

ВЛИЯНИЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ПАРАМЕТРИ НА REPRAP 3D ПРИНТЕР ВЪРХУ ТОЧНОСТТА И ГРАВАВОСТТА НА ПОЛУЧАВАНИТЕ МОДЕЛИ

INFLUENCE OF BUILDING PARAMETERS ON THE ACCURACY AND ROUGHNESS OF CASTING PATTERNS PRODUCED BY REPRAP 3D PRINTER

гл. ас. д-р инж. Минев Е., ас. инж. Янков Е., доц. д-р инж. Минев Р.
Русенски университет „А.Кънчев”, Русе, България

eminev@uni-ruse.bg, eyankov@uni-ruse.bg, rus@uni-ruse.bg

Abstract: The paper describes the assembly and tuning the main technological parameters of Velleman K8200 RepRap 3D printer. The associated control software has been tested and utilised. Test pieces from two plastic materials have been developed for machine calibration. Influence of building parameters to the part quality also has been investigated. It has been found that the accuracy of the printer depends predominantly on extrusion parameters and deposition of the material and less on the material shrinkage. The thickness of extruded material ($d=0.2\text{mm}$), dominates the resulting roughness of the part. The best extrusion temperature in terms of part accuracy has been found to be in the range of 180 - 190 °C.

Keywords: 3D PRINTING, RAPID PROTOTYPING, METAL CASTING SACRIFICIAL PATTERNS

1. Въведение

Технологиите за Бързо прототипиране (БП) се основават на следните пет основни процеса [1]:

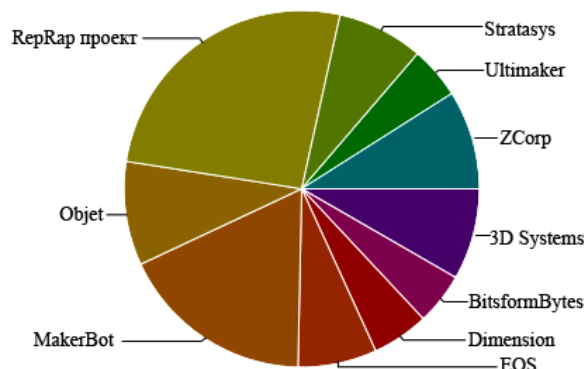
- I. *Процес на втвърдяване* на фото-чувствителен полимер, който е изложен на източник на светлина с цел да бъде втвърден чрез фото-полимеризация (например SLS - Selective Laser Sintering).
- II. *Процес използващ „листи”* при който тънки листове от материал са изрязани и подредени един върху друг (например LOM - Laminated Object Modeling).
- III. *Процес на отлагане в течно състояние*, при който даден материал се разтопява и след това се депозира или като гореща струя, или като отделни горещи капчици (например FDM – Fused Deposition Modeling).
- IV. *Процес на синтероване* на частици прахообразен материал с помощта на топлинен източник, обикновено лазерен лъч (например SLS – Selective Laser Sintering).
- V. *Процес на инфилтриране* на течно свързващо вещество, което се депозира върху прахообразен материал, за да свърже заедно частиците на праха (например 3D printing – процес, чието название се използва като синоним на БП).

От така изброените видове технологии единствено процесите на отлагане в течно състояние са реализирани като евтини и достъпни варианти на машини за бързо прототипиране (БП), сред които в последно време се разпространява т. н. RepRap принтери. RepRap е съкращение от replicating rapid prototyper - самовъзпроизвеждаща се машина за БП [2]. Технологията е въведена през 2005 г. от Ейдриан Боуер - професор от университета в Бат, Великобритания.

