

УДК 620.179

А. А. Погорелов¹, П. Н. Желтов¹, Л. П. Семенов²

¹ВАТ «Український науково-дослідний інститут технологій машинобудування», Дніпропетровськ

²Національне космічне агентство України, Київ

Основные направления развития технологий неразрушающего контроля в ракетно-космической отрасли

Надійшла до редакції 14.07.08

Сформульовано проблемні питання технологій неруйнівного контролю, що виникають при створенні сучасної ракетно-космічної техніки.

Ракетно-космическая отрасль является «локомотивом» технологий. Современный ракетоноситель представляет сложнейшую техническую систему, в состав которой входит более 60 000 наименований деталей, изготовленных из различных конструкционных материалов. При производстве ракеты используется более 1000 различных технологических процессов, в том числе и технологии неразрушающего контроля.

Задачи, возникающие при создании ракеты-носителя, стимулируют развитие новых технологий. Поэтому каждая новая машина вбирает в себя самые передовые технологические решения. Опыт и знания, полученные при решении технологических задач в ракетно-космической отрасли, формируют новые подходы к рассмотрению традиционных технологических процессов в других отраслях. Внедрение «космических» технологий позволяет получать новые качества товаров и создавать дополнительные конкурентные преимущества существующим производствам.

Украина является космическим государством, которое имеет полный цикл разработки и производства ракетно-космической техники. В настоящее время осваивается производство ракеты-носителя «Циклон-4», разрабатываются ветроэнергетические установки большой мощности, ведутся работы по модернизации существующих

носителей. Выполнение этих проектов актуализирует ряд задач в области методов и средств неразрушающего контроля. Учитывая сложность и важность этих задач, можно предположить, что их решение будет определять направления развития неразрушающего контроля в отрасли на обозримую перспективу.

Цель предлагаемой статьи состоит в том, чтобы информировать научную общественность о существующих проблемных вопросах. Будут рассмотрены только те задачи, которые в настоящее время не имеют технического решения или решены не в полном объеме.

ЦИФРОВАЯ РАДИОГРАФИЯ СВАРНЫХ ШВОВ

Радиографический (рентгеновский) метод является основным методом неразрушающего контроля сварных соединений конструкций ракеты [3]. Объектом контроля выступают сварные конструкции, выполненные из материала АМг-6 с толщинами от 2.0 до 6.0 мм. Общая протяженность сварного шва, например для носителя «Циклон-4», составляет 686 м. Здесь контролируются дефекты типа трещины (продольные и поперечные) в наплавленном и в основном металле, непровары, газовые включения (поры), шлаковые и вольфрамовые включения, подрезы,

проплавы и прожоги [2, 3]. Учитывая ответственность изделия, контролю подлежит 100 % сварного шва. В настоящее время контроль производится традиционным способом с использованием рентгеновской пленки, что приводит к большим финансовым и трудовым затратам. Минимизация затрат и повышение конкурентоспособности готового изделия возможны при переходе на автоматизированные системы радиографического контроля без использования рентгеновской пленки. Данную проблему частично решает применение гибких фосфорных пластинок для регистрации рентгеновского излучения и автоматизированной системы обработки изображений и идентификации дефектов. Однако при контроле протяженных сварных швов этот подход нельзя считать технологически оптимальным.

Оптимальное решение проблемы контроля протяженных сварных швов видится на пути создания автоматизированной системы цифровой радиографии. Обобщенная структурная схема такой системы приведена на рис. 1. Автоматизированная система должна выполнять перемещение излучателя и детектора вдоль поверхности сварного шва, автоматически определять параметры экспозиции, управлять процессом экспозиции, осуществлять обработку изображений и идентифицировать дефекты, протоколировать результаты контроля.

Ключевым элементом системы, определяющим возможность ее создания, является твердотельный цифровой регистратор рентгеновского

излучения. В настоящее время есть целый ряд твердотельных детекторов рентгеновского изображения, но их параметры (пространственная разрешающая способность и относительная чувствительность) уступают традиционной рентгеновской пленке, что ограничивает применение этих устройств для контроля сварных швов. Совершенствование детекторов продолжается, но качественно новых результатов можно достичь при переходе на новые физические методы детектирования.

Таким образом, на сегодняшний день актуальной является задача разработки цифровых детекторов рентгеновского излучения с высоким пространственным разрешением и относительной чувствительностью, достаточными для обеспечения контроля сварных швов.

**НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ
ТОНКИХ СВАРНЫХ ШВОВ
ПРИ ОДНОСТОРОННЕМ ДОСТУПЕ К ПОВЕРХНОСТИ**

Данная задача возникает при контроле так называемых замыкающих сварных швов. На рис. 2 приведены эскизы сварных швов бака третьей ступени носителя «Циклон-4».

Конструкция бака не позволяет реализовать рентгеновский контроль сварного шва. В данном случае необходимо применение ультразвуковых методов контроля, регламентируемых документом [4].

Для повышения весовой эффективности кон-

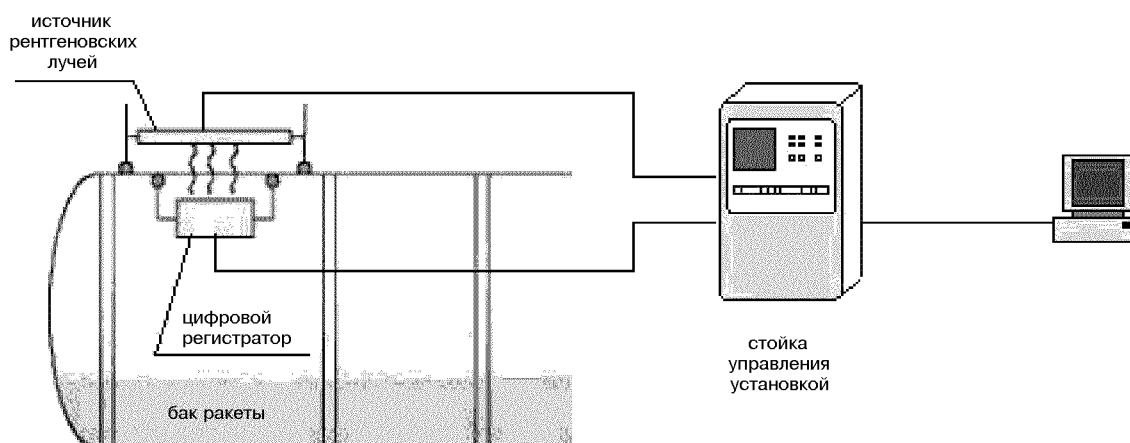


Рис. 1. Обобщенная структурная схема автоматизированной системы цифрового радиографического контроля

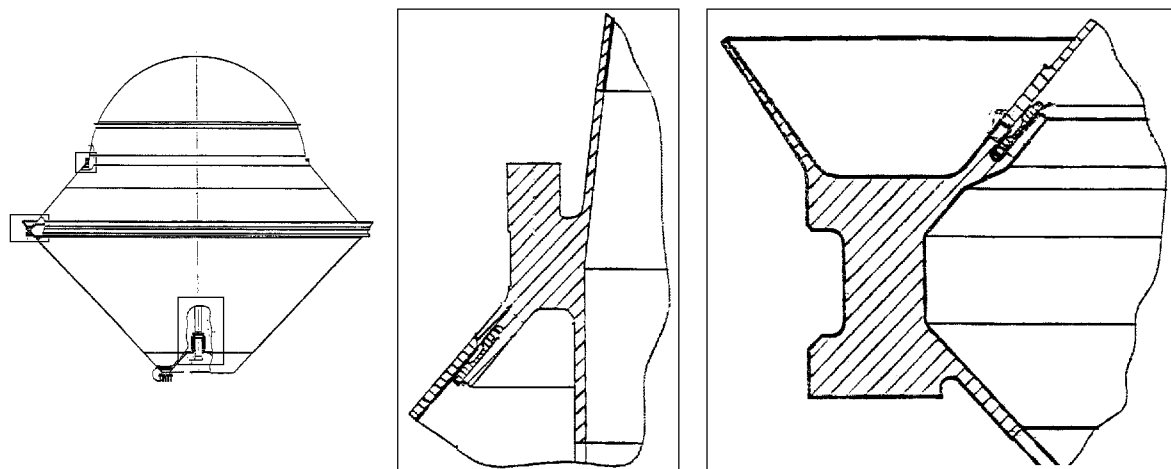


Рис. 2. Эскизы замыкающих сварных швов

струкций целесообразно уменьшать толщину стенки бака. Прочностные характеристики конструкции обеспечиваются оптимизацией формы и использованием упрочняющих покрытий. В рамках данной тенденции проектируются баки с толщиной стенки от 1,0 мм. В тоже время действующие нормативные документы регламентируют контроль сварных швов с толщиной основного металла от 4,0 мм и выше. Очевидно, что решение данной задачи контроля возможно при переходе на более высокие рабочие частоты ультразвуковых колебаний (от 7 МГц и выше) и при использовании наклонных преобразователей с большим углом ввода [6].

