

УДК 62-52:620.1

Роботизированный модуль контрольных операций производства изделий ракетно - космической техники

Власов Вадим Валерьевич

Лагута Виктор Степанович (научный руководитель)

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Рассмотрен вопрос автоматизации контрольных операций производства титановых шар-баллонов. Разработанный модуль контроля осуществляет неразрушающий контроль номенклатуры полуфабрикатов после выполнения технологических операций вытяжки, механической обработки и сварки. В основу контрольных операций положен ультразвуковой метод с использованием фазированных решеток. В состав модуля входят поворотный стол, ультразвуковой дефектоскоп с набором датчиков, система подачи контактной жидкости, два промышленных робота. Первый робот осуществляет загрузку-выгрузку деталей. Второй осуществляет перемещение датчиков по поверхности в соответствии с заданной программой. В работе приведены компоновочная схема модуля и циклограмма работы оборудования.

Ключевые слова: роботизированный модуль, неразрушающий контроль, ультразвуковой контроль, титановый шар-баллон, коллаборативный робот

Введение. Требование обеспечения безопасности и эксплуатационной надежности — отличительная черта изделий ракетно-космической техники (РКТ). Современная тенденция совершенствования производственных процессов — внедрение роботизированных технологий, в том числе для выполнения операций контроля качества деталей и полуфабрикатов. Наибольший эффект обеспечивает комплексная автоматизация производства, где осуществляется компьютерная интеграция [1].

Основная часть. Для разработки модуля необходимо подобрать соответствующий метод неразрушающего контроля (НК). Неразрушающий контроль в зависимости от физического явления, положенного в его основу, подразделяют на виды: оптический (ГОСТ Р 58399-2019, ГОСТ Р 70652-2023); акустический (ГОСТ 23829-85); радиационный (ГОСТ 20426-82); вихретоковый (ГОСТ Р ИСО 15549-2009); проникающими веществами (ГОСТ Р ИСО 3452-1-2011); магнитный (ГОСТ Р 55612-2013); электрический (ГОСТ 25315-82); радиоволновой (ГОСТ 23480-79); тепловой (ГОСТ Р 53698-2009). Примеры автоматизированных систем контроля с применением этих методов представлены в работе [2].

По результатам сравнительного анализа был выбран метод ультразвукового контроля (УЗК) с использованием фазированных решеток (ФР). Данный метод дает лучшую в настоящее время точность, позволяет проверять сварные швы, основной металл, проводить толщинометрию, имея доступ только к одной поверхности, за счет распространения ультразвуковых волн в мате-

риале. Фазированная решетка позволяет управлять углом излучения датчика программно, что в разы упрощает процесс [3]. Схема проведения контроля представлена на рис. 1.

