

Для обеспечения качества поставляемых малогабаритных источников излучения в НИИ интроскопии была внедрена система менеджмента качества. Эта система прошла оценку и регистрацию уполномоченным органом National Quality Assurance Limited на соответствие требований стандарта BS EN ISO 9001:2000. Получен сертификат № 13936/6 от 07.12.2001 г. Соответствующий сертификат получен и предприятием ЗАО «Светлана-Рентген», производящим отпаянные ускорительные камеры для всех разработанных бетатронов.

Устойчивый спрос малогабаритных бетатронов на отечественном и зарубежном рынках обеспечивается их высокими техническими и эксплуатационными характеристиками.

Малогабаритные бетатроны неоднократно отмечались дипломами отечественных и международных выставок и конкурсов. В 2004 г. комплекс САВ-2000, использующий бетатрон «ВЕАМ» был признан лучшим из 20 представленных на конкурс в Польше досмотровых систем. Малогабаритный импульсный бетатрон МИБ-7.5 (РХВ-7.5) стал лауреатом конкурса «100 лучших товаров России» в 2005 году и конкурса «Лучшие товары и услуги Сибири – ГЕММА» в 2006 году. За продвижение собственной наукоемкой продукции на внешний рынок НИИ интроскопии награжден дипломом Томской торгово-промышленной палаты в 2006 году за серию малогабаритных бетатронов. За лучшую разработку в области радиационных методов неразрушающего контроля серия малогабаритных бетатронов отмечена дипломом 5-й Международной специализированной выставки и конференции «Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности-2006».

Разработанные источники рентгеновского и электронного излучения представляют собой пример создания российскими учеными и инженерами наукоемкой высокотехнологичной продукции, не имеющей аналогов в мировой практике. Заслуга относительно небольшого коллектива состоит так же в том, что он сумел организовать производство и сбыт своих разработок, в первую очередь, за рубеж. Только за период с 1999 года по 2007 год выпущено 190 малогабаритных бетатронов и 447 рентгеновских частотно-импульсных рентгеновских аппаратов на сумму более 350 млн рублей. Примерно 90 % бетатронов продано за рубеж, реализация которых дала около 10 млн долларов США.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ БЕТАТРОНОВ НИИ ИНТРОСКОПИИ ПРИ ТПУ В СОСТАВЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТОМОГРАФОВ «ПРОМИНТРО»

Э.И. Вайнберг, И.А. Вайнберг («ПРОМИНТРО», Москва)

В.Н. Касьянов, В.Л. Чахлов, М.М. Штейн (НИИ Интроскопии при ТПУ, Томск)

Использование количественных средств неразрушающего контроля и аттестации сложной внутренней структуры – важный фактор отработки технологии и обеспечения надежности ответственных изделий современного машиностроения: автомобильных, авиационных и ракетных двигателей, вертолетных лопастей, охлаждаемых турбинных лопаток, навигационных датчиков, форсунок, сопел, элементов теплозащиты, топливо-распределительных систем управления ГТД, тормозных колодок, теплообменников, каталитических нейтрализаторов, сложных высокоэффективных боеприпасов, многослойных материалов и композитных конструкций.

К сожалению, традиционные средства измерений и неразрушающего контроля (НК), незаменимые при исследовании наружной поверхности или изделий простейшей формы типа листов или труб, не обеспечивают количественный контроль внутренней структуры сложных, пространственно развитых деталей и сборок.

Для НК таких изделий фирмой «ПРОМИНТРО» разрабатываются и выпускаются **промышленные рентгеновские компьютерные томографы**, способные количественно исследовать внутреннюю пространственную структуру изделий любой сложности [1–5].

Однако из-за необходимости всестороннего (многоакурсного) просвечивания уникальная информационная эффективность рентгеновских компьютерных томографов предъявляет специфические требования к характеристикам используемых источников ионизирующего излучения – повышенной энергии излучения, малым размерам фокусного пятна источника излучения и максимальной мощности экспозиционной дозы (МЭД).

