

Е. А.Титова, А. Н. Байбаков, С. В. Плотников

(Новосибирск)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ
БИНОКУЛЯРНОГО ТРИАНГУЛЯЦИОННОГО МЕТОДА
КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Исследован метод повышения точности триангуляционных измерений, который основан на регистрации рассеянного излучения с двух направлений и реализован с использованием второго симметричного приемного канала. Рассмотрено влияние микропрофиля поверхности на пространственную погрешность измерений. Приведены результаты экспериментальных исследований зависимости погрешности триангуляционных измерений от ориентации следов обработки на поверхности контроля.

Введение. Одним из наиболее распространенных методов контроля является триангуляционный [1]. По сравнению с системами, основанными на других оптико-электронных методах, триангуляционные системы отличаются относительной простотой реализации, потенциально высокой точностью (погрешность на уровне 1 мкм и ниже, разрешение до 0,05 мкм) и производительностью (1000 измер./с и более). Такие системы позволяют измерять расстояние непосредственно до поверхности контролируемого объекта.

При контроле поверхностей со следами механической обработки (шлифование, фрезерование) погрешность триангуляционных измерений превышает теоретически достижимую. В этом случае причиной возрастания погрешности измерений являются локальные отражения излучения от различных участков поверхности. В работе [2] предложен способ повышения точности триангуляционных измерений за счет добавления в схему симметричного приемного канала. Целью данной работы являются исследования особенностей использования бинокулярной схемы триангуляционного метода контроля технических поверхностей и зависимости снижения погрешности триангуляционных измерений от ориентации следов обработки контролируемой поверхности относительно плоскости триангуляции.

Механизм влияния микропрофиля контролируемой поверхности на пространственную случайную погрешность триангуляционных измерений. В системах промышленного размерного контроля триангуляционный метод реализуется следующим образом (рис. 1). Сформированный осветителем 1 зондирующий пучок направляется на поверхность объекта 3, расстояние до которого подлежит измерению. Часть рассеянного поверхностью

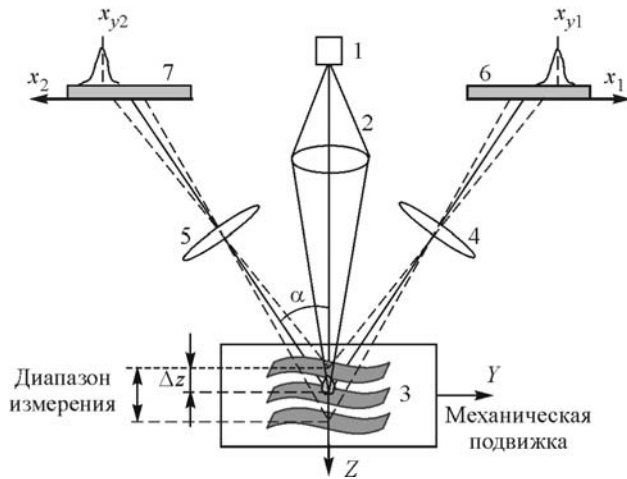


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

света собирается проецирующим объективом 4, и в плоскости фотоприемника 6 формируется образ освещенного участка поверхности.

При смещении контролируемой поверхности по оси Z изменяется координата изображения пятна x , причем эти смещения однозначно связаны функциональной зависимостью $x = F(z)$, которая позволяет вычислить координату поверхности объекта z , когда зарегистрирована координата x .

Задача определения координаты пятна на фотоприемнике сводится к нахождению центра x сигнала. В реальных триангуляционных измерениях форма сигнала на фотоприемнике играет немаловажную роль в получении информации о поверхности. Смещение объекта по оси Y при постоянной координате z сопровождается искажениями профиля интенсивности изображения пятна на фотоприемнике. Причем это наблюдается и в случае, когда характерный масштаб микропрофиля поверхности меньше ширины пятна на поверхности контролируемого объекта. Причина этих искажений заключается в локальных отражениях и рассеяниях падающего излучения от случайной микроструктуры поверхности [3]. При изменении формы сигнала на фотоприемнике происходит смещение координаты центра пятна x , что приводит к возрастанию пространственной случайной погрешности триангуляционных измерений.

