



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Неразрушающий контроль качества металлических изделий аддитивного производства

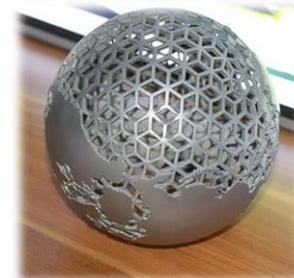
Преподаватель факультета Систем управления и робототехники
к.т.н. Кинжагулов Игорь Юрьевич
kinzhiki@mail.ru

2021

Аддитивное производство* - процесс изготовления деталей, который основан на создании физического объекта по электронной геометрической модели путем добавления материала, как правило, слой за слоем, в отличие от вычитающего (субтрактивного) производства (механической обработки) и традиционного формообразующего производства (литья, штамповки).

Область применения:

Машиностроение, авиастроение, судостроение, ракетно-космическая отрасль, нефтегазовая отрасль, энергетика, здравоохранение, архитектура, дизайн.



* - по ГОСТ Р 57558-2017/ ISO/ ASTM 52900:2015

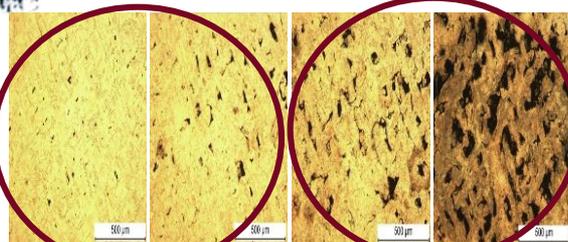
Анализ дефектности изделий, получаемых методом аддитивных технологий

Дефекты типа нарушения сплошности
(трещины, крупные воздушные или газовые раковины, инородные включения)



Зоны повышенной пористости (поры)

Закрытая пористость



Открытая пористость

Коробление
вызванное нарушением НДС изделия

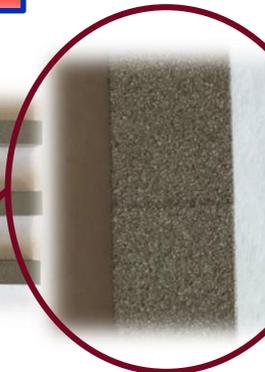
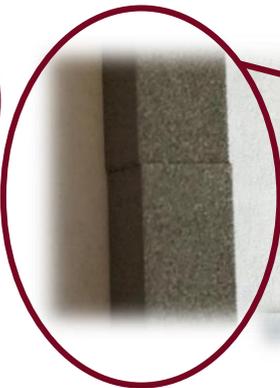


Технология комплексного мониторинга качества изделий и заготовок, полученных с помощью аддитивных технологий

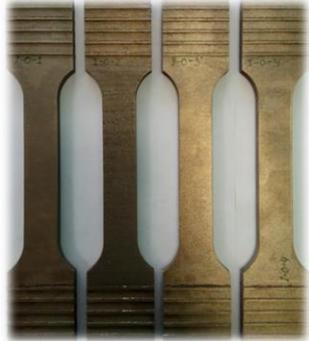
Контроль НДС

Иммерсионный ультразвуковой контроль

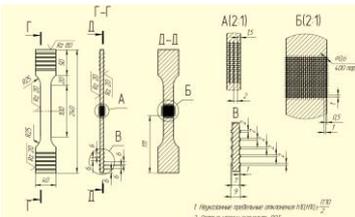
Акустико-эмиссионный контроль



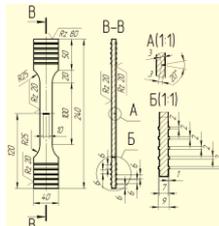
Эскизы и общий вид образцов с заложенными дефектами



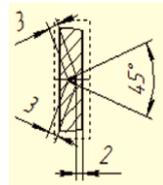
Пропорциональные плоские образцы с **имитацией пористости** в рабочей части образца с диаметром сфер, имитирующих поры $d = 0,2 \text{ мм}$, $d = 0,6 \text{ мм}$, $d = 0,8 \text{ мм}$