Наибольшие затруднения возникают при томографическом контроле тяжелых (толстостенных и плотных) изделий с произведением плотности на толщину порядка $40...120 \text{ г/см}^2$ и более, для которых проникающая способность излучения рентгеновских трубок с напряжением **450 кВ** (~50 мм стали) недостаточна. Для достижения высокого уровня метрологии томографического контроля тяжелых изделий [1,2,5] остро необходимы специализированные высокоэнергетические источники излучения в диапазоне энергией излучения порядка **5 МэВ** (~160 мм стали) с симметричным фокусным пятном диаметром порядка **0,3 мм** при МЭД на расстоянии 1 м от мишени $\geq 40 \text{ Р/мин}$ и радиационном фоне $< 0,1 \%$. К сожалению, источники ионизирующего излучения с такими характеристиками не выпускаются. Возможно, из-за недостаточного понимания этой проблемы, даже на фоне роста выпуска высокоэнергетических источников излучения (в основном на базе линейных ускорителей электронов) для целей таможенного досмотра морских контейнеров и автотранспорта [6].

С целью преодоления этого противоречия и дальнейшего повышения пространственного разрешения высокоэнергетических компьютерных томографов фирма «Промышленная интроскопия» совместно с НИИ интроскопии при Томском политехническом университете несколько последних лет проводит работы по применению в составе компьютерных томографов специализированных «томобетатронов», адекватных томографическим задачам.

На рис. 1 представлен современный «бетатронный» высокоэнергетический компьютерный томограф – **ВТ-500ХА**. Этот томограф обеспечивает в диапазоне энергий излучения от 50 КэВ до 5 МэВ предел пространственного разрешения внутри объекта контроля – **50 пер/см**. В томографе используются два источника излучения: минифокусная рентгеновская трубка с напряжением до **450 кВ** при фокусном пятне **0,3×0,3 мм** и «томобетатрон» с энергией **5 МэВ** при ширине фокусного пятна **0,2 мм**, МЭД **4 Р/мин** на расстоянии 1 м, фокусном расстоянии – 260 мм и радиационном фоне $< 1 \%$. Томограф **ВТ-500ХА** предназначен для высококачественного томографического контроля ответственных изделий диаметром от 50 до 500 мм и весом до 300 кг. В настоящее время его метрологические характеристики являются рекордными для этого класса оборудования. Примеры томограмм, полученных на высокоэнергетическом томографе **ВТ-500ХА** при энергии ускоренных томобетатроном электронов 5 МэВ, представлены на рис. 2.

Отличительные особенности «томобетатрона» по сравнению с применявшимся нами ранее [7] традиционным бетатроном МИБ-5:

- внутренняя конфокальная коллимация рабочего пучка под блок детекторов ВТ-500ХА,
- внешняя синхронизация каждого импульса излучения по управляющим сигналам томографа,
- повышенная стабильность импульсной дозы,
- малое фокусное расстояние,
- повышенная степень ослабления фонового излучения толстостенным защитным корпусом излучателя.

В настоящее время разработчик «томобетатронов» ООО «Фотон» проводит важные для томографических применений работы по уменьшению высоты фокусного пят-

на «томобетатрона» до 0,5 мм при сохранении имеющегося уровня МЭД и по переходу на металлокерамическую технологию вакуумных камер с повышением их срока службы на порядок.

