



ESI Additive Manufacturing 2019.0

Первый официальный релиз для оценки
технологичности производства изделий

Image courtesy of Adrien Daste, SAFRAN Group

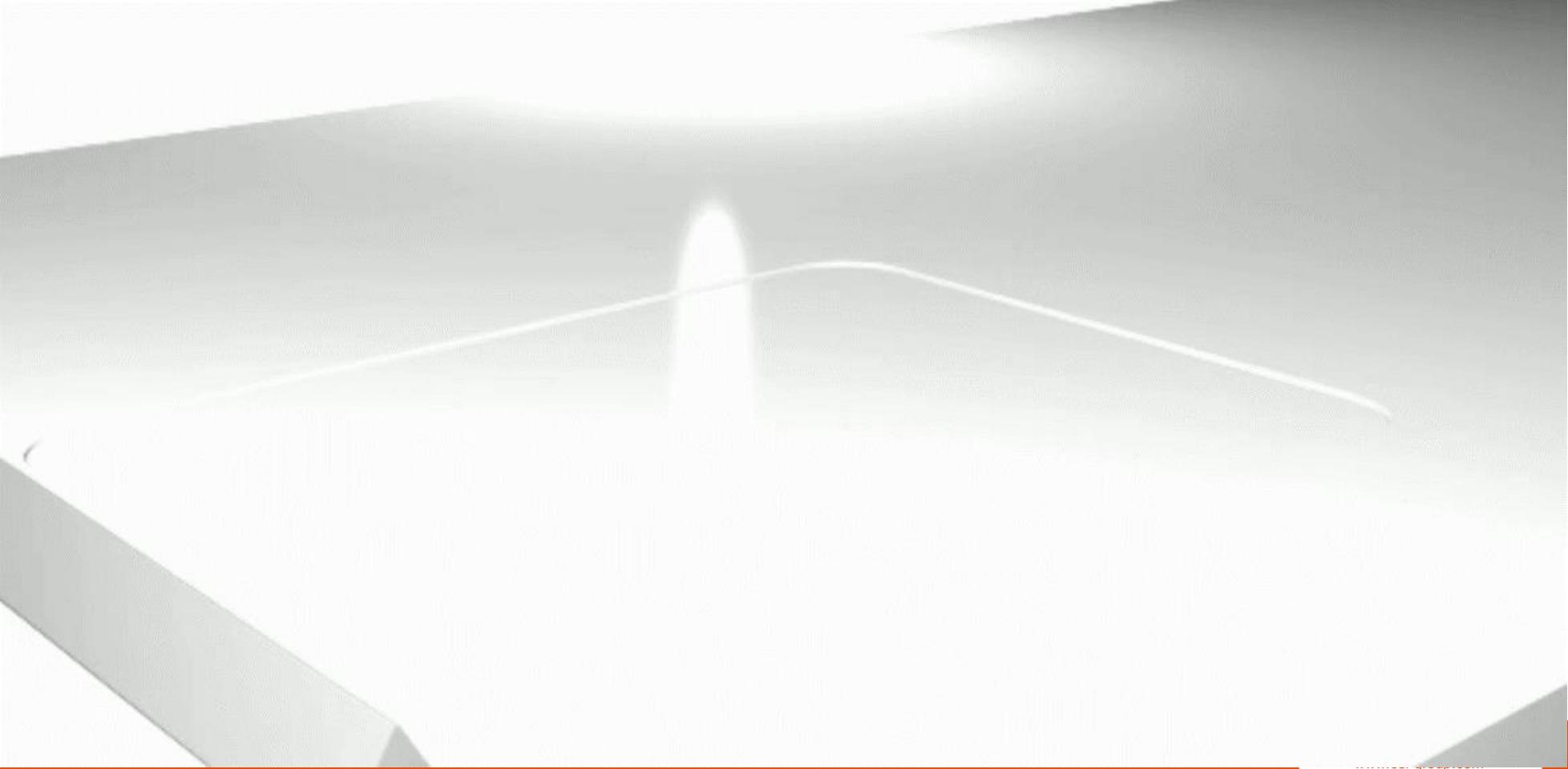
esi
get it right®

Какие процессы можно моделировать в ESI AM?

Селективное лазерное сплавление

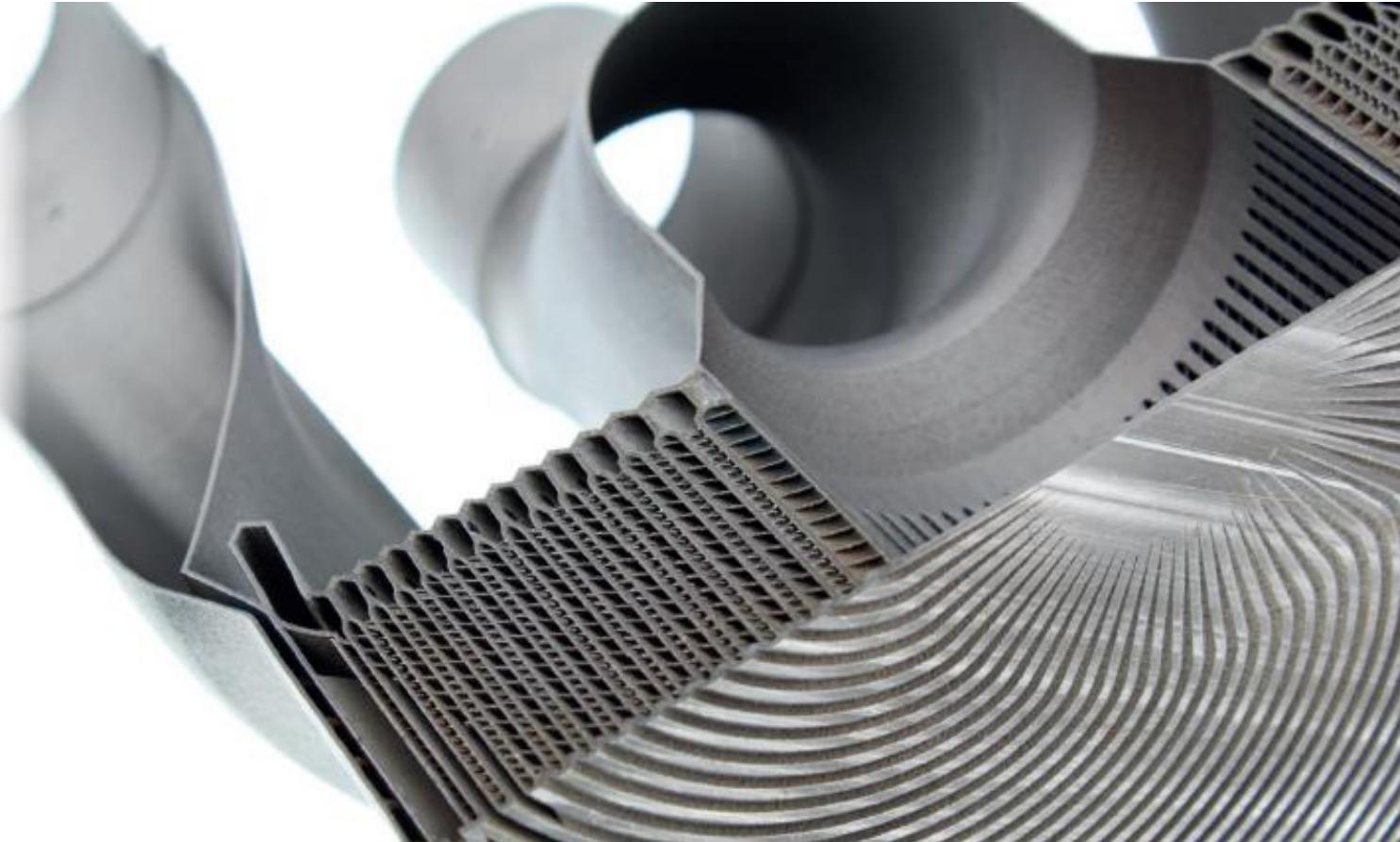


Процесс выращивания изделия по технологии селективного лазерного сплавления



Ключевые направления

Аддитивное производство из металла: свобода в дизайне и свобода в технологии



ОЖИДАНИЯ

- Новая геометрия
- Новые материалы
- Уменьшение числа сборочных операций
- Уменьшение массы
- Упрощение технологии производства
- ...

РЕАЛЬНОСТЬ

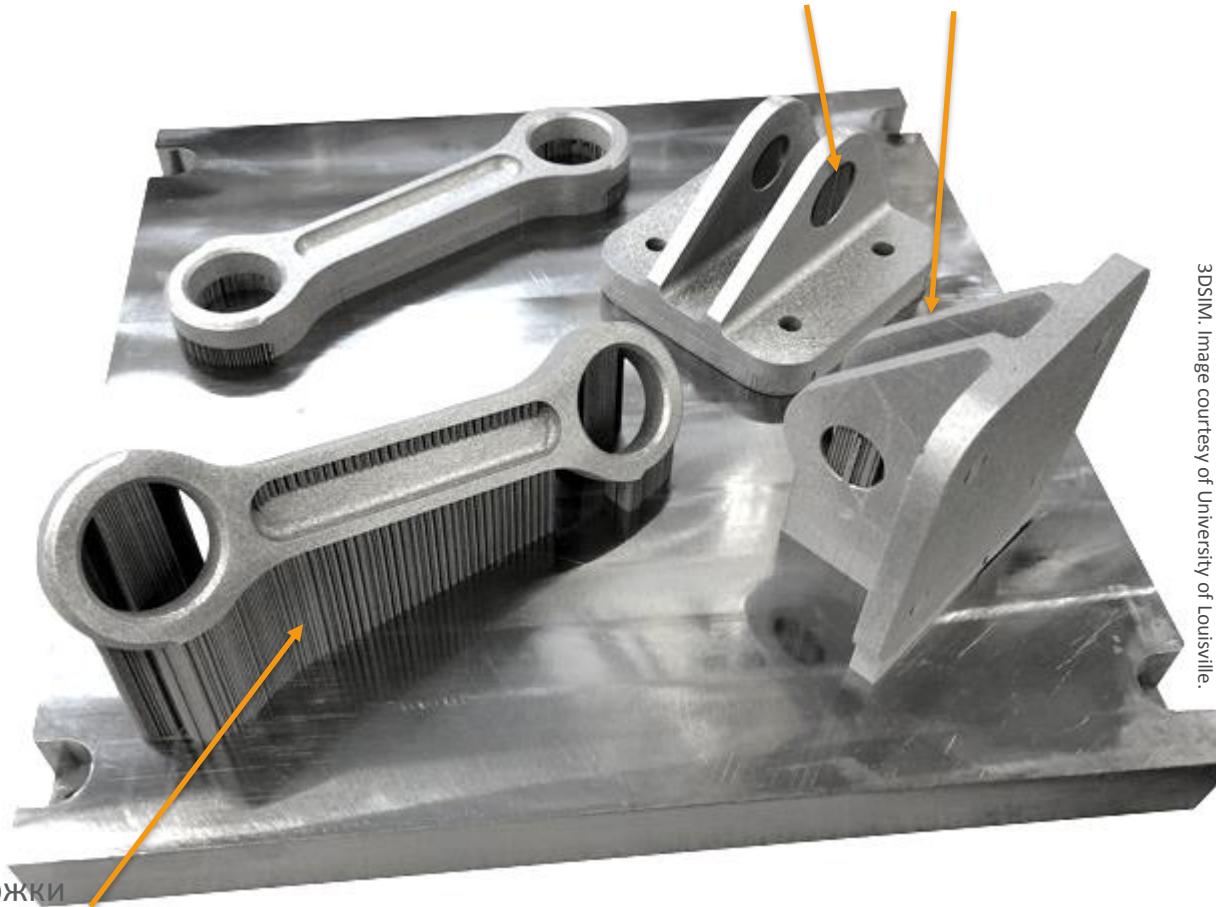
Ключевой вопрос:
**Как это сделать
рентабельным?**

