

# Лазерный ультразвук

## НОВЫЙ СТАНДАРТ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОГО УЛЬТРАЗВУКА (LUS)

конструкции самолета используется до 70% углепластиков.

Применение композитных материалов ставит новые требования перед неразрушающим контролем: сложные геометрические формы, интегрированные элементы, большие размеры деталей, трудно доступные участки – все это способствует разработке новых технологий НК. Таким образом, все более востребованным становится ультразвуковой метод контроля, который не требует контакта между преобразователем и контролируемой деталью, а также не нуждается в контактной жидкости и специальной фокусировке пучка.

С 2011 года Airbus обладает самой современной технологией лазерного ультразвукового контроля композитов. Система установлена на территории Technocampus EMC2, г. Нант, Франция, технологический центр промышленных разработок композитных материалов, созданный совместно с Airbus, EADS-IW и CETIM. В связи большим опытом компании Tecnatom в поставке систем неразрушающего контроля для авиакосмического сектора, Airbus выбрала Tecnatom для участия в этом проекте совместно с северо-американским партнером iPhoton Solutions LLC, у которого большой опыт в использовании данной технологии.

Новый метод контроля имеет ряд преимуществ перед традиционными методами: ультразвуковые колебания, отвечающие за выявление дефектов, генерируются непосредственно в материале детали, так что угол ввода пучка на сложных поверхностях авиакосмических деталей может варьироваться значительно больше, чем с использованием традиционных преобразователей и не требует никакой контактной жидкости. А это значит, что преобразователь может располагаться на значительно большем расстоянии от поверхности детали.

«С 2011 года Airbus обладает самой передовой технологией лазерного ультразвука (LUS) для контроля композитов»



ANTONIO TANARRO

### Антонио Танарро (Antonio Tanarro)

Современные системы лазерного ультразвукового контроля (LUS) представляют значительные преимущества для автоматизированного контроля композитных материалов в авиакосмической промышленности. Производители авиакосмических деталей все больше применяют в производстве различные композитные материалы, в основном углепластики. Таким образом, в новых проектах по авиастроению в



Inspection of the interior of a fuselage with LUS system

### Принцип лазерного возбуждения ультразвуковых колебаний

Принцип лазерного ультразвука состоит в следующем: один лазер создает ультразвуковые колебания в материале, другой лазер совместно с детектирующей системой обнаруживает дефекты. В 1963 White обнаружил феномен генерации ультразвуковых волн импульсным лазером. В 1980 Calder и Wilcox предложили и создали первую систему, где один лазер использовался для генерации ультразвуковых импульсов, а другой лазер вместе с интерферометром использовался для детектирования. В 1983 Krautkramer-Branson провели сканирование композитной детали для подразделения General Dynamics (позднее ставшей частью Lockheed Martin), используя лазерную ультразвуковую систему, которая была основана на ультрафиолетовом лазере для генерирования и интерферометре типа Mach-Zender или Michelson для детектирования. Эти интерферометры были несовместимы с промышленным использованием. Ультрафиолетовый лазер вызывал визуальное повреждение поверхности композитной детали. Эти ограничения были преодолены фирмой General Dynamics и Национальным



привело к первому масштабному внедрению оборудования на основе лазерного возбуждения ультразвуковых колебаний для контроля композитов в аэрокосмической промышленности.

