

ПРЕЦИЗНОСТ НА РАЗМЕРИТЕ ПРИ 3D ПРИНТИРАНЕ

Борислав Георгиев

*TU-Габрово, ул.Хаджи Димитър 4, Габрово, България,
bgeorgiev@tugab.bg*

DIMENSIONAL PRECISION IN 3D PRINTING

Borislav Georgiev

*TU-Gabrovo, str. Hadji Dimitar 4, Gabrovo, Bulgaria.
bgeorgiev@tugab.bg*

Abstract

The focus of this article is on the use of custom 3D printing to create engineering prototypes or finalized instances of mechanical devices. In contrast to the aesthetic uses of FDM, the focus on accuracy—the ability to achieve precise physical dimensions is important in the case of engineering mechanical devices.

Keywords: 3D printing, dimensional precision, accuracy.

ВЪВЕДЕНИЕ

3D принтирането набира все по-широко приложение, като падащите цени и оперативната простота извеждат инструмента от сферата на корпорациите в ръцете на физически лица. Всъщност, техниките, включващи днешното бързо прототипиране, създаване на пълно мащабни модели, които възпроизвеждат размера, формата и функционалността на конвенционално произведените артикули направиха възможно хората да създават нови продукти.

Най-разпространените и икономични потребителски 3D принтери използват адитивна технология “моделиране на разтопено отлагане” (FDM-fused deposition modeling).

FDM изгражда физически модел слой по слой, като слива по-високи слоеве материал със слоевете под тях, за да създаде нови обекти.

FDM суровината може да се състои от различни вещества като термо пласти или термо пласти инфузирани с други материали.

Процесът обаче е изправен пред предизвикателства, свързани с контрол на точността и качеството на крайните продукти, които са критични за широкото приемане на технология в индустрията [3, 5, 6, 7, 8, 13, 14, 15, 16].

В тази връзка един от важни аспекти за качеството на крайния продукт е геометрична точност на детайлите, включително точността на линейните размери, отклонения от формата и взаимно разположение на повърхностите и осите на детайлите, тъй като тези параметри са от съществено значение за тяхната функционалност и надеждност.

Точността и възпроизводимостта на FDM процесите могат да бъдат повлияни от множество фактори[4, 9, 10, 11].

Подробно проучване на тези фактори и техните оптимизацията е от съществено значение за подобряване на качеството на 3D печатни продукти и разширяване на областите на приложение на технологията.

На фона на тези предизвикателства, настоящият доклад се фокусира върху изследването на възпроизводимостта и точност на FDM 3D принтерите. Целта е да се идентифицира ключовите фактори, влияещи върху качеството на произвежданите части и да предложи методи за тяхното оптимизиране. Резултатите от изследването може да допринесе чрез нови знания и надеждни критерии в областта на адитивното производство, предоставяне на ценни насоки за професионалисти или специалисти, които участват в проектирането и създаването на нови продукти, софтуер, технологии или системи в областта на 3D печата.

ОСНОВНИ ПОЛОЖЕНИЯ ПРИ ПОГОТОВКА ЗА ПЕЧАТ

Най-често срещаните материали, използвани за FDM, са акрилонитрил бутадиен стирен (ABS) и полилактид (PLA), като техните характеристики са с предсказуеми свойства на течливост, като същевременно образуват надеждно твърдо вещество след охлаждане.

Долният слой на 3D печат, който директно контактува с печатащото легло и служи като основа за горните слоеве, допринася за неточността на размерите, която може да бъде подобрена.

Ако долният слой не прилепва по подходящ начин към печатащото легло, процесът на охлаждане и свиването на материала в слоевете над него ще имат тенденция да изтеглят най-малките характеристики, което води до изкривяване на части от отпечатъка.

Острите ъгли в долната част на отпечатъка представляват особен проблем. Разширените настройки на „Cura“ позволяват дефиниране на началната дебелина на слоя и процент на екструдирание.

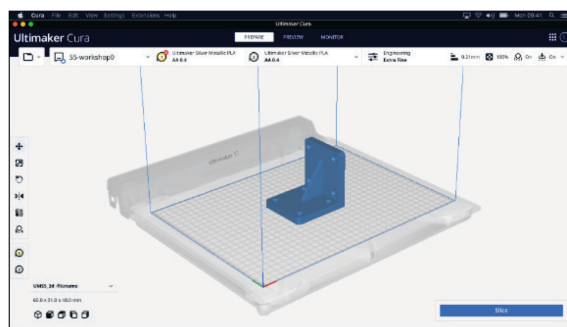
Дюзата за печат е повдигната от повърхността на леглото с по-голяма стойност от стандартната височина на слоя и използва по-голям от типичния поток на материала, което позволява неравномерност в леглото и също така осигурява правилна адхезия.

