

КОНСТРУИРАНЕ И ВНЕДРЯВАНЕ НА 3D ПРИНТИРАНИ ЕЛЕМЕНТИ В ЛАБОРАТОРНИ УСЛОВИЯ

Мартин ПУШКАРОВ¹, Александър СТАНИЛОВ²

¹катедра „Енергетика и машиностроене“, Технически колеж – София към Технически университет - София, България

e-mail: m.pushkarov@tu-sofia.bg

²катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, ЕМФ, Технически Университет- София

e-mail: a.stanilov@tu-sofia.bg

Резюме: Конструирането и внедряването на 3D принтирани елементи набира все по-голяма скорост както в инженерните среди, така и в нашето ежедневие. В настоящата статия се разглежда нуждата от използване на принтирани елементи, как се конструират, оразмеряват, принтират и внедряват на различни места. Направен е сравнителен икономически анализ на елементи, изработени от метал и принтирани такива, както и времето за тяхното изпълнение. За конструирането на различни 3D принтирани елементи е използван програмният продукт „SolidWorks“, като освен моделирането на елементите е използван и модулът за статично натоварване на елементите (МКЕ). Използването на 3D принтирани елементи практически е неограничено в практиката, стига те да отговарят на зададените изисквания към тях.

Ключови думи: конструиране, SolidWorks, 3D принтиране, лаборатория, МКЕ.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Конструирането и внедряването на 3D принтирани елементи, освен че започват да се използват почти във всички сфери на машиностроенето, подпомагат и значително лабораторните стендове за изпитване, като се използват за спомагателни, а в някои случаи и като основни компоненти в тях.

В момента за 3D принтиране се използват следните няколко технологии:

1) **FDM (Fused Deposition Modeling)** – Най-често използваната технология в момента при 3D принтерите – Работи, като се подава материал от нишка и преминава през дюза, която го разтопява на определена температура и го наслагва слой върху слой. Тази технология позволява да се създават термопластични качества на принтираните елементи и да получат детайлите механични, топлинни и химични качества на едно добро ниво, за да се използват в инженерните дейности. Най-разпространените материали, използвани при тази практика, са PLA, Nylon, ABS, PETG и др.

2) **LCD (Liquid Crystal Display)** – Слойта смола, положен на принтера, се осветява от светодиоди и по този начин се втвърдява, като изпълнява по този начин слой по слой

наслояването на леярите, за да се изгради елементът. При този тип принтиране светлината от светодиодите преминава през течнокристална матрица, подобна на тези, използвани в дисплеите на смартфоните. Тук предимството е, че може да използваме тази технология за принтиране на големи детайли с голяма площ;

3) **SLS (Selective Laser Sintering)** – При тази технология се използва полимерна пудра, която се нанася на много тънки слоеве. След нанасянето на тънкия слой пудра преминава лазерен лъч, който втвърдява слоя. Могат да бъдат използвани множество материали в тази технология, като Polycarbonate, acrylic – styrene, Nylon и др.

4) **Polyjet (Selective Laser Sintering)** – При този тип 3D принтиране отново както и при другите технологии се втвърдява материалът слой по слой, като самият материал е течен фотополимер и този материал се изпича от ултравиолетово лъчение. Принтираните елементи от този тип притежават следните предимства: високо качество на повърхностите си, точност (защото технологията е много точна), скоростно изграждане на детайлите, което им разрешава да се мият често.

2.НУЖДА ОТ ИЗПОЛЗВАНЕ НА ТАКЪВ ТИП ЕЛЕМЕНТИ

Използването на този тип елементи ни помага да бъдем гъвкави във времето, защото може да проектираме бързо детайлите и най-важната положителна страна на 3D принтирането е това да можем да го изпринтираме на момента и да използваме детайла ведна. Според вида на използваната технология за 3D принтиране може да извлечем още множество ползи. Технологията за отпечатване на елементи води след себе си и последващи обработки върху елементите. Видовете обработки, които може да използваме, са следните:

Почистване на детайла от останали съпорти – използване на „шабър“;

Полиране на детайла (Използват се цялостно изглаждане на детайла или само на части от него, които ще се използват за последващо сглобяване);

Заливане с различни видове смоли за вкоравяване на принтираните детайли;

Боядисване на детайла;

Лакиране и грундиране на детайлите;

Разбира се, стъпките могат да не се изпълняват за всеки детайл еднакво, а да се използва най – подходящата финализираща обработка за него.

