

УДК 621.831; 621.92

В. В. Кравцов*Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье*

ВЛИЯНИЕ ШЛИФОВАЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ НА ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЦЕПЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ГЛАВНЫХ ВЕРТОЛЕТНЫХ РЕДУКТОРОВ

В работе, на основе результатов экспериментальных исследований, показано влияние шлифовальной операции на точность изготовления зубчатых колес главных вертолетных редукторов из стали 16X2H4BA-Ш.

Ключевые слова: *зубчатые колеса, эвольвентограммы, экспериментальные данные.*

Введение

Высокая точность изготовления зубчатых колес главных вертолетных редукторов (ГВР), наряду с обеспечением высокого качества химико-термической обработки (ХТО), являются необходимыми условиями их высокой работоспособности.

Современное оборудование для нарезания зубчатых колес обеспечивает точность обработки по 3–4 степени. Однако, ХТО вследствие неоднократных нагревов и охлаждений вызывает существенную деформацию зубчатых колес. Под влиянием термических и структурных напряжений изменяются: толщина зубьев, диаметральные и осевые размеры колес, профиль и направление зубьев. Как показывает практика, точность зубчатых колес после цементации и закалки снижается на 2–3 степени.

Восстановление точности – трудная технологическая задача, поскольку для устранения геометрических погрешностей приходится удалять поверхностный слой значительной толщины (0,15–0,25 мм со стороны зуба). При этом из-за погрешностей, вызванных ХТО, удаление поверхностного слоя происходит неравномерно. Это приводит к удалению более твердого и работоспособного поверхностного слоя с профилей зубьев и снижает эффективность ХТО. Кроме того, температурное и силовое воздействия на шлифуемую поверхность могут привести к образованию трещин и прижогов в хрупком слое. Восстановление точности достигается зубошлифованием. На сегодняшний день зубошлифование – это наиболее точный процесс механической обработки рабочих поверхностей зубьев, имеющих твердость HRC > 50. В производстве зубчатых колес ГВР зубошлифование является основной финишной операцией зубообработки, на которой формируются окончательная геометрия и точность элементов зацепления. Так как эта опера-

ция выполняется после упрочняющей ХТО, то от качества ее выполнения зависит контактная и изгибная выносливость зубьев, надежность и ресурс работы передач в целом. Операция шлифования выполняется на специализированных шлифовальных станках, технологические возможности которых должны обеспечивать:

- высокую точность и производительность обработки;
- шероховатость поверхности не выше $R_a = 0,6$ мкм;
- гибкость в переналадке для обеспечения обработки большой номенклатуры зубчатых колес;
- обработку многовенцовых колес с заданным взаимным расположением зубьев;
- высокое качество поверхностного слоя, отсутствие шлифовочных дефектов;
- выполнение всех видов модификаций поверхностей зубьев [1].

Цель работы – оценка влияния шлифовальной операции на точность изготовления элементов зацепления зубчатых колес ГВР.

Объект исследования

В качестве объекта исследования приняты цилиндрические колеса зубчатые главного вертолетного редуктора ВР-14 (рис. 1) из стали 16X2H4BA-Ш.



Рис. 1. Колесо зубчатое из стали 16X2H4BA-Ш

Методика проведения исследований

Шлифовальная операция выполняется на профишлифовальном станке Gleason-PFAUTER P 600/800 G (рис. 2).



Рис. 2. Профишлифовальный станок Gleason-PFAUTER P 600/800 G

Инструмент – шлифовальный круг 300/272x20/4x127, ЕKW70/80Н/1-10V10, профиль E (60°). Скорость вращения шлифовального круга $V = 30...35$ м/с. Глубина черного прохода $t = 0,05$ мм, чистового – $t = 0,02$ мм. Эффективная подача $S = 2700$ мм/мин. Охлаждение – Castrol Varicut.

Для контроля биения и отклонения направления зуба используется измерительная машина GLEASON 1000 GMS (рис. 3).



Рис. 3. Измерительная машина GLEASON 1000 GMS

Система контроля зубчатых колес GAMA GLEASON 1000 GMS – это полноценная метрологическая система, использующая автоматизированную технологию трехмерного датчика, образующего комбинированное движение по че-

тырем или пяти осям, для проверки параметров широкого ряда зубчатых колес.

Программа контроля зубчатых колес GAMA предоставляет рабочие инструменты, необходимые для:

- ввода и хранения параметров детали;
- выбора параметров контроля вида анализа данных;
- запуска и контроля автоматической проверки зубчатого колеса;
- автоматического построения графиков и цифрового анализа данных контроля [2].

Результаты исследований и их обсуждение

В процессе работы главных вертолетных редукторов базовые торцы зубчатых колес подвергаются контактному нагружению, что приводит к износу поверхности зуба и, соответственно, изменению его геометрии.

С целью восстановления геометрии зубчатых колес проводят операцию шлифовки (шлифовка фасок посадочных мест, диаметров шеек, торцов и профиля зуба).

