



АНОТОВАНИЙ ЗВІТ
про виконану роботу у 2020 році в рамках реалізації проєкту
із виконання наукових досліджень і розробок

Оптимізація топології та підвищення міцнісних характеристик багатшарових оболонок і
твердих тіл при використанні адитивних технологій

Назва конкурсу: Підтримка досліджень провідних та молодих учених

Реєстраційний номер Проєкту: 2020.02/0128

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок (реєстраційний номер та назва Проєкту) 2020.02/0128 «Оптимізація топології та підвищення міцнісних характеристик багатшарових оболонок і твердих тіл при використанні адитивних технологій»

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих учених» протокол від «04-07» вересня 2020 року № 20

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Тривалість виконання Проєкту

Початок – дата укладання Договору про виконання наукових досліджень і розробок;

Закінчення – 2022 рік.

Загальна вартість Проєкту, грн. 6,288,825 тис. грн.

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 673,350 тис. грн.

2-й рік 2,869,765 тис. грн.

3-й рік 2,745,710 тис. грн.

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту буде залучено 10 виконавців, з них:

доктори наук 4;

кандидати наук 3;

інші працівники 3.

3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(І) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ

Грантоотримувач: Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України
Організаційно-правова форма підприємства: Державна організація
Підпорядкованість підприємства: Національна академія наук України
Код ЄДРПОУ 03534570, код КВЕД 72.19
Юридична адреса: вул. Пожарського, 2/10, м. Харків, 61046
Телефон (0572)94-55-14
Адреса електронної пошти admi@ipmach.kharkov.ua
Посилання на веб сторінку <http://ipmach.kharkov.ua/>

4. ОПИС ПРОЄКТУ

4.1. Мета Проєкту

Розробка структури композиту, елементи якого виготовляються адитивними технологіями, для створення високоміцних і легких оболонок.

4.2. Основні завдання Проєкту

- дослідження механічних характеристик зразків, що отримані за адитивними технологіями;
- побудова математичної моделі статичної стійкості, вільних коливань і динамічної нестійкості кінчної, циліндричної оболонок і складеної конструкції;
- розробка методів розв'язання задачі оптимізації топології тривимірних об'єктів з використанням порожнистих структур і комп'ютерного моделювання задачі заповнення заданого об'єму сферичними і несферичними частинками.

4.3. Детальний зміст Проєкту:

– Сучасний стан проблеми

В останні роки створення нових композиційних конструкційних матеріалів є важливим напрямком розвитку полімерних композитів. В проєкті передбачається розроблення структури композиту для створення високоміцних і легких багатошарових композитних оболонок. Розробка інтелектуальних 3D-моделей для друку деталей грає ключову роль в загальному процесі виробництва. У цьому проєкті розглядаються три класи задач оптимізації, пов'язаних з адитивним виробництвом.

– Новизна Проєкту

При виготовленні композитного матеріалу пропонується отримувати стільниковий заповнювач за допомогою адитивних технологій. Стільники надзвичайно зручно друкувати на 3D принтерах, так як ця технологія дозволяє виконувати порожнини в матеріалі. Пропонується розробка математичних моделей та методів оптимізації компоновки тривимірних тіл, призначених для пошуку найкращих параметрів елементів конструкцій, що задовольняють технологічним нормам 3D друку і міцнісним обмеженням.

– Методологія дослідження

Експериментальне дослідження стільникових зразків, надрукованих за допомогою 3D принтера. Побудова математичних моделей та розробка методів геометричного проєктування для визначення оптимального розміщення порожнин всередині області моделювання із урахуванням рівня напружень в довільній частині конструкції. Математичне та комп'ютерне моделювання заповнення заданого об'єму сферичними і несферичними частинками. Розробка математичної моделі та методу оптимізації об'єму робочої камери 3D принтера для паралельного виготовлення деталей.

