

З.А. БАБАЯН, Э.Л. ИГНАТЯН

## КОНТРОЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ ПРИРОДНЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ НАНОМЕТРОВОГО ДО МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНОВ

Описаны контрольная установка и компьютерная программа для измерения параметров геометрических размеров природных каменных материалов от нанометрового до миллиметрового диапазонов.

**Ключевые слова:** контрольная установка, параметр линейных размеров, интерференционная картина.

В «НП и П» «Камень и силикаты» РА разрабатывается контрольная установка для измерения параметров шероховатости  $R_{\max}$ ,  $R_z$  и  $R_a$  и аттестации образцовых мер в диапазоне 0,025...2000 мкм. В основу установки положены принципы, изложенные в [1]. Изготовленный экспериментальный образец установки находится на стадии исследования и доработки.

Созданы специальные компьютерные программы и представлена концепция их применения для обработки изображения интерференционных картин и определения основных параметров геометрических размеров  $R_{\max}$ ,  $R_z$  и  $R_a$ . Для тестирования программного обеспечения построены эталонные цифровые компьютерные изображения интерференционной картины нескольких типов идеализированных профилей поверхности мер шероховатости, параметры которых могут быть предварительно рассчитаны с высокой точностью.

В первом поддиапазоне параметры шероховатости  $R_{\max}$ ,  $R_z$  и  $R_a$  определяют после обработки предварительно полученных на установке цифровых изображений интерференционных картин поверхности аттестуемых мер при их освещении лазерным излучением; во втором поддиапазоне – по результатам измерений на интерференционной установке глубины канавок аттестуемой меры и по предварительно измеренным ширине канавок и расстояния между ними. В этом режиме работы цифровая камера установки работает как «web-камера», а поверхность меры освещается белым светом. Передача значения единицы длины – метра аттестуемой мере происходит через стабилизированный He-Ne-лазер интерферометра перемещений.

**Определение параметров шероховатости  $R_{\max}$ ,  $R_z$  и  $R_a$  в диапазоне 0,025...1,0 мкм.** Эти параметры находят в соответствии с принятыми стандартами:  $R_{\max}$  (наибольшая высота неровности профиля) – как расстояние между линиями выступов и впадин профиля в пределах базовой длины;  $R_z$  (высота неровности профиля по десяти точкам) – как сумму средних абсолютных значений высоты пяти наибольших выступов и глубины пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины:

$$R_z = \left( \sum_1^5 |y_{i \max}| + \sum_1^5 |y_{i \min}| \right) / 5, \quad (1)$$

где  $y_{i \max}$ ,  $y_{i \min}$  – соответственно высота  $i$ -го наибольшего выступа и глубина  $i$ -й наибольшей впадины профиля;  $R_a$  – среднее арифметическое отклонение профиля как среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad \text{или} \quad R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (2)$$

где  $y_i$  – ордината профиля;  $l$  – базовая длина.

Процесс обработки интерференционной картины заключается в определении профиля поверхности меры в пределах базовой длины и вычислении параметров размеров  $R_{\max}$ ,  $R_z$  и  $R_a$ . При этом профиль поверхности меры определяют с использованием эталонного лазерного излучения в качестве масштаба длины волны. По измеренному профилю поверхности меры, при необходимости, могут быть вычислены и другие параметры геометрических размеров.

Обработка происходит в автоматизированном режиме после ввода в программу цифрового изображения интерференционной картины значения длины волны излучения, которое использовалось для получения интерференционного изображения, и значения базовой длины, определяющей участок обработки.

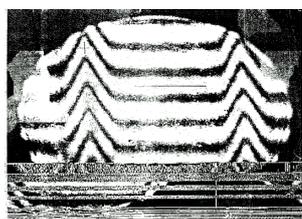


Рис. 1. Интерференционная картина глубины канавки меры с треугольным профилем



Рис. 2. Интерференционная картина поверхности меры и глубины канавки

В зоне установленной базовой длины программа определяет положение осевых линий двух расположенных рядом интерференционных полос и вычисляет масштаб интерференционной картины. Значения параметров  $R_{\max}$ ,  $R_z$  и  $R_a$  рассчитываются по вычисленному профилю в зоне установленной базовой длины для различных интерференционных полос. Проверка программного обеспечения в рассматриваемом диапазоне проводится путем обработки эталонного цифрового изображения, имитирующего реальную интерференционную картину в микроинтерферометре. С этой целью для диапазона 5...1000 нм построены эталонные цифровые изображения интерференционной картины нескольких типов идеализированных профилей поверхности мер. Размеры и форма этих изображений выбраны из условий обеспечения высокой точности предварительного расчета имитируемых ими параметров размеров  $R_{\max}$ ,  $R_z$  и  $R_a$ . При этом изображения интерференционной картины не участвуют в процессе измерений или калибровки установки, а лишь тестируют программу.

Построены эталонные цифровые изображения для мер с прямоугольными, треугольными (см., например, рис. 1), трепецеидальными и сферической формы канавками различной глубины. Геометрические размеры всех элементов изображения интерференционных полос рассчитаны в пикселах и построены с предельно возможной точностью (размер каждого из элементов в пикселах и его расположение равны расчетному числу пикселов). Длина волны света, имитирующей лазерное излучение микроинтерферометра, принята равной 600 нм.

В качестве примера рассмотрено одно из эталонных цифровых изображений, имитирующее реальное изображение от меры шероховатости с регулярным профилем, в котором расстояние между прямоугольными канавками одинаковой глубины равно ширине канавок.