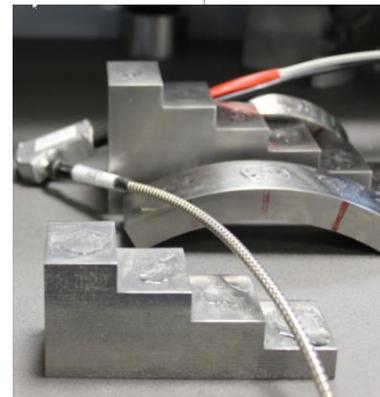
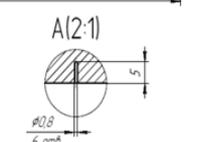
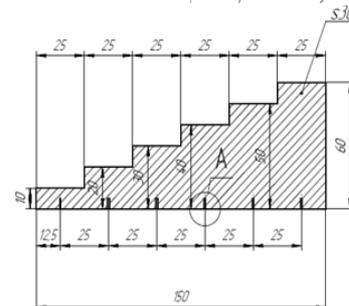
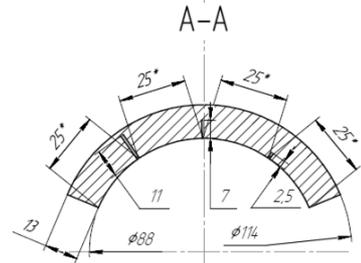
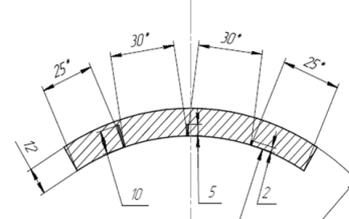
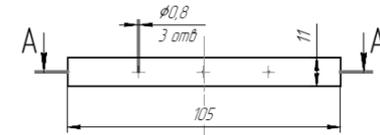
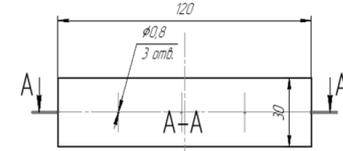
Пропорциональные плоские образцы с **пропилем** в рабочей части образца глубиной 1 мм, шириной 0,2 мм



Пропорциональные плоские образцы с **треугольной призмой** внутри рабочей части образца (угол при вершине 20° и 45° , длина грани основания призмы - 3 мм)



Эскизы и общий вид настроечных образцов

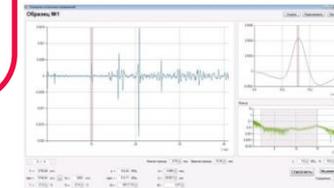


Интенсивное и длительное термическое воздействие, высокая скорость нагрева и охлаждения в процессе выращивания изделий

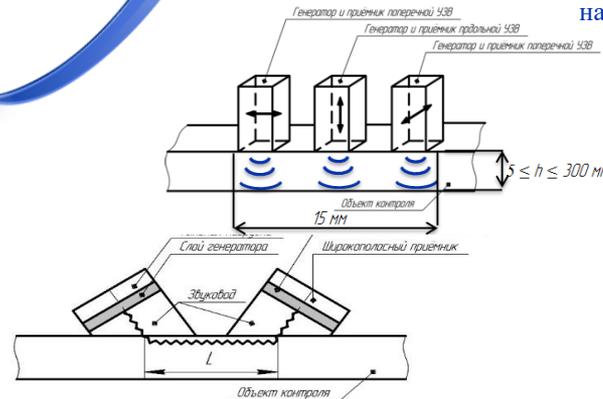
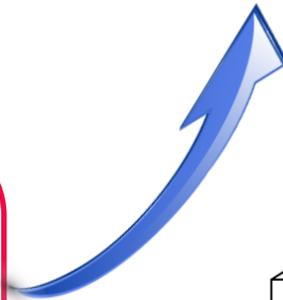
Контроль и оценка действующих напряжений как готовых изделий, так и изделий в процессе изготовления

