



Схема установки для нейтронного анализа индия и кадмия в потоке раствора:

1 — основной поток раствора; 2 — узел отбора проб; 3 — камера активации; 4 — источник нейтронов; 5 — детектор тепловых нейтронов; 6 — блок облучения с парафиновой защитой; 7 — сцинтилляционный детектор γ -излучения; 8 — свинцовый домик; 9 — измерительная камера; 10 — блок регистрации.

изводится гидрометаллургическое извлечение индия и кадмия.

Кроме индия (2—30 мг/л) и кадмия (5—20 г/л) в растворах присутствуют цинк, медь, железо, мышьяк и другие элементы, которые могут оказать влияние на точность определения требуемых элементов нейтронными методами.

Поглощение нейтронов раствором почти целиком определяется кадмием. Вклад других присутствующих элементов в значение полного макроскопического сечения не превышает 1—2%. Поэтому определение указанных концентраций кадмия в потоке раствора нейтронно-абсорбционным методом не представляет трудностей и производится (по экспериментальным данным) с ошибкой не более $\pm 5\%$.

При активации индия тепловыми нейтронами образуются несколько радиоактивных изотопов, из которых наиболее удобным для анализа является In^{110m} ($T_{1/2} =$

$= 54,2$ мин). Одновременно с индием активируются и другие присутствующие в растворе элементы. Однако влияние примесей можно почти полностью устранить путем дискриминации γ -излучения с энергией менее 0,6—0,8 Мэв. Анализ бедных индиевых растворов показал, что концентрация индия 2—3 мг/л может быть определена с ошибкой ± 1 мг/л. Точность анализа более богатых индием растворов, естественно, выше.

Установка для анализа индия и кадмия в потоке (см. рисунок) состоит следующих основных узлов: а) узла отбора проб, снабженного насосом, который обеспечивает постоянную скорость потока раствора через систему; б) блока облучения, совмещенного с контейнером для источника нейтронов. В одной из половин блока находится камера активации объемом ~ 1500 мл. По оси блока проходит канал, в котором источник нейтронов свободно перемещается из положения хранения в рабочее положение. Непосредственно возле камеры активации находится канал, предназначенный для детектора нейтронов; в) детектора тепловых нейтронов, состоящего из коронного нейтронного счетчика СНМ-11 и предусилителя, выполненного на транзисторах; г) блока измерения наведенной активности, состоящего из измерительной камеры объемом ~ 3000 мл, сцинтилляционного детектора γ -излучения с кристаллом NaJ (Tl) размером 80×80 мм и ФЭУ-56. Камера и детектор помещены в свинцовый домик со стенками толщиной 50 мм; д) блока регистрации, собранного из стандартных транзисторных блоков электронно-физической аппаратуры. Регистрация скорости счета производится линейными интенсивностями БИ-9 с записью на электронных самопишущих потенциометрах ПСР.

В институте разрабатываются также методики и установки для определения в потоках технологических растворов концентраций алюминия, натрия, ванадия, селена, фтора и некоторых других элементов.

Е. Р. КАРТАШЕВ, А. С. ПИТАНЬ

Промышленная технология радиационного модифицирования полимерной изоляции в кабельных изделиях

В 1949 г. советскими учеными академиком В. А. Каргиным и проф. В. О. Карповым было обнаружено новое явление: образование поперечных $C-C$ связей в полимерах при облучении их ионизирующими излучениями высокой энергии. Три года спустя появились первые публикации по этому вопросу и в зарубежной печати.

Радиационное сшивание в большинстве случаев приводит к благоприятному изменению свойств полимеров, если их облучать до надлежащим образом выбранной дозы в подходящих условиях. Прочностные характеристики материала несколько улучшаются, возрастает стойкость к деформации при нагревании (формоустойчивость) и стойкость к действию растворителей. Радиационное модифицирование полимеров представляет собой своеобразный физико-химический

метод направленного изменения свойств исходного материала.

