

УДК 621.01:620.179.1

Вілен Петрович РОЙЗМАН,
*доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри радіотехніки
та зв'язку Хмельницького національного університету*

Ігор Іванович КОВТУН,
*кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці та безпеки
життєдіяльності Хмельницького національного університету*

РОЗРОБКА МЕТОДИК АКУСТО-ЕМІСІЙНОЇ НЕРУЙНІВНОЇ ДІАГНОСТИКИ МІЦНОСТІ ДЕТАЛЕЙ І ВУЗЛІВ ТЕХНІКИ

Стаття містить результати експериментальних досліджень акустико-емісійних властивостей різноманітних матеріалів, деталей і вузлів конструкцій, що застосовуються в машинобудуванні й інших галузях техніки, у результаті яких розроблені засоби та методики неруйнівного діагностування: міцності склопластикових заготовок, які використовуються для виготовлення насосних штанг; міцності та герметичності корпусів мікроскладань НВЧ в процесі виробництва і в процесі експлуатації, коли корпуси, встановлені на борту літака, піддаються перепадам внутрішнього тиску за пульсуючим циклом; міцності нерознімних з'єднань різноманітних композиційних матеріалів на прикладі конструкції компаундованих керамічних конденсаторів К15-5, які працюють в умовах термоциклювання; зміни міцності металу після обробки за технологією водневого окрихчення та твердо-сплавних рижучих пластин після обробки за технологією іонного азо-

© Ройзман В. П., Ковтун І. І.

тування. Крім того, висвітлюються розробки програмно-апаратного комплексу акустичної емісії, застосовуваного для експериментальної і прикладної діагностики міцності та портативного акустико-емісійного приладу, призначеного для попередження про початок процесу розгерметизації або руйнування контрольованих деталей та вузлів систем літальних апаратів.

Ключові слова: методика, засіб, акустична емісія, неруйнівне діагностування, міцність, деталь, вузол.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Створення сучасних машин і конструкцій високої якості та надійності пов'язано з використанням високоміцних матеріалів із заданими фізико-механічними властивостями. Сьогодні широкого застосування знаходять нові, у тому числі композиційні, матеріали та їх з'єднання, з яких виготовляють несучі елементи, відповідальні деталі та конструкції в машинобудуванні, авіабудуванні, суднобудуванні, будівництві та інших галузях техніки. Однак нерідко в процесі виробництва у відповідальних деталях з'являються різного роду дефекти (раковини, пори, тріщини, розшарування і т. д.), що призводить до зміни фізико-механічних властивостей, погіршення якості та надійності виробів. Тому останнім часом у рішенні задач підвищення міцності виробів поширився розвиток підхід, заснований на вивченні фізичних процесів, які відбуваються в матеріалі (виробі) і є причиною появи полумок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Більшість відомих методів неруйнівного контролю стану матеріалів, як ультразвукова дефектоскопія і рентгенівська радіографія, забезпечують лише вибірко-вий контроль в окремих зонах матеріалу, виявляючи значні дефекти, і не інформують про те, наскільки небезпечний виявлений дефект, хоча той самий дефект може бути небезпечним або безпечним залежно від його місця в полі напруг, що виникає при навантаженні матеріалу. На відміну від вищезгаданих методів, метод акустичної емісії (АЕ) заснований на випромінюванні матеріалом при його деформуванні пружних механічних хвиль, джерелом яких є дефекти, що розвиваються, володіє високою чутливістю, можливістю виявити ці дефекти і стежити за їх

поводженням, інтегральністю, що дозволяє контролювати стан матеріалу без сканування, простою використання в процесі випробувань, виробництва й експлуатації, можливістю контролювати різноманітні, як однорідні, так і неоднорідні матеріали, у тому числі і композити. Незважаючи на існування множини робіт із дослідження явища АЕ [1,2,3 та ін.], питання про його практичне застосування для неруйнівної діагностики міцності матеріалів все ще є актуальним і потребує подальшого розвитку.

