

К ВОПРОСУ О БЕТАТРОННОЙ СТЕРЕОГРАФИИ

Г. Д. БРАСЛАВСКИЙ, В. И. ГОРБУНОВ

В ряде случаев при неразрушающем контроле материалов и изделий необходимо иметь сведения не только о наличии дефекта, но и знать его место расположения, размеры.

Ответ на эти вопросы не может дать обычная плоская радиография, так как она является двухмерной и приходится прибегать к стереорадиографии, т. е. к получению одной или двух радиограмм, снятых с двух точек просвечивания.

Стереорадиограмму обычно получают перемещением источника излучения — бетатрона или исследуемого изделия — таким образом, чтобы контролируемый участок изделия попадал в обоих случаях в поле пучка гамма-излучения. Естественно, что время контроля при этом значительно увеличивается, во-первых, за счет необходимости двух экспозиций и, во-вторых, за счет времени, необходимого для проведения подготовительных работ: передвижения бетатрона или изделия, установки пленки, настройки бетатрона и т. д.

Применение двухлучевого бетатрона существенно сокращает время стереорадиографического контроля, позволяя довести его в некоторых случаях до времени, примерно равного времени обычной радиографии (небольшая разница вытекает из неодинаковости контролируемых объемов).

Рассмотрим возможные варианты стереорадиографического контроля с помощью двухлучевого бетатрона (рис. 1).

В а р и а н т «а». Стереопара получается двумя последовательными экспозициями на две пленки, последовательно размещаемые у поверхности изделия.

Так как просвечивание ведется на две пленки и экспозиции просвечивания (работа обоих лучей бетатрона) разнесены во времени, радиографическая чувствительность подсчитывается по обычной формуле:

$$\frac{\Delta x}{x} = 2,3 \cdot \frac{\Delta D B}{\gamma_D \cdot \mu x}, \quad (1)$$

где ΔD — минимальное заметное изменение плотности почернения;

ΔX — соответствующее изменение толщины изделия;

γ_D — градиент характеристической кривой пленки при плотности D ;

μ — полный коэффициент ослабления;
 B — фактор накопления $\left(B = \frac{I_{\text{пр}} + I_{\text{р}}}{I_{\text{пр}}} \right)$
 ($I_{\text{пр}}$ и $I_{\text{р}}$ — соответственно интенсивности прямого и рассеянного излучения у пленки).

Время стереорадиографического контроля складывается из времени двух экспозиций плюс время на замену пленки и включение бетатрона

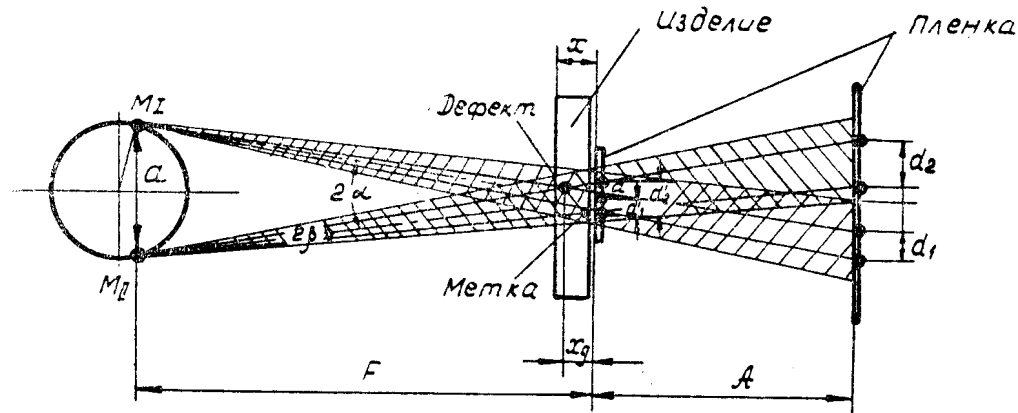


Рис. 1. Варианты стереорадиографического контроля с помощью двухлучевого бетатрона.

и, следовательно, несколько сокращается, так как отпадает необходимость в передвижении бетатрона или изделия.

