ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ЗАСТОСУВАННЯ 3D МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ТЕПЛОВОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Мета роботи: ознайомлення з можливостями 3D моделювання програмного пакета Comsol Multiphysics та особливостями об’ємних моделей, отримання базових навичок роботи з середовищем. Створення та вивчення моделі теплового процесу в об'єкті контролю.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1. Створення моделі теплового процесу в середовищі COMSOL

Розглянемо в якості об'єкту фрагмент сотової конструкції (СК) (рис. 1). Найпоширенішими дефектами таких конструкцій є не проклей (відсутність з’єднання між однією з пластин та гранями самої СК), наявність в середині соти рідини (конденсату) тощо.

З середини 80-х років на регулярних пасажирських лініях почали експлуатуватися повітряні судна, в конструкціях яких знайшли широке застосування (близько 30% по площі фюзеляжу і крила) стільникові конструкції. В даний час впроваджені в серійне виробництво широкофюзеляжні пасажирські літаки, в яких до 70-80% конструктивних елементів виконано з СК з композиційних матеріалів. Аналіз статистики відмов і несправностей повітряних суден показує, що зі збільшенням їх напрацювання спостерігається зростання кількості дефектів в конструкціях. До 80% відмов і несправностей виникають через руйнування клейового з'єднання елементів СК і порушення герметичності останніх. Це може бути в результаті як виробничих дефектів, так і руйнуванням під дією експлуатаційних навантажень.

Таким чином, з метою безпечної експлуатації будь-якого об'єкта з СК, необхідно проводити їх якісний контроль як на етапі виробництва, так і при експлуатації.

*Постановка задачі*

Незважаючи на навчальний характер даної роботи, для моделювання обрано фрагмент СК реального розміру. Вона представляє собою прямокутник 8х15.2х11 мм. Товщина верхньої на нижньої пластини 0.5 мм, а товщина граней (стінок СК) – 0.2 мм. На одну з граней (припустимо верхню) впливає температура печі 373К, нехай температура зовнішнього середовища постійна і дорівнює 293К. Решта необхідних параметрів вказані в довідкових таблицях (табл. 3, 4 та 5)

*Хід роботи*

Робота проводиться на базі програмного пакету Comsol Multiphysics версії 4.3 (ярлик на «Робочому столі» комп’ютера).



Рис. 1. Сотова конструкція

*Вибір початкових налаштувань моделювання:*

1. У вікні вибору налаштувань моделі Model Wizard обрати розмірність простору 3D і натиснути «Далі» - 
2. Обрати фізику моделі Heat Transfer > Heat Transfer in Solid (ht). Натиснути «Далі»
3. Обрати область аналізу Time Dependent. Натиснути Finish - 

*Створення геометрії моделі:*

1. У вікні налаштувань моделі Model Builder обрати Model 1 > Geometry 1, на вкладці Units обрати розмірність геометрії мм.
2. У вікні Model Builder на Model 1 > Geometry 1 натиснути праву клавішу миші і обрати Work Plane (для спрощення створення геометрії спочатку намалюємо одну з проекцій ОК).
3. У вікні налаштувань Work Plane 1 вказати площину xy-plane та координату z=0.5 (рис. 2).



Рис. 2. Вікно налаштувань Work Plane

1. У вікні Model Builder на Model 1 > Geometry 1 > Work Plane 1 > Plane Geometry натиснути праву клавішу миші і обрати Polygon.
2. У вікні налаштувань Polygon вказати джерело даних для побудови Data source: Table. Координати першої з граней СК приведені на рис. 3. Після завершення введення даних натиснути Build All.



Рис. 3. Вікно налаштувань геометрії ОК (перша грань СК)

1. Виконати пункт 4 та 5 для створення інших граней, координати яких вказані в таблиці 1.

