



## **МИКРОФОКУСНЫЙ РЕНТГЕНОДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЯ КОНЦЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА**

Потрахов Н.Н.\*, Грязнов А.Ю.\*, Куликов Н.А.\*\*  
(\*ЗАО «ЭЛТЕХ-мед», \*\* АОЗТ «Светлана-Рентген»)

Одной из наиболее часто встречающихся в практике промышленной дефектоскопии задач является контроль концевых деталей – различных (в том числе, резьбовых) фланцев, переходных соединений и т. п. Необходимость неразрушающего контроля таких деталей особенно очевидна во многих отраслях промышленности, например в авиа- и судостроении, при монтаже тепловых электростанций, прокладке различных трубопроводов. В указанных отраслях к концевым деталям предъявляются особенно высокие требования по прочности, надежности и долговечности соответствующих соединений ввиду жестких условий эксплуатации.

К наиболее опасным дефектам, возникающим в процессе эксплуатации концевых деталей, относятся трещины усталостного характера, как выходящие на поверхность детали (сквозные), так и залегающие вблизи нее. При разбраковке изделий необходимо учитывать, что реальная длина дефектной области состоит из собственно длины трещины плюс длины зон пластической деформации на ее концах, поэтому даже короткая трещина недопустима. Такие трещины являются наиболее трудно выявляемыми, их невозможно предотвратить, они значительно снижают прочность конструкции соединения.

Вследствие возможной сложной формы (изгибы, резьба с большим шагом и т.п.), для контроля состояния концевой детали - обнаружения трещин, выходящих на поверхность, или расположенных около нее - могут быть использованы лишь немногие из известных методов неразрушающего контроля, а именно ультразвуковой, магнитный, вихретоковый и рентгенографический.

Как показали исследования, проведенные сотрудниками Всероссийского научно-исследовательского института авиационных материалов (Москва) под руководством Е.А. Косариной [1], чувствительность ультразвукового, магнитного и вихретокового методов в значительной степени зависит от чистоты обработки

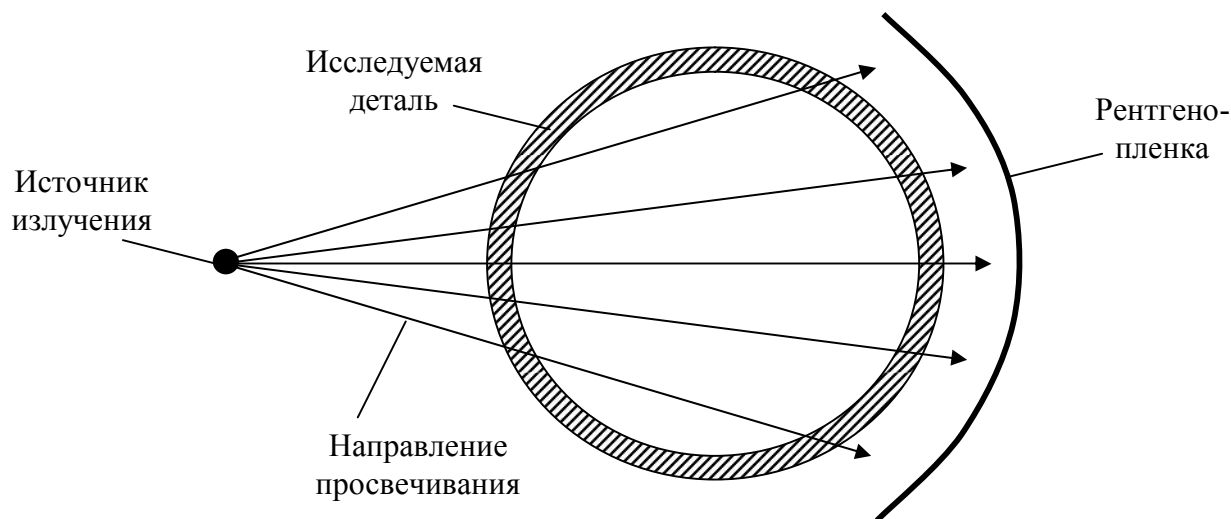
концевой детали в процессе изготовления и степени ее предварительной подготовки перед контролем. Например, обнаружение трещины с раскрытием (шириной) в диапазоне 1-10 мкм возможно лишь при обработке детали не хуже, чем по пятому классу, а при чистоте обработки детали по 3-4 классу раскрытие трещины соизмеримо со следами рисок (следов от обрабатывающего инструмента), что делает трещину практически невыявляемой. То есть для проведения исследования одним из трех первых методов необходима предварительная обработка поверхности и, кроме того, имеется возможность анализа лишь поверхностных трещин, или трещин, находящихся вблизи поверхности.