Аддитивное производство из металла

Задачи процесса / Технологичность

- **Технологичность** : Коробления и колебания уровня напряжений в процессе выращивания
 - Поддержки
 - Коробления подложки
 - Ориентация / z-анизотропия
 - Остановка валики / Неудавшийся процесс
- **Технологичность окончательной геометрии:** Коробления и остаточные напряжения в конце процесса, вероятность образования трещин

Изделие в процессе выращивания подвержено короблениям из-за влияния в т.ч. термической усадки. Для избежания этого используются различные **ориентировки** детали на подложке и **поддержки**



Структура поддержек
необходимы для поддержки
нависающих частей изделия
и уменьшения короблений

Аддитивное производство из металла

Задачи процесса / Качество материала

- **Качество материала** для механических характеристик
 - Пористость
 - Микроструктура
- **Качество материала** для характеристик поверхности (усталость, коррозия, ...)



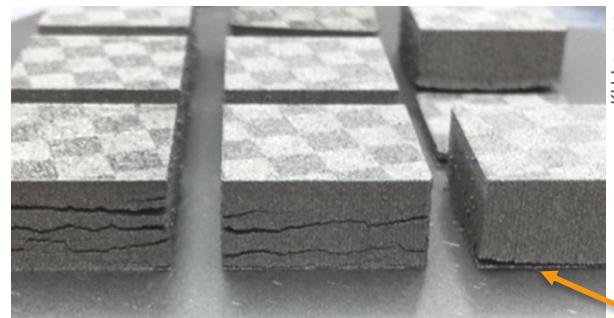
Renishaw



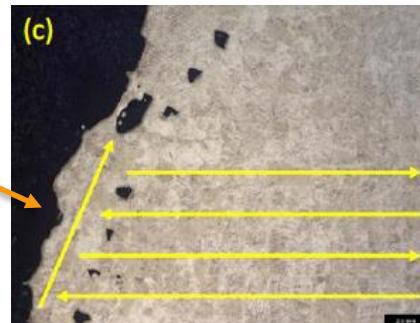
Различные **параметры производства**, такие как траектория движения лазера, могут быть причиной появления **дефектов (пористость)**

Различные **параметры производства** одного и того же материала влияют на **механические характеристики этого материала**

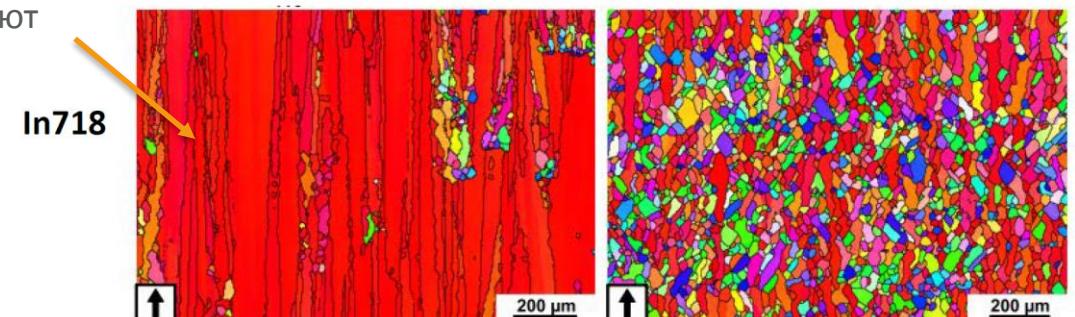
Геометрия некоторых изделий не допускает **плохого качества поверхности**



KU Leuven



$P = 594 \text{ W}, v = 2.2 \text{ m/s}, l = 150 \mu\text{m}$



$P = 627 \text{ W}, v = 8.8 \text{ m/s}, l = 37.5 \mu\text{m}$

Аддитивное производство

Мульти尺度ный и мультифизический процесс



Размерность: 10^{-6}м

Физические явления:

- Явления расплавления и затвердевания
- Металлургические и фазовые переходы

Модель: Мезо уровень

Размерность : $10^{-5} – 10^{-4}\text{м}$

Физические явления:

- Подача материала
- Распределение
- Плавление
- Пористость
- Форма и течение зоны расплава

Модель: Микро уровень

Размерность : 10^{-4}м

Физические явления:

- Перенос тепла
- Дифракция
- Испарение

Модель: Микро уровень

Размерность : 10^{+3}м

Физические явления:

- Распределение остаточных напряжений
- Коробления

Модель: Макро уровень

Размерность : 10^{-1}м

Физические явления:

- Термо-механический анализ
- Расчет остаточных напряжений
- Расчет короблений
- Законы упруго-вязко-пластического поведения
- Перенос тепла

Модель: Макро уровень

Аддитивное производство из металла

Зачем необходимо моделирование «материал-процесс-продукт»



Additive Manufacturing



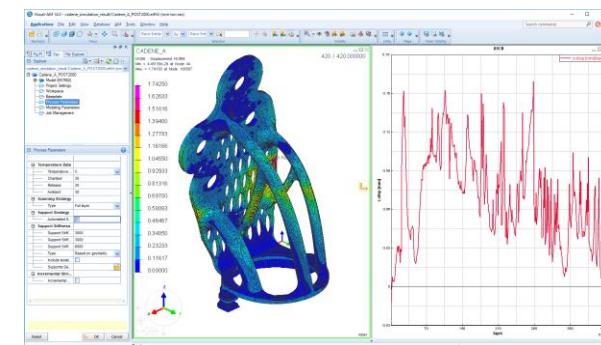
Как инструмент **производства**
Visual AM 14.5

■ Проверяйте “Технологичность”

- Разрабатывайте и оптимизируйте изделие
- Уменьшайте стоимость

“Какая из ориентаций выращивания лучшая?”

“Нужно ли добавить поддержки?”



■ Оптимизируйте

“Правильная печать с первого раза”

Как инструмент **оценки качества материала**,
Для технических отделов

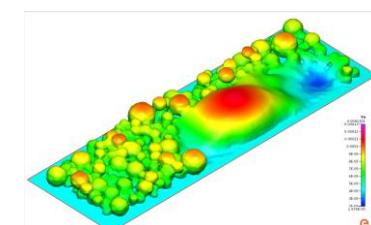
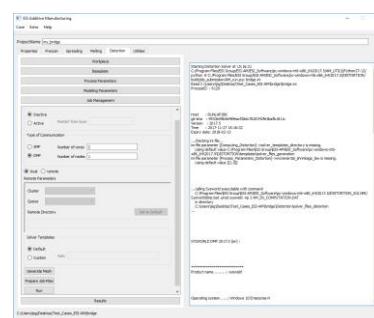
Прототип и Проектная работа

■ Управляйте “Свойствами материала”

- Определяйте размеры и расположение дефектов
- Разрабатывайте материал

“Как достигнуть лучшей комбинации плотности материала и скорости процесса?”

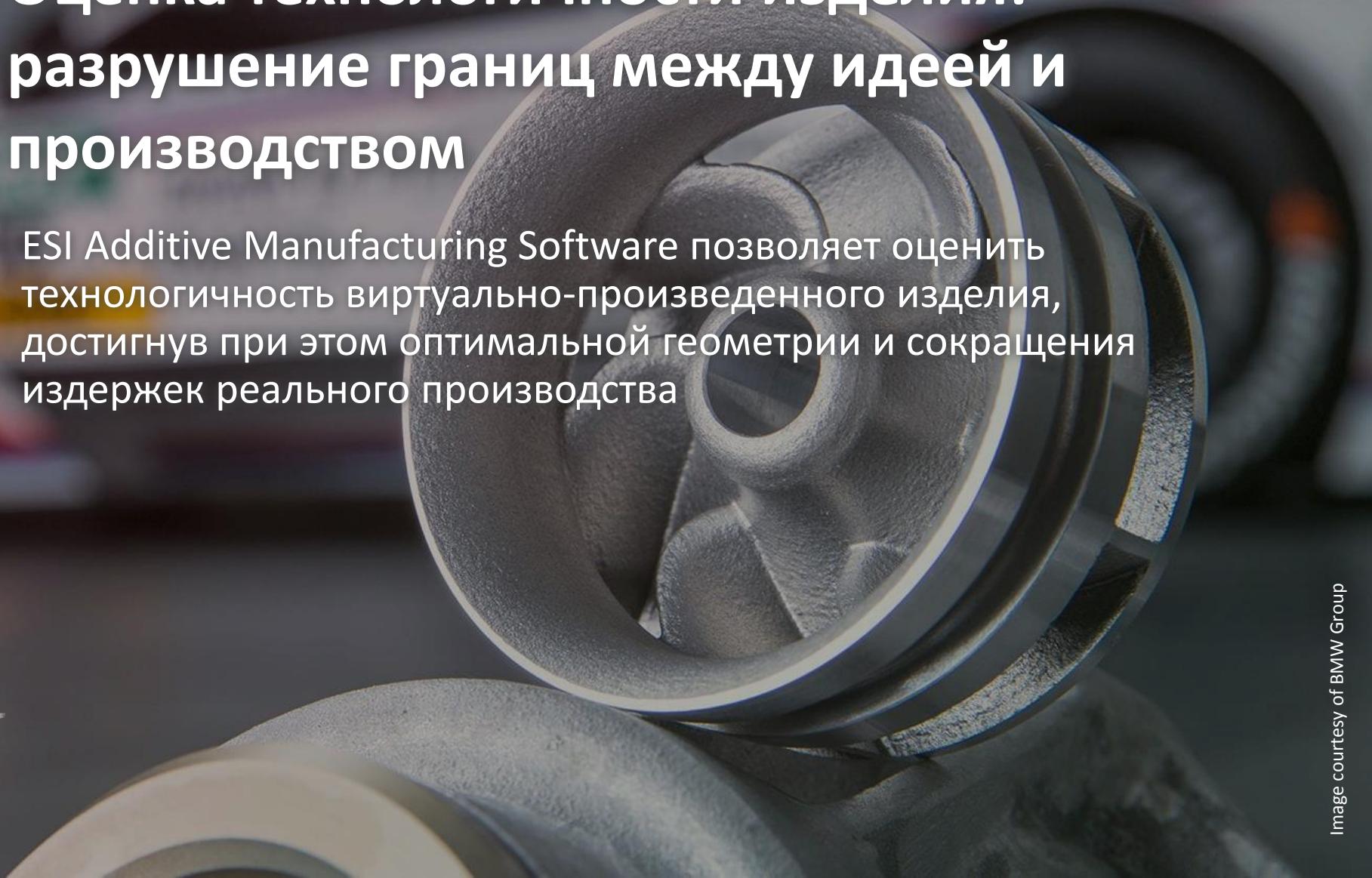
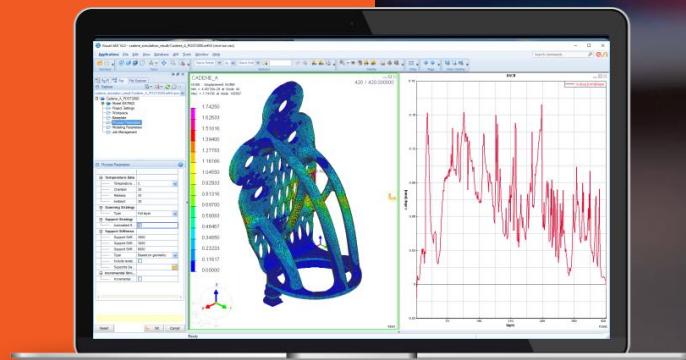
“Как уменьшить количество дефектов”



