



УДК 621.452.3

THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF MILLING ON THE GEOMETRIC DIMENSIONS OF PRINTED CIRCUIT BOARDS ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ФРЕЗЕРНОЇ ОБРОБКИ НА ГЕОМЕТРИЧНІ РОЗМІРИ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Nevliudov I.Sh. / Невлюдов І.Ш.

d.t.s., prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-9837-2309

Nikitin D.O. / Нікітін Д.О.

assistant / асистент

ORCID: 0000-0002-5591-4438

Mezhiritsky V.V. / Мижирицький В.В.

*student / студент**Kharkiv National University of Radioelectronics, Ukraine, 61000**Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна, 61000*

Анотація. У матеріалах роботи приведені результати дослідження впливу технологічних параметрів фрезерної обробки на збереження геометричних розмірів друкованих плат (ДП), на якість поверхні після обробки. Для проведення дослідження були отримані 30 зразків топології друкованих плат за допомогою фрезерного ЧПК верстата, при різних значеннях технологічних параметрів фрезерування. Після чого були виміряні відхилення геометричних розмірів на кожному зразку. На базі чого була побудована регресійна та кореляційна модель, та виведене рівняння залежності геометричних розмірів виробу від технологічних параметрів обробки.

Ключові слова: фрезерна обробка, ЧПК верстат технологічні параметри, топологія, регресійний аналіз.

Вступ.

Фрезерне ЧПК обладнання дозволяє здійснювати різні технологічні операції: різання, свердління, розрахунок відстаней між отворами, які необхідно виконувати, а також ряд інших. Матеріали, які можна обробляти на такому обладнанні: деревина, чорні, а також кольорові метали, кераміка, полімерні матеріали, природний і штучний камінь. Різноманіття матеріалів, придатних для фрезерної обробки, дозволяє застосовувати цю технологію при створенні широкого асортименту виробів в різних виробництвах.

Тому модернізація та удосконалення фрезерних верстатів, а також вибір оптимальних параметрів фрезерування – актуальне завдання, від вирішення якої залежить ефективність виробництва. Для вирішення задачі оптимізації процесу фрезерування потрібно враховувати наступні параметри обробки: швидкість різання, швидкість занурення в матеріал, кут заточування фрези, щільність матеріалу та його однорідність.

Теоретична частина.

Існує два основні способи для розрізання та гравіювання матеріалу. Механічним впливом – це зміна форм і розмірів матеріалу під дією механічних сил (тиском). Термічним впливом – це зміна форм і розмірів матеріалу під впливом температури [1]. Види різання і гравіювання представлені на рисунку 1.

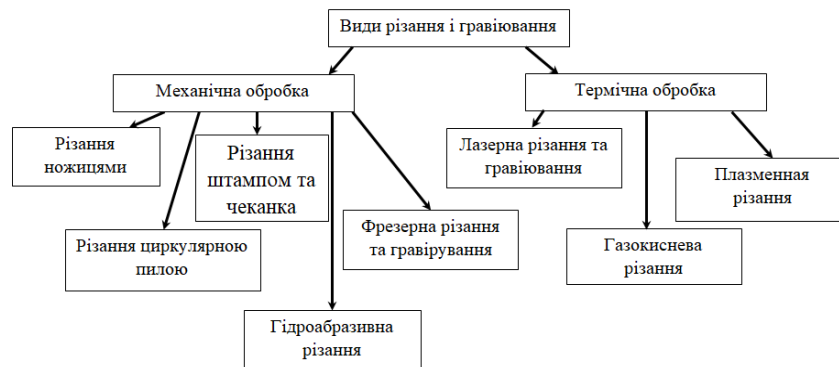


Рисунок 1 – Види різання і гравіювання

Фрезерування (фрезерна обробка) – це процес механічної обробки, при якому ріжучий інструмент (фреза) здійснює обертальний рух (зі швидкістю V), а оброблювана заготовка – поступальний. Фреза – зубчасте колесо, що має безліч лез, яке затискається у фрезерному станку і, обертаючись з великою швидкістю, знімає шари з поверхні заготовки в потрібній ділянці [2], рисунок 2.

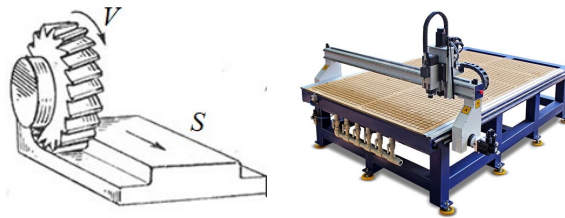


Рисунок 2 – Схема роботи фрези

Переваги фрезерного різання і гравіювання [1]:

- висока точність різання та гравіювання від $\pm 0,1$ до $\pm 0,01$ мм, при використанні високоточних фрезерних станків можна отримати мікронну точність різку;
- відсутність обмежень по геометричній формі деталі;
- можливість різання та гравіювання не тільки металу, але і дерева, ДСП, ДВХ, полістиролу, ПВХ пластика, композитних матеріалів, акрилу та інших видів пластмас;
- можливість різання і гравіювання великих заготовок з товщиною від 1 до 50 мм і більше;
- висока швидкість різання в залежності від матеріалу і необхідної форми деталі.

