

ВІДГУК

офіційного опонента про дисертаційну роботу

Яснія Володимира Петровича "Розроблення методів прогнозування втомної довговічності псевдопружних сплавів з пам'яттю форми", подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

1. Актуальність проблеми

Дисертаційну роботу **В.П. Яснія** присвячено вирішенню важливої науково-технічної проблеми підвищення надійності експлуатації елементів конструкцій із сплавів з пам'яттю форми. Ця проблема є особливо актуальною для систем захисту будівельних конструкцій та інженерних споруд від динамічних навантажень (наприклад, землетруси, вібрації автомобільних мостів від руху транспорту), які ґрунтуються на використанні сплавів з пам'яттю форми. Під час експлуатації конструкція піддається впливу випадкового спектру навантаження, що спричиняє накопичення пошкоджень у матеріалі. Прогнозування стану матеріалу та його працездатності вимагає в таких випадках застосування підходів механіки деформівного твердого тіла, математичної статистики для урахування розкиду властивостей матеріалу та прогнозування технічного стану конструкції. Проте, незважаючи на інтенсивний розвиток цих підходів недостатньо обґрунтовані критерії втомного руйнування і методики прогнозування втомної довговічності псевдопружних сплавів з пам'яттю форми для випадку змінної амплітуди навантаження.

Вирішення вказаної науково-технічної проблеми, спрямованої на розробку ефективних підходів прогнозування експлуатаційного та залишкового ресурсу псевдопружних СПФ на основі запропонованого критерію малоциклового втомного руйнування та характеристиках циклічної тріщиностійкості з урахуванням їх статистичного розкиду та

зміни форми фронту тріщини під час її поширення, має важливе наукове і практичне значення і є актуальним завданням.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота виконана у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя МОН України в рамках низки бюджетних наукових тем та господарських договорів, в яких дисертант був науковим керівником, або відповідальним виконавцем. Автор керував темою “Розроблення методів прогнозування довговічності сплавів з ефектом пам'яті форми за змінної амплітуди навантаження” (№ держреєстрації 0117U002244, 2017–2019 рр.) та брав участь як виконавець робіт “Вплив конструктивно-технологічних та експлуатаційних факторів на довговічність силових конструктивних елементів крила транспортного літака з функціональними отворами” (№ держреєстрації 0113U000249, 2013–2015 рр.), “Розробка методів розрахунку експлуатаційних впливів і моніторингу довговічності елементів конструкції ракети носія при транспортуванні літаком” (№ держреєстрації 0115U002448, 2015–2017 рр.), “Оцінювання несучої здатності і залишкової довговічності просторових елементів конструкцій з урахуванням набутих пошкоджень” (№ держреєстрації 0115U002447, 2015–2017 рр.). Ці теми безпосередньо стосуються об'єкту (сплави з пам'яттю форми та елементи конструкцій на їх основі.) та предмету (закономірності псевдопружної поведінки, міцності, витривалості, мікромеханізмів деформування та руйнування матеріалів СПФ і розроблення на цій підставі методів прогнозування їх довговічності за випадкового навантаження) досліджень дисертанта.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, їх достовірність і новизна

Основні результати і загальні висновки дисертації базуються на глибокому вивченні та аналізі даних теоретичних і експериментальних досліджень впливу температури і асиметрії циклу навантаження, а також змінної амплітуди навантаження на функціональні властивості і механічну

втому псевдопружних СПФ, що дало змогу розвинути і фізично обґрунтувати критерій втомного руйнування і методику прогнозування довговічності за малоциклового.

Найважливішим науковим результатом роботи вважаю сформульовану дисертантом розрахункову методику оцінювання довговічності елементів конструкцій із псевдопружного СПФ за змінної амплітуди навантаження на основі запропонованого критерію втомного руйнування, визначеного за сталої амплітуди навантаження та моделювання процесу експлуатаційного навантажування елементу конструкції. Цей підхід дозволяє урахувати історію навантажування конструкції на основі моделювання накопичення втомних пошкоджень.

Значна увага автора дисертації звернена на фізичне обґрунтування запропонованого критерію – сумарної енергії пружної деформації з урахуванням впливу асиметрії циклу навантаження. Запропоновано методику проектування і дослідження функціональних характеристик демпфувальних пристроїв, що забезпечують безпечну експлуатацію конструкцій, за рахунок зменшення динамічних навантажень експлуатаційного і природнього походження.

Важливим науковим результатом є застосування підходу для визначення експлуатаційної безпеки, заснованого на стані конструкції і розроблення на цій основі методику прогнозування залишкової довговічності елементів конструкцій із СПФ, з урахуванням форми фронту поверхневої тріщини і статистичного розкиду параметрів циклічної тріщиностійкості.

На основі виявлених закономірностей впливу асиметрії циклу навантаження показано, що механічною рушійною силою росту втомної тріщини у сплаві нітинол виступає не розмах, а максимальне значення коефіцієнта інтенсивності напружень. Отриманий феномен дисертант пов'язав із запропонованим критерієм втомного руйнування - сумарною

питомою енергією пружної деформації та квазівідкольним механізмом росту тріщини, спричиненим деформаційним перетворенням аустеніту в мартенсит.

Вперше виявлено ефект часткового відновлення функціональних властивостей NiTi сплаву при переході від високої до низької ступені циклічного навантаження, що спричинене зменшенням залишкових напружень при зворотній трансформації залишкового мартенситу

4. Значимість для науки результатів, отриманих автором.