3D принтерът от този клас е съставен от пластмасови детайли, които той би трябвало сам да може да произведе. По този начин заедно със стандартни и широко достъпни компоненти като електромотори, ремъци, електронни елементи, а така също и свободно разпространяван софтуер, да стане възможно възпроизвеждането на самата машина в непромишлени условия. Една от основните цели на проекта RepRap е внедряването на подобни 3D принтери в домашни условия за широко използване от хоби ентузиаста в областта на техниката и изкуството [3]. Последна стъпка в цялостната технология е работата след 2013 година по създаването на достъпна машина за производството на изходния материал - нишка за изграждането на детайлите. Така цената на консумативите би намалила значително, създавайки условия за любителско експериментиране и изследване в областта на

материалите. Към момента съществуват повече от 20 производители на RepRap машини [4, 5, 6].

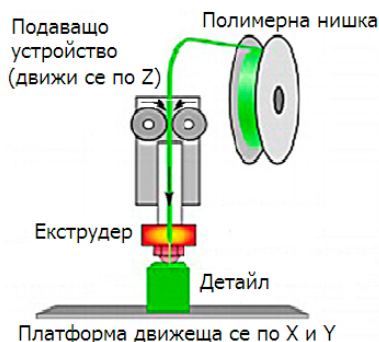
Според броя на потребителите това е най-разпространеният вариант на 3D принтери (Фиг. 1) [4].



Фиг. 1. Брой потребители на най-разпространените 3D принтери.

2. Принцип на работа и описание на апарата

Както при всички 3D принтери, RepRap технологията е базирана на изграждане на детайлите по слоеве. Принципът е подобен на FDM, но поради запазена марка в този случай е прието да се използва термина Fused Filament Fabrication (FFF). Това е система (Фиг. 2) [4] състояща се от макарата с полимерна нишка, която се подава чрез ролков механизъм задвижван от стъпков електромотор към екструдер. Екструдерът разтапя нишката и я нанася върху предварително подгрята платформа, която се движи в направления X и Y и по този начин формира геометрията на всеки слой. След изграждането на слоя екструдерът или платформата се преместват във височина по оста Z със стъпка равна на зададената дебелина на слоя и се започва оформянето на следващия слой. Така чрез последователно добавяне и свързване на слоевете един над друг се изгражда обемно тяло.



Фиг. 2. Схема на процеса FFF заложен в технологията RepRap. [4].

Основните характеристики на принтер Velleman K8200 са: габаритни размери - 600 x 450 x 600 mm; тегло: 8.7 kg; максимални размери за изграждане до 200 x 200 x 200 mm; дебелина на слоя: 0.25 mm; минимална дебелина на стената - 0.5 mm; цена на 1 kg материал: 80 лв.; материали: PLA или ABS; скорост на изграждане: 15 - 300 mm/s.

Принтерът се получава в разглобен вид (Фиг. 3). Ръководството за сглобяване от 600 страници публикувано в интернет показва, че има три основни етапа за сглобяване: хардуер-механика, хардуер-електроника и софтуер. Сглобяването трябва да се направи от двама души и отнема около 25 човекочаса. В ръководството за монтаж бяха забелязани някои грешки и неточности.

„Хардуера” се изгражда на основата на алуминиеви профили и резбови съединения, а задвижването по трите направления x, y и z, както и подаването на полимерната нишка се осъществява от четири стъпкови мотори. Инженерното решение за постигане на плавно движение и добра точност на принтера е осъществено чрез използване на направляващи с кръгло напречно сечение и линейни сачмени лагери. Предвидена е възможност към съществуващата конструкция, да се постави второ подаващо устройство на полимерна нишка, което позволява изграждане на тяло от два различни материала.



(a)

(б)

Фиг. 3. Velleman K8200. а) - при доставка, б) - след сглобяване.

Изграждането на принтера включва още: сглобяване, присъединяване и запояването на крайни изключватели, работна подгрявана платформа, екструдер с нагревател, термодвойки, окабеляване и управляваща платка-контролер.

Следващият етап от разработката е свързан с инсталирането на софтуера и свързването на принтера към управляващия компютър. Обменът на данни между принтера и компютъра става чрез протокол по серийния порт. Осигуреният кабел за целта е тип USB, което налага инсталирането на допълнителен драйвер, които да емулира серийен порт през USB порт. Целта на това на пръв поглед неудобство е, да се даде възможност за работа чрез лаптоп, таблет или смартфон. Една от най-добрите характеристики на този продукт е свободният софтуер ("Repelier") за управление на принтера и осигурения достъп до почти всички технологични параметри. Това отличава принтера от повечето професионални платформи и

дава възможност за решаване на редица изследователски задачи чрез избор на подходящи параметри за изграждане на различни видове детайли.