www.esi-group.com

Оценка технологичности изделия: разрушение границ между идеей и производством

ESI Additive Manufacturing Software позволяет оценить технологичность виртуально-произведенного изделия, достигнув при этом оптимальной геометрии и сокращения издержек реального производства



ESI AM 2019.0: Возможности применения PRESCAN модуль

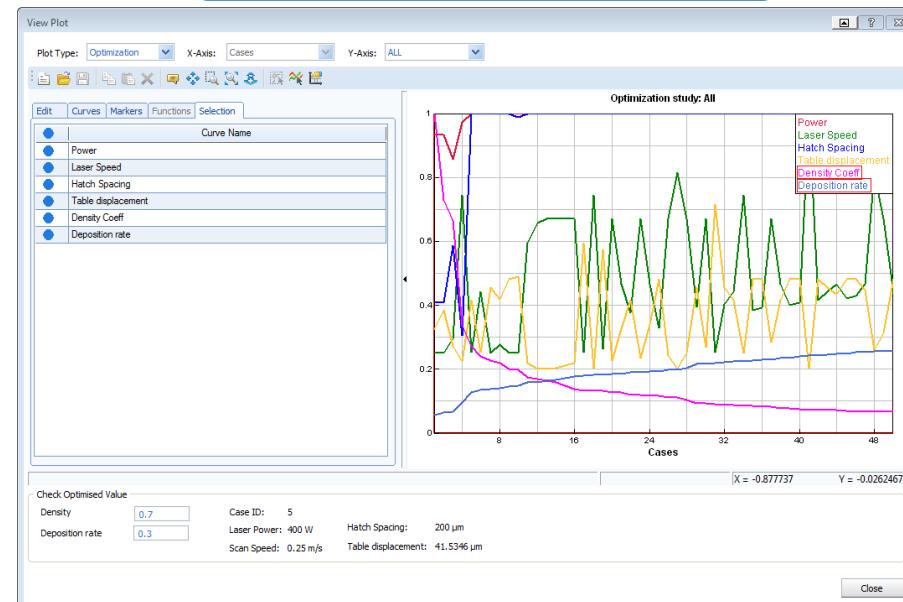
- Prescan (быстрая оценка параметров производства)

Позволяет произвести оценку набора параметров производства (laser power, laser speed, lasing strategy, etc.) для увеличения скорости выращивания изделия и плотности материала, используя быстрые алгоритмы оптимизации.

Входные параметры

- Constant Inputs
 - Material properties
 - Average powder size distribution diameter
 - Heat source diameter
- Ranged Inputs
 - Laser power
 - Laser speed
 - Hatch spacing
 - Table displacement

Визуализация



Результаты

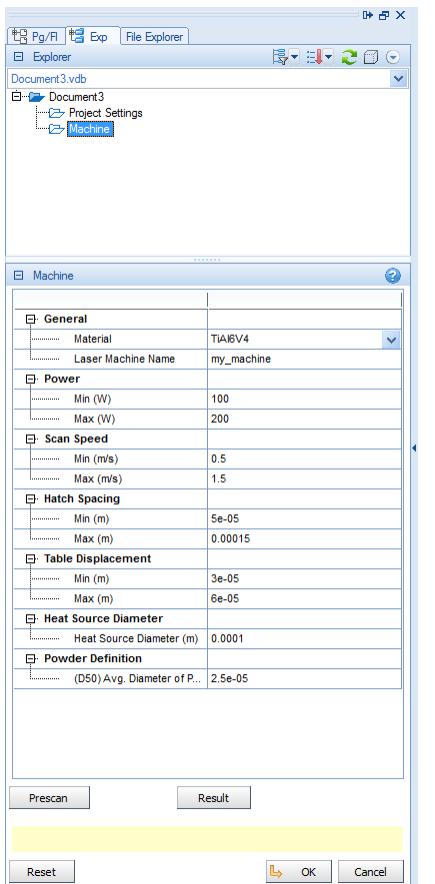
- Optimized Criteria
 - Build rate
- Process Parameters Sets
 - Laser power
 - Laser speed
 - Hatch spacing
 - Table displacement

ESI AM 2019.0: Структура ПО

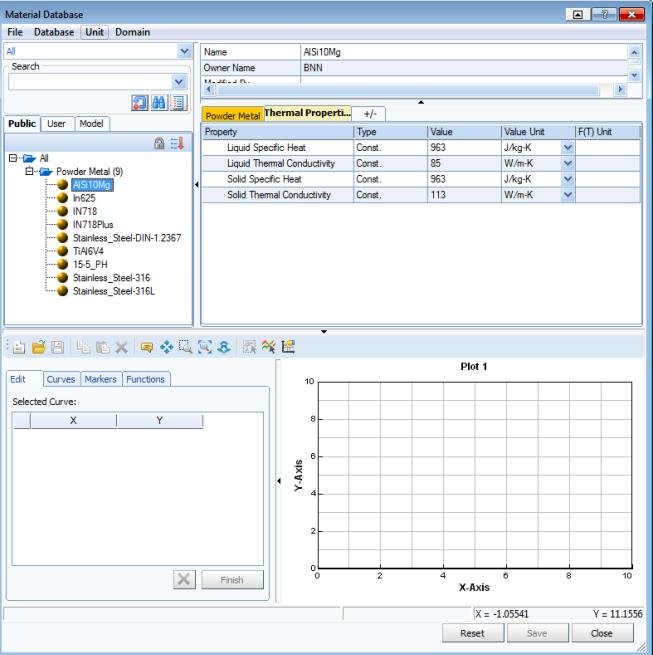
PRESCAN module

- **Prescan:**

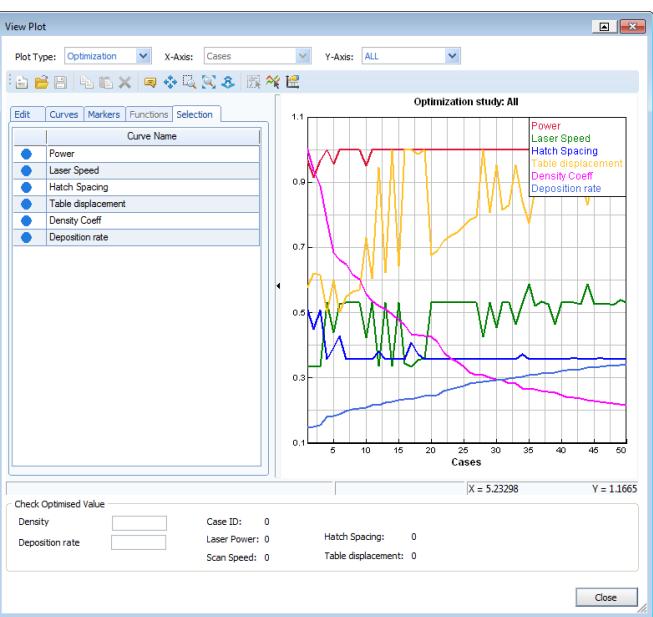
- **Interface:** Visual AM 14.5 (for pre / post / model setup)
- **Model Setup Core:** AM Core 2019.0
- **Optimizer:** Multi-Objectives Genetic Optimization Algorithm, PamOpt 2018.1
- **Material Database:** IN718, Ti6Al4V, AlSi10Mg, 316L, 15-5PH
- **Results Analysis:** Extraction of a Pareto Frontier. CSV file for advanced analysis using Excel



Visual AM Model Setup



Material DB



Results Analysis

ESI AM 2019.0: Возможности применения

DISTORTION module

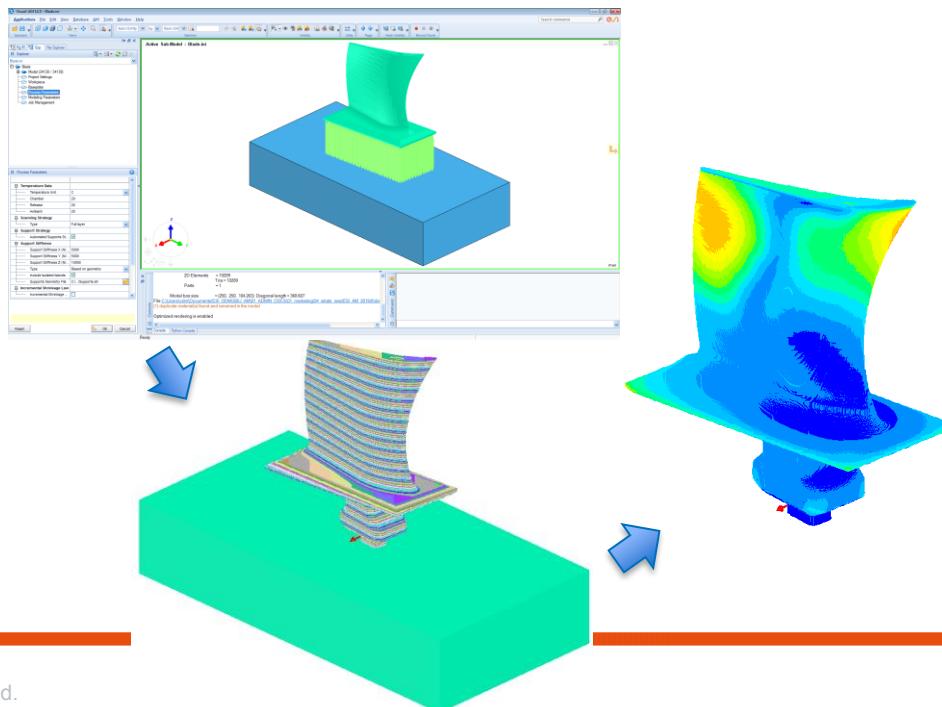
- Distortion (*macro scale modeling*)

Полноразмерное моделирование процесса выращивания посредством послойной активации слоев. В этом модуле производится моделирование короблений и остаточных напряжений в изделии. Анализ критерия технологичности изделия (оценка максимальных короблений в направлении выращивания) дает понимание о возможности выращивания изделия (избегание неудачной печати) на основе заданных пользователем стратегии поддержек и ориентации изделия.

