

## РАЗВИТИЕ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ РАДИАЦИОННОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

В. И. ГОРБУНОВ

Развитие неразрушающих методов и средств контроля материалов и изделий является закономерным результатом требований технического прогресса и тех качественных изменений, которые наблюдаются в процессе развития науки и техники.

Послевоенный период можно охарактеризовать грандиозным развитием технического прогресса, успехами физики, технической электроники, технической кибернетики и т. п. Для современного развития промышленности характерно сосредоточение материально-технических средств, научных и инженерных разработок в одном сооружаемом объекте.

Значительное количество дорогостоящих объектов, таких как тепловые энергоблоки в сотни тысяч киловатт, гидротурбины, ядерные реакторы, магистральные трубопроводы, воздушные лайнеры и космические корабли, уже с начала постройки становятся уникальными. Вот почему затраты общества на их сооружение могут быть оправданы только в том случае, если объекты будут работать бесперебойно. Из вышесказанного становится совершенно очевидно, что никакой выборочный контроль качества изделий и материалов, из которых изготавливаются детали и узлы, не обеспечит гарантию безаварийной и надежной работы объектов. Причиной аварии космического корабля, теплового энергетического или магистрального блока, или магистрального трубопровода, на разработку и создание которых затрачиваются десятки и сотни миллионов рублей, может явиться выход из строя одной из многочисленных и самой незначительной детали; некачественно выполненного участка сварного шва и т. п. Таким образом, «проблема стопроцентной гарантии надежности всех жизненно важных узлов и деталей, а также качества всех основных материалов, идущих на сооружение подобных объектов, стала насущной государственной задачей»<sup>1</sup>.

Для многих отраслей промышленности, таких как металлургическая, машиностроительная, химическая и другие, характерно внедрение высокоскоростных технологических процессов. Управление такими процессами немислимо без широкого применения современных средств автоматики и кибернетики. Однако применение мощного современного арсенала технических средств для целей комплексной автоматизации

<sup>1</sup> П. К. Ощепков. Интроскопия и ее применение в науке. М., Онтипробор, 1966.

высокоскоростных технологических процессов в большинстве случаев не является эффективным вследствие отсутствия входных данных, характеризующих качество продукции и технологический процесс.

Отсутствие разработанных методов получения входных данных непосредственно из контролируемых объектов остро поставило вопрос о разработке автоматических средств контроля в поточном производстве. Следует указать, что неудовлетворительное состояние методов и средств автоматического контроля характерно для всей мировой практики.

В программе КПСС и директивах XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 гг. особое внимание уделяется дальнейшему повышению качества производимой продукции. «Основные задачи промышленности в новом пятилетии заключаются ... в повышении технического уровня и эффективности производства, коренном улучшении качества продукции»<sup>2</sup>.

Вполне очевидно, что задача всемерного повышения качества продукции во всех отраслях промышленности, связанная в конечном счете с проблемой надежности и технико-экономической эффективности, может быть решена лишь при условии создания новых методов и устройств, позволяющих обеспечивать высокопроизводительный, автоматический контроль качества материалов и изделий. Вместе с тем непрерывный рост требований к надежности агрегатов, машин и конструкций вызывает необходимость дальнейшего увеличения информации о внутренних свойствах и качестве контролируемых изделий без их разрушения при высокой скорости обработки этой информации. Удовлетворить перечисленные требования с помощью известных методов дефектоскопии, позволяющих осуществлять в большинстве случаев выборочный контроль качества продукции при одноэлементной информации, не представляется возможным.

В последние годы как закономерный результат требований современного технического прогресса как в нашей стране, так и за рубежом возникло и стало развиваться новое направление в науке и технике — интроскопия. Главной задачей интроскопии как раз и является создание методов и средств высокоскоростного получения, обработки и регистрации наиболее полной, т. е. многоэлементной, информации непосредственно из внутренних областей изучаемых или контролируемых тел и процессов. Из сказанного становится ясным, что только интроскопия в конечном счете позволит получить наиболее полную информацию о свойствах и качестве контролируемых изделий.