5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/ в рамках реалізації Проєкту, зокрема:

5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)

Побудовано та досліджено математичні моделі задачі GVS (Generating Void Structures) генерування порожніх сферичних структур в тривимірних областях залежно від видів обмежень, обумовлених різними технологіями 3D друку (обмежень на мінімально допустимі відстані між сферичними об'єктами, а також між сферичними об'єктами і межею області розміщення, обмежень на «розрідженість» розміщення сферичних об'єктів, обмежень на мінімально і максимальне значення радіуса сфер, обмежень на сумарний об'єм сферичних об'єктів і умова мінімального відхилення центра ваги системи від заданої точки).

Отримано наступні наукові результати:

– побудовано псевдонормалізовані ϕ -функції та псевдонормалізовані квазі ϕ -функції для аналітичного опису геометричних обмежень в задаче GVS;

– побудовано та досліджено NLP (Nonlinear Programming) модель задачі «розрідженого» компоновання сферичних об'єктів заданих радіусів із змінними параметрами розміщення в області, обмеженою циліндричними, конічними, сферичними поверхнями і площинами, із урахуванням обмежень на сумарний об'єм сферичних об'єктів при мінімальному відхиленні центра ваги системи від заданої точки (задача 1);

– побудовано та досліджено NLP (Nonlinear Programming) модель задачі компоновання змінної множини сферичних об'єктів змінних радіусів із змінними параметрами розміщення в незв'язних обмежених багатограних областях із урахуванням обмежень на допустимі мінімальні відстані між сферичними об'єктами з метою максимізації сумарного об'єму розміщуваних об'єктів (задача 2);

– побудовано та досліджено MINLP (Mixed-Integer Nonlinear Programming) модель задачі компоновання сферичних об'єктів, обраних із заданого набору сфер допустимих типорозмірів, в незв'язних обмежених багатограних областях із урахуванням обмежень на допустимі мінімальні відстані між сферичними об'єктами з метою максимізації коефіцієнту щільності заповнення (packing factor) компонент зв'язності багатограних областей (задача 3).

Розроблено методи пошуку допустимих розв'язків для задачі GVS.

Отримано наступні наукові результати:

– розроблено метод пошуку допустимих розв'язків для задачі 1. В основі методу – підхід, що застосовує балансні гомотетичні перетворення 3D об'єктів;

– розроблено метод пошуку допустимих розв'язків для задачі 2. Метод застосовує ідею зведення оригінальної задачі до послідовного розв'язування незалежних задач компоновання сферичних об'єктів із випадково обраними параметрами розміщення в опуклих багатограних областях;

– розроблено метод пошуку допустимих розв'язків для задачі 3. Для пошуку перспективних допустимих початкових точок адаптовано схему методу гілок і меж за двійковими змінними задачі.

Розроблено методи пошуку локально-оптимальних розв'язків для задачі GVS.

Отримано наступні наукові результати:

– розроблено метод пошуку локально-оптимальних розв'язків для задачі 1. В основі методу – алгоритм декомпозиції, який зводить NLP задачу великої розмірності до набору підзадач нелінійного програмування значно меншої розмірності;

– розроблено метод пошуку локально-оптимальних розв'язків для задачі 2. Застосовано комбінацію методу мультистарту, декомпозиції та стратегію активного набору нерівностей;

– розроблено метод пошуку локально-оптимальних розв'язків для задачі 3. Використовується ідея гомотетичних перетворень сферичних об'єктів з лінійною функцією цілі та стратегія активного набору лінійних та нелінійних обмежень.

Розроблено програмні модулі для розв'язання задачі GVS з використанням IPOPT (<https://github.com/coin-or/Ipopt>). Всі експерименти проводились на AMDFX(tm)-6100, 3.30 GHz комп'ютері, мовою програмування C++, Windows 7. В тому числі:

- розроблено програмний модуль, що реалізує пошук локально-оптимальних розв'язків задачі 1, та проведено чисельні експерименти для «розрідженого» компонування конгруентних та різних сферичних об'єктів у кубіоді та циліндрі с компонентами, обмеженими циліндричними, сферичними поверхнями і площинами;

- розроблено програмний модуль для пошуку локально-оптимальних розв'язків задачі 2 та проведено чисельні експерименти для компонування сферичних об'єктів змінних радіусів в незв'язних обмежених багатогранних областях із урахуванням обмежень на допустимі мінімальні відстані між сферичними об'єктами;

- розроблено програмний модуль для пошуку локально-оптимальних розв'язків задачі 3 та проведено чисельні експерименти для компонування сферичних об'єктів, обраних із заданого набору сфер допустимих типорозмірів, в незв'язних обмежених багатогранних областях із урахуванням обмежень на допустимі мінімальні відстані між сферичними об'єктами.

