

Министерство общего и профессионального образования
Российской Федерации
Уральский государственный технический университет

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Методические указания по выполнению курсовой работы по курсу "Методы и средства контроля качества в приборостроении" для студентов дневной формы обучения физико-технологического института специальности 200503 - "Стандартизация и сертификация"

Екатеринбург 2012

УДК 620.179.16

Составители А.Ф.Зацепин, Д.Ю.Бирюков

Научный редактор проф., д-р техн. наук В.С.Кортов

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА: Методические указания по выполнению курсовой работы по курсу " Методы и средства контроля качества в приборостроении ". / А.Ф.Зацепин, Д.Ю.Бирюков. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 16 с.

В методических указаниях содержатся рекомендации по выбору и расчету основных параметров эхо-импульсного, теневого дефектоскопов и толщиномера - основных видов аппаратуры акустического контроля.

Методические указания предназначены для студентов специальности 200503"Стандартизация и сертификация"физико-технологического института.

Библиогр.: 12 назв. Рис. 3. Табл. 1.

Подготовлено кафедрой "физические методы
и приборы контроля качества".

© Уральский Федеральный
Университет 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	5
2. ВЫБОР РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ ДЕФЕКТОСКОПА	5
3. ВЫБОР ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТА, РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРИЗМЫ НАКЛОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ.....	6
4. РАСЧЕТ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ ШВОВ ...	8
5. ОЦЕНКА АКУСТИЧЕСКОГО ТРАКТА ЭХО-ИМПУЛЬСНОГО ДЕФЕКТОСКОПА	9
6. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОГО ТРАКТА ИМПУЛЬСНОГО ТОЛЩИНОМЕРА.....	10
7. РАСЧЕТ АКУСТИЧЕСКОГО ТРАКТА ТЕНЕВОГО ДЕФЕКТОСКОПА	12
8. ВЫБОР ЗОНЫ И ШАГА СКАНИРОВАНИЯ	13
9. ТРЕБОВАНИЯ К ГЕНЕРАТОРУ ЗОНДИРУЮЩИХ ИМПУЛЬСОВ ..	14
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	15

ВВЕДЕНИЕ

Целью выполнения курсовой работы является подготовка студентов к проектированию акустических приборов неразрушающего контроля качества на основе закрепления и углубления теоретических знаний разделов лекционного курса, изучения методик расчета и разработок методик контроля.

Студенты должны получить навыки работы со специальной литературой и ГОСТами, научиться разрабатывать структурную схему прибора, рассчитывать основные параметры контроля, выбрать и обосновать принятые методы расчета и конкретное техническое решение.

В качестве типовых устройств для курсового проекта предлагается рассчитать основные параметры эхо-импульсного дефектоскопа, толщиномера и теневого дефектоскопа - основных видов аппаратуры акустического контроля.

Пояснительная записка должна содержать:

- введение, где обосновывается выбор метода контроля, схемы контроля;
- описание блоков УЗ-дефектоскопа и их назначение;
- расчеты основных параметров контроля, пьезопреобразователей, акустического тракта, генератора зондирующих импульсов.

Графическая часть, курсового проекта должна включать структурную схему УЗ-дефектоскопа, чертеж конструкции преобразователя, схему контроля, сводную таблицу параметров контроля.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. В процессе курсового проектирования должен быть выполнен расчет основных параметров ультразвукового дефектоскопа исходя из задания на проект. Выбрана и обоснована структурная схема устройства.

1.2. Пояснительная записка и чертежи должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандарта предприятия СТП УПИ 1-85 и ГОСТОВ.

1.3. Титульный лист выполняется в соответствии СТП УПИ 1-85. В перечне литературы поместить список использованных источников с ссылками на них в тексте.

