

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Дроботова И.А., Пургин А.Д., Богоявленский А.В.*

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России  
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия*

**Ключевые слова:** ремонт, восстановление деталей, корпусные детали, роботизированная ячейка, роботизированная дуговая наплавка, сканирование поверхностей.

**Аннотация.** Восстановление крупных корпусных деталей сложной геометрии всегда представляет большие трудности. Сложно определить величину износа. После дуговой наплавки поверхности необходимо провести обработку до заданного размера и проконтролировать качество выполненных работ. Традиционно данные работы выполняются с использованием ручного труда. В статье предлагается автоматизировать процесс восстановления корпусных деталей с применением современных технологий сканирования поверхностей, автоматизированной наплавки с использованием робота и последующей механической обработки с использованием робота.

## RESTORATION OF BODY PARTS USING ROBOTIC EQUIPMENT

*Drobotova I.A., Purgin A.D., Bogoyavlensky A.V.*

*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,  
Yekaterinburg, Russia*

**Keywords:** repair, restoration of parts, body parts, robotic cell, robotic arc welding, surface scanning.

**Abstract.** The restoration of large body parts of complex geometry is always very difficult. It is difficult to determine the amount of wear. After arc welding of the surface, it is necessary to process it to a predetermined size and check the quality of the work. Traditionally, these jobs are performed using manual labor. The article proposes to automate the process of restoring body parts using modern surface scanning technologies, automated robotic arc welding and subsequent mechanical processing using a robot.

### Введение

Промышленные роботы все чаще встречаются на производственных предприятиях различных стран. Во многом это благодаря освоению и усовершенствованию технологических процессов, как производства самих роботов, так и комплектующих к ним и программного обеспечения роботов.

В данной статье рассмотрена инновационная технология использования робота-манипулятора для восстановления корпусных деталей, на примере корпуса насоса Д12500-24. Её суть заключается в выполнении трех последовательных технологических операций по восстановлению корпуса. Методика восстановления крупных корпусных деталей приведена без детального углубления в конструкцию её составляющих. Для примера, детали, подлежащей восстановлению, представлена нижняя часть корпуса насоса (рис. 1).

Данный корпус является составной частью горизонтального центробежного насоса двустороннего входа, предназначенного для перекачки воды или различных жидкостей с включениями, в том числе канализации и других нетоксичных жидкостей. Корпус насоса подвержен различным видам износа – коррозионный, абразивный, кавитационный.

Конструкция насоса предполагает поузловую замену всех составных частей, кроме чугунного литого корпуса, внутри которого располагаются все основные узлы. Внутренние полости корпуса, ввиду постоянного контакта с жидкостью, подвержены интенсивному износу.

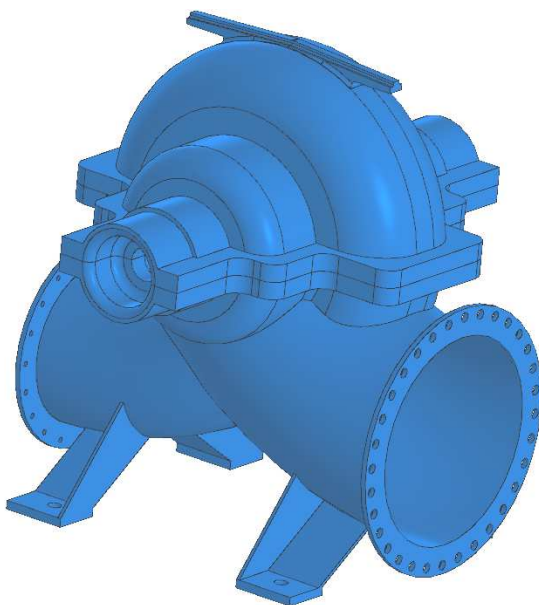


Рис. 1. Корпус насоса Д12500-24

Пример изношенного корпуса (Belzona pump restoration, Йоркшир, Belzona International Ltd. [https://khia.belzona.com/khia/belzona\\_pump\\_restoration](https://khia.belzona.com/khia/belzona_pump_restoration)) представлен на (рис. 2).



Рис. 2. Изношенный корпус насоса

В корпусе имеются базовые поверхности, требующие обработки на станке с высокой точностью. Кроме того, имеются поверхности для протока перекачиваемой жидкости, сложные в геометрическом плане, но не

требующие высокой точности обработки. Восстановление этих поверхностей является наиболее сложным с точки зрения контроля и последующего восстановления.

