

РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА УЗЛОВ ГИРОПРИБОРОВ

О. С. ЮЛЬМЕТОВА¹, С. Д. ТРЕТЬЯКОВ², В. А. ВАЛЕТОВ², А. Г. ЩЕРБАК¹

¹ОАО Концерн ЦНИИ „Электроприбор“, 197046, Санкт-Петербург, Россия

²Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: valetov.v@mail.ru

Представлены методики экспериментальных исследований влияния шероховатости поверхностей деталей на конкретные эксплуатационные свойства гироскопа. Использование графических критериев оценки шероховатостей позволяет применять результаты экспериментов при изготовлении серийной продукции.

Ключевые слова: контрастность, шероховатость, непараметрические критерии.

Введение. В ряде случаев шероховатость поверхности влияет на функциональные свойства изделия, в частности, сплошного ротора бескарданного электростатического гироскопа (рис. 1).

Ротор, как видно из рисунка, представляет собой доведенную сферическую поверхность, на которую методом электрохимического травления наносится рисунок из восьми темных полос — растров [1, 2]. Опыт эксплуатации такого прибора позволяет выдвинуть предположение о влиянии шероховатости как базовой поверхности, так и поверхности рисунка, на оптические и динамические свойства ротора.



Рис. 1

Оптические свойства ротора зависят от значения коэффициента контрастности рисунка, обеспечивающего функционирование оптоэлектронной системы съема информации гироскопа. Динамические характеристики ротора определяются его допустимым дисбалансом — смещением центра масс относительно геометрического центра ротора.

В ходе работы гироскопа математическая обработка пространственной карты отражений светового сигнала, посылаемого датчиком на поверхность вращающегося ротора, позволяет получать данные об отклонении оси вращения (прецессии) ротора относительно корпуса прибора, поэтому контрастность и дисбаланс ротора так важны.

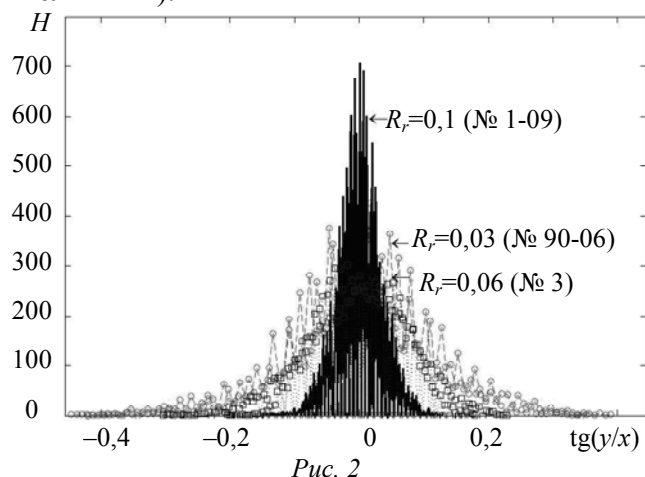
Однако проверка предположения о влиянии шероховатости на оптические и динамические характеристики ротора требует разработки определенных методик.

Методика экспериментальных исследований влияния шероховатости на оптические свойства ротора. Наиболее информативным способом описания шероховатости при оценке ее влияния на любые функциональные свойства поверхности, согласно [3], является использование графических изображений плотности распределения ординат и тангенсов углов наклона профилей. На отражательную способность поверхности наиболее существенно должны влиять углы наклона профилей, поэтому в качестве критерия оценки влияния шероховатости на оптические свойства поверхности используем графики плотности распределения тангенсов углов наклона профилей. Измерительная станция Hommel Tester T8000 позволяет строить графики некоторых функций, которые можно использовать для контроля и оценки шероховатости. Измерение оптических коэффициентов отражения поверхности обеспечивает микроскоп-спектрофотометр МСФУ-К.

Методика оценки влияния шероховатости на оптические свойства включает следующие этапы:

- 1) подготовка роторов, изготовленных по стандартной технологии;
- 2) измерение коэффициента отражения базовой поверхности R_b ;
- 3) измерение коэффициента отражения поверхности раstra R_r ;
- 4) измерение и построение плотностей распределения тангенсов углов наклона для доведенной поверхности ротора;
- 5) измерение и построение плотностей распределения тангенсов углов наклона для поверхности растров;
- 6) оценка корреляции плотностей распределения тангенсов углов наклона профилей с их коэффициентами отражения.

Реализация указанной методики позволила выявить, что плотности распределения тангенсов углов наклона доведенной поверхности ротора практически совпадают и коэффициенты отражения стабильно находятся в пределах от 0,40 до 0,42. На рис. 2 приведены плотности распределения тангенсов углов наклона растров роторов № 1-09, № 3 и № 90-06 (H — число тангенсов определенной величины).