Входные параметры

- Geometry
- Material Properties
- Elasto plastic behavior law
- Solidus Temperature
- Thermal Expansion Coefficient
- Process Parameters
- Table Displacement
- Powder Preheating temperature
- Modeling Parameters
- Mesh fineness and strategy
- Supports strategy

Задание проекта и запуск расчета



Результаты

- Manufacturability Criterion
- Distortion and Residual Stresses Distributions
- Compensated Geometry

ESI AM 2019.0: Возможности применения

DISTORTION module

- **Model Setup**
 - Automated geometry meshing
 - Automated slicing geometry
 - Automated supports localization based on inclination angle or existing supports geometry
 - Partial automated model setup: few modeling parameters to be set by the user
- **Modeling Stages**
 - Building process: the part is built by a layer by layer activation approach
 - Release stage: the baseplate is unclamped from the machine
 - Heat treatment stage: stress-relief by applying a thermal cycle
 - Removal stage: the workpiece is removed from the baseplate
- **Functionalities**
 - Material Database with edition options
 - Restart Option
 - Multi-Cores (DMP) computation

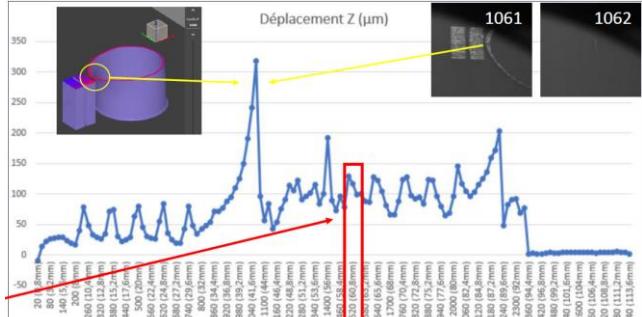
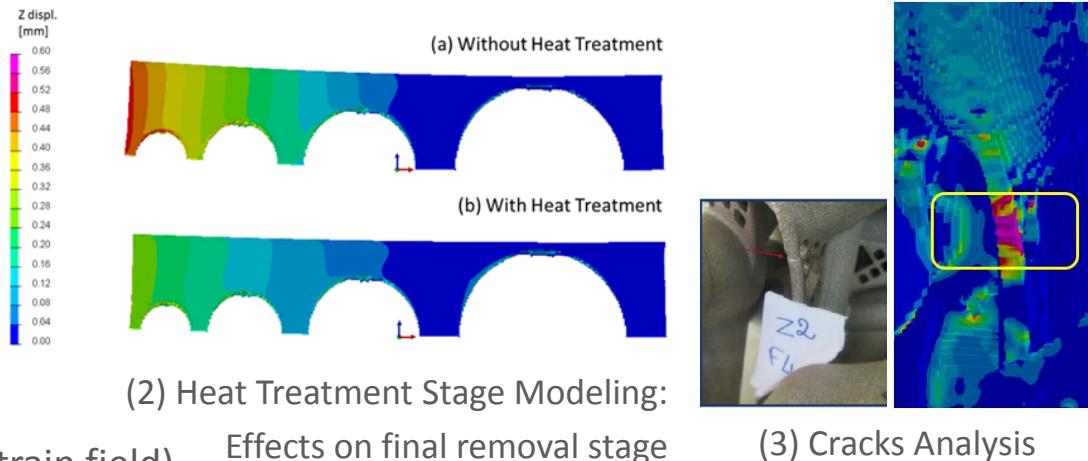


ESI AM 2019.0: Возможности применения

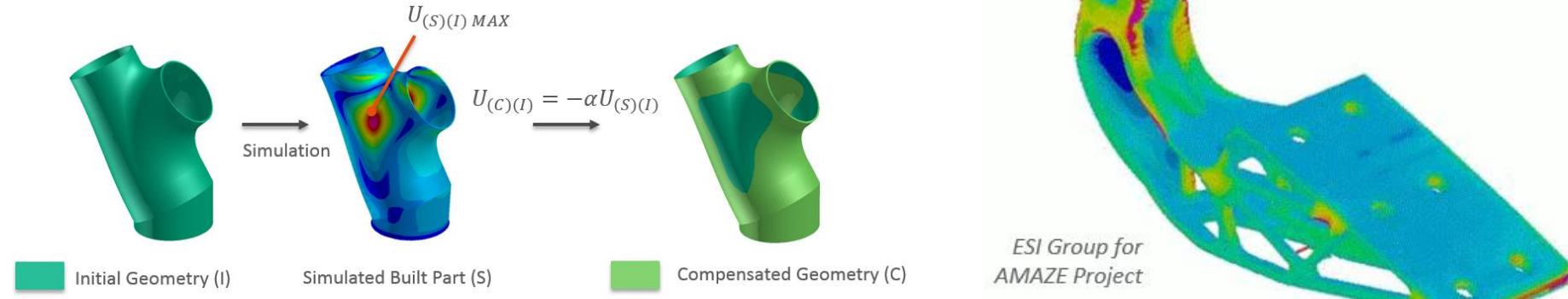
DISTORTION module

- Results Analysis

1. Критерий технологичности
2. Коробления и остаточные напряжения в процессе
3. Анализ возможности образования трещин (from equivalent plastic strain field)
4. Compensated geometry (from Terminal mode, not Visual AM)



(1) Manufacturability Criterion

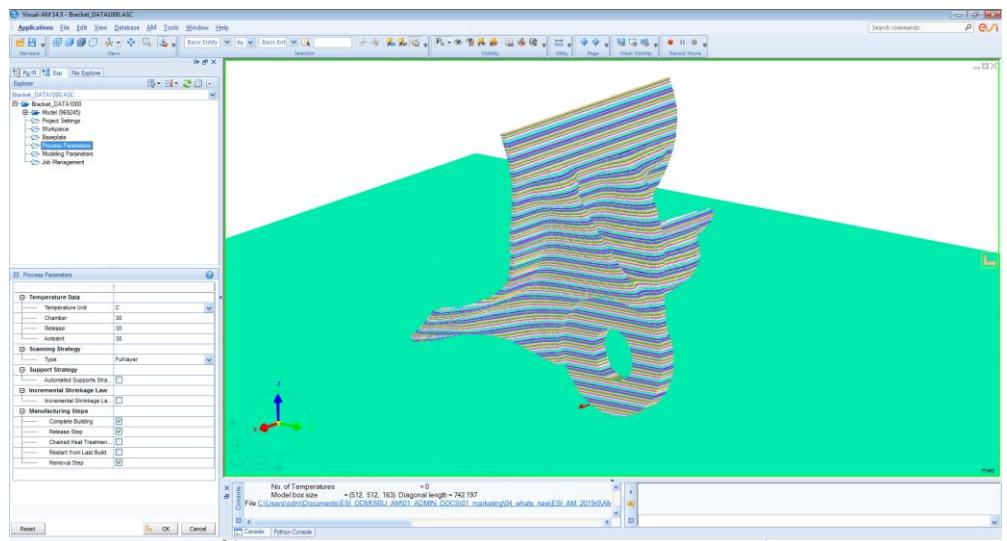


(4-5) Results Mapping and Compensation

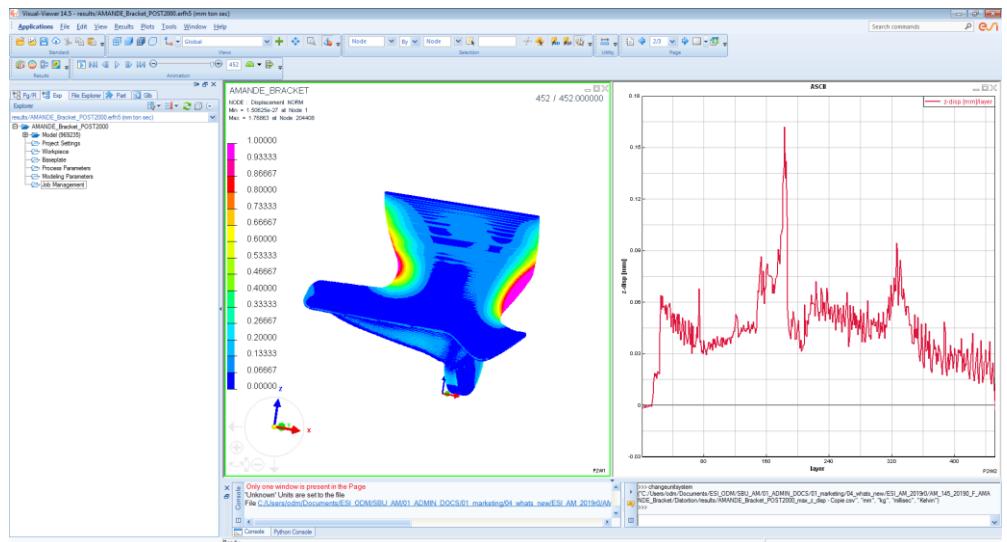
(2) Building Stage Modeling: Displacement Magnitude

ESI AM 2019.0: Структура ПО DISTORTION module

- Distortion (*macro scale modeling*):
 - Interface: Visual AM 14.5 (for pre / post / model setup)
 - Model Setup Core: AM Core 2019.0
 - Mesher: Hexahedral automated mesher: Viscart 2018.5 (from CFD-ACE+ Suite)
 - Solver: Finite Element Solver: Sysweld 2018.0
 - Material Database: IN718, Ti6Al4V, AISi10Mg, 316L, 15-5PH
 - Results Analysis: See previous slides.