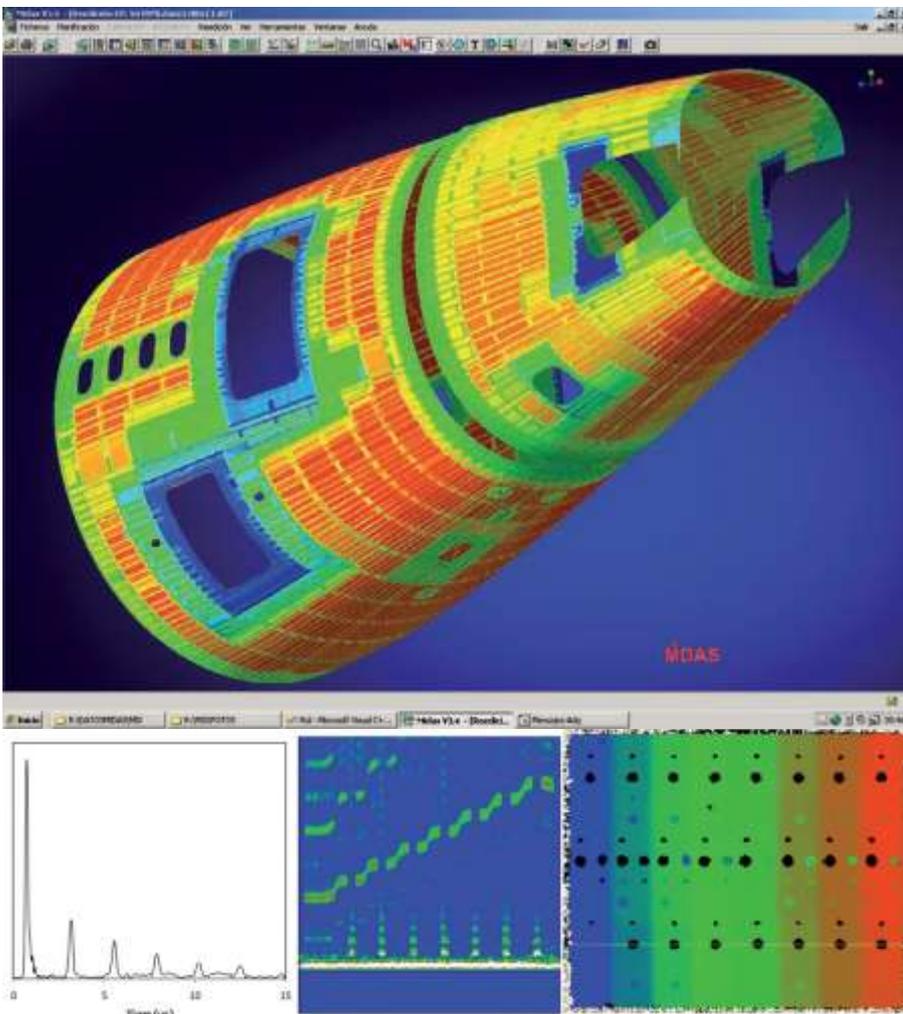
Метод лазерного ультразвука использует один лазер для генерации импульсов и второй, связанный с интерферометром, для обнаружения колебаний. CO<sub>2</sub> лазер получил широкое распространение при контроле композитов, потому что его длина волны (10,6мкм) хорошо поглощается в большинстве органических материалов. CO<sub>2</sub> лазер поглощается в очень тонком слое (глубины 10-200мкм) на поверхности композитного материала, обычно в полимерных матричных материалах или слоях. Это поглощение создаёт локальное повышение температуры, возбуждая ультразвуковые колебания перпендикулярно к поверхности, независимо от угла, под которым направлен лазерный луч. Этот критерий является основным преимуществом технологии лазерного ультразвука для контроля композитов. Детали могут контролироваться под относительно широкими углами ввода к поверхности.

Исследовательским институтом Канады, которые независимо разработали углекислотный лазер (CO<sub>2</sub> лазер) для генерации ультразвука в композитах и конфокальный интерферометр Фабри-Перо для ультразвукового детектирования. CO<sub>2</sub> лазер на основе и конфокального интерферометра Фабри-Перо стали стандартными элементами лазерного ультразвукового оборудования.

В 1994 - 2000 годах Dassault Systems, Aerospatiale (сейчас Airbus) и US Air Force, проводили исследования возможностей лазерного ультразвукового контроля, но без промышленного применения.