Из рис. 2 видно, что коэффициенты отражения растров роторов R_r , изготовленных по заводскому технологическому процессу, варьируют в диапазоне 0,03—0,1, т.е. нестабильность значений коэффициентов контрастности обусловлена различием значений коэффициентов отражения растров R_r , полученных в ходе электрохимической операции.

Таким образом, указанная методика позволила выявить: во-первых, что разброс значений контрастности обусловлен нестабильностью электрохимической операции, а не механической доводкой; во-вторых, зависимость коэффициента отражения от графика плотности распределения тангенсов углов наклона профилей — чем меньше зона рассеяния и выше пик кривой распределения, тем больше степень отражения поверхности. Итак, корреляцию удалось выявить благодаря применению графиков плотности распределения тангенсов углов наклона профилей.

Методика экспериментальных исследований влияния шероховатости на дисбаланс ротора. Влияние шероховатости растрового рисунка на дисбаланс ротора может быть связано с асимметричностью рисунка, наносимого на его поверхность (ширина полос различается, как следствие — площадь поверхности разная). При этом особенностью электрохимического метода нанесения рисунка является необходимость обеспечения одинаковой плотности тока при получении широких и узких полос, вследствие этого электрохимические режимы травления широких и узких полос различаются. В свою очередь, разность режимов приводит к появлению разницы шероховатости на поверхности ротора, что может служить причиной изменения дисбаланса ротора.

Оценить это влияние можно с помощью методики, включающей следующие этапы:

- 1) подготовка роторов, изготовленных по стандартной технологии;
- 2) измерение коэффициентов дисбаланса после операции нанесения рисунка;
- 3) построение круглограмм в экваториальном сечении роторов и вычисление гармоник амплитудного спектра профиля;
- 4) поиск корреляции уровня дисбаланса с площадью под кривой амплитудного спектра.

Особенностью предложенной методики является применение в качестве непараметрических критериев оценки шероховатости поверхности площади под кривой амплитудного спектра профиля. Это решение находит теоретическое обоснование в том, что профиль поверхности следует рассматривать как реализацию случайной функции, полученной наложением шероховатости, волнистости и отклонения от формы, которую можно разложить в ряд Фурье. Графическая зависимость амплитуды гармоник от их частоты есть не что иное, как амплитудный спектр профиля. В полученном спектре низкочастотные гармоники содержат информацию об отклонениях формы поверхности. Падающая часть спектра несет в себе информацию о шероховатости профиля, незатухающая высокочастотная часть — о помехах [4].

Этот теоретический аспект нашел практическое применение в технологии изготовления ротора при контроле его формы. В рабочем технологическом процессе предусмотрен контроль первых гармоник: среднее значение амплитуды гармоник по четырем сечениям должно составлять не более 0,05 мкм (для второй гармоники), 0,025 мкм (для третьей), 0,015 мкм (для четвертой—шестой). Анализ и контроль остальных гармоник не осуществлялся. При этом наблюдается разброс дисбалансов роторов, изготовленных по единой технологии, в пределах 0,05—0,25 мкм.

Для оценки влияния не только формы ротора, описываемой первыми гармониками спектра, но и шероховатости поверхности, описываемой гармониками падающей части спектра (гармоники с 6-й по 208-ю), на базе предложенной методики оценки было исследовано влияние шероховатости на дисбаланс ротора.

Согласно описанной выше методике на первом этапе были проведены измерения радиальных дисбалансов для одиннадцати роторов. На втором этапе для каждого ротора был осуществлен контроль некруглости с построением круглограмм и вычислением всех амплитуд гармоник спектра на приборе Talyrond фирмы Taylor-Hobson. На третьем этапе были вычислены площади под кривыми гармонического спектра для каждого ротора. Полученные кривые зависимости дисбалансов роторов от площади гармоник спектров приведены на рис. 3 (D — диаметр ротора). Кривая 1 описывает зависимость значений коэффициентов дисбаланса от площади первых шести гармоник амплитудного спектра, нормируемых в рамках технологического процесса. Кривая 2 отражает зависимость значений дисбалансов от площади всех гармоник спектра (с 1-й по 208-ю гармоники) профилей 11 роторов.