Развитие методов и средств интроскопии оказывает определяющее влияние на развитие современной дефектоскопии. Больше того, практика развития современных методов и средств неразрушающего контроля материалов и изделий показывает, что интроскопия, по сути дела, является новым этапом развития дефектоскопии, основанным на последних достижениях науки и техники.

Интроскопия и современная дефектоскопия основаны на широком использовании самых различных видов и спектров проникающих излучений, таких как ультразвуковые колебания, магнитные и электромагнитные поля, рентгеновские и гамма-лучи, нейтронные потоки, оптические спектры, радиоволны сантиметрового и миллиметрового диапазонов и др.

Разработка методов и средств современной радиационной дефектоскопии и интроскопии, наряду с использованием других источников электромагнитных излучений, представляет значительный как научный, так и практический интерес. Об этом свидетельствует большое число

<sup>2</sup> Директивы XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 гг.

работ, проводимых как в нашей стране, так и за рубежом в области радиационной дефектоскопии и интроскопии.

Современный мировой уровень развития радиационных неразрушающих методов и средств контроля материалов и изделий можно охарактеризовать разработкой и внедрением в промышленное производство автоматических и полуавтоматических дефектоскопов и интроскопов, позволяющих вести непрерывный контроль материалов и изделий.

Разработка таких дефектоскопов и интроскопов потребовала прежде всего создание новых и усовершенствование уже известных источников радиационного излучения. В настоящее время рядом зарубежных фирм выпускаются рентгеновские, радиоизотопные и ускорительные установки, конструкции которых разработаны специально для целей дефектоскопии и интроскопии. Наряду с совершенствованием стационарных рентгеновских и радиоизотопных установок большое внимание уделяется созданию портативных рентгеновских аппаратов и гамма-установок. Так, фирмами «Дженерал моторс», «Дженерал электрик» (США), «Тосиба», «Симадзу», «Хижаци» (Япония) и др. созданы портативные рентгеновские аппараты с напряжением 30—200 кВ, доступные для переноски 1—2 человеками; создана портативная аппаратура и новые типы контейнеров, что позволяет использовать радиоактивные изотопы с различной энергией. Фирмы «Броун Бовери» (Швейцария), «Тосиба» (Япония) и др. создали и серийно выпускают бетатроны для контроля изделий большой толщины; фирмами «Дженерал электрик» (США), «Метрополитен Викерс» и др. для этих же целей созданы линейные электронные ускорители, ускорители «Ван-Графа» и другие типы ускорителей на энергию 2—3 МэВ.

В области разработки и создания приемников излучения для контроля изделий, наряду с совершенствованием радиографии, основное внимание уделяется визуальным и ионизационным методам контроля. Рядом фирм США, Голландии и Японии созданы новые электроно-оптические преобразователи для визуального контроля, созданы и применяются телевизионные системы, которые используют чувствительность передающих видиконов непосредственно к рентгеновскому излучению; созданы замкнутые телевизионные системы на основе видиконов и ортиконов в сочетании с экранами и усилителями изображения. Ведутся исследования по созданию твердосхемных полупроводниковых преобразователей изображения, продолжаются работы над повышением разрешающей способности замкнутых телевизионных систем, сцинтилляционных методов регистрации излучения при просвечивании изделий, разрабатываются мультидинные системы для приема и усиления слабой радиации.

Успехи, полученные в результате исследований и разработке методов и средств радиационного контроля, позволили ряду зарубежных фирм создать и внедрить в производство несколько типов полуавтоматических и автоматических дефектоскопов и интроскопов.

Развитие радиационных неразрушающих методов контроля за рубежом с использованием рентгеновских и ускорительных установок идет по пути создания полуавтоматических интроскопов, основанных на использовании электрооптических преобразователей для визуализации, замкнутых телевизионных систем и т. д.