Метою статті є створення методик акусто-емісійного неруйнівного контролю, діагностування і прогнозування міцності нерознімних елементів конструкцій, застосовуваних у машинобудуванні та інших галузях техніки.

Основні результати дослідження. Для проведення експериментальних досліджень міцності з використанням методу акустичної емісії було створено програмно-апаратний комплекс АЕ на базі серійно випущеного акусто-емісійного приладу АФ-15 і персонального комп'ютера. При розробці комплексу було проведено модернізацію трьох субблоків акусто-емісійного приладу, створено модуль комп'ютерного паралельного інтерфейсу і розроблено пакет прикладних програм, що дозволило комп'ютеризувати процес збору й опрацювання параметрів сигналів АЕ, тим самим підвищивши кількість опрацьовуваних сигналів у 40 разів.

Основним завданням комплексу є документальна реєстрація й опрацювання параметрів сигналів акустичної емісії, що виникають при випробуванні деталей статичними і динамічними навантаженнями. Комплекс застосовується для експериментальної та прикладної діагностики і прогнозування міцності матеріалів, деталей і вузлів машин і апаратів різноманітних галузей народного господарства [4].

Акусто-емісійне дослідження різноманітних матеріалів проводилось під впливом різноманітних механічних навантажень, таких як розтяг, зсув і згин, із метою з'ясування можливості застосування методу АЕ для неруйнівного контролю, діагностування і прогнозування міцності.

Прості випробування стандартним навантаженням на розтяг зразків однорідного матеріалу – сталі Ст3 дали низку практично цінних характерних особливостей.

Тривимірні графіки розподілу сигналів АЕ залежно від напруження і лінійної координати по довжині зразка (рис. 1) показали, що перші сигнали з'являються ще в зоні пружності. Лінійна локація джерел цих сигналів дозволила побачити, що в місці майбутнього руйнування є емісія, тобто відбувається розвиток дефекту. Більш того, місце майбутнього руйнування чітко позначає себе ще до границі пружності і не віддає своєї першості аж до руйнації, що демонструє графік залежності загального рахунку сигналів АЕ від лінійної координати (рис. 2). Це дало можливість неруйнівної діагностики місця майбутнього руйнування зразків матеріалів, що тестуються.

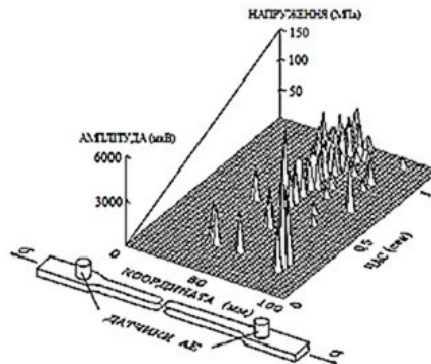


Рис. 1. Акустична емісія в зоні пружності

Встановлено, що максимум активності АЕ належить полиці плинності. Даний факт був використаний для визначення границі текучості зразків латуні Л68, діаграма розтягу яких не містить явної полиці плинності.

У зоні напружень, які не перевищують границю пропорційності, встановлена лінійна кореляційна залежність між коефіцієнтом прогнозування міцності K , який визначається за формулою

$$K = \frac{\sigma_{\theta}}{\sigma_{npz}}, \quad (1)$$

де σ_{θ} – границя міцності зразка, σ_{pz} – напруження прогнозування, яке знаходиться в межах $0 < \sigma_{npz} \leq \sigma_{ни}$, де $\sigma_{ни}$ – границя пропорційності матеріалу

