

СЪВРЕМЕННИ ТЕНДЕНЦИИ В ТЕХНОЛОГИИТЕ ЗА 3D ПЕЧАТ

ВАЛЕРИ БАКЪРДЖИЕВ

Технически университет – София, филиал Пловдив
bakardzhiev@tu-plovdiv.bg

Резюме: 3D печатът е индустрия, която се развива с големи темпове и непрекъснато възникват нови технологии. В статията се разглеждат актуалните тенденции в развитието на технологиите за 3D печат. Първоначално детайлите, произведени чрез 3D печат, не са намирали реално приложение в машиностроенето, но днес, с развитието на материалите, се наблюдава все по-широко използване в машиностроителната индустрия

Ключови думи: 3D печат, 3D принтери

CURRENT TRENDS IN 3D PRINTING TECHNOLOGIES

VALERI BAKARDZHIEV

Technical University – Sofia, Branch Plovdiv
bakardzhiev@tu-plovdiv.bg

Abstract: 3D printing is an industry that is evolving at a rapid pace and new technologies are constantly emerging. This article discusses the current trends in the development of 3D printing technologies. Initially, parts produced by 3D printing did not find any real application in mechanical engineering, but today, with the development of materials, there is an increasing use in the mechanical engineering industry.

Key words: 3D printing, 3D printers

1. Въведение

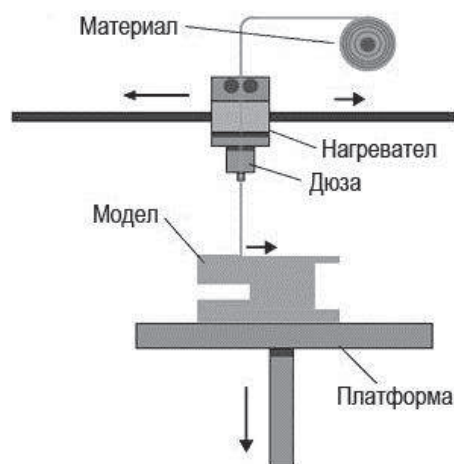
В настоящата статия ще се разгледат актуалните тенденции в развитието на 3D печата. Характерно за всички 3D принтери е, че изграждат обектите с добавяне на материал. 3D принтерите изграждат обектите слой по слой с течение на времето. За печат се използват различни видове материали. Съществуват много технологии за 3D печат, но най-често използваната представлява отлагане на разтопен материал (FDM). Други технологии, които се използват широко към настоящият момент са:

- Стереолитография (SLA)
- Многоструен синтез (MJF)
- Директно лазерно синтероване (DMLS)
- Лазерно наваряване (LMD)
- Дигитално проектирана светлина (DLP)

2. 3D печат чрез отлагане на разтопен материал (FDM)

Най-разпространената технология за 3D печат е технологията чрез отлагане на материал, показана на фигура 1. При нея, материалът който

е във вид на нишка, нарича се още филамент, се екструдира от специален екструдер. Той има вградено задвижване, а също така и нагревател чрез който се създава стопилка. С помощта на



Фиг. 1. Схема на 3D принтер чрез технологията FDM[1]

механизми, задвижвани от стъпкови мотори, се осъществява 3D печата. С напредването на

технологията вече успешно се принтират инженерни полимери с високи механични характеристики, устойчиви на UV светлина и химически препарати. Цената на печат е ниска, тъй като филаментите за тази технология са достъпни и са в диапазона 60-150лв. за килограм. Такива полимери са:

Филамент от въглеродни влакна тип CF20[2]. Това е кополиестер на основата на въглероден композитен материал. В него се използват над 20% въглеродни влакна, което му придава висок модул на еластичност 6,2 GPa, висока температура на топене – 250-260 °C и висока точност при печат. Изключително е подходящ за корпусни детайли.

