

ТОЧНІСТЬ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОЧОГО ЕЛЕМЕНТУ 3D-ПРИНТЕРА

В останні роки застосування 3D-принтерів у будівництві досягло значних обсягів. Світовий ринок цієї галузі. у 2022 році склав більше 350 млрд доларів США. Виробники Європи, Китаю та Північної Америки створюють різноманітні конструкції засобів для будівельного 3D-друку, які спроможні виробляти як об'єкти безпосередньо на будівельному майданчику, так і створювати окремі елементи будівлі в цеху для подальшого використання. На сам перед мова йде про виробу складної конструкції, отримання яких звичними методами занадто витратне.

Як і до будь якого процесу виготовлення нового виробу, до конструкцій, що друкуються цим методом є ряд вимог, однією з яких є точність отриманого об'єкту. Особливу увагу цьому доводиться приділяти при виготовленні деталей, що повинні сполучатися між собою.

В статі розглянуто питання пов'язані з забезпеченням розмірної точності 3D-друку в будівельній галузі. Проаналізовані чинники, що впливають на точність друку. Запропоновано засоби підвищення геометричної точності та оптимізації режимів друку.

Ключові слова: 3D-друк, принтер, робочий елемент, задаючий пристрій, точність, робочий елемент, швидкість.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Концепція 3D-друку не нова: вперше вона з'явилася у 80-х. Але лише за останні десятиліття цю технологію досить удосконалили, суттєво знизили вартість і вона стала справжнім мейнстримом. 3D-друк для будівництва застосовує як 3D-принтер, який має роботизовану “кран-руку”, яка будує конструкції прямо на будівельному майданчику, так і створення певних елементів принтерами на заводі, які вже збираються в конструкцію на об'єкті.

У 3D-принтері для будівництва програми CAD або BIM повідомляють пристрій, що треба друкувати, і машина починає нашаровувати матеріал шарами, згідно з планом конструкції.

Точність позиціонування робочого елемента є одним з основних показників точності 3D-принтера. Точність позиціонування визначається необхідною точністю конструкції.

На жаль на цей час не створено узагальнених методик оцінювання та керування точністю позиціонування робочого елемента 3D-принтерів. Виробники принтерів розглядають точність друку лише у вузькому сенсі отримання одиничного шару потрібної товщини [1, 2], забуваючи про загальну геометричну точність конструкції. Виробники програмного забезпечення акцентують увагу в першу чергу на зовнішньому вигляді об'єкту, що друкуються, переймаючись якістю поверхні, а не точністю [3, 4].

Необхідно відзначити роботу [5], в якій на дуже високому рівні вивчено проблеми розмірної точності 3D-друку, але на сам перед робота спрямована на моделювання точності при використанні в якості матеріалу для нанесення пластиків, тобто розглядаються процеси термічної усадки філаментів.

Мета дослідження. Встановити фактори, що впливають на розмірну точність при 3D-друку та визначити їх вагомість. Запропонувати методику розрахунку точності друку та технологічних параметрів цього процесу.

Основний матеріал дослідження. Позиціонування здійснюється приводом, який переміщає робочий орган (екструдер) з початкового положення в задане (запрограмоване) кінцеве. Під погрішністю позиціонування розуміють відхилення дійсного положення

робочого органу від запрограмованого при його багатократному позиціонуванні. Для визначення погрішності позиціонування проводять ряд експериментальних перевірок [6].

При відробітку команди пристрою керування мотор зупиняється, гальмується і робочий орган. Схема кінцевого етапу шляху підходу робочого органу до точки позиціонування показана на рис. 1.

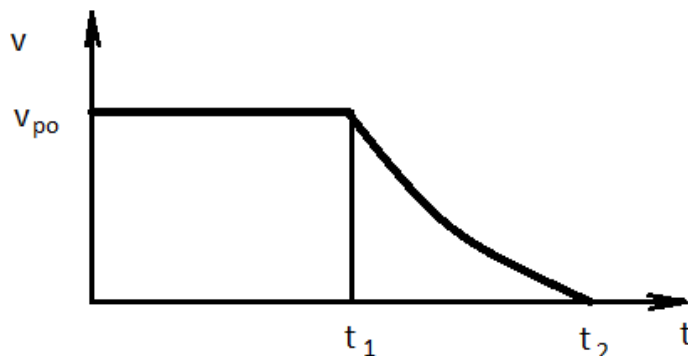


Рисунок 1 – Кінцевий етап підходу робочого органу до точки позиціонування

У момент часу τ_1 обертання мотора припиняється, і робочий орган починає гальмуватися. У момент часу τ_2 робочий орган зупиняється. У проміжок часу $\tau_2 - \tau_1$ здійснюється гальмування робочого органу.

Погрішність позиціонування може бути визначена як шлях робочого органу в проміжку часу $\tau_2 - \tau_1$

$$\Delta x = \Delta_{cy} + \Delta_T, \quad (1)$$

де Δx – погрішність позиціонування робочого органу;

Δ_{cy} – погрішність спрацьовування системи управління мотором;

Δ_T – погрішність, пов'язана з процесом гальмування.

