

БЕТАТРОННАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. А. ВОРОБЬЕВ, Г. В. ТИТОВ

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института высоких напряжений)

В различных областях науки и техники, а также в промышленности широко применяются высокие напряжения. Для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации высоковольтного оборудования необходимо применять высококачественные электроизоляционные материалы, имеющие необходимую электрическую прочность. Местные отклонения от расчетной электрической прочности, вызываемые макро-неоднородностями структуры материала, не должны превышать допустимого предела, который должен быть установлен, исходя из условий эксплуатации установки. Одним из методов, позволяющих определить неоднородности непрозрачного для видимого света материала, является радиационная дефектоскопия, которая в настоящее время широко применяется для контроля качества изделия из металлов [1, 2].

Контроль деталей высоковольтного оборудования излучением радиоактивных изотопов и рентгеновских установок вследствие их малой проникающей способности ограничен толщинами для полимерных электроизоляционных материалов, не превышающими 25—35 см. Поэтому контролю могут быть подвергнуты только детали небольших толщин. Контроль же крупногабаритных элементов конструкций высоковольтных установок, имеющих большую толщину, излучением данных источников практически невозможен. Одним из путей сокращения брака деталей из электроизоляционных материалов и понижения аварийности является предварительный контроль заготовок или материала до обработки с целью выявления дефектов материала и вывода дефектного участка материала при изготовлении за пределы детали.

Большие толщины заготовок и исходных материалов не дают возможности проводить контроль рентгенографированием и гаммаграфированием. Применение в качестве источников излучения бетатронов дает возможность увеличить толщины полимерных электроизоляционных материалов, доступные для радиационной дефектоскопии, до 1,5 и более метров [3].

Большая проникающая способность тормозного излучения бетатронов и высокая интенсивность излучения, большие экспозиционные дозы на поверхности изделий при просвечивании крупногабаритных деталей требуют проведения тщательных исследований действия излучения на макроструктуру полимерных электроизоляционных материалов.

Длительное воздействие высокоэнергетического излучения, имеющее место при контроле толстостенных изделий, может вызвать появление трещин и разрывов в материале контролируемого изделия [4]. Появление подобных повреждений в значительной степени характерно для полимерных материалов.

Наряду с нарушением макроструктуры при облучении наблюдается изменение многих других свойств полимеров, например, электрических [5]. Таким образом, для полимерных электроизоляционных материалов, контроль качества которых проводится путем просвечивания их высокоэнергетическим излучением, необходимо определить также степень опасности изменения физических свойств при облучении.

Нами проведено исследование нарушения макроструктуры полимерных материалов — тефлона, полиэтилена и полистирола при облучении их излучением бетатрона с максимальной энергией квантов до 30 Мэв. Образцы тефлона, полиэтилена и полистирола, имеющие размеры от 3 до 10 см, облучались различными дозами излучения, причем радиационные повреждения исследовались в слоях, соответствующих максимуму поглощенной энергии. Многочисленные исследования показали, что радиационные повреждения с нарушением сплошности структуры изделия имеют место лишь при облучении дозами более 10 рентген.

Для уменьшения радиационных повреждений макроструктуры полимеров при облучении нами исследованы возможные варианты сокращения длительности экспозиций. Весьма перспективными для этих целей, по нашему мнению, являются сцинтилляционные усиливающие экраны [6]. Качество изображения, полученное с помощью сцинтилляционных экранов, безусловно, хуже, чем со свинцовыми или флуоресцентными экранами, однако получаемое сокращение длительности экспозиций составляло около 100 раз.

Другим способом сокращения длительности экспозиций является одновременное экспонирование двух или трех пленок с последующим рассмотрением их путем наложения. Доза, необходимая для получения требуемого почернения такой составной рентгенограммы, сокращается пропорционально числу экспонируемых пленок.