З використанням методів механіки деформівного твердого тіла та втомного руйнування розроблено і апробовано критерій малоциклового втомного руйнування та методи оцінки довговічності і залишкової довговічності елементів конструкцій із СПФ, які збагачують теоретичні основи втомного руйнування СПФ з ефектом псевдопружності.

5. Значимість для практики результатів, одержаних автором

Практична значимість результатів роботи полягає в обґрунтуванні подовження терміну експлуатації ряду транспортних систем, створенні нових інженерних методик оцінювання рівня експлуатаційної безпеки металургійного обладнання. Вони знайшли застосування для діагностування та прогнозування технічного стану кар'єрного устаткування, введено у виробництво високоміцних болтів підвищеної довговічності. Запропоновані автором підходи прогнозування залишкового ресурсу металургійного обладнання використовуються у «Рекомендаціях до визначення технічного стану кожухів доменних печей».

6. Повнота викладу матеріалів дисертації в опублікованих працях

Основні результати дисертаційної роботи в повному обсязі висвітлено в опублікованих наукових працях автора у наукових фахових виданнях України та інших держав, з яких 14 статей індексовані міжнародними наукометричними базами даних Scopus та/або Web of Science, в патентах України на винахід і корисні моделі та апробовано на міжнародних науково-технічних конференціях. Автореферат дисертації відповідає основним положенням дисертації. Матеріал викладено логічно, розділи взаємопов'язані і повністю розкривають поставлену мету.

7. Мова та стиль дисертації

Дисертація написана українською мовою на достатньо високому науково-методологічному рівні, легко сприймається. Тема і зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 01.02.04 – Механіка деформівного твердого тіла.

8. Зауваження до дисертації

1. Для випробування на витривалість за змінної амплітуди дисертант обрав специфічний спектр навантаження, який являє собою двоступінчасте навантаження, амплітуда якого лінійно змінюється на кожній ступені. Для обґрунтування запропонованого критерію руйнування доцільно було б розглянути більш загальний спектр навантаження за змінної амплітуди, дослідивши як це пов'язано ще із іншими характеристиками навантаження та формами тріщин?

2. Дисертант обґрунтував, що рушійною силою росту тріщини в псевдопружному СПФ є максимальний коефіцієнт інтенсивності напруження. Тоді, чому в подальшому, при моделюванні росту

поверхневої тріщини в елементі конструкції у формі циліндра використано розмах коефіцієнта інтенсивності напруження?

3. Дисертант розглядає параметри рівняння Періса C і n як випадкові величини. В той же час відомо, що ці параметри трактуються як сталі матеріалу. Чи не існує тут протиріччя?

4. У дисертації зустрічаються позначення різних параметрів однаковими символами. Наприклад символом σ позначено: механічне напруження в зразку, неперервний коефіцієнт масштабу (табл.2.2), параметром форми (табл.6.3) та параметром (функцій) розподілу (с.243), про які чомусь не згадується у **Переліку умовних позначень**.

5. У роботі, на нашу думку, допущена низка методологічних неточностей. Наприклад, при побудові та обговоренні графіків, які названо діаграмами деформування, криві на малюнку 3.11 (с.125) побудовані у координатах $\sigma, \varepsilon\%$, але уже на наступному малюнку 3.12 (с.127) подібні криві називаються «кривими навантаження розтягом», де, крім координат $\sigma, \varepsilon\%$ (мал.,б), використовуються інші координати: $\sigma, \Delta l \text{ мм}$ (мал.,а) та $\sigma, l \text{ мм}$ (мал.3.13) на с.128 і їх ні разу не названо «умовними діаграмами напружень», які є прийнятними назвами у механіці. Одночасно, на с.262, малюнок 7.10 уже підписано «типова діаграма деформування $P - \Delta l$ », що суперечить попереднім назвам. Такий різнобій у назвах та координатах, коли уздовж однієї осі фігурують ньютони або паскалі, а уздовж іншої метри або відсотки, веде до ускладнення аналізу та порівняння об'єктів дослідження як у кількісному, так і у якісному випадках.

Крім цього, опис цієї діаграми (7.10) також містить методично не зовсім точне визначення, бо робиться висновок, що «...початкове відносне видовження дротів дорівнює половині максимального видовження і $0,03$ початкової довжини дротів ($\Delta l_{w0} = 0,5 \Delta l_{wi \max} = 0,03 \Delta l_{wi}$)...». Але ж відомо, що відносне видовження є величиною безрозмірною.

Треба зазначити, що вказані зауваження не знижують загального високого наукового рівня роботи.

9. Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам:

Дисертаційна робота **Яснія В. П. "Розроблення методів прогнозування втомної довговічності псевдопружних сплавів з пам'яттю форми"**, є завершеною науковою працею, в якій розв'язана актуальна науково-технічна проблема - розроблено і обґрунтовано наукові основи оцінювання ресурсних показників надійності елементів обладнання, виготовлених із псевдопружних сплавів з пам'яттю форми. Зміст автореферату і опублікованих наукових робіт повністю розкривають суть дисертації, висновки і рекомендації є важливими для науки та інженерної практики.

Дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9, 10, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р., щодо докторських дисертацій, а її автор **Ясній Володимир Петрович** заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – Механіка деформівного твердого тіла.

Доктор технічних наук, професор,
професор кафедри прикладної математики
та механіки Луцького національного технічного
університету МОН України


В.І. ШВАБ'ЮК

