

УДК 62-1/-9

ПРИМЕНЕНИЕ СИНГУЛЯРНЫХ ПУЧКОВ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Р. М. Джемалядинов^{1,2}, Ю. А. Егоров², Б. В. Соколенко², В. В. Скакун^{1,2}

¹Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова,
г. Симферополь, Российская Федерация

²Физико-технический институт Крымского Федерального университета
имени В. И. Вернадского, г. Симферополь, Российская Федерация

Проведено исследование метода лазерной профилометрии на основе Бесселевых пучков, которые характеризуются аксиальной симметрией поля вдоль всей оси распространения.

Ключевые слова: качество поверхности, шероховатость, оптический метод, лазерная профилометрия, пучок Бесселя.

APPLICATION OF SINGULAR BEAMS FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING OF WORKED SURFACE ROUGHNESS

R. M. Dzhemalyadinov^{1,2}, Yu. A. Egorov², B. V. Sokolenko², V. V. Skakun^{1,2}

¹Fevzi Yakubov Crimean Engineering and Pedagogical University,
Simferopol, the Russian Federation

²Physicotechnical Institute of the Crimean Federal University named
after V. I. Vernadsky, Simferopol, the Russian Federation

A study of laser profilometry based on Bessel beams, which are characterized by axial symmetry of the field along the entire propagation axis, was conducted.

Keywords: surface quality, roughness, optical method, laser profilometry, Bessel beam.

Постоянное ужесточение требований к качеству получаемых поверхностей деталей, выпускаемых на современных машиностроительных предприятиях требует совершенствования методов контроля. Одним из основных показателей качества деталей машин является шероховатость обработанной поверхности, которая во многом определяет надежность и функциональные характеристики изделия.

Шероховатость образуется флуктуациями на поверхности коротких длин волн, характеризующимися выступами (локальными максимумами) и впадинами (локальными минимумами) различной амплитуды и расстояниями между ними.

В настоящий момент контроль шероховатости поверхностей на предприятиях преимущественно проводится контактными профилометрами. Щуп пересекает пики и впадины поверхности с небольшим контактным усилием. Вертикальное движение щупа преобразуется преобразователем в электрический сигнал, который представляет собой профиль поверхности $Z(X)$ или изображение топографии $Z(X, Y)$. Вертикальное разрешение может составлять всего около 0,05 нм [1]. Латеральное разрешение ограничено размером кончика щупа, который может составлять всего около 100 нм [2]. Положение щупа зависит только от отталкивающего механического контакта с поверхностью. Поэтому контактный метод напрямую чувствителен к высоте

поверхности с небольшими перепадами. Основным недостатком стилусных профилометров является то, что щуп может повредить поверхность, в зависимости от твердости поверхности относительно нормальной силы щупа и размера кончика алмазной иглы.

Для качественного контроля применяют неразрушающие методы контроля. Так, существует ряд исследований по применению емкостных, пневматических и акустических методов, однако они не получили широкого распространения. Чаще всего применяют оптические методы, которые в основном основаны на концепциях фокусировки, интерференции, рассеяния света, спекл-эффекта и изменения положения отражающего луча [3]. Использование оптических методов для оценки шероховатости поверхности имеет множество преимуществ по сравнению с использованием механических методов измерения. Помимо высокой скорости отклика, важными характеристиками оптической системы являются более высокая точность и надежность. С другой стороны, оптический метод, основанный на изменении пиковой мощности отраженного луча, может быть ненадежным для тонких поверхностей, поскольку этот метод использует диффузное отражение, которое играет важную роль только для поверхностей с большими значениями отклонения от средней линии [4].

Оптические методы можно поделить по принципу работы на использующие метод рассеивания света, интерферометрический метод, спекл-метод и метод оптического щупа. Основными ограничениями применения оптических методов является сложная геометрия измеряемой поверхности (в том числе округлые), а также необходимость тщательной подготовки поверхности для проведения измерений.

В нашем исследовании предлагается метод лазерной профилометрии на основе Бесселевых пучков [5]. Такой пучок характеризуется аксиальной симметрией поля вдоль всей оси распространения, например, вдоль оси z .