Ці погрішності можна визначити:

$$\Delta_{cy} = V_{po} \cdot \delta_\tau, \quad (2)$$

де δ_τ – помилка в часі спрацьовування системи управління;

V_{po} – швидкість робочого органу.

Помилка Δ_T пов'язана з інерційністю системи приводу і може бути визначена по формулі:

$$\Delta_T = \frac{V_{po}^2 \cdot J}{2iM_T}, \quad (3)$$

де J – момент інерції частин, що переміщуються, приведений до замикаючої ланки кінематичного ланцюга;

M_T – гальмівний момент;

i – передавальне відношення кінематичного ланцюга.

Інформаційні технології

Зазвичай погрішність Δ_{cy} значно менше, ніж Δ_T . Тому можна прийняти $\Delta_{cy} = 0$ і не враховувати.

Тоді:

$$\Delta x = \frac{V_{po}^2}{2} \cdot \frac{J}{iM_T}; \quad (4)$$

Якщо прийняти, що погрішність позиціонування Δx не має бути більше розрахунковою a , т.б. $\Delta x \leq a$, то швидкість руху робочого органу, що допускається, при підході до точки позиціонування буде:

$$V_o = \sqrt{\frac{2i \cdot a \cdot M_T}{J}}; \quad (5)$$

Розрахункова погрішність позиціонування a приймається рівною 1/3 необхідної величини точності позиціонування.

Розрахунки по формулі (5) дозволяють визначити швидкість руху виконавчого органу 3D-принтера (екструдера), що забезпечує необхідну точність друку. Таким чином з'являється можливість оптимізувати режими його роботи, та керувати продуктивністю процесу створення потрібної будівельної конструкції.

Привід позиціонування є пружною системою, пружність ланок системи приводить до розузгодження між рухом задаючого пристрою (в будівних принтерах різного типу це може бути дельта системи, штанги, портали) і робочого органу за рахунок пружних деформацій.

Розглянемо простий випадок приводу лінійного переміщення робочого органу (рис. 2.)

Задаючий пристрій 1 рухається з постійною швидкістю, т.е. $V_{зп} = \text{const}$ і пов'язано з робочим органом постійною жорсткістю K . Робочий орган 2 масою m переміщається по тих, що направляють з швидкістю V_{po} . Робочий орган знаходиться під дією пружної сили приводу, сили інерції і сили тертя.

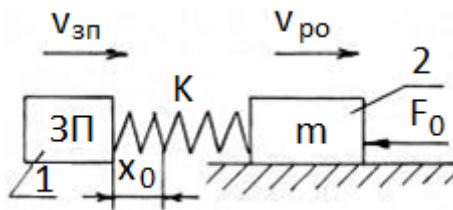


Рисунок 2 – Пружний привід лінійного переміщення робочого органу:

1 - задаючий пристрій; 2 - робочий орган

У початковому положенні робочий орган знаходиться у спокої. Рух робочого органу почнеться в мить, коли пружна сила приводу перевищить силу статичного тертя F_0 , т.е. $k \cdot x_0 \geq F_0$, де x_0 – шлях задаючого пристрою у момент початку руху робочого органу. Далі починається рух робочого органу з швидкістю $V_{po} = \dot{x}$. У початковий момент руху робочого органу відбувається перехід від тертя спокою до тертя руху. Коефіцієнт тертя руху менше коефіцієнта тертя спокою, це приводить до стрибкоподібної зміни сили тертя від F_0 к F . Оскільки $F_0 > F$ то стрибок сили тертя викликає прискорення робочого органу

$$F_0 - F = m\ddot{x}; \quad (6)$$

Інформаційні технології

або

$$x = \frac{F_0 - F}{m} \quad (7)$$

Можна визначити:

$$F_0 - F = \Delta F = f_0 \cdot N - f \cdot N = \Delta f N, \quad (8)$$

де N – нормальна сила на поверхні тертя;
 f_0 и f – коефіцієнти тертя спокою і руху.

Таким чином, початковий етап руху робочого органу має вигляд (рис. 3)

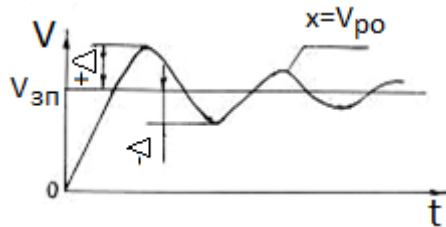


Рисунок 3 – Схема початкового етапу руху робочого органу

Величини $+\Delta V_{ро}$ и $-\Delta V_{ро}$ залежать від стрибка прискорення \ddot{x} , а він залежить від Δf . При зменшенні швидкості $V_{зп}$ (підхід до точки позиціонування з швидкістю $V_{зп} \leq V_{\partial}$) може наступити момент, коли $V_{ро} = 0$. В цьому випадку відбудеться зупинка робочого органу. Тертя руху перейде в тертя спокою. Робочий орган неминуче зупиниться на деякий час, тобто рух його відбуватиметься у вигляді стрибків, що чергуються, і зупинок (рис. 4)