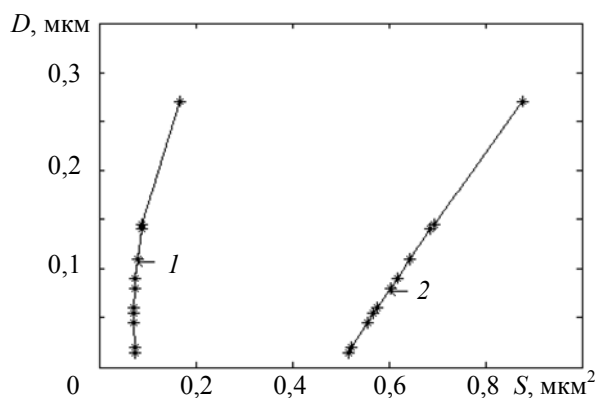


Рис. 3

Таким образом, кривая 1 отражает влияние формы ротора на дисбаланс, так как построена на базе первых гармоник амплитудного спектра профиля. Кривая 2 учитывает не только форму, но и влияние шероховатости на уровень дисбаланса, так как построена на базе всех гармоник спектра. Характер кривой 2 свидетельствует о том, что увеличение значения шероховатости (площади амплитудного спектра) ведет к увеличению дисбаланса ротора. Наряду с этим реализация описанной методики позволила выявить, что разброс дисбалансов роторов, изготовленных по единой технологии, отчасти может быть обусловлен отсутствием контроля шероховатости поверхности ротора после операции по нанесению рисунка.

Заключение. На базе непараметрических критериев оценки микрогеометрии — эмпирических плотностей распределения тангенсов углов наклона профиля и его амплитудного спектра — выявлено влияние шероховатости на коэффициент отражения и дисбаланс ротора электростатического гироскопа.

Реализация предложенных методик выявления влияния шероховатости на функциональные свойства позволила установить недостаточную управляемость существующей технологии нанесения растрового рисунка — локального электрохимического травления. Поэтому в качестве более прогрессивной технологии нанесения рисунка было предложено использовать лазерное маркирование [5].

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 14-08-31097.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев С. Н.* Исследование процессов прецизионного формообразования сферических элементов узлов гиросприборов с использованием прогрессивных методов выполнения неразъемных соединений: Дис. канд. техн. наук. СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. 146 с.
2. *Агроскин Б. Н.* и др. Сравнительная оценка электрохимического и фотохимического методов формообразования светоконтрастного рисунка на роторе бескарданного электростатического гироскопа // Гироскопия и навигация. 1996. № 3 (14).
3. *Валетов В. А., Мусалимов В. М.* Динамика фрикционного взаимодействия. СПб: ПИМаш, 2006. С. 101—168.
4. *Валетов В. А.* Оптимизация микрогеометрии поверхностей деталей в приборостроении. Л.: ЛИТМО, 1989. 100 с.
5. Патент РФ № 2498224. Способ изготовления ротора электростатического гироскопа / *О. С. Юльметова, А. Г. Щербак, Б. Е. Ландау, А. Я. Бузык, В. П. Вейко, В. А. Валетов.* 10.11.2013.

Сведения об авторах

- Ольга Сергеевна Юльметова** — канд. техн. наук; ОАО Концерн ЦНИИ „Электроприбор“; E-mail: olga@yulmetova.ru
- Сергей Дмитриевич Третьяков** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО; кафедра технологии приборостроения; E-mail: tretiserge@mail.ru
- Вячеслав Алексеевич Валетов** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра технологии приборостроения; E-mail: valetov.v@mail.ru
- Александр Григорьевич Щербак** — д-р техн. наук; ОАО Концерн ЦНИИ „Электроприбор“; E-mail: a_sch@gtn.ru

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
22.10.14 г.

Ссылка для цитирования: Юльметова О. С., Третьяков С. Д., Валетов В. А., Щербак А. Г. Разработка методик определения шероховатости на функциональные свойства узлов гиросприборов // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 4. С. 278—282.

DEVELOPMENT OF METHODS FOR ESTIMATING THE EFFECT OF ROUGHNESS ON FUNCTIONAL PROPERTIES OF GYROSCOPE COMPONENTS**O. S. Yulmetova¹, S. D. Tretyakov², V. A. Valetov², A. G. Scherbak¹**¹ *Concern CSRI Elektropribor, JSC, 197046, Saint Petersburg, Russia*² *ITMO University, 197101, Saint Petersburg, Russia
E-mail: valetov.v@mail.ru*

Results of experimental study of the effect of component surface roughness on optical and dynamic properties of gyroscope rotors are presented. Employment of graphical criteria for roughness estimation makes it possible to apply the results to series production.

Keywords: contrast, roughness, non-parametric criteria.

Data on authors

- Olga S. Yulmetova** — PhD; Concern CSRI Elektropribor, JSC; E-mail: olga@yulmetova.ru
Sergey D. Tretyakov — PhD, Associate Professor; ITMO University; Department of Instrumentation Technology; E-mail: tretiserge@mail.ru
Vyacheslav A. Valetov — Dr. Sci., Professor; ITMO University; Department of Instrumentation Technology; E-mail: valetov.v@mail.ru
Alexander G. Scherbak — Dr. Sci.; Concern CSRI Elektropribor, JSC; E-mail: a_sch@gtn.ru

Reference for citation: *Yulmetova O. S., Tretyakov S. D., Valetov V. A., Scherbak A. G.* Development of methods for estimating the effect of roughness on functional properties of gyroscope components // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie*. 2015. Vol. 58, N 4. P. 278—282 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-4-278-282