На некоторых заводах внедрены рентгеновские и бетатронные интроскопы. Так, на заводе «Юнайтед Стейт стил» (США) с помощью рентгеновского интроскопа контролируются сварные швы небольшой толщины; на заводе «Напа» фирмы «Кайзер стил» (США) с 1963 г. применяют улучшенную систему контроля сварных труб, где одновременно используют рентгеновскую флуороскопию и телевидение; установка

разработана фирмой «Пикер-ИХС-рей КОРН». На трубном заводе фирмы «Тиссен» (ФРГ) для контроля сварных швов толщиной 20 мм используется рентгеновская установка с электронно-оптическим преобразователем. Производительность установки 14 км швов в 1 месяц работы. На металлургическом заводе фирмы «Феликс Рейнор» в Дуйсбург-Рурорте (ФРГ) была испытана установка для просвечивания блюмов посредством бетатрона с энергией излучения 31 МэВ. С помощью электронно-оптического преобразователя фирмы «Филлипс» (Голландия) и телевизионной системы наблюдалось видимое изображение усачной раковины для определения оптимальной длины обрезки. Бетатронная установка на 31 МэВ, укомплектованная электронно-оптическим преобразователем и телевизионной системой, также установлена на заводе «Фишер» (Швейцария) для контроля горячих слитков.

Наряду с тормозным излучением для контроля за рубежом успешно применяется гамма-излучение радиоактивных изотопов.

Недостатки фотографического метода гамма-дефектоскопии привели к разработке и созданию наиболее совершенных автоматических сцинтилляционных гамма-дефектоскопов. На заводах «Муаэвр» фирмы «де Вендель Ко» (Франция) гамма-дефектоскоп с сцинтилляционным приемником излучения используется для контроля горячих блюмов. Производительность контроля составляет 3—13 м/мин.

Другой гамма-дефектоскоп, разработанный также во Франции, позволяет контролировать слитки толщиной до 200 мм со скоростью 120 м/мин. Источник излучения  $Co^{60}$  активностью до 1000 кюри. Гамма-дефектоскопы для непрерывного контроля бесшовных труб используются на заводе фирмы «Сумитомо Киндзону Коче» (Япония); для сортировки листов жести по толщине на заводе фирмы «Лай Трейдич» (США), на заводе фирмы «Дортмунд-Хердер» (ФРГ) гамма-дефектоскопы используются для контроля горячих блюмов.

В СССР разработкой радиационных методов и средств неразрушающего контроля занимаются предприятия и учреждения различных министерств и ведомств.

Разработка источников проникающего излучения для радиационной дефектоскопии производится на заводе «Актюбрентген», разработка гамма-дефектоскопов — во ВНИИРТ, линейных электронных ускорителей — в МИФИ, микротронов — в институте физических проблем АН СССР, бетатронов, микротронов и синхротронов — в Томском политехническом институте и СКБ Московского электрозавода. В работах ВНИИРТ описаны новые конструкции гамма-дефектоскопов типа «Газпром», РИД-21, РИД-22, РИД-33. Линейные электронные ускорители, разработанные в МИФИ с учетом конструктивных разработок, могут быть применены в радиационной дефектоскопии и интроскопии.

Индукционные ускорители электронов — бетатроны, разрабатываемые и изготовляемые НИИ ЭИ и в ТПИ, используются для контроля материалов и изделий на промышленных предприятиях страны.

В НИИ интроскопии разрабатываются средства видения внутри непрозрачных тел и сред на основе преобразования различных видов проникающих излучений в оптически видимые изображения или другую многоэлементную и кодированную информацию, отображающую качества и свойства контролируемых сред. В этом же направлении ведутся работы в НИИ электронной интроскопии ТПИ.

В области исследования и разработки приемников излучения для радиационной дефектоскопии и интроскопии значительные работы проведены в НИИ интроскопии по разработке и созданию универсальных электронных преобразователей типа «Уникон» и мультидинных систем.