Дори при оптимално нивелиране на печатащото легло, което е критичен компонент на качествените разпечатки, незначителните промени в леглото и произтичащите от това разлики във височината на дюзата спрямо леглото за първоначалния слой ще повлияят на ширината на материала, изтичащ от дюзата.

Ако повдигнем дюзата по-високо то отпечатаната линия става по-тънка.

Ако приближим дюзата по-близо до повърхността и ширината на линиите се разширява.

Чрез проби и грешки е установено, че настройките за екструдирание, необходими за първоначалния слой, могат да се различават от следващите слоеве до два пъти при създаването на една и съща ширина на отпечатаната линия. Въпреки че пробите и грешките с настройките (фиг.1) на Cura (UltiMaker Cura е безплатен, лесен за използване софтуер за 3D печат) могат да облекчат тази неточност в размерите, създаването на основа за всички тестови артикули върху което лежи действителният желан печат повдигнат от леглото гарантира, че този конкретен източник на неточност на размерите не играе роля в измерванията на изследването.



Фиг. 1. UltiMaker CURA, основен изглед

Експортирането от CAD в .stl файл включва процес на представяне на формата с помощта на триъгълници, който може да има различна точност.

При някои други програми (например CATIA) има настройка за "3D точност", която може да бъде зададена между 0.01 и 10.00. Ако обаче запазим .stl файл и след това импортираме файла обратно в CATIA, можем да видим подчертан ефект от тези настройки на параметрите.

Ефектът от това е, че точността може да създава приближения на криви с различни нива на точност, което води до неточност на измерените размери.

Задаването на "3D точност" на 0,01 гарантира, че неточността не играе роля в проучването.

Най-малката височина на слоя за отлагане на тестовия 3D принтер е 0,06 mm и всички отпечатъци за това изследване са създадени с тази разделителна способност на наслойване.

Тъй като механизмът на оста z на принтера се различава от осите x и y където разделителната способност на z е по-малка почти десет пъти от дебелината на хоризонталната линия от 0,4 mm, и тъй като движението на оста z е относително бавно и еднопосочно (една стъпка на отпечатан слой), в това изследване ще се фокусираме изключително върху размерите x и y.

Колкото и нелогично да изглежда, увеличаването на запълването също може да доведе до това, че принтерът да използва различен модел на печат. Вместо да се опитва да направи няколко завъртания на деветдесет градуса, за да създаде кръстосано заштрихован модел кутийка по кутийка, принтерът полага прави линии по цялата дължина на отпечатъка. Чрез редуване на посоката на тези слоеве от успоредни линии, принтерът създава същия модел на кръстосано штриховане с минимални проблеми с екструдирването.

Проблемите с екструдирването произтичат от комбинация от движение на пе-

чатащата глава и невъзможност за достатъчно бързо отлагане на материала.

Нека обобщим няколко основни положения при използването на 3D принтери[12]. Качеството на 3D принтирането зависи от няколко фактора, включително разделителната способност на принтера, качеството на използвания софтуер за нарязване, скоростта на печат и самите материали. Значението на високото качество консумативи, ефективен контрол на температурата и редовно калибрирането на оборудването е от решаващо значение за постигане на оптимални резултати.

A. Резолуция

Разделителната способност на дюзата се отнася до способността на принтера да контролира дебелината на всеки нанесен слой. Високата разделителна способност обикновено води до по-добра точност. Най-много FDM 3D принтери имат разделителна способност на дюзите между 50 и 300 микрометра.

B. Точност на позициониране

Това се отнася до способността на принтера да поддържа постоянно положение на дюзата по време на печат. Подобрата прецизност на позициониране гарантира, че слоевете се полагат равномерно и точно, което води до подобрена обща точност.

C. Качество на материала

Видът на използвания материал също може да повлияе на точността на FDM 3D принтер. Някои материали може да са повече податливи на изкривяване или изкривяване по време на охлаждане, което води до намалена точност. Използване на високо качество материали с ниски коефициенти на топлинно разширение могат помагат за подобряване на точността.

D. Температура и скорост

Оптималната температура и скорост на печат могат значително влияят на точността на FDM 3D принтера.

Печатът при твърде висока температура може да доведе до разтичане или

изкривяване, докато печатът при твърде ниска температура може да водят до лоша адхезия между слоевете. По същия начин, печат при твърде висока скорост може да доведе до недостатъчно свързване между слоевете, което води до намалена точност.

Е. Настройки за печат

Настройки на принтера, като височина на слоя, плътност на запълване и моделът на запълване също може да повлияе на точността. Оптимизиране на тези настройките за конкретния модел и материал могат да помогнат да постигнем по-добра точност.

Ф. Контрол на температурата

Ефективният контрол на температурата е от решаващо значение за поддържането постоянни свойствата на материала по време на печат.

