

ИСТОЧНИКИ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ И ИНТРОСКОПИИ

Б. А. КОНОНОВ, В. В. ЕВСТИГНЕЕВ, Б. Ф. САВЕЛЬЕВ

(Представлена научным семинаром НИИ электронной интроскопии)

Требованиями для идеального источника быстрых электронов, используемых в дефектоскопии и интроскопии, являются: плавная регулировка энергии электронов в широком диапазоне контролируемых изделий и материалов, моноэнергетичность электронов, относительная высокая интенсивность пучка, низкий фон, высокая стабильность энергии и интенсивности излучения, малая угловая расходимость пучка и равномерность плотности электронов в пучке.

Необходимая максимальная энергия зондирующих электронов определяется массовой толщиной контролируемых изделий из выражения

$$E = \frac{10d + 0,9}{\ln \frac{2550}{z + 8,5}}, \quad (1)$$

в диапазоне $3 < E < 10$,
где

E — энергия электронов в Мэв;

Z — эффективный атомный номер вещества;

d — суммарная массовая толщина контролируемого вещества в г/см².

Выражение (1) получено при условии, что $d = 0,9R_0$, ибо в этом случае реализуется максимально достижимая чувствительность метода дефектоскопии быстрыми электронами [1].

Для контроля широкого круга материалов и изделий и получения заданной чувствительности необходимо, чтобы источник быстрых электронов обладал плавной регулировкой энергии с точностью установки ее $\pm 0,1R_0$.

На практике получению максимальной чувствительности контроля материалов и изделий препятствует нестабильность выходных параметров источника быстрых электронов. Одной из таких причин являются флуктуации энергии ускоренных электронов, которые значительно ухудшают чувствительность метода, что видно из соотношения, справедливого для сцинтилляционного метода вблизи экстраполированного пробега электронов [2]

$$\left| \frac{\delta I_E}{\delta E} \right| = \left| \frac{\delta I_x}{\delta x} \right|, \quad (2)$$

где

δI_E — относительное изменение интенсивности, обусловленное относительным изменением энергии δE , а

δJ_x — относительное изменение интенсивности, обусловленное дефектностью материала или изделия. Для энергий, больших, чем энергия, получаемая по формуле (1), выполняется соотношение

$$\frac{\delta J_x}{\delta x} > \frac{\delta J_E}{\delta E}.$$

По той же причине при дефектоскопии необходимую для просвечивания энергию электронов, определяемую формулой (1), для уменьшения зависимости выходного сигнала от флуктуаций энергии, следует увеличивать на 10—15%.

Оценку необходимой стабильности энергии быстрых электронов для получения заданной чувствительности можно сделать из выражения (2) с условием, чтобы изменение потока энергии за изделием вследствие дефектности его должно по крайней мере в 3 раза превышать изменение потока энергии за счет флуктуаций энергии. Максимально достижимая чувствительность метода контроля реализуется при стабильности энергии электронного излучения 0,1%. Поглощение электронного пучка в веществе с различным спектральным составом характеризуется различием наклонов кривых распределения поглощенной энергии электронов по глубине вещества. Поэтому полуширина энергетического распределения первичных электронов должна не превышать порядка одного процента с целью увеличения наклона кривых распределения поглощенной энергии, и, следовательно, увеличения максимальной чувствительности контроля.

Выбор и расчет необходимой плотности электронов в пучке для дефектоскопии и интроскопии материалов и изделий производится, исходя из требуемой производительности (скорости контроля) по величине статистической ошибки. Так, например, для определения дефектов величиной менее 2 мм со скоростью контроля порядка 100 см/мин. плотность потока электронов должна составлять 10^9 эл/см²·сек.

Колебания интенсивности электронного излучения непосредственно сказываются на выявляемости дефектов. Требования получения максимальной чувствительности метода дефектоскопии быстрыми электронами при использовании дифференциальных измерений определяют необходимость стабильности интенсивности излучения с точностью $\pm 1\%$.

Рассмотренным выше условиям наиболее полно по своим параметрам удовлетворяет бетатрон с выводом пучка, позволяющий достичь энергии одного или нескольких десятков Мэв.

Для получения мощности доза электронного излучения до 10 000 рад/мин наиболее целесообразно использовать быстрые электроны бетатрона, обладающего компактностью, простотой изготовления и обслуживания, надежного в работе.

Нами разработаны специальные типы бетатронов на 6 и 10 Мэв с выведенными электронными пучками для электронной дефектоскопии и интроскопии. Энергия электронов достаточна для просвечивания изделий и материалов с суммарной массовой толщиной соответственно 3 г/см² и 5 г/см². Разработанные бетатроны обладают повышенным доступом к ускорительной камере с целью использования максимальной интенсивности электронного излучения.

Вывод пучков из ускорительной камеры бетатрона осуществлен электростатическим способом с эффективностью 60%, с плотностью потока электронов на выходе не менее $5 \cdot 10^{10}$ электронов в секунду. Угловая расходимость пучка в воздухе составляет в вертикальной плоскости 1° и в горизонтальной—6°. Фокусирующие устройства обеспечивают

различные геометрические размеры электронного луча на расстоянии до двух метров от бетатрона. Минимально получаемый размер пучка равен 5×5 мм.

Системы стабилизации параметров обеспечивают стабильность энергии с точностью, лучшей 0,1%, и плавную регулировку ее в диапазоне от 0,5 до максимальной. Стабильность интенсивности электронного излучения $\pm 1\%$. Установки обеспечивают непрерывную работу в течение рабочей смены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. А. Кононов, К. А. Дергобузов, Ю. М. Степанов. «Дефектоскопия», № 4, 77, 1968.

2. Б. А. Кононов, В. В. Евстигнеев, В. М. Зыков. Труды II Межвузовской конференции по неразрушающим методам контроля. Томск, 1968 (в печати).