2. ВЫБОР РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ ДЕФЕКТОСКОПА

2.1. Для достижения требуемой лучевой разрешающей способности требуется, чтобы два следующие друг за другом импульсы не налагались. Импульсы фиксируются раздельно, если расстояние между одинаковыми отражателями вдоль луча

$$\Delta r \geq 2\lambda. \quad (2.1)$$

2.2. При выборе частоты с точки зрения обеспечения высокой точности измерения импульсным эхо-методом расстояния

$$h = \frac{ct}{2}, \quad (2.2)$$

где t - время пробега импульса в изделии, пользуются формулой

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\Delta c}{c} + \frac{\Delta t_{\text{пр}}}{t} + \frac{\Delta t_{\text{ж}}}{t} + \frac{\chi T}{t}. \quad (2.3)$$

Здесь $\Delta t_{\text{пр}}/t$ определяет погрешность измерительного прибора $\Delta t_{\text{пр}}/t \approx \Delta c/c \approx 1\%$; $\Delta t_{\text{ж}}$ - вариация времени пробега в слое контактной жидкости, связанная с изменением его толщины $\Delta h_{\text{ж}} \approx 0,1$ мм. При $\Delta t_{\text{ж}} = \Delta h_{\text{ж}}/c_{\text{ж}}$; $t = h/c$; $\Delta t_{\text{ж}}/t = 4 \cdot 0,1/h$. $\chi T/t$ - погрешность, связанная с длительностью импульса. В импульсных толщиномерах $\chi = 0,125$

$$\frac{\chi T}{t} = \frac{\chi \lambda}{2h} = \frac{\chi c}{2fh}. \quad (2.4)$$

С учетом заданной погрешности находят частоту f .

2.3. Определение верхней границы частоты при контроле изделий большой толщины.

Затухание акустических колебаний определяется формулой

$$\alpha = a_1 f + a_2 f^4, \quad (2.5)$$

где f - частота, a_1 , a_2 - коэффициенты:

$$a_{2l} = \frac{2\pi^2 V}{c_l^4} \left(\frac{\Delta E}{E} \right), \quad (2.6)$$

$$a_{2t} = \frac{8\pi^2 V}{3c_t^4} \left(\frac{\Delta \mu}{\mu} \right), \quad (2.7)$$

V - объем зерна, c_t , c_l - скорость поперечных и продольных волн в материале ΔE - ср. отклонение модуля упругости, $\Delta \mu$ - ср. отклонение модуля сдвига

Для реализации методики контроля необходимо, чтобы уменьшение амплитуды волны из-за рассеяния происходило в l раз на длине (100-1000) длин волн

$$U = U_0 e^{-\alpha(100 \div 1000) \frac{c}{f}}, \quad (2.8)$$

$$\alpha(100 \div 1000) \frac{c}{f} = 1, \quad (2.9)$$

$$\alpha = \frac{1}{(100 \div 1000)} \frac{f}{c} = 1. \quad (2.10)$$

Подставим в (1.5) и пренебрегая первым слагаемым, так как $a_1 f \ll a_2 f$,⁴ получаем

$$f_{\text{в}} = \sqrt[3]{\frac{1}{(100 \div 1000) c a_2}}. \quad (2.11)$$

Определив a_2 , находим значение верхней границы частоты.

2.4. Нижняя граница частоты рассчитывается с точки зрения выявляемости минимальных дефектов

$$f_{\text{н}} \geq \frac{c_{l(t)}}{2b}, \quad (2.12)$$

где b - минимальный размер дефекта;

2.5. Выбор рабочей частоты.

$$f_{\text{н}} < f_{\text{р}} < f_{\text{в}}$$

Частоту выбирают из ряда, рекомендуемого ГОСТом, 0,25; 0,060; 0,1; 0,15; 0,25; 0,40; 0,65; 0,80; 1,00; 1,25; 2,5; 5; 10,0; 15,00; 20,00; 25,00.

3. ВЫБОР ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТА, РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРИЗМЫ НАКЛОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

3.1. Выбрать пьезоэлемент, соответствующий по толщине заданной частоте (полуволновой резонанс).

$$h_1 = \frac{c_1}{2f_p}, \quad (3.1)$$

где c_1 - скорость звука в пьезоэлементе.

Толщина протектора выбирается четвертьволновой.

$$h_2 = \frac{c_2}{4f_p}, \quad (3.2)$$

c_2 - скорость звука в протекторе.