Програмно-керовані верстати для фрезерної обробки можна класифікувати за кількома ознаками: за матеріалом для обробки, за призначення, (фрезерно-гравірувальні, фрезерно-токарні, фрезерно-свердлильні, універсальні, широко-універсальні), за типом (вертикальні, горизонтальні), за габаритами.

Але не залежно від призначення, типу або за матеріалами які обробляв фрезерний верстат, основні технологічні параметри фрезерування є спільні [2].

Основними параметрами для обробки є: швидкість занурення в матеріал (мм/хв), швидкість різання матеріалу (мм/хв), кількість обертів ріжучого інструменту (об/хв), кут заточки фрези(°).



Експериментальні дослідження.

Для визначення залежності відхилень геометричних розмірів фрезерного гравіювання від технологічних параметрів в експерименті за допомогою ЧПК фрезерного верстата, будь створені зразки топології друкованих плат (ДП), з різними значеннями обробки, а саме:

- швидкість занурення в матеріал, від 5 мм/хв. до 15 мм/хв (з збільшенням в кожній серії дослідів на 5 мм/хв);
- швидкість різання матеріалу, від 20 мм/хв. до 65 мм/хв (з збільшенням в кожній серії дослідів на 5 мм/хв).

Таким чином після закінчення серії дослідів буде отримано 30 зразків топології ДП, та виміряні їх відхилення розмірів від початкових заданих розмірів. На основі чого буде побудована регресійна модель залежності відхилень геометричних розмірів від параметрів обробки [3].

В якості матеріалу для зразків використовуються скло текстоліт, в якості ріжучого інструменту конічна фреза з кутом заточки 15°. Результати вимірювань приведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Експериментальні данні

Швидкість занурення фрези, 5 мм/хв									
Швидкість різання матеріалу, мм/хв									
20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Відхилення геометричних розмірів, мм									
0,0240	0,0242	0,0242	0,0246	0,0248	0,0255	0,0254	0,0256	0,0259	0,0261
Швидкість занурення фрези, 10 мм/хв									
Швидкість різання матеріалу, мм/хв									
20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Відхилення геометричних розмірів, мм									
0,0312	0,0316	0,0322	0,0323	0,0326	0,0327	0,0324	0,033	0,0334	0,0333
Швидкість занурення фрези, 15 мм/хв									
Швидкість різання матеріалу, мм/хв									
20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Відхилення геометричних розмірів, мм									
0,0384	0,0385	0,0387	0,0392	0,0396	0,0401	0,0399	0,0406	0,0411	0,0416

Отримані дані оброблені за допомогою програми IBM SPSS Statistics для проведення базового лінійного регресійного аналізу параметрів експонування [4]. Використовуючи розрахунки «Model Summary^b» (Зведення для моделі), отримано значення коефіцієнта детермінації «R» – 0,999. Це показник відповідності розрахованих моделлю значень (ленної регресії) та отриманих експериментальних результатів. Значення «R» при повторному розрахунку дорівнює 0,999 що доводить, що кореляція отриманих та передбачених значень існує, рисунок 3.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	R Square Change	Change Statistics			Sig. F Change
						F Change	df1	df2	
1	.999 ^a	.998	.998	.0002681	.998	7688.186	2	27	.000

a. Predictors: (Constant), Cutting_speed, Sinking_speed

Рисунок 3 – Зведення про моделі



Коефіцієнт множинної детермінації « R^2 » дорівнює 0,998. Це означає, що включені в систему параметри на 99,8% впливають на результат. Скоригований коефіцієнт « R^2 » дорівнює 0,998 або 99,8%. Стандартна помилка оцінки 0,0002681.

По таблиці ANOVA перевіряємо гіпотезу про рівність « R^2 » = 0. Так як рівень «Значимість» <0,05, то підтверджує вірність попередніх результатів, рисунок 4. Власний коефіцієнт регресії 1,864.

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.864	2	.932	1137.137	.000 ^b
	Residual	.026	32	.001		
	Total	1.890	34			

a. Dependent Variable: Consumption

b. Predictors: (Constant), Time, Thickness

Рисунок 4 – Результати розрахунків значимості

Результати кореляцій Пірсона факторів на відгук наведені на рисунок 5.

	Deviation	Sinking_speed	Cutting_speed
Pearson Correlation	Deviation	1.000	.991
	Sinking_speed	.991	1.000
	Cutting_speed	.130	.000
Sig. (1-tailed)	Deviation	.	.000
	Sinking_speed	.000	.
	Cutting_speed	.247	.500
N	Deviation	30	30
	Sinking_speed	30	30
	Cutting_speed	30	30

Рисунок 5 – Результати розрахунків кореляції Пірсона

Висновки.