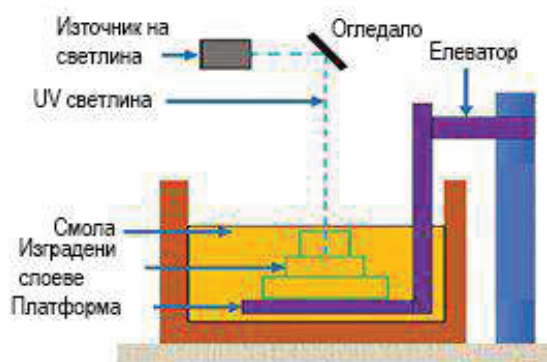
Успешно се използват и филаменти тип PA-CF[3], които съдържат найлон с добавени въглеродни влакна. Това придава на материала възможност за печат без деформации върху ненагreti платформи за принтиране. Тук се премахва един от основните проблеми при FDM технология за 3D печат, а именно ниската адхезия към платформата на принтера. PA-CF се отличава с висока якост на опън и удар и позволява продължителна употреба при 120°C, като същевременно запазва достатъчно дълго своите механични свойства. Материалът успешно се използва за печат на машинни елементи за индустрията, като зъбни колела, гърбици, втулки и други.

3. 3D печат чрез технологията Стереолитография (SLA)

3D принтирането, чрез технологията SLA[4], както е показано на Фигура 2, започва с наливането на фотополимерна течна смола в резервоар, разположен над подвижна платформа, потопена точно под повърхността на течността. Печатът се контролира от контролера на машината от предварително съставена програма в специализиран софтуер (Slicer). Специфични области от смолата се втвърдяват при излагане на UV светлина и обикновено се печата с дебелина на слоя от 35-50 микрона. След като всеки слой се втвърди, платформата се спуска с височината на слоя и обемът се допълва с течна смола. Процесът продължава с последователно изграждане на слоевете, които се втвърдяват с помощта на UV светлина и благодарение на адхезионните свойства на полимера, се осигурява безпроблемно залепване на слоя. Използват се поддържащи структури, които предотвратяват изместването по време на формирането на слоя и се отстраняват след приключването на печата. След приключване на 3D печата се осъществява допълнително втвърдяване чрез третиране с UV

светлина на отпечатания детайл. Тук се използват специални смоли за производството на машинни елементи. Трябва да се отчете факта, че цената на смолите е около 250-350лв за литър.

Първият пример е високопроизводителна керамична смола от FormFutura[5], която се характеризира с висока твърдост и здравина на материала. Тъй като тази смола е подсилена с керамика от наночастици, тя е един от най-твърдите и здрави материали, които се използват в момента. Продуктът се отличава с модул на еластичност от 9,5 GPa и максимална якост на огъване от 170 MPa. Тази смола може да се отпечата на SLA принтери със светлина с дължина на вълната от 385-420 nm. Подходяща е за изработка на корпусни детайли, изложени на високи натоварвания.

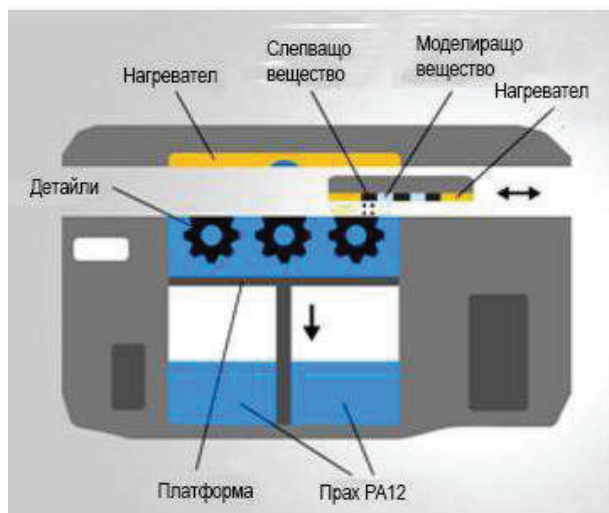


Фиг. 2. Схема на 3D принтер чрез технологията SLA[4]

4. 3D печат чрез технологията многоструен синтез (MJF)

Тази технология е разработена през 2016 г. от HP със създаването на 3D принтера Multi Jet Fusion[6], показан на фигура 3. Технологията на печат MJF се основава на слоесто слепване на пластмасови прахове. Основният материал е полиамид PA12. С помощта на вал се нанася специално подготвен и предварително загрят прах от полиамид. След това с капково струйна печатаща глава се прилагат два вида помощни вещества в процеса на печат. Първото вещество слепва молекулите на полиамида и се отделя само в зоните на модела. Неговите свойства увеличават абсорбцията на топлинно нагряване. Второто вещество се прилага към външните контури на детайлите, за да се улесни отделянето на неизпечения прах и да се увеличи точността на детайла. След нанасяне на двете вещества специална нагревателна глава преминава върху слоя материал, което кара моделният слой да се стопи и да образува плътен твърд слой от детайла. Процесът се повтаря за следващия слой

докато се получи окончателната геометрия на печатания детайл. Не се използват поддържащи структури и детайлът се отпечатва с висока точност. Може да се постигне максимално отклонение в размера до 3%. Технологията е с висока производителност, но цената на самия 3D принтер е около 300 000лв.