Контроль объектов с поверхностью, полученной путем механической обработки (техническая поверхность), с помощью триангуляционных измерительных систем показывает, что погрешность измерений превышает теоретически достижимое значение в 10–12 раз и что происходят значительные искажения изображения пятна на фотоприемнике за счет затенения рассеяния на отдельных участках микропрофиля поверхности соседними неровностями (рис. 2). При этом центр пятна смещается на величину δx .

Одним из способов снижения погрешности триангуляционных измерений является использование бинокулярной схемы с добавлением второго симметричного приемного канала [2].

Эффективность этого метода можно показать на эксперименте, заключающемся в сканировании по оси Y гладкой металлической поверхности с наличием одной риски, расположенной перпендикулярно плоскости триангу-

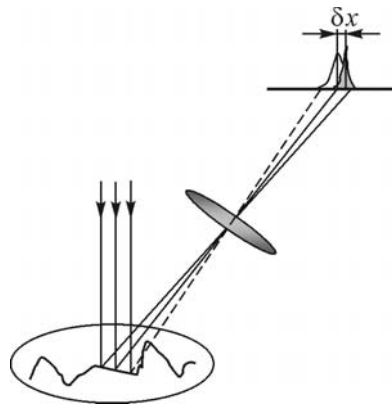


Рис. 2. Рассеяние излучения на микропрофиле поверхности

ляции (см. рис. 1). Из рис. 3 видно, что с помощью бинокулярной схемы триангулятора можно скомпенсировать смещения координаты центра пятна в обоих каналах измерителя и уменьшить пространственную погрешность измерений в 2 раза.

Однако представленный метод повышения точности триангуляционных измерений имеет особенности при контроле поверхностей с выраженными следами механической обработки. Далее описаны эксперименты, целью которых является проверка эффективности метода применительно к контролю поверхностей с различным качеством обработки.

Методика экспериментального исследования. Эксперименты проводились на установке, представленной на рис. 1. Луч полупроводникового лазера 1 с $\lambda = 0,78$ мкм и мощностью $P = 5$ мВт фокусировался объективом 2 на поверхности объекта 3. Рассеянное излучение проецировалось оптическими системами 4 и 5 на фотодиодные линейки 6 и 7. Для контроля использовалась бинокулярная триангуляционная система. Угол триангуляции $\alpha = 30^\circ$.

С помощью двухкоординатной механической подвижки объект перемещался по оси зондирующего луча Z и в ортогональном направлении по оси Y . Измерения проводились в трех сечениях по оси Z : в центре и на краях измерительного диапазона. В каждом сечении объект перемещался по оси Y . По этой оси проводились измерения в 30 точках поверхности объекта с шагом $d = 0,1$ мм, расстояние до контролируемой поверхности объекта оставалось постоянным: $z = \text{const}$.

При каждом смещении S_y фиксировались сигналы фотоприемников и определялись координаты изображения пятен x_{y1} и x_{y2} . Для устранения временной составляющей погрешности производилось усреднение по десяти значениям сигналов в каждом положении по оси Y . Путем усреднения по двум координатам пятен x_{y1} и x_{y2} на обоих фотоприемниках вычислялась координата поверхности x_y , определяемая бинокулярной системой.



Рис. 3. Сравнение результатов измерений расстояния при помощи: первого канала измерителя (кривая 1), бинокулярной схемы измерителя (кривая 2), второго канала измерителя (кривая 3)

Образец	Ориентация	$\sigma_{ст}$, мкм	$\sigma_{бин}$, мкм	$\sigma_{ст}/\sigma_{бин}$
Гладкий (изотропный)	–	16,58	11,19	1,48
Грубый	Перпендикулярная	67,88	43,62	1,56
Грубый	Параллельная	15,19	4,91	3,09

По 30 значениям координаты x_y вычислялись среднее значение координаты $\langle x \rangle$ и среднеквадратичное отклонение от этого значения σ ($\sigma_{ст}$ – погрешность измерений одного канала, $\sigma_{бин}$ – погрешность измерений бинокулярной схемы).