Для определения длительности экспозиций нами получена формула, связывающая параметры измерения и контролируемого материала с геометрией опыта [7]. Если интенсивность источника излучения на расстоянии одного метра составляет I_0 рентген/сек·см², x — толщина поглотителя, μ — линейный коэффициент ослабления излучения в контролируемом материале, то время экспозиции t определяется как

$$t = \frac{D_0 \cdot k \cdot e^{\mu x} \cdot r^2}{I_0} \cdot m,$$

где D_0 — доза излучения, необходимая для получения требуемого почернения пленки без поглотителя;

h — коэффициент, учитывающий изменение чувствительности пленки с ростом толщины поглотителя (всегда $k > 1$);

m — коэффициент усиления экрана;

r — фокусное расстояние.

Выявляемость дефектов, определяющая размер минимального обнаруживаемого дефекта, зависит от толщины изделия, энергии излучения, чувствительности детектора и т. д. Наиболее сложно выявляемость зависит от энергии излучения: с одной стороны, увеличение энергии излучения приводит к уменьшению величины коэффициента ослабления и, следовательно, к ухудшению выявляемости дефектов; с другой стороны, увеличение энергии снижает уровень вторичного излучения,

ухудшающего выявляемость дефектов. Нами исследована зависимость выявляемости дефектов при различных энергиях излучения в диапазоне 10—30 Мэв. Полученные результаты сведены в график на рис. 1.

Оптимальные условия просвечивания определялись по изображению на пленке эталонных дефектов, представляющих собой ступенчатые пластины с отверстиями различного диаметра. Толщина ступени, заметная на рентгенограмме, определяет выявляемость дефектов в направлении центрального луча, а диаметр наименьшего различного отверстия — размеры дефекта в направлении, перпендикулярном просвечиванию.

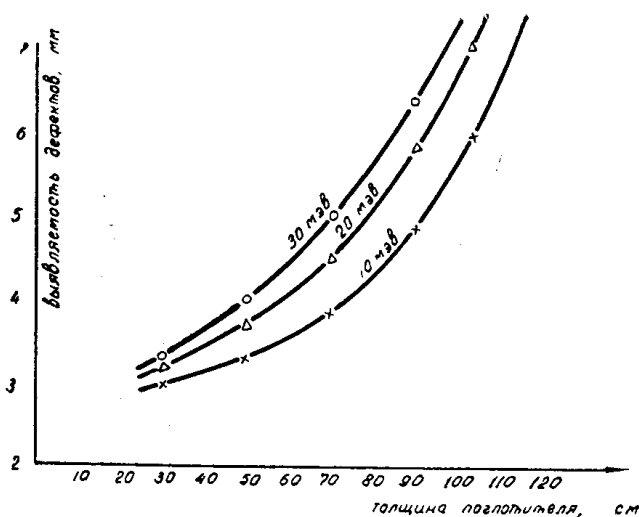


Рис. 1. Зависимость выявляемости дефектов в полиэтилене просвечиванием тормозным излучением от энергии излучения.

Проведенные исследования качества электроизоляционных материалов путем просвечивания излучением бетатронов показали применимость этого метода для контроля больших толщин (до 1000 мм).

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Соколов. Дефектоскопия материалов. Госэнергоиздат, Москва, 1961.
2. С. К. Румянцев, Ю. А. Григорович. Контроль качества металлов гамма-лучами. Металлургиздат, 1954.
3. А. А. Воробьев, В. А. Воробьев, В. И. Горбунов, Г. В. Титов. Бетатронная дефектоскопия материалов и изделий. Госатомиздат, 1965.
4. Дж. Динс и Дж. Виннард. Радиационные эффекты в твердых телах. М., Изд-во иностранной литературы, 1960.
5. Чарлзби. Ядерные излучения и полимеры. М., Изд-во иностранной литературы, 1960.
6. В. А. Воробьев, В. И. Горбунов, А. А. Силинский, Г. В. Титов. Сцинтилляционные усиливающие экраны в бетатронной радиграфии. Тезисы докладов V межвузовской научной конференции по электронным ускорителям, Изд. ТГУ, Томск, 1964.
7. В. А. Воробьев, А. А. Силинский, Г. В. Титов. Аналитическое определение времени экспозиции в бетатронной радиграфии. Тезисы докладов V межвузовской научной конференции по электронным ускорителям, Изд. ТГУ, Томск, 1964.