Внутренние напряжения, анизотропия механических свойств, склонность к образованию трещин и остаточные деформации в изделиях

Снижение эксплуатационных характеристик изделия

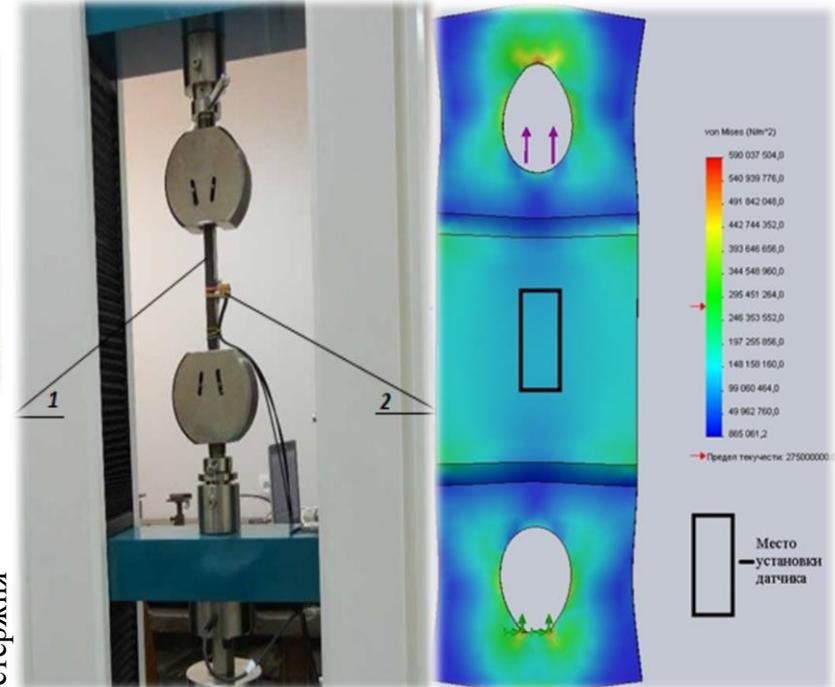
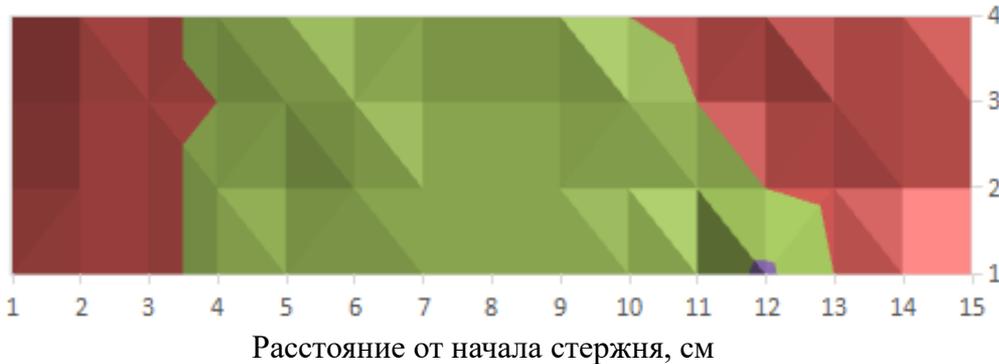
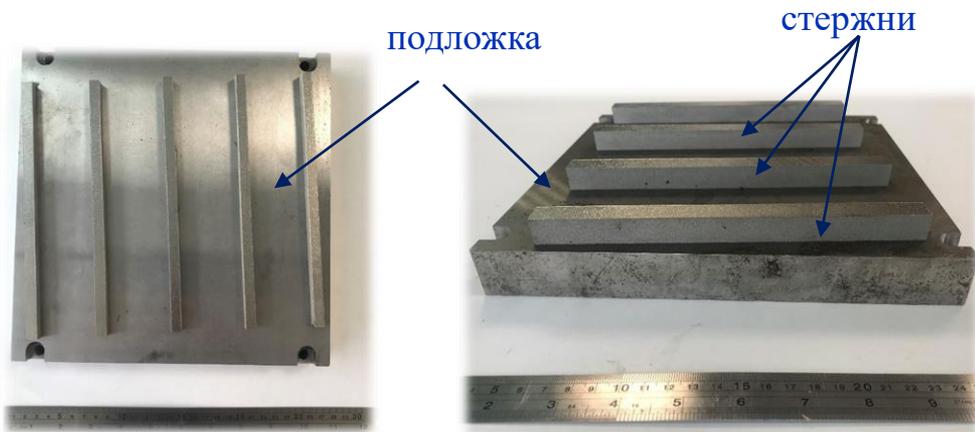