Глубина залегания дефекта от поверхности изделия, обращенной к пленке, легко определяется по формуле:

$$x_y = \frac{(d'_2 - d'_1) F}{a + (d'_2 - d'_1)} \approx \frac{d'_2 - d'_1}{a} F, \quad (2)$$

где a — расстояние между мишенями;

F — расстояние от мишеней до поверхности изделия, обращенной к пленке (когда пленка у изделия — расстояние до пленки);

d'_1 и d'_2 — расстояния между изображениями дефекта и сравнительной метки на пленках.

В а р и а н т «б». Пленка располагается у поверхности изделия, и стереорадиографический контроль проводится одной экспозицией при одновременной работе двух лучей бетатрона на одну пленку. Этот вариант применяется тогда, когда стереорадиография проводится с целью измерения размеров дефекта и глубин его залегания (без рассмотрения в стереоскоп).

Так как просвечивание идет с двух точек (мишени M_1 и M_2), каждый дефект будет иметь на пленке два изображения, и в зависимости от размеров и расположения дефекта от пленки эти изображения будут накладываться друг на друга или отстоять на некотором расстоянии. Для такого режима контроля в формулу радиографической чувствительности необходимо ввести коэффициент K , характеризующий степень перекрытия изображений. Тогда

$$\left(\frac{\Delta x}{x} \right)_{I+II} = 2,3 \frac{\Delta D \cdot B}{\gamma_D \mu x} \cdot K, \quad (3)$$

где γ_D — градиент пленки при работе двух лучей на одну пленку,

а индекс (I+II) у радиографической чувствительности указывает на работу двух лучей.

При работе двух лучей для дефектов, изображения которых разнесены, радиографическая чувствительность равна по изображению от луча I:

$$\left(\frac{\Delta x}{x}\right)_{I+II}^I = 2,3 \frac{\Delta D}{\gamma_{D^{\mu}x}} \cdot \frac{(I_{np} + I_p)_I + (I_{np} + I_p)_{II}}{I_{np,I}}, \quad (4)$$

по изображению от луча II:

$$\left(\frac{\Delta x}{x}\right)_{I+II}^{II} = 2,3 \frac{\Delta D}{\gamma_{D^{\mu}x}} \cdot \frac{(I_{np} + I_p)_I + (I_{np} + I_p)_{II}}{I_{np,II}}. \quad (5)$$

Если лучи имеют одинаковую интенсивность излучения, то

$$(I_{np} + I_p)_I = (I_{np} + I_p)_{II} = I_{np} + I_p$$

и (4) и (5) преобразуются:

$$\left(\frac{\Delta x}{x}\right)_{I+II} = \left(\frac{\Delta x}{x}\right)_{I+II}^I = \left(\frac{\Delta x}{x}\right)_{I+II}^{II} = \frac{2,3 \cdot \Delta D}{\gamma_{D^{\mu}x}} \cdot \frac{(I_{np} + I_p)_2}{I_{np}} = \left[\frac{2,3 \cdot \Delta DB}{\gamma_{D^{\mu}x}} \right] \cdot 2, \quad (6)$$

т. е. $K = 2$.

При условии равенства интенсивностей лучей для дефектов, изображения которых на пленке совпадают (дефект у пленки), радиографическая чувствительность равна:

$$\left(\frac{\Delta x}{x}\right)_{I+II} = 2,3 \frac{\Delta D}{\gamma_{D^{\mu}x}} \cdot \frac{2(I_{np} + I_p)}{2I_{np}} = \left[2,3 \frac{\Delta DB}{\gamma_{D^{\mu}x}} \right] \cdot 1, \quad (7)$$

т. е. $K = 1$

И для дефектов, изображения которых накладываются друг на друга частично, K находится в пределах от одного до двух ($1 < K < 2$).

Очевидно, что степень перекрытия изображений дефекта, а следовательно, и величина K зависят от протяженности дефекта в направлении расположения мишеней (d_d), а также от удаленности дефекта от пленки (x_d). Простая зависимость получается из рассмотрения подобных треугольников ($\Delta M_1 a_1 M_2$ и $\Delta a a_1 b$) (рис. 2):

$$\frac{ab}{M_1 M_2} = \frac{x_g}{F}, \quad (8)$$

где $ab = d_g$ — протяженность дефекта в направлении расположения мишеней;

$M_1 M_2 = a$ — расстояние между мишенями.

