

**УДК 629.02**

**В.Р. Ласько, Л.М. Данильченко, канд. техн. наук, доц.**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

**V.R. Lasko, L.M. Danylchenko, Ph.D., Assoc. Prof.**

### **RESEARCH OF TOPOLOGICAL OPTIMIZATION OF MACHINE PARTS**

Зазвичай деталі проектуються шляхом покращення вже існуючих. В такому випадку розміри та інші вихідні дані можна використати в якості параметрів і провести параметричну оптимізацію. У випадку, коли проектується деталь яка немає аналогів, то розробляється декілька концепцій, які конструктор вважає найвдалішими. Для них задаються основні параметри, і лише на підставі фінальної 3D моделі кожної із концепцій, можемо застосувати стандартні методи оптимізації, такі як моделювання експерименту. Такий підхід є затратним у часі внаслідок великої кількості мовірних варіантів. Альтернативним є підхід, котрий не базується на попередніх розробленнях, полягає він у тому, що ми не проектуємо вигляду деталі, а лише задаємо масив матеріалу і дозволяємо алгоритму оптимізації визначити форму та розміри деталі. Такий спосіб відомий як топологічна оптимізація (Topology optimization).

Застосування такої методики оптимального проектування дозволяє визначити оптимальні параметри деталі, які відповідають технологічним обмеженням і вимогам міцності, забезпечуючи таким чином мінімум цільової функції.

Алгоритм топологічної оптимізації знаходить найкраще розміщення матеріалу в межах заданої мети та системи обмежень. Із цільного об'єму матеріалу довільної форми він поступово видаляє його частини, при цьому максимізує або мінімізує такі цільові функції як масу, переміщення або податливість, і забезпечує одночасно відповідність заданим вимогам та задовольняє систему обмежень на максимально допустимі напруження чи переміщення. Використання алгоритму дозволяє вирішити задачу зменшення маси та збільшення питомої міцності деталі.

За допомогою такого методу оптимізації можна отримати принципіально нові та складні форми деталей і конструкцій, які раніше неможливо було відтворити на практиці внаслідок обмежень традиційних способів виготовлення. Проте, сучасні методи, такі як адитивне виробництво, дозволяють отримувати деталі складних геометричних форм.

Багато сучасних CAD/CAM-систем, таких як: OptiStruct от Altair Hyper-Works, ANSYS, MSC Nastran, Siemens NX, Siemens Solid Edge, SOLIDWORKS, CATIA 3DEXPERIENCE, Autodesk Fusion 360, solidThinking Inspire, мають вбудований модуль топологічної оптимізації[1].

Було проведено порівняння топологічної оптимізації у двох програмних продуктах, таких як Autodesk Fusion 360 та ANSYS для деталі типу плита, закріпленої на двох циліндричних поверхнях і навантаженої тиском в 1500 МПа на площину (рис.1). Топологічна оптимізація була проведена SIMP-методом. Ідея SIMP-методу полягає у заміні цілих дискретно змінюваних змінних проектування неперервними змінними, для яких після означеної заміни задається певна форма штрафу, що приводить оптимальний проект до дискретного, так званого 0–1 розв'язку, тобто оптимальний проект конструкції має містити лише області з матеріалом – «1» і без нього – «0». Значення штучної функції густини  $\rho_e(x)$ , які лежать всередині проміжку [0,1] мають штрафуватися [2].

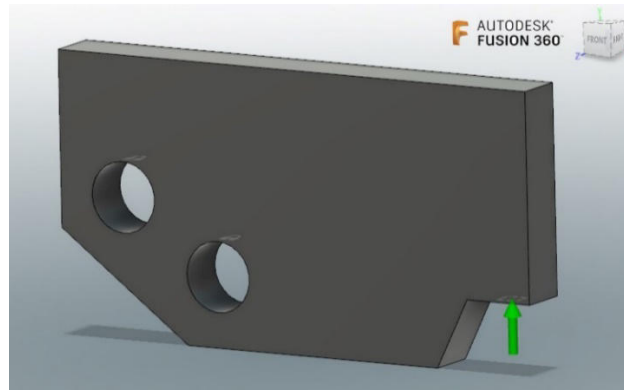


Рисунок 1. Досліджувана заготовка з прикладеною силою та фіксацією.

У двох програмах задавались ідентичні значення сітки розбиття заготовки на скінченні елементи. За критерій оптимізації взято зменшення маси деталі на 50% від початкової маси при збереженні стійкості та витривалості.

Результати топологічної оптимізації представлено на рис.2, депоказано, що у Fusion 360 деталь має прямолінійні форми, у той час як у ANSYS – криволінійні.Окрім того, в Fusion 360 утворені пустоти, які в ANSYS мають тонкостінне ребро.

Деталі, отримані після оптимізації мають достатньо складну форму, яку виготовляти стандартними методами оброблення недоцільно, зазвичай використовують методи адитивних технологій такі як: SLM (Selective Laser Melting) або DMLS (Direct Method of Laser Sintering).

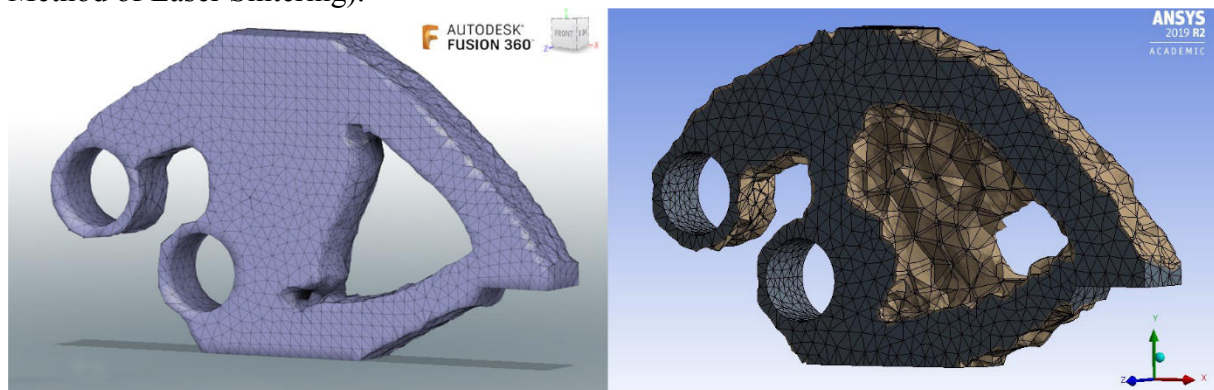


Рисунок 2. Модель деталі після топологічної оптимізації в Autodesk Fusion 360 (зліва) та ANSYS (справа)

Використовуючи однаковий метод дослідження за одних і тих же умов у різному програмному забезпеченні, отримано схожі, але не ідентичні результати топологічної оптимізації.

### Література

1. Башин К.А., Торсунов Р.А., Семенов С.В. Методы топологической оптимизации конструкций, применяющиеся в аэрокосмической отрасли / Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. № 51. – Пермь: Вид-во ПНИПУ, 2017. – С.51-61.
2. Bendsoe M.P., Sigmund O. «Topology Optimization: Theory, Methods and Applications». Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2003.
3. Przemysław P., Marek S., Optymalizacja topologiczna projektowania wyrobów wytwarzanych metodą wtryskiwaniatworzy sztucznych / Mecanik nr11 – Warszawa, 2017. – С.948-950.