

Розроблення узагальненого методу прогнозування ресурсу експлуатації конструкцій із композиційних матеріалів при складному малоцикловому навантаженні з врахуванням пошкоджуваності

Разработка обобщенного метода прогнозирования ресурса эксплуатации конструкций из композиционных материалов при сложном малоцикловом нагружении с учетом повреждаемости

Development of the generalized lifetime prediction method for composite structures at complex low-cycle loading conditions with taking into account damage

1. **Номер державної реєстрації теми - 0115U000398,**
2. **Науковий керівник - д.т.н., проф. Бобир М.І., Бобырь Н.И., Bobyr Mykola I.**
3. **Суть розробки, основні результати.**

(укр.)

Основний результат роботи полягає в розробці узагальнюючих феноменологічних моделей пошкоджуваності для анізотропних КМ за умов статичного та циклічного навантажень. Сформовано та обґрунтовано тензор параметрів пошкоджуваності, а також показані його інваріанти. Розроблена методика та відповідна експериментальна база для визначення фізико-механічних характеристик КМ за умов статичного та мало циклового навантажень, а також для конкретизації параметрів моделі та критерію пошкоджуваності. Отримано залежності параметрів пошкоджуваності від коефіцієнта анізотропії КМ, що дає можливість спростити процедуру визначення компонент тензора пошкоджуваності в анізотропному матеріалі. Вперше розроблена методика оцінки напружено-деформованого стану (НДС) та руйнування елементів конструкцій із КМ в умовах динамічного технологічного навантаження. Розроблена методика та проведено чисельне моделювання НДС конструкції силової платформи космічного апарату під дією статичних та випадкових вібрацій. Обґрунтовано ефективний метод прогнозування ресурсу елементів конструкцій, виготовлених із вуглецевих композитів для умов стохастичного експлуатаційного навантаження.

(рос.)

- Основной результат работы заключается в разработке обобщающих феноменологических моделей повреждаемости для анизотропных КМ в условиях статического и циклического нагружения. Сформирован и обоснованно тензор параметров повреждаемости, а также показаны его инварианты. Разработанная методика и соответствующая экспериментальная база для определения физико-механических характеристик КМ в условиях статического и малоциклового нагружения, а также для конкретизации параметров модели и критерия повреждаемости. Получены зависимости параметров повреждаемости от коэффициента анизотропии КМ, что позволяет упростить процедуру определения компонент тензора повреждаемости в анизотропном материале. Разработана методика оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) и разрушения элементов конструкций из КМ в условиях динамического технологического нагружения. Разработана методика и проведено численное моделирование НДС конструкции силовой платформы космического аппарата под действием статических и случайных вибраций. Обоснованно эффективный метод прогнозирования ресурса элементов конструкций, изготовленных из углеродных композитов для условий стохастического эксплуатационного нагружения.

(англ.)

- The main result of the work is the development of generalizing phenomenological models of damage for anisotropic CM under static and cyclic loading conditions. A tensor of the damage parameters for different CM's and its invariants are shown. The methodology and the corresponding experimental data of CM's mechanical characteristics for static and low cyclic loading conditions was obtained. Parameters of the developed model was calculated. The dependence of the damage parameters on the anisotropy CM is obtained. It makes it possible to

simplify the determining procedure for the components of the anisotropic damage tensor of the material. The method of the stress-strain state evaluation and the destruction of structures elements for the dynamic technological loading conditions has been developed. A methodology and numerical simulation of the design of a power platform model of space probe under the influence of static and random vibrations was developed. A reasonably effective method for predicting the resource of structural elements made of carbon composites for stochastic operating loading conditions was presented.

4. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають світовому рівню. Вперше розроблені нові феноменологічні нелінійні моделі кінетики накопичення пошкоджень в конструкційних матеріалах при термосилових нестационарних навантаженнях з метою надійної оцінки ресурсу експлуатації конструкцій і апаратів нової техніки, діагностики виробленого і прогнозу залишкового ресурсу в процесі експлуатації. Нові підходи оцінки виробленого ресурсу об'єктів в процесі експлуатації, які основані на діагностиці стану конструкційних матеріалів та на основі математичного моделювання процесів деградації основних фізико-механічних властивостей КМ.

5. Економічна привабливість для просування на ринок

Розроблений комплексний розрахунково-експериментального метод діагностики технічного стану та прогнозування ресурсу відповідальних елементів конструкцій забезпечує істотне уточнення розрахункового ресурсу по параметру мало- та багатоциклової втоми та обґрунтоване зменшення матеріаломісткості відповідальних елементів конструкцій із КМ.

6. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Результати проекту плануються використати в інженерній практиці КБ підприємств та організації авіакосмічного комплексу України (ДП «Антонов», МКБ «Південне», ПАТ «Мотор-Січ», ЗМКБ «Прогрес» та ін.); автопрому України (АвтоКРАЗ, АвтоЗАЗ); Нафтогаз України («Київтрансгаз», НПО «Заря», МКБ «Луч» та ін.) , енергомашинобудуванні (Ладжинська тепла електростанція ПАТ «ДТЕК ЗАХІДЕНЕРГО») та Інституту механіки Отто-фон-Геріке університету Магдебурга (ФРН)

7. Стан готовності розробки.

