

## **«Розробка методів діагностики пошкоджуваності та оцінки залишкового ресурсу елементів авіаційних конструкцій з використанням нанотехнологій»**

### ***Основні наукові результати***

Аналіз існуючих конструкцій зразків-свідків втомного пошкодження і робіт по дослідженню еволюції стану поверхні в процесі циклічного навантажування вказує на можливість і доцільність використання нанотехнологій при діагностиці пошкоджуваності та оцінці залишкового ресурсу елементів авіаційних конструкцій.

Визначена геометрія зразка-свідка втомного пошкодження дозволяє встановлювати його на навантаженому елементі конструкції регіонального літака і застосувати нанотехнології при його тестуванні, технологія його виготовлення запобігає виникненню залишкових деформацій поверхневого шару в процесі його підготовки.

Методика кріплення зразка-свідка до конструктивного елементу забезпечує адекватність деформацій зразка-свідка і елементу конструкції, на який він встановлюється.

Проведені втомні випробування конструктивних елементів з встановленими на них зразками-свідками і моніторинг параметрів деформаційного рельєфу доводять, що запропонована конструкція забезпечує передачу деформації від конструктивного елементу до зразка-свідка, що призводить до формування на поверхні зразка-свідка деформаційного рельєфу, його еволюції в процесі циклічного навантажування і руйнування

Результати дослідження впливу рівня максимального напруження циклу навантажування на розвиток деформаційного рельєфу поверхні плакованого конструкційного алюмінієвого сплаву Д16 АТ вказують, що інтенсивність зміни параметрів деформаційного рельєфу залежить від рівня напруження.

Встановлено, що при рівних амплітудних значеннях напруження пульсуючий цикл навантажування є більш пошкоджуючим, ніж симетричний, визначаючим фактором в цьому випадку є максимальне напруження циклу навантажування. Зменшення значення коефіцієнту асиметрії і відповідне збільшення амплітудного значення напруження при фіксованому значенні максимального напруження циклу навантажування прискорює процес накопичення втомного пошкодження на початковій стадії втоми.

Використання комп'ютеризованого оптичного контролю поверхні з моніторингом параметру пошкодження, який визначає насиченість поверхні ознаками мікропластичної деформації і фрактальної розмірності кластерів деформаційного рельєфу дозволяє проводити оцінку накопиченого пошкодження по зазначеним параметрам.

Моніторинг параметрів шорсткості, проведений за допомогою нового апаратного забезпечення методу безконтактної інтерференційної профілометрії, вказує на можливість оцінки накопиченого втомного пошкодження за параметрами шорсткості.

Модернізація багатофункціонального приладу “Мікрон-гама” дозволяє досліджувати еволюцію структурно-деформаційних властивостей поверхні при втомному навантаженні. Для кількісної оцінки накопиченого втомного пошкодження зразків-свідків втомного пошкодження, виготовлених з плакованого алюмінієвого сплаву Д-16АТ можуть бути застосовані розроблені методики інденування і склерометрії.

Отримані множинні регресійні моделі накопичення пошкодження створюють можливість оцінки накопиченого втомного пошкодження зразків-свідків втомного пошкодження за комплексом параметрів стану поверхні і прогнозу залишкової довговічності елементів конструкцій, на яких встановлюються зразки-свідки.

НДР проведена відповідно до технічного завдання і у повному обсязі.

Отримані результати вказують на можливість і доцільність продовження досліджень, спрямованих на використання нанотехнологій при оцінці накопиченого втомного пошкодження і прогнозуванні залишкового ресурсу авіаційних конструкцій по параметрах стану поверхні.

### ***Практична цінність***

Результати НДР можуть бути впроваджені при проведенні натурних випробувань авіаційних конструкцій, лабораторних випробувань конструктивних елементів. Застосування засобів про-

гнозування залишкового ресурсу на початкових стадіях пошкодження може суттєво скоротити тривалість втомних випробувань, що дозволяє понизити їх вартість.

Результати НДР впроваджені в навчальний процес шляхом постановки двох нових лабораторних робіт за дисципліною «конструкція і міцність літальних апаратів».

