

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВРЪЗКАТА МЕЖДУ ТЕМПЕРАТУРАТА НА ОСНОВАТА НА 3Д ПРИНТЕРА И ДЕФОРМАЦИЯТА НА 3Д МОДЕЛА ПРИ ПОЛИМЕРА ABS.

Валери Бакърджиев

Технически университет – София, филиал Пловдив

RESEARCH ON THE RELATIONSHIP BETWEEN THE TEMPERATURE OF THE 3D PRINTER HEATED BED AND ABS WARPING DEFORMATION IN 3D PRINTING

Valeri Bakardzhiev

Technical University - Sofia, Plovdiv Branch

Abstract

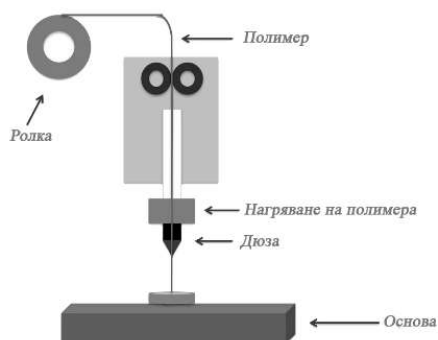
3D printing is widely used in many scientific fields to complete a number of tasks. This article discusses the 3D printing technology by fusing deposition modeling and the defects in printed objects related to the effect of temperature of the 3D printer heated bed. The aim of this paper is to define the relationship between the temperature of the 3D printer heated bed and ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) warping deformation in 3D printing. A single-factor regression model is used to determine the impact factor, in this case the temperature of 3D print warping deformation.

Key words: 3D print, Fused Deposition Modeling, Acrylonitrile butadiene styrene, 3D print warping deformation

Въведение

С развитието на технологиите за 3Д печат се увеличава и обема от задачите, които могат да се реализират чрез него. Широко разпространена е технологията чрез отлагане на материал. Същността на технологията се изразява в разтопяването на полимер PLA, ABS, HIPS или друг и изграждането на модела слой по слой. На фигура 1 (Konta, García-Piña, Serrano, 2017) е показана принципна схема на 3Д принтер чрез метода на отлагане на материал. В статията се разглежда печат с полимера ABS (Акрилонитрил-бутадиен-стирен), който има температура на екструдирание 230-245°C. Материалът предварително се изработва във вид на нишка (филамент) с диаметър 1,75мм или 3мм, след което се навива на ролка с определена дължина. Процесът на печат се осъществява чрез нагряване на нишката до

температура на топене. За да се осъществи адхезия към основата на принтера е необходимо основата да се нагрее до определена температура. На фигура 2 (Simplify3d.com, 2021) е показана деформацията на модела от лоша адхезия към основата. Моделът е с нарушена геометрия и не може да се използва функционално.



Фиг.1 Принципна схема на 3Д принтер, използващ технологията с отлагане на материал



Фиг.2 Изкривяване на модела

Цели и задачи на изследването

Целта на настоящото изследване е да се определи връзката между температурата на основата на 3Д принтера и деформацията на 3Д модела при полимера ABS. За постигането на целта сме формулирали следните задачи:

1. Да се проектира 3Д модел за изследване в подходяща CAD среда.
2. Да се създаде опитна постановка за измерване на деформацията при опитните образци.
3. Да се състави еднофакторен регресионен модел.

При изпълнението на първата задача съм използвал CAD софтуер и е реализиран модел с размери $0,03 \times 0,04 \times 0,03$ м. За нуждите на настоящото изследване са отпечатани 10 полезни модела при различна температура на основата. Като базови параметри всички модели са с температура на екструдирание на материала от 235°C , скорост на печат $0,04\text{m/s}$ и при всички модели е използван полимер ABS от една ролка с нишка. За изпълнението на втората задача използваме шублер, показан на фигура 3, с който отчитаме изкривяването спрямо една върна страна. За върна страна определяме горния ръб на модела.



Фиг.3 Измерване на изкривяването на модела

Обработка на опитните резултати

Нелинейните по форма еднофакторни регресионни модели представляват нелинейни зависимости на резултативното явление по отношение на определен фактор. В нашия случай факторът се определя на базата на изменението на температурата на основата на 3Д принтера. Нелинейните по форма регресионни модели могат да бъдат оценявани с помощта на метода на най-малките квадрати при наличие на останалите изисквания на метода. Общият вид на полиномните модели е (Чипева, Бошнаков, 2015):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \beta_n X^n + \varepsilon$$

където:

Y – зависимата променлива;

X – факторната променлива;

β_n – параметрите на модела;

n – степента на модела.

