

Міністерство освіти і науки України



NURE

Харківський національний університет
радіоелектроніки

ЗБІРНИК

студентських наукових статей

«Автоматизація та приладобудування»

«Automation and Development of Electronic Devices»

ADED-2023

(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 2023

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(КІТАР)



ЗБІРНИК

студентських наукових статей

«Автоматизація та приладобудування»

«Automation and Development of Electronic Devices»

ADED-2023

(Випуск 2)

[електронне видання]

Харків 2023

Головий редактор **Невлюдов Ігор Шакирович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Редакційна колегія: **Филипенко Олександр Іванович**, доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматики та комп'ютеризованих технологій, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Цимбал Олександр Михайлович, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Андрусевич Анатолій Олександрович, доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу національного авіаційного університету

Косенко Віктор Васильович, доктор технічних наук, професор, зам. директора Державного підприємства «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості».

Замірець Микола Васильович, доктор технічних наук, професор, директор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування.

Свищ Володимир Митрофанович, доктор технічних наук, професор, радник директора Державне науково-виробниче підприємство «Об'єднання Комунар».

Фомовська Олена Владиславівна, кандидат технічних наук, доцент завідувач кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

Кухаренко Дмитро Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Демська Наталія Павлівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Фурманова Наталія Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, в.о. декана факультета Радіоелектроніки і телекомунікацій, Національного університету «Запорізька політехніка».

Відповідальний редактор: **Євсєєв Владислав В'ячеславович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – Вип. 2. – 386с.

Collection of Students' Scientific Paper «Automation and Development Of Electronic Devices» ADED-2023 Part 2 (Key infrastructure 2023) - Kharkiv/ The Editorial.: Nevlyudov I.Sh. (head), that all. Kharkiv: Kind of Kharkiv National University of Radio Electronics [electronic edition], 2023. – 386p with.

Рекомендовано рішенням
Науково-технічної ради
Харківського національного
університету радіоелектроніки
протокол №6 від 29.11.2018

Рекомендовано рішенням Вченої ради
факультету Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Харківського національного
університету радіоелектроніки
протокол № 6 від 01.05.2023

Збірник містить наукові статті здобувачів першого (бакалаврського), другого (магістерського) рівнів вищої освіти кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР) Харківського національного університету радіоелектроніки, кафедри Інформаційних технологій електронних засобів (ІТЕД) Запорізького національного технічного університету та кафедри Електронних апаратів (ЕА) Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського які навчаються за спеціальностями: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 172 Телекомунікації та радіотехніка, 171 Електроніка та 163 Біомедична інженерія. Статті надані в авторській редакції.

©ХНУРЕ, 2023 рік

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЧАСУ ТА ІНТЕНСИВНОСТІ ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ФОТОПОЛІМЕРНОЇ СМОЛИ

I.V. Балабанов

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: ihor.balabanov@nure.ua

Анотація: у даній роботі розробляється вплив температури фотополімерної смоли на відхилення геометричних розмірів 3D моделі при фотополімерному друці.

Ключові слова: фотополімерний друк, LCD 3D-друк, фотополімерні смоли, температура, відхилення.

DETERMINATION OF THE DEPENDENCE OF RADIATION TIME AND INTENSITY ON THE TEMPERATURE OF PHOTOPOLYMER RESIN

I.V. Balabanov

Kharkiv national university of radio electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, pr. Nauki, 14

E-mail: ihor.balabanov@nure.ua

Abstract: in this work, the influence of photopolymer resin temperature on the deviation of the geometric dimensions of a 3D model in photopolymer printing is studied.

Keywords: photopolymer printing, LCD 3D printing, photopolymer resins, temperature, deviation.

Вплив температури на процес фотополімеризації смоли в 3D друкарстві є ключовим аспектом, визначаючим якість та характеристики надрукованих об'єктів. Температура в цьому процесі впливає на ряд параметрів, таких як час полімеризації, розширення матеріалу, та кінцеві механічні властивості виробу. Висока температура може прискорити процес полімеризації, зменшуючи час, необхідний для створення кожного шару. Однак занадто висока температура може також призвести до недостатньої фіксації окремих шарів та порушення форми об'єкта. З іншого боку, низька температура може вповільнити полімеризацію та забезпечити кращу точність друку, оскільки матеріал матиме більше часу для точного висихання та фіксації. Однак низька температура може також впливати на адгезію між шарами та призводити до менш стійких структур. Також, важливо враховувати вплив температури на властивості фотополімерної смоли, такі як її в'язкість та текучість, які можуть варіювати залежно від температурних умов. Усі ці фактори роблять тему впливу температури фотополімерної смоли на 3D друк цікавою та важливою для подальших досліджень та вдосконалення технології 3D друку.