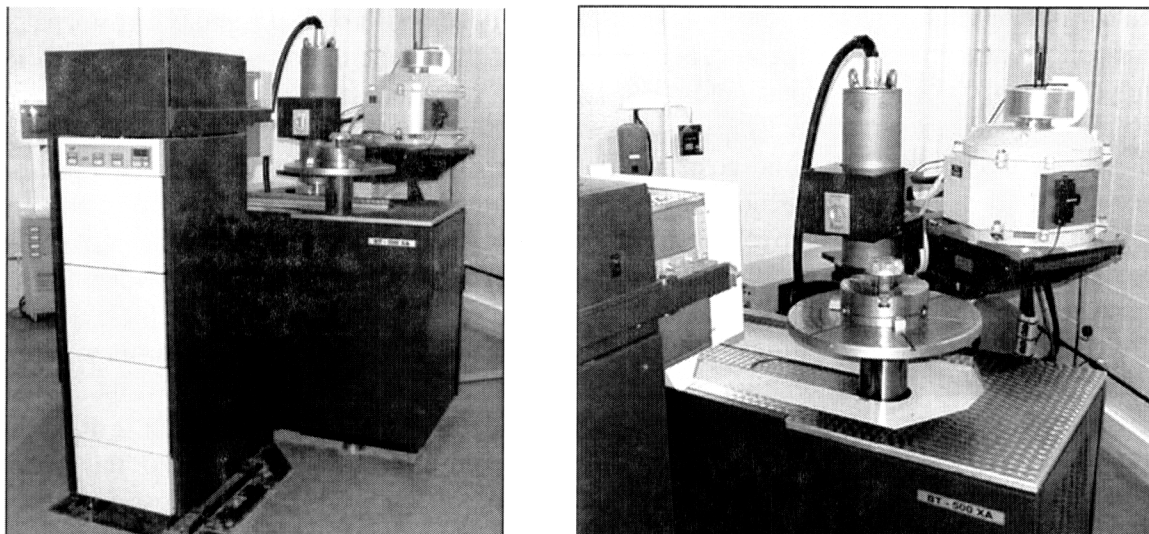


Рис. 1. Внешний вид «бетатронного» высокоэнергетического томографа BT-500XA

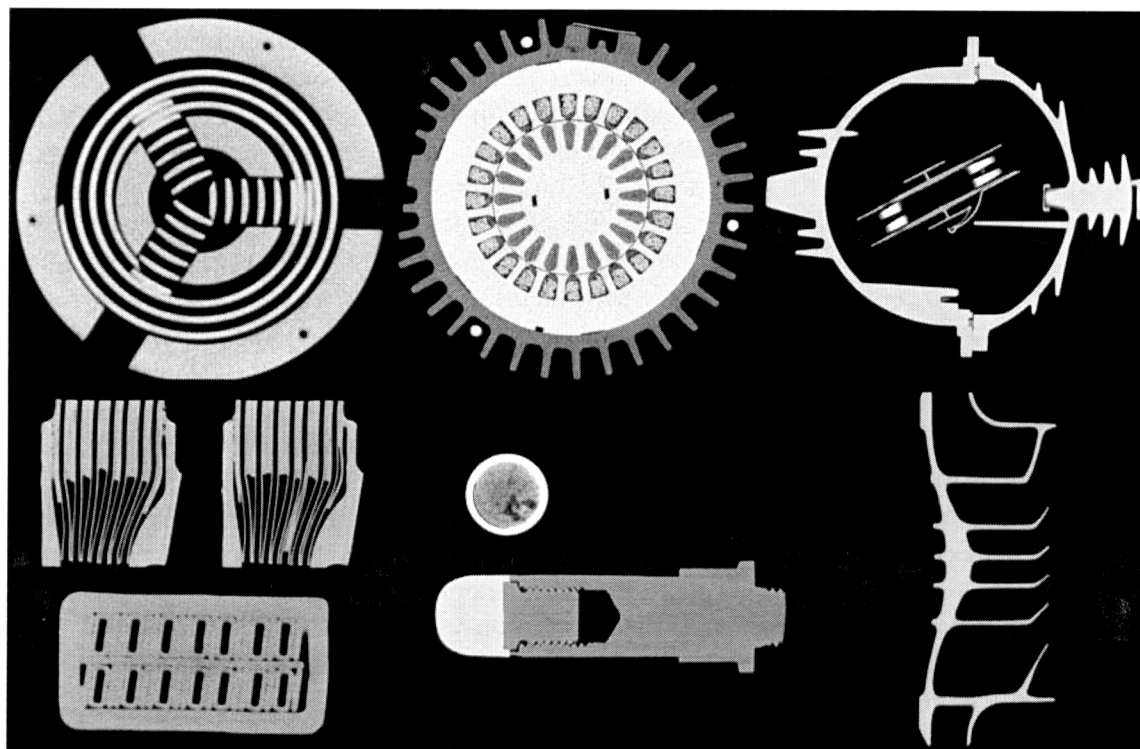


Рис. 2. Томограммы токарного патрона, крупного электродвигателя, высоковольтного силовоточного выключателя, охлаждаемых медных шин мощного электрогенератора, паяного медно-вольфрамового разрядника и стального турбинного колеса ЖРД (5 МэВ)

