

выбирать системы числового программного управления и проектировать комплекс технологического оборудования как мехатронную систему. Рассматривая комплекс технологического оборудования с позиций компьютеризации производственной деятельности, его модули, узлы и детали следует проектировать как устройства компьютерной периферии, построенные по той же архитектуре, что и ЭВМ.

Анализ процессов производства деталей без использования формообразующей оснастки (3D-печати), в зависимости от агрегатного состояния исходного материала, размерности потоков формообразующей среды и последовательности технологических операций, позволяет в виде структурной диаграммы связей описывать совокупность методов «выращивания» изделий.

Структурная диаграмма связей представляет собой направленный замкнутый граф и описывает автомат с конечным числом состояний. Вершины графа изображают процессы создания деталей без формообразующей оснастки и представляют логические операции: трансляцию информации; движение потоков вещества и энергии; запуск и остановку автоматического цикла.

Описание алгоритмами в соответствии с терминами логических операций процессов 3D-печати по структурной диаграмме связей дает возможность анализировать существующие и разрабатывать новые методы прямого «выращивания» изделий.

Анализ стадий и этапов проектирования технологического оборудования и мировых тенденций развития технологических комплексов показывает, что в Республике Беларусь станкостроение за последние 30 лет не развивалось должными темпами (утраченными после 80-х гг. прошлого века), а ставка делалась на приобретение зарубежных образцов оборудования ведущих фирм или станков и средств оснащения дешевого массового производства. В этой связи научное сопровождение отечественного станкостроения и оснащения оборудования ЧПУ становится крайне необходимым и носит как фундаментальный, так и поисковый характер. Такие вопросы под силу решать только совместными усилиями академической, отраслевой и вузовской науки.

Л и т е р а т у р а

1. Теоретические основы проектирования технологических комплексов / А. М. Русецкий [и др.] ; под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 239 с.
2. Ящерицын, П. И. Основы проектирования технологических комплексов в машиностроении : монография / П. И. Ящерицын, Л. М. Акулович, М. Л. Хейфиц. – Минск : Технопринт, 2006. – 248 с.

УДК 621:681.51

РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ В ПРОИЗВОДСТВЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

П. А. Витязь¹, М. Л. Хейфец², Н. Л. Грецкий^{2,3}, Д. Н. Хилько³

¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

²Институт прикладной физики НАН Беларуси, г. Минск

³ООО «ШТРАБАГ Инжиниринг Центр», г. Минск, Республика Беларусь

В настоящее время под термином «реверс инжиниринг» или «обратное проектирование» в машиностроении по большей части понимают процесс получения цифровой 3D-модели изделия, конструкторской документации или физического объекта с использованием 3D-сканеров, автоматизированных систем проектирования (CAD/CAM/CAE) и 3D-принтеров. Реверс-инжиниринг изделий с простой геометрией можно выполнять,

используя и традиционные методы измерения, применяя ручные измерительные инструменты (штангенциркуль и т. д.), и на основании полученных измерений строить 3D-модели и разрабатывать конструкторскую документацию, но при работе с крупногабаритными изделиями, процесс измерения занимает много времени. Поэтому при работе с такими изделиями применяют автоматизированные инструменты, такие как оптические и лазерные сканеры, координатно-измерительные машины и т. д.

Рассмотрим его применение на примере восстановления крупногабаритного шнекового вала фильтр-пресса сброженного субстрата немецкого производителя Bellmer Kufferath, 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:

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 и (или) износа витков шнекового вала свыше 5 мм на сторону требуется выполнение капитального ремонта изделия, так как дальнейшая эксплуатация пресса нецелесообразна в связи со значительным снижением его пропускной способности. 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.* Очистка и подготовка поверхности детали (включая дробеструйную обработку) для диагностических измерений и контроля пространственной геометрии. 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. Сканирование пространственной геометрии шнекового вала с помощью лазерного сканера ModelMaker MMDx100, установленного на координатно-измерительной руке Nikon Metrology MCAx40+. Обработка полученных данных в программе Focus 10 Handheld: удаление лишних элементов, оптимизация размера, проверка точности сшивки отсканированных поверхностей и получение STL-модели шнекового вала.

4. *Исследования 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 цветовые карты отклонений центрального диаметра цилиндрической (без учета витков) поверхности от номинального. 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.* Срезание оставшегося упрочняющего покрытия ручной плазменной резкой на специально разработанном приспособлении. Правка посадочных (базовых) поверхностей и обработка витков шнека после плазменной резки для после-

дующей наплавки проволоки. Наплавка проволокой Нп-30 и последующая токарная обработка 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.* Контроль твердости с шагом 100 мм упрочненной поверхности витков (твердость покрытия должна находиться в пределах 60–62 HRC). Измерение восстановленной геометрии витков шнекового вала с помощью лазерного сканера ModelMaker MMDx100, установленного на координатно-измерительной руке Nikon Metrology MСAx40+. При построении в программе Focus 10 Handheld цветовой карты отклонений от номинального размера сначала сравнивается отклонение витков диаметром 627 мм, а затем – витков диаметром 601 мм (рис. 1).

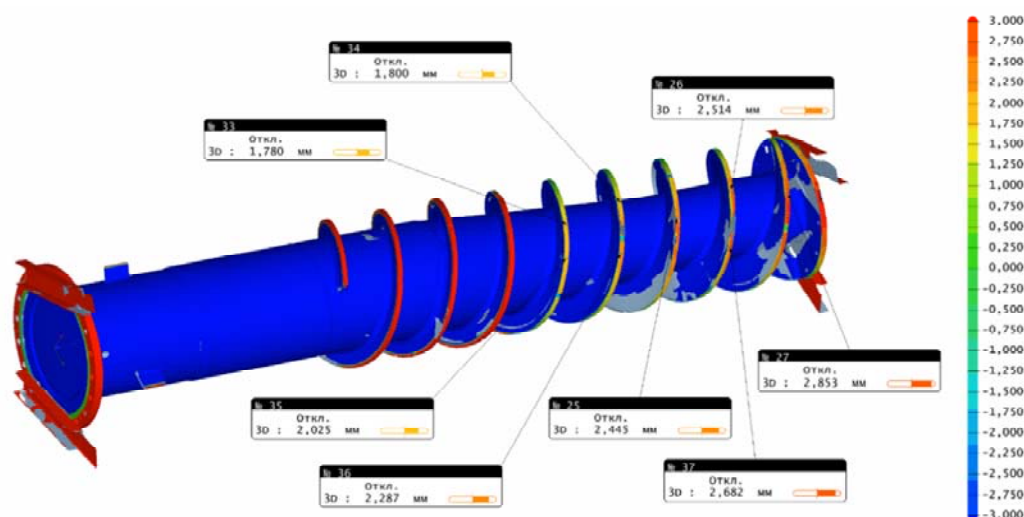


Рис. 1. Цветовые карты отклонений поверхностей витков STL-модели относительно поверхности базового цилиндра диаметром 601 мм

8. *Обезжиривание поверхности и покрытие коррозионно-стойким грунтом. Отгрузка потребителю.*

Таким образом, 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 одинаковой длительности условий эксплуатации.

Литература

1. Технологические аспекты конверсии машиностроительного производства / А. С. Васильев [и др.]. – Тула : ТулГУ, 2003. – 271 с.