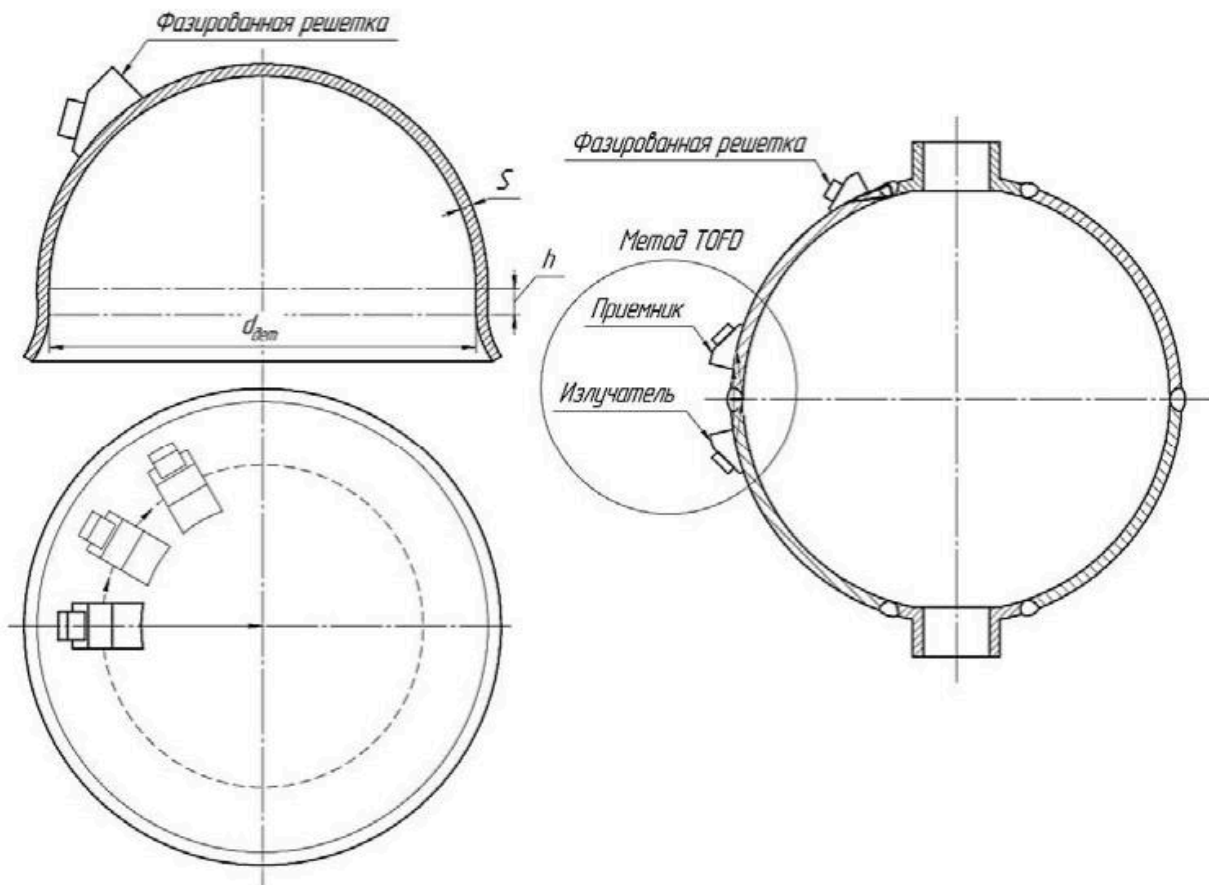


Рис. 1. Схема контроля полусфер и шар-баллонов

Роботизированный модуль предназначен для поиска таких дефектов как забоины, трещины, надрывы, металлические и неметаллические включения, дефекты сварки в титановых шар-баллонах типоразмеров от 25 до 130 л [4]. Контроль проводится после операций гидравлической вытяжки, механической обработки (основной металл), сварки полусфер (сварной шов) и приварки штуцеров [5]. По результатам выносится заключение о годности/негодности контролируемой детали. На модуле реализуются следующие операции:

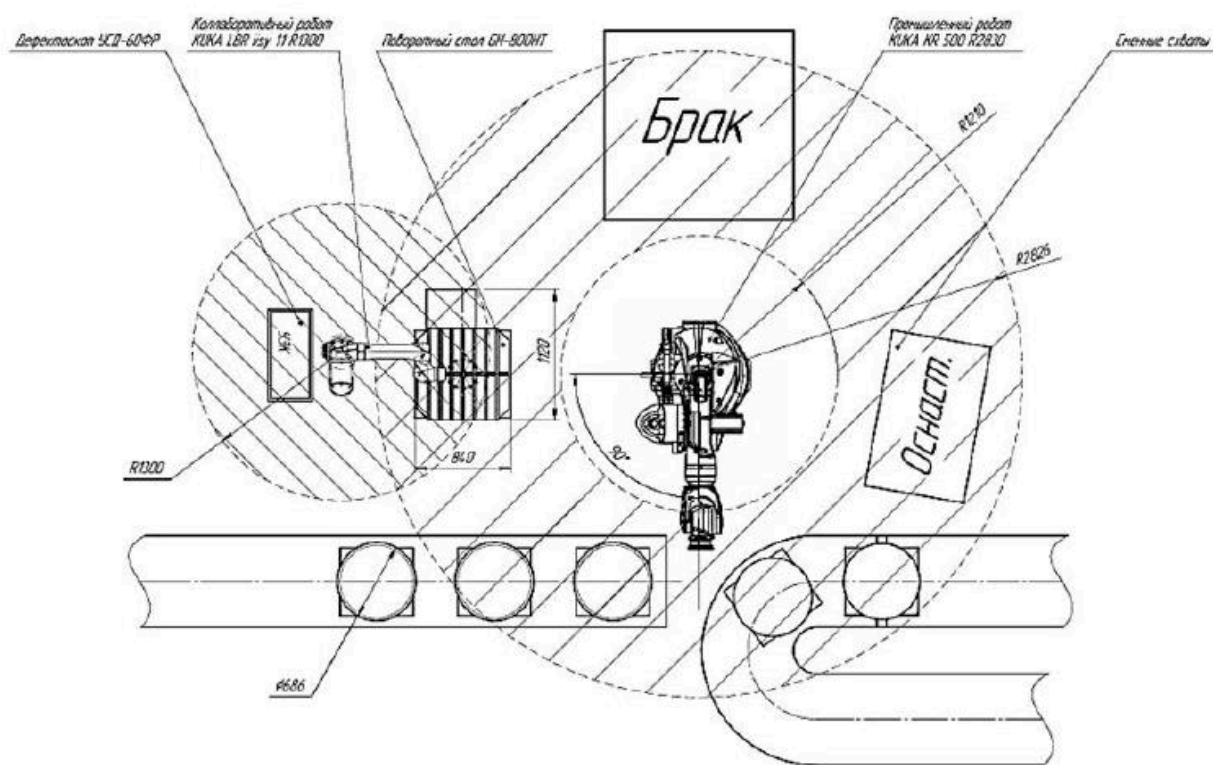
- получение полуфабрикатов согласно плановой номенклатуре;
- автоматический выбор и смена схвата манипулирующего робота;
- загрузка заготовки в зону УЗК;
- вращение заготовки с заданной скоростью;
- подача контактной жидкости к поверхности заготовки;
- ультразвуковой контроль фазированными решетками;
- заключение о годности заготовки;

– перемещение на линию (следующая операция производственного процесса) или на доработку, или в зону брака.