Материалите за изграждане на обектите са следните:

PLA (Polylactic acid) - термопластичен полимер с химична формула $(C_3H_4O_2)_n$. Получаването на този полимер става от царевично или картофено нишесте, захарно цвекло и други суровини, които имат високо съдържание на скорбяла. Тази пластмаса се разлага за около 12 дни при подходящо третиране. Поради относително ниската температура на топене и ниско съдържание на пепел след изгаряне, PLA може да бъде използван като материал за стопяеми леярски модели. Работните температури на принтера за изграждане на модел от PLA са 190 °C на екструдера и 50 °C на работната платформа.

ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) или акрилонитрилбутадиестирол е термопластичен полимер с химична формула $(C_8H_8 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N)_n$. Този полимер има високи механически характеристики и се използва за изработване на детайли с висока якост. Температурите за принтиране са 250 °C на екструдера и 80 °C на работната платформа. Поддържането на тези температури в открития работен обем на Velleman K8200, прави ABS по труден за работа. При изграждането на големи модели се забелязва т.н. „кърлинг” или деформиране и надигане на периферните части на детайла (Фиг.4).

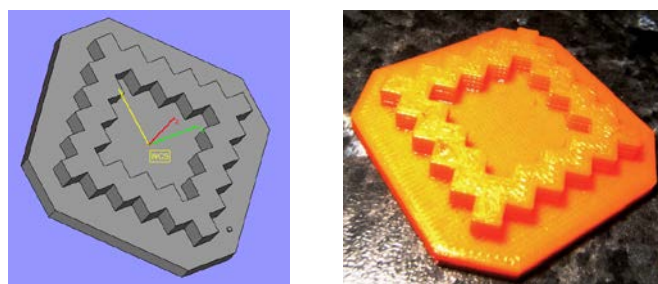


Фиг. 4. Детайли изградени от ABS.

3. Изследване възможностите на Velleman K8200

Главните фактори, които влияят на точността на FDM системите са: термичното свиване на материала и размера на екструдирания струя. За изследване на тези фактори, определяне на точността на процеса и неговото калибриране беше построено пробно тяло тип "пирамида" (Фиг.5) от PLA.

Резултатите от измерването и сравняването на номиналните размери на пирамидата и действителните, измерени с цифров шублер са показани в Таблица 1.



(a)

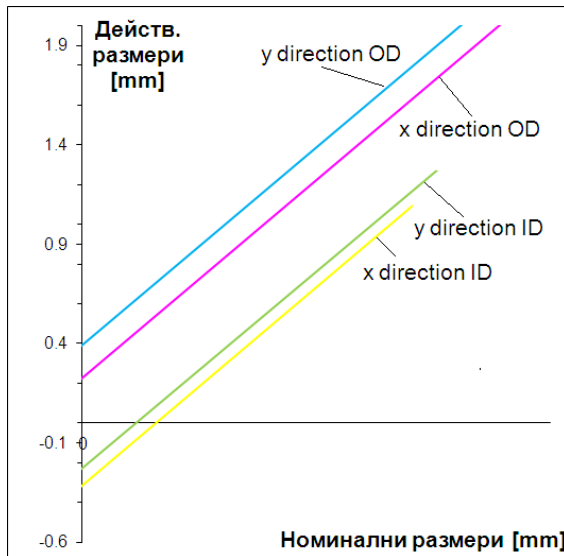
(б)

Фиг. 5. CAD файл на модела (а) и пирамида от PLA (б).