Для того, чтобы изображения дефекта накладывались, необходимо:

$$\frac{ab}{M_1 M_2} > \frac{x_d}{F}$$

или условие наложения:

$$\frac{x_d}{d_d} < \frac{F}{a}. \quad (9)$$

Из рассмотрения геометрии двухлучевого бетатрона можно получить зависимости:

$$a = 2R \cos \alpha, \quad (10)$$

$$F = R \cos \alpha \operatorname{ctg} (\alpha + \beta) \left(1 + \frac{\sin 2\beta}{\sin 2\alpha} \right); \quad (11)$$

$$A = R \cos \alpha \frac{\sin 2\beta}{\sin 2\alpha} \operatorname{ctg} (\alpha - \beta), \quad (12)$$

где R — радиус установки мишеней;
 2α — угол сходимости пучков γ -излучения;
 2β — угол, вырезаемый коллиматором.

Подставив в неравенство (9) значения F и a из 10 и 11, получим:

$$\frac{x_d}{d_d} < \frac{1}{2} \operatorname{ctg} (\alpha - \beta) \left(1 + \frac{\sin 2\beta}{\sin 2\alpha} \right). \quad (13)$$

Для выбранной геометрии пучков двухлучевого бетатрона величина в неравенстве справа постоянна и равна C .

Условие наложения можно тогда записать:

$$\frac{x_d}{d_d} < C. \quad (14)$$

Дефекты типа «продолговатые», такие, как трещины, изломы и пр., а также дефекты у поверхности изделия, обращенной к пленке, чаще всего удовлетворяют неравенству 14; для них K примерно равен единице ($K \approx 1$) и радиографическая чувствительность не ухудшается.

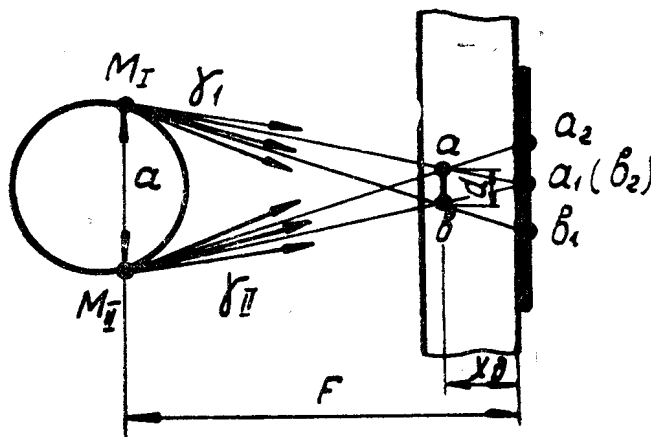


Рис. 2. Определение условия наложения изображений дефекта

Чтобы сравнить радиографические чувствительности однолучевого

$\left(\frac{\Delta x}{x} \right)_0$ и двухлучевого

$\left(\frac{\Delta x}{x} \right)_{I+II}$ режимов, ну-

жно также учесть, что подсветка вторым лучом, увеличивая плотность почернения, влияет и на градиент пленки (в формуле радиографической чувствительности γ_D заменяется на γ'_D).

Если в однолучевом режиме экспозиция (I) выбрана такой, что достигнут $\gamma_D = \gamma_{D \max}$ (ра-

бота на линейном участке характеристической кривой), то при том же времени просвечивания в двухлучевом режиме, так как увеличение плотности почернения за счет второго луча не приводит к увеличению γ_D ($\gamma_D = \gamma'_D$), радиографическая чувствительность для дефектов, изображения которых разнесены, будет в 2 раза больше, и для дефектов, изображения которых на пленке накладываются друг на друга, радиографическая чувствительность остается такой же, как и в однолучевом режиме.