На основе теоретических и экспериментальных исследований и полученных результатов, а также используя разработанные методы ра-

диационного контроля материалов и изделий, в некоторых учреждениях были изготовлены, внедрены или готовятся к внедрению в производство полуавтоматические и автоматические радиационные дефектоскопы и интроскопы. Внедрены на предприятиях Министерства авиационной промышленности рентгеновские и изотопные интроскопы, разработанные в НИИ интроскопии. Ряд полуавтоматических изотопных дефектоскопов разработан в ЦНИИТМаш.

В НИИ электронной интроскопии разработано и внедрено в производство несколько типов радиационных дефектоскопов и интроскопов. Так, разработан и внедрен впервые комплексный бетатронный дефектоскоп для контроля толстостенных сварных соединений на Барнаульском котельном заводе. Дефектоскоп позволяет вести непрерывный автоматический контроль сварных швов толщиной до 300—350 мм и шириной до 100 мм с производительностью до 300 км швов за один месяц.

Созданы и внедряются в производство другие типы комплексных бетатронных дефектоскопов и интроскопов. Разработанный для Ижорского завода им. А. А. Жданова комплексный бетатронный дефектоскоп БД-3 позволяет контролировать сварные соединения толщиной до 400 мм со скоростью 1,5 м/мин и высокой чувствительностью к обнаружению дефектов.

Помимо бетатронных высокопроизводительных дефектоскопов в НИИ ЭИ разработаны и внедрены на предприятиях различных министерств другие типы рентгеновских и изотопных дефектоскопов, позволяющих вести высокопроизводительный автоматический контроль изделий из различных материалов.

Внедрены вертикальные изотопные дефектоскопы ВИД-1, ВИД-2, ВИД-4 и рентгеновские дефектоскопы РДС-1-200, «Редхорд» и др.

Установки ВИД-1, ВИД-2, ВИД-3 позволяют производить автоматический контроль изделий с плотностью около 2 г/см<sup>3</sup> и толщиной до 700 мм, алюминиевые изделия толщиной до 350 мм и стальные с толщиной до 150 мм с использованием в качестве источника излучения Со<sup>60</sup> активностью 50 г·эквРа. При одинаковой производительности контроля, которая составляет 1 м<sup>2</sup>/час, выявляемость дефектов для ВИД-1, ВИД-2, ВИД-3 соответственно составляет 1,5, 1 и 0,5%.

Дефектоскоп ВИД-4 обеспечивает при прочих равных условиях и при выявляемости дефектов 0,5% производительность контроля 5 м<sup>2</sup>/час.

Рентгеновский сцинтилляционный дефектоскоп РДС-1-200 позволяет контролировать изделия диаметром 400 мм при выявляемости дефектов 0,25% и производительности контроля до 2 м<sup>2</sup>/час.

В настоящее время в НИИ электронной интроскопии разрабатывается автоматическая установка радиационного контроля длины прибыльной части горячего раската блюминга. Источником излучения служит бетатрон 35 МэВ с частотой импульсов излучения 100—150 Гц и мощностью дозы 600 р/мин на метре. Контроль горячего раската толщиной до 250—300 мм может проходить при скорости 1—2 м/сек с автоматической выдачей информации на систему управления ножницами и систему рационального раскроя металла.

Таково вкратце состояние методов и средств радиационного неразрушающего контроля в нашей стране и за рубежом.

Как уже ранее отмечалось, на современном этапе развития промышленности для осуществления стопроцентного контроля необходимо создание автоматических методов и средств контроля материалов и изделий.