3.КОНСТРУИРАНЕ, ПРИНТИРАНЕ И ВНЕДРЯВАНЕ

При конструирането на елемети, които ще бъдат 3D принтирани, е важно да се предвиди, че все пак тези детайли ще са много по-крехки от металните им аналози. Това условие не трябва да се забравя или да го избягваме. За да се конструира правилно един детайл, който ще бъде изработен от 3D принтер, е важно да знаем силите, които ще действат върху нашия елемент. Дешифрирането на този тип параметри ни помага за правилното конструиране на детайла, правилното разположение върху 3D принтера и отпечатването на детайла, като се взима предвид накъде ще бъде натоварването на детайла. Тези параметри още в началото на нашето конструиране определят следните неща:

Изграждане на 3D моделът на детайла в софтуерен продукт за CAD;

Използване на различни софтуерни продукти за разбиването на 3D модела на слоеве и използване на допълнителни опции за изграждането на детайла.

Принтирането на детайла започва след предишните две стъпки, когато вече сме генерирани *gcode* от софтуера за разбиване на детайла на слоеве. В този *gcode* се съдържа цялата информация на принтирания от нас детайл, неговите габаритни размери, броят на слоевете на детайла, пътят на движение на екструдера по осите X, Y и Z, както и скоростта на подаване на материал към детайла, скоростта на печатане, скоростта на движение и още много други елементи.

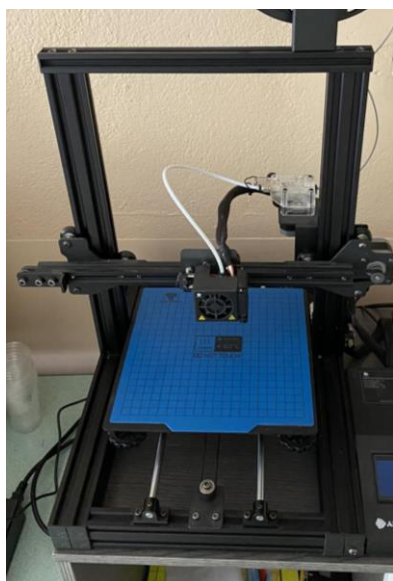
Сглобяване на принтирани елементи, за да се получи необходимият ни възел. (При сглобяването могат да се използват няколко различни вида като болтови съединения и слепване на детайли).

В една от лабораториите на ТУ – София, използваме два 3D принтера, като и двата са произведени от AnyCubic. Параметрите на принтерите са представени в **Таблица.1.**

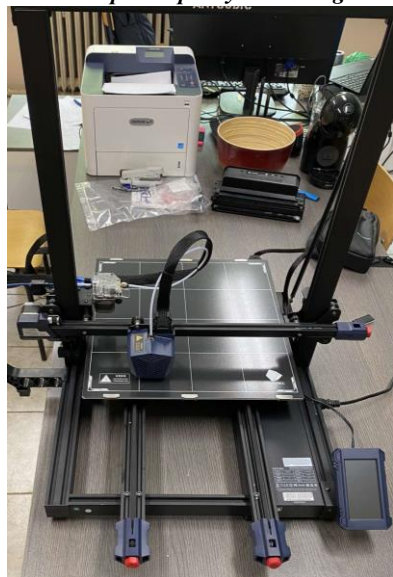
Таблица.1.

№	Наименование		
	AnyCubic MegaZero	AnyCubic Kobra Max	
Технология на принтиране	-	FDM	FDM
Максимална площ на принтиране	В/ Д/Ш mm	250/220/220	450/400/400
Материал за принтиране	-	PLA/TPU/HIPS/P ETG	PLA/ABS/PETG/ TPU
Максимална работна температура	0 С	255	260
Скорост на принтиране	m m/s	20 ÷ 100	80 ÷ 180
Работна температура	0 С	8 ÷ 40	8 ÷ 50
Тегло	kg	6.5	16

На **фиг.1** и **фиг.2** се показани работните принтери в лабораторията.



Фиг.1. 3D принтер AnyCubic MegaZero.



Фиг.2. 3D принтер AnyCubic Kobra Max.

В нашата лаборатория се използват различни елементи, принтирани от принтерите, показани по-горе. Принтираните детайли се използват за нашите стендове, като тези елементи обикновено са различни носачи за дадени възли, съединители, планки и необходими различни крепежни детайли.

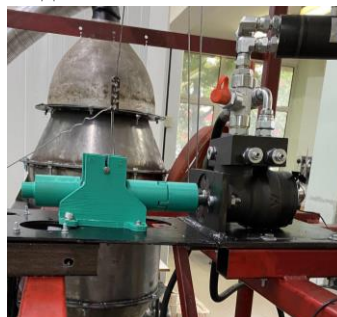
Част от елементите и детайлите, които сме използвали в лабораторни условия, са представени на **фиг.3.**



Фиг.3. 3D принтирани елементи за нуждите на лабораторията.

Всички елементи и възли, представени на **фиг.3.**, са били необходими за даден стенд, дадено изпитание или модел за изпитване, носачи поддържане на хидравлични акумулатори и др. Тези елементи са били необходими в процеса на работа в лабораторни условия, като всички те са конструирани и преминали през различните стъпки описани по-горе.