Фиг. 3. Схема на 3D принтер чрез технологията MJF[7]

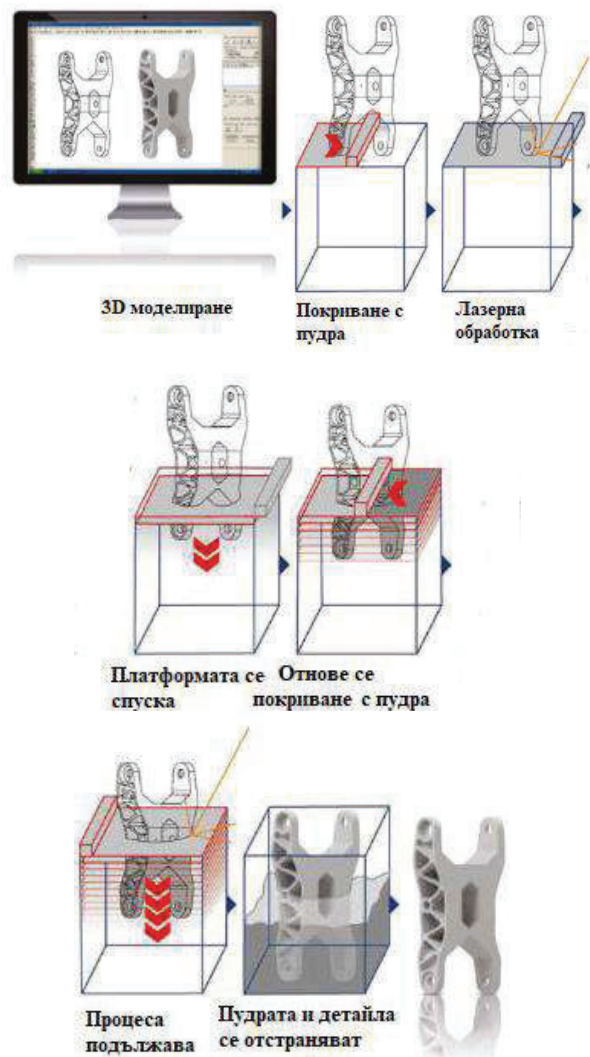
5. 3D печат чрез технологията директно лазерно синтероване (DMLS)

Технологията за 3D печат DMLS[9], показана на фигура 4, се основава на използването на метални прахове с голяма чистота. Високоенергийни лазерни лъчи, контролирани от контролер, нагреват локално металния прах под температурата му на топене. При тази технология лазерният лъч постепенно преминава през слоя метален прах, свързвайки частиците в метала, за да създаде здрава структура, дори ако не е нагрят до температурата на топене на метала. Това се извършва на слоеве с определена височина и се нарича синтероване. След изстиване металът се втвърдява и се образува механичен детайл с висока точност на геометричните размери. След като отпечатването приключи допълнителният прах от работната камера може да бъде рециклиран и използван.

Чрез технологията DMLS могат да се произведат детайли със сложна форма и отлични физико-механични качества. Използва се за производството на аерокосмически или автомобилни части. Чрез избора на различни материали за синтероване и модифициране на параметрите на процеса, DMLS технологията също така позволява генерирането на машинни елементи от титан, бронз, черна и неръждаема стомана.

3D печатът чрез DMLS създава някои трудности и ограничения. Първо, експлоатацията

и поддръжката на 3D принтери за синтероване на метален прах е доста сложна и скъпа. Второ, цената на металните прахове е висока – 100-200лв. за килограм. Освен това се използват и инертни газове, което допълнително повишава цената. По време на печат, вследствие на неравномерно нагряване на металния прах, могат да се създадат вътрешни напрежения в изработвания детайл, което да доведе до деформация или счупване.

