УДК 004.942 https://doi.org/10.26160/2542-0127-2026-18-83-86

ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ ГИБРИДНЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ

Анциферов С.И., Ашихмин Э.А., Бочарникова А.С., Разиньков Н.В.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород

Ключевые слова: роботизированный технологический комплекс, многономенклатурное производство, машиностроение, аддитивные технологии, направления применения роботизированных комплексов, субтрактивная обработка.
Аннотация. В статье рассматриваются современные тенденции автоматизации машиностроительного производства, связанные с внедрением роботизированных комплексов. Особое внимание уделено многономенклатурным гибридным производствам, где выделены основные направления применения роботов: создание сложных заготовок, полное гибридное формообразование (WAAM и механообработка), восстановление ответственных деталей, изготовление оснастки, сварка, сборка и транспортировка. Приведены примеры установок. Описан роботизированный комплекс, разработанный в БГТУ им. В.Г. Шухова, обеспечивающий быструю переналадку и выпуск изделий от прототипов до малых серий.

A DIGITAL TWIN OF A ROBOTIC TECHNOLOGICAL COMPLEX FOR MULTI-PRODUCT HYBRID PRODUCTION BASED ON ADDITIVE TECHNOLOGIES

Antsiferov S.I., Ashikhmin E.A., Bocharnikova A.S., Razinkov N.V.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod

Keywords: robotic technological complex, multi-product production, mechanical engineering, additive technologies, areas of application of robotic complexes, subtractive machining.
Abstract. The article examines current trends in the automation of mechanical engineering production, associated with the implementation of robotic systems. Special attention is paid to multi-product hybrid production, where the main areas of robot application are identified: the creation of complex workpieces, full hybrid shaping (WAAM and mechanical machining), the restoration of critical parts, the manufacture of tooling, welding, assembly, and transportation. Examples of installations are provided. A robotic system developed at Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov is described; it ensures rapid reconfiguration and the production of products ranging from prototypes to small series.

Рассматривая современные тенденции к автоматизации производства, можно отметить повышающийся уровень внедрения различных роботизированных комплексов, особенно в области машиностроения [1].

Особый интерес представляет внедрение роботизированных комплексов на многономенклатурных гибридных производствах. Рассматривая ныне существующий опыт, можно отметить, что в рамках подобных производств существует несколько направлений применения роботизированных комплексов. Первым подобным направлением выступает создание заготовок сложной формы, для последующей механической обработки. Вторым направлением можно выделить полное гибридное формообразование, состоящее из создания заготовки

посредством WAAM и механической обработки в рамках одного комплекса, состоящего из аддитивного, субтрактивного и метрологического блоков. В качестве примера подобного комплекса можно привести Meltio M450 Hybrid (рис. 1) – модульная испанская установка, созданная в 2018 г.



Рис. 1. Роботизированный комплекс Meltio M450 Hybrid

Ещё одним ключевым направлением применения подобных роботизированных комплексов является восстановление поврежденных ответственных деталей. Кроме того, существует возможность производства технологической оснастки, применяемой при литье или же штамповке [2, 3].

Также можно отметить применение роботизированных технологических комплексов при субтрактивных операциях или же сборке готового изделия. К примеру, существуют серийные модели роботизированных комплексов, применяемых при сварке (рис. 2) или транспортировке деталей между конвейерами.



Рис. 2. Робот FANUC R-2000iB, применяемый для сварки

В рамках существующих исследований в БГТУ им. В.Г. Шухова был создан цифровой двойник роботизированного технологического комплекса (рис. 3), применяемый при многономенклатурном производстве изделий малыми сериями. Данный комплекс представляет собой единую роботизированную ячейку, обладающую возможностью мгновенной переналадки, что включает в себя как смену инструмента, так смену марки сварочной проволоки.

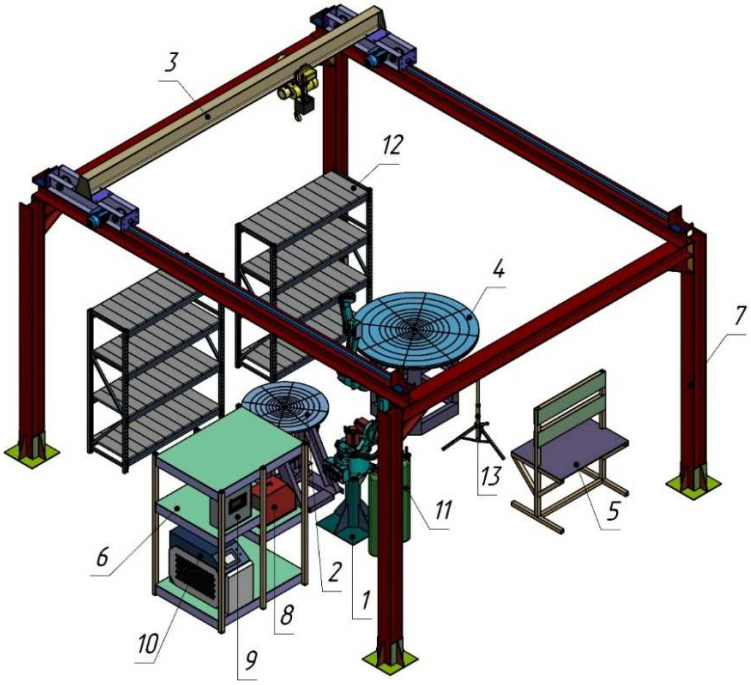
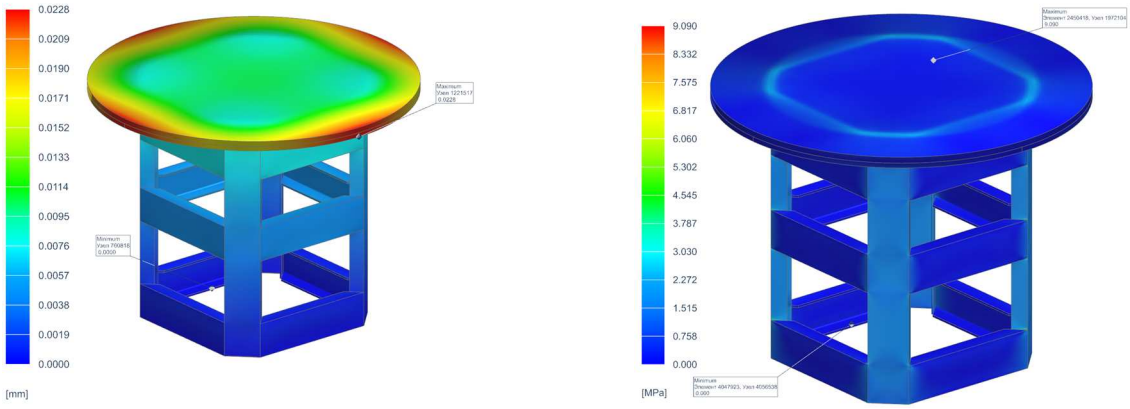