### **Существующая технология**

На сегодняшний день известна следующая технология восстановления как данного, так и аналогичных корпусных деталей (ТУ 34-38-20064-96. Насос центробежный Д12500-24 (48Д-22). Технические условия на ремонт: дата введения 1997-01-01 / разработано АООТ «ЦКБ Энергоремонт». – Москва, 1996. – 28 с.), (Н06.201.000.00 РЭ. Насосы типа Д12500-24М, Д12500-10М и агрегаты насосные на их основе: руководство по эксплуатации: дата введения 2018-03-16 / разработчик АО «ГМС Ливгидромаш». – Ливны, 2018. – 31 с.)

В общей своей части технологический процесс ремонта состоит из:

- демонтажа насоса и его составных узлов;
- очистки изношенных деталей и пескоструйной обработки изношенных поверхностей;
- перемещения агрегата на производственную базу для выявления наиболее изношенных участков корпуса. Контроль происходит либо визуально, либо по специальным шаблонам;
- перемещения на сварочный участок для ручной наплавки металла на пораженные зоны. При этом, ручная наплавка не гарантирует постоянства наплавляемого материала во всех направлениях, так как качество наплавки напрямую зависит от квалификации рабочего;
- перемещения на механический участок для дальнейшей механической обработки в соответствии с заданными в конструкторской документации размерами, с использованием станков и вручную;
- контроль обработанных поверхностей как визуально, так и по подготовленным шаблонам.

С учетом того, что данное чугунное основание весит несколько тонн, перечисленные выше перемещения с выверкой в местах обработки занимает много времени, а использование ручного труда при контроле, наплавке и последующей обработке поверхностей сложной формы трудоемко и не гарантирует получения заданных размеров.

### **Предлагаемое решение**

Для устранения межоперационных потерь и повышения качества восстановления корпусных деталей насосов, предлагается использовать 6-осевого робота манипулятора в составе следующей роботизированной ячейки (рис. 3). Для обработки поверхностей, к которым не предъявляются высокие требования к точности (в составе ячейки не предполагается чистовая обработка посадочных мест под подшипники, установочных отверстий, крепежных фланцевых частей).

Состав роботизированной ячейки:

- 1) робот-манипулятор;
- 2) поворотный стол с закрепленной деталью;

- 3) головка со сканером;
- 4) сварочная головка;
- 5) фрезерная головка;
- 6) управляющая стойка;
- 7) стеллаж для сменного инструмента;
- 8) каретки для перемещения кабелей.

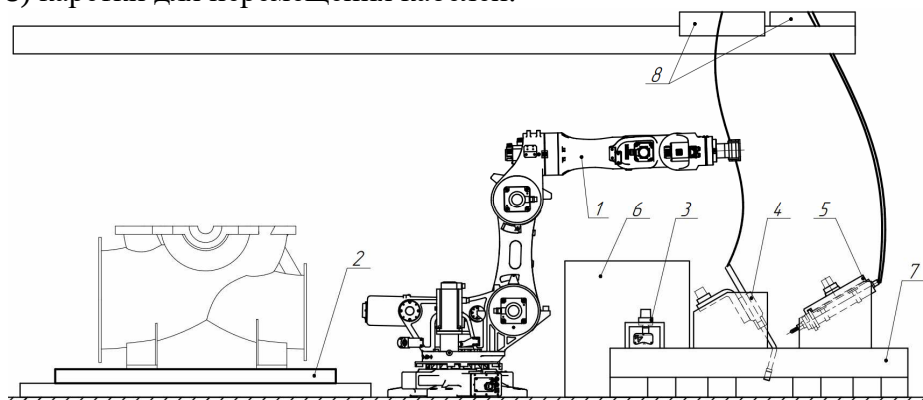


Рис. 3. Схематичное представление роботизированной ячейки

Роботизированная ячейка позволяет в рамках одного рабочего места проводить: контроль износа корпуса при помощи переносного оптического сканера; математическую обработку и выявление зон для наплавки путём сравнения действительного облака точек с 3D-моделью детали; восстановление изношенных участков детали путем наплавки металла с использованием робота; финишную обработку наплавленных участков до соответствия с размерами 3D-модели и повторное проведение сканирования для оценки качества выполненных работ.

