

ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ ШАРІВ ПКМ ТА РОЗШАРУВАННЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПКМ В БОЛТОВИХ З'ЄДНАННЯХ

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського". Україна, м. Київ,

Магістр:

Гризівський Микола Іванович

Керівник:

Рудаков Константин Миколайович

Література

- [1] Gordon Kelly, Stefan Hallström. Bearing strength of carbon fibre/epoxy laminates: effects of bolt-hole clearance. – Composites. Part B: Engineering, 2004. – 35. – s. 331-343.
- [2] Johan Ekh, Joakim Schön, Gunnar Melin. Secondary bending in multi fastener, composite-to-aluminium single shear lap joints. – Composites. Part B: Engineering, 2005. – 36. – s. 195-208.
- [3] Gordon Kelly. Quasi-static strength and fatigue life of hybrid (bonded/bolted) composite single-lap joints. Composite Structures, 2006. – 72. – s. 119-129.
- [4] Amit P. Wankhade, Kiran K. Jadhao. Design and Analysis of Bolted Joint in Composite Laminated. – J. of Modern Engineering Research (IJMER), 2014. – 4 (3). – s. 20- 24.
- [5] Binqi Chen, Mingbo Tong, Yiding Wang, Fangli Wang. Numerical Analysis of Composite Bolted Joints using the Arlequin Method. – 3-rd International Conference on Material, Mechanical and Manufacturing Engineering (IC3ME 2015), s. 2051-2055.
- [6] Raju, Shruthi Salimath, Apoorv Kalra, Nithya Narayan, Abhishek Singh. Numerical analysis of metal-composite hybrid joint subjected to static loading. QuEST Born to Engineer. – Lightweight Technology, 2014. – 12 s.
- [7] Рудаков К.Н. Моделирование болтовых соединений из ПКМ в программном комплексе FEMAP/NX NASTRAN / К.Н. Рудаков, С.Н. Шукаев // Вісник національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут", сер. Машинобудування №67. – 2013. – С. 199-206.
- [8] Кривов Г.А. Моделирование болтовых соединений, содержащих детали из ПКМ, в среде FEMAP/NASTRAN / Г.А.Кривов, В.А. Матвиенко, А.Н. Рудько, К.Н. Рудаков, С.Н. Шукаев, С.П. Негода // Технологические системы, 2013. – №1(62). – С. 90-102.
- [9] Кривов Г.А. Численные исследования напряженно-деформированного состояния высоконагруженных соединений элементов конструкций планера самолета / Г.А.Кривов, В.А. Матвиенко, А.Н. Рудько, Е.Т. Василевский, Г.Н. Романович, К.Н. Рудаков, С.Н. Шукаев, А.А. Добронравов // Технологические системы, 2013. – №4(65). – С. 7-16.
- [10] Рудаков К.М. Чисельне обґрунтування застосування змішаних 3D-моделей ПКМ при розрахунках болтових з'єднань / К.М.Рудаков, А.С.

- Шандура // Вісник НТУУ "КПІ". Сер. Машинобудування, 2015. – №2(74). – С. 67–76.
- [11] Рудаков К.М. Про вплив величини зазору між болтом та отвором на напружений стан болта однозрізного болтового з'єднання в зоні "зрізу" / К.М. Рудаков, О.А. Добронравов // Вісник НТУУ "КПІ". Сер. Машинобудування, 2013. – №3(69). – С. 62-71.
- [12] Дифучин Ю.М. Чисельне моделювання болтових з'єднань з ПКМ. Повідомлення 1. Створення змішаних 3D-моделей / Ю.М. Дифучин, К.М. Рудаков // Вісник НТУУ "КПІ". Сер. Машинобудування, 2016. – №2(77). – С. 100–107.
- [13] Lawlor V.P., Stanley W.F., McCarthy M.A. Characterisation of damage development in single-shear bolted composite joints. Journal of Plastics, Rubber and Composites. The Institute of Materials, London, UK, 2002, Vol. 31, No. 3, pp. 126-133.
- [14] Межслойные эффекты в композитных материалах // Под ред. Н. Пейгано / Пер. с англ. – М.: Мир, 1993. – 346 с.
- [15] Garbo S.P., Ogonowski J.M. Effect of Variances and Manufacturing Tolerances on the Design Strength and Life of Mechanically Fastened Composite Joints. Volume I - Methodology Development and Data Evaluation. McDonnell Douglas Corporation April 1981.
- [16] Кучер Н.К. Деформирование и прочность слоистых углепластиков при статическом термомеханическом нагружении / Н.К. Кучер, М.Н. Заразовский, Е.Л. Данильчук // Механика композитных материалов, 2012. – Т. 48, № 6. – С. 963-980.
- [17] Лепихин П.П. Методы и результаты анализа напряженно-деформированного состояния и прочности многослойных толстостенных анизотропных цилиндров при динамическом нагружении (обзор). Сообщение 3. Феноменологические критерии прочности / П.П. Лепихин, В.А. Ромащенко // Проблемы прочности, 2013. – №3. – С.24-41.
- [18] Broughton W.R., Crocker L.E., Gower M.R.L. Design Requirements for Bonded and Bolted Composite Structures // NPL Report MATC (A) 65, 2002. – 50 s.
- [19] Tsai S.W., Wu E.M. A General Theory of Strength for Anisotropic Materials // J. Compos. Mater. – 1971. – 5. – pp. 58-80.
- [20] Whitney J.M., Nuismer, R.J. Stress Fracture Criteria for Laminated Composite Containing Stress Concentrations. Journal of Composite Materials, Vol. 8, 1974, pp. 253-264.
- [21] Mechanics of composite structures / L.P. Kollar, G.S. Springer. – Cambridge: Cambridge University Press, 2003. – 480 p.