та активністю сигналів АЕ N :

$$K = 7,3 - 0,42N. \quad (2)$$

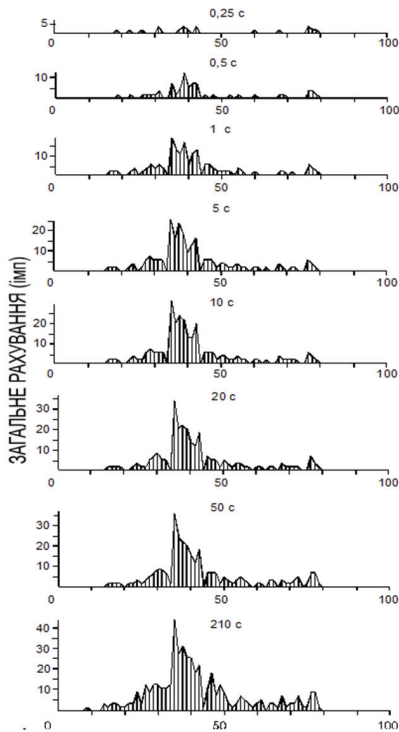


Рис. 2. Лінійна локація дефектів, що розвиваються

Користуючись залежністю (2) при безпечному тестуванні сталевого зразка до напруження, яке не перевищує границю пропорційності, за зареєстрованим значенням активності сигналів АЕ N та відповідним йому напруженням σ_{npe} можна визначити K і розрахувати (спрогнозувати) границю міцності цього зразка. Прогностична границя міцності, відповідно до (1), знаходиться за формулою

$$\sigma_a^{npe} = K \times \sigma_{npe}. \quad (3)$$

Отримані за матеріалами випробувань партії зразків сталі Ст3 значення K мають розкид, який є наслідком нестабільності фізико-механічних властивостей випробуваних зразків. Тому для розрахунків за формулою (3) приймається найменше значення K_{min} , яке знаходиться в довірчому інтервалі $\Delta=0,32$, знайденому з ймовірністю $P=0,95$, і тоді можлива помилка в прогнозуванні міцності іде в запас міцності. Подібний вибір K є одним з можливих; залежно від того, наскільки відповідальним є об'єкт, що тестується, можна приймати і більш низькі значення K (із отриманої вибірки), збільшуючи тим самим запас міцності, але при цьому, звісно, знижуючи точність прогнозування.

Для практичних цілей використання параметра АЕ для неруйнівної діагностики міцності може бути спрощено, при цьому за матеріалами випробувань групи зразків або деталей призначається контрольний, тобто максимальний рівень активності АЕ, який стабільно проявляється в безпечній для міцності зоні напружень, і розраховується коефіцієнт прогнозування міцності за формулою (1), де σ_{npe} – напруження, при якому активність досягла контрольного рівня. За неруйнівного діагностування, яке проводиться безпечним тестуванням з одночасною реєстрацією діаграми напружень і активності АЕ, у разі, якщо активність АЕ досягла контрольного рівня, прогностична границя міцності визначається за формулою (3), у протилежному випадку вона визнається не меншою допустимої.

Розроблений на прикладі зразків сталі Ст3 засіб неруйнівного діагностування і прогнозування міцності знайшов застосування у дослідженні натурних виробів.

Дослідження неоднорідних матеріалів, які пройшли опрацювання за технологіями поверхневого насичення, дали можливість запропонувати методики неруйнівного контролю зміни їх міцності після обробки. До таких технологій належать: розроблена під керівництвом професора Я. Н. Гладкого технологія водневого окрихчення [5], що являє собою насичення воднем, яке послабляє характеристики міцності поверхневого прошарку металу, з метою підвищення продуктивності механічної обробки в зоні різання, і розроблена під керівництвом професора Каплуна В. Г. у лабораторії іонно-плазмових методів зміцнення технологія іонного азотування, що полягає в дифузійному насиченні поверхні деталі атомами азоту і застосовується для зміцнення твердосплавного інструменту [6]. Об'єктами досліджень служили зразки сталі Ст 3 і твердосплавні ріжучі пластини. Механічні випробування на розтяг і зсув показали, що обробка воднем зменшує границю міцності і плинності сталевих зразків на 30 %, а обробка азотуванням підвищує границю міцності твердосплавних пластин на 15 %.

