпечення виконано моделювання процесу короткочасної повзучості під час технологічного процесу листової прокатки. Досліджено вплив різних схем прокатки та зусиль витягування і їх вплив на рівень залишкових напружень та втрату стійкості форми листових матеріалів.

Наукова новизна результатів дисертації полягає в: розробці нових рівнянь стану за статичної і циклічної повзучості матеріалів; формулюванні нових форм кінетичних рівнянь для врахування втомної пошкоджуваності для матеріалів, що проявляють ортотропні властивості під час повзучості; отриманні нових експериментальних результатів щодо короткочасної повзучості суцільного та ослабленого отворами листового матеріалу за статичного та повторно-статичного навантаження.

Обґрунтованість і достовірність положень та висновків, що сформульовані в дисертації, забезпечуються використанням: класичних рівнянь теорії пластичності і повзучості, відомих з літератури підходів щодо визначення пошкоджуваності матеріалів, усталених моделей для врахування анізотропних властивостей матеріалів, стандартних підходів до формулювання крайової задачі повзучості, відомих варіаційних постановок при використанні МСЕ.

Практичне значення результатів полягає в удосконаленні програмного комплексу FEM CREEP і розширенні його можливостей на випадок аналізу ортотропних матеріалів а також матеріалів, які проявляють ортотропні властивості за умов статичної та циклічної повзучості. Результати представленої роботи мають впровадження на ПАТ «Дніпропетровський металургійний завод ім Комінтерну» та в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», що документально підтверджено відповідними актами.

Відповідність щодо дотримання вимог до дисертаційних робіт. Зміст дисертації В.О.Метельова, її обсяг, рівень кваліфікації та наукової ерудиції проявлений при розробці моделей, проектуванні алгоритмів та удосконаленню програмних кодів, ступінь завершеності виконаних досліджень, якість і оформлення роботи повністю відповідають вимогам Атестаційної колегії МОН України до кандидатських дисертацій. Зміст автореферату і основних положень дисертації є ідентичним, а його оформлення відповідає зазначеним вимогам.

Робота пройшла достатню апробацію - вона доповідалась на 12 наукових конференціях, її зміст повністю відображений у 18 публікаціях автора. За результатами досліджень опубліковано 5 наукових праць, які вийшли у виданнях або порівнюються до видань, зазначених у переліку МОН як наукові і фахові з технічних наук.

Дисертація за обсягом, значенням отриманих результатів та формою їх викладення відповідає вимогам Атестаційної колегії МОН до кандидатських дисертацій.

До дисертаційної роботи мають місце наступні зауваження та пропозиції:

1. В визначальних рівняннях запропонованих моделей для випадку складного напруженого стану використовуються поняття еквівалентних напружень при описанні накопичення деформацій повзучості і пошкоджень відповідно, проте відсутні відомості, яким критеріям статичної або довготривалої міцності (Треска, Мізеса або ін.) вони відповідають.

