

# СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА КОНВЕНЦИОНАЛНИ И ОПТИМАЛНИ МЕТОДИ ЗА ДЕТАИЛНО КОНСТРУИРАНЕ НА ЛЕКИ САМОЛЕТИ

Александър Мариносян, Християн Панайотов

В този доклад се разглеждат предимствата и недостатъците на 3 различни подхода в конструирането на части за леки самолети. Това е направено посредством използването на подходите за решаване на едно и също задание и анализирането на резултатите по метода на крайните елементи. За задачата на сравнението е използвана шарнирна конзола, подобна на долната шарнирна конзола ("A" frame) на вертикалното кормило на лек самолет М-540 (Фиг.1).



Фиг.1 Примерна конзола - долния шарнир на вертикалното кормило на самолет М-540.

## 1. ОПИСАНИЕ НА МЕТОДИТЕ ЗА КОНСТРУИРАНЕ

### 1.1 Конвенционален.

Основана се на натрупаните знания от опитните конструктори и работи на принципа „опит/грешка“. Конструкторските организации систематизират тези знания във фирмени наръчници за конструиране. Там са дадени допустими стойности и насоки за конструиране на различни части като фитинги, рамки, ребра и т.н. В процеса на разработка често се налага предлаганите конструкции да бъдат „ръчно“ анализирани якостно с прости изчисления [3].

### 1.2 Топологична оптимизация.

Целта на този процес е да бъде намерена оптималната конфигурация на товаро-носещата материя в определен регион. Той може да бъде разделен на две части - формулиране на оптимизационната задача и изпълнение на оптимизационния алгоритъм, който предлага кои воксели материал да бъдат премахнати. В задачата трябва да има дефинирани гранични условия - приложени товари, вид на захващането в опорите и критерий за оптималност. За практическите приложения в конструирането целта е постигането на минимална маса на конструкцията при дадена коравина [1].

### 1.3 Морфогенеза.

Вид топологична оптимизация при който алгоритъмът е способен да изгражда структура като предлага добавянето на материал в областта на конструиране [2].

## 2. ГЕНЕРИРАНЕ НА ЧАСТИТЕ

Избор на материал - изотропна алуминиева сплав, с модул на Юнг  $7e+010N/m^2$ , Коефициент на Поасон 0.346, Плътност  $2710kg/m^3$ , Коефициент на топлинно разширение.  $2.36e-005/Kdeg$ , Граница на провлачване  $9.5e+007N/m^2$ . Това е проста сплав и изборът е продиктуван от желанието за равни условия, тоест възможността да бъдат произведени детайли със сложна форма чрез адитивни методи (3Д принтиране). Гранични условия - един разчетен случай разглеждан с две едновременно действащи сили в отвора на шарнира. Едната сила от 1800 N, в равнината на фитинга, перпендикулярна на посоката на полета, и една от 180N, в равнината на фитинга успоредна на посоката на полета.

### 2.1 "Конвенционалната" част

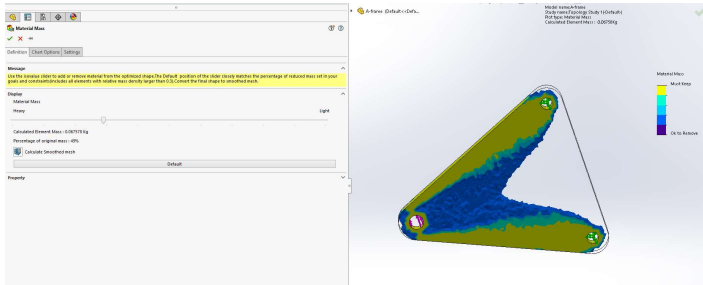
Конструирана с евристичен подход и моделирана с CATIA V5 CAD софтуер на Dassault Systemes. Логиката на този дизайн е прътоподобна структура за директно предаване на усилията от отвора на шарнира към отворите за монтаж. В нея има също и стабилизираща връзка между прътовете, от където идва и името "A"frame. Частта има допустима дебелина 8mm и предвиденият метод на производство е чрез изрязване с водна струя от сурова плоча със същата дебелина.



Фиг.2 A frame генерирана с конвенционален подход.