Для этого робот-манипулятор должен удовлетворять следующим требованиям: грузоподъемность 200 кг, суммарная погрешность  $\pm 0,2$  мм. Для этих целей подойдет модель от китайского производителя «BORUNTE» (BRTIRUS2520B. Робот промышленный шестиосный. техническая рекомендация. разработчик BORUNTE ROBOT CO., LTD. [Китай, 2024]. 20 с.) или аналогичный по характеристикам робот другого производителя.

Особенностью конструкции автоматизированной ячейки является то, что управляющая стойка 6, сварочный аппарат и вся необходимая электрика проводятся до головок 3-5 через специальные направляющие с перекатными каретками 8, которые расположены над роботом. Такое расположение позволяет манипулятору захватывать уже готовые к работе модули, без необходимости ручного их подключения и настройки.

Поворотный стол 2 облегчает доступность во все места восстанавливаемого корпуса для руки робота 1.

Возможность присоединять головки 3-5 в автоматическом режиме обеспечивается специальным захватом, установленным на кисть 6-осевого робота-манипулятора. В качестве захватного приспособления применена

конструкция аналогичная разработанной шведской компанией Sandvik Coromant и хорошо зарекомендовавшая себя в системе закрепления режущего инструмента – Coromant Capto. Выбранная конструкция Coromant Capto C10 позволяет помимо быстрой смены инструмента обеспечить хорошую стабильность и жесткость системы станок-приспособление-инструмент при фрезеровании [1].

Цанговый зажим захвата приводится в движение при помощи поворотного пневмоцилиндра. Использование поворотного пневмоцилиндра, позволяет уменьшить вылет схвата и разместить его на кисти робота-манипулятора.

Для хранения заранее подключенных и настроенных головок используется стеллаж 7 с ячейками для соответствующих устройств.

Для сканирования поверхности на кисть робота-манипулятора устанавливается лазерный сканер, например: HP-L-10.10 от компании «Hexagon» (рис. 4) (Лазерные сканеры для КИМ точность, скорость и универсальность. брошюра / Hexagon Manufacturing Intelligence. 2023. 16 с.).

Преимущество данного типа сканеров заключается в высокой точности (ошибка зондирования формы на данный момент составляет всего 8 мкм), необязательного повторения траектории сканируемой поверхности и возможности создания облака точек отсканированного объекта [2].

Имея облако точек реального объекта и его 3D-модель детали можно, путем наложения одной модели на другую, определить изношенные места корпуса насоса. Для верного совмещения модели, полученной из облака точек сканера и 3D-модели детали, необходимо указать точки привязки для совмещения в местах, наименее подверженных износу. В данном случае это отверстия под болтовое крепление двух половин корпуса и торцевая часть, по которой происходит их базирование.

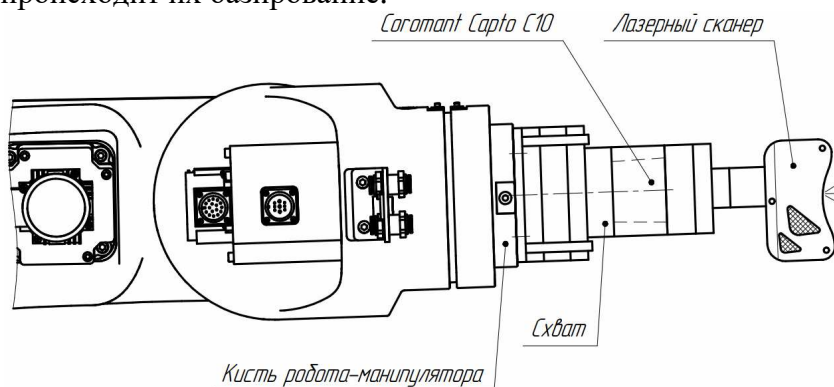


Рис. 4. Головка со сканером

Для восстановления изношенных поверхностей предлагается применить наплавку проволокой. Сварочная головка состоит из горелки для MIG/MAG сварки, позволяющей подавать проволоку напрямую из горелки. Для крепления и быстрой смены сварочной головки в захвате робота будет использован адаптера Coromant Capto C10 (рис. 5).

Основа сварочного устройства выше аналогична технологии «towers» разработанной компанией «Panasonic» и успешно примененной в сварочных роботах дуговой сварки TAWERS TM/TS/WG (Manipulator TS/TM/TL Series/LA-1800 /Токио : Panasonic Connect Co., Ltd.).