Проте застосування методу АЕ дозволило побачити, що АЕ реагує на технології ще більш виражено. Загальна кількість сигналів АЕ, що випромінюється при навантаженні наводненої сталі, на 90 % менша від кількості сигналів АЕ сталі в стадії промислового постачання, а технологія іонного азотування призводить до зменшення середньої амплітуди сигналів АЕ на 40–45 %, при цьому сумарна кількість сигналів зростає на 100 %. Таким чином, акустична емісія дозволяє чітко зафіксувати вплив різноманітних за призначенням технологій поверхневого насичення і дає можливість здійснювати неруйнівний контроль зміни міцності деталей після обробки, порівнюючи параметри АЕ, одержувані при безпечному випробуванні деталей до і після обробки.

Дослідження склопластикових заготовок [7] для виготовлення насосних штанг, виконувались по замовленню нафтогазової промисловості. У результаті досліджень при статичному навантаженні заготовок на згин була розроблена методика неруйнівного діагностування й прогнозування міцності заготовок, у якій параметрами, які характеризують міцність, є амплітуда і активність сигналів АЕ; у випадку

перевищення параметрами сигналів АЕ контрольного рівня при тестуванні до безпечного навантаження $P_{месн}$ (4) заготовка признається дефектною й відбраковується, у протилежному випадку її міцність вважається не нижче від допустимої

$$P_{месн} = P_{max} / K, \quad (4)$$

де P_{max} – допустиме значення максимального навантаження заготовок, K – коефіцієнт прогнозування максимального навантаження, розрахований за матеріалами випробувань заготовок аналогічно формулі (1).

Ураховуючи відповідальність насосних штанг (експлуатація в добувній шахті), які виготовляються з заготовок, що тестуються, з отриманого інтервалу значень $K=(2,06-3)$ було прийнято найменше значення $K=K_{min}=2$.

Об'єктами дослідження міцності та герметизації корпусів мікро-складами НВЧ служили корпуси, виготовлені з алюмінієвого сплаву АМг-2. Корпуси являють собою нерознімну конструкцію, створену за допомогою лазерного зварювання [7]. Корпуси відрізняються один від одного розмірами і конструкцією вузла кріплення кришок корпусів до основи (рис. 3). У процесі експлуатації, тобто при підйомі на висоту, у корпусах виникає надлишковий внутрішній тиск, який може призвести до руйнації зварного шва і розгерметизації корпуса. Методом АЕ вдалося підвищити надійність корпусів, давши можливість контролю, діагностики і прогнозування міцності та герметичності корпусів у процесі виробництва та експлуатації.

Дослідження проводилися за допомогою акусто-емісійної і тензометричної апаратури при статичному навантаженні внутрішнім надлишковим тиском.

Застосовуючи засіб, розроблений для сталевих зразків, вдалося встановити контрольний рівень параметрів сигналів АЕ і розрахувати коефіцієнт прогнозування тиску розгерметизації корпусів. Ураховуючи особливу відповідальність корпусів, що тестуються (експлуатація на борту літака), з отриманого аналогічно (1) інтервалу значень коефіцієнтів (2–2,5), який є наслідком нестабільності фізико-механічних характеристик корпусів і їх зварних швів, було вибрано мінімальне

значення $K_{min}=2$, тоді можлива помилка в прогнозуванні міцності корпусів іде в запас міцності. Згідно з розробленою методикою неруйнівного діагностування і прогнозування міцності та герметичності корпусів тиск тестування корпусів знаходиться як відношення граничного тиску за технічними умовами (ТУ) до коефіцієнта прогнозування; тестування виробу проводиться подачею в середину стиснутого повітря з одночасною реєстрацією параметрів сигналів АЕ. Корпуси мікроскладань НВЧ признаються придатними для експлуатації в даному за ТУ діапазоні тиску, якщо активність сигналів АЕ, зареєстрованих під час тестування, не перевищила контрольного рівня (15 імп/с), у протилежному випадку корпуси відбраковуються.