За темою дослідження впливу технологічних параметрів експонування топології ДП за допомогою фотополімерного 3D друку, вже проводилися дослідження [1-2]. В цих дослідженнях, до модель залежності чинників які впливають на відхилення розмірів провідникової структури, були включені наступні параметри:

- час засвічення смоли (в межах від 7 с до 20 с);
- інтенсивність випромінювання максимальна (при значеннях 2800 Лм та 1600 Лм);
- довжина хвилі випромінювання (при 435 нм);
- товщина базового шару (при значеннях 20 мкм та 50 мкм).

За результатами цих досліджень була побудована модель лінійної регресійна кореляційна впливу параметрів експонування фотополімерної маски на відхилення геометричних розмірів топології. Ріння лінійної регресії наведено в формулі 1.

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 = 0,002 + 0,904 x_1 + 0,134 x_2 + 0,3 x_3 \quad (1)$$

де Y – фактор відхилення геометричних розмірів топології ДП; b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти лінійної регресії впливу параметрів на фактор; x_1, x_2, x_3 – параметри впливу на фактор (а саме: x_1 – коефіцієнт впливу часу експонування; x_2 – коефіцієнт впливу висоти шару маски; x_3 – коефіцієнт впливу інтенсивності випромінювання).

Данна модель дозволяє зрозуміти, які параметри більше впливають на фотополімерну маску та дозволяє спрогнозувати відхилення початково заданих розмірів топології ДП при експонуванні за LCD технологією фотополімерного 3D друку.

Метою досліджень цієї роботи буде доповнення даної моделі, ще одним параметром, який до цього не розглядався, а саме впливом температури фотополімерної смоли на відхилення геометричних розмірів провідникового рисунку. Незалежно від обраної технології фотополімерного 3D друку можливо виділити основні чинники які впливають на відхилення геометричних розмірів моделі. Для зручності їх можливо розділити на дві групи:

1. Параметри налаштування експонування шарів моделі;
2. Фізико-хімічні властивості фотополімерної смоли.

До параметрів налаштування належать вже ті значення які були розглянуті. Фізико-хімічні властивості фотополімерної смоли, обумовлені її хімічним складом, котрі впливають на характеристики моделі та збереження геометричних розмірів в процесі друку. До них відносять:

- коефіцієнт усадки смоли, %;
- довжина хвилі поляризації, нм;
- коефіцієнт теплопровідності, Вт/м².

Якщо більш детально переглянути принцип роботи фотополімерних технологій, то можливо побачити певну закономірність. У всіх цих трьох технологіях використовується випромінювання світла, енергія якого іде не тільки на полімеризацію потрібних ділянок фотополімеру, а і на нагрів самої фотополімерної смоли, а саме на температурний коефіцієнт об'ємного розширення матеріалу (ТКОР). ТКОР матеріалу (α) визначає, як змінюється його об'єм при зміні температури. Він вимірюється в одиницях 1/°C (або 1/K) і показує, на скільки одиниць зміниться об'єм матеріалу при зміні температури на 1°C (або 1 K). Математично температурний коефіцієнт об'ємного розширення виражається наступною формулою 2.

$$\alpha = (\Delta v/v_0)/\Delta T \quad (2)$$

де α – температурний коефіцієнт об'ємного розширення, ΔV – зміна об'єму матеріалу, V_0 – початковий об'єм матеріалу, ΔT – зміна температури.

Температурний коефіцієнт об'ємного розширення може бути різним для різних матеріалів. Вплив ТКОР в процесі побудови шару моделі, є дуже суттєвим бо при перегріві смоли збільшується коефіцієнт розширення матеріалу. Це відображається на геометричній відхилення шарів моделі, так же сильно як і перезасвітлення шарів, (рис. 1).

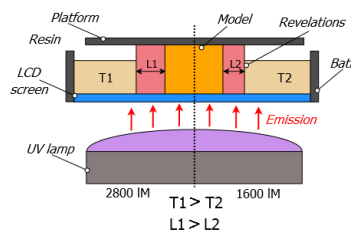


Рис. 1 – Принцип впливу ТКОР в процесі експонування моделі

Таким чином дослідження температурних впливів в процесі фотополімерного 3D-друку є актуальною задачею.

Виходячи з плану проведення першого етапу досліджень, було створено 28 файлів G-коду, для тестових зразків калібрувального куба (рис. 2). В кожному файлі змінювалися значення параметрів:

- час засвічення смоли: в межах від 7 с до 20 с, з кроком 1 с для кожного випробування;
- висота шару 35 мкм;
- інтенсивність випромінювання максимальна: при значеннях 2800 Лм та 1600 Лм.