Это является одним из основных требований практически всех отраслей промышленности. Чтобы удовлетворить это требование, в частности, по методам и средствам радиационной дефектоскопии и интроскопии, на наш взгляд, необходимо:

1. Организовать разработку и серийный выпуск различных источников радиации применительно к требованиям современной дефектоскопии и интроскопии. Источники радиаций для неразрушающих методов контроля должны включать в себя:

- а) рентгеновские аппараты в диапазоне энергий 20—300 КэВ;
- б) ускорители прямого действия в диапазоне энергий 0,5—3 МэВ для генерации тормозного излучения;
- в) ускорители электронов (линейные, малогабаритные бетатроны, микротроны) в диапазоне энергий 3—6 МэВ для генерации тормозного излучения;
- г) ускорители электронов (бетатроны, микротроны, сильноточные бетатроны) в диапазоне энергий 6—35 МэВ для генерации тормозного и электронного излучения;
- д) изотопные источники гамма-излучения;
- е) нейтронные генераторы быстрых нейтронов;
- ж) изотопные источники ( $\alpha$ -частиц) для получения быстрых нейтронов.

2. Организовать разработку и серийный выпуск детекторов радиации применительно к требованиям современной дефектоскопии и интроскопии. Детекторы радиаций для неразрушающих методов контроля должны включать в себя:

- а) электронно-оптические преобразователи рентгеновского, гамма- и жесткого тормозного излучения с высокой разрешающей способностью;
- б) мультитинные приемники излучения;
- в) твердотельные полупроводниковые преобразователи изображений;
- г) чувствительные передающие видиконы для рентгеновского и гамма-излучений;
- д) высокочувствительные замкнутые телевизионные системы на основе видиконов и ортиконов в сочетании с экранами и усилителями изображений;
- е) сцинтилляционные монокристаллы и мозаики для регистрации излучений.

На основе перечисленных источников и приемников различных видов излучений возможно организовать разработку и изготовление опытно-промышленных и промышленных полуавтоматических и автоматических дефектоскопов и интроскопов, отвечающих требованиям отраслей. В частности, уже сейчас представляется возможным, при условии усиления конструкторских бюро и опытного производства приступить к разработке и созданию автоматических и полуавтоматических дефектоскопов для различных отраслей отечественной промышленности.

Если же рассматривать в целом предложения по основным направлениям развития научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области создания и внедрения средств и методов неразрушающего радиационного контроля, то, на наш взгляд, развитие научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ должно вестись по крайней мере по трем направлениям:

### **Разработка и развитие активных методов и средств неразрушающего контроля**

Указанное направление находится (как в СССР, так и за рубежом) в основном на стадии перспективных научно-исследовательских разработок. Конечной целью исследований по этому направлению является создание средств и методов активного неразрушающего контроля.

не допускающих в самом технологическом процессе создание материалов и изделий появления скрытых дефектов.

### **Разработка и создание методов и средств неразрушающего контроля материалов и изделий после их изготовления**

Наиболее развитое направление в настоящее время как в СССР, так и за рубежом — это направление в развитии неразрушающих методов контроля.

Основными задачами в научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработках по этому направлению в стране являются вышперечисленные мероприятия по разработке и выпуску источников и приемников излучения и в конечном итоге создание высокопроизводительных, автоматических систем интроскопов и дефектоскопов.

### **Разработка и создание методов и средств неразрушающего контроля изделий в процессе их эксплуатации или длительного хранения**

В настоящее время работы в этом направлении находятся в основном на стадии перспективных научно-исследовательских разработок.

Конечной целью НИР и опытно-конструкторских работ по этому направлению является автоматический контроль качества эксплуатируемой или находящейся в стадии длительного хранения продукции (в том числе и усталостных характеристик материалов).

Таковы в общем направления в развитии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области создания и внедрения средств и методов неразрушающего контроля.

Особо необходимо отметить, что по всем указанным направлениям научно-исследовательские разработки должны проводиться комплексно, т. е. при одновременном использовании различных видов и спектров проникающих излучений, начиная от гамма-квантов высоких энергий до радиоволн миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов и от упругих колебаний высокой частоты до корпускулярных излучений.

---