Результати НДР впроваджено у відділі фізико-металургійних процесів зварювання легких металів та сплавів ІЕЗ ім.Є.О.Патона НАН України, у відділі фізики та технології жароміцних матеріалів ПМ НАН України ім.І.М.Францевича, на заводі 410 ЦА, на інженерно-фізичному факультеті НТТУ «КПІ».

#### **Перелік основних наукових публікацій, доповідей на конференціях, семінарах**

1. Ігнатович С.Р. Использование нанотехнологий при диагностировании поверхности // АВИА-2007: Матеріали VIII Міжнар. наук.-техн. конф. (25-27 квітня 2007 р.). – К.: НАУ, 2007. – С. 33.45-33.48.

2. Карускевич М.В., Маслак Т.П. Оцінка накопиченого втомного пошкодження по параметрах деформаційного рельєфу поверхні // АВИА-2007: Матеріали VIII Міжнар. наук.-техн. конф. (25-27 квітня 2007 р.). – К.: НАУ, 2007. – С. 33.49-33.52.

3. Фирстов С.А., Игнатович С.Р., Закиев И.М. Коррекция диаграммы внедрения при наноиндентировании с учетом особенностей начального контакта / Проблемы тертя та зношування: Вип. 48 - Київ: НАУ, 2007 – С. 64-71.

4. Карускевич М.В., Корчук О.Ю., Кириленко Д.О. Деформаційний рельєф в зоні втомної тріщини // Вісник НАУ. - 2007. – 4 стор.

5. Игнатович С.Р., Закиев И.М., Борисов Д.И. Оценка структурно-деформационной неоднородности тонкого поверхностного слоя материалов методом царапания // Пробл. прочност. – 2008. - № 3. –С. 70 – 81.

6. Игнатович С.Р., Шмаров В.Н., Закиев И.М., Закиев В.И. Профилومتر для контроля микро/нано топографии поверхности методом оптической интерферометрии / Нанотехнологии: Сб. докл. Харьковской нанотехнологической асамблеи-2008: Т.1., -Харьков: ХФТИ, 2008-С.202-205.

7. Игнатович С.Р., Шмаров В.Н., Закиев И.М., Майстренко Ю.Н. Контроль физико-механических свойств поверхности твердых тел методами локального и сканирующего микро/нано индентирования / Нанотехнологии: Сб. докл. Харьковской нанотехнологической асамблеи-2008: Т.1., -Харьков: ХФТИ, 2008 – С.243-246.

8. Ignatovich S. R., Zakiev I. M., Borisov D. I. Assessment of the structural-deformation inhomogeneity of a thin surface layer of materials by the method of scratching // [Strength of Materials. Volume 40. - № 3. - 2008.](#) – P.334-342.

9. Игнатович С.Р., Закиев В.И., Юцкевич В.С, Майстренко Ю.Н. Исследование процесса усталости в сплаве Д16Ат при помощи нанопрофилметра / Вестник двигателестроения: № 3 – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2008 –С.99-101.

10. Ignatovich S.R., Zakiev V.I., Yutskevych S.S. Metal fatigue process investigation by the interference nanoprofilometer / Safety in Aviation and Space Technology: Proceeding of the Third World Congress “Aviation in the XXI-st Century” – V.1, Kyiv, 2008. – P. 12.7 – 12.10.

11. Энциклопедия безопасности авиации / Н.С. Кулик, В.П. Харченко, М.Г. Луцкий, Игнатович С.Р. и др. / Под ред. Н.С. Кулика. – Київ: «Техніка», 2008. – 1000 с.

12. Разделы 6.4. Множественное разрушение материалов и конструкций (306-322) и 7.5. Виброакустическая диагностика компонентов авиационной техники (471-487).

13. Игнатович С.Р., Закиев И.М., Закиев В.И. Определение микромеханических характеристик поверхности материалов с использованием наноиндентометра «Микрон-гамма» // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2008. – вып.42. – С.86-89.

14. Карускевич М.В., Овсянкін А.М., Маслак Т.П., Щепак С.В. Неруйнівний контроль втомного пошкодження алюмінієвих конструкційних сплавів/ Теорія і практика неруйнівного контролю матеріалів і конструкцій. Міжнародна науково-технічна конференція «ЛЕОТЕСТ». Збірник наукових праць. Львів – 2008. - С. 266-271.