2.2 Топологична оптимизация

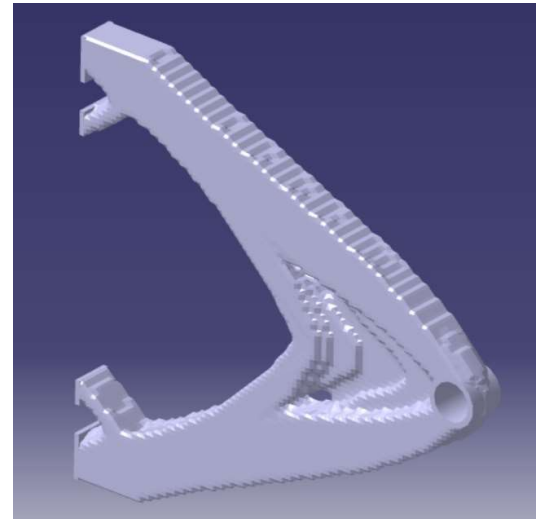
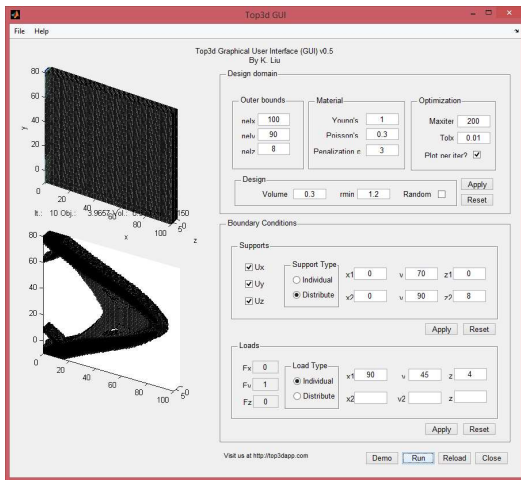
Използван е оптимизационния модул на софтуерния продукт Solid Works на Dassault Systemes. Избраната цел на оптимизацията е минимизиране на масата с ограничение по деформация (преместване). Това ограничение е формулирано като отношение между преместването на конструираната част и част с максимална коравина (голяма колкото цялата област на конструиране).



Фиг.3 Топологично оптимизирана конзола, генерирана в SW

2.3 Морфогенеза

Използван е "Top 3D" MATLAB код от K. Liu. Този код използва последователно квадратично програмиране, метод на подвижна асимптота и критерии за оптималност за решаването на задачите по топологична оптимизация с минимално съответствие [4].



Фиг.4 Морфогенерирана конзола с Top3D MATLAB оптимизатор.

3. Данни от анализа с крайни елементи

Всички генерирани части са анализирани чисто теоретично в модула *Generative Part Structural Analysis* на софтуера CATIA.

3.1 Резултати от конвенционалния метод.

Енергия на деформацията: 3.666e-002 J

Компонент	Приложени сили	Реакции	Остатъчни	Относителна грешка
Fx (N)	1.8004e+003	1.8004e+003	1.3620e-010	7.8661e-013
Fy (N)	0.0000e+000	-2.0633e-011	2.0633e-011	1.1917e-013
Fz (N)	1.7626e+002	1.7626e+002	1.9611e-012	1.1326e-014
Mx (Nxm)	-7.0602e-001	7.0602e-001	5.8065e-014	3.7680e-015
My (Nxm)	-2.0287e-008	2.0290e-008	2.9129e-012	1.8902e-013
Mz (Nxm)	7.1931e+000	7.1931e+000	6.5636e-013	4.2594e-014

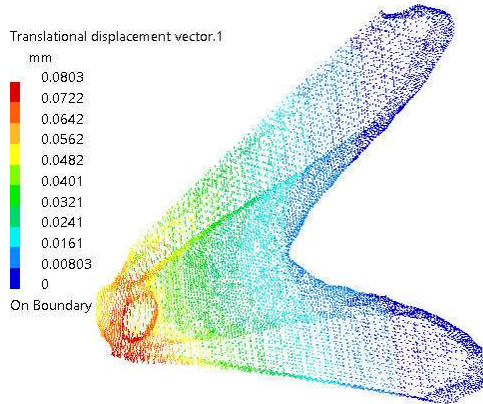
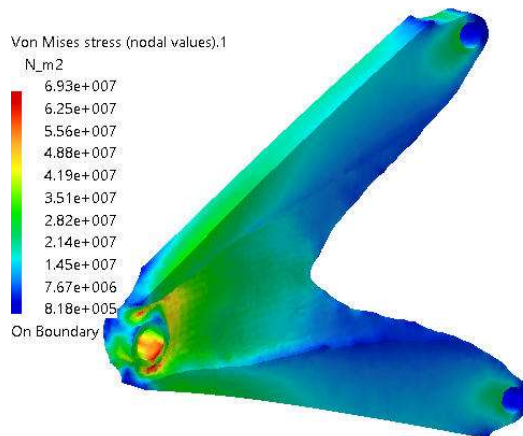
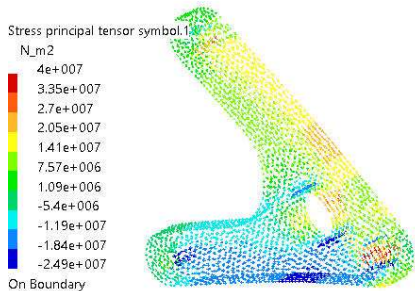
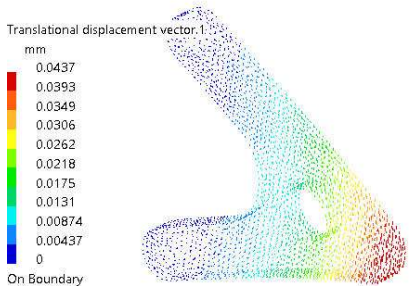
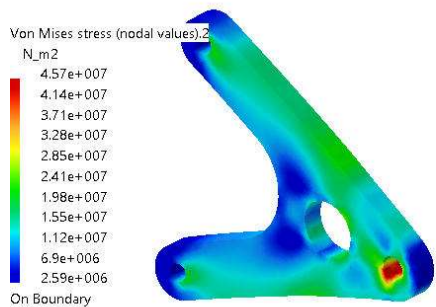
Таблица 1. Конвенционална част

