

О ДЕФЕКТΟΣКОПИИ И ТОЛЩИНОМЕТРИИ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Б. А. КОНОНОВ, Ю. М. СТЕПАНОВ

(Представлена научным семинаром физико-технического факультета)

Обнаружение скрытых раковин, трещин, включений и т. п. в материалах и изделиях является предметом дефектоскопии, применяемой в различных областях промышленности. В радиационной дефектоскопии в настоящее время в основном используется электромагнитное излучение—тормозное, рентгеновское и гамма-излучение. О наличии дефекта судят по изменению интенсивности излучения, прошедшего через различные участки образца. Выявляемость дефекта в основном определяется разрешающей способностью детектора и обычно составляет около 1% от толщины контролируемого изделия, в редких случаях достигая десятых долей процента. Указанный предел обусловлен трудностью измерения интенсивности излучения с большой точностью.

В случае контроля изделий небольшой толщины из легких материалов чувствительность радиационного дефектоскопа может быть повышена примерно в 10 раз, если для просвечивания изделия использовать узкий монохроматический пучок электронов и наблюдать изменение его спектрального состава за поглотителем.

Схема такого спектрометрического электронного дефектоскопа представлена на рис. 1. Источник электронов 1 должен давать узкий моноэнергетический пучок частиц высокой интен-

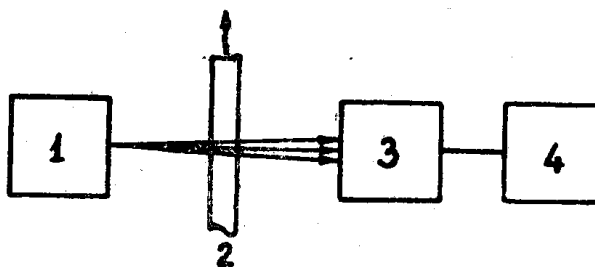


Рис. 1. Схема спектрометрического электронного дефектоскопа. 1 — источник электронов, 2 — контролируемый образец, 3 — спектрометр, 4 — записывающее устройство

сивности с энергией от одного до нескольких десятков Мэв. Источником электронов может быть бетатрон, микротрон, высоковольтный ускоритель, линейный ускоритель с сепаратором частиц и т. д. Контролируемый образец 2 перемещается в пространстве перпендикулярно пучку излучения. Спектрометрический детектор 3 — магнитный спектрометр, например, регистрирует изменение энергии электронов, прошедших поглотитель 2, и выдает сигнал на записывающее устройство 4 — самописец или любое другое регистрирующее устройство.

Принцип действия спектрометрического электронного дефектоскопа основан на почти линейной зависимости потери энергии электроном от толщины пройденного материала, даваемой, например, известной формулой Ландау для вероятной потери энергии [1]:

$$\Delta E_{\text{в}} = ax \left[\ln \frac{2mv^2ax}{I^2(1-\beta^2)} - \beta^2 + 0,37 \right],$$

где m и v — масса и скорость электрона,
 $\beta = v/c$, c — скорость света в пустоте,
 I — средний потенциал возбуждения атома вещества,
 x — толщина в см.
 $a = 0,154 Z/A \rho / \beta^2$,

Z, A, ρ — порядковый номер, атомный вес и плотность вещества. Иначе $\Delta E_{\text{в}} \sim x \ln x$ и, следовательно, изменение толщины поглотителя или, что то же самое, наличие дефекта легко может быть обнаружено посредством измерения энергии электронов, прошедших сквозь материал.