На измерительной машине GLEASON 1000 GMS выполнены измерения партии зубчатых колес и получены кривые эвольвенты, а также хода линии зуба до (рис. 4) и после (рис. 5) шлифования. На верхнем графике изображены кривые хода линии зуба. На нижнем – кривые эвольвенты. Измерялись 1, 8, 15 и 22-й зубья зубчатого колеса.

Кривые хода линии зуба (см. рис. 4). Измерения проводились по линии делительной окружности. Зелеными горизонтальными линиями обозначена граница измерений (значения от 4,75 до 42,76 мм). Численная величина 8,5 мкм (допуск на ход линии зуба) задана технологическим процессом. Полученные результаты измерений (расположенные ниже диаграммы) показывают превышение параметра F_v (значения 20,3; 16,5; 8,7; 22,9; 16,8 мкм) относительно заданного допуска 8,5 мкм. Значение m – среднее значение погрешности.

Анализируя диаграмму и числовые значения $V_{\beta f}$ (в идеальных условиях значение угла $V_{\beta f}$ стремится к нулю, т.е. должна соблюдаться перпендикулярность) можно утверждать, что линия зуба не перпендикулярна базовому торцу. Таким образом, становится ясно, что на зубчатом колесе есть выработка по ходу линии зуба.

Кривые эвольвенты (см. рис. 4). На нижней диаграмме зелеными горизонтальными линиями обозначена граница измерений зуба. Численная величина 36 мкм (погрешность профиля зуба по фланку) задана технологическим процессом. Эвольвента выдерживается от диаметра окружности нижних точек активного профиля (164,52 мм) до наружного диаметра (185,4 мм).

Вертикальными линиями синего цвета обозначены допустимые граничные значения эвольвенты (заданы ТТ чертежа и составляют 0,0055 мм). После излома эти линии показывают допуск погрешности профиля зуба по фланку (заданы ТТ чертежа и составляют 0,001 мм).

Полученные результаты измерений (расположенные ниже диаграммы) показывают превышение суммарной погрешности эвольвенты F_{β} (значения 38,3; 38,8 мкм) относительно заданного допуска 36 мкм. Значение m – среднее значение погрешности.

На диаграмме, полученной после операции шлифования (см. рис. 5), видно, что кривые хода линии зуба и эвольвенты не превышают максимально допустимой погрешности.

Значения кривых хода линии зуба и эвольвенты представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Выводы

Проведенные исследования показали, что после выполнения шлифовальной операции точность изготовления элементов зацепления зубчатых колес ГВР повысилась, а именно:

- суммарная погрешность на ход линии наклона зуба F_{β} уменьшилась на 77,3%;
- угол fH_{β} уменьшился на 85,77%;
- расстояние между наиболее высокой и наиболее низкой точками кривой на участке проведения анализа ff_{β} уменьшилось на 55,14%;
- угол fH_{β} уменьшился на 23,14%;
- суммарная погрешность эвольвенты F_{β} уменьшилась на 26,61%;
- расстояние между наиболее высокой и наиболее низкой точками кривой на участке проведения анализа ff_{β} уменьшилось на 24,74%;
- отклонение профиля $V_{\beta f}$ уменьшилось на 65,75%.

Список литературы

1. Производство зубчатых колес газотурбинных двигателей: произв.-практ. издание / Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов, И.П. Нежурин [и др.]; под ред. Ю. С. Елисеева. – М.: Высш. шк., 2001. – 493 с.
2. Руководство по программному обеспечению. Система контроля зубчатых колес GAMA. Версия GAMA2.0. Gleason. The TotalGear Solutions Provider. Январь 2011.

Поступила в редакцию 12.05.2017

Таблица 1 – Допуски на погрешность хода линии зуба

Допуск эвольвенты	Описание
Суммарная погрешность (отклонение) на ход (подъем) линии наклона зуба F_{β} ($V_{\beta f}$)	Расстояние между наиболее высокой и наиболее низкой точками кривой на участке проведения анализа, измеренное в перпендикулярной плоскости к линии нулевого отклонения.
Угол fH_{β}	Плюсовое или минусовое отклонение линии подгонки, или кривой, обеспечивающей наилучшее соответствие на участке проведения анализа, измеренное от точки анализа перпендикулярно к линии нулевого отклонения.
Форма ff_{β}	Расстояние между наиболее высокой и наиболее низкой точками кривой на участке проведения анализа, измеренное от линии подгонки, или кривой, обеспечивающей наилучшее соответствие.
Средний угол $fH_{\beta m}$	Среднее значение всех угловых погрешностей.

Таблица 2 – Допуски на погрешность эвольвенты

Допуск эвольвенты	Описание
Суммарная погрешность эвольвенты (профиля) F_{α}	Расстояние между верхней линией подгонки (которая смещается вниз до контакта с наивысшей точкой кривой) и нижней линией подгонки (которая смещается вниз до контакта с низшей точкой кривой).
Угол fH_{α}	Максимальная погрешность наклона оптимальной линии наименьших квадратов для зуба в сравнении с номинальным значением.
Средний угол $fH_{\alpha m}$	Среднее значение угловых погрешностей всех кривых для каждой боковой поверхности зуба.
Форма ff_{α}	Расстояние между наиболее высокой и наиболее низкой точками кривой на участке проведения анализа (измеренное от линии подгонки или от кривой).
Отклонение профиля $V_{\alpha f}$	Разница между минимальной и максимальной угловой погрешностью на каждой боковой погрешности зуба.