В случае работы в однолучевом режиме на нелинейной части характеристической кривой ($\gamma_D < \gamma_{D \max}$), подсветка вторым лучом, в двухлучевом режиме увеличивает плотность почернения пленки и тем самым γ_D ($\gamma'_D > \gamma_D$), уменьшая разницу в радиографических чувствитель-

ностях однолучевого и двухлучевого режимов. Так, если в однолучевом режиме работали при $\gamma_D = \frac{1}{2} \gamma_{D_{\max}}$ и подсветкой вторым лучом γ'_D

доведена до $\gamma_{D_{\max}}$, то для дефектов, изображения которых разнесены, радиографическая чувствительность остается в однолучевом и двухлучевом режимах неизменной, а для дефектов, изображения которых накладываются, радиографическая чувствительность получается даже меньшей за счет выхода на линейную часть характеристической кривой.

При стереорадиографии на одну пленку для определения глубины залегания дефекта нет необходимости устанавливать сравнительную метку и (2) преобразуется в

$$x_d = \frac{dF}{a+d} \approx \frac{dF}{a}, \quad (15)$$

где $d = d'_2 - d'_1$ — расстояние между изображениями дефекта.

Время стереорадиографического контроля изделия по варианту «б» примерно равно времени контроля обычной радиографии, так как стереорадиограмма получается за одну экспозицию при одновременной работе обоих лучей бетатрона.

Чтобы избежать слишком большой плотности почернения пленки, экспозиция просвечивания в двухлучевом режиме делается, как правило, короче, чем в однолучевом.

В а р и а н т «в». Пленка на расстоянии A от изделия.

Удаление пленки от поверхности изделия на расстояние A , где пучки гамма-излучения расходятся, позволяет получить при одновременной работе двух лучей двухлучевого бетатрона за одну экспозицию увеличенную стереопару.

При таком положении пленки, вследствие уменьшения количества рассеянного излучения, достигающего пленки, радиографическая чувствительность улучшается.

Ухудшение четкости снимков, связанное с увеличением геометрической нерезкости из-за малости фокусного пятна бетатрона невелико.

Глубина залегания дефекта от поверхности изделия, обращенной к пленке, определяется по формуле:

$$x_d = \frac{(d_2 - d_1) F}{a \left(1 + \frac{A}{F}\right) + (d_2 - d_1)} \approx \frac{(d_2 - d_1) F}{a \left(1 + \frac{A}{F}\right)}, \quad (16)$$

где d_1 и d_2 — расстояния между изображениями дефекта и сравнительной метки на удаленных пленках.

Длительность экспозиции вследствие удаления пленки от источника увеличивается в соответствии с законом обратных квадратов:

$$t_2 = t_1 \left(\frac{F+A}{F} \right)^2 = t_1 \left(1 + \frac{A}{F} \right)^2, \quad (17)$$

где t_1 — время экспозиции при пленке у изделия;

t_2 — время экспозиции при пленке на расстоянии A от изделия.

Подставив в (17) значения F и A из выражений (11) и (12), получим:

$$t_2 = t_1 \left(\frac{\sin 2\alpha}{\sin 2\alpha - \sin 2\beta} \right)^2. \quad (18)$$

Несмотря на увеличение длительности экспозиции в варианте «в», общее время стереорадиографического контроля при рассмотрении

контролируемого изделия в стереоскоп в зависимости от соотношения углов 2β и 2α может быть равно, больше или меньше времени контроля по варианту «а», так как контроль по варианту «а» требует 2 экспозиции.

Так, например, для двухлучевого бетатрона Б 30/2 при энергии 30 мэв $2\beta = 10^\circ$; при $2\alpha = 35^\circ$ $t_2 = 2t_1$; при $2\alpha < 35^\circ$ $t_2 > 2t_1$; при $2\alpha > 35^\circ$ $t_2 < 2t_1$.

Выводы

Из анализа рассмотренных вариантов стереографии с помощью двухлучевого бетатрона следует:

1. Можно проводить стереографический контроль без перемещения бетатрона или изделия.

2. Стереографические снимки за одну экспозицию возможно получить с помощью методик, рассмотренных в вариантах «б» и «в».

3. Наилучшая радиографическая чувствительность достигается при использовании методики варианта «в».

4. Минимальные затраты времени на стереорадиографический контроль имеют место в варианте «б».

5. Стереопары для дальнейшего рассматривания в стереоскопе могут быть получены в случае использования вариантов «а» и «в».

ЛИТЕРАТУРА

1. С. В. Медведев, Л. К. Таточенко. Промышленная гамма-дефектоскопия, Металлургиздат, М., 1955.
