

КОНТРОЛЬ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРОТОНАМИ СРЕДНИХ ЭНЕРГИЙ

В. П. ИВАКИН, Б. А. КОНОНОВ, А. Л. ЛУКИН

Неразрушающий контроль качества материалов и изделий методом протонной радиографии находит все большее практическое применение благодаря целому ряду преимуществ, которыми обладает этот метод перед таким общеизвестным методом радиационной дефектоскопии, как рентгеновская радиография. К основным преимуществам относятся следующие: 1) получение высокой контрастной чувствительности при использовании методов радиографического контроля, основанных на поглощении и замедлении протонов (до 0,01% при условии работы с максимальной стабильностью пучка) [1,2]; 2) получение более четкой картины граничных областей изделий при использовании метода радиографии, основанного на рассеянии протонов [3].

Физическая основа метода протонной дефектоскопии состоит в том, что ослабление моноэнергетического пучка протонов происходит в основном в слое, находящемся около конца пробега и составляющем примерно 5% от всего пробега. Наличие крутого спада на кривой распределения пробегов и позволяет получить исключительно высокую контрастную чувствительность (при условии согласования толщины однородного по плотности контролируемого изделия с пробегом протонов данной энергии).

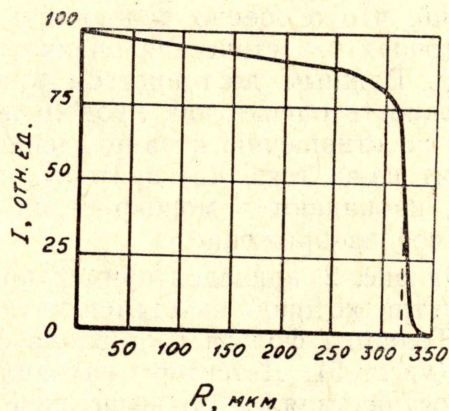


Рис. 1. Распределение пробегов протонов с начальной энергией 6,8 МэВ в алюминии.

Зависимость пробега протонов в веществе от интенсивности моноэнергетического пучка протонов представлена на рис. 1. Пунктиром обозначен средний пробег протонов данной энергии (интенсивность в этой точке уменьшается в два раза).

В НИИ ЭИ проведено экспериментальное исследование возможностей протонной радиографии на моноэнергетических пучках протонов с начальной энергией 6,8 и 10 МэВ. В качестве источника протонов использовался циклотрон. Схематически эксперименты проводились следующим образом. Протонный пучок выводился из ионопровода в воздух через алюминиевую фольгу толщиной 100 мкм. Для создания однородного по плотности пучка протонов на площади 80 см² в ионопроводе дополнительно устанавливалась рассеивающая фольга из алюминия толщиной 20 мкм. Выведенный пучок протонов попадал на контролируемое изделие, установленное в непосредственной близости от выходного окна, и регистрировался детектором. В качестве детекторов применялись рентгеновская пленка типа РМ-1, фотопленка светочувствительностью 65 и 130 единиц ГОСТ 5554—70 и монокристаллы КСl и NaCl.

Возможность использования протонов с энергией 6,8 и 10 МэВ для целей дефектоскопии проверялась первоначально на образцах из алюминия, пробеги протонов в котором хорошо изучены. Дефект моделировался из алюминиевых фольг в виде ступенчатого клина, состоящего из 10 ступенек шириной 2 мм и толщиной 10 мкм каждая. Клин устанавливался за поглотителем из алюминия, подобранного таким образом, чтобы суммарная толщина соответствовала среднему пробегу протонов данной энергии. Для энергии протонов 6,8 МэВ эта толщина составляла 320 мкм. Доза, необходимая для получения четкого снимка на пленке РМ-1, должна быть порядка 10⁹ протонов/см². Доза для кристаллов КСl и NaCl изменялась в пределах 2·10¹³ ÷ 6·10¹³ протонов/см².

Величина контрастной чувствительности в экспериментах оценивалась по наличию изображения териленовой пленки, помещаемой поперек алюминиевого клина, и составляла 0,08%. Следует отметить, что контрастная чувствительность практически не зависит от местоположения териленовой пленки, которая помещалась как за клином, так и перед ним.

Из детекторов, применяемых нами в экспериментальных исследованиях, наиболее подходящими оказались монокристаллы КСl и NaCl, которые под действием протонов окрашиваются в фиолетовый и глубокий желтовато-коричневый цвета соответственно. Применение монокристаллов в качестве детектора помогает оперативно оценивать по степени окрашивания правильность согласования пробегов и толщины изделий, что особенно важно при контроле многокомпонентных изделий, точная теоретическая оценка пробегов протонов в которых невозможна. Важным достоинством кристаллического детектора является возможность оценки как продольных, так и поперечных размеров дефекта по отношению к направлению падения пучка протонов. Это происходит из-за того, что протоны, прошедшие через дефект в виде полости, проникают в монокристалл на большую глубину и формируют объемное изображение.

На рис. 2 приведен пример протонной радиограммы медной фольги, внутри которой находится титан-ниобиевый сплав (50% Ti и 50% Nb). Толщина фольги составляла 50 мкм. Снимок сделан с кристалла КСl (увел. 5). Детектор находился в контакте с фольгой. Контроль осуществлялся по вышеприведенной методике протонами с энергией 6,8 МэВ. Толщина, необходимая для получения изображения дефекта, создавалась дополнительными поглотителями из алюминиевых фольг толщиной 10 и 20 мкм. Дефект, как видно из рисунка, имеет волнообразную форму и обусловлен, по-видимому, технологией обволакивания титан-ниобиевого сплава медью и прокаткой изделия. Светлые полосы на рисунке соответствуют увеличению толщины титан-нио-



Рис. 2. Протонная радиограмма медной фольги, внутри которой расположен титан-ниобиевый сплав. Толщина фольги — 50 мкм. Увел. $\times 5$.

биевого сплава, темные — уменьшению. Оценка колебаний этой толщины соответствует величине $2,6 \div 3,0$ мг/см².

Таким образом, проведенные эксперименты показали возможность использования протонной радиографии для контроля многокомпонентных изделий суммарной массовой толщиной до 86 мг/см² при энергии протонов 6,8 МэВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Koehler A. M. Proton radiography. *Science*. **160**, N 3825, 303—304 (1968).
2. Berger H., Lapinski N. P. and Beyer N. S. Proton radiography: a preliminary report. Proc. 8th Symp. on Nondestructive Evaluation in Aerospace, Weapons Systems, Nuclear Application. Southwest Research Institute, San Antonio, Texas (1971).
3. West D., Sherwood A. C. Proton-scattering radiography. *Non-destructive testing*. **6**, N 5, 249—257 (1973).