**Кривенда Сергій Петрович. Розрахунок на міцність комбінованих багатоелементних з'єднань деталей літальних апаратів із композиційних матеріалів: дис... канд. техн. наук: 05.07.03 / Національний аерокосмічний ун-т ім. М.Є.Жуковського "Харківський авіаційний ін-т". - Х., 2004**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Кривенда С.П. Розрахунок на міцність комбінованих багатоелементних зєднань деталей літальних апаратів із композиційних матеріалів. Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.07.03 – міцність літальних апаратів. Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, 2003 р.  Дисертацію присвячено розробці методики розрахунку комбінованих багатоелементних зєднань деталей ЛА із КМ при складному термомеханічному навантаженні, а також методики їх проектування, які базуються на синтезованій математичній моделі НДС елементів цих зєднань.  Синтезована математична модель НДС зєднання довільного складу, що знаходиться при складному термомеханічному навантаженні, забезпечує достатню для проектування точність і простоту. Незалежність розмірності і виду системи рівнянь від типу використаних зєднувальних елементів та кількості точок навантаження зєднання (по краях стику та в його межах) забезпечує високу ступінь уніфікації цієї моделі. На основі запропонованої моделі розроблено методику розрахунку несучої здатності зєднання, в якій нововведенням є розрахунок міцності комбінованого силового звязку довільної структури. Крім того, розроблена модель була використана при синтезі методики проектування зєднання довільної структури з урахуванням впливу температури на НДС елементів цього зєднання.  Проведені дослідження дали змогу сформулювати рекомендації щодо відбору моделей для елементів зєднувального шару, а також щодо призначення доцільного ступеня дискретизації моделі зєднання. На основі результатів досліджень було виявлено можливість використання моделі для оцінки залишкової несучої здатності зєднання, що руйнується, а також сформульовано рекомендації щодо забезпечення підвищеної живучості як ділянки зєднувального шару, так і всього зєднання.  Результати дисертації впроваджені в навчальний процес. | |
| |  | | --- | | Згідно з метою та задачами досліджень у дисертації одержані такі наукові та практичні результати:   1. Для розрахунку на міцність комбінованих зєднань деталей із КМ зі змінними параметрами при довільному термомеханічному навантаженні синтезовано уніфіковану математичну модель НДС зєднання. 2. На основі фундаментальних рівнянь механіки деформівного твердого тіла побудовано математичну модель деформування зєднувальних звязків довільної структури та одержано залежності для визначення коефіцієнтів податливості, що входять у канонічну систему рівнянь НДС зєднання. Розроблено методику та відповідні алгоритми оцінки міцності та прогнозування остаточної несучої здатності комбінованих звязків. 3. Виявлено аналогію синтезованої розрахункової схеми з електричним колом і показано, що на основі правил Кірхгофа можно одержати систему рівнянь, яка за структурою аналогічна тій, яка була одержана на основі механіки деформівного твердого тіла. Використання електричної аналогії допоможе спростити експерименти над зєднанням зі змінними параметрами при складному термомеханічному навантаженні та зменшити їх собівартість. 4. Проведений аналіз чисельних експериментів дослідження впливу коефіцієнтів податливості, розрахованих за запропонованими залежностями, а також за відомими залежностями фірм Boeing, Douglas та ЦАГІ, на розподіл зусиль уздовж зєднання та на величину максимальних напружень дозволяє стверджувати таке:   починаючи з величини коефіцієнта податливості клейового шару за моделлю Фолькерсена, значення максимальних напруг практично не залежить від вибору формул, що є підставою для рекомендацій щодо доцільності застосування залежностей при розрахунках комбінованих зєднань;  на основі порівняння максимальних напружень в КЕ, що були розраховані із застосуванням запропонованих формул, а також залежностей фірм Douglas і Boeing, з напруженнями, отриманими за формулами ЦАГІ, які є керівними матеріалами, показано, що, **по-перше**, для кріпильних мікроелементів (діаметром 1...2 мм) найменшу похибку в оцінці максимальних напружень дають формули фірми Douglas (±10%); **по-друге**, у разі використання формул ХАІ, які базуються на „розмазуванні” жорсткості КЕ по характерному обєму матеріалу деталей, зі збільшенням товщини зєднаних деталей похибка різко знижується і для типових значень товщин силових елементів конструкції літальних апаратів знаходиться в межах ±15%; **по-третє**, починаючи з поверхневої щільності розміщення КЕ більше ніж 3,14%, запропоновані залежності можна надійно використовувати для розрахунку простих та комбінованих звязків при утворенні отворів без перерізання волокон;  дослідження впливу ступеня дискретизації при розрахунку зєднання на величину НДС його компонентів показали, що для досягнення десятипроцентного відхилення максимальних напружень у зєднувальному шарі за дискретною моделлю порівняно з аналітичним рішенням необхідно, щоб ступінь дискретизації зєднання був не менше 50 ділянок на 100 мм.   1. У роботі одержано аналітичні залежності для прогнозування залишкової міцності зєднувального шару, які можна використовувати при проектуванні – виборі структури та основних параметрів. Побудовано залежності поверхневої щільності комбінації клей + КЕ для КЕ із різних материалів, за допомогою яких було доведено, що для КЕ діаметром 1 мм (для КЕ із В95 діаметром 2 мм) залишкову міцність не нижче вихідної можна забезпечити, якщо поверхнева щільність установки КЕ буде більше 3,14%, що збігається з умовами забезпечення максимальної ефективності комбінованого звязку, оскільки дослідження показали, що система клей + КЕ має найбільшу несучу здатність при діаметрах КЕ 1...3 мм, тобто клеємеханічне зєднання ефективне при використанні кріпильних мікроелементів. 2. У результаті аналізу експериментальних досліджень статичної міцності зєднань вуглепластика зі сталлю за допомогою мікроелементів (діаметром 1 мм), що були запресовані в препрег з різною поверхневою щільністю, з двома традиційними болтами (діаметром 6 мм) і без них побудована і відпрацьована методика оцінки залишкової несучої здатності під час руйнування окремих (перших) елементів. Теоретична остаточна статична міцність відрізняється від експериментальних значень не більше ніж на 15,3%. 3. Розроблені методика і алгоритм проектування зєднань за умови статичної міцності з урахуванням зміни температури при експлуатації. Чисельні експерименти показали, що урахування впливу температури дозволяє суттево зменшити довжину стику та массу зєднання. Так, у розглянутих випадках урахування температури при проектуванні зєднання привело до зменшення довжини стику на 25% і маси зєднання на 35,8%. | |