На **фиг.4** е представена куплирана система от хидравличен двигател, който е куплиран към датчик за въртящ момент, а от другата страна на датчика за въртящ момент е куплирана спиралка, която да натоварва мотора и по този начин да се измерва въртящият момент, реализиран от хидравличния двигател.

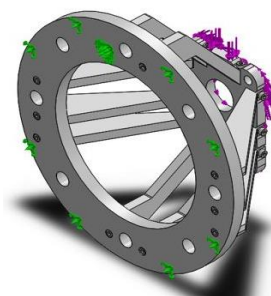


Фиг.4. Използване на 3D изпринтирани съединители.

Датчикът за въртящ момент реализира стойност от 100 Nm, преди едната част на съединителя да се разруши, като запълването на детайлите (частите на съединителя) е на 85%, което дава предположение, че при запълване на детайла на 100% ще издържи от стойности над 120 Nm, което за нашите лабораторни условия е достатъчно. Материалът, от който са изпълнени детайлите, е PLA с температура на топене 215 °C и стъпката на всеки слой е 0.2 mm, като диаметърът на дюзата, подаваща материала, отново е 0,2 mm.

4. КОНСТРУИРАНЕ, ПРИНТИРАНЕ НА НОСАЧ ЗА ХИДРАВЛИЧНА ПОМПА И ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ДВИГАТЕЛ

В настоящата статия ще се фокусираме върху направата на носач за електродвигател и хидравлична зъбна помпа. В търговската мрежа има налични алуминиеви готови носачи за мотор – помпа, но в нашия случай доставката, която беше определена от търговеца, не ни удовлетвори (5 работни дни) и си изпълнихме носач по наш дизайн, като го изчертахме и отпечатахме за общо 2 дни, както и направихме МКЕ през програмния продукт SolidWorks, за да проверим дали ще издържи. За да се отпечата желаният от нас носач, е необходимо той да се раздели на части и тези части да се отпечатаат една по една. Преди да се раздели на части в програмен продукт, който разделя самите детайли на отделни слоеве (има най-различни софтуери за обработката на детайлите на слоеве, като при нас е използван софтуерният продукт на Slic3r). Преди да започне второто обработване на детайлите за тяхното отпечатване, е направена симулация (статична) в програмния продукт SolidWorks, като всички части са сглобени в една сглобена единица, представена на *фиг.5*, и реално изпринтираната и вече сглобена единица *фиг.6*.



Фиг.5. Сглобена единица в SolidWorks.



Фиг.6. Реално отпечатана и сглобена единица.

Преди да бъдат отпечатани детайлите, се изпълнява статичната симулация в програмния продукт, като се залагат натоварванията, които трябва да издържи отпечатаният носач. Всички тези данни са представени на следващите фигури, генерирани директно от SolidWorks.

Loads and Fixtures				
Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-1		Entities: 1 face(s) Type: Fixed Geometry		
Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	-169.639	500.053	-0.0013907	528.044
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0

Фиг.7. Натоварване и фиксиране на сглобената единица.

Load name	Load Image	Load Details
Torque-1		Entities: 1 face(s) Reference: Face-1 > Type: Apply torque Value: 20 N.m
Force-1		Entities: 1 face(s) Type: Apply normal force Value: 500 N

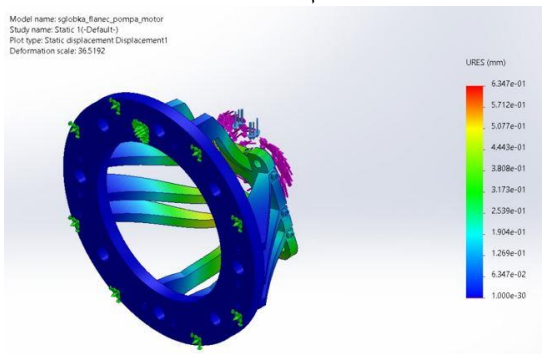
Фиг.8. Аксиално натоварване и въртящ момент, на които трябва да издържи носача.

На *фиг.8* натоварванията са заложи на база производителя на електрическия двигател и

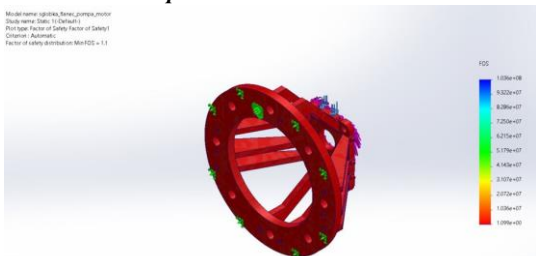
хидравличната помпа, която трябва да свърже носача.