Початкова температура фотополімерної смоли до друку в середньому приблизно від 20°C до 22°C. На рис. 2, наведений макет для досліджень та фотополімерна смола Plexiwire Resin Basic, та надрукований тестовий зразок.



а)



б)



в)



г)

Рис.2 – Інвентар для проведення досліджень

Результати вимірювань першого етапу досліджень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати вимірювання температури

№	Час засвічення, с	Інтенсивність випромінювання, Лм	Час друку моделі	Початкова Температура смоли, °C	Температура нагріву смоли, °C	Відхилення, розмір, мм
1	2	3	4	5	6	7
1	7	1600	1г. 4хв. 53с	20,3	25,2	0,00862
2	8		1г. 9хв. 39с	20,6	24,7	0,01104
3	9		1г. 14хв. 25с	20,5	25,5	0,01338
4	10		1г. 19хв. 11с	21,1	25,8	0,01463
5	11		1г. 23хв. 57с	20,4	25,6	0,01673
6	12		1г. 28хв. 43с	20,9	26,1	0,01722
7	13		1г. 33хв. 29с	21,0	25,9	0,01785
8	14		1г. 38хв. 15с	21,5	26,4	0,01831
9	15		1г. 43хв. 1с	20,9	26,7	0,01843
10	16		1г. 47хв. 47с	21,3	26,7	0,01913
11	17	1г. 52хв. 33с	20,6	27,0	0,01954	
12	18	1г. 57хв. 19с	20,8	27,2	0,01985	
13	19	2г. 2хв. 5с	20,1	27,3	0,0185	
14	20	2г. 6хв. 51с	21,2	27,1	0,02189	

Продовження таблиці 1

15	7	2800	1г. 4хв. 53с	19,8	25,8	0,00872
16	8		1г. 9хв. 39с	20,5	26,2	0,01026
17	9		1г. 14хв. 25с	21,3	26,5	0,01368
18	10		1г. 19хв. 11с	20,5	26,4	0,01452
19	11		1г. 23хв. 57с	20,4	27,2	0,01685
20	12		1г. 28хв. 43с	21,4	27,6	0,01683
21	13		1г. 33хв. 29с	20,7	27,7	0,01728
22	14		1г. 38хв. 15с	21,8	27,5	0,01775
23	15		1г. 43хв. 1с	20,7	28,2	0,01842
24	16		1г. 47хв. 47с	22,2	28,3	0,019
25	17		1г. 52хв. 33с	21,4	28,6	0,01952
26	18		1г. 57хв. 19с	21,0	28,9	0,02044
27	19		2г. 2хв. 5с	20,0	29,2	0,02208
28	20		2г. 6хв. 51с	20,7	29,4	0,02528

За результатами досліджень можливо зробити наступні висновки [3]:

1) При збільшенні часу експонування шару збільшується температура фотополімерної смоли, через що і збільшується значення відхилень розмірів моделі. Це може бути пов'язано з тим що, при збільшенні часу експонування збільшується час друку моделі, тим самим збільшує час впливу УФ-випромінювання на фотополімерну смолу та її нагрів та значення ТКOP.

2) Температура нагріву фотополімерної смоли, більшою мірою залежить не тільки від часу друку, а від інтенсивності УФ-випромінювання. Це можливо подивитися через різницю між початкову температурою фотополімерної смоли та температурою після друку. При зміні інтенсивності випромінювання нагрів фотополімера більший.

ЛІТЕРАТУРА

1. Nevlyudov I., Razumov-Fryziuk I., Nikitin D., Blyzniuk D., Strelets R. Technology for creating the topology of printed circuit boards using polymer 3D masks // № 1 (15) (2021): Сучасний стан наукових досліджень і технологій у промисловості ст. 120-131. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.15.120>

2. Nevliudov I., Bliznyuk D., Gurin D., Nikitin D., Razumov-Frizeyuk E., Strelets R. Technology of laser exposure of topology of printed boards // №27 2021 International independent scientific journal VOL. 1 Ст 27

3. SPSS Statis for Dumlmsies, 4th Edition /by Jesus Salcedo and Keith McCormick.[Book]. Published by: John&Sons.Inc. 2020. P. 444.

4. Nevliudov, I., Razumov-Fryziuk, I., Yevsieiev, V., Nikitin, D., Blyzniuk, D., & Strelets, R. (2022). Cost estimation of photopolymer resin for 3D exposure of circuit boards. *Technology Audit and Production Reserves*, 2(2(64), 43–49. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.256538>

5. Attar, H., & et al.. (2022). Control System Development and Implementation of a CNC Laser Engraver for Environmental Use with Remote Imaging. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, Article ID 9140156, <https://doi.org/10.1155/2022/9140156>.