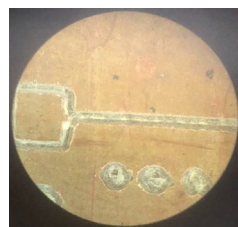
В ході проведення експериментів та побудови лінійної регресійної моделі, були отримані 30 зразків топологічних рисунків ДП.

Самим вдалим зразками ДП, при якому відхилення мінімальні можливо назвати зразки під номерами: 1; 2; 3; 4; 5 (при значеннях швидкості різання від 20 мм/хв до 40 мм/хв, та швидкості занурення в матеріал 5 мм/хв).

Також, якщо брати до уваги якість поверхні контурів після різання, можливо зробити висновок, що при збільшенні швидкості різання матеріалу збільшуються кількість задирів матеріалу на контурах, рисунок 6.



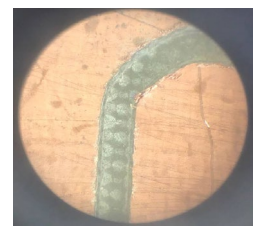
а)



б)



в)



г)

а – зразок при швидкості різання 20 мм/хв; б – зразок при швидкості різання 35 мм/хв; в – зразок при швидкості різання 45 мм/хв; г – зразок при швидкості різання 65 мм/хв;

Рисунок 6 – Контури топології при різних значеннях обробки



Графіки залежності впливу технологічних параметрів на геометричні розміри топології ДП наведені на рисунку 7.

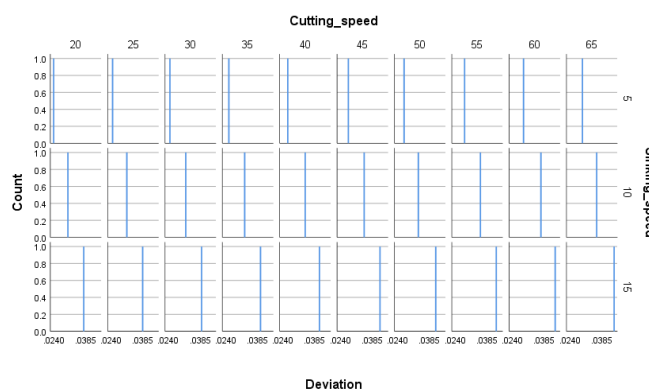


Рисунок 7 – Відхилення розмірів топології ДП при збільшенні значень факторів

Виходячи з отриманих значень можливо зробити висновки: 1) збільшення на 5 мм/хв швидкості занурення в матеріал впливає на збільшення значення відхилення геометричних розмірів на 0,991 (b_1). 2) збільшення на 5 мм/хв швидкості різання матеріалу впливає на збільшення значення відхилення геометричних розмірів на 0,130 (b_2). Таким чином рівняння регресії, має такий вигляд (1).

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 = 1,864 + 0,931 x_1 + 0,130 x_2; \quad (1)$$

де Y – фактор відхилення геометричних розмірів топології ДП; b_0 , b_1 , b_2 , – коефіцієнти лінійної регресії впливу параметрів на фактор; x_1 , x_2 – параметри впливу на фактор. Оптимальними значеннями параметрів фрезерної обробки для виготовлення ДП є швидкість різання матеріалу від 20 до 35 мм/хв, а Швидкість занурення фрези від 1 до 10 мм/хв.

Література:

1. Что это такое фрезеровка, и виды фрезерования. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://stanok.guru/metall obrabotka/frezernye-raboty/chto-eto-takoe-frezerovka-i-vidy-frezerovaniya.html](http://stanok.guru/metall Obrabotka/frezernye-raboty/chto-eto-takoe-frezerovka-i-vidy-frezerovaniya.html). Заголовок з екрану. Дата використання: 03.11.2021.

2. Фрезы – типы фрез и назначение фрез. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.info.instrumentmr.ru/freza.shtml#cil>. Заголовок з екрану. Дата використання. 04.11.2021.

3. І.Ш. Невлюдов, В.М. Борщов, І.Т. Тимчук, М.А. Проценко, Н.П. Демська / Новітні конструктивно-технологічні рішення надлегких детекторних модулів для фізичних експериментів // Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2018. No. 5 (3). – С. 67-78.

4. Дубнов П. Ю. Обработка статистической информации с помощью SPSS. М.: NT Press, 2004.

Abstract. The materials of the work present the results of the study of the influence of technological parameters of milling on the preservation of the geometric dimensions of printed circuit boards (PCB), the quality of the surface after processing. For the study, 30 samples of PCB



topology were obtained using a CNC milling machine, at different values of the technological parameters of milling. Then the deviations of geometric dimensions for each sample were measured. On the basis of which the regression and correlation model was constructed and the equation of dependence of geometrical sizes of a product on technological parameters of processing is deduced.

Key words: milling, CNC machines, technological parameters, topology, regression analysis.

Науковий керівник: д.т.н., проф. Невлюдов І.Ш.

Статтю надіслано: 11.11.2021р.

© Нікітін Д.О.