Model Setup



Results Analysis



Уменьшайте цепочку метода проб и ошибок для достижения результата «Печать с первой попытки»

Разработки в Distortion модуле



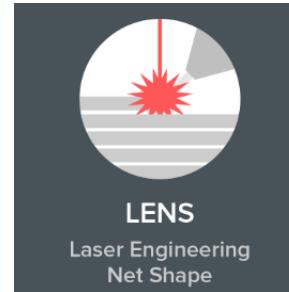
Аддитивное производство из металла

Процессы

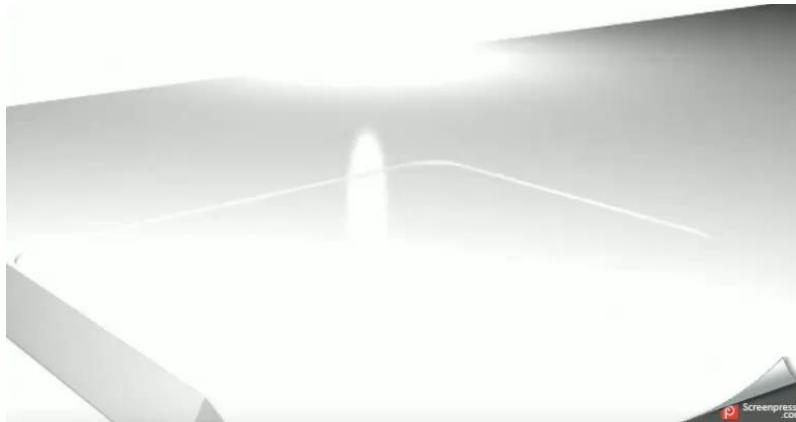
СЕГОДНЯ



ЗАВТРА



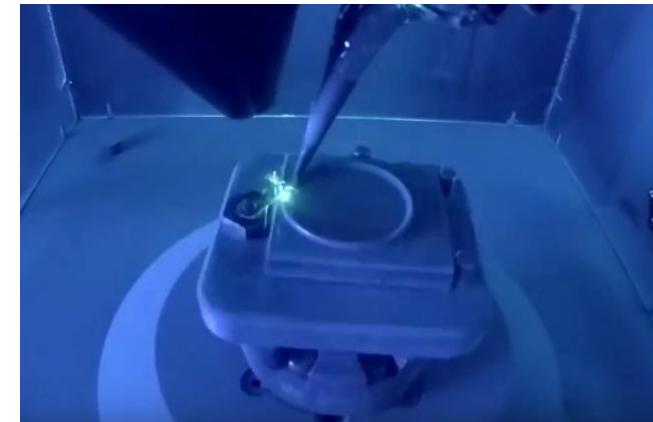
ЗАВТРА



Erasteel - <https://youtu.be/GjbkxVku39Y>



Селективное лазерное сплавление



M. Barnett <https://youtu.be/f6Gb9UWbzL8>

Прямое нанесение материала



Tecnalia <https://youtu.be/N2hYFkf4SC0>

Выращивание электродной
проводкой (WAAM)

www.esi-group.com

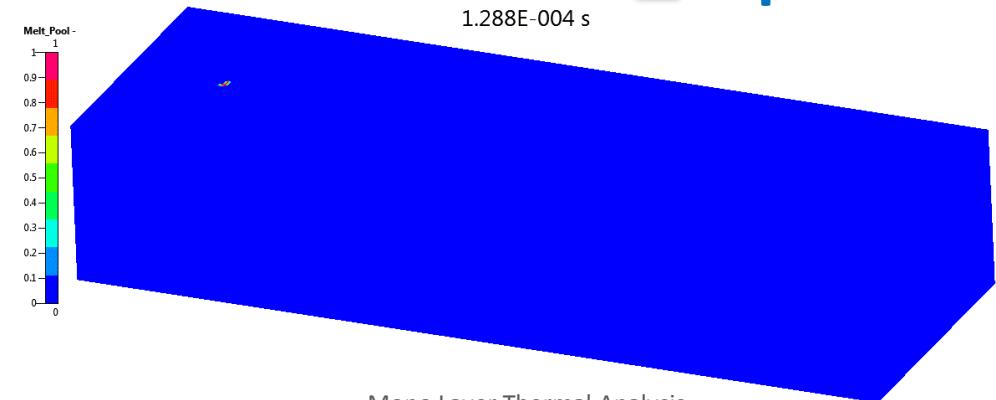
(I) A Solution for Production

Analyze the thermal impact of your scanning strategy (coming soon)

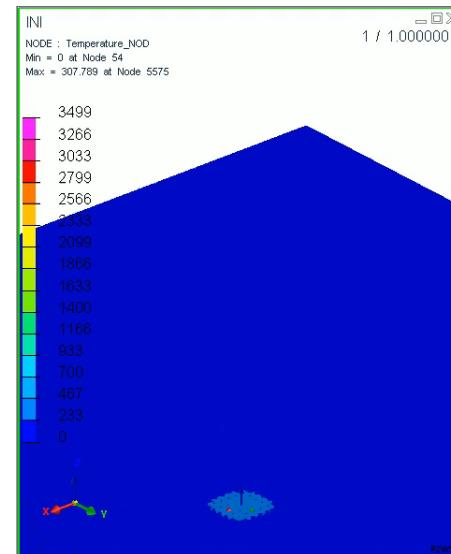
■ Verify
■ Optimize

Understand how process parameters and geometrical features might affect your manufacturability

- Describe the heat conduction during the building process leading to higher distortion in your geometry
- Predict bottle-neck issues leading to high temperature increases
- Analyse the melted area
- Anticipate the position of your supports for improving the heat conduction towards the machine



Mono Layer Thermal Analysis



Macro Thermal Analysis



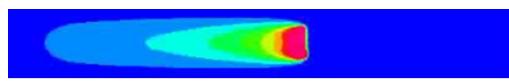
Thermal Module

INPUT DATA → Process Parameters – Scanning Strategy – Material Properties

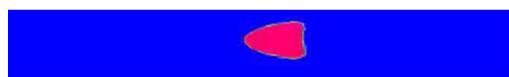
TECHNOLOGY → New Solver

PHYSICS → Thermal Conductive Equation

RESULTS ↓



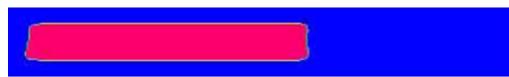
Temperature at t



Meltpool (red) at t

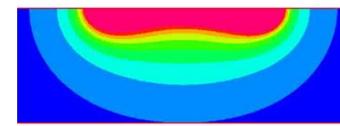


Maximal Temp. measured at t



Cumulative Melted State at t

(a) Top Surface View



Maximal Temp. at t



Cumulative Melted State at t

(b) Transversal Cut Section View

Results extracted from the thermal model

Functionality	Macro Thermal Analysis (release in Dec-2019)	Mono Layer Thermal Analysis (prototype)
Multi Layer Scanning Modeling		X
Complete Part Modeling Domain	X	
Fracture Criterion based on cooling rate		X
Coupled to Distortion Modeling	X	
Interface to Machine Control Files	X	X

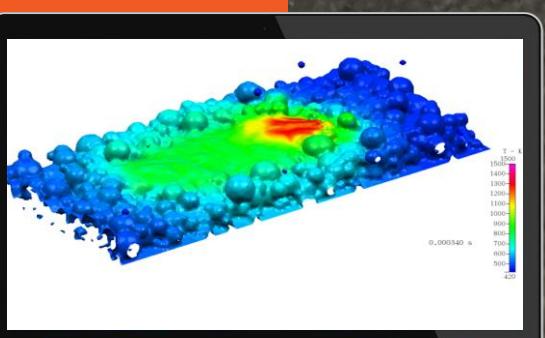
Dec. 19

- **Modules available through:**
 - **Visual AM 15.5 (official commercial solution) for Macro Thermal Analysis**
 - **Prototype for Mono Layer Thermal Analysis**



Качество материала: уверенность в изготовлении изделия высокого качества

Разработки и валидация микро-модуля ESI AM



Material Quality: Increase Design Confidence and Regulatory Acceptance

MATERIAL QUALITY

As a material quality tool, in engineering offices,

MANAGE MATERIAL PROPERTIES

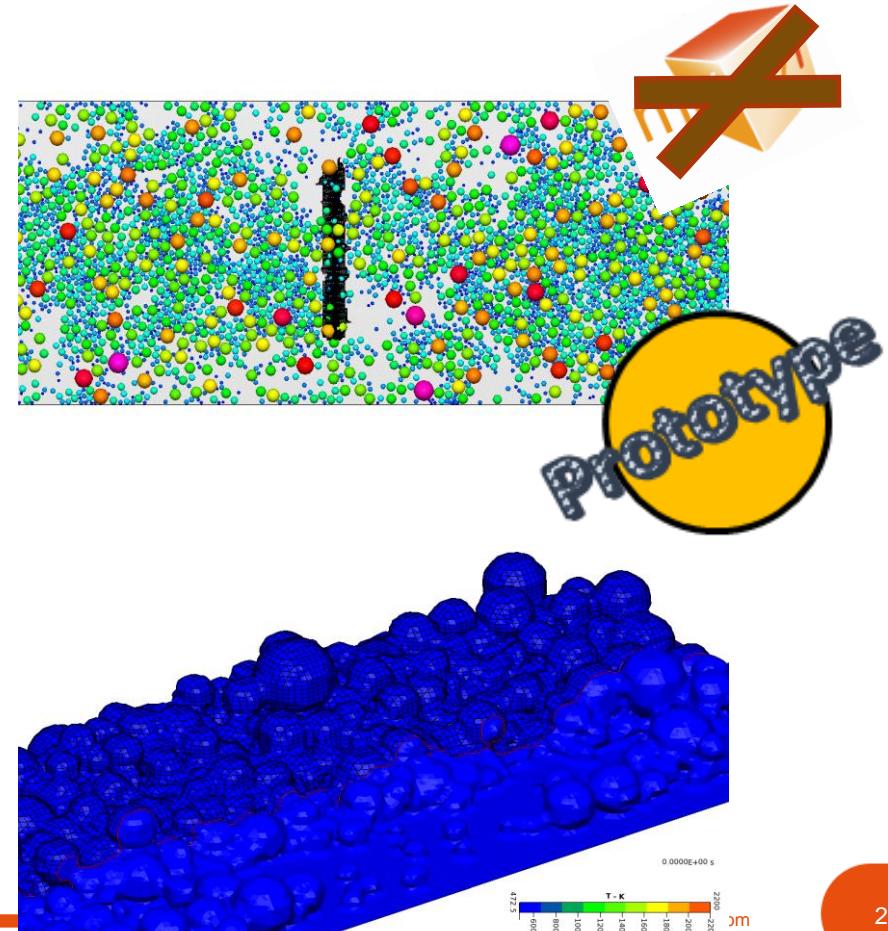
- Qualify powder size distribution
- Optimize the process to the expected performance
- Identify defect size and location
- Design material

My expectations

- “How can I achieve the best density and process speed?”
- “Uniform material properties vs. graded properties”
- “How to mitigate defects?”

