

ОГЛЯД ПРОЦЕСУ ІНКРЕМЕНТАЛЬНОГО ФОРМОУТВОРЕННЯ

В. Мажара, кандидат технічних наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет

Основою успішного розвитку сучасного виробництва є можливість швидкого задоволення вимог замовника. При виготовленні виробів, зокрема складної форми, з листових заготовок використовується велика кількість штампового оснащення, проєктування, виготовлення, обслуговування та зберігання якого потребує значних фінансових вкладень. Також, установлення та налагодження штампів на гідравлічних і кривошипних пресах є трудомістким процесом і потребує певного штату допоміжного персоналу. Якщо в умовах масового та великосерійного виробництва ці витрати окупаються за рахунок великої програми випуску продукції, то при одиничному та дрібносерійному виробництві, до яких належать авіаційна галузь, ракетобудування, створення концепткарів витрати на штампове оснащення значно збільшують собівартість виробів. При цьому трапляються випадки, коли штампове оснащення використовується лише кілька разів.

У зв'язку з цим гостро постає питання переходу на нові технології, що дозволяють оперативного та гнучко здійснювати переналагодження обладнання з одного виробу на інший, використовуючи універсальний інструмент, придатний для широкої номенклатури деталей.

Однією з таких технологій є інкрементальне формоутворення, суть якого полягає в локальному поетапному деформуванні окремих частин листової заготовки за відповідною траєкторією. Застосування такої технології дозволяє швидко реагувати на зміну виробничої програми при значному зниженні трудомісткості підготовки виробництва та витрат на штампове оснащення. Крім того, реалізація гнучкого підходу до виробництва виробів на основі інкрементального формоутворення дозволяє швидко проводити прототипування виробів, що може використовуватися і в масовому виробництві, наприклад в автомобілебудуванні, а також у медицині, архітектурі, дизайні тощо.

На відміну від традиційного штампування, де вся поверхня заготовки деформується одночасно під дією преса, інкрементальне формоутворення використовує сферичний робочий інструмент (стилус). Цей інструмент рухається за траєкторією, згенерованою системою ЧПК, поступово «видавлюючи» необхідний профіль у металі. Деформація відбувається за рахунок локальних напружень зсуву та розтягування, що дозволяє досягати значно вищих показників граничної пластичності металу порівняно з класичними методами.

Можна виділити два основні типи інкрементального формування – одноточкове інкрементальне формування SPIF (Single Point Incremental Forming) та двоточкове інкрементальне формування TPIF (Two Point Incremental Forming).

При одноточковому формуванні (рис. 1, а) лист затискається по периметру, а інструмент впливає на нього з одного боку. При цьому методі використовується лише формотворний інструмент і притискач для утримання листа у фіксованому положенні без додаткової опори. У цьому варіанті лист деформується зовні всередину, причому його центр поступово зміщується донизу [1]. Підтримка з протилежного боку відсутня, що робить метод найбільш гнучким, але менш точним.

Для підвищення точності процесу інкрементального формування з протилежного боку листа можна використовувати другий інструмент для забезпечення локальної опори [2]. У такому разі лист деформується під спільним впливом двох інструментів, що покращує стабільність деформації та зменшує потоншення матеріалу.

Двоточкове формування передбачає використання опорної матриці (рис. 1, б) для підтримки листа з протилежного боку [3]. При цьому методі лист деформується зсередини назовні, тоді як фланець (край листа) зміщується донизу.



Для реалізації процесу інкрементального формоутворення найчастіше застосовуються вертикально-фрезерні верстати з числовим програмним керуванням, оснащені спеціалізованим формоутворюючим інструментом. Також можна використовувати промислові роботи, що забезпечують високу мобільність робочої головки за шістьма осями [4]. Також використовуються спеціалізовані установки для інкрементального формоутворення на основі пристроїв паралельної кінематики, конструкції яких адаптовані для сприйняття значних осьових навантажень. Технологічний комплекс обов'язково має включати затискний пристрій для фіксації листової заготовки по всьому периметру [5]. Для деформації важкооброблюваних сплавів обладнання може комплектуватися системами локального нагріву, зокрема лазерними, індукційними або резистивними пристроями. При реалізації двоточкового процесу інкрементального формування додатково можуть бути задіяні допоміжні пуанسونи або матриці, що монтуються на нижній плиті робочої зони технологічного обладнання.

Отже, інкрементальне формоутворення є перспективною гнучкою технологією, яка дозволяє значно знизити собівартість виробництва деталей в умовах одиничного та дрібносерійного типу виробництва за рахунок відмови від дорогого штампового оснащення [6]. Завдяки використанню універсального інструменту та обладнанню з ЧПК, цей метод забезпечує оперативний перехід на випуск іншої номенклатури деталей. Вибір між односточковим (SPIF) або двоточковим (TRIF) формуванням дозволяє балансувати між максимальною гнучкістю процесу та необхідною точністю виготовлення виробів.

Список літератури

1. Martins, P.A.F.; Bay, N.; Skjoedt, M.; Silva, M.B. Theory of Single Point Incremental Forming. CIRP Ann. Manuf. Technol. 2008, 57, 247–252.
2. Peng, W.; Ou, H.; Becker, A. Double-Sided Incremental Forming: A Review. J. Manuf. Sci. Eng. Trans. ASME 2019, 141, 50802.
3. Silva, M.B.; Martins, P.A.F. Two-Point Incremental Forming with Partial Die: Theory and Experimentation. J. Mater. Eng. Perform. 2013, 22, 1018–1027.
4. Pavlenko I. I. Robotic technological complexes: monograph / I. I. Pavlenko, V. A. Mazhara; under the editorship I. I. Pavlenko. – Kropyvnytskyi: KOD, 2019. – 382 p.
5. Mazhara, V., Shcherbyna, K., Maniakin, S., & Filonenko, V. (2023). Efficiency of using turning machining centers.
6. Мажара А. В., Мажара В. А. ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ В УМОВАХ ДРІБНОСЕРІЙНОГО ТИПУ ВИРОБНИЦТВА // Процеси механічної обробки, верстати та інструмент: матеріали XIII Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю, 11–13 листопада 2025 року. – Житомир: Житомирська політехніка, 2025. – 149 с. – 2025. – С. 75.