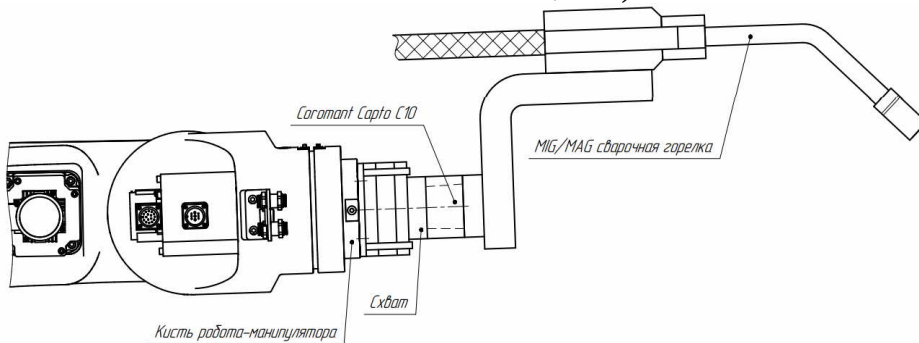


Рис. 5. Сварочная головка

Новизна данной конструкции заключается в установке сварочной горелки аналогичной примененной в роботизированном сварочном комплексе в TAWERS TM-1400 в кисть робота при помощи быстросменного адаптера Coromant Capto C10, который позволяет однозначно сориентировать её в процессе крепления к роботу. При этом механизм подачи проволоки и сварочный источник MIG/MAG/TIG350A расположены за пределами робота, и имеют связь с ним при помощи длинного кабеля.

Наплавка с использованием роботизированного оборудования позволяет проводить более точно настраивать режимы наплавки, [3,4] что положительно сказывается на качестве наплавленного слоя и позволяет использовать различные технологии наплавки.

После наплавки необходимо удалить лишний наплавленный металл и восстановить поверхности в соответствии с заданными размерами в конструкторской документации. Для этих целей предлагается использовать фрезерную головку (рис. 6)

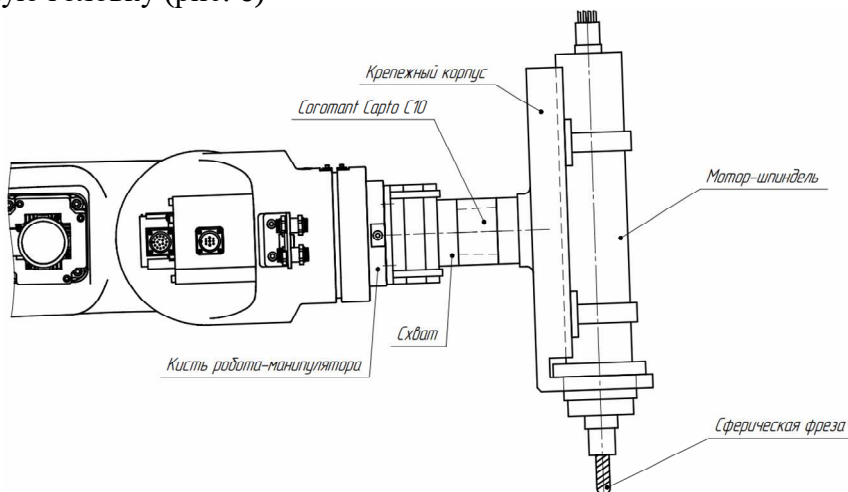


Рис. 6. Фрезерная головка

Фрезерная головка состоит из крепежного корпуса, являющегося соединительной частью с роботом (при помощи адаптера Coromant Capto C10) и мотор-шпинделя, например: мотор-шпиндель MFW-1024/40 компании «Fisher» (Каталог шпинделей для фрезерной обработки FISCHER Spindle Group AG. 2015. 12 с.) мощностью 6 кВт или аналогичный.

На выходную часть шпинделя устанавливается сферическая фреза, для обработки наплавленного металла. Вместо фрезерного инструмента можно использовать шлифовальную головку, для аналогичных целей [5].