Исключением является рентгенографический метод, чувствительность которого не зависит от чистоты поверхности контролируемого объекта. Метод не требует какой-либо предварительной подготовки исследуемого объекта – расчистки, промывки и т.д., также в отличие от упомянутых методов не требуется непосредственного контакта с объектом контроля.

Однако для того, чтобы полностью реализовать все преимущества этого метода при контроле концевых деталей необходимо оптимизировать условия проведения исследований

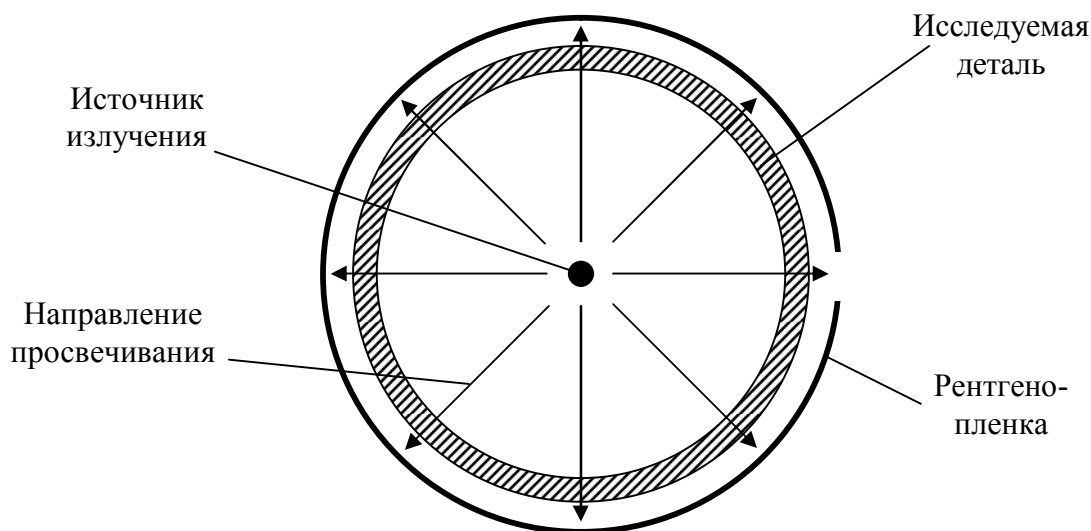
Стандартная схема рентгенографического контроля, представленная на рисунке 1, при которой направленный источник рентгеновского излучения располагается с одной стороны, а приемник излучения, через исследуемую конструкцию – с другой, имеет ряд существенных недостатков.

Во-первых, при проведении съемки рентгеновское излучение проходит через две стенки концевой детали, что увеличивает радиационную толщину и, как следствие, снижает максимально возможную чувствительность контроля. Во-вторых, возможно попадание на детектор (рентгенопленку) изображения дефектов с двух сторон трубы, что затрудняет «расшифровку» полученного снимка. В третьих, для полного контроля изделия по всему периметру необходимо выполнить не менее 4 снимков, перекрывающих друг друга.



*Рис. 1. Традиционная схема просвечивания.*

От указанных недостатков свободна панорамная схема съемки, представленная на рисунке 2.



*Рис. 2. Панорамная схема просвечивания.*

Для реализации такой схемы используется специальный - панорамный источник излучения, который располагается внутри исследуемого объекта, а приемник (рентгнопленка) – снаружи, по периметру изделия.

Существует целый класс мощных «сильноточных» рентгеновских аппаратов с панорамным выходом рентгеновского излучения, которые применяются для контроля сварных швов труб. Эти рентгеновские аппараты размещаются внутри

трубы, а рентгеновская пленка – по ее периметру. Подобное взаиморасположение источника и детектора дает несколько преимуществ:

- возможность за одну экспозицию получить снимки всего периметра участка трубы, что значительно сокращает временные затраты на проведение контроля;