Относительно МЭД «томобетатрона». На первый взгляд, она в 100 раз проигрывает линейным ускорителям, что является безусловным недостатком даже на фоне утежительных компенсаций в виде низкой цены и меньшего объема радиационной защиты помещения. Однако в пересчете на площадь фокусного пятна ($2 \times 2 \text{ мм} / 0,2 \times 0,5 \text{ мм} = 40$)

проигрыш в числе используемых квантов составляет всего 2,5 раза или 1,58 раза по отношению сигнала к шуму.

Накопленный практический опыт «бетатронной» томографии также подтверждает, что малая мощность дозы «томобетатрона» не является непреодолимым ограничением в важнейших применениях томографического контроля для отработки ответственных технологий.

Тем не менее повышение МЭД в 10 раз до 40 Р/мин (в 3 раза по отношению сигнала к шуму) было бы решающим в соревновании «томобетатрона» с линейным ускорителем в томографических применениях. К сожалению, пока не найдены средства значительного увеличения МЭД «томобетатрона», хотя ограничения и носят чисто технический характер, не достигая предела допустимой тепловой нагрузки на мишень. Надо продолжать поиск. Соревнование высокоэнергетических источников компьютерных томографов продолжается.

Список литературы

1. Вайнберг Э.И. Компьютерные томографы «ПРОМИНТРО» // В мире НК. – 2001. – № 4. – С. 30–33.
2. Вайнберг Э.И. Томографический контроль композитов // В мире НК. – 2003. – № 3. – С. 8–11.
3. Вайнберг И.А., Вайнберг Э.И., Цыганов С.Г. Опыт томографического контроля охлаждаемых турбинных лопаток // В мире НК. – 2007. – № 1. – С. 12–15.
4. Вайнберг Э.И., Цыганов С.Г., Шаров М.М. Опыт трехмерной компьютерной томографии // В мире НК. – 2008. – № 1. – С. 56–59.
5. Вайнберг Э.И. Повышение пространственного разрешения промышленных компьютерных томографов // В мире НК. – 2006. – № 3. – С. 40–42.
6. Yorkholm P., Johnson J. Cargo Examination using the X-ray Radiation of High Energy. – Cargo Security International. October 2004.
7. Вайнберг Э.И. Опыт использования малогабаритного бетатрона МИБ-5 в составе промышленного компьютерного томографа ВТ-500ХА // В мире НК. – 2003. – № 4. – С. 58–61.

МИКРОФОКУСНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

*А.М. Штейн, В.Н. Твердохлебов, Е.Ю. Усачев
г. Томск, г. Москва, г. Москва, Россия*

Традиционно микрофокусные рентгеновские аппараты с размерами фокусного пятна от долей микрометра до 0,1 мм используются в рентгеновских микроскопах или для контроля малых объектов с увеличением их изображения в 15–50 раз. [1]

Ниже рассмотрены преимущество этих аппаратов применительно к наиболее широко используемому сейчас в дефектоскопии методу радиографии.

В ООО «Диагностика-М» разработаны и производятся малогабаритные микрофокусные рентгеновские аппараты с размерами фокуса 0,03–0,06 мм. Они представляют собой относительно новый класс рентгеновских аппаратов для дефектоскопии. С их помощью можно по-новому решать проблемы неразрушающего контроля. Эти аппараты отличаются малыми размерами и весом, низкой потребляемой мощностью и высокой надежностью. Основные технические характеристики приведены в табл. 1.