Преимущество описанной конструкции заключается в том, что робот-манипулятор берет готовое к работе приспособление, соединяя свой захват с адаптером на корпусе. Тем самым значительно сокращая технологический процесс восстановления корпусных деталей насоса за счет исключения вспомогательных операций. Кроме этого, в ходе роботизированного ремонта устраняется влияние человеческого фактора на процесс ремонта, так как действия робота идут по одной и той же программе от детали к детали.

### **Выводы**

Совмещение на одном рабочем месте операций по сканированию детали, расчет необходимых зон восстановления и подготовку программ для наплавки с использованием робота позволит значительно ускорить процесс восстановления корпусных деталей.

Проведение фрезерной обработки под управлением того же робота позволит отказаться от повторной выверки положения детали и обеспечит точность геометрии поверхностей.

Повторное сканирование без перемещения детали позволит ускорить процесс приемки обработанных поверхностей.

Кроме рассмотренных в статье операций в захват робота можно закрепить много различного инструмента для проведения дополнительной обработки поверхностей.

Описанная выше технология может быть использована не только для таких крупных деталей, но и для восстановления любых других корпусных деталей, имеющих изношенные поверхности сложной геометрической формы.

### **Список литературы**

1. Изгибающие моменты и устойчивость к крутящему моменту Coromant Capto // Sandvik Coromant. – 2024. – 8 с. – URL: <https://assets-eu-01.kc-usercontent.com/a53b485b-be0f-019d-8100-3f0d1619b9fa/abfca0f6-981e-4ac8-830c-f6159c7aff06/Coromant%20Capto%20bending%20moments%20and%20torque%20stability.pdf>
2. Лазерное сканирование: поэтапное изменение эффективности производства // Hexagon Manufacturing Intelligence. – 2021. – URL: <https://blog.manufacturing.hexagon.com/metrology-measurement/laser-scanners/laser-scanning-a-step-change-in-manufacturing-efficiency>.
3. Жаркевич О.М., Нуржанова О.А., Бессонов А.В. Определение оптимальных технологических режимов наплавки при восстановлении деталей типа тел вращения // Сварочное производство. – 2022. – №5. – С. 30-34.

4. Настека Д.В., Лебедева А.И. Использование роботизированного комплекса при восстановлении рабочих лопаток паровых турбин // Вестник Московского энергетического института. – 2018. – №6. – С. 27-32.
5. Бафоев Д.Х., Каландаров Н.О. Обработка восстанавливаемых деталей абразивно-лезвийным способом // Молодой учёный. – 2014. – №19(78). – С. 175-176.

### References

1. Bending moments and torque resistance Coromant Capto // Sandvik Coromant. 2024, 8 p. URL: <https://assets-eu-01.kc-usercontent.com/a53b485b-be0f-019d-8100-3f0d1619b9fa/abfca0f6-981e-4ac8-830c-f6159c7aff06/Coromant%20Capto%20bending%20moments%20and%20torque%20stability.pdf>
2. Laser scanning: step-change in manufacturing efficiency // Hexagon Manufacturing Intelligence. 2021, URL: <https://blog.manufacturing.hexagon.com/metrology-measurement/laser-scanners/laser-scanning-a-step-change-in-manufacturing-efficiency>.
3. Zharkevich O.M., Nurzhanova O.A., Bessonov A.V. Determination of optimal technological modes of surfacing during restoration of parts of the type of bodies of rotation // Welding production. 2022, no. 5, p. 30-34.
4. Nasteka D.V., Lebedeva A.I. The use of a robotic complex in the restoration of steam turbine blades // Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute. 2018, no. 6, pp. 27-32.
5. Bafoev D.H., Kalandarov N.O. Processing of recoverable parts by the abrasive-blade method // Young scientist. 2014, no. 19 (78), pp. 175-176.

|                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Дроботова Ирина Александровна</b> – магистрант                                                                                     | <b>Drobotova Irina Aleksandrovna</b> – master student                                                                                                                               |
| <b>Пургин Андрей Дмитриевич</b> – магистрант                                                                                          | <b>Purgin Andrey Dmitrievich</b> – master student                                                                                                                                   |
| <b>Богоявленский Алексей Викторович</b> – кандидат технических наук, доцент кафедры «технологии машиностроения, станки и инструменты» | <b>Bogoyavlensky Aleksey Viktorovich</b> – candidate of technical sciences, associate professor of the department "Technologies of mechanical engineering, machine tools and tools" |
| bgbg357@yandex.ru                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                     |

*Received 20.02.2026*