

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Яснія Володимира Петровича**

**"РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ВТОМНОЇ  
ДОВГОВІЧНОСТІ ПСЕВДОПРУЖНИХ СПЛАВІВ З ПАМ'ЯТТЮ  
ФОРМИ",**

представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

### **Актуальність теми дисертації.**

Сплави з пам'яттю форми (СПФ) є функціональними матеріалами, які характеризуються ефектом пам'яті форми і надпружністю. В основі цих ефектів лежить явище залежного від температури зворотного мартенситного перетворення. Завдяки цим властивостям та їх біосумісності вони широко застосовуються у багатьох галузях, зокрема в машинобудівній, аерокосмічній, медичній та будівельній. Характеристики втомної міцності є важливими механічними властивостями СПФ, а дисипована енергія, відновлювана та залишкова деформація, модуль пружності аустеніту, коефіцієнт демпфування – визначальними функціональними характеристиками під дією циклічного навантаження.

Під час експлуатації елементи конструкцій із СПФ у більшості випадках піддаються циклічному навантаженню із змінною амплітудою, що може призводити до передчасної втрати функціональних властивостей та опору їх руйнуванню.

Належне врахування впливу водню на механічну поведінку, температури і асиметрії циклу навантаження на функціональну і механічну втому, з позиції механіки деформівного твердого тіла передбачає створення спеціальної методології оцінювання, яка враховувала би згадані особливості при розвитку моделей втомного руйнування та методів прогнозування довговічності СПФ за сталої та змінної амплітуди навантаження. Це важлива науково-технічна

проблема, на вирішення якої спрямована дисертаційна робота В. П. Яснія, що робить її актуальною і в науковому, і в практичному сенсі.

### **Структура і зміст дисертації.**

Структурно дисертаційна робота В. П. Яснія включає: анотацію, вступ, 7 розділів, висновки, список використаної літератури із 244 найменувань, 3 додатки. У загальний обсяг дисертації входить 332 сторінок (265 сторінок основного тексту), 166 рисунків та 27 таблиць.

У *вступі* дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми, показано її зв'язок із науковими програмами, сформульовано мету, описано об'єкт, предмет та методи дослідження. У *першому розділі* на основі аналізу літературних джерел визначено вплив експлуатаційних чинників на циклічну тріщиностійкість, функціональні властивості та втомну довговічність СПФ, також проаналізовано проблеми прогнозування втомної довговічності цих сплавів за змінної амплітуди навантаження. Сформульовано основні завдання дисертаційної роботи та намічено напрями їх вирішення. У *другому розділі* наведено методики експериментальних досліджень температур фазових перетворень, механічної поведінки, функціональних властивостей і механічної втоми та циклічної тріщиностійкості СПФ. *Третій розділ* присвячено дослідженню впливу температури в близько кліматичному діапазоні та наводнювання на мікромеханізми деформування, руйнування та механічні властивості за статичного та повторно статичного навантаження. Для дослідження використано псевдопружний NiTi СПФ, механічні властивості визначено на зразках діаметром 4 мм. У *четвертому розділі* представлено основні закономірності впливу асиметрії циклу та змінної амплітуди навантаження на конструкційну втому та функціональні властивості псевдопружний NiTi СПФ з урахуванням температури в діапазоні 0...20 °С. Результати подано з використанням силових, деформаційних та енергетичних параметрів. У *п'ятому розділі* досліджено основні закономірності впливу асиметрії циклу навантаження ( $R = 0,22$  і  $0,5$ ) на швидкість росту втомних тріщин у псевдопружному NiTi сплаві за одновісного розтягу на повітрі за

кімнатної температури. Для визначення швидкості РВТ використано циліндричний зразок діаметром 8 мм з прямим надрізом перпендикулярним до осі зразка. Форма фронту тріщини була пряма або формувалася у вигляді півеліпса. У *шостому розділі* наведено методики для прогнозування залишкової довговічності псевдопружних NiTi сплавів за змінної амплітуди навантаження. Для прогнозування запропоновано і обгрунтовано критерій малоциклового втомного руйнування за змінної амплітуди навантаження у вигляді сумарної питомої енергії пружної деформації  $\Sigma W_e$ . У додатках подано 3 акти про використання результатів роботи, 6 деклараційних патентів та 1 патент на винахід, перелік із 40 публікацій В. П. Яснія. У *сьомому розділі* представлено розроблений демпфувальний пристрій, захищений патентами на інтелектуальну власність, який базується на використанні ефекту псевдопружності сплавів із пам'яттю форми, Такий пристрій може бути використаний при транспортуванні довгомірних конструкцій або для зменшення динамічних навантажень на будівельні споруди та інженерні конструкції.

