

УДК 669.782:539.78

А.Н.Хомутильников (6 курс, каф. ФМиКТМ); В.В.Трофимов, проф.

### ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ МАКРОНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ ПОРТАТИВНЫМ РЕНТГЕНОВСКИМ ТЕНЗОМЕТРОМ «ТРИМ»

Важнейшим способом получения информации о работоспособности и надежности оборудования является неразрушающий контроль. Одним из факторов, определяющих надежность элементов изделий, являются остаточные напряжения, которые могут значительно снижать запасы прочности, а иногда достигать значений предела текучести или прочности и вызывать образование трещин.

Очевидно, что экспериментальное изучение и технологический контроль остаточных напряжений в промышленных условиях является важной научно-производственной задачей, требующей для своего практического решения соответствующего приборного и методического обеспечения.

С этой целью проведена оценка возможности применения портативного рентгеновского тензометра «ТРИМ» для измерения реального напряженно-деформированного состояния в изделиях и металлоконструкциях.

Метод рентгеновской тензометрии основан на измерении упругой деформации поликристаллического материала и использовании закона Гука для определения величины и знака напряжений. Определяются истинные напряжения, действующие в приповерхностных слоях (до 40 мкм в сталях). При этом нет необходимости знать предысторию образца, условия его эксплуатации, не требуется знания характеристик материала в ненапряженном состоянии.

Чтобы получить информацию, достаточную для определения напряжений, необходимо в одну и ту же точку поверхности образца направить как минимум два пучка рентгеновских лучей под разными углами к поверхности [1]. При этом напряжения в азимутальном направлении  $\varphi$  определяются по формуле

$$\sigma_{\varphi} = \frac{E}{1 + \mu} \operatorname{ctg} \theta_{\psi_1} \frac{\theta_{\psi_1} - \theta_{\psi_2}}{\sin^2 \psi_2 - \sin^2 \psi_1},$$

где  $\theta_{\psi_1}$ ,  $\theta_{\psi_2}$  – значения угла  $\theta$  при  $\psi = \psi_1$  и  $\psi = \psi_2$ , соответственно.

Портативный рентгеновский тензометр работает по схеме  $\psi$ -гониометра, которая имеет ряд преимуществ перед другими рентгенооптическими схемами.

В «ТРИМ» для получения максимальной интенсивности рентгеновской линии и высокого разрешения используется фокусирующая геометрия съемки, основанная на использовании расходящегося пучка рентгеновских лучей. Основные особенности конструкции «ТРИМ» заложены в измерительную головку моноблочного типа и коллимационное устройство, формирующее «рентгеновское пятно» необходимых размеров на поверхности изделия.

В приборе «ТРИМ» используется острофокусная двуханодная рентгеновская трубка, у которой разность углов  $\Delta\psi$  для рентгеновских лучей равна  $50^\circ$ . При использовании такой трубки в «ТРИМ» нет необходимости использовать различные гониометрические устройства, что существенно упрощает технику съемки, повышает надежность процесса измерения напряженно-деформированного состояния металлоконструкций, сокращает время эксперимента.

Точность измерения деформации и, соответственно, напряжений зависит от точности измерения угла дифракции  $\Delta\theta$  [2].

В процессе подготовки «ТРИМ» для получения сертификата и внесения в «Государственный реестр средств измерений» возникла необходимость в оценке погрешностей измерения напряжений с помощью данного прибора.

Проведенный анализ возможных источников погрешностей измерений, показал, что конструкционные особенности прибора «ТРИМ» исключают некоторые из них, что позволяют уменьшить ошибку. Источники ошибок, дающие наибольшую погрешность в определении угла дифракции  $\theta$ , приведены в табл. 1:

Таблица 1.

Источник ошибок	Величина смещения $\theta_{\text{ит}}$	Численное значение для $\theta = 78^\circ$
Отклонение поверхности образца от фокусирующей поверхности	$-\frac{\gamma^2 \operatorname{ctg}\theta}{12}$ , где $\gamma$ - горизонтальная расходимость пучка.	1,05756E-05
Смещение плоскости образца S от оси гониометра	$\frac{s \cos\theta}{R}$ , где R – радиус гониометра	5,19779E-05
Неточная установка нулевого положения счётчика	$\Delta\theta = \operatorname{const}$	1,74533E-05

Выполненные расчёты показывают, что погрешность измерения угла  $\Delta\theta = 7,9 \cdot 10^{-5}$ , точность в определении величины остаточных напряжений при помощи рентгеновского тензометра «ТРИМ» для сталей не превышает 6,5 МПа.

Погрешность в определении напряжений при экспериментах на балке равного сопротивления из Ст.3 составила 10 МПа.

Таким образом, получено обоснование для представления портативного тензометра «ТРИМ» для сертификации в метрологические службы Госстандарта России.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Дифракционные методы исследования структур. Учебное пособие для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. - Васильев Д.М. Л.: Изд-во СПбГПУ, 1998. – 502 с.
2. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н.: Учебное пособие для вузов. М.: МИСИС, 2002, 360 с.