

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК – 621.791:621.9.04

РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ В ПРОИЗВОДСТВЕ И РЕМОНТЕ
СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ И КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ© 2024 г. П. А. Витязь¹, М. Л. Хейфец^{2, *}, Н. Л. Грецкий², Д. Н. Хилько³¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь²Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь³ООО “ШТРАБАГ Инжиниринг Центр”, Минск, Беларусь

*e-mail: mlk-z@mail.ru

Поступила в редакцию 05.12.2013 г.

После доработки 25.03.2024 г.

Принята к публикации 19.04.2024 г.

Разработаны методы контроля и диагностики степени износа и потери геометрической формы поверхностями. Проведен выбор технологических маршрутов при комплексном восстановлении рабочих поверхностей крупногабаритных изделий с применением электрофизических источников энергии при наплавке порошков и проволоки. Показано, что стоимость капитального ремонта при восстановлении шнекового вала в среднем в два раза ниже, чем изготовление нового. Актуальным является регулярный контроль степени износа витков вала и их локальное восстановление с использованием наплавочных материалов и технологий.

Ключевые слова: реверс-инжиниринг, крупногабаритные изделия, производство, ремонт и восстановление

DOI: 10.31857/S0235711924040076, **EDN:** OYZBCZ

В настоящее время под термином “реверс-инжиниринг” или “обратное проектирование” в машиностроении понимают процесс получения цифровой 3D-модели изделия, конструкторской документации или физического объекта (рис. 1) с использованием 3D-сканеров, автоматизированных систем проектирования (CAD/CAM/CAE) и 3D-принтеров [1–6].

Реверс-инжиниринг позволяет: 1) исследовать изделие и изучить принцип его работы; 2) восстановить конструкторскую документацию изделия; 3) спроектировать цифровую 3D-модель готового изделия; 4) расширить функциональные возможности существующего образца изделия; 5) повысить эксплуатационные характеристики готового изделия; 6) провести контроль геометрии готового изделия.

Реверс-инжиниринг изделий с простой геометрией выполняется, с использованием традиционных методов измерения, применяя ручные измерительные инструменты. На основании полученных измерений можно построить 3D-модели и разрабатывать конструкторскую документацию. При работе с крупногабаритными изделиями, имеющими сложную геометрию поверхности, процесс измерения занимает много времени. Поэтому применяют автоматизированные измерительные инструменты, такие как оптические и лазерные сканеры, координатноизмерительные машины, компьютерную томографию и т.д.



Рис. 1. Процесс реверс-инжиниринга для получения физического объекта [3].

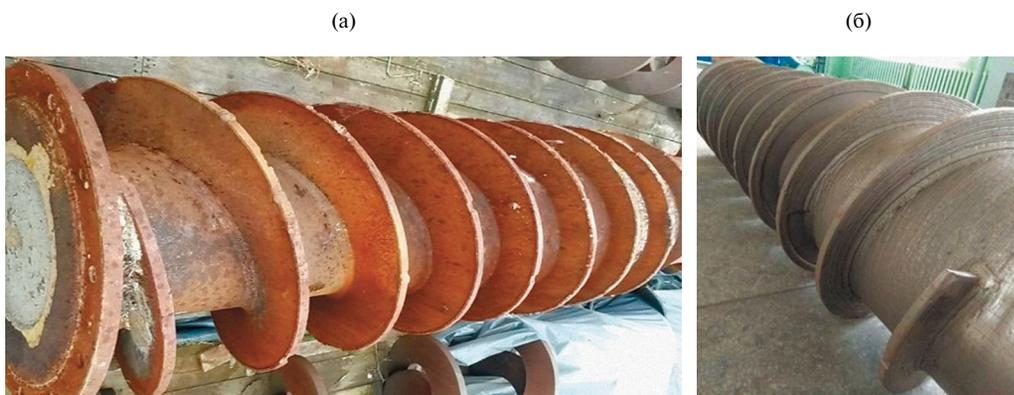


Рис. 2. Состояние шнекового вала: (а) – поступившего на восстановление; (б) – после очистки и дробеструйной обработки.

При применении автоматизированных измерительных инструментов форма изделия преобразуется в математическую модель в виде облака точек. Далее, результаты 3D-сканирования передаются в виде файлов фасетной 3D-модели в форматах STL, OBJ, ASCII и др. в систему автоматизированного проектирования CAD – для дальнейшей разработки, CAE – для инженерного анализа и CAM – для автоматизированного производства [1–3].