### **Ступінь обгрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, та їх достовірність.**

Обгрунтованість і достовірність наукових положень дисертаційної роботи В. П. Яснія забезпечується глибоким аналізом літературних джерел та великим обсягом експериментальних досліджень (механічних, фрактографічних, статистичних) псевдопружних сплавів з пам'яттю. Для цього в роботі використано різні методи механічних випробувань для визначення характеристик міцності, циклічної тріщиностійкості, опору руйнування за наводнювання, а також металографічний аналіз структури нітинолу та мікрофрактографічний аналіз зламів СПФ. Температури фазових перетворень були визначені методом диференційної сканівної калориметрії. Результати дисертаційної роботи добре узгоджуються з висновками інших дослідників та відомими методами прогнозування втомної довговічності СПФ, що підтверджує їх правильне трактування. Основні положення та висновки

дисертаційної роботи висвітлені в численних рецензованих наукових публікаціях, у тому числі цитованих у наукометричних базах Scopus та/або WoS. Індекс Гірша (h-index) Яснія В.П. становить 5. Крім того, результати дисертаційної роботи пройшли апробацію під час представлення матеріалів доповідей та їх обговорення на авторитетних наукових конференціях.

### **Наукова новизна та наукова цінність отриманих в роботі результатів.**

Грунтуючись на проведених експериментах і системному аналізі їх результатів, дисертантом розроблена та апробована методика прогнозування втомної довговічності псевдопружних СПФ в умовах малоциклової втоми з урахуванням асиметрії циклу навантаження та змінної амплітуди. До основних наукових здобутків В. П. Яснія, які відзначаються суттєвою науковою новизною, належать:

Вперше виявлено ефект і запропоновано механізм часткового відновлення функціональних властивостей псевдопружного NiTi сплаву при переході від більшої до меншої амплітуди циклічного навантаження, який полягає у зменшенні залишкової деформації в межах ступені з нижчою амплітудою навантаження, що спричинено зменшенням залишкових напружень.

Вперше отримано комплекс нових експериментальних даних щодо втомної довговічності, характеристик циклічної тріщиностійкості та функціональних властивостей NiTi сплаву для різних температур та асиметрії циклу навантаження за сталої та змінної амплітуди навантаження.

Розроблено методику прогнозування довговічності псевдопружного СПФ в умовах малоциклової втоми за сталої та змінної амплітуди з урахуванням асиметрії циклу навантаження. Методика прогнозування базується на критерії втомного руйнування - сумарній питомій енергії пружної деформації, яка може бути визначена при втомних випробуваннях за сталої амплітуди навантаження.

Вперше запропоновано критерій малоциклового втомного руйнування псевдопружного сплаву за сталої і змінної амплітуди навантаження з урахуванням асиметрії циклу навантаження – сумарної питомої енергії пружної

деформації. Встановлено, що на відміну від традиційних конструкційних матеріалів, наприклад сталей, дисипована енергія не впливає на формування втомних пошкоджень і втомну довговічність псевдопружних СПФ.

Запропоновано методику прискореного визначення сталих в моделі втомного руйнування псевдопружного СПФ, яка базується на критерії сумарної питомої енергії пружної деформації за результатами випробування одновісним квазістатичним розтягом і за фіксованої сталої амплітуди навантаження.

Запропоновано методику прогнозування залишкової довговічності елементів конструкцій круглого перерізу із СПФ з поверхневою півеліптичною тріщиною, яка ґрунтується на розв'язанні системи рівнянь, що описують поширення тріщини, параметрах навантаження та параметрах циклічної тріщиностійкості з урахуванням їх статистичного розкиду та зміни форми фронту тріщини.