Таблица 1. Изходни данни

Номер	Деформация %	Температура °C	X_i^2	X_i^3	X_i^4	$X_i Y$	$X_i^2 Y$
i	Y_i	X_i					
1	32,6	65,00	4225,00	274625,00	17850625,00	2119	137735
2	23,4	70,00	4900,00	343000,00	24010000,00	1638	114660
3	11,43	75,00	5625,00	421875,00	31640625,00	857,25	64293,75
4	6,91	80,00	6400,00	512000,00	40960000,00	552,8	44224
5	4,16	85,00	7225,00	614125,00	52200625,00	353,6	30056
6	3,71	90,00	8100,00	729000,00	65610000,00	333,9	30051
7	3,52	95,00	9025,00	857375,00	81450625,00	334,4	31768
8	2,36	100,00	10000,00	1000000,00	100000000,00	236	23600
9	1,82	105,00	11025,00	1157625,00	121550625,00	191,1	20065,5
10	1,35	110,00	12100,00	1331000,00	146410000,00	148,5	16335
Сума	91,26	875,00	78625,00	7240625,00	681683125,00	6764,55	512788,25

Таблица 2. Регресионен анализ в MSExcel

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0,975613							
R Square	0,951821							
Adjusted R	0,938055							
Standard Error	2,63664							
Observations	10							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	2	961,3758	480,6879	69,14513	2,4548E-05			
Residual	7	48,66308	6,951869					
Total	9	1010,039						
Coefficients								
		Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	261,3634	34,57936	7,558365	0,000131	179,5962346	343,1306	179,5962	343,1306
X Variable	-5,30042	0,805311	-6,58183	0,000309	-7,204672077	-3,39616	-7,20467	-3,39616
X Variable	0,026906	0,00459	5,862141	0,000623	0,016052907	0,037759	0,016053	0,037759

За оценка на параметрите на квадратичния модел се провежда трикратно диференциране на остатъчната функция $\Sigma(Y_i - \hat{Y}_i)^2$, в резултат на което се получава система от три нормални уравнения:

$$\begin{cases} \Sigma Y_i = nb_0 + b_1 \Sigma X_i + b_2 \Sigma X_i^2 \\ \Sigma X_i Y_i = b_0 \Sigma X_i + b_1 \Sigma X_i^2 + b_2 \Sigma X_i^3 \\ \Sigma X_i^2 Y_i = b_0 \Sigma X_i^2 + b_1 \Sigma X_i^3 + b_2 \Sigma X_i^4 \end{cases}$$

За моделиране и анализ на деформацията на модела, в зависимост от температурата на основата използваме натрупани статистически данни, събрани чрез метода на наблюдение и измерване, представени в таблица 1. Променливата Y представлява деформацията на модела, оценена визуално и измерена с шублер. Променливата X е коефициентът на изменението на температурата на основата. Изчисленията се извършват в работната среда на програмата MS Excel.

Заклучение

От таблица 2 можем да направим следните изводи.

Първо, от стойността на *Multiple R* или така нареченият „корелационен коефициент на Пирсън“, можем да заключим каква е силата или връзката между двете променливи. При стойност 0,97 числото е близко до единица, от което следва, че връзката между температурата на основата на 3Д принтера и деформацията на 3Д модела е много силна.

Във втората колонка стойността на *R Square* или коефициентът на детерминация на модела показва, че 95% от стойностите на изменението на температурата на основата на 3Д принтера влияят пряко върху деформацията на получения модел.

За да определим дали анализът е статически значим поглеждаме стойността на *Significance F*, която в случая е много малко число – $2,45 \cdot 10^{-5}$. Числото е много по-малко от $\alpha=0,05$, т.е. съответният параметър отхвърля нулевата хипотеза и регресионният анализ е статистически значим.

Също така от таблица 2 можем да определим и коефициентите на съответното регресионно уравнение.

$$b_0 = 261.36 \quad b_1 = -5.3 \quad b_2 = 0.03$$

За да определим кой коефициент е статистически значим вземаме стойността в полето *P-value*. При $P\text{-value} \leq \alpha$ се отхвърля нулевата хипотеза и коефициентът е статистически значим.

При $P\text{-value} \geq \alpha$ се приема нулевата хипотеза и съответният коефициент е статистически незначим. От таблица 3 се вижда, че статистически значим е само коефициентът b_2 .

Можем да запишем квадратичния регресионен модел в следния вид:

$$\hat{Y}_i = 261.36 - 5.3X_i + 0.03X_i^2$$

От горното уравнение става ясно, че при относително увеличение на температурата на основата с 1°C , качеството на печат ще се повиши с 5.3%.

На базата на изложеното в доклада можем да твърдим, че температурата на основата влияе върху деформацията на модела. С изложената в доклада методика може да се получат предвидими резултати при 3Д печата.

Литература

Konta A., García-Piña M., Serrano D., (2017) Personalised 3D Printed Medicines: Which Techniques and Polymers Are More Successful?, Basel 2017, Bioengineering, Electronic ISSN 2306-5354,

Simplify3d.com (2021) web: <https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

Чипева, С., Бошнаков, В., (2015) Въведение в иконометрията, Издателски комплекс-УНСС, 2015, София, ISBN 978-954-644-760-9