В состав модуля входят:

- коллаборативный робот KUKA LBR iisy 11 R1300 — для перемещения датчика УЗК;
- грузоподъемный робот KUKA KR 500 R2830 — для перемещения шар-баллона;
- поворотный стол с ЧПУ Detron GH-800HT — для вращения шар-баллона;
- ультразвуковой дефектоскоп КРОПУС УСД-60ФР с набором фазированных решеток и призм, притертых к поверхности шар-баллона каждого типоразмера.

Компоновочная схема модуля представлена на рис. 2.



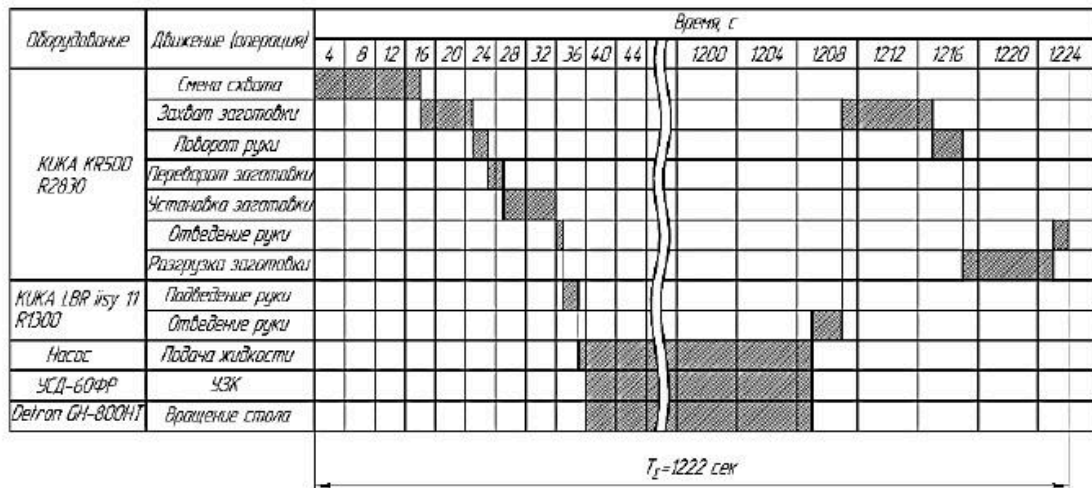


Рис. 3. Циклограмма работы оборудования (контроль полусферы)



Рис. 4. Циклограмма работы оборудования (контроль сварных швов)

Закключение. Разработанный роботизированный позволяет осуществлять запланированные контрольные операции автономно в автоматическом режиме. Расширение номенклатуры захватных устройств и приспособлений позволяет качественно осуществлять контрольные операции для различных деталей.

Литература

- [1] Горнев В.Ф. Проблемы и технология комплексной автоматизации. *Автоматизация и проектирование*, 1999, № 1, с. 34–38.
- [2] Власов В.В., Лагута В.С. Опыт роботизации контрольных операций деталей машиностроения. *Комплексная автоматизация проектирования и производства (КАПП-2024). Вторая науч.-практ. конф.: матер.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025, с. 80–85.

- [3] Michael D.C. Moles Advances in phased array ultrasonic technology applications. Waltham, Olympus, 2017, 10 p.
- [4] Изготовление шар-баллонов для космических аппаратов: битва технологий. URL: <https://dzen.ru/a/ZYU0VOs1ch7LN54i> (дата обращения 25.04.2025).
- [5] Ломакин И.В., Рязанцев А.Ю., Юхневич С.С., Широкожухова А.А. Создание передовой технологии и оборудования для изготовления титановых шар-баллонов. *Известия высших учебных заведений*, 2021, № 12, с. 37–43. <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2021-12-37-43>

A robotic module for control operations for the production of rocket and space technology products

Vlasov Vadim Valerievich

Laguta Victor Stepanovich (*scientific advisor*)

BMSTU, Moscow, Russia

The issue of automation of control operations for the production of titanium balloon cylinders is considered. The developed control module performs non-destructive testing of the range of semi-finished products after performing the technological operations of extraction, machining and welding. The control operations are based on the ultrasound method using phased arrays. The module includes a turntable, an ultrasonic flaw detector with a set of sensors, a contact fluid supply system, and two industrial robots. The first robot performs loading and unloading of parts. The second one moves the sensors along the surface in accordance with a preset program. The paper presents the layout diagram of the module and the cyclogram of the equipment operation.

Keywords: robotic module, non-destructive testing, ultrasonic testing, titanium balloon, collaborative robot