В 1998 Lockheed Martin создали первую лазерную ультразвуковую установку для промышленного применения по заказу Joint Strike Fighter. Две следующие установки были разработаны по программам для F-22 and F-35, что

Детектирование ультразвуковых волн осуществляется одночастотным длинно-импульсным лазером с интерферометром. Пучок лазера подсвечивает область детали, где генерирующий лазер создает



ультразвуковые колебания. Свет от детектирующего лазера попадает в конфокальный интерферометр Фабри-Перота. Механические колебания на поверхности детали, созданные ультразвуковыми колебаниями, вызывают небольшие изменения в частоте оптических колебаний детектирующего лазера, которые модулируются Фабри-Перрот интерферометром. При этом выходной сигнал аналогичен сигналу, получаемому при традиционном ультразвуке с применением пьезоэлектрических преобразователей. Лучи генерирующего и детектирующего лазеров выравниваются друг над другом и попадают в оптический сканер, как двумерные гальванометрические системы.

Несмотря на длительные разработки, технология лазерного ультразвука еще не широко используется в аэрокосмической промышленности. Два фактора ограничивают распространение лазерного ультразвука для контроля композитов: недостаток систем, разработанных специально для промышленного применения и высокая стоимость такого оборудования.

Новый подход компаний Tescatom и iPhoton Solutions преодолевает эти

ограничения путем адаптации технологий в промышленности. Для создания гибкой, надежной и доступной по стоимости системы наряду с использованием базовых элементов лазерного ультразвука, также применяются различные технологии, заимствованные из телекоммуникационной, автомобильной отраслей и промышленности лазерной обработки.

## Использование роботов в ультразвуковых системах

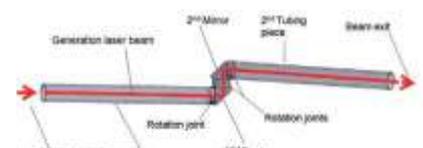
Типичные оптические сканеры и мощные лазеры ограничивают область сканирования до  $1\text{ м}^2$  и угол ввода до  $45^\circ$ . Для контроля композитных деталей сложных форм и больших размеров оптический сканер или деталь нужно переориентировать, чтобы полностью проконтролировать деталь. Переориентацию детали можно сделать автоматически, расположив сканирующее устройство на роботе.

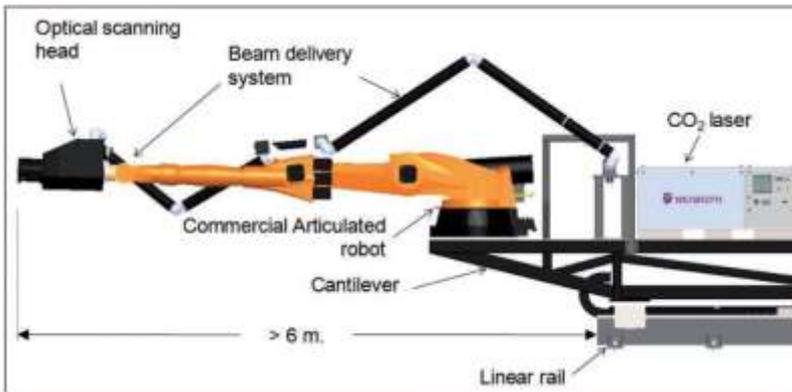
Первые системы с лазерным ультразвуком, смонтированные на роботах, делались на портально-размещенных роботах. Для получения корректных

ультразвуковых результатов, должна быть обеспечена оптическая ориентация луча  $\text{CO}_2$  лазера в оптическом сканере. Оптоволокно не может использоваться в промышленной среде для передачи лазерного луча на основе  $\text{CO}_2$ . Поэтому наиболее верное решение перемещать промышленный  $\text{CO}_2$  лазер вместе с оптическим сканером. Только портально-размещенный робот может перемещать такое большое и тяжелое оборудование, как  $\text{CO}_2$  лазер. Однако портально-размещенные роботы имеют несколько недостатков и наиболее важный из них – это стоимость. Обычно робот – самый дорогостоящий компонент такой лазерной ультразвуковой системы.

Автомобильная промышленность активно задействует роботов уже несколько лет. Эти роботы надежны и функциональны, их выпускают несколько конкурирующих производителей с доступными ценами. Использование опыта автомобильной промышленности в применении шарнирных роботов вместо портальной конфигурации оказалось выгодным для технологии лазерного ультразвука. Кроме преимущества по стоимости, сроки поставки таких роботов гораздо ниже, они экономичны при установке, а также занимают меньше места, имеют широкий ассортимент аксессуаров, программного обеспечения и квалифицированное техническое обслуживание.