Роль полімерних композитних матеріалів в літако- та ракетно-будуванні у сьогоденні важко переоцінити. Оскільки, все більш частіше їх застосовують для відповідальних несучих конструкцій. Це і не дивно, бо полімерні композитні матеріали мають високу питому жорсткість та питому міцність у порівнянні з металами. Загально відомим фактом є те,

що в авіабудуванні майже не застосовується зварювальні конструкції. Бо після нанесення зварювального шва, в ньому залишаються залишкові напруження. Також зварювання композитів на основі вуглецевих волокон неможливе. Тому більш високу роль відіграють болтові, та клепані з'єднання.

Одним з найважливіших параметрів будь-якого полімерного багатошарового композитного матеріалу є формула укладки його шарів. Вибір формули залежить від багатьох факторів, таких як: характер діючого навантаження, місце застосування композиту, умови експлуатації та інше.

Мета роботи: виявлення тенденцій у змінах характеристик НДС у ПКМ у зонах отворів при зміні структури ПКМ, задля знаходження структур зі зниженими значеннями характеристик НДС, що визначають міцність з'єднання. Аналіз проведений на основі результатів чисельних розрахунків методом скінченних елементів (FEMAP/NASTRAN). Розрахунок проведений для контактної задачі болтового з'єднання композитної пластини зі швелером з урахуванням впливу формули укладки ПКМ та болтового в отворі.

Існує багато критеріїв оцінки напруженого стану для композитів. Але в даному випадку буде застосований критерій найменших стискальних напружень. Оскільки, в даній схемі навантаження найбільш критичну роль відіграють саме вони.

В результаті проведеної роботи показано, що за рахунок зміни формули укладки ПКМ можна зменшити напруження в ПКМ в околі отвору до 20%. Структура пластини з ПКМ суттєво впливає на характеристики НДС у зонах отворів; що можна знайти таку структуру, яка забезпечить підвищення міцності з'єднання.

Ключові слова: чисельне 3D-моделювання; ПКМ; болтове з'єднання; змішана 3D-модель ПКМ; МСЕ.

Роль полимерных композитных материалов в самолетном и ракетном строительстве в настоящем трудно переоценить. Поскольку все более чаще их применяют для ответственных несущих конструкций. Это и не удивительно, потому полимерные композитные материалы имеют высокую удельную жесткость и удельную прочность по сравнению с металлами. Общеизвестным фактом является то, что в авиационном строительстве почти не применяется сварочные конструкции. Потому что после нанесения сварочного шва, в нем остаются остаточные напряжения. Также сварки композитов на основе углеродных волокон невозможно. Поэтому более высокую роль играют болтовые, и клепанные соединения.

Одним из важнейших параметров любого полимерного многослойного композитного материала формула укладки его слоев. Выбор формулы зависит от многих факторов, таких как: характер действующей нагрузки, место применения композита, условия эксплуатации и прочее.

Цель работы: выявление тенденций в изменениях характеристик НДС в ПКМ в зонах отверстий при изменении структуры ПКМ, для нахождения

структур с пониженными значениями характеристик НДС, определяющие прочность соединения. Анализ проведен на основе результатов численных расчетов методом конечных элементов (FEMAP / NASTRAN). Расчет проведен для контактной задачи болтового соединения композитной пластины из швеллера с учетом влияния формулы укладки ПКМ и болтового в проеме.

Существует много критериев оценки напряженного состояния для композитов. Но в данном случае будет применен критерий наименьших сжимающих напряжений. Поскольку в данной схеме нагрузка наиболее критическую роль играют именно они.

В результате проведенной работы показано, что за счет изменения формулы укладки ПКМ можно уменьшить напряжение в ПКМ в окрестности отверстия до 20%. Структура пластины из ПКМ существенно влияет на характеристики НДС в зонах отверстий; что можно найти такую структуру, которая обеспечит повышение прочности соединения.

Ключевые слова: численное 3D-моделирование; ПКМ; болтовое соединение; смешанная 3D-модель ПКМ; МСЭ.

**National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
Ukraine, Kyiv**

The role of polymer composite materials in aircraft and rocket-building, in the present overemphasized. Because, more often they are used for critical load-bearing structures. This is not surprising, because polymer composite materials with high specific strength and specific stiffness compared to metals. The public is the fact that the aircraft is almost used welding construction. For after applying the weld, there are residual stresses. Also welding composites based on carbon fibers impossible. Therefore, a higher role bolted and riveted connections.

One of the most important parameters of any multilayer polymer composite formula is its styling layers. The choice of formula depends on many factors such as the nature of the load, use place the composite operating conditions and so on. Objective: To identify trends in changes in characteristics of PCM in the areas of PTP holes in the restructuring of RMB, to find structures with reduced values excl characteristics that determine the bond strength analysis conducted on the basis of the numerical calculations by finite element method (FEMAP / NASTRAN). Calculation carried out for overhead tasks bolting composite plate with Channel with the influence of RMB formula styling and a bolt hole.

There are many criteria for evaluating the stress state for composites. But in this case will apply a criterion of least compressive stresses. Since, in this scheme of loading the most critical role for them.

As a result of this work shows that by changing the formula styling PCM can reduce stress in RMB in the vicinity of the hole to 20%. The structure of the PTP plate significantly affects the characteristics of VAT in the areas of holes; you can find a structure that will improve the strength of the connection.

Keywords: numerical 3D-modeling; PCM; bolted connection; Mixed 3D-model of PCM; ITU.