При излучении в воду характеристический импеданс материала протектора такой, что

$$z_2' = \sqrt{z_1 z_3}, \quad (3.3)$$

z_1, z_3 - импедансы пьезопластины и воды.

Выбрать материал по справочнику. Там же выбрать материал демпфера с $z_0 = (3,5-6) \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$.

3.2. Требования к материалу призмы

При конструировании преобразователей для частот выше 5 МГц оргстекло (основной материал призмы) желательно заменить материалом с меньшим затуханием. В низкочастотных преобразователях оргстекло заменяют материалом с большим затуханием.

Угол наклона призмы (угол падения) α рассчитывают (приблизительно) по углу ввода луча γ из закона синусов:

$$\frac{\sin \alpha}{c_{\text{пр}}} = \frac{\sin \gamma}{c}, \quad (3.4)$$

где $c_{\text{пр}}, c$ - скорости волн в призме и изделии.

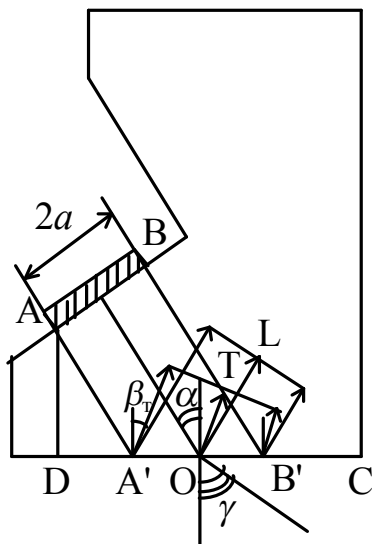


Рис.1

Следует отметить, что при контроле стальных изделий преобразователем с призмой из оргстекла для возбуждения продольных волн под углом к поверхности используют призмы с углом не более $10-12^\circ$. Для возбуждения поперечных волн применяют призмы с углами больше первого, но меньше второго критического.

Размеры и форма призмы (рис.1) выбираются такими, чтобы обеспечить отсутствие ложных импульсов. Луч AA' не должен попадать на верхнюю часть пьезопластины, а BB' - на ребро двугранного угла.

К расчету конструкции призмы

$$m = AD > \frac{2\alpha \cdot \cos\alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta_T)}, \quad (3.5)$$

$$c = OC > OB' = \frac{a}{\cos\alpha}, \quad (3.6)$$

где $2a$ - диаметр преобразователя.

3.3. Расчет диаметра преобразователя

Диаметр преобразователя должен обеспечивать фронтальную разрешающую способность в ближней зоне

$$\Delta l = (0,5 \div 1) \cdot 2a, \quad (3.7)$$

и дальней зоне

$$\Delta l = \frac{r\lambda}{2\alpha}. \quad (3.8)$$

Здесь r - максимальный путь в изделии, l - рабочая длина волны.

4. РАСЧЕТ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ ШВОВ

4.1. Толщина шва $\leq 10 \div 12$ мм

При заданной толщине h ширина валика усиления принимается равной h . Контроль производится прямым и однократно отраженным лучом. Сигналы от дефектов отличаются от ложного сигнала от провиса по времени прихода. Для этого лучевая разрешающая способность должна быть не хуже $h/6$. Отсюда и из условия $l < 2b$ ($2b$ - размер дефекта) определить частоту контроля.

Определение угла наклона призмы α и размера пьезоэлемента $2a$ выполняется из условий: слой вблизи корня сварного шва толщиной $h/3$ должен контролироваться прямым лучом:

$$c + \frac{h}{2} + \Delta g \leq \frac{2}{3} h \operatorname{tg} \gamma, \quad (4.1)$$

c - стрела искателя, $\Delta g \approx 1$ мм - резервная добавка. Значение c выбирается из условий на призму искателя (п. 3.2) с резервом 0,5 мм.

При выборе α определяют с точностью до градуса (обычно $50-60^\circ$), величину a - с точностью до 0,5 мм (обычно 2-4 мм).