Таким образом, рассмотренная технологическая задача определяет перспективное направление в разработке средств ультразвукового неразрушающего контроля, состоящее в повышении рабочих частот и создании наклонных преобразователей с большим углом ввода и минимальным уровнем реверберационных шумов.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

В современных ракетах-носителях важным элементом конструкции является теплоизоляционное и теплозащитное покрытие. Теплоизоляционное покрытие наносится на металлическую

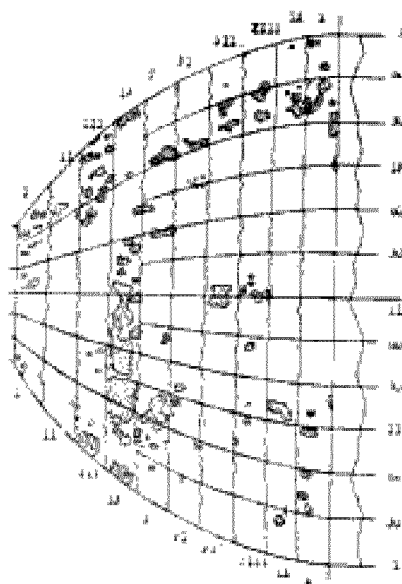


Рис. 3. Фрагмент карты дефектов

стенку бака или на трубопровод с криогенными компонентами. Сейчас в качестве теплоизоляционных покрытий используются разновидности пенополиуретана. Толщина такого покрытия может составлять 60 мм и более. Теплозащитное покрытие применяется для защиты корпуса твердотопливного двигателя. Теплозащитное покрытие, как правило, выполняется из резины. Толщина покрытия составляет 1–20 мм.

Повышение требований к конструкции ракеты ставит задачу контроля клеевого соединения между покрытием и основанием. В общем случае задача состоит не только в обнаружении мест нарушения адгезии, но и в количественной оценке степени адгезии на бездефектных участках. Задача усложняется требованием проведения контроля при одностороннем доступе к конструкции.

На сегодняшний день есть технологии неразрушающего контроля покрытий, которые частично решают поставленную задачу. Например, для контроля теплоизоляционного покрытия на основном баке ракеты-носителя «Энергия» были разработаны специальные акустические дефектоскопы.

На рис. 3 представлен фрагмент карты дефектов, выявленных при контроле одного из баков.

Для контроля теплозащитного покрытия на металлическом корпусе твердотопливного ускорителя была разработана автоматизированная установка УКК. Внешний вид установки представлен на рис. 4. Установка реализует теневой метод ультразвукового контроля.

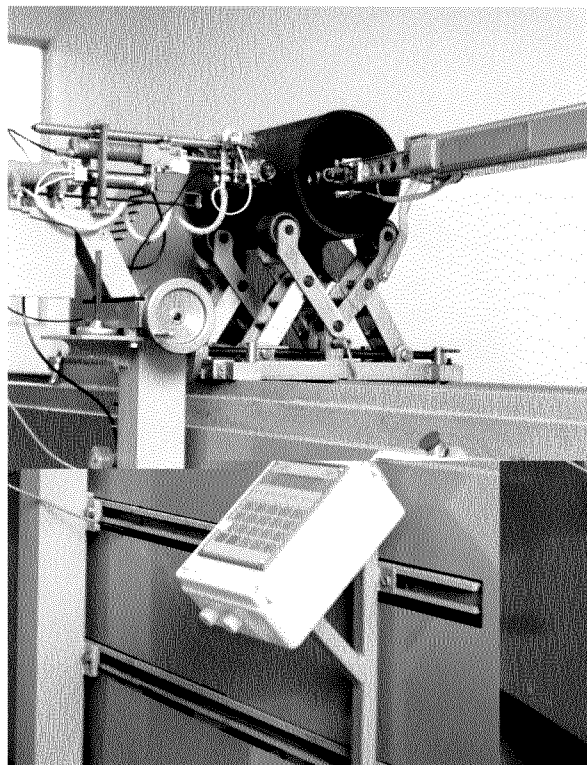


Рис. 4. Внешний вид установки УКК

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Неметаллические композиционные материалы широко используются в конструкциях ракет-носителей. Существует тенденция замены металлических конструкций на конструкции, изготовленные из неметаллических материалов. В частности, сейчас изучается вопрос создания баков для криогенных компонентов топлива, изготовленных из полимерно-композиционных материалов. Перспективной конструкцией также является сопло двигателя «космической» ступени носителя, изготовленное из углерод-углеродного композиционного материала.