Процесс радиационного модифицирования полимеров, в частности повышения их термостойкости, наиболее разработан применительно к полиолефинам и их сополимерам — материалам, широко используемым в качестве электрической изоляции различных электротехнических изделий, в том числе и кабельных.

При сшивании полиэтилена с помощью ионизирующих излучений термостойкость его повышается, что обусловлено образованием трехмерной структуры. Облученный полиэтилен приобретает по сравнению с необлученным ряд ценных эксплуатационных свойств: 1) при температурах выше температуры плавления необлученного полиэтилена облученный полимер не плавится, а приобретает каучукоподобные свойства, сохраняющиеся вплоть до температур термического

разложения; 2) с ростом дозы облучения полиэтилен утрачивает способность растворяться в горячих органических растворителях, а набухание его уменьшается; 3) возрастает устойчивость к воздействию агрессивных сред; 4) электрическая прочность облученного полиэтилена при температурах выше температуры плавления необлученного сохраняет конечное значение, тем большее, чем выше доза облучения; 5) уменьшается склонность к растрескиванию под действием механических напряжений и химических реагентов; 6) возрастает коррозийная стойкость; 7) полиэтилен приобретает так называемую память, т. е. способность восстанавливать форму, зафиксированную при облучении, после деформации в нагретом (расплавленном) состоянии, и др.

Одним из наиболее перспективных применений облученного полиэтилена является использование его в качестве электрической изоляции проводов и кабелей. Кабельный полиэтилен, содержащий 0,05—0,2% стабилизатора, облученный до оптимальной дозы, сохраняет работоспособность на воздухе при 200—250° С в течение нескольких часов, при 150° С — нескольких сот часов, а при 100—110° С — длительно. Работоспособность при указанных временах и температурах ограничивается уменьшением эластичности и возрастанием хрупкости изоляции, что связано с весьма быстрым протеканием процесса окисления при повышенных температурах. Вместе с тем облученный полиэтилен может в течение долгого времени эксплуатироваться в бескислородной среде при температурах до 250—300° С. Следовательно, увеличить длительность эксплуатации облученного полиэтилена в присутствии воздуха при повышенных температурах можно с помощью внешней (защитные оболочки, нейтральная среда) или внутренней (стабилизаторы, ингибирующие окисление) защиты. Первый путь достаточно эффективен, но применим не всегда; второй, менее эффективный, имеет большее применение.

В результате исследований стабилизирующего действия многочисленных химических соединений установлено, что применение некоторых из них позволяет увеличить длительность использования облученного полиэтилена на воздухе при 150° С с 200 до 1500 ч, а при 200° С — 3 до 40 ч. Применение комбинированных термостабилизирующих систем дало возможность еще более увеличить время эксплуатации полиэтилена при 150° С — до 10 000 ч, а при 200° С — до 200 ч. Разработаны термостабилизирующие системы, являющиеся антирадами.

Детально исследованы механизмы термоокисления облученного полиэтилена и термостабилизации различными системами, а также предложены новые принципы структурно-химической защиты сшитых полимеров от окисления.

Кабельные изделия с облученной полиолефиновой термостабилизированной изоляцией изготавливают по обычной технологии кабельного производства с использованием стандартного оборудования. Отличие состоит в том, что добавляется дополнительная операция — облучение, которая выполняется с помощью какого-либо источника излучения высокой энергии. Вместе с тем специфические свойства облученного полиэтилена и особенности условий эксплуатации таких кабельных изделий часто требуют разработки специальных конструкций проводов и кабелей.

В настоящее время разработаны и выпускаются многие термо- и радиационностойкие кабельные изделия с облученной полиолефиновой изоляцией, в том числе монтажные провода, коаксиальные и антивибрационные кабели и др. В продолжение работы (1000 ч

при температурах от 110 до 180° С) все основные эксплуатационные характеристики (сопротивление изоляции, электрическая прочность, влагостойкость, морозостойкость и др.) остаются на достаточно высоком уровне. Повышенная термостойкость и надежность кабельных изделий с облученной полиолефиновой изоляцией открывают широкие возможности для применения их в народном хозяйстве, например коротажных кабелей для геофизической разведки при сверхглубоком бурении, в погружных электронасосах, в радиоэлектронной аппаратуре, в приборах вычислительной техники и т. д.