15. Карускевич М.В., Корчук О.Ю., Маслак Т.П. Экструзионно-интрузионная структура,

как индикатор накопленного усталостного повреждения. КОНГРЕС -2008.–НАУ. Украина.

16. Радченко А.И., Юцкевич С.С., Пантелеев В.М. Процесс усталости сплава Д16Т на различных масштабных уровнях эволюции / Прикладная синергетика в нанотехнологиях: Сб. докладов ФИПС-2008. Москва -2008. - С. 383-388.

17. Костенюк Д., Каран Є. Возможность визуальной идентификации деформационного рельефа и оценки накопленного усталостного повреждения. Тези доповіді. Конференція «Полет-2008», квітень 2008.

18. Костенюк Д., Каран Є. Прогнозування руйнування елементів авіаційних конструкцій. Тези доповіді. Конференція ІНТ НАУ, листопад, 2008.

19. Karuskevich M.V., Korchuk E.Yu., Yakushenko A.S., Maslak T.P. Estimation of the Accumulated Fatigue Damage by Saturation and Fractal Dimensionality of the Deformation Relief// Problems of strength 2008. – No.6 (396) - P.128-135.

20. S.Ignatovich, M.Karuskevich, T.Maslak, Computer Aided Optical Method For Aircraft's Components Fatigue Life Estimation, Book of Abstracts, 17 th European Conference on Fracture, Multilevel Approach to Fracture of Materials, Components and Structures, 2-5 September, 2008, Brno, Czech Republic.- p.324.

21. Карускевич М.В., Костенюк Д.М., Каран Є.В. Візуальна ідентифікація деформаційного рельєфу й оцінка накопиченого втомного пошкодження / Наукоємні технології. НАУ-друк, 2009 – С.13-15.

22. Карускевич М.В., Костенюк Д.М., Каран Є.В. Оптичний контроль накопиченого втомного пошкодження / Матеріали ІХ Міжнародної НТК «АВІА-2009», 21-23 вересня 2009 р. Т. – Київ: НАУ.2009.- С.48-51.

23. Карускевич М.В., Погребняк А.Д., Маслак Т.П., Щепак С.В. Оцінка довговічності плакованих алюмінієвих сплавів при асиметричному циклічному навантаженні / Матеріали ІХ Міжнародної НТК «АВІА-2009», 21-23 вересня 2009 р. Т. – Київ: НАУ.2009.- С.52-56.

24. Игнатович С.Р., Шмаров В.Н., Юцкевич С.С. Особенности формирования деформационного рельефа на поверхности сплава Д16АТ при усталости / Авиационно-космическая техника и технология: Вип. 10(67) – Харьков: ХАИ, 2009 –С.132-136.

25. Игнатович С.Р., Карускевич М.В., Юцкевич С.С., Маслак Т.П. Эволюция деформационного рельефа плакированного слоя алюминиевого сплава Д16АТ при усталости / Праці Міжнародної НТК “Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування, 21-24 вересня 2009 р. – Тернопіль: Терн-ий держ. техн. університет. 2009. – С. 47-53.

26. Игнатович С.Р., Закиев И.М., Закиев В.И., Юцкевич С.С. Интерференционный профилометр для контроля топографии поверхности материалов с нанометровым разрешением / Праці Міжнародної НТК “Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування, 21-24 вересня 2009 р. – Тернопіль: Терн-ий держ. техн. університет. 2009. – С. 175-179.

27. Фирстов С.А., Игнатович С.Р., Закиев И.М. Размерный эффект при микро/нано-индентировании и его компенсация с учетом особенности начального контакта // Пробл. прочно-сти. - 2009. - № 2. - С. 43-54.

28. Безконтактний тривимірний профілометр: Патент на корисну модель № 39972 Україна, G01В 9/02; 11/30 / С.Р. Ігнатович, І.М. Закієв, В.І. Закієв, С.С. Юцкевич (Україна). – u200809989; Заявл. 01.08.2008; Опубл. 25.03.2009, Бюл. № 6. – Зс.: 2 іл.