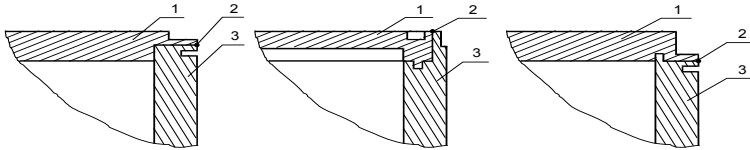


Рис. 3. Схеми гермовузлів мікроскладань НВЧ:

1 – кришка, 2 – зварний шов, 3 – основа

Більш цього, корпуси досліджувалися в експлуатаційних умовах, тобто при перепадах внутрішнього тиску за пульсуючим циклом, якому в результаті зльотів і приземлень піддаються корпуси, установлені на борту літака. Для партії з 20 корпусів 100 циклів випробувань показали таке: для герметичних корпусів має місце ефект Кайзера, відповідно до якого при повторному навантаженні до попереднього рівня акустична емісія не відновлюється. Проте для 2 корпусів, що розгерметизувались під час випробувань, АЕ почала випромінюватись за 6–10 циклів до розгерметизації і вже не зменшувалася, а прогресувала аж до розгерметизації.

На основі отриманих результатів був запропонований засіб неруйнівного контролю міцності та попередження небезпечних станів корпусів, установлених на борту літака, в якому датчик АЕ служить датчиком безпеки на борту літака і за 6–10 циклів, тобто зльотів і приземлень, до катастрофічної руйнації корпусу “попереджає” про

початок процесу руйнування. Також був спроектований і створений портативний акусто-емісійний прилад, індикаторний устрій якого сигналізує про наявність АЕ, яка перевищує заздалегідь установлений амплітудний рівень. Прилад містить один вимірювальний канал і робить приймання сигналів АЕ у діапазоні 20–2 000 кГц.

Методика неруйнівного діагностування міцності та попередження небезпечних станів нерознімних з'єднань композиційних матеріалів була розроблена на прикладі конструкції компаундованих керамічних конденсаторів К15-5 при термоциклюванні.

З попередніх робіт [8] відомо, що руйнування кераміки в конструкції К 15-5 при термоциклюванні виникає від її розтягу у напрямку подовжніх осей дисків і по площинах, нахилених до торців дисків під кутом 45°, через стискання в радіальних напрямках від дії компаунду. Також було виявлено, що значення напружень і деформацій у кераміці та компаунді значно залежать від розкиду їх фізико-механічних характеристик. Більш того, якщо на отримані за допомогою розрахунків поля напружень накласти реальну структуру матеріалів, то можна визначити, користуючись коефіцієнтом інтенсивності напружень, що в місцях найбільших напружень починається розвиток навіть дефектів розміром до 4 мкм. Тому для визначення і забезпечення міцності нерознімних з'єднань було вирішено створити засіб неруйнівного діагностування міцності на основі методу АЕ, який, відображаючи фізико-механічні властивості матеріалів, дає змогу слідкувати за станом їх мікроструктури і фіксувати його порушення на ранніх ступенях розвитку.

До створення неруйнівного контролю міцності компаундованих конденсаторів методом АЕ необхідно було вирішити такі питання:

у яких температурних межах працездатний датчик АЕ з огляду на те, що він містить у своїй конструкції деталі з різнорідних матеріалів: металу, пластмаси, кераміки, компаунда – із коефіцієнтами лінійного розширення, що відрізняються;

як позбутися сигналів АЕ, що випромінюються утвореним на конденсаторі і датчику льодом при переході від додатних температур до від'ємних і навпаки;

як відрізнити сигнали АЕ, що випромінюються керамічною основою і компаундною оболонкою за нормальних і від'ємних температур?