Simulation modules

- Spreading, Melting



Amande – Powder Bed Process

Powder spreading - Variants on table displacement

Table disp. = 50 µm

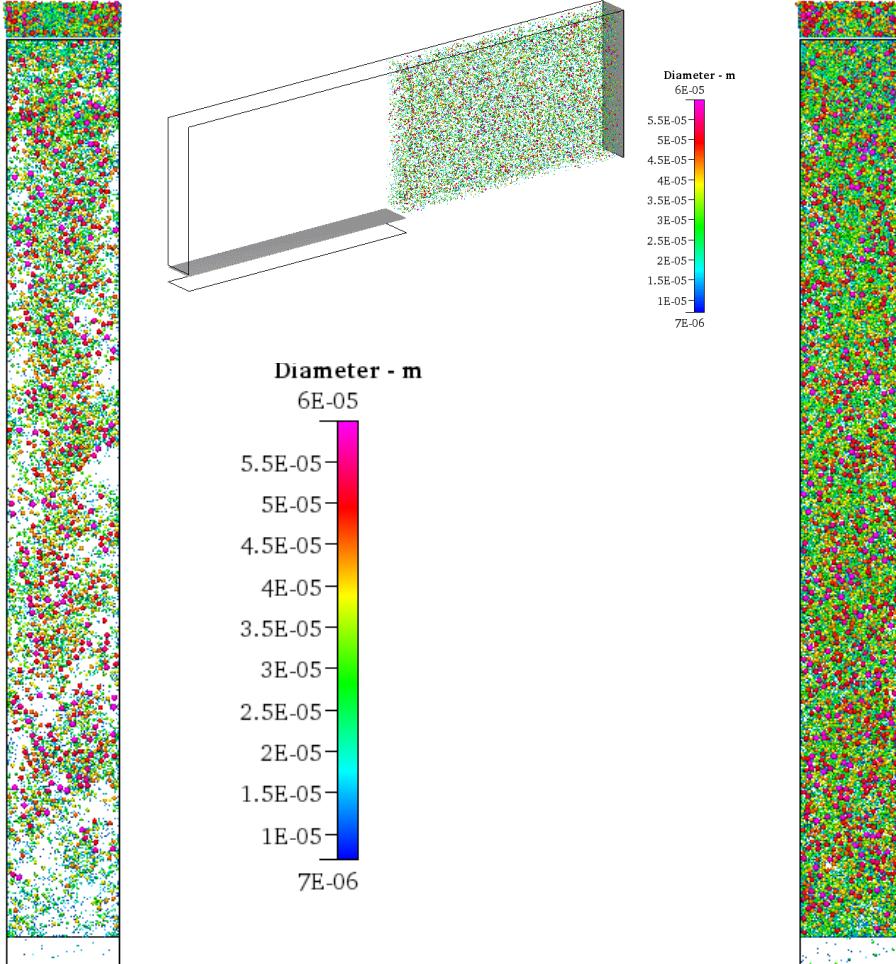


Table disp. = 100 µm

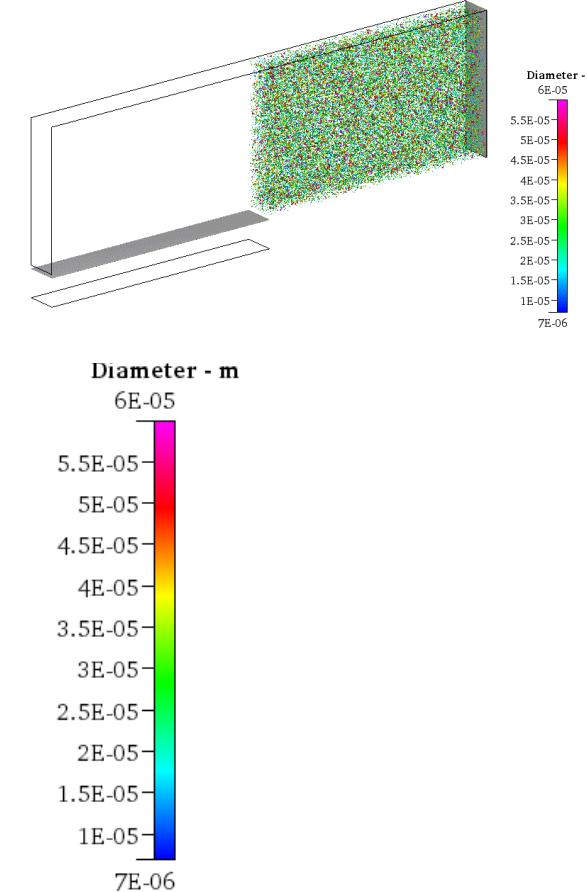
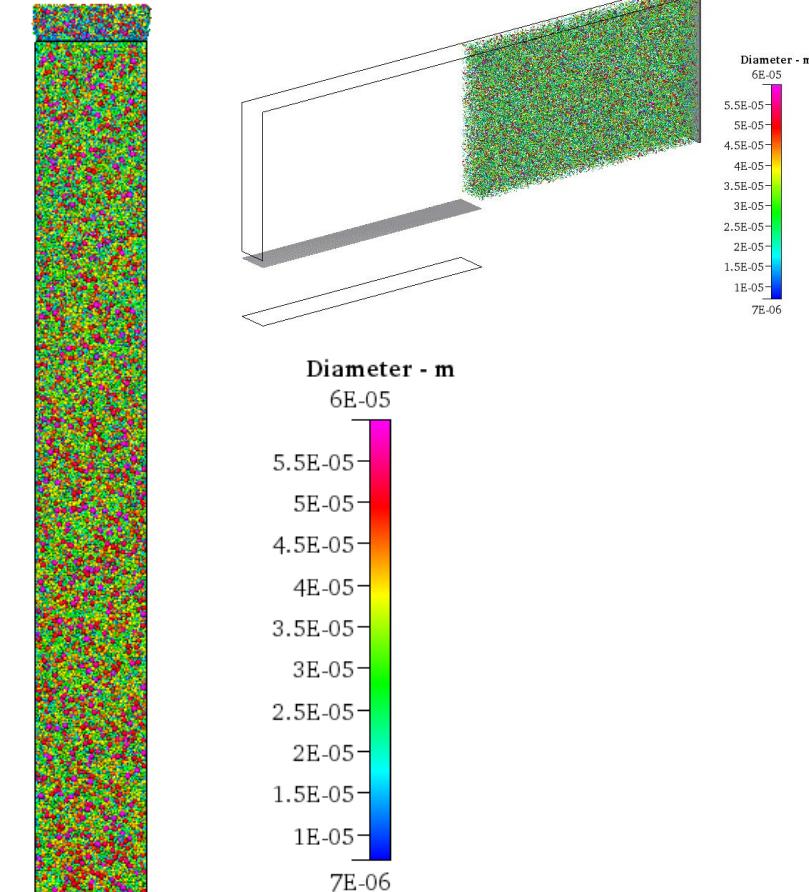