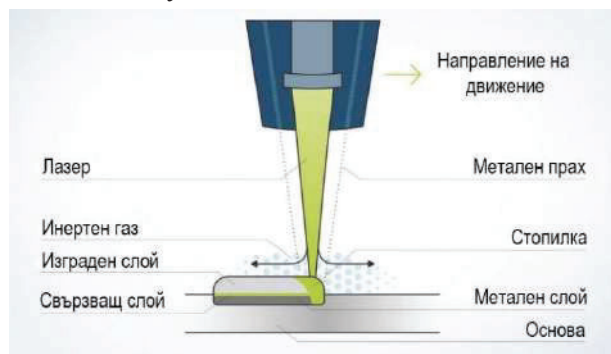


Фиг. 4. Схема на 3D принтер чрез технологията DMLS[8]

6. 3D печат чрез технологията наваряване (LMD)

При технологията за 3D печат с наваряване лазерен лъч[10] загрява детайла локално и създава стопилка. Тогава от дюза се пръска фин метален прах директно във ваната от стопилка. Там той се стопява и се свързва с основния материал. Отзад остава слой с дебелина от около 0,2 до 1 милиметър. По този начин се получават заварени един с друг шевове, които надграждат структурите на съществуващите

основни тела или генерират цели детайли. При нужда могат да се изградят много слоеве един над друг. Чрез лазерното наваряване могат да се постигнат високи скорости на печат до 500mm/min. Тук отново се използват метални прахове, което оскъпява технологията, но пък за сметка на това могат да се произвеждат метални детайли с висока точност или да се ремонтират вече съществуващи.



Фиг. 5. Схема на 3D принтер чрез технологията LMD[10]

7. Заключение

На базата на изложеното в доклада може да се твърди, че съществуващи технологии за 3D печат се допълват една друга и непрекъснато се развиват. Към настоящия момент най-развитата технология, използваща полимери, е технологията чрез отлагане на материал. При металите се наблюдава тенденция за бързо развитие на технологиите чрез лазерно наваряване, тъй като освен че могат да се правят нови детайли, които са с много добри механични характеристики, също така могат да се ремонтират и съществуващи като се възстановява тяхната първоначална форма и това спестява много финансови средства на фирмите за ремонт. Най-ниска себестойност се наблюдава на отпечатаните детайли при технологията с отлагане на материал. Все още директното лазерно синтероване и лазерното наваряване не могат да намерят широко разпространение заради високата стойност на самите 3D принтери и консумативите които използват.

ЛИТЕРАТУРА

1. Haghsefat, K., Tingting, L. FDM 3D Printing Technology and Its Fundamental Properties, ICIRES - International Conference on Innovation and Research in Engineering, 2020, Tbilisi

2. 2025_ColorFabb's.
Online:https://colorfabb.com/xt-cf20?srsId=AfmBOop_rqIvDeoLwJa05mtLfKup9rQpulHqGH3UoGWflq7vROp0aL2r
3. 2025_ColorFabb's.
Online:<https://colorfabb.com/pa-cf-low-warp>
4. Pitjarnit, S., Vichiansan, N., Jewpanya, P., Nuangpirom, P., Jaichomphu, P., Leksakul, K., Poolperm, P., Investigating Tensile Strength in SLA 3D Printing Enhancement Through Experimentation and Finite Element Analysis. Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS), 2024, Pekanbaru
5. 2025 FormFutura.
Online:<https://formfutura.com/product/high-performance-series-rigid-ceramic-resin/>
6. 2025 Hewlett Packard.
Online:<https://www.hp.com/us-en/printers/3d-printers/products/multi-jet-technology.html>
7. Cader, M., Kiński, W., Effect of Changing the Parameters of the Multi Jet Fusion (MJF) Process on the Spatial Objects Produced., Problems of Mechatronics Armament Aviation Safety Engineering. 2020, Warszawa
8. Велев, Е., 3D принтери за метал: възможности и приложение, Научни трудове на Съюза на учените в България–Пловдив, серия В. Техника и технологии, 2024, Пловдив
9. 2025 Шенжен Jr Технология Co., Ltd..
Online:<https://bg.china-3dprinting.com/info/what-is-dmls-3d-printing-17199608166687744.html>
10. 2025 TRUMPF
Online:https://www.trumpf.com/bg_BG/reshenija/prilozhenija/aditivno-proizvodstvo/navarjavane/