Рисунок 3. Роботизированный комплекс многономенклатурного гибридного производства состоит из: 1 – робот; 2 – сварочный позиционер; 3 – кран; 4 – стол накопительный; 5 – стойка оснастки; 6 – стеллаж; 7 – каркас; 8 – механизм подачи проволоки; 9 – шкаф управления; 10 – сварочный аппарат; 11 – баллон; 12 – стеллаж; 13 – тренога

Применение подобного роботизированного технологического комплекса даёт возможность организовать выпуск различных изделий, начиная от штучных прототипов, заканчивая изделиями мелких серий.

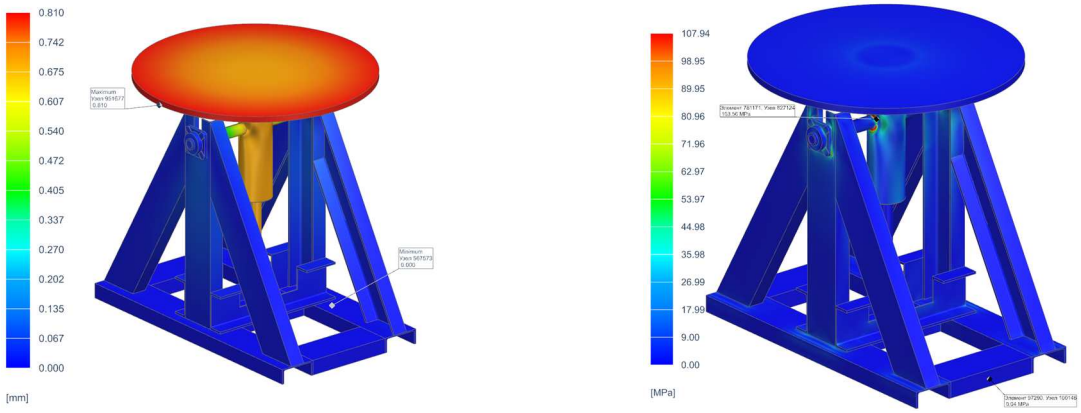
Для ответственных элементов, таких как приёмный (рис. 4) и рабочий (рис. 5) столы роботизированного комплекса были произведены инженерные расчёты и построены диаграммы распределения перемещений и распределения напряжений.

Таким образом, исходя из уже существующих моделей и наличия новых разработок, можно судить о существовании общемировой тенденции к автоматизации производств и повышения их производительности, путём внедрения роботизированных технологических комплексов. Особенно весомым их вклад показывается при применении их в гибридных производствах, за счёт возможности сокращения технологической линии и расширения номенклатуры предприятия.



а б

Рис. 4. Диаграмма распределения приемного стола: а) перемещений; б) напряжений



а б

Рис. 5. Диаграмма распределения рабочего стола: а) перемещений; б) напряжений

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания FZWN-2024-0006 по теме «Разработка научных подходов и методов создания многономенклатурных гибридных производств на основе аддитивных технологий с использованием цифровых двойников».

Список литературы

1. Jones J.B. The synergies of hybridizing CNC and additive manufacturing // RAPID 2014 conference and exposition. – Detroit, 2014. – P. 105-113. – URL: https://hybridmanutech.com/wp-content/uploads/2021/09/2014_Jones_Hybridizing-CNC-AM-authors-version-of-SME-TP14PUB77.pdf.
2. Григорьев С.Н., Федоров М.П., Кузнецов В.В., Кузнецов Д.В. Передовые технологии аддитивного производства металлических изделий // Известия Самарского научного центра РАН. – 2023. – Т. 25, №4. – С. 13-22.
3. Киселев А.Г., Кондратьев А.В., Степанов А.В. Современные технологии, используемые на стадии производства применительно к различным фазам жизненного цикла изделий и деталей // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. – 2024. – №1(60). – С. 84-93.

Сведения об авторах:

Анциферов Сергей Игоревич – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой Механического оборудования;

Ашихмин Эдуард Алексеевич – ассистент;

Бочарникова Анна Сергеевна – лаборант-исследователь НИЛ «Цифрового инжиниринга, аддитивных технологий и гибридных производств»;

Разиньков Николай Валерьевич – инженер кафедры Механического оборудования.