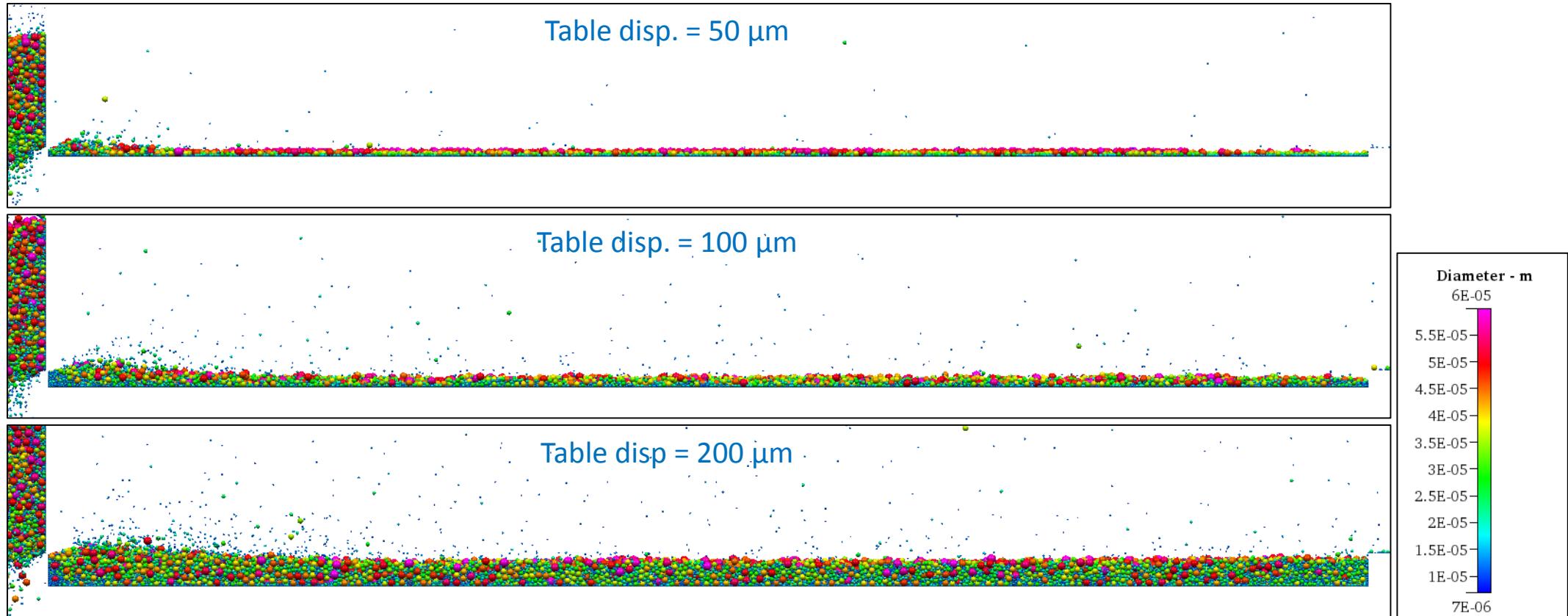
Table disp = 200 µm



Amande – Powder Bed Process

Powder spreading - Variants on table displacement

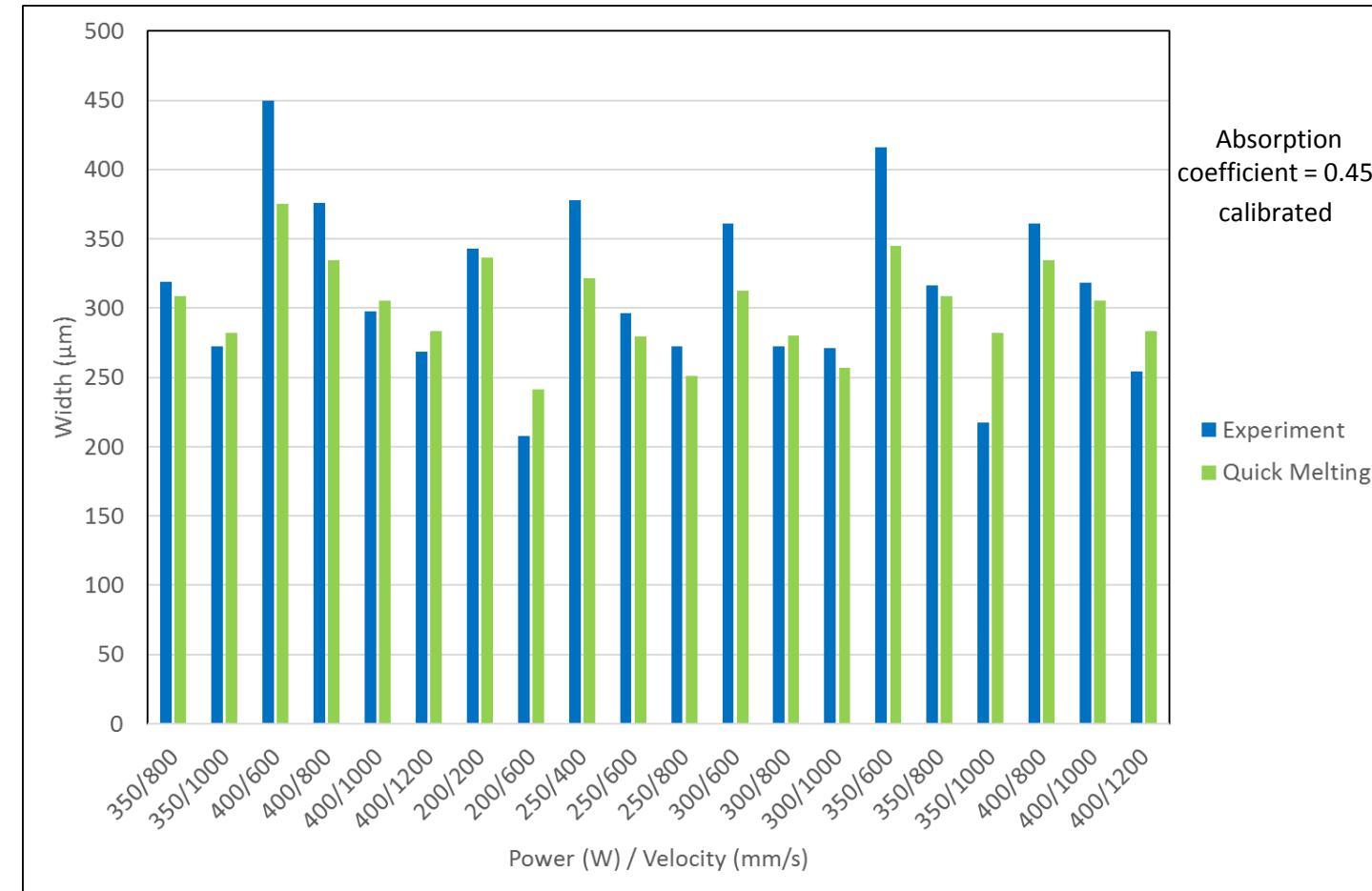
Side view



Melting : Meltpool size

Width / Depth

Comparison between experiment and meltpool size simulation

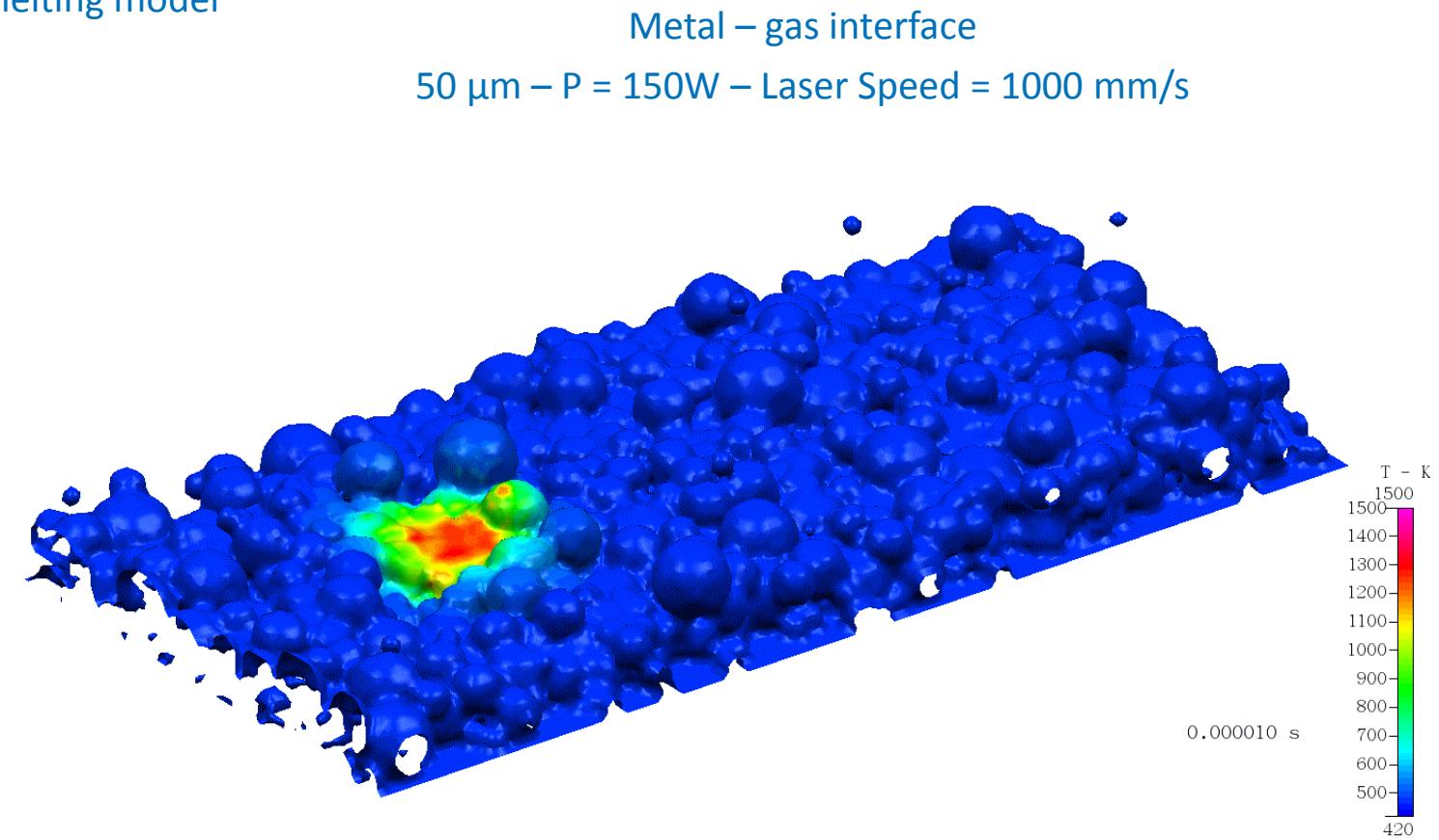


Melting : Full melting process simulation

Simulation

Experimental cases simulated with the full melting model

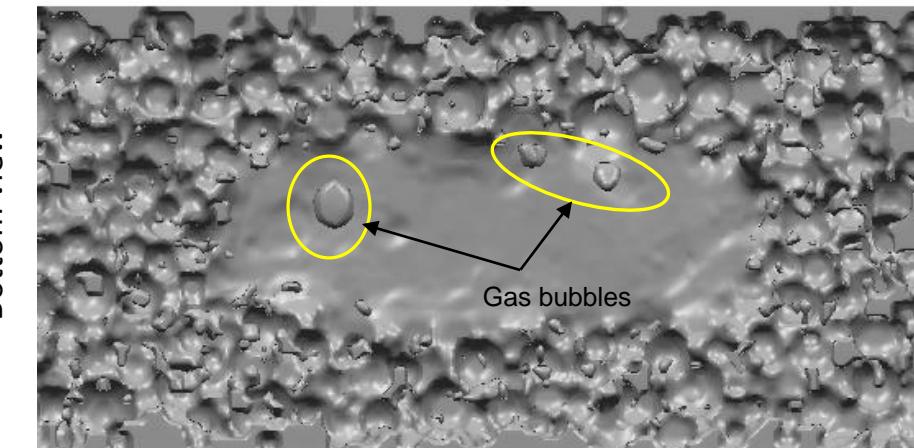
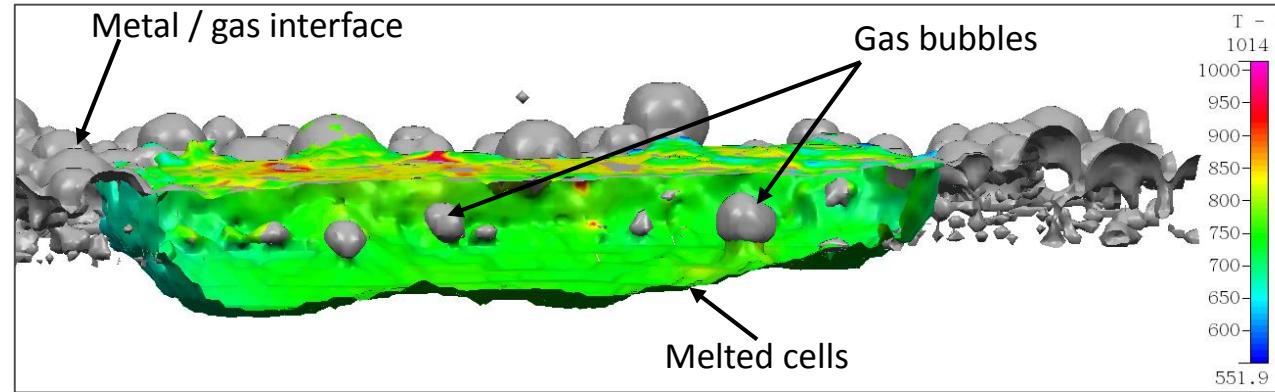
Laser parameters		Quick Melting	
Power (W)	Velocity (mm/s)	width (mm)	length (mm)
100 Micron			
250	1400	0.2016	0.3767
350	800	0.3085	0.5383
350	1000	0.282	0.5267
350	1600	0.2318	0.5062
400	600	0.3738	0.6235
50 Micron			
150	1000	0.168	0.2485
200	200	0.3365	0.3931
250	600	0.2794	0.4131
300	800	0.2803	0.4676
400	400	0.4355	0.6533
400	1200	0.2823	0.5839