2. В роботі не обговорюється можливість використання зазначених моделей для описання повзучості матеріалів, які початково проявляють ортотропні властивості (різні механічні характеристики в залежності від напрямків орієнтації (модулі пружності, коефіцієнти Пуассона ін.). В роботі розглядається випадок, коли врахування ортотропії здійснюється за даними аналізу відмінностей лише кривих повзучості, як враховується ортотропія механічних властивостей матеріалу не ясно.
3. Раніше в дисертації Оксани Татарінової для випадку аналізу ізотропних матеріалів застосована ця ж техніка асимптотичних розкладань та два масштаби часу, для першого повільного розглядається звичайний час t , який характеризує основний процес повзучості, а для другого швидкого використовуються параметри τ або ξ . Проте в дисертації для цих же масштабів часу повільному процесу ставиться у відповідність параметр ξ , а швидкому τ , (дивитись останній абзац стор. 46) хоча це не відповідає запису рівнянь (2.31).
4. Виконані експериментальні дослідження плоских зразків із сталі 3 показали, що механічні характеристики цього матеріалу на основі аналізу стандартних діаграм розтягу, не залежать від напрямку вирізки зразків по відношенню до напрямку прокатки і характеризують матеріал як ізотропний. Проте експериментальні випробування на статичне та повторно статичне навантаження з контролем по напруженнях за повзучості показують, що матеріал проявляє ортотропні властивості. В огляді не обговорюються фізичні механізми такої поведінки матеріалу та умов набуття ним анізотропних властивостей при зміні характеру та рівня навантаження.
5. Як впливає з положень дисертації для моделювання повзучості і пошкоджуваності елементів конструкцій, що проявляють ортотропні властивості для конкретизації параметрів моделі використовуються базові експерименти на повзучість отримані на зразках вирізаних під різними (вздовж, поперек і під кутом 45 град) напрямками до напрямку прокатки. Надалі моделюється повзучість, конструктивного елементу з отворами, який вирізаний і навантажується вздовж напрямку прокатки. Чи достатньо результатів такого моделювання для верифікації розрахункового комплексу? Більш зальним випадком верифікації моделі було б експериментальне дослідження повзучості конструктивного елементу вирізаного під довільним кутом прокатки і надалі чисельне прогнозування отриманих експериментальних результатів удосконаленим розрахунковим комплексом.
6. Не зовсім логічним є принцип вибору баз випробувань (рівнів навантажень) на повзучість 378.7 МПа, 366.8 МПа і 352.3 МПа. Так різниця між сусідніми рівнями навантажень не перевищує 3%, а між максимальним і мінімальним 7%. При цьому автору наперед було відомо, що розкид даних на статичний розтяг складає до 10% (стор. 76). В результаті автором отримано розкид даних за повзучості для трьох рівнів 18%-23%. З практичної точки зору можна вважати, зважаючи на 10% розкид даних, що всі ці три рівні навантаження в експериментах на повзучість можуть бути віднесені до одного рівня.
7. Руйнування зразків в захватах при повторно-статичному навантаженні свідчить про не досить повне відпрацювання експериментальної методики в частині вибору типів зразків та їх геометричних характеристик, тому аналіз результатів випробувань таких зразків буде не зовсім коректним.

8. В абзаці після формули (2.8) стверджується, що при конкретизації параметрів моделі розглядаються дані отримані із експериментів на зразках вздовж напрямку прокатки з кутом $\varphi = 0$, але при цьому дається посилання на рис. 4.8, який відноситься до результатів, які відповідають зразкам вирізаних поперек напрямку прокатки.
9. В роботі присутні непояснені терміни або некоректні вислови, наприклад: «приховане руйнування» (стор. 1), «інваріант тензору пластичних деформацій перевищує межу плинності» (стор. 33, 58), «зняття діаграми деформування» (стор. 75), «миттєве навантаження», а також містяться ряд лексичних і граматичних помилок, наприклад, як: «витвору» – має бути «виробу», та відповідно: «межою» – «межею», «відходів» – «відхилення», «відношень» – «співвідношень», «суворе обґрунтування» – «строге обґрунтування», «невстановленої повзучості» – «неусталеної повзучості» та ін.

Зазначені зауваження не знижують цінності виконаних автором досліджень по суті, вони спрямовані на уточнення змісту окремих положень та отриманих дисертантом результатів і не впливають на загальну високу позитивну оцінку виконаного дослідження.

Висновок. Дисертація Метельова В.О. «Короткочасна ортотропна повзучість при плоскому напруженому стані» виконана на високому науковому рівні, є завершеним дослідженням, що містить нові розв'язки актуальних задач описання повзучості та прогнозування кінетики пошкоджуваності ортотропних матеріалів за плоского напруженого стану під час статичного і повторно-змінного навантаження. За актуальністю, науковою новизною та практичною значимістю дисертаційна робота МЕТЕЛЬОВА Володимира Олександровича відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами, затвердженими Постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19.08.2015; № 1159 від 30.12.2015; № 567 від 27.07.2016) щодо кандидатських дисертацій.

На підставі наданих у відгуку позитивних висновків, за суттєвий вклад у розвиток моделей статичної і циклічної повзучості матеріалів, створення ефективних програмних засобів для аналізу напружено-деформованого стану ортотропних матеріалів та моделювання і оптимізації технологічних процесів, отримання нових експериментальних даних Метельов Володимир Олександрович заслуговує на присудження йому вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент

доктор технічних наук,
провідний науковий співробітник
Інституту проблем міцності
імені Г.С.Писаренка НАН України,



М.В.Бородій

Підпис М.В.Бородія засвідчую:
Учений секретар
Інституту проблем міцності
імені Г.С.Писаренка НАН України,
кандидат технічних наук



В.І.Скрипченко