Рабочее окно специального программного обеспечения для измерения механических напряжений



Схемы измерений



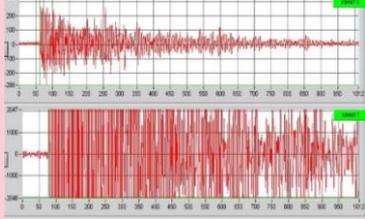


Номер стержня

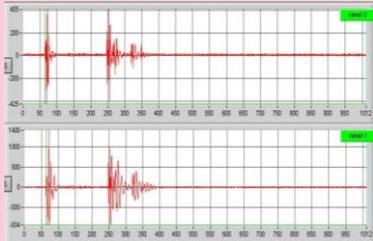
Распределение механических напряжений в стержнях

Характерные формы АЭ сигналов, зарегистрированных в момент разрушения и локализованных в областях образования магистральной трещины при разрушении образцов

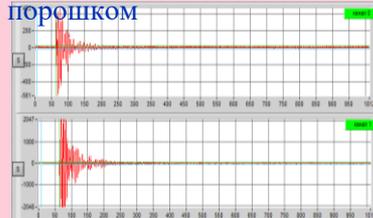
Разрушение образца без дефекта



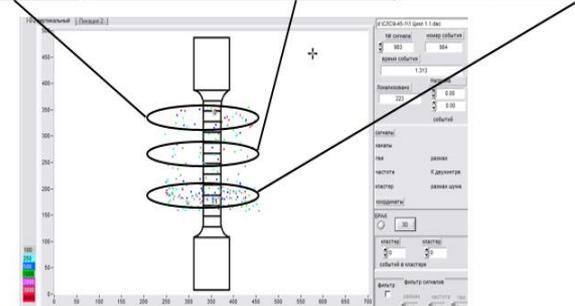
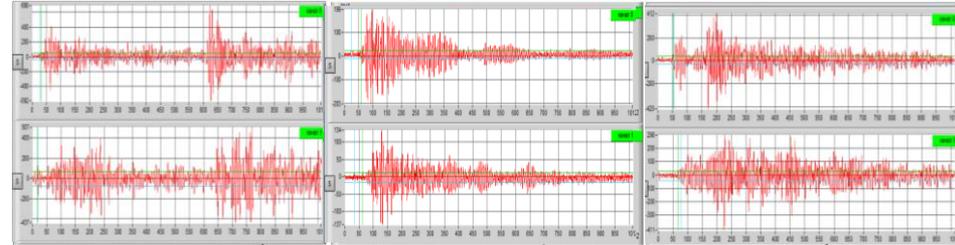
Разрушение образца с дефектом выходящим на поверхность



Разрушение образца с внутренним дефектом, засыпанным порошком



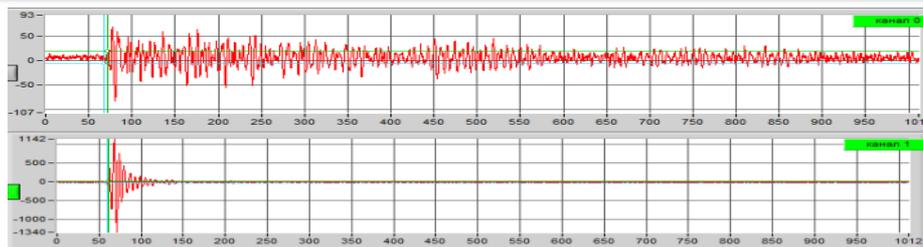
Характерные формы АЭ сигналов, локализованных в различных областях образца