Випробування датчиків, проведені в термокамері Файтрон 3526/51, показали, що датчик П113 працездатний в інтервалі температур $+60 \dots -50$ °С, тобто всі сигнали, що випромінював імітатор АЕ, під'єднаний до датчика, були прийняті і зареєстровані програмно-апаратним комплексом АЕ. Проте, крім переданих йому сигналів, датчик випромінював свої власні, пов'язані з різницею коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів складових датчика – металу, пластмаси, кераміки і компаунда. Тому було вирішено не піддавати датчик дії несприятливих температур і здійснювати передавання сигналів через хвилеводи. При цьому один кінець хвилеводу кріпився до досліджуваного виробу і знаходився в термокамері, а на кінець, що знаходився поза камерою за кімнатної температури, встановлювався датчик АЕ.

Випробування показали, що при переході від додатних температур до від'ємних усе ж з'являлася АЕ за рахунок зледеніння хвилеводу і контактних прошарків. Для усунення перешкод, пов'язаних з утворенням і розтріскуванням льоду, поставили експеримент у вакуумі. Була сконструйована невелика вакуумна установка, усередині якої розміщувався випробуваний об'єкт із закріпленням на ньому датчиком АЕ і температури. Ця установка поміщувалася в термокамеру. Вакуумний насос підтримував рівень розрідження в камері, за якого був відсутній лід. У таких умовах при термоциклюванні від $+60$ до -50 °С не з'являлося зледеніння і датчик нормально працював у всьому діапазоні температур.

Недоліком такого методу був тривалий час, необхідний для термоциклювання, перехід від -50 до $+60$ °С займав 180–190 хв.

Для визначення робочої смуги частот сигналів АЕ, які випромінюються при руйнуванні зразків кераміки К-15 і компаунда ЕК-242, були проведені випробування. 30 зразків кераміки і компаунда навантажувались консольно в спеціальному пристрої при різноманітних смугах пропускання частот. Отримані матеріали виміру АЕ показали, що для керамічної складової краще використовувати смугу робочих частот 650–1 000 кГц, а для компаундної складової – 130–300 кГц. Ана-

логічно проводилися випробування тих же матеріалів (30 зразків) за від'ємних температур. Найбільш оптимальна смуга частот, визначена для кераміки і компаунда, не відрізнялася від визначеної в попередньому експерименті.

Після проведення даних робіт приступили до запису корисних сигналів АЕ при термоциклюванні конденсаторів К15-5. Перші 10 конденсаторів піддалися термоциклюванню у вакуумній камері за температур $+60 \dots -50$ °С із застосуванням хвилевода і датчика П113, смуга пропускання якого перебуває в границях 0,2–2,0 МГц. Експеримент показав, що для всіх конденсаторів в області додатних температур сигнали АЕ відсутні і з'являються лише за температури -14 °С і нижче. Це дало підставу подальші випробування проводити в діапазоні температур від кімнатної до -50 °С без застосування вакуумної камери і хвилеводів, а виниклі сигнали АЕ від зледеніння датчика і конденсатора за температури біля $+5$ °С просто не враховувати і не реєструвати.

Подальші випробування 30 конденсаторів у термокамері проводилися за новими умовами, при цьому сполучений кабелем датчик АЕ через попередній підсилювач САА-06 підключався до двох приладів АФ-15, один з яких був у складі програмно-апаратного комплексу АЕ і настроений на прийом сигналів АЕ лише від компаундної складової, а другий – підключений до цифродрукувального пристрою і настроєний на прийом сигналів від керамічної частини.

