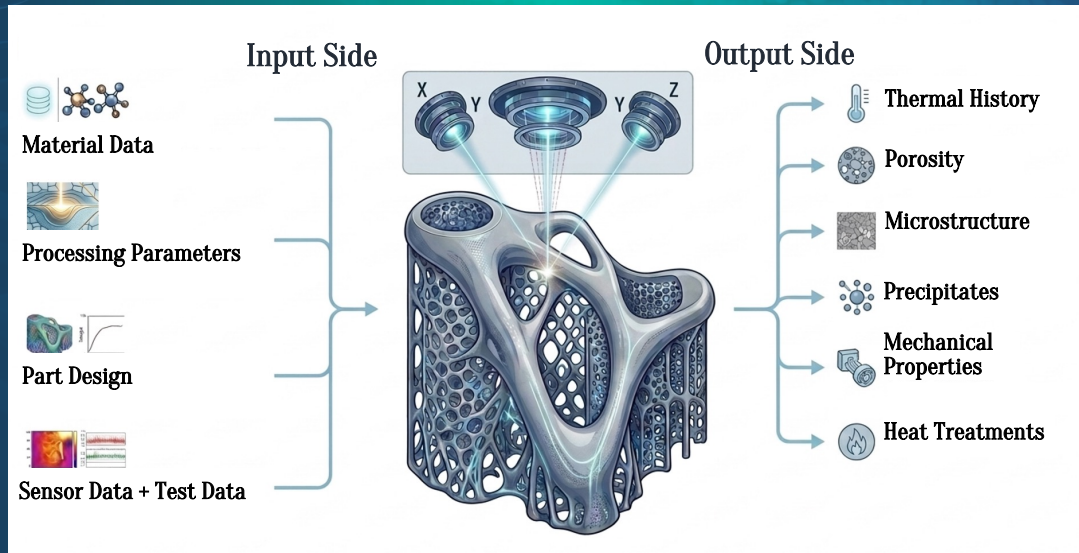


# 自进化

## 从第一性原理到质量预认证

### SynaCore AM-DT Digital Twin



# 前言

从第一性原理出发



## 自进化与预认证的深度相互促进

🕒 从第一性原理出发

一天，业内的一位同仁问起SynaCore的首席技术官Guglielmo Vastola博士：“为什么数字孪生软件，其架构和算法是固定的，却依然能为不同的增材制造设备做深度适配，从而使得不同的设备拥有属于自己独特的“大脑”？”

Vastola博士的回答很简单：

**数字孪生，根植于“第一性原理”。**

数字孪生，“孪”是对真实物理世界的镜像映射，而“生”则代表着**自我进化的生命力**。

那么，这其中的“第一性原理”究竟是什么？它是如何从最底层的物理规律出发，真正作用于制造现场，又如何能够推动制造范式的跃迁，并最终重塑制造业对质量与认证的认知？

这正是这份《自进化》白皮书试图探索与回答的问题。它不仅关于技术，更关乎如何重新理解制造——**从固化的流程和反复的人类试错，走向持续进化和智能化的系统，而这种无限逼近物理制造的自进化能力也将最终带来质量检测的范式转变。**

今天，站在增材制造行业发展的关键节点上，我深感我们正处在一个历史性的转折时刻。传统的制造范式——基于经验试错、依赖大量破坏性试验、耗时数年甚至数十年的认证周期——正在被一种全新的范式所取代。这种新范式的核心，正是**数字孪生**（Digital Twin）技术，而它的终极形态，将是**自进化**（Self-Evolution）与**预认证**（Pre-qualification）的深度融合。

增材制造行业在过去二十年间取得了令人瞩目的技术进步，但我们必须直面一个残酷的现实：从实验室的创新到工业化的量产，还横亘着几道难以逾越的鸿沟，关于这些鸿沟的第一性洞见在SynaCore白皮书《规模化》中进行了详细的阐述，本期白皮书我们聚焦其中一道鸿沟——**认证**（Qualification）和其发展趋势的详细剖析。

要理解增材制造认证难的问题根源在于：通常，人们对制造过程的理解是**滞后的、局部的、经验性的**。我们制造了一个零件，然后通过各种检测手段去验证它是否符合要求。如果出现问题，就会去调整参数，再制造、再检测——如此循环往复，直到积累足够的“数据”来“证明”工艺的可靠性。

这种模式在传统的减材制造中或许可行，因为那些工艺已经经历了数十年的优化和标准化。但对于增材制造——这种涉及多物理场耦合、跨尺度现象、高度非线性的复杂工艺——传统的认证模式已经触及了效率的天花板。