Побудована та отримала подальше обґрунтування з границями використання узагальнена феноменологічна модель пошкоджуваності у вигляді кінетичного рівняння еволюції параметра пошкоджуваності та критерія руйнування на стадії зародження макротріщини. Розширено перелік експлуатаційних факторів, які враховуються в кінетичному рівнянні пошкоджуваності, а саме: анізотропію фізико-механічних властивостей КМ (клас армованих вуглепластиків), характер стохастичного режиму навантаження в режимі мало-багатоциклової втоми, анізотропію фізико-механічних властивостей КМ та інш. При цьому вперше встановлено залежність кінетики накопичення розсіяних руйнувань від знаку першого інваріанту тензора напружень, від значення коефіцієнта анізотропії КМ та обґрунтовано тензор пошкоджуваності і його інваріанти. Залежність коефіцієнта анізотропії КМ від кінетики накопичення пошкоджень дозволяє суттєво зменшити кількість базових експериментів з визначення параметрів пошкоджень для анізотропного КМ. Згідно розробленого методу здійснено розв'язок ряду практично важливих інженерних задач, зокрема: визначено розрахунково-експериментальним методом довговічність конструктивного елемента з поверхневим зміцненням, обґрунтовано ресурс експлуатації з'єднань методом динамічного зварювання та проведено комплекс розрахунків міцності та надійності силової платформи сучасного космічного апарату із КМ.

8. Існуючі результати впровадження.

Результати роботи впроваджені в інженерну практику ДП «КБ «Південне» ім. М.К. Янгеля», зокрема впроваджено ефективний метод розрахунку напружено-деформованого стану силових елементів конструкцій сучасних та перспективних космічних апаратів (КА). Він дозволив обґрунтовано оптимізувати конструктивно-технологічні параметри несучої платформи СВРЗ та прогнозувати ресурс на протязі всього життєвого циклу КА. Результати роботи забезпечать істотне уточнення розрахункового ресурсу по параметру мало- та багатоциклової втоми та обґрунтоване зменшення матеріаломісткості відповідальних елементів конструкцій із КМ.

9. Назва організації, телефон, E-mail

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Механіко-машинобудівний інституту, кафедра динаміки і міцності машин та опору матеріалів, 204-95-36, mmi@kpi.ua

10. Фото розробки:



Експериментальний комплекс Ви-02-112, який дозволяє реалізувати як статичне так і циклічне навантаження за різними траєкторіями та при різних швидкостях та має можливість фіксувати експериментальні дані з заданою частотою протягом всього часу проведення експерименту

Модернізований експериментальний стенд (на базі TIRATEST 2150) для визначення механічних характеристик армуючих волокон КМ



11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. Бобырь Н.И., Коваль В.В. Фактор поврежденности в оценке напряженно-деформированного состояния в зонах концентрации напряжений // Проблемы прочности. – 2017. – №3. – С.21-29.
2. Коваль В.В. Поврежденность конструкционных материалов в условиях малоциклового нагружения // Mechanics and Advanced Technologies. – 2017. – №2 (80). – С.52-58.
3. Коваль В.В. Малоцикловая усталость конструкционных материалов с учетом поврежденности // Современный научный вестник. – 2015. – №5 (252). – С.63-72.

4. Микола Бобир , Анатолій Грабовський, Олександр Бондарець, Моделі руйнування конструкційних матеріалів на основі механіки пошкоджуваності. «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення та експлуатації машинобудівних конструкцій», Львів: 2016 р. С.4-6.
5. Грабовский А. П., Бондарец А. А. Оценка долговечности работы конструкций и сооружений С.28-30 Современные проблемы машиноведения : тез. докл. XI Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), Гомель, 20–21 окт. 2016 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. С.28-30
6. Бобир М., Коваль В. Довговічність елементів конструкцій за умов мало циклового навантаження з урахуванням пошкоджуваності, 5-а міжнародна науково-технічна конференція «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення та експлуатації машинобудівних конструкцій», Львів: 2016 р., с. 20-22
7. Пиманов В.В., Тимошенко А.В. , Бабак А.Н.; Исследование влияния величины натяга на поврежденность материала в процессе дорнования отверстий в листовых заготовках из алюминиевого сплава д16чт // XVII Міжнародної науково-технічної конференції „Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта”, м. Одеса; Дата проведення: 21.06.2016 с. 45-47.
8. Барандич Е.С., Выслоух С.П., Тимошенко А.В., Коваль В.В Технологическое обеспечение максимальной циклической долговечности и производительности токарной обработки деталей // Международная научно-практическая конференция "Моделирование в технике и экономике" , м. Вітебськ , Республіка Білорусь, 2016, с. 32- 34.
9. Jens Strackeljan, Andriy Babenko, Iaroslav Lavrenko НЕОБХІДНІ УМОВИ СТІЙКОСТІ РУХОМИХ ЕЛЕМЕНТІВ РОТОРА ЦЕНТРИФУГИ // Вісник НТУУ "КПІ". Серія Машинобудування. – 2015. – Випуск 72. – С.18-23.
10. Найда А.М. Шнирук О.М., Федун В.І., Тимошенко О.В. , Коваль В.В., Мельник Л.І Вплив орієнтування пвх на релаксацію видовження зразків після випробувань // IX Міжнародній науково-технічній Web-конференції «Композиційні матеріали», НТУУ КПІ м.Київ; Дата проведення: 09.05.2016, с 111-113.
11. Babenko A.,Khalimon O. Dynamik und Festigkeit von hochpräzisen Zentrifugen. 12. Magdeburger Maschinenbau-Tage 30.09 bis 01.10.2015. B5-2.
12. Валерий Маковей, Николай Бобырь, Павел Проценко Профилирование винтообразных труб теплообменников.// LAP LAMBERT Academic Publishing. Number of pages:232. Published on:2017-05-26