Пучок Бесселя получил свое название от функции (функции Бесселя), которая описывает распределение скалярного поля пучка в поперечном сечении в виде набора светлых и темных колец:

$$\psi_i = J_l(U_r) \exp(\pm il\phi) \exp(-i\beta z), \quad (1)$$

где U – поперечное волновое число; β – продольное волновое число или постоянная распространения, связанные соотношением $k = \sqrt{U^2 + \beta^2}$; k – волновое число, соответствующее плоской волне, распространяющейся вдоль оси пучка; и $l = 0, 1, 2, \dots$ – азимутальный индекс.

С математической точки зрения, пучок Бесселя может содержать бесконечное число колец, занимающих бесконечно большую площадь поперечного сечения. Угловой спектр Бесселева пучка образован набором плоских волн, лежащих на поверхности полой конической поверхности с углом при вершине 2θ , задаваемым простым выражением

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{U}{\beta}.$$

Экспериментально и теоретически анализируются пучки Бесселя, несущие оптические вихри на основе винтового аксикона, а также обычного аксикона и винтовой фазовой пластины, расположенных последовательно.

Данный метод позволит проводить анализ микрогеометрических параметров даже на криволинейных поверхностях с различной отражающей способностью.

Литература

1. Topographic measurements of supersmooth dielectric films made with a mechanical profiler and a scanning force microscope / J. M. Bennett, M. M. Tehrani, J. Jahanmir [et al.] // Applied Optics. – 1995. – Vol. 34. – P. 209–212.
2. Song, J. F. and Vorburger TV. Stylus profiling at high resolution and low force / J. F. Song // Applied Optics. – 1991. – Vol. 30. – P. 42–50.
3. Wong, P. L. In-process roughness measurement on moving surfaces, J / P. L. Wong, K. Y. Li // Optics and Laser Technology. – 1999. – Vol. 31, N 8. – P. 543–548.
4. W. Xiangjun, and K. Xinyu. Study on non-contact optical sensor for inside diameter measurements, SPIE. – 1998. – Vol. 3558. – P. 288–292.
5. Influence of optical activity of gyroanisotropic crystals on Bessel beams / Y. Egorov, A. Aliev, R. Dzhemalyadinov [et al.] // Applied Optics. – 2025. – Vol. 64, N 2. – P. 402–408.

УДК 621.914.3

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ
И ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ НАДЕЖНОСТИ УЗЛОВ
ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ SGV720 И SGH500**

Н. Е. Демиденко¹, Е. Н. Демиденко²

¹ОАО «СтанкоГомель», Республика Беларусь

²Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Проведен анализ зависимости между интенсивностью отказов и интегральным показателем надежности узлов обрабатывающих центров SGV720 и SGH500, который позволяет рекомендовать оптимизацию интервалов ППР для узлов с высокой интенсивностью отказов и низким IPN, а также модернизацию устройства смены инструмента и частотных преобразователей для повышения их долговечности.

Ключевые слова: надежность, производительность, интенсивность отказов, смена инструмента, частотные преобразователи.

**STUDY OF THE FAILURE RATE AND INTEGRAL
RELIABILITY INDICATOR OF COMPONENTS
OF SGV720 AND SGH500 MACHINING CENTERS**

N. E. Demidenko¹, E. N. Demidenko²

¹OJSC StankoGomel, the Republic of Belarus

²Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

An analysis of the relationship between the failure rate and integral reliability index of components of SGV720 and SGH500 machining centers was conducted. This analysis allows for the recommendation of optimizing maintenance intervals for components with a high failure rate and low IPN, as well as upgrading the tool changer and frequency converters to increase their service life.

Keywords: reliability, performance, failure rate, tool changer, frequency converters.

Обрабатывающие центры SGV720 и SGH500 широко используются в машиностроении, обеспечивая высокую точность и производительность. Однако их сложная конструкция и автоматизация требуют высокой надежности узлов, так как поломки отдельных компонентов могут привести к длительным простоям и значительным потерям.