Melting : Full melting process simulation

Understanding root cause of defects

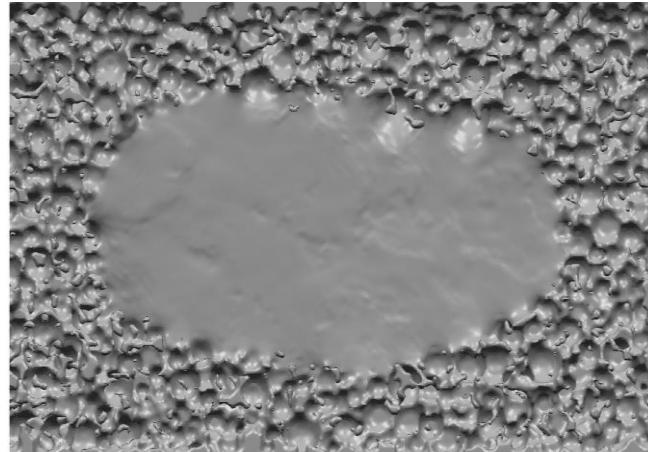
50 µm – P = 150W – Laser Speed = 1000 mm/s



Melting : Full melting process simulation

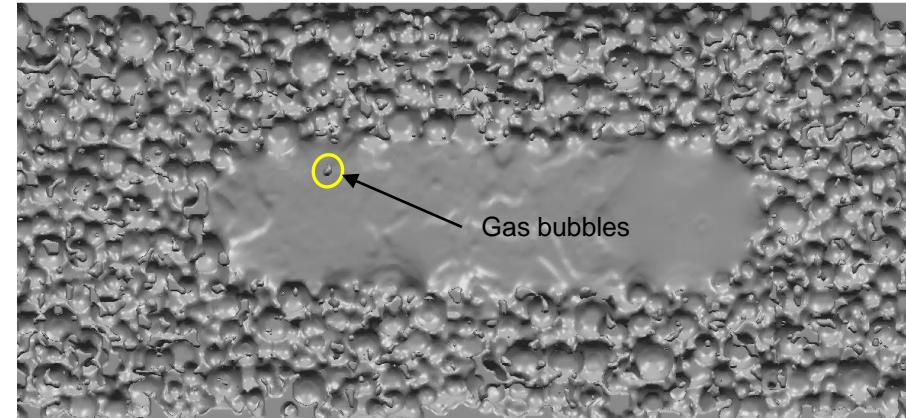
Surface finish

50 µm – P = 200 W – V = 200 mm/s

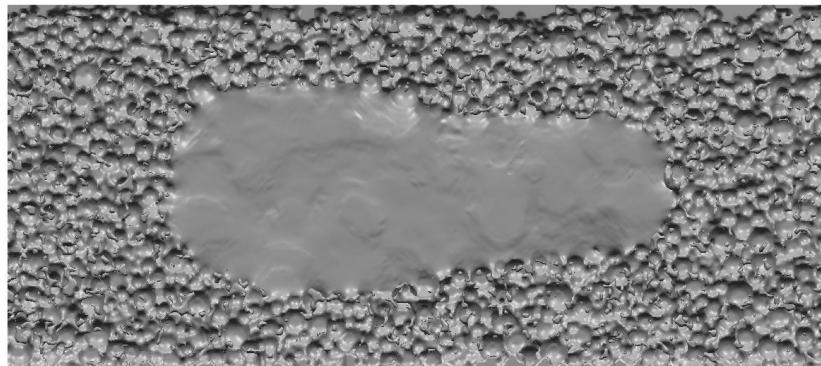


Bottom view

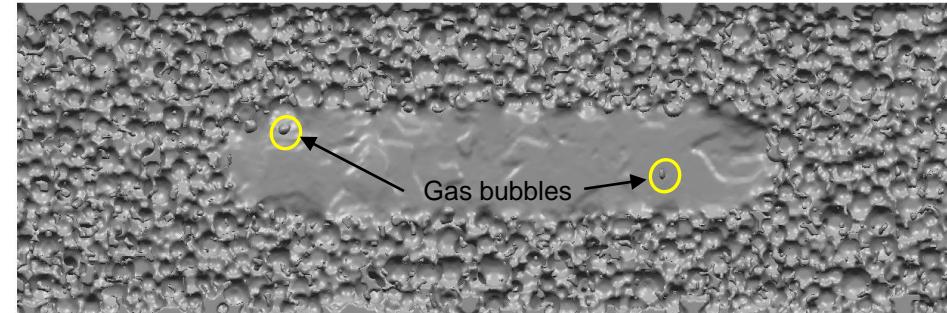
50 µm – P = 300 W – V = 800 mm/s



50 µm – P = 400 W – V = 400 mm/s



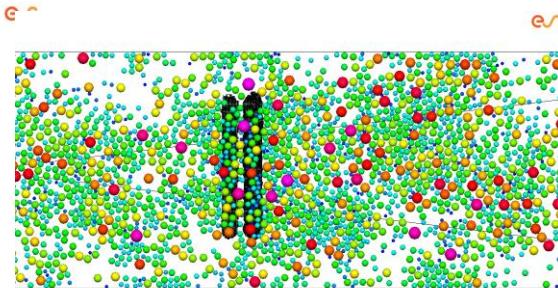
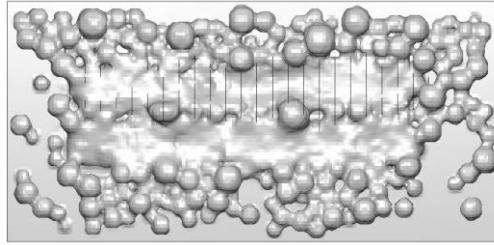
50 µm – P = 400 W – V = 1200 mm/s



Melting : Full melting process simulation

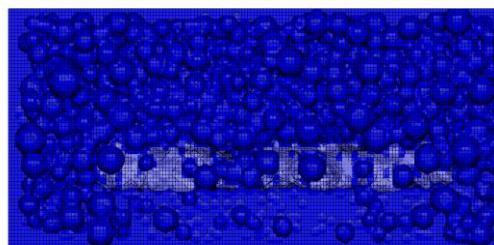
Scan strategies / Laser power strategies / ...

Hatch

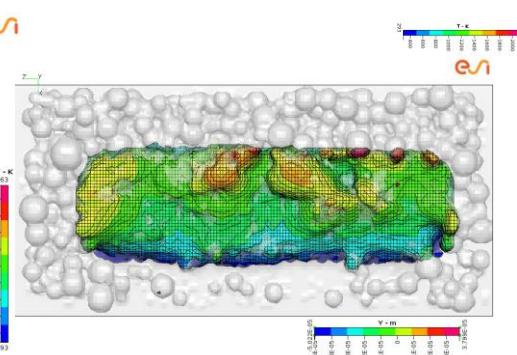
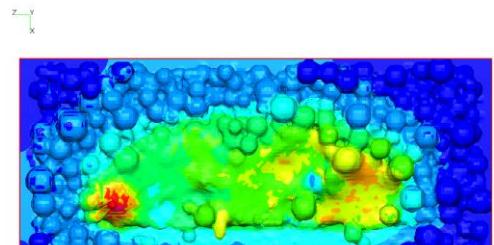


Spreading of layer #2

Scan



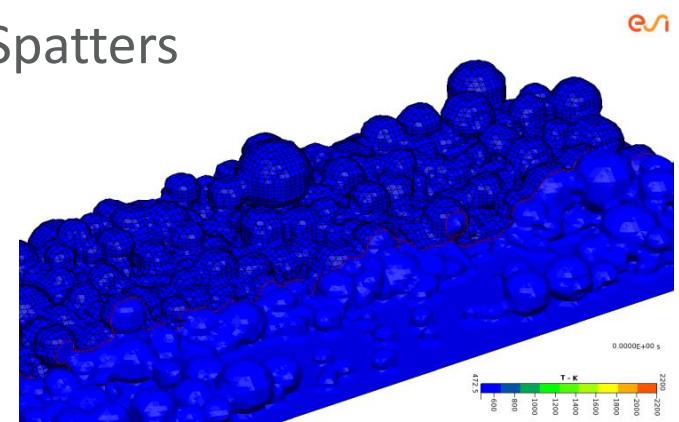
Melting of layer #2



Melting of layer #3



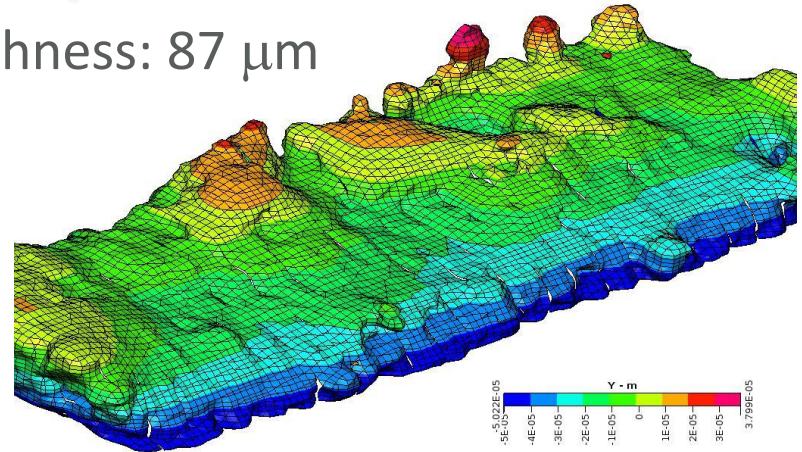
Spatters



Surface roughness



Roughness: 87 µm



From R&D to Product, ESI AM has been developed from many industrial partners' feedbacks

SECTOR & APPLICATIONS

Aeronautics, Space

- Aircraft/Rocket frames structures and parts
- Propulsion, HT/HP engines parts
- Repair and reconditioning
- HF antennas

Energy (Oil & Gas, Nuclear)

- Pump and turbines blades
- Power exchange and generation HT/HP (fuel cell)
- Repair and reconditioning

Automotive, Rail, Naval

- Propulsion, Engines HT/HP
- Molds and tooling
- Repair and reconditioning

Medical

- Prosthetics

R&D PROJECTS WE'RE INVOLVED IN

France

- SOFIA, AMANDE, PALOMA

Europe

- INTEGRADDE, OPEN HYBRID, EMUSIC, ENCOMPASS

US

- DARPA, HONEYWELL

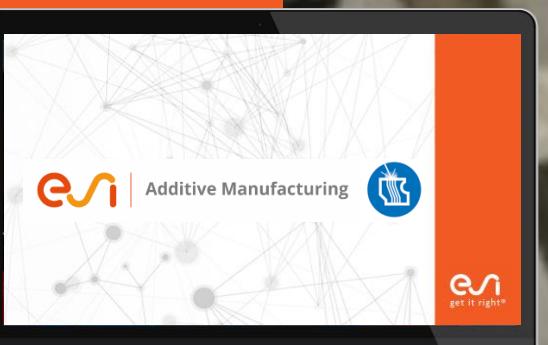
PARTNERS WE'RE WORKING WITH





Сделайте аддитивное производство Additive Manufacturing высокорентабельным и оставайтесь конкурентоспособными

От порошка до изделия – используя технологии ESI в области аддитивного производства Вы оптимизируете процесс производства, достигните лучшего качества продукции и снижения операционных издержек.





esi-group.com/additive-manufacturing



Copyright © ESI Group, 2019. All rights reserved.

