

# АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТРЕБУЕТСЯ КОНТРОЛЬ!

**Автомобильная промышленность сегодня – это симбиоз новейших технологий производства, контроля, управления данными, логистики и прочих передовых решений. Их синергия позволяет добиться высокой эффективности, поэтому в ведущих мировых экономиках автопром остается одним из ключевых драйверов роста.**

Современный автомобиль – наукоемкий товар, способный выдерживать конкуренцию и поэтому требующий максимальной отдачи от применяемых технологий. Этот требовательный подход и создал предпосылки бурного развития «Индустрии 4.0», прежде всего, в автомобильной и авиационной отраслях.

Ключевые элементы новой промышленной революции – максимальная цифровизация всех направлений – от бизнес-процессов и управления данными (PLM-, PDM-, MES- системы) до технологий производства и контроля; автоматизация процессов (станки с ЧПУ, аддитивное производство, роботизация); повышение наукоемкости. Их задача – сократить производственные затраты и увеличить добавленную стоимость продукции. Аддитивные технологии переходят сегодня от стадии перспективных разработок в разряд рабочего производственного оборудования. На этом этапе важно использовать эффективные и передовые инструменты контроля, способные сообщить о качестве и характеристиках изделий.

Аддитивное производство, как метод изготовления конечного изделия любой сложной геометрии, позволяет снять технологические ограничения и добиться оптимизации формы. Свойства изделий, выращенных из металлических материалов, превосходят аналоги, полученные традиционными литейными технологиями. Это достигается равномерной структурой, мелким зерном металла, минимальным количеством включений, управляемым и повторяемым процессом аддитивного производства.

**Сравнение структуры металла: отливка и прямое аддитивное производство. Алюминиевый сплав.**

Структура металла, литье.			
x100	x200	x500	x1000
Структура металла, аддитивное производство.			
x100	x200	x500	x1000

Улучшенные свойства материалов позволяют оптимизировать топологию изделий, сокращая массу и/или улучшая механические свойства.

## Контроль изделий

Более наукоемкие, оптимизированные и ответственные изделия требуют и более пристального контроля. Эйфория



**Рычаг подвески автомобиля, алюминиевый сплав. Снижение массы 12%. Масса до оптимизации: 854 г, масса после оптимизации: 749 г**

от потенциальной способности изготовить сложную геометрию, зачастую, проходит в момент испытаний выращенных изделий, т.к. их свойства могут не соответствовать ожиданиям.

Расхождение в расчетных и реальных показателях часто связано с дефектами в аддитивном производстве.

Важнейший этап в любом производстве – контроль качества.

Один из распространенных способов проверок – неразрушающий контроль. Сегодня ревизия наружной геометрии осуществляется бесконтактным трехмер-

ным сканером, это популярный и проверенный способ. Используя поле отклонений, оценивают геометрию и принимают решение о пригодности детали для дальнейших технологических операций.

Однако для многих показателей визуального и геометрического контроля недостаточно. Требуется выявлять внутренние дефекты, области с более низкой плотностью, включения и определять их влияние на характеристики детали. Заглянуть внутрь изделия позволяет рентгеновское излучение. Контроль с использованием ионизирующего излучения был открыт Вильгельмом-Конрадом Рентгеном еще в 1895 году. В основе метода лежит оценка плотности материала по интен-

сивности излучения, проходящего через объект и попадающего на детектор.

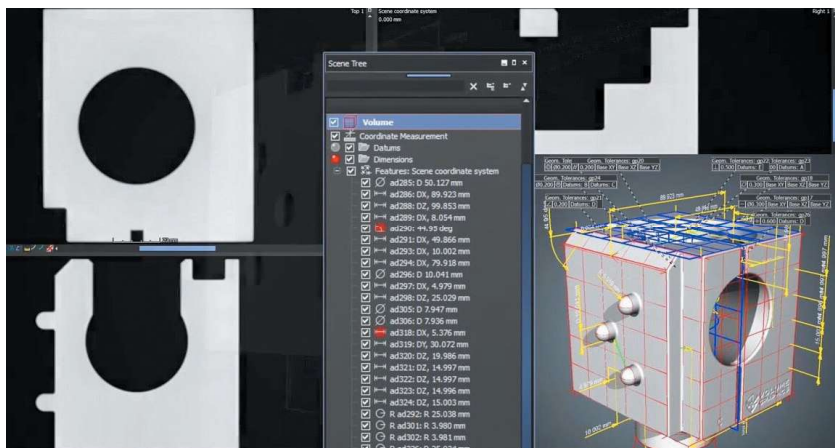
В отличие от традиционных рентгеновских аппаратов, которые способны работать лишь с физическими снимками на пленке, компьютерный томограф – создает трехмерные данные, сопоставляя серии двумерных цифровых изображений.

Преимущества томографии – полностью цифровое взаимодействие с



**Современные данные компьютерной томографии. Блок цилиндров ДВС V8.**

трехмерными данными, информацией о внутренних дефектах, скрытых полостях, недоступных оптическим и контактными средствами измерений



Слева: данные КТ. Справа: CAD-модель PMI. В центре: отчет об измерениях. Volume Graphics

Данные компьютерной томографии (КТ) – воксели – помимо геометрической информации, содержат сведения об интенсивности, коррелирующиеся с плотностью исследуемого материала. Чем плотнее материал, тем меньше интенсивность. По трехмерным данным КТ определяют размер, количество и распределение дефектов.