4.2. Толщина шва ≥ 100 мм

Угол наклона призмы преобразователя α выбирается равным 40° , если $h \leq 150-200$ мм и $35-30^\circ$, при $h > 200$ мм. Далее по закону синусов рассчитывается угол ввода γ .

5. ОЦЕНКА АКУСТИЧЕСКОГО ТРАКТА ЭХО-ИМПУЛЬСНОГО ДЕФЕКТОСКОПА

5.1. В таблице приведены формулы, определяющие давление в отраженной от дефекта волне в месте расположения приемного преобразователя в зависимости от длины волны, характеристик отражателя и преобразователя.

Формулы для определения давления в отраженной волне

Таблица		
Тип отражателя	Дальняя зона	Схема
1. Диск с $\varnothing=2b$, перпендикулярный волновому вектору	$\frac{p'}{p_0} = \frac{S_a S_b}{\lambda^2 r^2} e^{-\alpha \cdot r}$ p_0 - давление в излучаемой волне, S_a, S_b - площадь преобразователя и отражателя, α - коэффициент затухания	
2. Сфера $\varnothing=2b$	$\frac{p'}{p_0} = \frac{S_a b}{2\lambda r^2} e^{-\alpha \cdot r}$	
3. Цилиндр бесконечной длины $\varnothing=2b$	$\frac{p'}{p_0} = \frac{S_a}{2\lambda} \sqrt{\frac{b}{r^3}} e^{-\alpha \cdot r}$	
4. Бесконечная плоскость	$\frac{p'}{p_0} = \frac{S_a}{2\lambda r} e^{-\alpha \cdot r}$	

Из уравнения прямого пьезоэффекта найдем величину p' , которая превышала бы уровень шума на входе усилителя в $5 \div 10$ раз. Уровень шума принять равным $U_{\text{ш}} = (10 \div 50) 10^{-6}$ В.

$$q = d_{11} \cdot S \cdot p', \quad (5.1)$$

$$q = c \cdot U = c \cdot (5 \div 10) U = d_{11} \cdot S \cdot p', \quad (5.2)$$

$$p' = \frac{c(5 \div 10)U_{\text{ш}}}{d_{11}S} = \frac{(5 \div 10)U_{\text{ш}}}{d_{11}} \cdot \frac{\varepsilon \varepsilon_0}{h_1}, \quad (5.3)$$

где d_{11} - пьезомодуль ε - диэлектрическая постоянная материала пьезоэлемента.

Здесь учтено, что емкость пьезопластины $c = \varepsilon \varepsilon_0 S / h_1$.

5.2. Определив минимальное давление на приемнике, находят величину p_0 , излучателя и оценивают возможность получения таких значений на пьезопреобразователе. Для этого используют уравнение обратного пьезоэффекта

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\delta h_1}{h_1} = d_{11} E_x, \quad (5.4)$$

$$\delta h_1 = d_{11} E_x h_1 = d_{11} U_{\text{генер.}}, \quad (5.5)$$

$$p_0 = \frac{\delta h_1}{h_1} E, \quad (5.6)$$

где E - модуль упругости.

Отсюда

$$\delta h_1 = \frac{p_0 h_1}{E} = d_{11} U_{\text{генер.}}, \quad (5.7)$$

И, окончательно,

$$U_{\text{генер.}} = \frac{p_0 h_1}{E d_{11}}. \quad (5.8)$$

Для учета потерь акустической энергии при переходах пьезопластина - протектор - контактная жидкость - изделие и обратно, влияния помех, результат по формуле (5.8) умножается на коэффициент потерь $K_{\text{п}} = (100-300)$, который зависит, от конструируемого материала, чистоты обработки и состояния поверхности. Кроме того, это обеспечивает необходимый запас чувствительности прибора.

6. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОГО ТРАКТА ИМПУЛЬСНОГО ТОЛЩИНОМЕРА

6.1. Расчет акустического тракта импульсного толщиномера проводился аналогично разд.4. Отличие заключается в том, что нижняя граница

частоты определяется минимальной толщиной объекта. Для этого нужно обеспечить условия раздельной регистрации импульсов от границы, т.е. чтобы длительность эхоимпульсов была меньше двойного времени прохождения УЗК между границами изделия:

$$\tau_{\text{и}} \leq \frac{2h_{\text{min}}}{c}, \quad (6.1)$$

где h_{min} - минимальная измеряемая толщина, c - скорость звука в изделии.