- ✓ Для АЭ сигналов, локализованных в области накопления концентрации напряжений, характерен «короткий передний фронт», т.е. высокая скорость нарастания АЭ сигнала.
- ✓ Формы АЭ сигналов, сопровождающих процесс разрушения образцов, с заложенными «дефектами» и без дефектов различны (длительность, энергия).
- ✓ Общей чертой для данных сигналов является увеличение скорости нарастания переднего фронта и высокая амплитуда.

Сравнение форм акустико-эмиссионных сигналов, полученных в ходе экспериментов на различных материалах

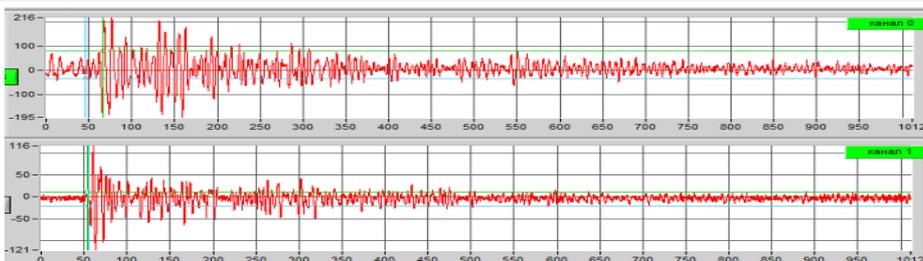
Сталь 3



Источник – трение образца в захватах испытательной машины

Источник – микроструктурные изменения, в следствии локального пластического течения и деформации границ зерен материала

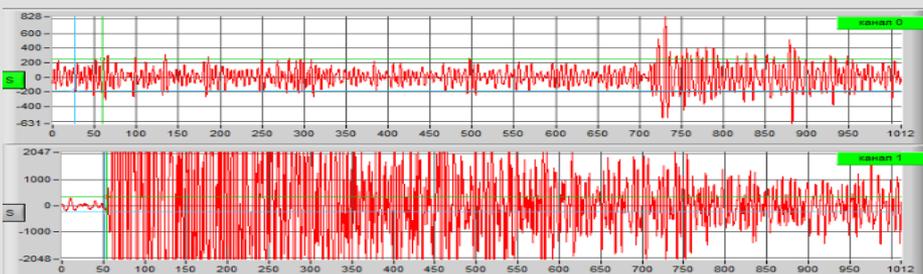
D40S



Источник – трение образца в захватах испытательной машины

Источник – микроструктурные изменения, в следствии локального пластического течения и деформации границ зерен материала