Наиболее сложным объектом, который изготавливается из полимерно-композиционного материала, сейчас есть лопасть ветроэнергетической установки. В настоящее время промышленным способом изготавливаются лопасти длиной до 25 м. Но наиболее эффективными считаются ветроэнергетические установки с лопастью длиной до 48 м (в перспективе — до 60 м).

Основные требования к информационным возможностям метода контроля неметаллических композиционных материалов заключаются в обнаружении и локализации дефекта, классификации дефекта и оценке его размеров. Данные требования обусловлены тем, что контролируемые изделия являются крупногабаритными и дорогостоящими. Наличие полной информации о дефектах позволит осуществить оптимальный ремонт изделия.

На сегодняшний день нет апробированного метода неразрушающего контроля, который бы позволял в полном объеме решать поставленную задачу. Как одно из перспективных направлений поиска решения может служить использование многочастотных ультразвуковых методов контроля [5, 8].

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Современная тенденция контроля и диагностики конструкций состоит в переходе от задач обнаружения дефекта к задачам предсказания появления дефекта. Важным звеном в алгоритмах предсказания является знание распределения остаточных (начальных) механических напряжений в конструкции. Сейчас задача контроля остаточных напряжений в общем случае заключается в количественной оценке напряжений и определении распределения напряжений в объеме конструкции. Данная информация в конечном итоге позволит оценивать надежность конструкций без выполнения дорогостоящих разрушающих испытаний.

В качестве базового нормативного документа, регламентирующего измерения остаточных напряжений, используется стандарт [7]. Используемые в настоящее время методы неразрушающего контроля остаточных напряжений [1] в основном дают качественную оценку распределения напряжений. Достоверность количественных результатов измерений, полученных данными методами, не исследовалась.

Работы в области неразрушающих методов контроля остаточных напряжений составляют одно из перспективных направлений исследований.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

Необходимо отметить следующие тенденции в развитии технологии неразрушающего контроля, которые должны быть отражены в современных разработках.

Во-первых, решение задач неразрушающего контроля должно строиться на комплексном использовании различных методов. Таким образом, можно повысить информативность и достоверность результатов контроля.

Во-вторых, современные методы и средства должны обеспечивать полную автоматизацию контроля для минимизации влияния человеческого фактора.

1. Вишняков Я. Д., Пискарев В. Д. Управление остаточными напряжениями в металлах и сплавах. — М.: Металлургия, 1989.—254 с.
2. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод. — Введ. 01.01.84 до 31.12.12.
3. ОСТ 92 1114-80. Соединения сварные. Общие технические требования. — Введ. 01.07.81 до 31.12.12.
4. ОСТ 92 1173-87. Соединения сварные. Методы ультразвукового контроля. — Введ. 01.07.88 до 31.12.12.
5. Погорелов А. А. Метод многочастотной ультразвуковой спектрально-временной дефектоскопии: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Харьков, 1998.
6. РД 34.17.302-97. Котлы паровые и водогрейные. Трубопроводы пара и горячей воды, сосуды. Сварные соединения. Контроль качества. Ультразвуковой контроль. Основные положения. — Введ. 01.01.82 до 31.12.12.
7. ASTM E 837-01. = Standard Test Method for Determining Residual Stresses by the Hole-Drilling Strain — Gage Method. — США.
8. Stepinski T., Engholm M. Narrowband Ultrasonic Spectroscopy for Inspecting Multilayered Aerospace Structures // Proc. ECNDT 2006. — Berlin, 2006.

THE MAIN LINES OF NDT DEVELOPMENT IN SPACE-ROCKETS TECHNIQUES

A. A. Pogorelov, P. N. Zheltov, L. P. Semenov

The main problems of NDT technologies in modern space-rockets techniques are formulated.