Длительность эхо-импульсов определяется рабочей частотой и добротностью пьезопреобразователя Q . Можно считать, что добротность равна числу свободных колебаний, за время которых их амплитуда уменьшается в e раз, умноженному на π .

$$Q = \pi N_e. \quad (6.2)$$

Отсюда число колебаний

$$N_e = \frac{Q}{\pi}. \quad (6.3)$$

Тогда число колебаний, за которое амплитуда уменьшается в 10 раз, равно

$$N_{10} = \ln 10 \cdot N_e = 2,3 \cdot \frac{Q}{\pi}, \quad (6.4)$$

с учетом того, что

$$\frac{U}{U_0} = \frac{1}{U_0} U_0 e^{-\beta \cdot t} = 0,1, \quad (6.5)$$

Будем считать, что возрастание амплитуды закончено, если она увеличилась в 10 раз, осталась постоянной в течение этого же промежутка времени, а затем уменьшилась в 10 раз (рис.2).

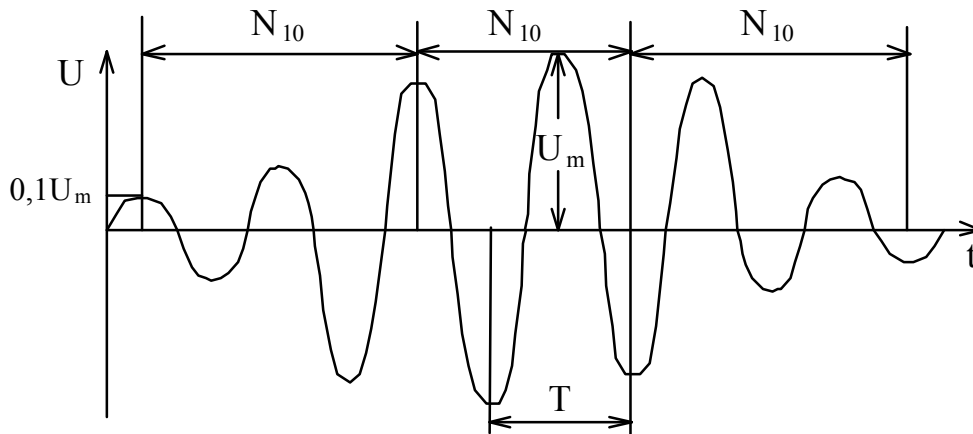


Рис.2.

Из рис.2 длительность импульса

$$\tau_{\text{и}} \leq 3N_{10}T = \frac{3N_{10}}{f} = \frac{3}{f} 2,3 \frac{\pi}{Q}. \quad (6.6)$$

Отсюда

$$Qf_H = \frac{6,9 \frac{Q}{\pi}}{\tau_H}. \quad (6.7)$$

Подставляя (6.1) в (6.7) получим

$$f_H \geq \frac{6,9 \frac{Q}{\pi} c}{2h_{\min}} = \frac{3,45 \cdot Q \cdot c}{\pi h_{\min}}. \quad (6.8)$$

Добротность в (6.8) рассчитывают для преобразователя, нагруженного на демпфер

$$Q = \frac{\pi}{\ln \frac{1}{R_1 R_2}}, \quad (6.9)$$

где

$$R_1 = \frac{\rho_n c_n - \rho_\partial c_\partial}{\rho_n c_n + \rho_\partial c_\partial}; \quad R_2 = \frac{\rho_n c_n - \rho_m c_m}{\rho_n c_n + \rho_m c_m}, \quad (6.10)$$

n - пластина, ∂ - демпфер, m - металл.

6.2. После определения верхней и нижней частот выбираем рабочую частоту f_p , тип пьезоэлемента и, как в случае импульсного дефектоскопа, рассчитываем p' и p_0 , используя формулу для бесконечной плоскости (см. таблицу). Уровень шума задать в пределах $(50 \div 100) \cdot 10^{-6}$, толщину задать равной максимальной (в соответствии с заданием): $r = h_{\max}$.