Неподходящ контрол на температурата може да доведе до проблеми като материал изтичане, лошо свързване на слоя и намалена точност.

Г. Калибриране и поддръжка

Редовно калибриране и поддръжка на FDM 3D принтерът може да помогне да се гарантира неговата точност във времето [5]. Това включва проверка и подмяна на износени части, почистване на дюзи и извършване на редовни тестове за калибриране и за проверка производителността на принтера.

Като цяло точността на FDM 3D принтерите може да бъде повлияна от различни фактори, включително настройка на печат, качество на материала и производителност на машината.

Чрез оптимизиране на тези фактори е възможно да се постигне висока степен на точност с FDM 3D принтери.

PLA (поли млечна киселина) е биоразградим термо пластичен материал, който често се използва в 3D принтирането поради относително ниската си цена, лекота на обработка и екологична съвместимост.

Коефициентът на топлинно разширение на PLA е приблизително $40\text{--}60 \times 10^{-6} \text{ mm/mK}$. Тази стойност може да варира

леко в зависимост от конкретната формулировка и условията на околната среда.

Коефициентът на топлинно разширение (СТЕ) е мярка за това колко материалът се разширява или свива при промяна на температурата. В случая на PLA това показва, че материалът има тенденция да се разширява или свива равномерно във всички посоки, когато температурата се промени.

Това свойство е важно за 3D печата, тъй като помага да се гарантира, че отпечатаните обекти запазват формата си, когато са изложени на променящи се температури. Важно е обаче да се отбележи, че коефициентът на топлинно разширение на PLA е относително висок в сравнение с други материали, използвани в 3D принтирането, като ABS (акрилонитрил бутадиен стирен) или PETG (полиетилентерефталат гликол).

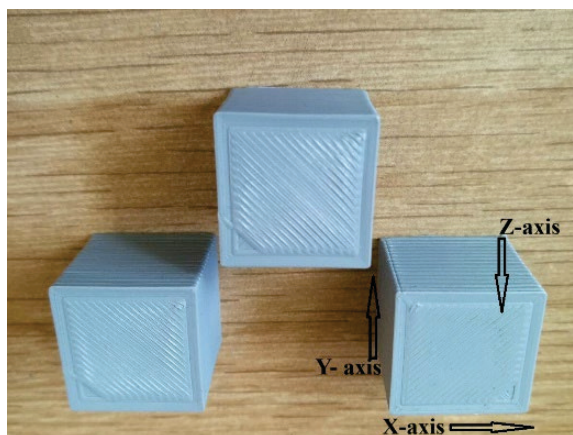
Това означава, че обектите, отпечатани с помощта на PLA, могат да бъдат поподатливи на изкривяване или изкривяване при високи температури или значителни температурни колебания. За да сведете до минимум този риск, е важно да следвате препоръчителните работни температури за PLA и да избягвате излагането на отпечатаните обекти на екстремни температурни промени.

РЕЗУЛТАТИ

След щателна проверка и калибриране на принтера, (фиг.2) бяха отпечатани кубчета с размери от всяка страна 20 mm. Използваното приложение за нарязване е CURA с 25% пълнеж на материала. Времето за отпечатване на детайлите е 1 час и 08 минути. Материалът, използван в процесът на принтиране е PLA с работна температура от $190\text{--}230 \text{ }^{\circ}\text{C}$ с диаметър $1,75 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$ и цената за всяка част при 25% напълване е бгр.

Околният температурата по време на печат е $20\text{--}21 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а след няколко експеримента, най-оптималната настройка на температурата за принтерната плоча е изчислена на $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и за дюзата $220 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Скоростта на печат е 20 mm/s, височината на слоя е 0,2 mm и дебелина на стената 1,5 mm.



Фиг. 2. Тестови кубчета

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Този доклад представя проучване, което се фокусира върху повторемост и точност на 3D принтери, използващи технология за моделиране на отлагане (FDM). Чрез анализиране влиянието на различни фактори като разделителна способност на принтера, качество на материала, настройки за печат, контрол на температурата и калибриране, проучването подчертава сложността на процеса на 3D печат и значението на оптимизацията, прилагана в практически приложения за постигане на висока степен на точност и качество на отпечатаните обекти.

Важно е да се отбележи въпреки че 3D печата позволява значителна гъвкавост и иновация в дизайна и производството, точността и повторемостта на отпечатаните обекти е критична за тяхната практическа приложимост. Това изследване подчертава факта че постигането на високо качество и точност изисква внимателни контрол на множество фактори, включително, но не само, качеството на използваните материали, спецификации на принтера и условия за печат.

И накрая, представените заключения и резултати служат за основа за бъдещи

изследвания, с оглед на непрекъснатото подобряване на технологиите за 3D печат и разширяване на техните приложения в различни области.