Технология облучения кабельных изделий разрабатывалась на изотопных гамма-установках. В результате длительной работы на таких установках с облучателями различной конфигурации были определены основные технологические параметры процесса радиационного модифицирования полимерной изоляции в кабельных изделиях. Вместе с тем было установлено, что организация промышленного производства кабельных изделий с изоляцией из облученных полиолефинов на изотопных источниках нецелесообразна из-за сравнительно низкого к. п. д. и прерывистости процесса облучения.

Кабельные изделия как объекты для облучения характеризуются некоторыми специфическими особенностями: 1) представляют собой типичную гетерогенную систему (токоведущая жила и изоляция) с низким весовым соотношением полимер:металл; 2) имеют большие длины при небольших наружных размерах; 3) изоляция подвержена радиационному окислению при облучении на воздухе.

Кроме того, вследствие своеобразной геометрии кабельных изделий все технологические процессы целесообразно осуществлять при перемотке (что является общепринятым).

Поскольку средняя доза облучения полимерной изоляции кабельных изделий, необходимая для модифицирования, достаточно высока (50—100 *Мрад*), только установка с высокой мощностью дозы может обеспечить хорошую производительность. Поэтому ускоритель электронов имеет явные преимущества перед изотопными источниками. Большие мощности дозы в электронном пучке дают возможность проводить радиационную обработку кабельных изделий непосредственно в процессе пропускания их в зоне облучения, что больше соответствует специфике кабельного производства. Кроме того, из-за малой длительности пребывания кабельного изделия под пучком процесс радиационного окисления становится менее критичным. Вместе с тем наличие высокой мощности дозы в сочетании с низкой теплопроводностью изоляции выдвигает на первый план проблему отвода тепла от облучаемого изделия.

Ускоритель электронов ЭЛТ-1,5 является первым отечественным электрическим источником излучения высокой энергии, пригодным для использования в промышленных радиационно-химических процессах. Мощность поглощенной дозы вблизи фольги выпускного окна при площади развертки 200 *см*² составляет (для водозэквивалентного объекта при 100%-ном поглощении излучения) 150 *Мрад/сек* при номинальных параметрах ускорителя: энергии 1,5 *Мэв*, токе 10 *ма* (мощность в пучке 15 *ватт*).

Конвейерное устройство для облучения кабельных изделий непрерывным способом позволяет пропускать их в зоне развернутого пучка многократно с поворотом на 180° после каждого прохода (для устранения экранящего эффекта от жилы). Благодаря многократ-

ному последовательному пропуску кабельного изделия через зону облучения требуемая доза набирается отдельными циклами, чередующимися с холостыми циклами; при этом соотношение длительностей рабочего и холостого циклов можно регулировать параметрами конвейерного устройства и выбирать так, чтобы в течение холостого цикла изоляция охлаждалась естественно или принудительно (водяные ванны и обдув газожидкостным дисперсоидом) в необходимой степени. Такая система дробного облучения обеспечивает решение проблемы тепловода.

Указанные конструктивные решения дали возможность применить для облучения электронный пучок мощностью 15 *квт* при мощностях дозы 100—150 *Мрад/сек*, что на 3—4 порядка выше мощностей доз, обычно используемых на изотопных источниках.

Коэффициент использования излучения с учетом доли поперечного сечения пучка, перекрываемого облучаемым объектом, и поглощения пучка по глубине колеблется в пределах 35—65%; однако он может быть существенно увеличен совмещением двух конвейерных систем, расположенных друг под другом.

В зависимости от конструкции облучаемого кабеля (радиальная толщина изоляции, соотношение толщин изоляции — жилы, наружный диаметр изделия, наличие экранов и т. п.) скорость пропускания в зоне пучка колеблется от 30 до 100 *м/мин*. Достижение столь значительных скоростей облучения позволит совместить операции изолирования токоведущей жилы с облучением изоляции в единый технологический процесс в условиях кабельного производства.

