

ПРИКЛАД РОБОТИЗАЦІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИВАРНИХ ФОРМ ДЛЯ ЛИТТЯ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБІННИХ АПАРАТІВ ЗА РАЗОВИМИ МОДЕЛЯМИ

¹ Вінницький національний технічний університет країни,

² Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України

Анотація

При роботизації виготовлення ливарних форм для точного лиття лопаток газотурбінних апаратів на заводі Doncasters Precision Castings (Німеччина) впроваджено бездротові датчики контролю процесу. Такі методи модернізації також можуть значно підвищити ефективність українських ливарних цехів, що спеціалізуються на способі лиття металопродукції за разовими моделями.

Ключові слова: робот, виливки, ливарна форма, лопатки турбін, лиття за разовими моделями.

Ливарне виробництво – це галузь, в якій прагнуть поєднувати традиційні методи з сучасними цифровими рішеннями, адаптуючись до умов автоматизації і роботизації. Особливо це актуально для точного лиття, зокрема лопаток газотурбінних апаратів, які працюють в умовах високих температур та навантажень. У газових турбінах лопатки піддаються впливу газу за температури до 1400 °С і досягають швидкості обертання 50...60 Гц, що потребує їх високої точності та термостійкості. Впровадження роботизованих систем в процеси такого лиття сприяє мінімізації виробничих ризиків та забезпеченню стабільної якості продукції. Зауважимо, що Україна входить до обмеженого кола країн з повним виробничим циклом газотурбінних апаратів, а також на її території діють цехи лиття за разовими моделями, зокрема на Вінничині. Ця виробнича база створює сприятливі умови для впровадження роботизації та автоматизації (приклад чого описано в цій статті), зменшуючи залежність від імпорتنих компонентів та підвищуючи конкурентоспроможність українського машинобудування на світовому ринку.

Одним із останніх прикладів роботизації є завод Doncasters Precision Castings (DPC) у Бохумі (Німеччина) [1], де впроваджено автоматизований процес виготовлення прес-форм для точного лиття. Робот, який працює у цеху, виконує складну низку операцій: спершу він знімає кластер воскоподібних моделей із підвісного конвеєра та занурює його у резервуар із керамічною суспензією, що рівномірно розподіляється на поверхні моделі. Потім кластер переноситься в обертовий барабан, де його засипають піском для створення стабільної оболонки. Після кількох повторень цього процесу утворюється багатомісна та багат шарова керамічна форма, яка після сушіння, витоплювання разових моделей та випалювання готова до заливки металу (рис. 1).

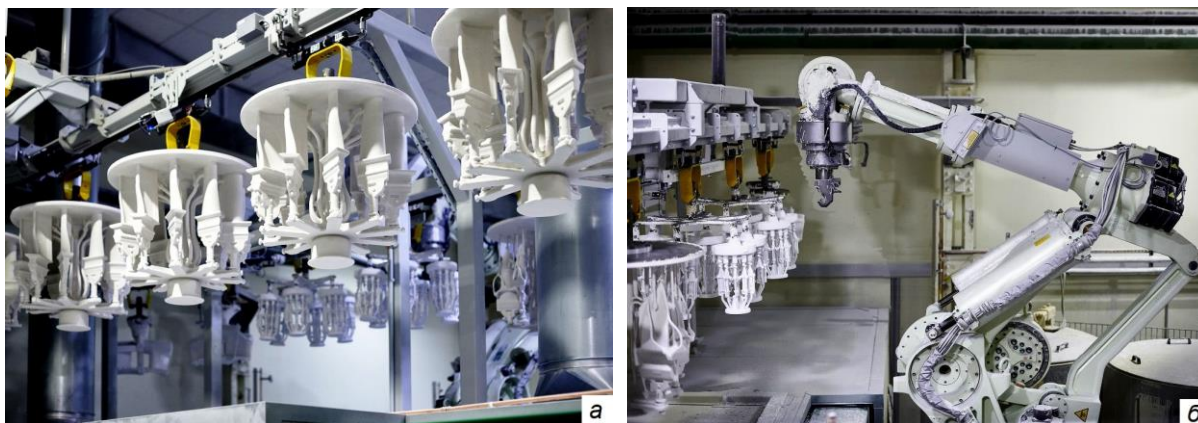


Рисунок 1 – Конвеєр з кластерами моделей (а) і робот, що по чергову наносить на модельні кластери кількарізкові шари суспензії та вогнетривкої обсіпки (б) [1]