Вследствие флуктуаций потерь энергии по мере проникновения электронов в вещество энергетический спектр их будет уширяться. На рис. 2

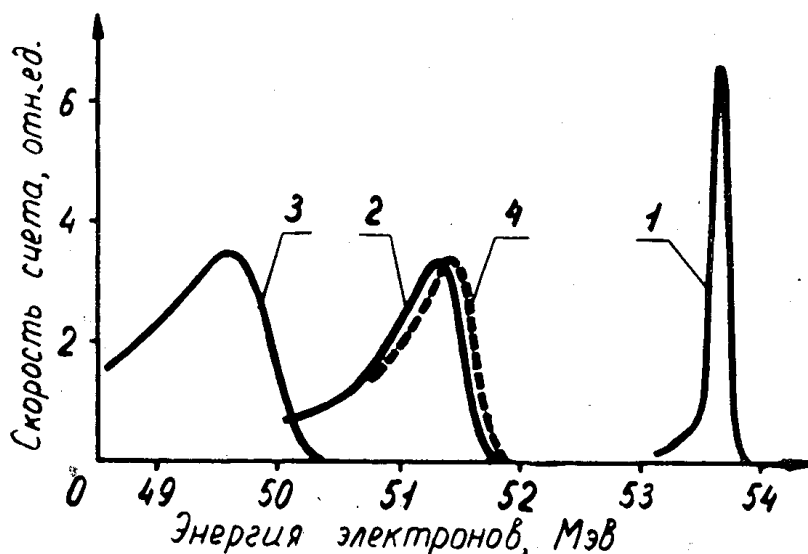


Рис. 2. Спектр монохроматического пучка электронов до поглотителя (1) и после прохождения 1,561 и 2,699 г/см² алюминия (2 и 3 соответственно). 4 — смещение кривой при появлении дефекта

представлена форма спектра монохроматического пучка электронов с энергией $53,61 \pm 0,01$ Мэв до поглотителя (кривая 1) и после прохождения 1,561 и 2,699 г/см² алюминия (кривые 2 и 3 соответственно) [2]. Ординаты 2 и 3 увеличены в 20 и 40 раз соответственно. Фиксировать изменение энергии электронов за поглотителем можно по изменению положения максимума вдоль оси абсцисс, но еще лучше по изменению положения точки, соответствующей ординате, вдвое меньшей максимальной, и лежащей в области наибольшей крутизны кривой. В первом случае для нахождения максимума кривой необходимо сделать несколько измерений, меняя ток в катушках спектрометра и регистрируя скорость счета. Во втором — колебания толщины поглотителя вызовут изменения в скорости счета вследствие смещения кривой и изменения положения максимума (например, при уменьшении толщины или появлении раковины кривая передвинется вправо — рис. 2, кривая 4). Измеренные зна-

чения энергий электронов в приведенном примере (рис. 2, кривые 2 и 3) соответствуют $51,33 \pm 0,02$ и $49,58 \pm 0,04$ Мэв.

С ростом толщины поглотителя максимум кривой распределения потерь энергии уменьшается, полуширина увеличивается, крутизна правого фронта уменьшается. В результате точность определения ΔE_B , а следовательно и Δx , уменьшается. Для энергии порядка 50 Мэв предлагаемый метод будет давать высокое разрешение при толщинах до 2 см в случае Al или более легкого вещества; предельная чувствительность дефектоскопа определяется точностью измерения энергии и для магнитного спектрометра высокого разрешения составляет до 10^{-4} .

Недостатком метода является возможность контроля лишь сравнительно тонких слоев легких веществ и сложность аппаратуры.

Нами исследована возможность обнаружения дефектов в небольших толщинах легких материалов просвечиванием последних широким пучком монохроматических электронов с энергией от 3 до 9 Мэв на рентгеновскую пленку. Как показали проведенные эксперименты, таким способом возможно обнаружение только четко очерченных дефектов (раковин, трещин и т. д.), лежащих на поверхности образца, обращенной к пленке, на которой возникает изображение не всего дефекта, а только его границ. Изображение границ при этом формируется за счет разного рассеяния электронов участками поглотителя по одну и другую сторону от границ дефекта. На рис. 3 схематически представлены изображения