При випробуваннях в 100 циклах були встановлені характерні особливості в проявленні АЕ, які дозволили запропонувати засіб діагностування міцності та попередження небезпечних станів нерознімного з'єднання кераміки і компаунда на прикладі конструкції конденсаторів К 15-5 при термоциклюванні від $+60$ °С до -50 °С, згідно з яким:

прояв ефекту Кайзера після перших двох термоциклів свідчить про нормальний, тривкий стан конструкції;

якщо на n -му циклі термоциклювання знову з'являються сигнали АЕ, сумірні із сигналами, отриманими при першому циклі, то це є попередженням про початок процесу катастрофічної руйнації і така конструкція буде зруйнована через 5-10 циклів;

якщо при підвищенні температури від -50°C до -10°C з'являються сплески сигналів АЕ, то це свідчить про наявність і розвиток тріщини в конструкції.

У двох останніх випадках конструкція вважається дефектною.

Висновки. Для проведення діагностики міцності нерознімних елементів конструкцій методом АЕ був розроблений і створений програмно-апаратний комплекс АЕ, призначений для документальної реєстрації й опрацювання параметрів сигналів акустичної емісії.

У ході стандартних лабораторних випробувань зразків матеріалів та натурних виробів на прості види навантаження (розтяг, згин, зсув) встановлено зв'язок між параметрами сигналів АЕ, напруженням у пружній стадії деформації та руйнівним напруженням; на основі цього зв'язку розроблені: засіб неруйнівного контролю, діагностування та прогнозування міцності на прикладі зразків сталі Ст 3, засіб неруйнівного контролю зміни міцності металу після обробки за технологією водневого окрихчення, методика неруйнівного контролю зміни міцності тврдосплавних ріжучих пластин після обробки за технологією іонного азотування та методика неруйнівного діагностування та прогнозування міцності склопластикових заготовок, які використовуються для виготовлення насосних штанг.

Розроблено методика неруйнівного діагностування та прогнозування міцності та герметичності корпусів мікроскладань НВЧ при безпечному тестуванні внутрішнім надлишковим тиском у статичному режимі навантаження. Корпусу мікроскладань НВЧ визнаються придатними для експлуатації в даному, за технічними умовами, діапазоні тиску, якщо активність сигналів АЕ, зареєстрованих під час тестування, не перевищила контрольного рівня (15 імпл/с), у протилежному випадку корпуси відбраковуються.

Запропоновано засіб неруйнівного контролю міцності та попередження небезпечних станів корпусів мікроскладань НВЧ, установлених на борту літака, якщо в результаті зльотів і приземлень корпуси відчувають перепади тиску і виникає небезпека руйнації зварного шва і розгерметизації корпусу. Прояв ефекту Кайзера, тобто відсутність сигналів АЕ після першого циклу, свідчить про тривкий стан корпусу.

Якщо на деякому циклі знов виникають сигнали АЕ, то це є попередженням про початок процесу катастрофічного руйнування і такий корпус розгерметизується за 6-10 зльотів і приземлень.

Запропоновано засіб неруйнівного діагностування міцності і попередження небезпечних станів нерознімних з'єднань різноманітних композиційних матеріалів на прикладі конструкції компаундованих керамічних конденсаторів К 15-5, що працюють в умовах термоцикування від +60 °С до -50 °С. Показником міцного стану конструкції є прояв ефекту Кайзера після перших двох термоциклів. Поява АЕ на n-му термоциклі є попередженням катастрофічної руйнації конструкції через 5-10 циклів.