Таблиця 1. Координати граней сотової конструкції

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Х2 | Y2, Y4, Y6, Y8 | X3 | Y3, Y5, Y7 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 |
| 1.9 | 0 | 5.5 | 0 | 5.7 | 9.3 | 9.5 | 13.1 | 13.3 |
| 1.9 | 2 | 5.5 | 1.9 | 5.7 | 9.3 | 9.5 | 13.1 | 13.3 |
| 3.6 | 3.1 | 3.8 | 3 | 7.4 | 7.6 | 11.2 | 11.4 | 15.0 |
| 3.6 | 4.9 | 3.8 | 5 | 7.4 | 7.6 | 11.2 | 11.4 | 15.0 |
| 1.9 | 6 | 5.5 | 6.1 | 5.7 | 9.3 | 9.5 | 13.1 | 13.3 |
| 1.9 | 8 | 5.5 | 8 | 5.7 | 9.3 | 9.5 | 13.1 | 13.3 |
| 2.1 | 8 | 5.7 | 8 | 5.9 | 9.5 | 9.7 | 13.3 | 13.5 |
| 2.1 | 6.1 | 5.7 | 6 | 5.9 | 9.5 | 9.7 | 13.3 | 13.5 |
| 3.8 | 5 | 4 | 4.9 | 7.6 | 7.8 | 11.4 | 11.6 | 15.2 |
| 3.8 | 3 | 4 | 3.1 | 7.6 | 7.8 | 11.4 | 11.6 | 15.2 |
| 2.1 | 1.9 | 5.7 | 2 | 5.9 | 9.5 | 9.7 | 13.3 | 13.5 |
| 2.1 | 0 | 5.7 | 0 | 5.9 | 9.5 | 9.7 | 13.3 | 13.5 |

1. У вікні Model Builder на Model 1 > Geometry 1 > Work Plane 1 натиснути праву клавішу миші і обрати Extrude. В полі Distance from Plane вказати висоту побудованих граней СК - 10мм (рис.4). Натиснути Build All.



Рис. 4. Вікно налаштувань параметрів функції Extrude

1. У вікні Model Builder на Model 1 > Geometry 1 натиснути праву клавішу миші і обрати Work Plane.
2. У вікні налаштувань Work Plane 2 вказати площину xy-plane та координату z=0.
3. У вікні Model Builder на Model 1 > Geometry 1 > Work Plane 2 > Plane Geometry натиснути праву клавішу миші і обрати Rectangle.
4. У вікні налаштувань прямокутника Rectangle вказати ширину – 15.2 мм, висоту 8 мм. Координати лівого нижнього кута (0; 0).
5. У вікні Model Builder на Model 1 > Geometry 1 > Work Plane 2 натиснути праву клавішу миші і обрати Extrude. В полі Distance from Plane вказати висоту нижньої пластини СК – 0.5мм. Натиснути Build All.
6. У вікні Model Builder на Model 1 > Geometry 1 натиснути праву клавішу миші і обрати Work Plane.
7. У вікні налаштувань Work Plane 3 вказати площину xy-plane та координату z=10.5.
8. У вікні Model Builder на Model 1 > Geometry 1 > Work Plane 3 > Plane Geometry натиснути праву клавішу миші і обрати Rectangle.
9. У вікні налаштувань прямокутника Rectangle вказати ширину - 15.2 мм, висоту 8 мм. Координати лівого нижнього кута (0; 0).
10. У вікні Model Builder на Model 1 > Geometry 1 > Work Plane 3 натиснути праву клавішу миші і обрати Extrude. В полі Distance from Plane вказати висоту нижньої пластини СК – 0.5мм. Натиснути Build All.
11. У вікні Model Builder на Model 1 > Geometry 1 натиснути праву клавішу миші і обрати Block (навколишнє середовище моделі).
12. У вікні налаштувань Block 1 вказати розміри кубу (ширина 25.2, глибина 18, висота 21) та координати одного кутів – (-5, -5, -5). Натиснути Build Selected.
13. У вікні графічної панелі інструментів натиснути Zoom Extents:



1. Для кращого відображення елементів моделі натиснути Wireframe Rendering:



1. Для виведення результатів моделювання, що стосуються лише елементів моделі, змінимо налаштування візуалізації для блока навколишнього середовища. Для цього:

- у вікні Model Builder на Model 1 > Definition > View 1 натиснути праву клавішу миші і обрати Hide Geometric Entities.

- у вікні налаштувань Hide Geometric Entities в полі Geometric entity level обрати Boundary. Далі вказати 6 граней блока.

*Вибір матеріалів ОК та дефекту:*

Навколишнє середовище – повітря (Built-in). В якості матеріалу граней СК встановити алюміній – Aluminum Alloys (1050 або алюміній з табл. 3, 4 та 5). Панелі СК – композитний матеріал з бібліотеки програми - Polycarbonate.

*Налаштування параметрів теплового випромінювання:*

1. Перевірити початкову температуру елементів моделі: у вікні Model Builder обрати Model 1 > Heat Transfer in Solids > Initial Values 1, на вкладці налаштувань початкових умов для всіх елементів моделі ОК в полі Initial Values > Temperature має бути 293.15 К.
2. У вікні Model Builder на Model 1 > Heat Transfer in Solids натиснути праву клавішу миші і обрати елемент Temperature.
3. В поле елементів моделі Boundary Selection додати елемент, що відповідає верхній грані ОК – у вікні відображення моделі виділити лівою кн. миші верхню грань поверхні ОК і натиснути  (або ж натиснути кнопку вставки елемента , у відкритому вікні вставки вписати номер грані – 13 і натиснути ОК).
4. В полі Temperature вікна налаштувань вписати 373К.