измерениях с принятым решением по каждой позиции.

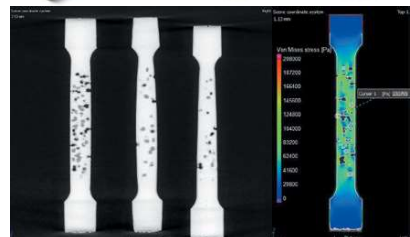
**Виртуальные испытания**

Томография дала возможность обнаруживать дефекты и оценивать их размеры. Однако, каким образом определить влияние несплошностей и включений, как решить насколько критичны дефекты и приведут ли они к разрушению? Оценку с учетом дефектов проводят с помощью виртуальных испытаний. Традиционно такие испытания - это моделирование поведения нагруженной детали на основе сетки конечных элементов.

Симуляция позволяет получить информацию о зонах потенциального

нове воксельных данных, с учетом информации о дефектах. Это позволяет проводить симуляцию нагружения конкретного изделия, а не идеализированной CAD-модели.

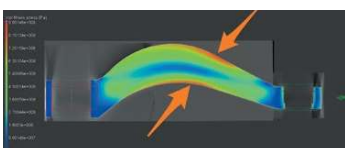
Статистические данные, собранные на образцах и изделиях, показывают высокую степень сходимости



Образцы для проверки расчетных данных. Данные КТ. Расчетные напряжения по Мизесу.

расчетных показателей и экспериментальных данных.

Опираясь на истинные данные о дефектах конкретного изделия, а также средства виртуальных испытаний можно исключить физические испытания для оптимизированных, высокоэффективных, сложных и/или уникальных изделий, тем самым добиться повышения экономической эффективности производства.



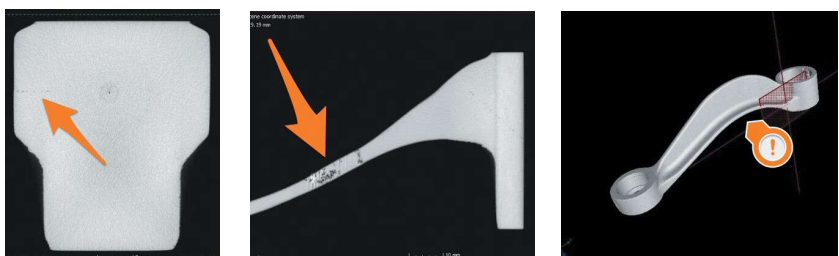
а. Поле нагрузок и прогноз разрушения



б. Деталь после испытаний

Прогноз разрушения изделия на основе данных томографии. Прямое производство, алюминиевый сплав.

Для автоматизированного принятия решения о качестве изделий используют CAD-данные с PMI (Product and Manufacturing Information). Трехмерные модели, с размерами и допусками, описанными аннотациями PMI, сопоставляют с данными КТ. Программное обеспечение способно воспринимать все размеры с допусками и, сопоставляя их с фактически измеренными величинами, создавать отчет об



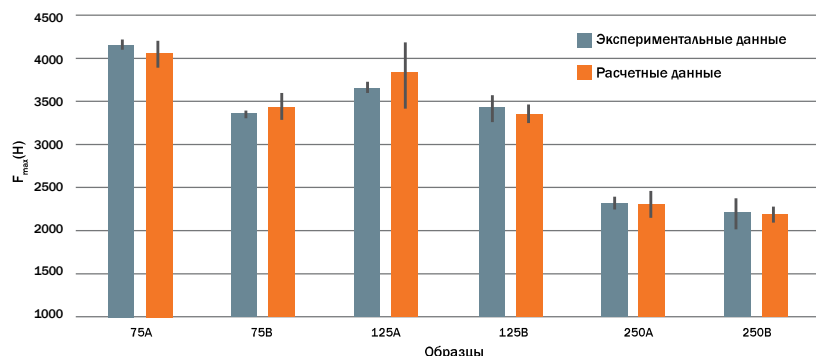
Возможные дефекты в аддитивном производстве: пропуски слоя, пористость, включения и пр.

разрушения и предельных нагрузках по всему объему изделия. Ключевая особенность симуляции на основе данных КТ состоит в том, что сетка конечных элементов создается на ос-

**Заключение**

Инструменты «Индустрии 4.0» позволяют создавать изделия с уникальными характеристиками, на основе принципов цифрового и автоматизированного проектирования и производства: сборки заменяются несколькими деталями, с эффективной и оптимизированной геометрией, все выше требования к компонентам. Важно на каждом этапе аддитивного производства контролировать характеристики и прогнозировать поведение таких компонентов, это залог успешного развития нового технологического уклада.

К. Н. Казмирчук, начальник Отдела перспективных технологий и развития, ФГУП «НАМИ»



Сходимость экспериментальных и расчетных данных испытаний контрольных образцов.