

ОБРАТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗУБЧАТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

Тихонов П.И., Лукин Р.С.

Научный руководитель – канд. техн. наук Вавилов Д.В.

Сибирский федеральный университет

Одной из актуальных задач синтеза зубчатой передачи, при проведении ремонтных работ существующего оборудования, является определение ее геометрических параметров для замены вышедшей из строя детали. Существующие методы синтеза геометрии и основных параметров зубчатых передач стандартизированы, тем не менее, зачастую:

- неизвестны параметры сопряженного колеса, и передачи в целом;
- отсутствуют специальные инструменты для измерения зубчатых колёс;
- образец может иметь сильный износ, затрудняющий измерения;
- колесо может иметь иностранное происхождение и, возможно, выполнено по неизвестным стандартам.

Процесс восстановления параметров зубчатого колеса по имеющейся детали называется обратным проектированием (reverse engineering). Для зубчатых передач данный процесс предполагает достаточно трудоемкие замеры и вычисления при высоких требованиях к точности исполнения детали. При этом измерительное оборудование имеет высокую стоимость и требует высокой квалификации обслуживающего персонала.

В последнее время в отечественной малой и средней промышленности получили широкое распространение универсальные технологии по созданию изделий сложной формы. Это обрабатывающие центры с ЧПУ с комплексом программного обеспечения, для быстрого создания оптимальных управляющих программ. Станки для 3D печати, использующие различные технологии быстрого прототипирования. Наиболее распространенный метод 3D-печати на сегодняшний день - это процесс послойного создания (наращивания) твердого объемного объекта путем нанесения слоев материала или спекания высокотемпературным лазером. Основным материалом для печати на 3D принтере является АБС-пластик. АБС-пластик – техническая смола, которая обладает следующим набором преимуществ по сравнению с другими видами пластика: повышенная ударпрочность и эластичность; нетоксичность; долговечность; стойкость к щелочам и моющим средствам; влагостойкость; маслостойкость; кислотостойкость; теплостойкость до 103 °С; широкий диапазон эксплуатационных температур (от –40 °С до +90 °С).

Условно обратное проектирование для зубчатой передачи (если исходный контур является стандартным и выполнен по ГОСТ 13755-81 или ГОСТ 9587-81) в классическом представлении можно разделить на четыре этапа:

1. Обработка детали: чистка от смазки и грязи, выбор измерительных поверхностей без следов значительных пластических деформаций, выкрашивания и износа, необходимые замеры (подсчет количества зубьев, измерения диаметра вершин, впадин, длины общей нормали, замер по роликам и т.д.).
2. Произведение расчетов с получением значений модуля, коэффициента смещения, высоты головки зуба. Учет поправок на износ и дополнительное смещение колеса E_{Ns} .
3. Замеры остальных конструктивных размеров детали (ширина венца, посадочный диаметр, и т.д.) и внесение незначительных конструктивных

изменений с целью устранения недостатков предыдущей конструкции и повышения технологичности изделия. Создание конструкторской документации на деталь, разработка технологического процесса.

4. Производство шестерни: создание заготовки, нарезание зубьев на зубодолбежных и зубофрезерных станках.

В данной схеме наиболее трудоемкими являются 1 и 4 этапы (2 и 3 достаточно формализованы и как следствие легко автоматизируются) вследствие влияния большого количества факторов: отсутствия оборудования, инструмента, квалифицированного персонала. Однако при современном развитии станочного парка, вычислительной техники и техники для получения цифровых изображений, а также низкая себестоимость производства изделий с помощью современных методов, создаются предпосылки для модификации первого и последнего этапа.

