ДОДАТОК А

Результати експерименту та розрахунки

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	міцність_UмВ	Темп	Кіль стінок	Заповнення		g = 9,81м/с2		р балки_кг/м	m балки_кг	F(beam)_H	F(total)_H	P(тиск)_H/м2	U(1Н/м2)_мВ	U (Vknown)_B
2	0,169	260	2	10		V(балка)= 0,00001м3		640	0,0064	0,062784	4,967784	2483,892	0,1690894773	0,42
3	0,189	260	2	20		A или S (балки)= 0,002м2		670	0,0067	0,065727	4,970727	2485,3635	0,1891071467	0,47
4	0,213	260	2	30		F(additional)= 4,905H		710	0,0071	0,069651	4,974651	2487,3255	0,2130802744	0,53
5	0,224	260	2	40		m(груза)=0,5кг		770	0,0077	0,075537	4,980537	2490,2685	0,2248753498	0,56
6	0,252	260	2	50				820	0,0082	0,080442	4,985442	2492,721	0,2527358657	0,63
7	0,276	260	2	60				880	0,0088	0,086328	4,991328	2495,664	0,2764795261	0,69
8	0,296	260	2	70				940	0,0094	0,092214	4,997214	2498,607	0,2961650232	0,74
9	0,323	260	2	80				980	0,0098	0,096138	5,001138	2500,569	0,3239262744	0,81
10	0,343	260	2	90				1030	0,0103	0,101043	5,006043	2503,0215	0,3435847435	0,86
11	0,359	260	2	100				1060	0,0106	0,103986	5,008986	2504,493	0,3593541687	0,9
12	0,209	260	4	10				710	0,0071	0,069651	4,974651	2487,3255	0,2090598918	0,52
13	0,249	260	4	20				740	0,0074	0,072594	4,977594	2488,797	0,2491163401	0,62
14	0,277	260	4	30				770	0,0077	0,075537	4,980537	2490,2685	0,277078556	0,69
15	0,288	260	4	40				820	0,0082	0,080442	4,985442	2492,721	0,2888409894	0,72
16	0,304	260	4	50				880	0,0088	0,086328	4,991328	2495,664	0,3045281737	0,76
17	0,32	260	4	60				940	0,0094	0,092214	4,997214	2498,607	0,3201784034	0,8
18	0,335	260	4	70				980	0,0098	0,096138	5,001138	2500,569	0,3359235438	0,84
19	0,347	260	4	80				1030	0,0103	0,101043	5,006043	2503,0215	0,3475799149	0,87
20	0,363	260	4	90				1060	0,0106	0,103986	5,008986	2504,493	0,3633469928	0,91
21	0,381	260	4	100				710	0,0071	0,069651	4,974651	2487,3255	0,3819363409	0,95
22	0,245	260	6	10				740	0,0074	0,072594	4,977594	2488,797	0,2450983347	0,61
23	0,277	260	6	20				770	0,0077	0,075537	4,980537	2490,2685	0,277078556	0,69
24	0,292	260	6	30				820	0,0082	0,080442	4,985442	2492,721	0,2928526698	0,73
25	0,312	260	6	40				850	0,0085	0,083385	4,988385	2494,1925	0,3127264636	0,78
26	0,324	260	6	50				890	0,0089	0,087309	4,992309	2496,1545	0,3244991446	0,81
27	0,348	260	6	60				930	0,0093	0,091233	4,996233	2498,1165	0,3482623809	0,87
28	0,367	260	6	70				1040	0,0104	0,102024	5,007024	2503,512	0,3674837588	0,92
29	0,383	260	6	80				1080	0,0108	0,105948	5,010948	2505,474	0,3831610306	0,96