На першому фото (рис. 1, а) показано моделі лопаток, які зібрані у кластери та подаються конвеєром до роботизованого маніпулятора (рис. 1, б), котрий точно позиціонує кластер, пневматично його захоплює та забезпечує подальший цикл обробки шляхом цілеспрямованого тривимірного переміщення з неодноразовим почерговим занурення кластера ливарних моделей у бак з суспензією та в обертовий барабан з сипким вогнетривом. Такий рівень автоматизації дає змогу досягати високої точності формувальних операцій, а також повторюваність виготовлення оболонкової ливарної форми.

Проте впровадження роботизованих систем потребує додаткової оптимізації, оскільки під час виробництва виникали випадки некоректного захоплення кластера роботом. У деяких ситуаціях болт, від модельного кластера, неточно позиціонувався на конвеєрі, що може спричинити небажане зіткнення або порушити подальші етапи роботи. Для розв'язання цієї проблеми інженери заводу встановили бездротовий індуктивний датчик компанії Steute [1]. Він сигналізує про правильне положення болта, досягаючи точного захоплення. Це рішення допомогло значно підвищити безпеку роботи, знизити ризики пошкоджень та забезпечити безперебійний виробничий процес з можливістю його дистанційного моніторингу.

Етап, показаний на рис. 1, б, демонструє інтеграцію бездротових технологій у робототехнічні рішення. Датчик працює автономно та передає сигнал бездротового з'єднання, що дає змогу використовувати його у складних механізмах, не обмежуючи рухливість компонентів. Це стало важливим кроком у розвитку виробничої автоматизації, дозволяючи підприємству працювати з максимальною точністю та мінімізувати витрати на крупносерійне виготовлення оболонкових вогнетривких форм.

Описаним методом компанія DPC виготовляє ливарні форми для лопаток ротора та напрямних апаратів для стаціонарних газотурбінних електростанцій і авіаційних двигунів [1]. Вилиті і оброблені лопатки довжиною до 800 мм досягають терміну служби щонайменше 10 000 годин, чого вимагають виробники турбін. Досвід компанії DPC може бути корисним і для українських ливарних підприємств, в тому числі для заводів Вінниччини [2], які мають чи створюють дільниці точного лиття за разовими моделями (як витоплюваними, так і газифікованими) кластерної комплектації, та мають значний потенціал для впровадження подібних технологій. Роботизація дозволяє не лише зменшити витрати та підвищити точність операцій лиття, а й адаптувати виробничі потужності до ринкового попиту, що стає критично важливим у конкурентному середовищі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Scheffels G. Robotergestützter Formenbau für den Präzisionsguss. 15.05.2025. URL: <https://www.home-of-foundry.de/fachmedien/aktuelles-heft>.

2. Янченко О.Б., Дорошенко В.С. Приклади точного лиття металу для транспортного машинобудування. Перспективні технології, матеріали й обладнання в ливарному виробництві: мат. IX міжнар. науково-технічної конф., 25–27 вересня 2023 р. / під заг. ред. А.М. Фесенка, М.А. Турчаніна. – Краматорськ: ДДМА, 2023. С. 158-159.

Янченко Олександр Борисович, канд. техн. наук, доц., Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, 1961yab@gmail.com

Дорошенко Володимир Степанович, доктор техн. наук, ст. наук. співр., пров. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, doro55v@gmail.com.

An example of robotic manufacturing of casting molds for casting blades of gas turbines according to one-off models

Abstract

When robotic manufacturing of casting molds for precision casting of blades of gas turbines at the Doncasters Precision Castings plant (Germany), wireless process control sensors were introduced. Such modernization methods can also significantly increase the efficiency of Ukrainian foundries specializing in the method of casting metal products according to one-off models.

Keywords: robot, castings, mold, turbine blades, casting according to one-off models.

Yanchenko Oleksandr Borisovych, PhD (Engin.), Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 1961yab@gmail.com.

Doroshenko Volodymyr Stepanovych, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Leading Researcher, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, doro55v@gmail.com.