Реверс-инжиниринг в условиях импортозамещения активно применяется при производстве и восстановлении деталей [4–6].

Рассмотрим применение реверс-инжиниринга на примере восстановления крупногабаритного шнекового вала фильтр-пресса сброженного субстрата немецкого производителя Bellmer Kufferath (рис. 2а). Витки шнека в зоне давления подвержены интенсивному абразивному износу из-за содержания в исходном материале большого количества песка, камней, стекла и т.д.

Для шнекового вала разработан порядок восстановления, использующий принципы реверс-инжиниринга.



Рис. 3. Процесс сканирования пространственной геометрии шнекового вала с помощью лазерного сканера ModelMaker MMD×100.

1. Изучение объекта, условий и принципов работы, исследования процесса изнашивания шнекового вала. При исследовании рабочих процессов шнекового пресса установлено, что при достижении кривизны центральной цилиндрической поверхности или износа витков шнекового вала свыше 5 мм на сторону требуется выполнение капитального ремонта изделия, так как дальнейшая эксплуатация пресса не целесообразна в связи со значительным снижением его пропускной способности [7–10]. Установлено, что на пропускную способность пресса также влияет состояние упрочняющего покрытия и целостность последних наиболее нагруженных витков шнекового вала.

2. Демонтаж и транспортировка шнекового вала на ремонтный участок. Сначала проводится очистка и подготовка поверхности детали (включая дробеструйную обработку) для диагностических измерений и контроля пространственной геометрии (рис. 2б). С помощью проведенных металлографических исследований и химического анализа устанавливаются материалы основы и химический состав нанесенного упрочняющего покрытия.

3. Разработка и изготовление вспомогательной оснастки для измерений, позволяющих осуществлять свободный доступ оператора и сканера, а также выполнять жесткую фиксацию сканируемого объекта по отношению к базе координатно-измерительной руки. Проводится сканирование пространственной геометрии шнекового вала с помощью лазерного сканера ModelMaker MMD×100 установленного на координатно-измерительной руке Nikon Metrology MCA×40+ (рис. 3).

Далее полученные данные обрабатываются в программе Focus 10 Handheld, где удаляются лишние элементы, оптимизируются размеры, проверяется точность сшивки отсканированных поверхностей. В результате получают STL-модели шнекового вала (рис. 4).

4. Исследование степени износа и дефектов, обработка полученных данных (STL-модели сканера) и определение кривизны цилиндрической части шнекового вала. Для определения кривизны центральной цилиндрической поверхности шнекового вала в программе Focus 10 Handheld строятся цветные карты отклонений центрального диаметра цилиндрической (без учета витков) поверхности от номинального (рис. 5).

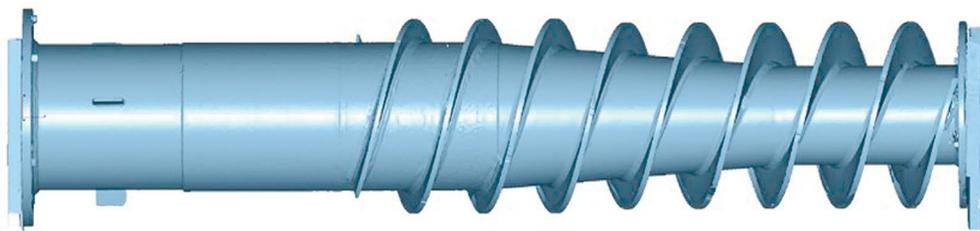


Рис. 4. STL-модель поверхности шнекового вала, обработанного в программе Focus 10 Handheld.