30	0,45	260	6	90				1130	0,0113	0,110853	5,015853	2507,9265	0,4505714183	1,13
31	0,485	260	6	100				1180	0,0118	0,115758	5,020758	2510,379	0,4859823955	1,22
32	0,165	235	2	10				640	0,0064	0,062784	4,967784	2484,192	0,1650436037	0,41
33	0,185	235	2	20				670	0,0067	0,065727	4,970727	2485,6635	0,1850612523	0,46
34	0,196	235	2	30				710	0,0071	0,069651	4,974651	2487,6255	0,1969749868	0,49
35	0,212	235	2	40				770	0,0077	0,075537	4,980537	2490,5685	0,2128028199	0,53
36	0,24	235	2	50				820	0,0082	0,080442	4,985442	2493,021	0,2406718596	0,6
37	0,272	235	2	60				880	0,0088	0,086328	4,991328	2495,964	0,2724398269	0,68
38	0,288	235	2	70				940	0,0094	0,092214	4,997214	2498,907	0,2881259687	0,72
39	0,307	235	2	80				980	0,0098	0,096138	5,001138	2500,869	0,3078929764	0,77
40	0,323	235	2	90				1030	0,0103	0,101043	5,006043	2503,3215	0,3235701048	0,81
41	0,343	235	2	100				1060	0,0106	0,103986	5,008986	2504,793	0,3433417452	0,86
42	0,217	235	4	10				710	0,0071	0,069651	4,974651	2487,6255	0,2170744752	0,54
43	0,237	235	4	20				740	0,0074	0,072594	4,977594	2489,097	0,2370337516	0,59
44	0,269	235	4	30				770	0,0077	0,075537	4,980537	2490,5685	0,2690148856	0,67
45	0,284	235	4	40				820	0,0082	0,080442	4,985442	2493,021	0,2847950338	0,71
46	0,288	235	4	50				880	0,0088	0,086328	4,991328	2495,964	0,288465699	0,72
47	0,308	235	4	60				940	0,0094	0,092214	4,997214	2498,907	0,3081347165	0,77
48	0,323	235	4	70				980	0,0098	0,096138	5,001138	2500,869	0,3238874167	0,81
49	0,339	235	4	80				1030	0,0103	0,101043	5,006043	2503,3215	0,3395488754	0,85
50	0,355	235	4	90				1060	0,0106	0,103986	5,008986	2504,793	0,3553187828	0,89
51	0,373	235	4	100				710	0,0071	0,069651	4,974651	2487,6255	0,3738504851	0,93
52	0,237	235	6	10				740	0,0074	0,072594	4,977594	2489,097	0,2370337516	0,59
53	0,269	235	6	20				770	0,0077	0,075537	4,980537	2490,5685	0,2690148856	0,67
54	0,284	235	6	30				820	0,0082	0,080442	4,985442	2493,021	0,2847950338	0,71
55	0,304	235	6	40				850	0,0085	0,083385	4,988385	2494,4925	0,3046711906	0,76
56	0,316	235	6	50				890	0,0089	0,087309	4,992309	2496,4545	0,3164487877	0,79
57	0,34	235	6	60				930	0,0093	0,091233	4,996233	2498,4165	0,3402154925	0,85
58	0,359	235	6	70				1040	0,0104	0,102024	5,007024	2503,812	0,3594519077	0,9
59	0,375	235	6	80				1080	0,0108	0,105948	5,010948	2505,774	0,3751335915	0,94
60	0,442	235	6	90				1130	0,0113	0,110853	5,015853	2508,2265	0,4425437655	1,11
61	0,477	235	6	100				1180	0,0118	0,115758	5,020758	2510,679	0,4779583531	1,2