Графичното сравняване на резултатите в координати "номинални размери - действителни размери" са показани на Фиг.6. Ъгълът на наклона на апроксимиращата права показва мащабния коефициент, с който трябва да се променят размерите на построяваните тела ($k=0.997$). Отрезът, който правата отсича от ординатната ос дава големината на систематичната грешка, дължаща се на размера на екструдирания струя, която се отлага върху образеца (средно: $d=0.2$ mm) [7].

Вижда се, че факторът "размер на екструдирания струя" е значително по-съществен и следва да се има пред вид при

тримерното проектиране на изделията или да се въвежда при подготовката на данните за построяване на телата.



Фиг. 6. Резултати от линейна апроксимация на функцията „Номинални – действителни размери“ (външни – OD и вътрешни – ID) в направление x и y на пробното тяло.

Таблица 1. Сравнение на размери на пробно тяло "пирамида".

Действителни размери, mm	Номинални размери, mm
5.42	5.00
5.35	5.00
15.31	15.00
15.31	15.00
25.37	25.00
25.28	25.00
35.32	35.00
35.29	35.00
45.33	45.00
45.19	45.00
55.2	55.00
Параметри на принтера	
FDM технология, работеща с материалите ABS и PLA. PLA е предназначен за леярски стопяеми/изпаряеми модели. Максимална скорост на печат: 150-300 mm/s. Точност на позициониране (X и Y): 0.015 mm и по Z: 0.781 mm. Резолюция (X и Y): 0.5 mm, а по Z: 0.25 mm. Използван софтуер: Repetier.	

Един от важните фактори, влияещи върху качеството на повърхността на детайлите, изработени с помощта на 3D принтера е температурата на екструдиране на материала (PLA). Тази температура е свързана със стратегията на изграждане (запълване) на телата при тази технология. Механизмът на прекъсване на екструдирания струя при прехвърляне на главата между отделните участъци на изграждания слой е

такъв, че между тези участъци, при повишена температура е възможно да остане материал, който изглежда като паяжина. Този материал влошава качеството на повърхността. От друга страна, ако температурата е твърде ниска е възможно прекъсване и незапълване на отделни участъци. Ето защо, беше проведен експеримент за определяне на оптималната температура на екструдиране с помощта на пробни тела (показани в Таблица 2), изградени при различни температури. Резултатите показаха, че най-добро качество на повърхността се получава при температура на екструдиране – 180°C.

Таблица 2. Изследване влиянието на температурата на екструдиране върху качеството на повърхността на детайлите.

190°C	
185°C	
180°C	
175°C	

4. Общи изводи

Установено беше, че принтер Velleman K8200 има геометрична точност която зависи преимуществено от условията на екструдиране и нанасяне на струята и в по-малка

степен от свиването на материала. Машабният коефициент, с който трябва да се променят размерите на построяваните тела е $k = 0.997$, а корекциите свързани с размера на екструдирания струя, която се отлага върху образеца се равнява средно на $d=0.2\text{mm}$.

Най-подходящата за екструдирание температура от гледна точка на качеството на повърхността на изгражданите тела е в интервала 180-190 °C.

5. Благодарности

Настоящата публикация е направена с финансовата подкрепа на:

ПРОЕКТ № BG051PO001-3.3.06-0008

„Подпомагане израстването на научните кадри в инженерните науки и информационните технологии“.

Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз.

6 Използвана литература

1. Upcraft, S., R. Fletcher, The Rapid Prototyping Technologies, Assembly and Automation, v.23 Iss: 4, 2003, DOI:10.1108/01445150310698634, pp. 318-330.
2. http://en.wikipedia.org/wiki/RepRap_Project (посетен март 2015).
3. Adrian Bowyer, Interview, Reprap Magazine, issue 1, February 2013, www.reprapmagazine.com (посетен март 2015).
4. http://reprap.org/wiki/Build_A_RepRap (посетен март 2015).
5. http://www.additive3d.com/comp_lks.htm (посетен март 2015).
6. <https://reprappro.com/product-category/reprap-kits/> (посетен март 2015).
7. Wang, X., Calibration of shrinkage and beam offset in SLS process, Rapid Prototyping Journal, 5 (3), 1999, pp. 129 - 133.