Mesh Information - Details	
Total Nodes	145455
Total Elements	82627
Maximum Aspect Ratio	110.68
% of elements with Aspect Ratio < 3	86.9
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	1.84
Percentage of distorted elements	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:30
Computer name:	

Фиг.9. Информация за омрежването на сглобената единица.



Фиг.10. Деформацията на елементите на носача, като тук мащабът на деформациите е приблизително 37 пъти.



Фиг.11. Коэффициент на сигурност (Дали ще издържи сглобката).

На **фиг. 11** е представен коефициентът на сигурност при заложените от нас параметри в софтуера, така че да бъде изчислен той. В нашия случай **коэффициентът на сигурност е 1.1**, като това е минималният, а той задължително трябва да бъде стойност по-голяма от 1, за да сме сигурни, че нашата сглобена единица ще издържи заложените натоварвания. Параметрите са взети съответно от производителите на хидравличната зъбна помпа и електрическият двигател, така че те са достоверни, тъй като преди това те са изпитвани на различни стендове и се знаят

техните параметри като въртящ момент, тегло, честота на въртене и други.

При отпечатването на детайлите и съответно тяхното сглобяване и куплиране към хидравличната зъбна помпа и електрическият двигател посредством палцов съединител, показани на **фиг.6**, и последващия пуск на системата се реализира успешно извършената задача.

5. ИКОНОМИЧЕСКИ АНАЛИЗ

За да се види напълно ползата от принтирани елементи в лабораторни условия, в **Таблица 2** е представен сравнителен икономически анализ.

Таблица 2.

Сравнителен икономически анализ				
№	Наименование	3D принтиран носач	Метален носач	Забележка
1	Общо тегло на елемента, kg	0.5265	3.335	
2	Работно време, вложено в изработката, h	24	~ 5	
3	Цена на материала, лв	14.1	42.24	Цената на материала за принтирания носач е 14 лв, съответно за неговото тегло, а цената за металния носач е 42.24 лв без ДДС
4	Цена на консумативи (допълнителни консумативи), лв	15	0	
5	Време за сглобяване, h	1	0.5	Времето за куплиране на носача с хидравличната зъбна помпа и електрически двигател, като при отпечатания носач първо се сглобява той от своите детайли.
6	Цена за електроенергия на изработката, лв/h	~1	Не се знае	
7	Общо цена, лв	29.1	42.24	

От сравнителния икономически анализ се вижда, че за такъв тип носач (правим уточнението, че е от този габарит носач, тъй като по-големите типоразмери трябва да издържат на доста

по-големи въртящи моменти, което няма как да се получи с принтирани елементи) излиза изгодно и технологично издържано. Отпечатаният носач е с приблизително 13 лв по-евтин и беше изпълнен за 2 дни по-малко, отколкото щеше да бъде доставен металният, което за нас беше решаващо, за да започнат изпитванията на системата, за която беше предвиден.

6. ИЗВОДИ

1. Използването на 3D технологии за отпечатване на детайли и елементи спомага много за бързината в лабораторни условия;
2. Могат да се изпълняват всякакви геометрии, необходими ни за изпитвания на различни елементи;

3. Бързо и евтино постигане на добри резултати;

Литература

- | | | |
|---|------------|-----|
| 1. HUBS | Laboratory | - |
| https://www.hubs.com/guides/3d-printing/ , | | |
| 2. Dassault | systems | FEA |
| https://blogs.solidworks.com/tech/2020/01/introduction-to-solidworks-simulation-finite-element-analysis.html . | | |
| 3. 3D | print | - |
| https://3dbgprint.com/%D0%BA%D0%B0%D0%BA%D0%B2%D0%BE-%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D1%8F%D0%B2%D0%B0-3d-%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%BE-%D0%BA%D0%B0%D1%82/ | | |

CONSTRUCTING AND IMPLEMENTING 3D PRINTED ELEMENTS IN LABORATORY CONDITIONS

Martin PUSHKAROV¹

¹Department "Energy and Mechanical Engineering", Technical College - Sofia at Technical University - Sofia, Bulgaria
e-mail: m.pushkarov@tu-sofia.bg

Alexander STANILOV²

²Department "Hydroaerodynamics and Hydraulic Machines", EMF, Technical University - Sofia, Bulgaria
e-mail: a.stanilov@tu-sofia.bg

Abstract: The construction and implementation of 3D printed elements is gaining more and more speed, both in engineering environments and in our everyday life. This article examines the need to use printed elements as they are constructed, sized, printed, and displayed in various locations. A comparative economic analysis of elements made of metal and printed elements was made, as well as the time for their implementation. For the construction of various 3D printed elements, the program product "SolidWorks" was used, and in addition to the modeling of the elements, the module for static loading of the elements (FEA) was also used. The use of 3D printed elements is practically unlimited in practice, as long as they meet the requirements set for them.

Keywords: Construction, SolidWorks, 3D printing, laboratory, FEA.