По значению p_0 с учетом K_n вычислить напряжение генератора импульсов.

7. РАСЧЕТ АКУСТИЧЕСКОГО ТРАКТА ТЕНЕВОГО ДЕФЕКТОСКОПА

При расчете акустического тракта теневого дефектоскопа верхняя и нижняя частоты определяются аналогично эхо-импульсному дефектоскопу.

Ослабление сигнала в дефектной зоне (уровень дискриминации) выбирают из условий устойчивости работы теневого дефектоскопа:

$$K_d = \frac{p_0}{p_d} \geq 5, \quad (7.1)$$

p_d - среднее давление на приемном преобразователе при наличии дефекта,
 p_0 - среднее давление на приемном преобразователе в дефектной зоне.

Для дефекта в ближней зоне

$$1 - 4 \frac{S_b}{S_a} \leq \frac{p_d}{p_0} \leq 1 - \frac{S_b}{S_a}, \quad (7.2)$$

в дальней зоне

$$1 - 4 \frac{S_b}{\lambda r} \leq \frac{p_d}{p_0} \leq 1 - \frac{4S_b S_a}{\lambda^2 r^2}. \quad (7.3)$$

После выбора рабочей частоты и толщины пластины и, задавшись уровнем дискриминации, определить из (7,2) и (7.3) площадь и диаметр пьезопластины.

Далее задаются напряжением на входе усилителя при наличии дефекта заданного размера. Величина напряжения должна существенно превышать уровень электрических и акустических помех, возникающих в процессе контроля (обычно 10^{-3} - 10^{-1} В).

Для определения p_d используем формулу (5.3).

По формуле (7.1) определяем p_0 и из (5.8) находим необходимое для контроля напряжение генератора.

8. ВЫБОР ЗОНЫ И ШАГА СКАНИРОВАНИЯ

При контроле листов зоной сканирования является вся поверхность листа. При контроле сварных швов преобразователь перемещается по основному металлу вблизи шва.

Для проверки всего объема наплавленного металла сварной шов проверяется с левой и правой стороны лучами, идущими от верхней и нижней поверхностей. Нижняя часть шва проверяется прямым, а верхняя (при толщине шва ≤ 150 мм) однократно отраженным лучом (рис.3).

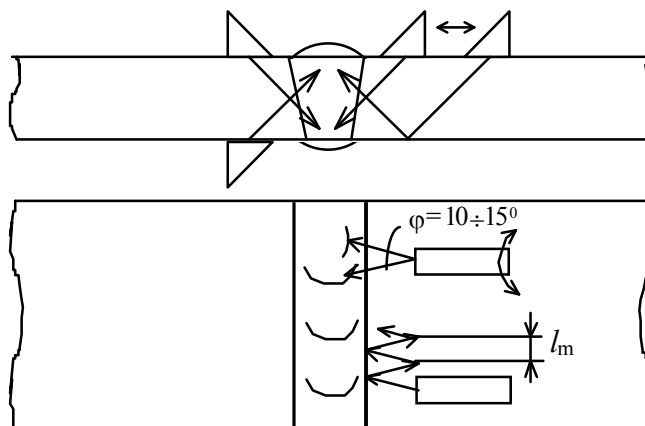


Рис.3 Схема контроля сварного шва

Зоны сканирования должны обеспечить контроль всего шва; с учетом этого рассчитывают положение линий, между которыми перемещается преобразователь по поверхности основного металла [4]. Зона контроля прямым лучом ограничивается валиком усиления шва и линией на рас-

стоянии L_1 от ближайшего к преобразователю края валика усиления, причем

$$L_1 = h \cdot \operatorname{tg} \gamma, \quad (8.1)$$

где h - толщина шва, γ - угол ввода, (преломления) луча преобразователя.