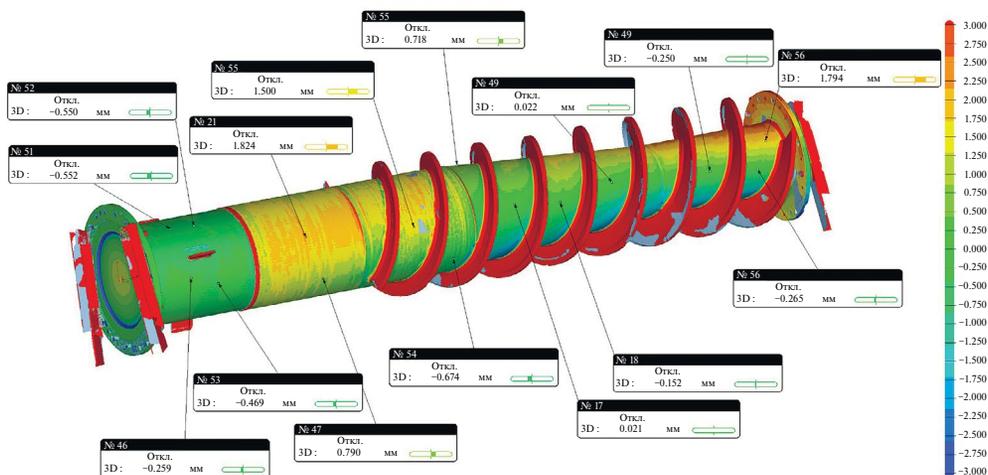


Рис. 5. Цветовая карт отклонений цилиндрических поверхностей отсканированной STL-модели относительно номинальной.

При отклонении цилиндрической поверхности более чем 5 мм на сторону требуется правка проблемных участков на специально разработанном приспособлении с помощью гидравлических домкратов.

5. Разработка технологии послойного восстановления ферропорошками и проволоками с применением электрофизических источников энергии и необходимой для этой цели оснастки. Для этого проводится: срезание оставшегося упрочняющего покрытия ручной плазменной резкой на специально разработанном приспособлении, правка посадочных (базовых) поверхностей и обработка витков шнека после плазменной резки для последующей наплавки проволоки. Наплавка проволокой Нп-30 и последующая токарная обработка осуществляется на универсальном токарно-винторезном станке ДИП-500. Электромагнитная наплавка порошка ферротитана с последующим шлифованием – на токарно-винторезном станке ДИП-500 с помощью специально разработанной оснастки.

6. Очистка поверхности шнекового вала после процесса упрочнения.

7. Визуальный контроль качества выполненных работ. Проводится контроль твердости с шагом 100 мм упрочненной поверхности витков (твердость покрытия должна находиться в пределах 60–62 HRC). Измерение восстановленной геометрии витков шнекового вала проходит с помощью лазерного сканера ModelMaker MMD×100

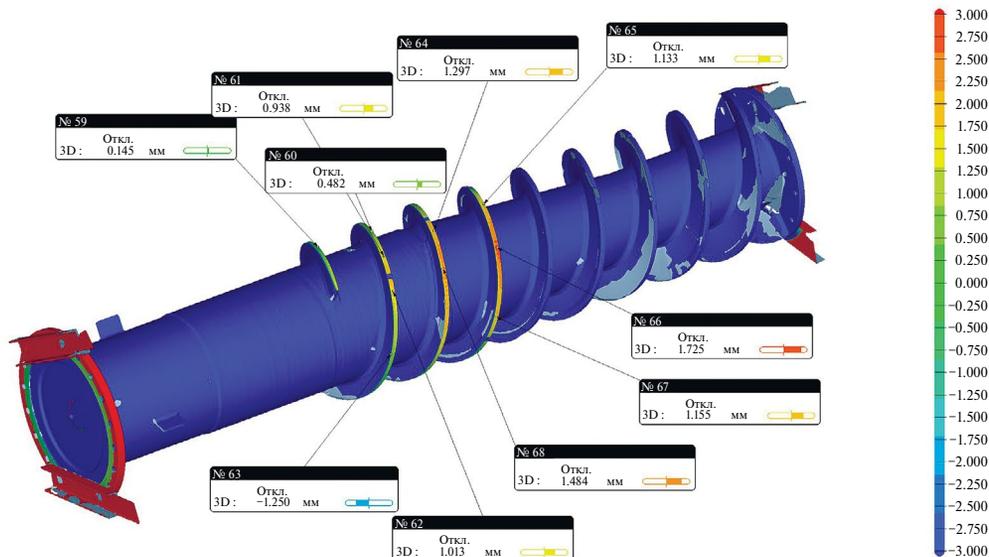


Рис. 6. Цветовая карта отклонений поверхностей витков STL-модели относительно поверхности базового цилиндра диаметром 627 мм.