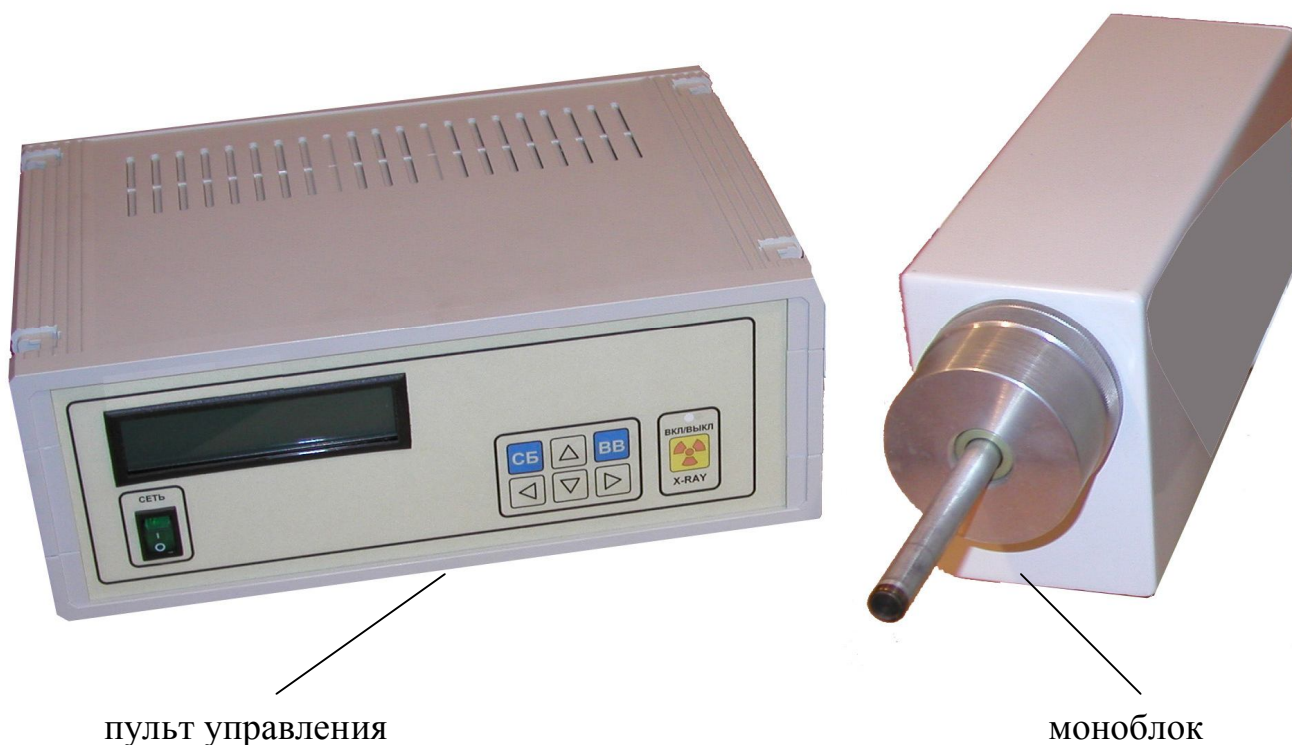
- панорамная схема наиболее благоприятна с точки зрения ориентации трещин по отношению к источнику излучения. Ось пучка, как правило, направлена в раскрытие трещины, что обеспечивает максимальную чувствительность контроля;

- минимизируется радиационная толщина объекта контроля, что позволяет достигать лучшей чувствительности с одновременным снижением мощности излучения и времени экспозиции.

Вместе с тем, необходимо отметить, что применение панорамной схемы контроля для концевых деталей малого диаметра невозможно на серийно выпускаемых «сильноточных» аппаратах ввиду того, что их габариты значительно превосходят внутренний диаметр концевых деталей малого диаметра. Известный способ радиографического контроля с помощью изотопных источников гамма-излучения на основе иридия, иттербия, туллия и т.д., помещаемых на длинных спицах внутрь контролируемого изделия, также обладает серьезными недостатками – низкой радиационной безопасностью, невозможностью регулирования жесткости излучения, соответственно малым контрастом изображения, невысокой разрешающей способностью, обусловленной сравнительно большими размерами источников (~ 0,5 мм).

Решить большинство описанных проблем позволяет использование микрофокусного рентгеновского источника с полым вынесенным анодом и панорамным выходом рентгеновского излучения. Тонкий анод в сочетании с фокусным пятном микронного размера позволяет обеспечить необходимую резкость рентгеновского изображения при небольшом фокусном расстоянии, обусловленном малым диаметром контролируемой детали [2].