Шаг сканирования l_m определяется как расстояние между ближайшими траекториями перемещения преобразователя по поверхности изделия [4]. Чем больше это расстояние, тем сильнее ослабляется чувствительность к дефектам, расположенным между траекториями перемещения преобразователя. Допустимое ослабление чувствительности задается величиной $m < 1$. Тогда шаг сканирования l_m определяется как удвоенное расстояние от центра преобразователя до поверхности изделия до точечного дефекта, на котором амплитуда сигнала изменяется в m раз. Этот расчет выполняется согласно [4].

9. ТРЕБОВАНИЯ К ГЕНЕРАТОРУ ЗОНДИРУЮЩИХ ИМПУЛЬСОВ

Выбор напряжения генератора и частоты УЗК рассмотрены в разд. 1-6. Выбор частоты следования зондирующих импульсов в эхо-импульсном дефектоскопе производится исходя из максимального времени пробега УЗК в изделии $t_{\max}$ с учетом длительности зондирующего импульса

$$T \geq t_{\max} + 2\tau_{\text{и}}, \quad (9.1)$$

$$t_{\max} = \frac{2r}{c}; \quad \tau_{\text{и}} = (5 \div 10) \frac{1}{f_p}. \quad (9.2)$$

При выборе ключевых моментов зарядной цепи контура возбуждения УЗК, включающего пьезопластину, учитываются следующие величины:

- время нарастания тока при возбуждении пьезопластины должно быть

$$\tau_{\text{н}} = \frac{1}{4f_p}, \quad (9.3)$$

- для достижения максимального тока через преобразователь зарядная емкость должна быть значительно больше емкости преобразователя.

$$c_3 \gg c_{\text{пр}} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S_a}{h_1}, \quad (9.4)$$

где S_a площадь, h_1 -толщина пьезопластины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Выборнов Б.И. Ультразвуковая дефектоскопия. М.: Металлургия, 1985. 257 с.
2. Акустические методы контроля качества / И.Н.Ермолов, Л.З.Басацкая, Э.В.Кузнецов, С.А.Шерашов. М.:МЭИ, 1984. 38 с.
3. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. Т.II / Под ред. В.В.Клюева. М.: Машиностроение, 1986 . 352 с.
4. Гурвич А.Г., Ермолов И.Н. Ультразвуковой контроль сварных швов. Киев: Техника, 1972. 460 с.
5. ГОСТ 12503-75. Методы ультразвукового контроля.
6. ГОСТ 14782-76. Контроль неразрушающий. Швы сварные.
7. ГОСТ 7.32-81. Отчет о научно-исследовательской работе. Общие требования и правила оформления.
8. Алешин Н.П., Лупачев В.Г. Ультразвуковая дефектоскопия: Справочник. Минск: Высшая школа, 1987. 271 с.
9. Ультразвуковые преобразователи для неразрушающего контроля / Под ред. И.Н.Ермолова. М.: Машиностроение, 1986. 280 с.
10. Методы дефектоскопии сварных соединений: Учебное пособие / В.Г.Щербинский, В.А.Феокистов, В.А.Полевик и др.; Под общ.ред. В.Г.Щербинского. М.: Машиностроение, 1987. 336 с.: ил.
11. И.Н.Ермолов, Н.П.Алешин, А.И.Поттпов. Под общ.ред. В.В.Сухорукова. Неразрушающий контроль. Книга 2 "Акустические методы контроля". М.: "Высшая школа". 1991. 288 с.
12. И.Н.Ермолов, М.Б.Гитис, М.В.Королев и др. Под общ.ред. И.Н.Ермолова. Ультразвуковые преобразователи для неразрушающего контроля. М.: "Машиностроение" 1986. 280 с.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Составители Зацепин Анатолий Федорович
Бирюков Дмитрий Юрьевич

Редактор Т.В.Даняева

Подписано в печать 11.01.12		Формат 60x84 1/16	
Бумага типографская	Офсетная печать		Усл.п.л. 1,63
Уч.-изд.л. 1,44	Тираж 200	Заказ 236	Цена "С"

Издательство УрФУ
620002 Екатеринбург, Мира, 19

Ротапринт УрФУ. 620002, Екатеринбург, Мира, 19