Для найпростіших моделей, на першому етапі попереднього розрахунку можна задати сітку за замовчуванням: у вікні Model Builder обрати Model 1 > Mesh1, не змінюючи автоматичних налаштувань натиснути Build All.

*Параметри моделювання:*

1. У вікні Model Builder обрати Study 1 > Step 1: Time Dependent. У вікні налаштувань в полі Times вказати час моделювання від 0с до 15с з кроком 1 с - range (0,1,15).
2. Перейти у вікні Model Builder до Study 1 та натиснути Compute.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання на лабораторну роботу

1. Відобразити розподіл теплового поля в об'єкті (поперечний переріз ОК).

*Приклад побудови:*

- у вікні Model Builder на Results > Data Sets натиснути праву клавішу миші і обрати Cut Plane. У вікні налаштувань передбачити вибір даних, що відповідають розподілу температури в середині ОК (поперечний переріз по площині x-z, y=4). Натиснути Plot.

- у вікні Model Builder на Results натиснути праву клавішу миші і обрати 2 D Plot Group. У вікні вибору набору даних для побудови графіка обрати Cut Plane 1.

- у вікні Model Builder на Results > 2 D Plot Group 3 натиснути праву клавішу миші і обрати Surface. В налаштуваннях Surface обрати набір даних Cut Plane 1 та часові моменти моделювання (найбільш інформативні а вашою думкою).

- в інших меню та підменю можна ввести налаштування графіка – підписи осей, назва графіку (Термопрофіль поверхні ОК).

- після натискання кнопки Plot отримуємо розподіл теплового поля в об'єкті.

1. Побудувати термопрофілі поверхонь ОК (термопрофіль на верхній, нижній пластинах).
2. Побудувати графіки розподілу температури вздовж ОК (лінія на поверхні, лінія на нижній пластині)
3. Додати в модель дефект – заповнення однієї з сот водою (H2O), наприклад третя або четверта комірка СК.
4. Провести моделювання та відобразити графіки п.1-3.
5. Відобразити графік залежності температури в часі над дефектною зоною та бездефектною (обрати точку на поверхні ОК над дефектною зоною та точку над бездефектною).
6. Визначити оптимальний час проведення ОК. Допускається зміна температури контролю, часу проведення моделювання, часового кроку.

Додаток 1. Теплофізичні параметри деяких матеріалів

Таблиця 3. Коефіцієнти теплопровідності деяких речовин (k)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Речовина | Вт/мК | Речовина | Вт/мК |
| Вода | 0,68 | Чавун | 46,5 |
| Бензин | 0,136 | Цегла | 0,714 |
| Ртуть | 8,976 | Скло | 0,667 |
| Спирт | 0,204 | Порцеляна | 1,156 |
| Повітря | 0,029 | Папір | 0,157 |
| Алюміній | 251,6 | Мідь | 460,4 |
| Залізо | 80,24 | Срібло | 513,4 |
| Золото  | 350,9 | Сталь | 51,68 |

Таблиця 4. Питома теплоємність деяких речовин (С)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Речовина | кДж/кгК | Речовина | кДж/кгК |
| Вода | 4,19 | Чавун | 0,5 |
| Бензин | 2,05 | Цегла | 0,88 |
| Ртуть | 0,138 | Скло | 0,67 |
| Спирт | 2,47 | Порцеляна | 1,1 |
| Повітря | 1,0 | Папір | 1,5 |
| Алюміній | 0,92 | Мідь | 0,4 |
| Залізо | 0,46 | Срібло | 0,25 |
| Золото  | 0,13 | Сталь | 0,5 |

Таблиця 5. Густина деяких речовин (ρ).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Речовина | кг/м3 | Речовина | кг/м3 |
| Вода | 1000 | Чавун | 7850 |
| Бензин | 710-750 | Цегла | 1800 |
| Ртуть | 13546 | Скло | 2400-2700 |
| Спирт | 790 | Порцеляна | 2200-2500 |
| Повітря | 1,293 | Папір | 700-1200 |
| Алюміній | 2700 | Мідь | 8940 |
| Залізо | 7874 | Срібло | 10500 |
| Золото  | 19320 | Сталь | 7700-7900 |