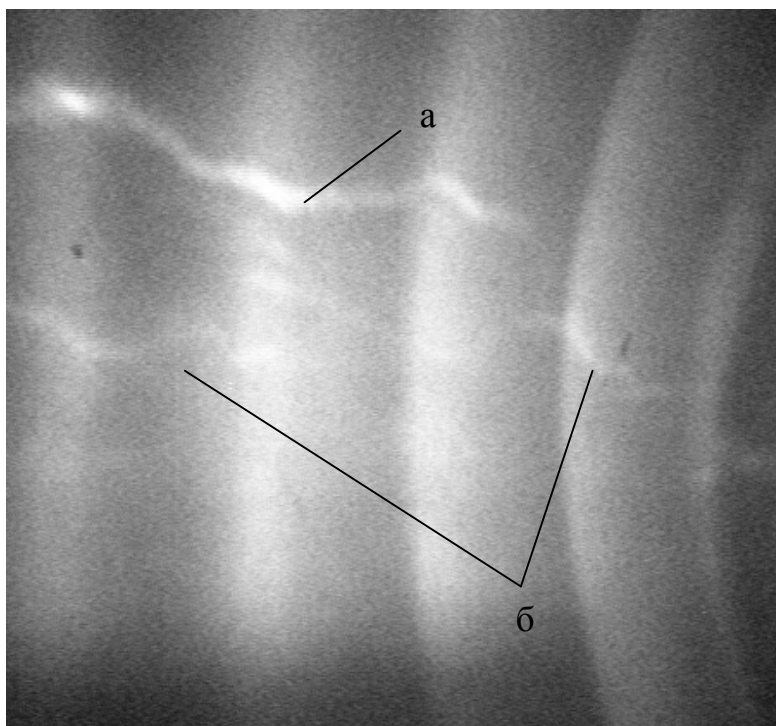
С целью реализации панорамной схемы съемки концевых деталей малого размера был разработан специализированный рентгенодефектоскопический аппарат РАП-150МП (рисунок 3).



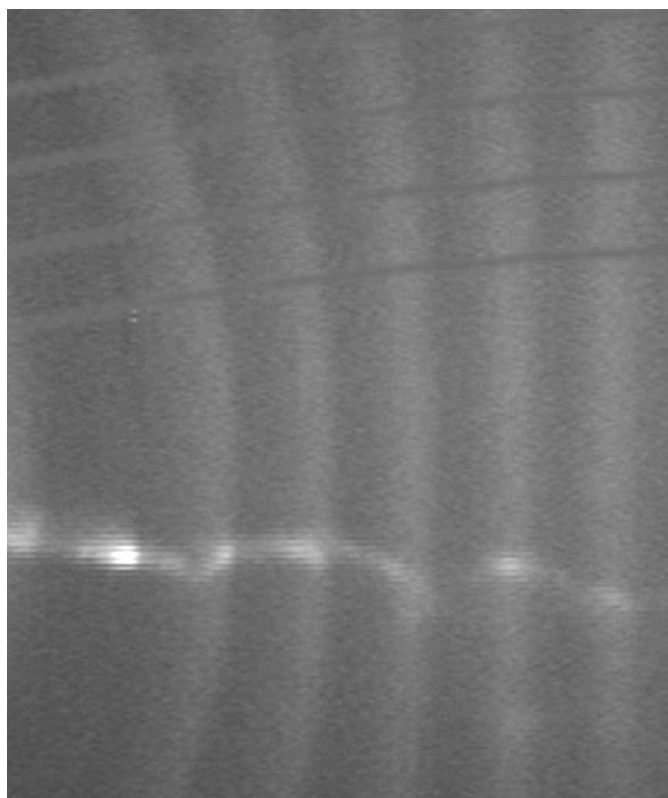
*Рис. 3. Внешний вид аппарата РАП-150МП*

Аппарат включает в себя моноблок на основе микрофокусной трубки и микропроцессорный пульт управления. Вынесенный анод имеет диаметр 12 мм, что определяет минимальный внутренний диаметр контролируемой детали. Длина анода, определяющая максимальную длину контролируемой детали, составляет 135 и 300 мм в зависимости от модификации трубки. Максимальное анодное напряжение аппарата составляет 150 кВ при токе 0,1 мА и фокусном пятне диаметром менее 50 мкм. Малый размер фокусного пятна источника излучения позволяет получить снимки с высокими значениями контрастной и детальной чувствительности.

На рисунках 4 и 5 в качестве примера представлены результаты, полученные при просвечивании нескольких стальных муфт, имеющих усталостные трещины. Внутренний диаметр муфт – 25 - 35 мм, толщина стенок – 3 - 5 мм.



*Рис 4. Фрагмент панорамного снимка муфты.  
Отчетливо видна и сквозная (а) и поверхностные (б) трещины.*



*Рис. 5. Измерение раскрытия трещины.  
Рядом с муфтой расположен эталон № 12 (ГОСТ 7512-82), позволяющий оценивать величину раскрытия трещин порядка 0,1 мм.*



- использование микрофокусного источника позволяет значительно повысить выявляемость дефектов (трещин) с малыми линейными размерами, в том числе за счет прямого увеличения.

### **Литература**

1. *Добромыслов В.А., Косарина Е.И.* Номограммы для определения режимов радиографического контроля трубопроводов. – Контроль. Диагностика. 2000. №4 С. 10-13.

2. *Иванов С.А., Потрахов Н.Н., Щукин Г.А.* Специализированная рентгеновская установка для микродефектоскопии. Электронная техника. Сер. Электровакуумные и газоразрядные приборы. Вып. 2 (125). 1989. С. 100-101