Рисунок А.1 – Результати експерименту та розрахунки

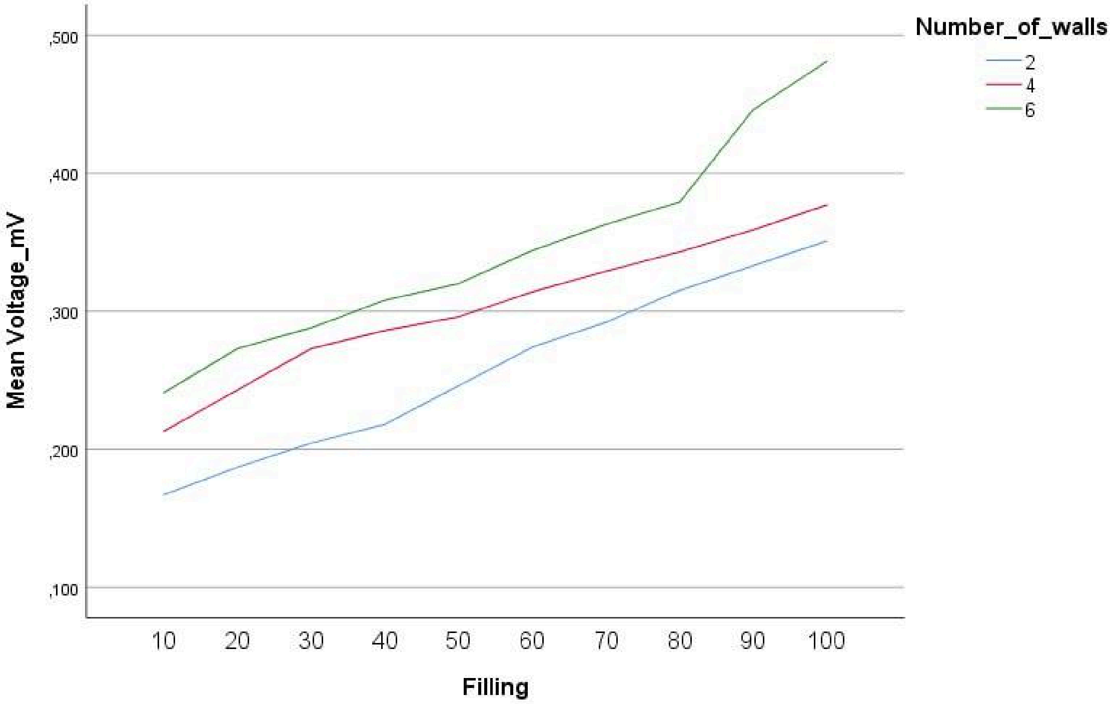

Рисунок А.2 – Результати експерименту на графіку

ДОДАТОК Б

Апробація наукових результатів дослідження

Міністерство освіти і науки України

NURE

Харківський національний університет радіоелектроніки

ЗБІРНИК

студентських наукових статей

«Автоматизація та приладобудування»

«Automation and Development of Electronic Devices»

ADED-2024

(Випуск 2)

[електронне видання]

http://nure.ua/department/kafedra-komp-yuterno-integrovanih-tehnologiy-avtomatizatsiyi-ta-mehatroniki-kitam

http://itez.zntu.edu.ua/

http://kafea.kdu.edu.ua

Харків 2024

ЗМІСТ

УДК 678.05

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПАРАМЕТРІВ FDM 3D ДРУКУ НА МІЦНІСТЬ ДЕТАЛЕЙ

К.А. Чернов
Харківський національний університет радіоелектроніки
Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14
E-mail: kyryl.chernov@nure.ua

Анотація: У цій роботі було наголошено на важливості аналізу міцності деталей, надрукованих за допомогою технології FDM 3D-друку при створенні виробів. Було проведено аналіз залежності міцності деталей в залежності від таких параметрів як “Кількість ліній стінки” та “Щільність заповнення”.

Ключові слова: 3D-друк, FDM, CoPET

Актуальність дослідження залежності параметрів 3D друку на міцність деталей зумовлена сучасними викликами, зокрема війною в Україні, яка поставила на перший план потребу у надійних, стійких матеріалах, які можуть бути швидко надруковані на 3D принтері[1]. Міцність надрукованих деталей є критично важливою як для військових застосувань, зокрема виготовлення обладнання, захисних елементів і запчастин, так і для цивільних об'єктів, що забезпечують безпеку та стійкість інфраструктури. В умовах обмежених ресурсів та необхідності швидкого виробництва дослідження впливу параметрів друку на міцність дозволить оптимізувати процес та досягти високої якості продукції.

