

2. Yousef N. Implementing Deep Learning-Based Intelligent Inspection for Investment Castings / N. Yousef, A. Sata // Arabian Journal for Science and Engineering. – 2024. – Vol. 49. – No. 2. – P. 2519–2530.

3. Sata A. Investment Casting Defect Prediction Using Neural Network and Multivariate Regression Along with Principal Component Analysis / A. Sata // International Journal of Manufacturing Research. –2017. – Vol. 12. – No. 4. – P. 356–373.

УДК 621.74.045

О.С. Сергієнко¹

¹Національний університет “Запорізька політехніка”, Запоріжжя

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ШВИДКОГО ПРОТОТИПУВАННЯ: 3D-ДРУК І ЛИТТЯ ЗА ВИТОПЛЮВАНИМИ МОДЕЛЯМИ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГНУЧКИХ АЛЬГІНАТНИХ ТА СИЛІКОНОВИХ ПРЕС-ФОРМ

Лиття за витоплюваними моделями із використанням гнучких прес-форм із гідроколоїдних та силіконових відбиткових матеріалів забезпечує доступну альтернативу 3D-друку у застосуваннях швидкого прототипування [1, 2]. Відбиткові матеріали на основі альгінату та силікону забезпечують точність розмірів, що гарантує стабільність розмірів моделей та ефективність для швидкого прототипування [3]. За межами стоматології альгінатні та силіконові форми знаходять застосування у зворотному інжинірингу, де економічне та швидке виробництво форм є ключовим для початкових ітерацій дизайну [4, 5].

Дане дослідження аналізує доцільність застосування швидкого прототипування з використанням комерційно доступних продуктів: гідроколоїдних відбиткових матеріалів, конденсаційних та адитивних силіконів, а також технологій 3D-друку SLA, DLP та FDM.

Точність вимірювань та стабільність. Точність розмірів має вирішальне значення для забезпечення функціональності прототипів. У той час як 3D-друк забезпечує мінімальні розмірні відхилення, гідроколоїди пропонують прийнятну точність для базових завдань (див. Таблицю 1).

Аналіз витрат. Силіконові форми забезпечують раціональний баланс вартості та довговічності, з початковими витратами на матеріали від 50 до 100 у.о. за прес-форму, яка може бути використана до 50 циклів. Гідроколоїдні прес-форми, хоча

кошують дешевше, 5–7 у.о. за відбиток, застосовуються одноразово. Матеріали для 3D-друку кошують від 20 до 50 у.о. за прототип, при цьому значні початкові витрати пов'язані з обладнанням [6].

Продуктивність праці. Гідроколоїдні прес-форми забезпечують найшвидший час підготовки, з загальною тривалістю процесу менше 1 години. Силіконовим прес-формам потрібно 20–30 хвилин для полімеризації, проте вони відзначаються можливістю повторного використання, що суттєво скорочує загальний час виробництва для кількох одиниць. 3D-друк, хоч і є найповільнішим методом (від 3 до 8 годин), дозволяє здійснювати виробництво без постійного нагляду.

Таблиця 1 – Порівняльні властивості гнучких прес-форм із альгінату та силікону та виготовлених за допомогою 3D друку.

Матеріал	Стабільність, год.	Відхилення, мм	Коефіцієнт лінійної усадки
CA37 (Cavex)	24	>0,1	~0,2%/год
Tropicalgin	24	>0,1	~0,2%/год
Hydrogum5	120	<0,05	<0,05%/120год
Hydrocolor5	120	<0,05	<0,05%/120год
Адитивний силікон	168	<0,02	Відсутня
Кондесаційний силікон	72	<0,05	~0,2%/тиждень
3D-друк (SLA/DLP)	-	<0,025	Відсутня
3D-друк (FDM)	-	<0,05-0,2	Відсутня

Екологічні властивості та сталий розвиток. Альгінат є поновлюваним та біорозкладним матеріалом. Його видобування та переробка мають відносно невеликий вплив на довкілля порівняно із синтетичними полімерами [7]. Силіконові еластomers цінуються за довговічність та можливість повторного використання, проте їх виробництво пов'язане з енергоємними процесами та використанням невідновлюваних ресурсів [8]. Адитивне виробництво мінімізує відходи матеріалу порівняно з традиційними субтрактивними методами, хоча енергоспоживання 3D-принтерів, особливо тих, що використовують лазери або високі температури, може бути значним [9].

Висновок. 3D-друк (SLA/DLP) забезпечує найвищу точність прототипів, тоді як силіконові прес-форми та гідроколоїдні прес-форми забезпечують помірну точність, придатну для базових застосувань швидкого прототипування. Альгінатні прес-форми

є найбільш економічно ефективними для сценаріїв одноразового використання та забезпечують найшвидший технологічний процес, але силіконові прес-форми значно скорочують час виробництва при повторному використанні. Майбутні дослідження повинні бути спрямовані на оптимізацію гібридних робочих процесів, які комбінують ці методи для використання їхніх переваг.

Список літератури

1. Wortmann F. J. Industrial-scale vacuum casting with silicone molds: A review / F. J. Wortmann, L. Steiner, M. Breuer, T. Nagel, K. Hinrichs // *Applied Research*. – 2022. – Vol. 14. – P. 3678.
2. Benson M. Hydrocolloids in art restoration: A case study / M. Benson // *Conservation Journal of Art*. – 2010. – Vol. 45. – P. 87–92.
3. Liu Y. Silicone molds in additive manufacturing: Current status and future perspectives / Y. Liu, S. L. Sing, W. Y. Yeong // *Polymers*. – 2022. – Vol. 14. – P. 3768.
4. Greenfield H. J. Applications of hydrocolloid molding for fragile archaeological artifacts / H. J. Greenfield // *Journal of Archaeological Science*. – 2012. – Vol. 39. – P. 1148–1156.
5. Kim J. Accuracy of silicone-based models in consumer goods prototyping / J. Kim, G. Heo // *Journal of Industrial Engineering*. – 2020. – Vol. 33. – P. 202–210.
6. Martins F. Time efficiency of silicone molds vs. 3D printing / F. Martins, J. Reis // *Dentistry Journal*. – 2019. – Vol. 7. – P. 81.
7. Khan Z. I. Alginate-based sustainable films and composites for packaging: A review / Z. I. Khan, A. Mehmood, R. U. Rehman, S. Tufail, A. Rauf, A. Ahmad // *Chemical Engineering Transactions*. – 2021. – Vol. 83. – P. 271–276.
8. Schmid A. Lifecycle assessment of silicone elastomers / A. Schmid, T. Müller, R. Beck, N. Weber, F. Langner // *Journal of Sustainable Materials*. – 2020. – Vol. 5. – P. 123–135.
9. Lee J. Sustainability in additive manufacturing / J. Lee, H. Park, M. Choi, K. Song, D. Kim // *Journal of Mechanical Science and Technology*. – 2023. – Vol. 37. – P. 5481–5507.