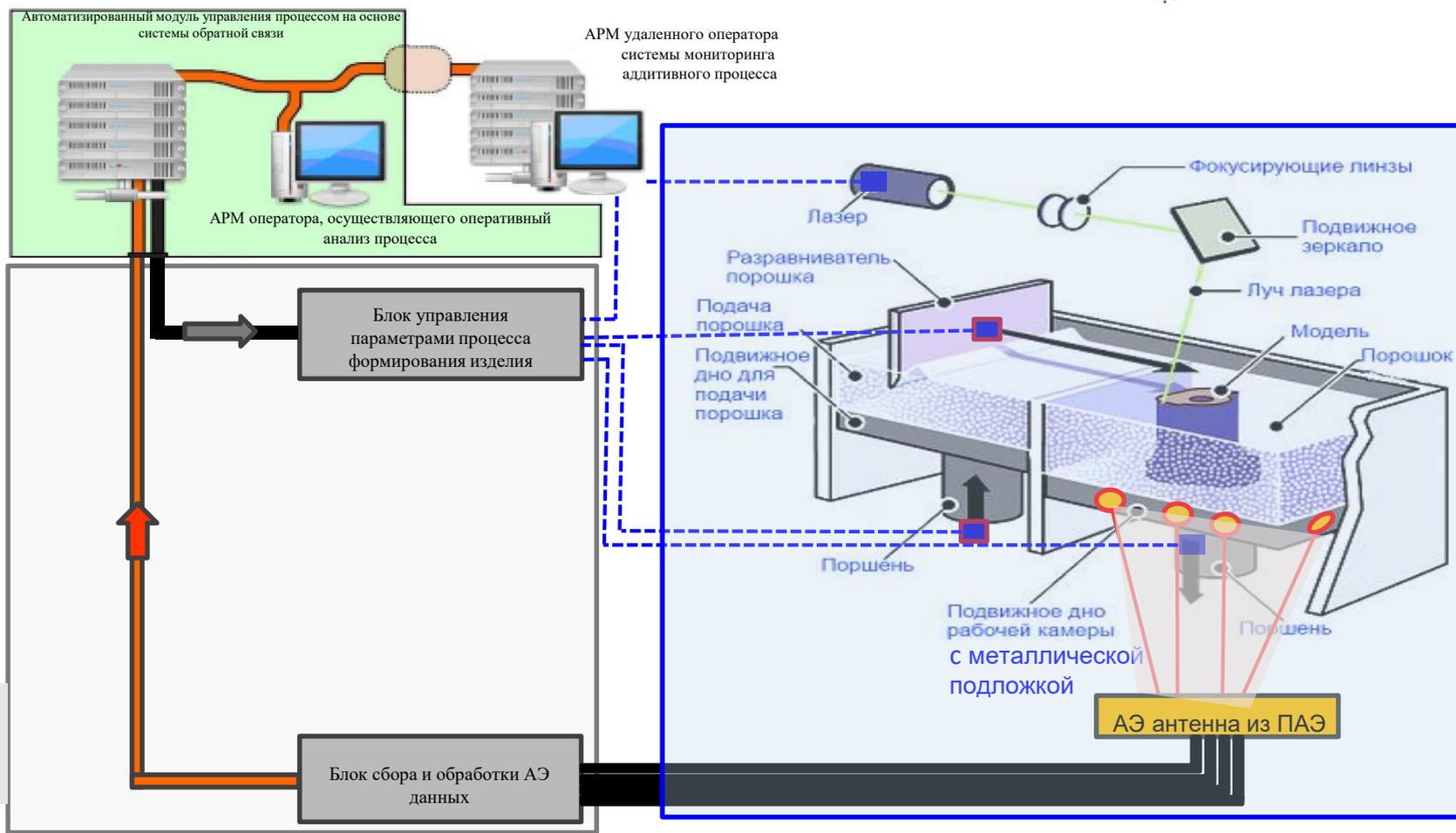
Inconel 718



Источник – трение образца в захватах испытательной машины

Источник – микроструктурные изменения, в следствии локального пластического течения и деформации границ зерен материала

Схема акустико-эмиссионного контроля при создании сложнопрофильных изделий и заготовок синтезом на подложке



Автоматизированная установка иммерсионного ультразвукового контроля сложнопрофильных изделий и заготовок аддитивного производства