В ході експеременту ми звузимо область дослідження та будемо розглядати тільки FDM друк, як один з найпопулярніших, та CoPET пластик у якості матеріалу так як він широко застосовуються в промисловості при виробництві методом лиття під тиском. За рахунок високої прозорості і нетоксичності, з них виробляють харчову тару, вироби медичного призначення, пластикові пляшки для води і т.д.[2].

Для дослідження було спроектовано та виготовлено стенд для перевірки (рис. 1). Зверху на стенд було закріплено деталі для тестування, виготовлені на 3D принтері з CoPET пластику. В кожної на кожну деталь закріплювалася статична вага та вимірювалася міцності за допомогою тензорезистора.

Для переведення показників, отриманих із тензорезистора через Arduino, у значення тиску (в ньютон/метр²), використовувалася наступна методика: Тензорезистор було підключено до резистора (10 кОм) для створення дільника напруги. Один кінець резистора підключався до землі (GND), інший до тензорезистора. Точка з’єднання тензорезистора і резистора була підключена до аналогового входу Arduino (A0). Це дозволяло зчитувати зміну напруги, викликану зміною опору тензорезистора під час навантаження. Arduino зчитувала аналоговий сигнал з входу A0, що представляє напругу на виході дільника. Цей сигнал оброблявся за допомогою програмного коду, щоб визначити відповідне значення тиску. Для визначення залежності між змінами напруги і реальними значеннями тиску була проведена калібровка. Це передбачало використання відомих значень ваги, які створювали певний тиск, і реєстрацію показників тензорезистора. Ці дані дозволили визначити коефіцієнт переведення сигналу датчика у значення тиску.

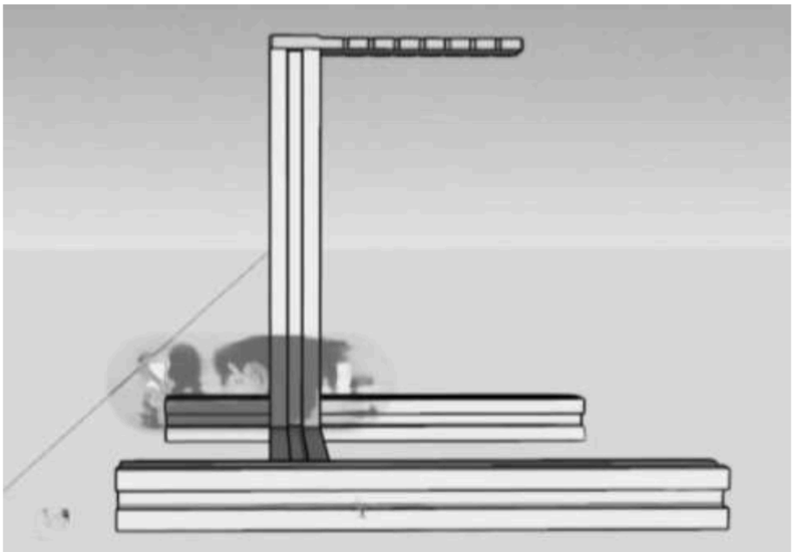

Рисунок 1 – Макет стенда для тестування міцності

У роботі використовувався програмний код, для роботи з тензорезистором, підключеним до Arduino, і призначений для вимірювання тиску (в Н/м²) з подальшим виведенням результатів на монітор послідовного порту.

```
Const int sensorPin = A0; // Аналоговий вхід
float sensorValue = 0;  // Змінна для зберігання значення
float pressure = 0; // Змінна для зберігання тиску в Н/м²
void setup() {
Serial.begin(9600); // Ініціалізація послідовного порту
}
voidloop() {
sensorValue = analogRead(sensorPin); // Зчитування аналогового значення // Перетворення значення
pressure = (sensorValue / 1023.0) * 5.0; // Перетворення у напругу pressure = pressure * 1000; // Перетворення у мВ
pressure = pressure / 10;  // 10 мВ відповідає 1 Н/м² Serial.print(«Тиск: «);
Serial.print(pressure);
Serial.println(" Н/м²");
delay(1000); // Затримка в 1 секунду
}
```

Цей код запускає послідовний порт із заданою швидкістю (9600 бод), що дозволяє передавати дані на комп'ютер для моніторингу. Зчитує аналоговий сигнал з виводу A0, до якого підключено тензорезистор. Проводить обчислення для переведення сигналу з датчика у значення тиску. Результати виводяться на монітор послідовного порту в зрозумілому форматі. Забезпечується затримку в 1 секунду між вимірюваннями для уникнення перевантаження даними.