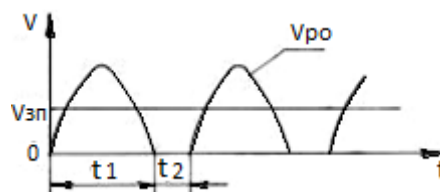


Рисунок 4 – Характер стрибкоподібного руху робочого органу
 τ_1 – тривалість стрибка, τ_2 – тривалість зупинки

Критична швидкість задаючого пристрою V_k , при якій починається стрибкоподібний рух робочого органу, визначається по формулі:

$$V_k \leq \frac{\Delta F}{\sqrt{\psi \cdot m \cdot k \cdot 10^3}} = \frac{\Delta f \cdot N}{\sqrt{\psi \cdot m \cdot k \cdot 10^3}} \text{ (м/с)}, \quad (9)$$

де Δf – різниця коефіцієнтів тертя спокою і руху;
 N – нормальна сила на поверхні ковзання, Н;
 ψ – відносне розсіяння енергії при коливаннях;

Інформаційні технології

m – маса робочого органу, кг;

k – приведена жорсткість приводу, Н/мм.

При стрибкоподібному режимі параметри руху робочого органу будуть:

Величина стрибка:

$$S = 2 \frac{\Delta F}{K} = 2 \frac{\Delta f \cdot N}{K} \text{ (мм)}, \quad (10)$$

Тривалість стрибка:

$$\tau_1 = \pi \sqrt{\frac{m}{K \cdot 10^3}} \text{ (с)}, \quad (11)$$

Тривалість зупинки

$$\tau_2 = \frac{2 \cdot \Delta F \cdot 60}{K \cdot V_{po}} = \frac{S \cdot 60}{V_{po}} \text{ (с)}, \quad (12)$$

де V_{po} – швидкість підходу робочого органу до точки позиціонування ($V_{po} \leq V_0$) мм/хв.

Максимальна погрішність позиціонування дорівнюватиме величині стрибка S , якщо почався стрибок,

$$\Delta_1 = S \text{ (мм)}, \quad (13)$$

а якщо почалася зупинка, то

$$\Delta_2 = \frac{f_0 \cdot N}{K} \text{ (мм)}, \quad (14)$$

де f_0 – коефіцієнт тертя спокою

ВИСНОВКИ

Як і до будь якого процесу виготовлення нового виробу, до конструкцій, що друкуються цим методом є ряд вимог, однією з яких є точність отриманого об'єкту. Особливу увагу цьому доводиться приділяти при виготовленні деталей, що повинні сполучатися між собою.

Основними чинникам, що впливають на точність друку є похибки позиціонування та пружність системи. Обидва вони пов'язані, на самперед, зі швидкістю руху виконавчого органу принтера, масою рухомих частин та силами тертя, що виникають в конструкції.

Основні заходи для забезпечення необхідної точності позиціонування робочого елемента 3D-принтера:

–підвищення жорсткості приводу (збільшення діаметру валів, гвинтів, попередній натяг в приводі і ін.).

Інформаційні технології

– вирівнювання характеристик тертя спокою і руху, тобто зменшення Δf . Для цього використовуються наступні заходи:

- застосування спеціальних мастил антистрибків: спеціальні мастила дозволяють понизити f_0 , наближаючи його до f ;
- застосування спеціальних антифрикційних матеріалів;
- заміна тертя ковзання тертям кочення, що підвищує точність, але не усуває повністю стрибкоподібного руху.

Список використаних джерел

1. <https://www.3dprinter.ua/liknep-pro-tochnist-ta-yakist-suchasnogo-3d-druku-fdm-sla-3d-pryntery/>
2. <https://pro3d.com.ua/a382456-tochnist-printera-abo.html>
3. <https://3ddevice.com.ua/uk/blog/tekhnolohii-druku-3d-printeriv/>
4. <https://aero3d.ua/3d-druk/>
5. <https://orcid.org/0000-0002-9399-191X>
6. Канарчук В.Є. Надійність машин / Канарчук В.Є., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. // Підручник – К.: Либідь. 2003 – 424 с.

Sergienko Y., Godun T., Mazur V., Akimova V.

ACCURACY OF POSITIONING OF THE WORKING ELEMENT OF A 3D-PRINTER

Due to the continued stagnation of 3D printers, everyday life has significant obligations. Light market for this galusa. In 2022, the economy will have accumulated more than 350 billion US dollars. Virus makers in Europe, China and Northern America are creating various designs of tools for real-time 3D robots, which are useful for vibrating both objects directly on the real-time platform and creating edges The elements were in the workshop for further production. In front of the language, I'm talking about the creation of folding structures, which are much more expensive to remove using basic methods.

As before any process of preparing a new product, before the design, this method has a number of advantages, one of which is the accuracy of the extracted object. Particular respect must be paid to the preparation of parts that are at fault among themselves.

The article examines the nutrition associated with the guaranteed dimensional accuracy of a 3D hand in a living room. Officials have been analyzed to influence the accuracy of each other. Methods for increasing geometric accuracy and optimizing hand modes have been proposed.

Keywords: 3D machine, printer, working element, driving device, accuracy, working element, fluidity.

Стаття надійшла 21.11.2023 р.