Проблема оптического ориентирования лазерного пучка решается подбором подходящих аксессуаров из большого числа доступных для таких роботов. В промышленности лазерной обработки  $\text{CO}_2$  лазеры с осевыми роботами уже используются несколько лет. Система переноса луча  $\text{CO}_2$  лазера с осевыми роботами была разработана для обработки материалов. Система переноса луча состоит из жестких, последовательных трубок и систем двух зеркал в местах вращающихся соединений. Лазерный луч проходит вдоль центра трубок с выравниванием у входа в систему. Лазерный луч передается от входа к выходу из системы посредством отражения в зеркалах, которые расположены в местах соединений трубок, как показано на рисунке ниже.





## Промышленное решение

Tecnatom и iPhoton Solutions разработали роботизированную установку лазерного ультразвукового контроля LUS, основанную на системе переноса луча. Робот перемещается по горизонтальной направляющей, таким образом увеличивая рабочий охват при контроле. Система переноса луча требует правильного механического крепления с автоматической балансировкой (см. рисунок 3). Горизонтальная направляющая предоставляет практически неограниченный рабочий охват при контроле в одном направлении. Объем рабочей области примерно определяется параметрами перемещения линейной направляющей, 3м в перпендикулярном направлении к линейной направляющей и 5м в высоту.

Для некоторых задач контроля крупных, сложных композитных деталей необходимо сканирование внутренних поверхностей, например, стрингеров внутри фюзеляжа. Такие сложно доступные детали можно просканировать, используя другую систему переноса луча. Поэтому Tecnatom вместе с iPhoton Solutions

разработали другую конфигурацию для проведения контроля внутренней поверхности детали. В этой конфигурации используются две системы переноса луча, соединяемые на 3 оси робота. Этот подход совместно с линейной направляющей, позволяет проникать вглубь детали, например, такой как фюзеляж, более чем на 6м в глубину, в дополнение к ранее описанной рабочей зоне. Эта концепция показана на рисунке выше, а применение системы на линейной направляющей изображено на рисунке ниже.

Большой рабочий охват при контроле детали является важным фактором для промышленного применения системы. При этом для максимально эффективного использования системы на работах LUS нужно иметь продвинутую систему сбора и обработки ультразвуковых данных. Высокоскоростная система сбора данных, основанная на современной электронике, эффективном ПО для управления механикой и системе сбора и обработки УЗК данных, позволяет сократить общее время контроля. Эти два элемента: электроника и ПО, отвечают за высокую производительность и надежность системы, которые так необходимы в промышленном производстве. Эффективная система сбора и анализа

данных компании Tecnatom и Iphoton позволяет обмениваться данными с другими уже существующими и будущими форматами. В комплектацию поставляемых систем так же включены другие программные пакеты: система автоматического построения траекторий, автоматического анализа дефектов и оценки результатов. На рисунке выше изображен пример обработки результатов полного сканирования детали фюзеляжа.

Новая концепция УЗК представляет собой важный шаг для широкого распространения технологии лазерного ультразвука в авиационной промышленности. Значительное снижение стоимости, совместимость с самыми современными роботизированными системами, простота установки и небольшая занимаемая площадь – вот основные преимущества данной технологии.

Система на базе лазерного ультразвука способна сканировать детали очень сложной формы, и очень проста в эксплуатации. Эти несомненные достоинства делают данную технологию выигршной по сравнению с классическим методом ультразвукового контроля.

Надежная электроника, системы сбора и анализа данных ультразвукового сканирования помогут переходу к технологии на базе лазерного ультразвука.

Дополнительные возможности такие, как автоматическое генерирование траекторий контроля и модуль автоматического анализа полученных данных, могут быть включены в процесс контроля дополнительно, увеличивая производительность системы на базе лазерного ультразвукового контроля.

### Контактная информация

**Антонио Танарро менеджер по развитию бизнеса и разработок в аэрокосмическом секторе Tecnatom, Мадрид, Испания**  
[www.tecnatom.es](http://www.tecnatom.es)