### **Практична цінність отриманих результатів.**

Сформульовані в роботі висновки щодо виявлених закономірностей впливу температури і асиметрії циклу навантаження на функціональну і механічну втому сплавів з пам'яттю форми за сталої та змінної амплітуди навантаження можуть бути використані при проектуванні перспективних авіаційних конструкцій на Державному підприємстві «Антонов».

Запропоновані методики розрахунку і результати випробувань демпфувального пристрою використовуються:

- підрозділами Державного підприємства КБ «Південне» ім. М. К. Янгеля. Представлені для оцінки експлуатаційних характеристик пристроїв для зменшення динамічних навантажень при транспортуванні довгомірних конструкцій;

- ТОВ «Стандарт-Парк» для підвищення несучої здатності елементів конструкцій та інженерних споруд під дією динамічних навантажень.

### **Повнота викладення результатів роботи у наукових працях.**

Основний зміст дисертації В. П. Яснія викладено в 40 наукових працях, в тому числі 24 з них в наукових фахових виданнях, з яких 14 включені до

наукометричних баз Scopus та/або Web of Science, 1 патенті України на винахід та 6 деклараційних патентах, 9 в матеріалах міжнародних конференцій і 3. Опубліковані праці повною мірою відображають зміст дисертації.

### **Мова та стиль дисертації.**

Загалом дисертація написана технічно грамотно, її текст досить легко сприймається. Матеріали роботи викладено в логічній послідовності, розділи взаємопов'язані та цілком розкривають поставлену мету. Висновки, зроблені в кінці окремих розділів та остаточні по роботі, загалом добре обґрунтовані. Тема і зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 01.02.04 – Механіка деформівного твердого тіла.

### **Недоліки та зауваження до дисертації:**

1. Автором проведені дослідження впливу частоти навантаження на функціональні характеристики демпфувального пристрою. Доцільно було б оцінити залежність температури розігріву зразка від частоти навантаження, а також її вплив на функціональні властивості СПФ.
2. В дисертації представлено великий комплекс досліджень впливу електролітичного наводнювання на діаграму деформування та напруження аустенітно-мартенситного перетворення псевдопружного СПФ. Проте відсутні дані стосовно концентрації водню в зразках під час випробувань.
3. Дисертантом отримано важливі дані щодо впливу асиметрії циклу і змінної амплітуди навантаження на ефективний модуль пружності, як визначальний параметр пошкодження в критерії втомного руйнування - сумарній питомій енергії пружної деформації. Бажано було б в подальшому провести систематичні дослідження не тільки впливу параметрів навантаження на ефективний модуль пружності, але і його взаємозв'язок із втомним пошкодженням матеріалу і відносним об'ємом залишкового мартенситу.

4. У висновках відсутні кількісні дані стосовно функціональних параметрів розробленого дисертантом демфувального пристрою, зокрема коефіцієнту втрат, що ускладнює аналіз доробку дисертанта.
5. Є певні неточності в дотриманні вимог щодо посилання в тексті на формули. Зокрема в п. 2.7 дисертант посилається на рівняння Періса (5.1), яке приведено в розділі 5.

Дані зауваження не знижують загальної позитивної оцінки та значення дисертаційної роботи і рівня достовірності основних її результатів.

**Висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам:**

Дисертаційна робота Яснія В. П. "Розроблення методів прогнозування втомної довговічності псевдопружних сплавів з пам'яттю форми" є завершеною науковою роботою, в якій отримано нові, науково обґрунтовані, результати, що дали змогу автору вирішити важливу науково-технічну проблему, спрямовану на розроблення методів прогнозування втомної довговічності псевдопружних сплавів з пам'яттю форми з урахуванням асиметрії циклу навантаження та змінної амплітуди. Автореферат за своєю структурою і змістом відображає ключові положення дисертації.

Робота відповідає вимогам паспорту спеціальності, а також вимогам пунктів 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів» 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

Завідувачка кафедри нафтогазової інженерії та зварювання

Національного університету

«Львівська політехніка»



*Max*

Максимович О. В.

Підпис Максимович О. В.

Вчений секретар НУ «ЛП»

*Brilinskiy*

Брилинський Р. Б.