Расчетное значение эталонного изображения: масштаб интерференционной картины, измеренный по первой и второй парам полос, одинаков и равен 0,6250 нм на 1 пиксел;  $R_{\max} = R_z = 10$  нм,  $R_a = 5$  нм. Получены следующие результаты его окончательной обработки: масштаб 0,6250 нм на 1 пиксел; глубина всех канавок одинакова и равна расчетному значению  $R_{\max} = R_z = 10$  нм, параметр размеров  $R_a = 4,981$  нм.

**Определение параметров геометрических размеров  $R_{\max}$ ,  $R_z$  и  $R_a$  в диапазоне 1,0 мкм ... 2мм.** В этом режиме работы микроинтерферометра для измерения глубины канавки использовали источник коллимированного белого света от лампы накаливания (передача значения единицы длины – метра происходит через стабилизированный He-Ne-лазер интерферометра перемещений).

Меру размеров располагали на предметном столике таким образом, чтобы в поле зрения микроскопа наблюдались интерференционные картины от поверхности меры и дна канавки. Упрощенное изображение наблюдаемого поля интерференционной картины приведено на рис. 2. В центре видимого участка изображения наблюдаемого поля интерференционной картины от поверхности меры или от дна канавки наблюдается белая ахроматическая полоса, по обеим сторонам которой находятся две черные полосы. Ахроматическая полоса возникает лишь при равенстве длин опорного и измерительного плеч интерферометра. Выше и ниже ахроматической полосы располагаются несколько цветных постепенно затухающих полос. При малой глубине канавки ахроматические полосы от дна канавки и от поверхности меры (сдвинутые вверх или вниз) одновременно видны в поле зрения микроскопа. Интерференционная картина при помощи видеокамеры отображается на мониторе. При этом ось ахроматической полосы, определяемая программой обработки, постоянно отображается в виде тонкой линии. Перемещение интерференционных картин в вертикальном направлении осуществляется специальным регулировочным устройством, изменяющим длину измерительного плеча микроинтерферометра.

Для измерения глубины канавки изменяют длину измерительного плеча микроинтерферометра, совмещая ось ахроматической полосы интерференционной картины от поверхности меры с отображаемой на мониторе неподвижной в поле зрения микроинтерферометра опорной горизонтальной линией. Момент совмещения этой оси полосы с горизонтальной линией является началом отсчета для интерферометра

перемещений. Далее, плавно изменяя длину измерительного плеча, совмещают ось ахроматической полосы от дна канавки меры с той же опорной горизонтальной линией. В момент совмещения фиксируются показания интерферометра перемещений, соответствующие измеряемой глубине канавки меры. Ширину канавки меры и расстояние между ними предварительно измеряют на измерительном микроскопе или другом измерительном устройстве и вводят в программу обработки измерений.

Программа определяет и отображает для предварительного просмотра профиль измеряемого участка меры и вычисляет параметры размеров  $R_{max}$ ,  $R_z$  и  $R_a$ . Для проверки программного обеспечения в этом диапазоне измерений получены математические формулы, позволяющие вычислять параметр размеров  $R_a$  для основных видов профиля канавок мер размеров с регулярным профилем. Проверку проводят путем сравнения полученных программой результатов обработки с результатами математических вычислений параметра  $R_a$  по формулам (1) и (2).

**Меры геометрических размеров.** Для проведения исследований и работы в составе интерференционной установки изготовлены кремниевые меры шероховатости с регулярным профилем. Особенностью этих мер являются строго одинаковые на всей мере форма, шаг и размер трапецеидальных канавок. Эти меры размеров представляют собой плоские кремниевые пластинки 20(40)(8 мм с равномерно расположенными в центре на участке 1,5(10 мм канавками. Канавки образованы методом фотолитографии. Угол среза пластинки по отношению к осям кристалла обеспечивает получение крутого равномерного склона канавки. На поверхность кремниевой пластинки и канавок нанесен тонкий слой хрома. Для удобства работы эти пластинки наклеены на металлические основания. На меру с двух сторон нанесены по четыре риска, помогающие определить оси X и Y и центр пластинки. Кремниевые меры изготовлены с номинальным значением глубины канавки 0,27 мкм.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Wilkening G., Coenders L.** Nanoscale calibration standards and methods. Dimensional and related measurements in the micro- and nanometer range. – Weinheim: Verlag, 2005.  
НПП «Камень и силикаты». Материал поступил в редакцию 17.09.2008.

**Ջ.Ա. ԲԱԲԱՅԱՆ, Է.Լ. ԻԳՆԱՏՅԱՆ**

**ԲԱՎՎԱՆ ԵՐԵՄՊՍՄԱՆ ՍԱԼԻԿՆԵՐԻ ԳԾԱՅԻՆ ԶԱՓՍԵՐԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԶԱՓՈՒՄՆԵՐԻ՝  
ՆԱՆՈՄԵՏՐԻՑ ՄԻՆՉԵՎ ՄԻԼԻՄԵՏՐ ՏԻՐՈՒՑԹԻ ՎԵՐԱՀԱՄԱՆ ՀԱՐՄԱՐԱՆՔ**

Նկարագրվում է վերահսկման ինտերֆերացիոն հարմարանք և քոմպյուտերային ծրագիր՝ երկրաչափական չափսերի պարամետրերի՝ նանոմետրից մինչև միլիմետր տիրույթի չափումների համար:

**Առանցքային բառեր.** վերահսկման հարմարանք, գծային չափսերի պարամետրեր, ինտերֆերացիոն նկար:

**Z.A. BABAYAN, E.L. IGNATYAN  
CONTROL SYSTEM FOR MEASURING ROUGHNESS PARAMETERS  
FROM NANOMETER UP TO MILLIMETER RANGES**

The standard interference system and the computer program for measuring geometrical parameters from nanometer up to millimeter ranges are described.

**Keywords:** standard system, geometrical size, interference pattern.