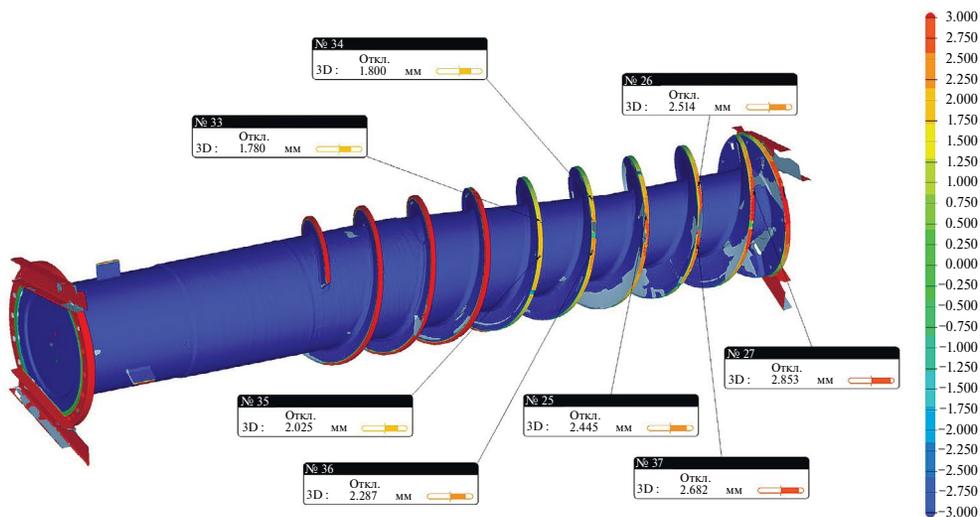


Рис. 7. Цветовая карта отклонений поверхностей витков STL-модели относительно поверхности базового цилиндра диаметром 601 мм.

установленного на координатно-измерительной руке Nikon Metrology MCA×40+. При построении в программе Focus 10 Handheld цветовой карты отклонений от номинального размера сначала сравнивается отклонение витков диаметром 627 мм (рис. 6), а затем витков диаметром 601 мм (рис. 7).

8. Обезжиривание поверхности и покрытие коррозионностойким грунтом. Отгрузка потребителю.

Вывод. Применение принципов реверс-инжиниринга к производству и восстановлению уникальных крупногабаритных изделий сложной геометрии с применением электрофизических источников энергии при наплавке порошков и проволок дает возможность не только обеспечить нужные геометрические характеристики поверхности при восстановлении, но и повысить физико-механические свойства материала поверхностного слоя при упрочнении. Стоимость восстановления шнекового вала прессы в два раза ниже, чем изготовление нового при одинаковом ресурсе в заданных условиях их эксплуатации.

Финансирование. Данная работа выполнялась в инициативном порядке за счет средств участников проекта Евразийской технологической платформы “Технологии технического обслуживания и ремонта промышленного оборудования” Департамента промышленной политики Евразийской экономической комиссии. Финансировались предприятиями – заказчиками работ только ремонт и восстановление шнековых валов различных прессов. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Announcing Solid Edge Reverse Engineering Beta.
<https://blogs.sw.siemens.com/solidedge/announcing-solid-edge-reverse-engineering-beta/>
2. Reverse Engineering.
<https://depusa.com/solutions/services/product-development-services/reverse-engineering/>
3. Реверс-инжиниринг на производстве при помощи 3D-сканирования.
https://blog.iqb.ru/reverse-engineering-3d-scanning/?utm_source=3dtoday
4. What Is Reverse Engineering and How Does It Work?
<https://karpagamtech.ac.in/reverse-engineering-jayaganesh-subburaj/>
5. Learn About What is Reverse Engineering and Its Benefits.
<https://note.com/bhwana/n/n14b3a9b32eb5>
6. Хейфец М. Л., Крутько В. С., Грецкий Н. Л. Проектирование технологических процессов и оборудования, использующих поля и потоки энергии на основе анализа критериев подобия // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2021. Т. 65. № 5. С. 628.
7. Власов В. М. Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей. М.: Машиностроение, 1987. 304 с.
8. Сулов А. Г., Улашкин А. П. Выбор упрочняюще-отделочных методов обработки для повышения износостойкости деталей машин // Справочник. Инженерный журнал. 1998. № 7. С. 15.
9. Шоршоров М. Х., Кудинов В. В., Харламов Ю. А. Состояние и перспективы развития нанесения покрытий распылением // Физика и химия обработки материалов. 1977. № 5. С. 13.
10. Харламов Ю. А. Классификация видов взаимодействия частиц с подложкой при нанесении покрытий // Порошковая металлургия. 1988. № 1. С. 18.