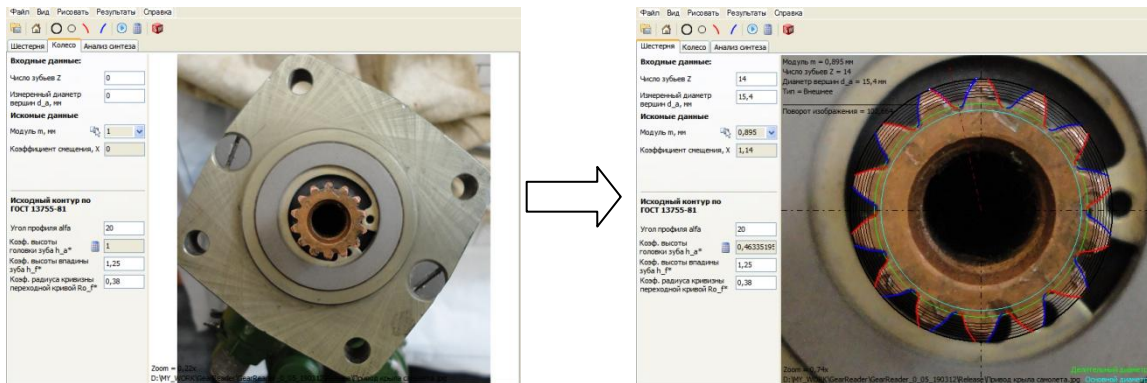


Рисунок 1 – Анализ выходной вал-шестерни привода поворота крыла самолета

На первом этапе необходимо получить цифровое изображение торцевой поверхности колеса, измерить наружный диаметр колеса, посчитать количество зубьев. Далее загрузив изображение в специальное программное обеспечение, приступаем к процессу распознавания (рисунок 1). Предварительно необходимо провести концентричные окружности, на которых будут находиться точки эвольвенты боковой поверхности впадины зуба (левой и правой части). После ввода диаметра вершин колеса, который необходим для оценки масштабного фактора изображения и расчета модуля, необходимо аккуратно очертить профили любой впадины колеса с левой и правой стороны. По введенным данным программа подберет коэффициент смещения и модуль колеса, который необходимо сопоставить с рядом стандартных модулей (ГОСТ 9563-60). В случае сильного отклонения от значений стандартного модуля необходимо провести замеры для другой впадины зуба и сопоставить с предыдущими полученными результатами. Подбор значений параметров производится с помощью максимизации значения целевой функции на заранее определенном поле значений модуля и коэффициента смещения. Условно целевую функцию по подбору параметров зубчатой передачи можно записать в виде:

$$R = e^{-\frac{\sum_{i=1}^n (\varphi_{e\check{c}ii} - \varphi_i)^2}{n}}$$

где $\varphi_{e\check{c}ii} = \text{Arc tan}\left(\frac{y_{e\check{c}ii}}{x_{e\check{c}ii}}\right)$, $\varphi_i = \text{Arc tan}\left(\frac{y_{ei}}{x_{ei}}\right)$, где $x_{e\check{c}ii}$ и $y_{e\check{c}ii}$ - координаты

профиля зуба очерченные по профилю зуба на изображении; x_{ei} и y_{ei} - координаты профиля зуба полученные по уравнениям огибающих эвольвентного профиля зуба.

Целевая функция принимает значения $0 < R \leq 1$, при этом 1 означает полное совпадение расчетного и измеренного профиля.

В процессе ремонтных работ (при замене материала шестерни со стали на пластик) необходимо провести дополнительные проверочные расчеты на контактную и изгибную прочность новой шестерни, а также учитывать дополнительное смещение создаваемой модели для обеспечения гарантированного бокового зазора, вследствие худшей теплопроводности пластмассовых изделий по сравнению с металлическими материалами.

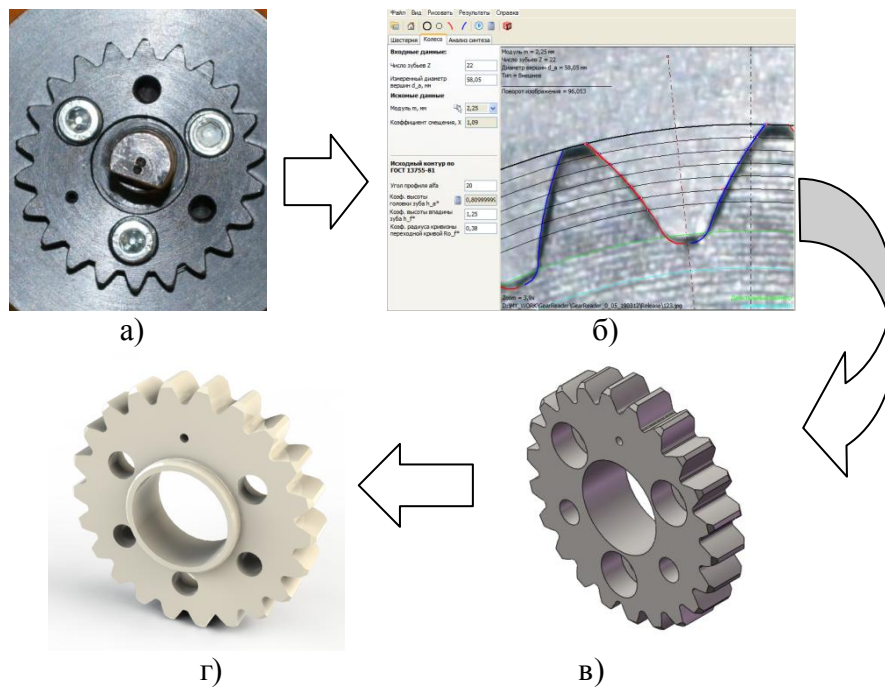


Рисунок 2 – Условная схема обратного проектирования зубчатой передачи: а – фотография металлической шестерни; б – анализ фотографии ($m = 2,25$; $X = 1,09$); в – 3D модель; г – напечатанное готовое изделие.

По полученным параметрам создается модель с очерченными впадинами зубьев. На этой модели вводятся основные конструктивные элементы (посадочные отверстия, фаски, утонения) и в зависимости от способа дальнейшего производства составляется конструкторская документация (чертежи) или в случае использования технологии быстрого прототипирования модель экспортируется в универсальный 3D формат (iges, step или stl) и далее загружается в программное обеспечение станка для дальнейшей печати. Далее осуществляется обкатка рабочей пары при соблюдении специальных режимов нагрузки для достижения приработки рабочих поверхностей передач.

В целом стоит отметить, что предложенная методика обратного проектирования зубчатых передач может найти применение как в ремонтном деле, при восстановлении шестерен зубчатых пар, так и для анализа параметров передачи изготовленных не по Российским стандартам в целях импортозамещения узлов и агрегатов импортных устройств. При этом не требуется наличия дорогого специализированного оборудования, и анализ изделия может проводиться на «месте», в некоторых случаях не требуется разборки конструкции, что особенно критично при традиционных способах обратного проектирования зубчатых передач.