УДК 528.721.063.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО МЕТОДА В РЭМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Ю. А. МЕЛЬНИК, [*]А. В. МЕЛЬНИК, [*]В. Н. МЕЛЬНИК
«ЛУЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
[*]«ВОСТОЧНОЕВРОПЕЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Леси Украинки»
Луцк, Украина

Количественная рентгенография в РЭМ почти всегда осуществляется в режиме "in situ" и на плоских полированных поверхностях. Как стандартные, так и неизвестные образцы имеют первоклассную полировку и содержатся в фиксированной ориентации применительно к электронному зонду рентгеновского спектрометра. При рентгенографии (рентген-анализе) на шероховатых поверхностях, полученных, например, в результате слома, возникают осложнения, которые ставят результаты в зависимости скорее от микрорельефа, чем от концентрации исследуемых элементов, поскольку выделения и поглощения рентгеновской энергии в образце сильно зависит от ориентации нужной локальной области относительно направления электронного зонда. Используя стереоскопические методы в РЭМ, адаптированные к режиму "in situ", можно определить точную ориентацию локальной поверхности маленькой плоской области на шероховатом образце, а затем переориентировать ее таким образом, чтобы эта область была параллельной стандартным положениям. Если это выполнено, то можно измерить интенсивность рентгеновских лучей и точно определить количественный состав. Решение задачи определения пространственной ориентации плоскости в режиме реального времени проще выполнить, воспользовавшись цилиндрической системой координат (r, φ, z) (рис 1.), в которой уравнение плоскости принимает вид:

$$z = A \cdot r(\varphi)\cos\varphi + B \cdot r(\varphi)\sin\varphi + C\,. \qquad (1)$$

Положение искомой плоскости будем определять по МНК, минимизируя функцию

$$\Phi = \sum_{i=1}^{n}[A \cdot r(\varphi_i)\cos\varphi_i + B \cdot r(\varphi_i)\sin\varphi_i + C - z_i]^2\,. \qquad (2)$$

Здесь z_i, φ_i $(i = \overline{1,n})$ – аппликата и полярный угол i-й точки, определенные стереометодом; n – количество точек.

Необходимым условием минимума функции Ф является выполнение равенств:

$$\frac{\partial\Phi}{\partial A} = 0, \quad \frac{\partial\Phi}{\partial B} = 0, \quad \frac{\partial\Phi}{\partial C} = 0\,, \qquad (3)$$

которые с учетом (1) принимают вид:

$$
\begin{aligned}
&A\sum_{i=1}^{n}x_i^2 + B\sum_{i=1}^{n}x_i\,y_i + C\sum_{i=1}^{n}x_i = \sum_{i=1}^{n}z_i x_i\,,\\
&A\sum_{i=1}^{n}x_i\,y_i + B\sum_{i=1}^{n}y_i^2 + C\sum_{i=1}^{n}y_i = \sum_{i=1}^{n}z_i y_i\,,\\
&A\sum_{i=1}^{n}x_i + B\sum_{i=1}^{n}y_i + nC = \sum_{i=1}^{n}z_i\,,
\end{aligned}
\tag{4}
$$

где $x_i = r(\varphi_i)\cos\varphi_i$; $y_i = r(\varphi_i)\sin\varphi_i$

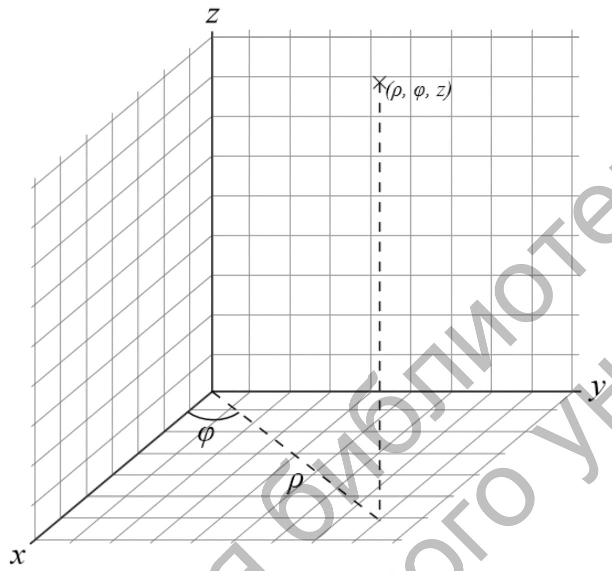

Рис. 1. Точка в цилиндрической системе координат

Если решение системы (4) известно, то уравнение искомой плоскости имеет вид:

$$z = A\cdot r\cos\varphi + B\cdot r\sin\varphi + C\ . \tag{5}$$

Затем определяются направляющие косинусы:

$$
\begin{aligned}
&\cos\alpha = A/\sqrt{A^2+B^2+C^2};\\
&\cos\beta = B/\sqrt{A^2+B^2+C^2};\\
&\cos\gamma = C/\sqrt{A^2+B^2+C^2}.
\end{aligned}
\tag{6}
$$

Направляющие косинусы (6) используются для вычисления углов вращения и наклона, которые должны быть применены к образцу для того, чтобы привести исследуемую область в стандартное положение (под углом 45°). Эти углы легко получить из простых геометрических соотношений:

$$\rho_1^{\circ} = arctg\frac{\cos\alpha}{\cos\beta};\quad \tau_q^{\circ} = 45^{\circ} - \varphi^{\circ}. \tag{7}$$

Таким образом, стереоскопический метод может быть успешно применен, когда необходимо быстро и оперативно ориентировать маленькие области на шероховатых поверхностях.