Деталь (рис. 2) була спроектована таким чином, щоб в подальшому можна було закріпити вагу на різну відстань від кріплення до стенду. Під час експеременту було обрано два парамети, які змінювалися при побудові тестової деталі. Це “Кількість ліній стінки” (2 4 та 6) та “Щільність заповнення” (діапазон 10-100 з кроком 10).

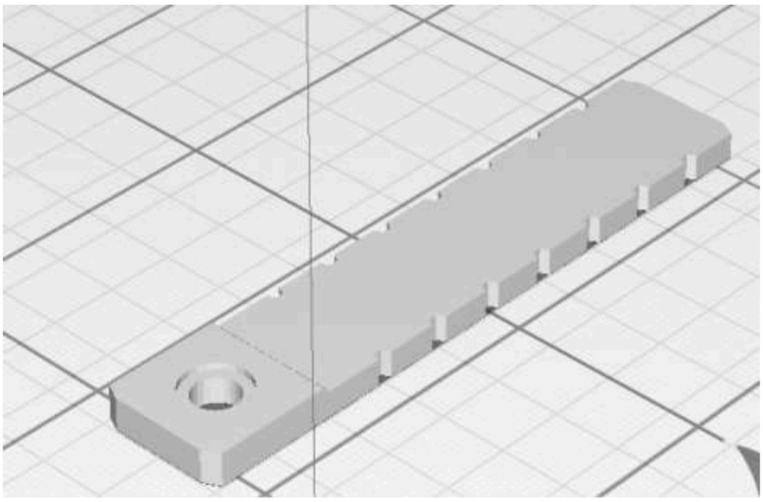

Рисунок 2 – Деталь, що буде тестуватися

На Рис. 3 представлені декілька деталей, обули надруковані для експерименту. Час виготовлення кожної деталі приблизно 30 хвилин плюс-мінус 5 хвилин в залежності від обраних параметрів.

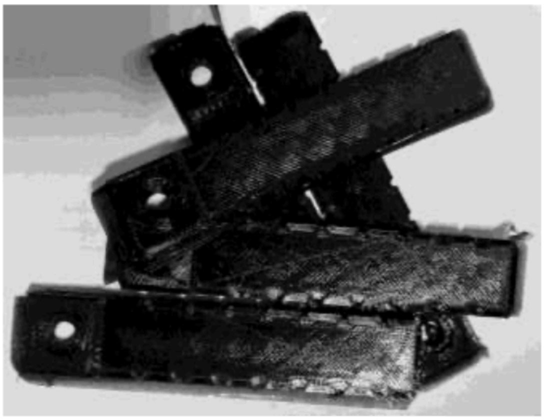

Рисунок 3 – Надруковані деталі

Після проведення експерименту були отримані наступні результати (рис. 4). Як і очікувалося міцність зростає з збільшенням параметру заповнення стінки та зі збільшенням кількості самих стінок. З цікавого можна відмітити те, що міцність деталі з меншою кількістю стінок може бути більше, ніж у деталі з більшою кількістю стінок при певних параметрах заповнення стінки.