3.2 Данни за SW топологично оптимизирана A frame .

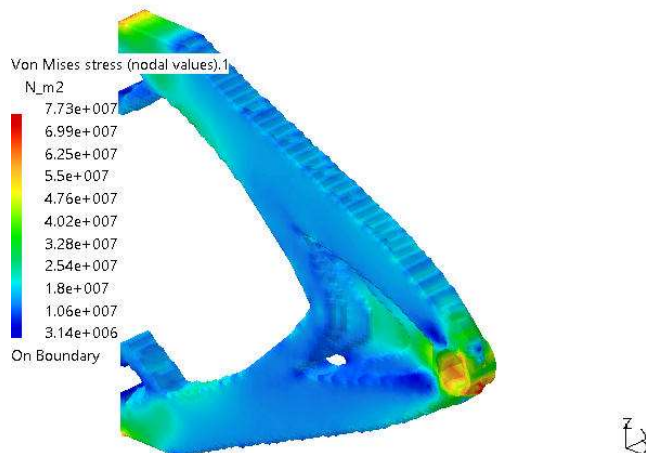
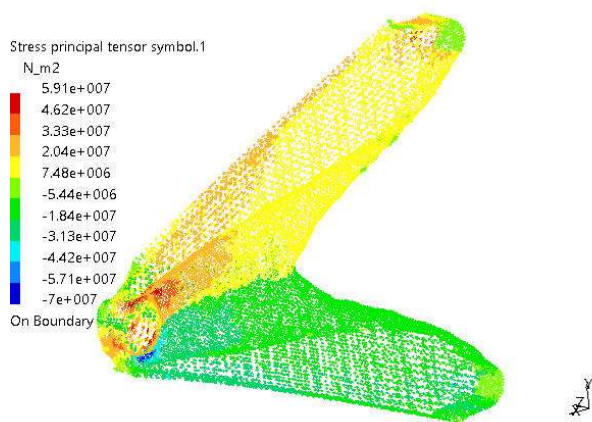
Енергия на деформацията: 5.561e-002 J

Компонент	Приложени сили	Реакции	Остатъци	Относителна грешка
Fx (N)	1.8174e+002	1.8174e+002	6.9633e-011	4.0817e-013
Fy (N)	-1.7998e+003	1.7998e+003	7.5033e-012	4.3983e-014
Fz (N)	0.0000e+000	-2.6525e-011	2.6525e-011	1.5548e-013
Mx (Nxm)	-3.6854e-003	3.6854e-003	3.0039e-012	2.1386e-013
My (Nxm)	1.3526e-002	-1.3526e-002	9.8103e-013	6.9843e-014
Mz (Nxm)	-1.3643e+002	1.3643e+002	2.1600e-012	1.5378e-013