Список використаної літератури

1. Грешников В. А. Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий / В. А. Грешников, Ю. В. Дробот – М. : Изд-во стандартов, 1976. – 272 с.
2. Неразрушающий контроль. Кн.2 Акустические методы контроля : практическое пособие / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов ; под ред. В. В. Сухорукова. – М. : Высш. шк., 1991. – 283 с.
3. Прочность и акустическая эмиссия материалов и элементов конструкций / В. А. Стрижало, Ю. В. Добровольский, В. А. Стрельченко и др. ; отв. ред. Писаренко Г. С. – АН УССР. Ин-т проблем прочности, К. : Наук. Думка, 1990. – 232 с.
4. Ройзман В. П. Программно-апаратний комплекс акустичної емісії / В. П. Ройзман, І. І. Ковтун // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький. – 1997. – №1. – С. 25-29.
5. Гладкий Я. М. Дослідження фізико-механічних властивостей конструкційної сталі Ст3 під впливом водню з використанням методу акустичної емісії / Я. М. Гладкий, А. А. Бурлаков, І. І. Ковтун // Вісник Технологічного університету Поділля – технічні науки. Хмельницький. – 1997. – Сер. 1. – №1. – С. 22-26.
6. Снозик О. В. Дослідження міцності азотованих твердосплавних інструментів і акустичної емісії, що виникає при їх навантаженні / О. В. Снозик, І. І. Ковтун// Вісник Технологічного університету Поділля – соціально-гуманітарні і природничі науки. Хмельницький. – 1997. – сер. 3. – № 1. – С. 49 -52.

7. Ройзман В. П., Ковтун И. И. Диагностика прочности и герметичности корпусов микросборок СВЧ / В. П. Ройзман, И. И. Ковтун // *Problems of Tribology (Проблеми трибології)*. –1998. – № 2. – С. 100–109.

8. Ройзман В. П., Ковтун И. И. Диагностика прочности неразъемных соединений различных композиционных материалов при термоциклировании / В. П. Ройзман, И. И. Ковтун // *Problems of Tribology (Проблеми трибології)*. –1998. – № 2. – С. 110–118.

Стаття надійшла до редакції 20.11.2015.

Ройзман В. П., Ковтун И. И. Разработка методик акустико-эмиссионной неразрушающей диагностики прочности деталей и узлов техники

Статья содержит результат экспериментальных исследований акустико-эмиссионных свойств разнородных материалов, деталей и узлов конструкций, которые применяются в машиностроении и других отраслях техники, в результате которых разработаны способы и методики неразрушающего диагностирования: прочности стеклопластиковых заготовок, используемых для производства насосных штанг; прочности и герметичности корпусов микросборок СВЧ в процессе производства и в процессе эксплуатации, когда корпуса, установленные на борту самолета, подвергаются перепадам внутреннего давления по пульсирующему циклу; прочности неразъемных соединений различных композиционных материалов на примере конструкции компаундированных керамических конденсаторов К15-5, работающих в условиях термоциклирования; изменения прочности металла после обработки по технологии водородного охрупчивания и твердосплавных режущих пластин после обработки по технологии ионного азотирования. Кроме того, статья содержит разработки программно-аппаратного комплекса акустической эмиссии, применяемого для экспериментальной и прикладной диагностики прочности и портативного акустико-эмиссионного прибора, предназначенного для предупреждения о начале процесса разгерметизации или разрушения контролируемых деталей и узлов систем летательных аппаратов.

Ключевые слова: методика, способ, акустическая эмиссия, неразрушающее диагностирование, прочность, деталь, узел.

Rozzman V. P., Kovtun I. I. Developing acoustic emission methods for non-destructive strength testing parts and units of technics

The paper represents experimental research of acoustic emission properties of various materials, parts and units, applied in machine-engineering and other branches of technics, as result of which the following acoustic emission methods for non-destructive testing have been developed: strength testing glass-plastic parts, applied for manufacturing pump rods; strength and air-tightness testing microwave assemblies in manufacturing and exploring conditions, when onboard assemblies sustain inner pressure drops at pulsating cycles; strength testing units composed of different composite materials at example of compounded ceramic capacitors K 15-5 explored in conditions of termocycling; verifying strength effect in steel produced by hydrogen embrittlement technology and in hard-alloy plates produced by ion nitriding technology. Besides, paper contains development of hard-software acoustic emission measuring complex, applied for experimental and applied strength testing; and portable acoustic emission depressurization alarm device to signal beginning of depressurization or destruction in controlled parts and units of onboard flying systems.

Keywords: *method, acoustic emission, non-destructive testing, strength, parts, units.*