Технико-экономическая эффективность внедрения проводов и кабелей с облученной полиолефиновой изоляцией может быть определена в сравнении с аналогичными изделиями, изготавливаемыми с приме-

нием других термостойких материалов. Однако целесообразность применения таких изделий определяется не только прямой экономической выгодой от замены более дорогостоящих изделий с иными изоляционными материалами, но и возможностью решения с помощью этих изделий некоторых технических задач. Приближенные оценки показывают, что капитальные затраты на сооружение промышленной установки по облучению кабельных изделий окупаются менее чем за год.

Следует отметить, что технические характеристики кабельных изделий с облученной полиолефиновой изоляцией, выпускаемых в США, несколько ниже, чем наших. Так, температура длительной эксплуатации по американским стандартам не превышает 135° С, по нашим техническим условиям она составляет 150° С.

Решение вопросов термостабилизации радиационно-носимых полиолефинов и разработка оптимальных режимов их облучения в зависимости от конкретных условий эксплуатации и назначения позволили создать фактически новый материал, который может использоваться не только в качестве термо- и радиационно-стойкой изоляции кабельных и других электротехнических изделий, но и для других целей. В частности, весьма перспективным представляется использование этого материала в сантехнике (трубы горячего водоснабжения, фитинги, смесители и др.), для изготовления химической посуды, труб для химических производств, медицинского оборудования, упаковочной термоусаживаемой пленки и т. п.

Несомненно, что широкое внедрение радиационно-химических методов модифицирования полимерных материалов в различные отрасли народного хозяйства будет способствовать дальнейшему техническому прогрессу.

Э. Э. ФИНКЕЛЬ, Р. П. БРАГИНСКИЙ

Самозащищенные гамма-установки

Задачи разработки самозащищенных гамма-установок для экспериментальных целей — обеспечить удобство и современный уровень проведения экспериментов, воспроизводимость результатов (создать равномерное дозное поле с возможностью проведения точной дозиметрии в рабочем объеме), полную безопасность эксплуатации в обычных лабораторных помещениях и минимальные капитальные затраты на строительство, т. е. технико-экономические показатели массового эксперимента.

С учетом этих требований в СКБ ИОХ АН СССР (Специальное конструкторское бюро Института органической химии АН СССР) по заданию Государственного комитета по использованию атомной энергии СССР был разработан ряд самозащищенных изотопных гамма-установок для радиационных исследований.

Установка МРХ-γ-50-II, предназначенная для проведения микробиологических и радиационно-химических исследований, разработана и изготовлена в 1960—1962 гг. В этой установке использован известный принцип, заключающийся в том, что «облучатель неподвижен, к нему перемещается объект облучения», однако иное конструктивное оформление открыло качественно новые экспериментальные возможности, что сразу поставило установку в один ряд с лучшими

мировыми образцами. Краткая техническая характеристика установки:

Суммарная активность источников излучения	32 000 <i>кюри</i>
Максимальная мощность дозы в центре рабочей камеры	$4,3 \cdot 10^6$ <i>р/ч</i>
Объем рабочей камеры	1,25 <i>л</i>
Степень равномерности дозного поля	±25%
Максимальная потребляемая мощность	1 <i>квт</i>
Размеры (без механизма подъема)	126 × 140 × 160 <i>см</i>
Общий вес	5,5 <i>т</i>

Установка позволяет вести исследования в циркуляционных, статических и проточных условиях в интервале температур от -40 до +500° С при давлениях 1—5 *атм*. Рабочий объем камеры термостатирован. Зарядка источниками излучения осуществляется «сухим» методом в лабораторных условиях. Установка снабжена часовым механизмом программного управления на 24 ч и блокирующими устройствами, обеспечивающими безопасность работы. В разработке установки принимал участие Институт биофизики АН СССР, где она и находится с декабря 1962 г.