Эксперименты проводились с двумя образцами: первый образец с изотропной поверхностью ($Ra = 1,0$ мкм) и второй образец с неизотропной поверхностью, в качестве которого использовался фрезерованный объект, имеющий хорошо различимую периодическую структуру поверхности.

Анализ полученных результатов. В соответствии с вышеизложенной методикой получены зависимости погрешности измерения от смещения контролируемой поверхности по различным точкам диапазона измерения. Из экспериментальных результатов, приведенных в таблице, видно, что применение бинокулярной схемы позволяет снизить погрешность измерений в 1,5 раза для обоих образцов.

В процессе экспериментов отмечена зависимость погрешности измерений от взаимной ориентации плоскости триангуляции и направления следов обработки. Для исследования этого эффекта проведены эксперименты со вторым образцом при различной ориентации следов обработки.

Из таблицы видно, что погрешность при перпендикулярной и параллельной ориентации различается более чем в 4 раза. Применение бинокулярной схемы позволяет значительно снизить погрешность измерений и в том и в другом случае. Однако сравнение результатов показывает, что данный метод наиболее эффективен при параллельной ориентации плоскости триангуляции относительно следов обработки. Это объясняется минимальным эффектом затенения (рис. 4).

Таким образом, при использовании метода повышения точности триангуляционных измерений для контроля технических поверхностей целесообразно

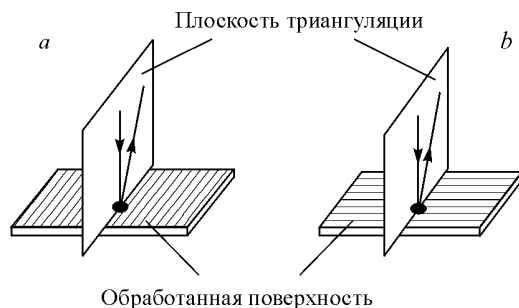


Рис. 4. Различные ориентации обработанной поверхности относительно плоскости триангуляции: следы обработки параллельны плоскости триангуляции (а), следы обработки перпендикулярны плоскости триангуляции (б)

разно подбирать ориентацию плоскости триангуляции относительно следов обработки, близкую к параллельной.

Заключение. Исследован метод повышения точности триангуляционных измерений, основанный на регистрации рассеянного излучения с двух направлений и реализованный при помощи использования второго симметричного приемного канала.

В результате экспериментальных исследований установлено, что использование бинокулярной схемы в 1,5–2 раза снижает погрешность контроля как изотропных объектов, так и объектов со следами механической обработки.

Продемонстрирована зависимость пространственной случайной погрешности измерений бинокулярной схемы триангулятора от ориентации плоскости триангуляции относительно следов механической обработки. Показано, что применение метода повышения точности триангуляционных измерений наиболее эффективно при параллельной ориентации плоскости триангуляции относительно следов механической обработки. При этом получено снижение погрешности более чем в 3 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Svetkoff D. J., Kilgus B. T. High speed, ultra high resolution, 3-D laser scanner // SPIE. 1993. 2065. P. 264.
2. Dorsch R., Hausler G., Herrmann J. Laser triangulation: Fundamental uncertainty in distance measurement // Appl. Opt. 1994. 33. P. 1306.
3. Волков Е. В., Плотников С. В. Исследование влияния ширины зондирующего пучка на погрешность измерений триангуляционных систем // Автометрия. 1997. № 2. С. 19.

*Конструкторско-технологический институт
научного приборостроения СО РАН,
E-mail: splot@tdisie.nsc.ru*

*Поступила в редакцию
1 августа 2005 г.*