Ефективно справяне с предизвикателствата на точността и повторемостта ще помогне за утвърждаването на 3D печата като ключова технология за бъдещето на производството.

В следващото проучване планираме да разгледаме по-подробно влиянието на някои от параметрите върху точността на 3Dпринтерите.

Това изследване е финансирано от Европейския фонд за регионално развитие в рамките на ОП „Научни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., Проект BG16RFPR002-1.014-0005 Център за компетентност „Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Sachs, E., Cima, M., Williams, P., Brancaccio, D., & Cornie, J. (1992). Three-dimensional printing: rapid tooling and prototypes directly from a CAD model. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*. Volume 114, Issue 4, pp. 481 – 488
- [2] Rajan, K., Samykano, M., Kadirgama, K., Harun, W. S. W., & Rahman, M. M. (2022). Fused deposition modeling: process, materials, parameters, properties, and applications. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, volume 120, issue 3, pp. 1531-1570.
- [3] Dimitrov, D., Schreve, K., & de Beer, N. (2006). Advances in three-dimensional printing—state of the art and future perspectives. *Rapid Prototyping Journal*, volume 12, issue 3, pp. 136-147.
- [4] Turner, B. N., Strong, R., & Gold, S. A. (2014). A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling. *Rapid prototyping journal*, volume 20, issue 3, pp. 192- 204.
- [5] Dichev, D., Koev, H., Diakov, D., Panchev, N., Miteva, R., Nikolova, H. Automated

- System for Calibrating Instruments Measuring Parameters of Moving Objects. Proceedings Elmar - 59th International Symposium Electronics in Marine, September 18-20 th, 2017, Zadar, Croatia, pp. 219-224. DOI: 10.23919/ELMAR.2017.8124472
- [6] Dichev, D., F. Kogia, H. Koev, D. Diakov. Method of Analysis and correction of the Error from Nonlinearity of the Measurement Instruments. Journal of Engineering Science and Technology Review. Volume 9, Issue 6, 2016, pp. 116-121. DOI: 10.25103/jestr.096.17
- [7] Kupriyanov, O., Trishch, R., Dichev, D., Kupriianova, K. A General Approach for Tolerance Control in Quality Assessment for Technology Quality Analysis. In 4th Grabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes, InterPartner 2022, Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2023, pp. 330-339. DOI: 10.1007/978-3-031-16651-8_31
- [8] R. Anitha, S. Arunachalam, P. Radhakrishnan. "Critical parameters influencing the quality of prototypes in fused deposition modelling", Journal of Materials Processing Technology, vol-118 (2001) 385-388.
- [9] Pooja Padyal, Dr. A. Mulay, Dr. M.R. Dhanvijay. 'Experimental assessment of Repeatability of Openware 3D Printer', International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), vol- 07, issue: 05 | May 2020
- [10] Garrett W. Melenka, Jonathon S. Schofield, Michael R. Dawson, Jason P. Carey "Evaluation of dimensional accuracy and material properties of the MakerBot 3D desktop printer", Rapid Prototyping Journal, vol-25 no.5 (2015) 618-627
- [11] Georgiev B., Karadzhov T. "Comparative analysis of geometric deviations in contact measuring instruments for control and laser contactless scanning. Environment. Technology. Resources. Rezekne, Latvia, Proceedings of the 14th International Scientific and Practical Conference. Vol- 3, 306-310(2023)
<https://doi.org/10.17770/etr2023vol3.7182>
- [12] Georgiev, Borislav; Karadzhov, Tsanko. Investigating the repeatability of 3D printers using a multi-sensor measurement system. Environment. Technologies. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Rezekne, Latvia, v.3,p.65–69,2024. DOI:10.17770/etr2024vol3.8114.
- [13] Komarski, D., Diakov, D., Nikolov, R., Analysis of the Transfer Curve, and the Center of Rotation of Elastic Micro-Positioning Module with Optimized Butterfly Flexures, (2022) 32nd International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, MMA 2022, , DOI: 10.1109/MMA55579.2022.9993338
- [14] Diakov, D., Komarski, D., Nikolova, H., Optimization of Butterfly Flexures for Angular Positioning(2021) 31st International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, MMA 2021, , DOI: 10.1109/MMA52675.2021.9610833
- [15] Diakov, D., Komarski, D., Micro-positioning Module for Angular Orientation Position of the Axis of Rotation Analysis, (2021) 31st International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, MMA 2021, , DOI: 10.1109/MMA52675.2021.9610873
- [16] Komarski D., Diakov D., Nikolova H., Vassilev V., Analysis of the Impact of the Central Connecting Element Stiffness on the Accuracy Characteristics of Micro-Positioning Elastic Module with 'Butterfly' Flexures, 33rd International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, MMA 2023, (2023), DOI: 10.1109/MMA59144.2023.10317907.