Таблица 2. SW топологично оптимизирана част



Фиг. 5 МКЕ графики на конвенционална част



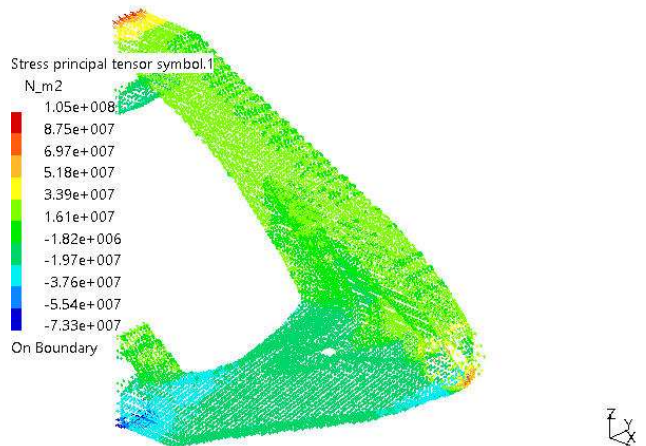
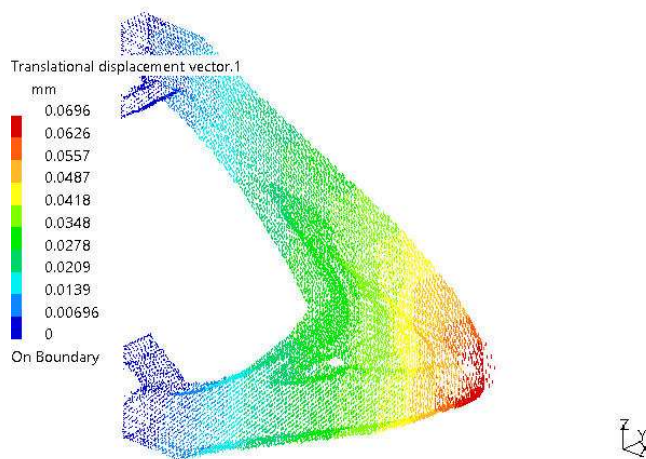
Фиг. 6 МКЕ графики на SW топологично оптимизирана част.

3.3 Top 3D оптимизирана част в MATLAB.

Енергия на деформацията: 5.830e-002 J

Компонент	Приложени сили	Реакции	Остатъци	Относителна грешка
Fx (N)	1.7853e+002	1.7853e+002	4.8283e-009	2.2053e-011
Fy (N)	0.0000e+000	-2.7898e-009	2.7898e-009	1.2742e-011
Fz (N)	-1.8001e+003	1.8001e+003	2.4457e-008	1.1170e-010
Mx (Nxm)	-7.1826e+000	7.1826e+000	2.4357e-010	1.1969e-011
My (Nxm)	1.6588e+002	1.6588e+002	7.5764e-010	3.7231e-011
Mz (Nxm)	-7.1726e-001	7.1726e-001	1.6667e-010	8.1904e-012

Таблица 1. Морфогенеза



Фиг. 7 МКЕ графики на top3d генерираната част.

4. Заключение

Конвенционално конструираната конзола има маса 77 грама и пиково напрежение по фон Мизес 46 МПа. Топологично оптимизираната част има маса 69 грама, или 10% намаление в сравнение с конвенционалната и пиково напрежение по фон Мизес 70 МПа. Масата на морфогенерираната част е 57 грама, или 26%

намаление в сравнение с конвенционалната, с пиково напрежение по фон Мизес 78 МРа. Следва да се отбележи, че конвенционално конструираната A frame има най-висока коравина от всички.

Намалената маса, разбира се дава важно предимство на оптимизационно базираните методи. Те могат да осигурят по-леки авиационни конструкции, водещи до значителни икономии на гориво по време на жизнения цикъл на летателните апарати. Увеличените напрежения от друга страна може да означават по-кратък живот и намалена толерантност към повреди. Може да се предпочита използването на оптимизационно базираните методи за места с намалени изисквания към умора и такива с множество пътеки на пренасяне на усилията, съответно с осигурени адекватни периодични инспекции. Друго съображение относно оптимизираните част е сложността, която може да увеличи значително цената на производство.

#### 5. Бъдеща работа.

Значимостта на теоретичните резултати трябва да бъде проверена на практика чрез натурални изпитвания. Авторите възнамеряват да опитни образци от детайлите и да проведат серия от реални якостни изпитвания.

Авторите биха желали да благодарят на Научно Изследователския Сектор на Технически Университет София за подпомагането на тяхната работа по договор №182PD0006-24.

#### 6. Референции

- 1 Bendsøe MP, Sigmund O (2003) Topology optimization: theory, method and applications. Springer
- 2 Programmable Architectures That Are Complex and Self-Organized: From Morphogenesis to Engineering, René Doursat
- 3 Giga-voxel computational morphogenesis for structural design, Niels Aage, Erik Andreassen, Boyan S. Lazarov & Ole Sigmund
- 4 An efficient 3D topology optimization code written in Matlab  
Kai Liu · Andres Tovar