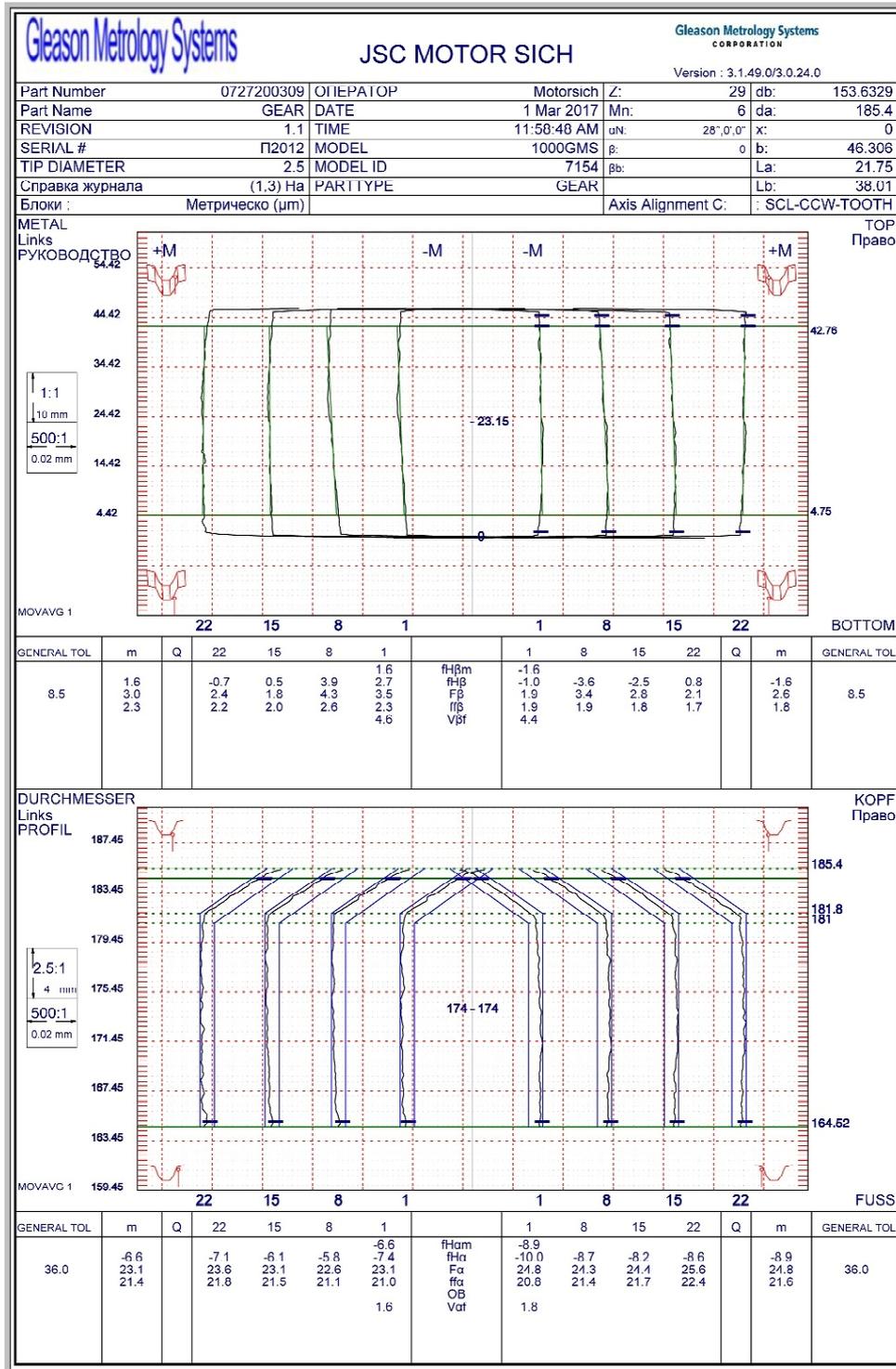


Рис. 5. Кривые эвольвенты и хода линии зуба после операции зубошлифования

Кравцов В.В. Вплив шліфувальної операції на точність виготовлення елементів зачеплення зубчатих коліс головних вертолітних редукторів

В роботі, на основі результатів експериментальних досліджень, показано вплив шліфувальної операції на точність виготовлення зубчатих коліс головних вертолітних редукторів із сталі 16Х2Н4ВА-Ш.

Ключові слова: *зубчаті колеса, евольвентограми, експериментальні дані.*

Kravtsov V. Influence of abrasive action on the accuracy manufacture of gears mesh elements of helicopter main gearboxes

Based on the results of experimental research, influence of abrasive action on the accuracy manufacture of gears mesh elements of helicopter main gearboxes from steel 16H2N4VA-Sh was shown in the work.

Key words: *gear wheel, involute curve, experimental data.*