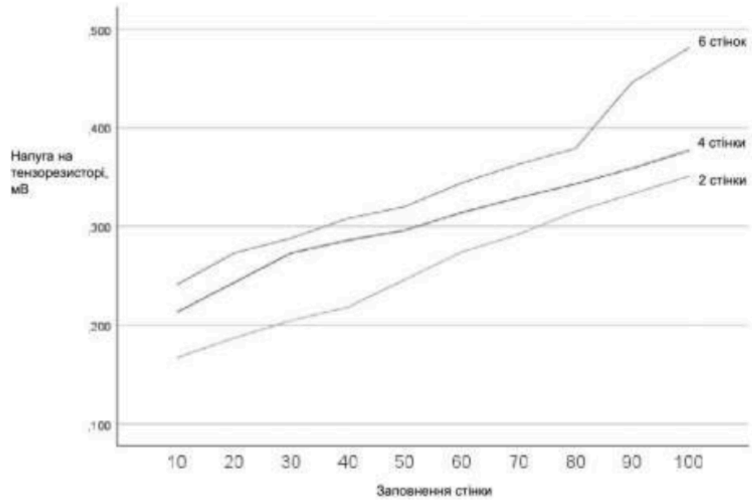

Рисунок 4 – Результати експерименту

Також варто відмітити те, що напруга на тензорезисторі зростає не лінійно зі зростанням заповнення стінки, що може стати приводом для аналізу цього параметру, та виявлення оптимальних параметрів для конкретних потреб.

З отриманих результатів була побудована таблиця кореляції (рис. 5), з якої можемо бачити, що параметр "заповнення" впливає на фінальну міцність більше за інші обрані параметри.

Correlations

		Voltage_mV	Temperature_C	Number_of_walls	Filling
Pearson Correlation	Voltage_mV	1,000	,064	,494	,845
	Temperature_C	,064	1,000	,000	,000
	Number_of_walls	,494	,000	1,000	,000
	Filling	,845	,000	,000	1,000
Sig. (1-tailed)	Voltage_mV	.	,312	,000	,000
	Temperature_C	,312	.	,500	,500
	Number_of_walls	,000	,500	.	,500
	Filling	,000	,500	,500	.
N	Voltage_mV	60	60	60	60
	Temperature_C	60	60	60	60
	Number_of_walls	60	60	60	60
	Filling	60	60	60	60

Рисунок 5 – Таблиця кореляції

ВИСНОВКИ. У роботі було експериментально показано, що аналіз параметрів друку є перспективним напрямком, оскільки дозволяє досягати однакової міцності деталей при значних відмінностях у параметрах друку. Це відкриває можливості для оптимізації виробничого процесу, адже деталі з різними параметрами вимагають різної кількості матеріалу та часу для друку. Такий підхід дозволяє зменшити витрати матеріалів та скоротити час виготовлення без втрати якості та міцності виробів, що є особливо важливим у сучасних умовах, коли ресурси та швидкість виробництва мають вирішальне значення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Армія друкарів: як Україна застосовує 3D-технології у війні. (2023). DW: https://www.dw.com/uk/armia-drukariv-ak-ukraina-zastosovue-3dtehnologii-u-vijni/a-67165996.
2. Специфічний 3D пластик: Nylon, PET/COPET, PC (полікарбонат). (2023). 3Ddevice: https://3ddevice.com.ua/blog/3d-printer-ogliad/spetsyfichnyy-3d-plastyk/?srsltid=AfmBOoqf9At_QkeYd0lLsR_RdsS-n0aO860PynJI7o5zMYwbl5y44Fzk.

Науковий керівник: *Нікітін Дмитро Олександрович, доктор філософії, старший викладач ХНУРЕ*

№	Позначення	Найменування	Дод. відомості
		<u>Текстові документи</u>	
1	ГЮИК. 505300.008 ПЗ	Пояснювальна записка	71 с.,
			ф. А4
		<u>Графічні документи</u>	
2		Додаток А	
		Результати експерименту та	2 с.
		розрахунки	.
		Додаток Б	
		Апробація наукових результатів	9 с.
			.
		Додаток В	у форматі
		Демонстраційний матеріал	*.ppt
			12 слайдів

					ГЮИК. 505300.008 ВД			
Змін.	Арк.	№ документа	Підп.	Дата				
Розроб.		Чернов К.А.			Розробка моделей FDM/FFF 3D-друку на міцність деталей для роботизованих систем	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Омаров М.А.					1	1
Н. контр.		Теслюк А.І.				ХНУРЕ Кафедра КІТАР		
Затв.		Невлюдов І. Ш.						