Надруковано зразки за допомогою технології FDM.

Соти, які надруковано за допомогою FDM технології, є анізотропним матеріалом. Розроблено методику визначення механічних характеристик цього анізотропного матеріалу. До цих механічних характеристик відносяться три модуля Юнга, три модуля зсуву і три коефіцієнта Пуассона. За допомогою розробленої методики можна виміряти не тільки механічні характеристики, а й усю діаграму деформування.

Для виготовлення зразків з ULTEM 9085 було використано 3D принтер FORTUS 900 MC.

Алгоритм операцій при друку зразків є наступним:

- комплектація бобін модельного матеріалу Ultem 9085 в кількості 2 штук, в даному випадку комплектація матеріалу підтримки Ultem 9085 не виконувалася через відсутність необхідності його використання через конструктивні особливості і технології виготовлення зразків для випробувань;

- вмикання 3D-системи Stratasys F900 і попередній прогрів обладнання протягом 240 хв при температурі 180 °C;

- установка наконечника модельного матеріалу T16 для Ultem 9085, в даному випадку наконечник має діаметр вихідного матеріалу 0,254 мм;

- розміщення на робочому столі камери побудови 3D-системи Stratasys F900 модельного листа, що забезпечує витяг зразків після друку;

- завантаження програми 3D-моделі заготовки зразка;

- проведення друку відповідно до завантаженої програми, друк модельним матеріалом Ultem 9085 здійснюється при температурі 380 °C;

- забезпечення витримки зразків після завершення друку в 3D-системі при температурі 180 °C протягом 120 хв з наступним охолодженням при закритих дверцятах принтера до 70 °C для забезпечення відсутності внутрішніх напружень в зразку;

- виймання зразків і відділення їх від модельного листа;

- візуальний огляд зразків на відсутність дефектів.

За допомогою описаної технології надруковано 24 зразка з різним розташуванням шарів для вимірювання механічних характеристик.

Проведено експериментальні дослідження на розтягування і стиснення.

Розроблено методику для розрахунку основних механічних характеристик анізотропного матеріалу, надрукованого FDM технологією, за результатами вимірювань (три модулі пружності, три модулі зсуву і три коефіцієнта Пуассона).

Розроблено програму в середовищі Maple для розрахунку механічних характеристик надрукованого матеріалу за результатами експериментальних вимірювань. Вхідною інформацією для цієї програми є результати вимірювань, а в якості вихідних параметрів три модуля Юнга, три модулі зсуву і три коефіцієнта Пуассона.

Досліджено точність отриманих експериментальних результатів. Для цього проведені експерименти промодельовано в програмному комплексі ANSYS. В результаті моделювання встановлено ділянки зразка, на які доцільно наклеювати датчики деформацій для проведення точних вимірювань.

Експериментальні дослідження зразків на розтягнення / стиснення проводилися на машині TiraTest 2300. Для вимірювань використовувалася тензостанція. Експериментально визначено межі міцності при розтягуванні і стисненні. Отримано всі діаграми деформування.

Розроблено основи математичної моделі геометрично нелінійного деформування тришарових конструкцій зі стільниковим заповнювачем.

5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами

Це одна з перших в світі робіт, де стільникові заповнювачі тришарових оболонок друкуються за допомогою технології FDM. Вперше в світі буде розроблена математична модель геометрично нелінійного деформування тришарових конструкцій зі стільниковим заповнювачем, який надруковано за допомогою технології FDM.

5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.

Після закінчення проєкту розроблені технології виготовлення тришарових оболонкових конструкцій за допомогою FDM технологій і методи їхнього розрахунку буде запропоновано для впровадження на підприємствах України, які проєктують ракети і літаки.

Науковий керівник Проєкту

В. о. зав. відділу надійності та динамічної міцності
д.т.н., проф. К. В. Аврамов



(підпис)