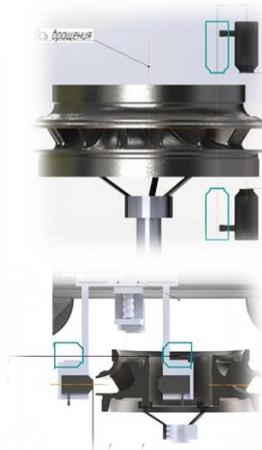
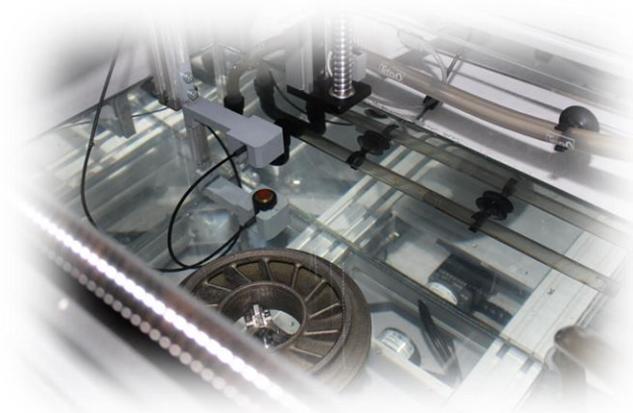
Выполнение автоматизированного иммерсионного ультразвукового контроля путем перемещения измерительного оборудования и объекта контроля по заданной траектории



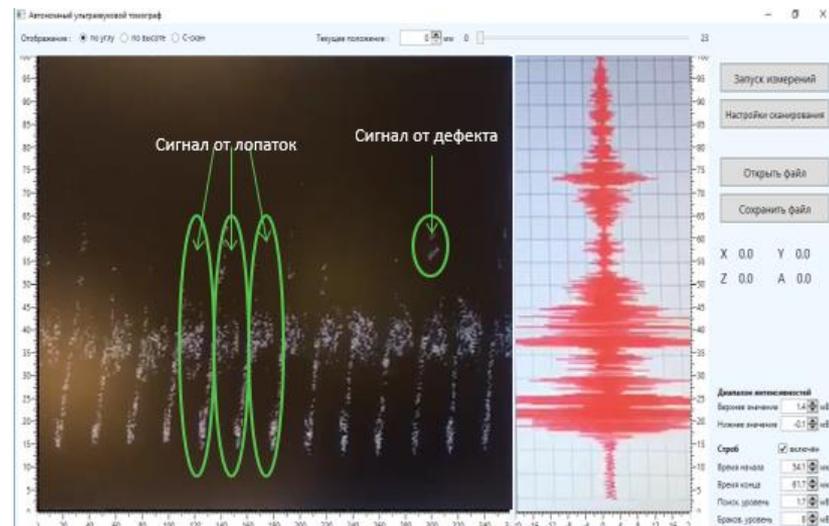
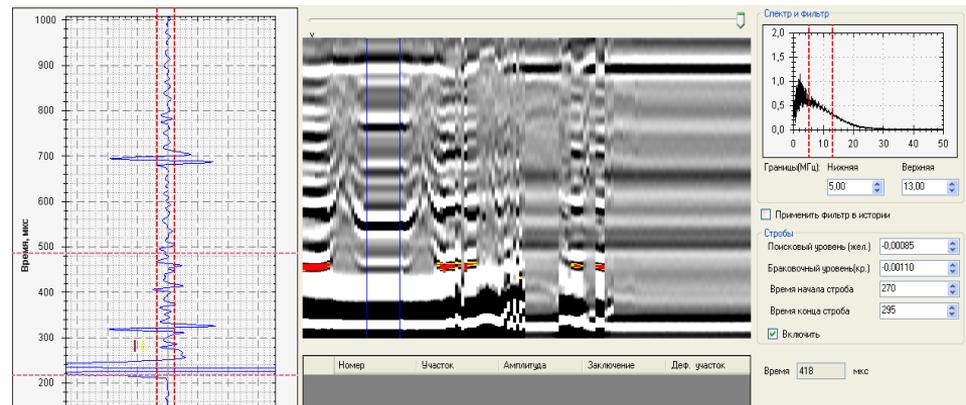
ITMO *re than a*
UNIVERSITY



Контроль сложнопрофильного изделия полученного методом аддитивных технологий с использованием автоматизированной установки иммерсионного ультразвукового контроля