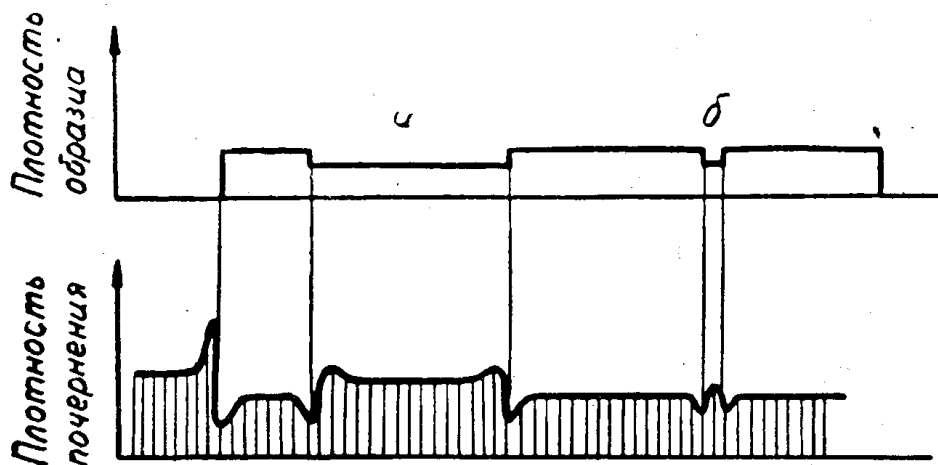


Рис. 3. Схема формирования изображения больших (а) и малых (б) дефектов при просвечивании широким электронным пучком

больших (а) и малых (б) дефектов. Плотность почернения пленки, которую следует ожидать из кривых распределения ионизации по глубине образца, нанесена пунктирной линией. Ввиду сильного рассеяния электронов внутренние дефекты выявляются очень слабо.

В радиационных методах толщинометрии в настоящее время используются излучения радиоактивных изотопов. Применение для этих целей монохроматических пучков электронов позволит получить большую чувствительность.

Если интенсивность излучения измеряется ионизационной камерой малого объема, то зависимость тока камеры от толщины поглотителя имеет вид, представленный на рис. 4 [3]. Толщина поглотителя отложена в долях экстраполированного пробега. Расчет показывает, что минимальная относительная погрешность измерения толщины в этом случае вдвое меньше относительной ошибки измерения ионизационного тока в

максимуме кривой. Для получения такой же чувствительности в случае использования электромагнитного или бета-излучения с оптимальной для данной толщины энергией ток в камере при нулевой толщине должен быть в 5—6 раз больше, т. е. требуется значительно большая интенсивность излучения.

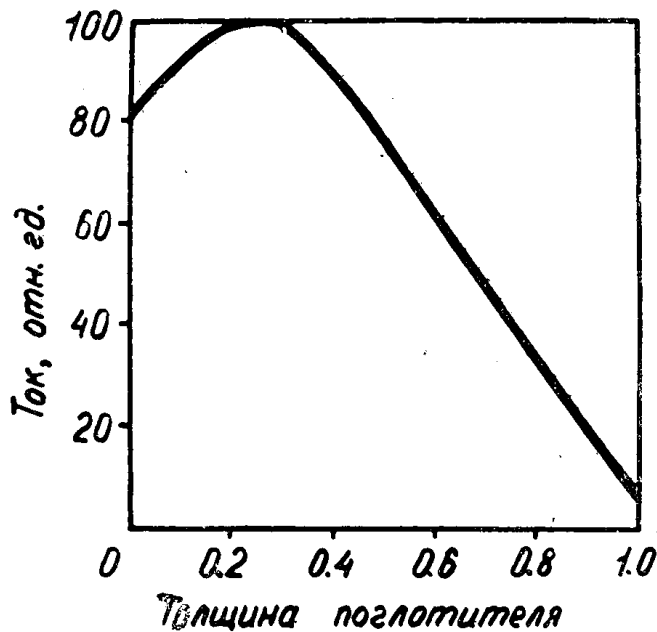


Рис. 4. Зависимость тока ионизационной камеры от толщины поглотителя из алюминия при облучении монохроматическими электронами с энергией от 2 до 6 Мэв

Таким способом можно контролировать толщины до 7—8 г/см² при энергиях электронов до 20 Мэв.

ЛИТЕРАТУРА

1. L. Landau. I. of Physics (USSR), v. VIII, № 4, 201 (1944).
2. H. Breuer. Z. Phys. 180, 209 (1964).
3. В. Н. Руденко. Диссертация, ТПИ, Томск, 1964.