УДК 621.9.06:621.7.07:621.791

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ СКЛАДНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ НА ОСНОВІ АДИТИВНОГО ФОРМУВАННЯ КАРКАСНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Городніченко Є.С., Рубанка М.М., Залюбовський М.Г.
Київський національний університет технологій та дизайну

Сучасне виробництво деталей складної геометричної форми потребує спеціального технологічного обладнання, яке забезпечує базування, позиціонування, затискання та переміщення складових виробу. У разі одиничного, дослідного та дрібносерійного виробництва тривале виготовлення металевих плит, рам і кронштейнів може суттєво збільшувати строк підготовки виробництва. Одним із напрямів підвищення гнучкості та скорочення строків створення оснастки є використання адитивного виробництва [1].

Особливістю запропонованого підходу є раціональний розподіл функціоналу між матеріалами замість повної заміни металевої оснастки полімерною. Основні каркасні елементи обладнання (рис. 1), які не контактують безпосередньо з цільовою деталлю, пропонується виготовляти методом 3D-друку. Зони, у яких встановлюються пневматичні циліндри, лінійні напрямні, базові та затискні елементи, формуються з підвищеною щільністю або доповнюються металевими закладними. Такий принцип дає змогу концентрувати матеріал у місцях передавання навантажень і зменшувати масу інших ділянок конструкції.

Запропонована конструкція базується на 3D-друкованих плитах зі стільниковою внутрішньою структурою. При формуванні цифрової моделі плити виділяються функціональні зони: суцільні області кріплення, оболонка та низькощільний внутрішній каркас. Зміна густини заповнення дає можливість адаптувати жорсткість конструкції до реального розподілу навантажень. Подібні підходи до оптимізації адитивного виготовлення оснастки розглядаються в наукових працях [1, 2].

Для підвищення жорсткості запропоновано після друку заповнювати частину внутрішніх комірок епоксидною композицією (рис. 2). Епоксидна смола після полімеризації утворює зв'язану з полімерним каркасом внутрішню фазу, яка може підвищувати опір деформуванню та локальному руйнуванню . Експериментально підтверджено, що введення епоксидної смоли у спеціально сформовані порожнини адитивно виготовлених деталей здатне покращувати їх механічні характеристики [3, 4]. Дослідження [5] також показують ефект механічного підсилення пористих 3D-друкованих структур епоксидною інфільтрацією.

Технологічна послідовність створення обладнання передбачає: розроблення 3D-моделі; визначення силових потоків і функціональних зон; формування стільникової структури плити; збільшення щільності матеріалу біля кріплень; 3D-друк; встановлення металевих втулок або закладних; заповнення визначених комірок епоксидною композицією; полімеризацію; монтаж приводів, напрямних і базових вузлів; контроль геометричної точності та пробне складання. Таким чином, конструктивні зміни, пов'язані

зі зміною геометрії виробу, можуть вноситися переважно на рівні CAD-моделі без повторного виготовлення великої кількості металевих деталей.

Для інженерного обґрунтування запропонованої конструкції доцільно порівнювати щонайменше три варіанти: суцільну металеву плиту; 3D-друковану плиту з неповним заповненням; 3D-друковану плиту з неповним заповненням та епоксидним заповненням комірок. Основними критеріями є маса M, собівартість C, час виготовлення T, статична жорсткість K та точність позиціонування δ. Умовою працездатності конструкції є забезпечення $K \geq K_{min}$ та $\delta \leq \delta_{max}$ [5].

Особливу увагу необхідно приділяти зонам кріплення приводів. Для пневматичних циліндрів характерним є циклічне навантаження, а для лінійних напрямних — підвищені вимоги до паралельності та стабільності положення. Тому концентровані сили доцільно передавати через металеві втулки, різьбові вставки, наскрізні стяжні елементи або локально армовані області. Полімерна частина в такому випадку виконує переважно функцію несучого каркаса та геометричного зв'язку між функціональними вузлами.



Рисунок 1 – Конструкція обладнання для складання деталей складної геометричної форми з використанням 3D-друку



Рисунок 2 – 3D-друковані плити

Потенційним результатом застосування технології є скорочення часу від отримання CAD-моделі деталі до працездатного прототипу складального обладнання, зменшення маси конструкції та спрощення її модифікації. Найбільший ефект очікується для дослідних, одиничних, дрібносерійних і часто переналагоджуваних виробництв. Водночас необхідно враховувати температурну стабільність полімеру, повзучість, втомну міцність, адгезію епоксидної композиції та ремонтопридатність.

Висновки. Запропоновано конструктивно-технологічний підхід до швидкого створення спеціального обладнання для виготовлення та складання деталей складної геометричної форми. Його основу становить поєднання 3D-друкованих каркасних плит із низькощільною стільниковою структурою, локально підсилених зон кріплення приводів і металевих функціональних вставок. Для підвищення жорсткості передбачено заповнення частини внутрішніх комірок епоксидною композицією. Подальші дослідження мають бути

спрямовані на встановлення залежностей між геометрією комірок, ступенем заповнення, параметрами епоксидної інфільтрації, масою та жорсткістю конструкції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Fiedler F., Ehrenstein J., Höltgen C. et al. Jigs and Fixtures in Production: A Systematic Literature Review. Journal of Manufacturing Systems. 2024. Vol. 72. P. 373–405. DOI: 10.1016/j.jmsy.2023.10.006.
2. Gameros A., De Lacalle L.N.L., Eguia J. et al. State-of-the-art in fixture systems for the manufacture and assembly of rigid components: A review. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2017. Vol. 123. P. 1–21. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2017.07.004.
3. Max Valentine, Arjun Radhakrishnan. Additively manufactured cure tools for composites manufacture. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2023. Vol. 127. P. 4237–4251. DOI: 10.1007/s00170-023-11254-y.
4. Mirzaei J., Niyaraki M.N., Nikouei S.M. Mechanical characteristics of 3D-printed honeycomb sandwich structures: Effect of skin material and core orientation. Polymer Composites. 2025. Vol. 46, No. 11. P. 10151–10172. DOI: 10.1002/pc.29610.
5. Konstantinos B., Paraskevas P. Injecting epoxy resin to specially designed voids of additively manufactured parts to improve mechanical properties. Procedia Manufacturing. 2020. Vol. 51. P. 692–697. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.10.097.