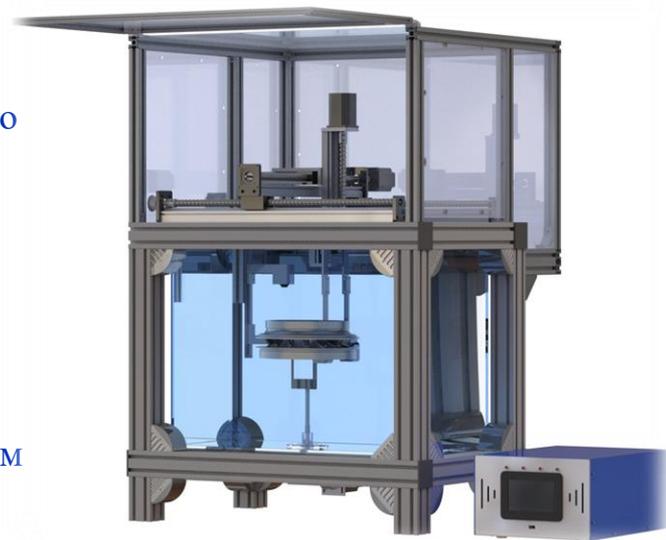
Результаты сканирования с использованием автоматизированной установки иммерсионного ультразвукового контроля



Автоматизированная установка иммерсионного ультразвукового контроля сложнопрофильных изделий и заготовок аддитивного производства

Отличительные особенности

- возможность контроля геометрически сложных изделий, многие поверхности которых неконтроледоступны для контактных средств НК;
- возможность контроля изделий с высокой шероховатостью поверхности;
- сплошной контроль и автоматизированная оценка качества изделий;
- жесткая фиксация, позиционирование (центрирование) и вращение объекта контроля вокруг оси на 360° ;
- точное позиционирование измерительного оборудования относительно объекта контроля;
- обеспечение сканирования объекта контроля с заданным шагом и скоростью сканирования теневым и эхо-методом в вертикальных и горизонтальных плоскостях;
- точность угла поворота объекта контроля $6'$;
- специализированное программное обеспечение с автоматизированным поиском и графическим представлением расположения дефектов.



Достигнутые результаты

Не разрушающий контроль качества сложнопрофильных заготовок и изделий аддитивного производства, возможно выполнять с помощью представленных средств НК:



Блок неразрушающего контроля качества сложнопрофильных заготовок и изделий, полученных СЛС, включающий лазерно-ультразвуковое оборудование и ультразвуковое оборудование с пьезогенерацией УЗВ



Автоматизированная установка иммерсионного ультразвукового контроля сложнопрофильных изделий и заготовок, полученных с помощью аддитивных технологий



Комплект акустико-эмиссионных средств контроля

Отмечены следующие преимущества акустических методов:

- позволяет измерять скорость распространения УЗВ в объекте контроля с высокой точностью, что может быть применено для интегральной оценки свойств объекта контроля, его напряженно-деформированного состояния, проверки соблюдения режимов производства и доп. обработок;
- позволяет контролировать наличие в изделии внутренних дефектов с малым раскрытием, пористости и структурных неоднородностей;
- низкая стоимость контроля и отсутствие опасных производственных факторов.

- позволяет выполнять автоматизированный контроль геометрически сложных изделий с высокой шероховатостью, многие поверхности которых неконтроледоступны для контактных средств НК;
- позволяет выполнять интегральную оценку пористости, структуры и выявлять внутренние дефекты;
- высокая скорость, низкая стоимость контроля и отсутствие опасных производственных факторов.

- позволяет выявлять внутренние дефекты и структурные изменения в изделии в процессе производства и испытаний;
- высокая скорость, низкая стоимость контроля и отсутствие опасных производственных факторов.

Направления дальнейшего развития

- разработка под индивидуальные требования заказчика технических средств, программного обеспечения, методик неразрушающего контроля качества сложнопрофильных заготовок и изделий, полученных аддитивными технологиями;
- внедрение созданных систем для контроля качества изготовления изделий и исправления дефектов как при серийном производстве, так и в ходе освоении новых технологий производства.

Спасибо за внимание!

IT'sMO *re than a*
UNIVERSITY