**第一性原理：回归物理的本源**

在SynaCore，我们相信解决这一困境的钥匙，在于**回归第一性原理**。

什么是第一性原理？它不是经验公式，不是拟合曲线，而是从最基本的物理定律出发，直接推导系统行为的建模方法。牛顿力学告诉我们熔池如何流动，麦克斯韦方程组描述激光如何与材料相互作用，玻尔兹曼方程揭示热量如何在原子尺度传递并影响微观结构的演化，热力学定律约束着相变与凝固的边界。

原本需要数月的工艺开发，现在可以在数天内完成；原本需要破坏性试验才能获取的性能数据，现在可以通过数字孪生端到端的一站式仿真预测获得。

进一步的，基于数字孪生，SynaCore具备推动物理信息机器学习（Physics-Informed Machine Learning）范式，从根本上改变我们开发工艺、预测性能、验证质量的方式。我们不再需要数千次试验来“覆盖”所有可能的参数组合——物理模型告诉我们哪些组合在物理上是不可能的，AI则在物理可行域内高效地搜索最优解。

## 从第一性原理出发

### 自进化：从“人驱动”到“智能驱动”

如果说第一性原理为我们提供了认知制造过程的“望远镜”，那么自进化机制则为我们装上了持续改进的“引擎”。

传统的数字孪生是静态的——它是对物理实体在某一时刻的数字化映射。而**自进化数字孪生**是动态的、学习的、进化的。它通过持续的传感器数据反馈，不断校准和更新自身的模型参数；它通过基于物理学的推理，量化预测的不确定性，识别“知识边界”；通过主动学习，智能地选择最有价值的实验来填补知识空白。

这也是增材制造设备制造商和最终产品制造商将通过同一个数字孪生软件获得独有的属于自己的能力的第一性原理。由于每家制造商的设备是不一样的，零件制造商的零件也是不一样的，通过数字孪生获取的这个能力也是不一样的，这个能力并不属于别人，并且还不断的随着时间发展进化。

数字孪生将成为制造类企业可贵的资产，SynaCore的数字孪生系统**越用越准**，每一个制造的零件，都在为系统贡献数据，而这些数据通过数字孪生和人工智能所升华的智慧将赋能制造企业所制造的零件质量和制造效能；每一次预测与实际的对比，都在提升模型的精度。

这是一种“模型-数据共生”的进化机制，是SynaCore AM-DT数字孪生作为数字资产区别于传统仿真软件的核心特征。

更进一步，自进化不仅发生在单个零件的层面，更发生在整个制造系统的层面。从单个激光器的参数优化，到多激光器的协同控制；从单台设备的工艺开发，到整个车间的智能调度——自进化的数字孪生正在构建一个**自适应、自优化**的智能制造系统。

### 预认证：从“事后验证”到“事前保证”

自进化的终极价值，在于实现**预认证**（Pre-qualification）——在零件实际制造之前，就通过高保真的数字孪生仿真，预测其性能、验证其可靠性、生成其“数字出生证明”。

这是一种范式的根本转变：从“制造-检测-认证”的线性流程，转向“仿真-优化-验证-制造”的闭环流程。我们不再依赖于事后的大量破坏性试验来“证明”零件合格，而是通过物理上严谨的数字孪生仿真预测来“保证”零件合格。

这种转变对行业的意义是深远的，更重要的是，预认证为**分布式制造和数字供应链**奠定了基础。当一个零件的“数字出生证明”可以在全球任何地点被验证时，制造就不再受限于地理位置，而是可以在最接近需求的地方完成——这将从根本上重塑全球制造业的格局。

### 渐进式预认证：基于物理的证据积累

每次打印完成后，经回溯验证的热路径与微观结构之间的对应关系将被存档为可追溯的质量记录。这种基于物理的证据积累，将传统的静态认证转变为渐进式的质量保证过程：数字孪生对材料-工艺-性能关联的物理可解释性，使其积累的数据与预测成为预认证所需的可靠性证据。

## 🕒 从第一性原理出发

进一步的，不久的将来，产品级数字孪生将通过全生命周期的性能追踪和预测性维护，可以显著延长高价值部件的使用寿命，减少更换频率和资源消耗。

在SynaCore，我们坚信，技术的终极价值不在于技术本身，而在于它如何服务于人类社会的可持续发展。数字孪生不是为了让机器取代人，而是为了让人从重复性的试错中解放出来，专注于更有创造性的工作；不是为了制造更多的产品，而是为了制造更好的产品——更轻、更强、更耐用、更环保的产品。

未来，自进化的数字孪生将连接全球的增材制造设备，形成一个智能的、自适应的制造网络。材料科学家、工艺工程师、设计师、监管者——都可以通过数字孪生与人工智能获得其创造和制造能力以及监管能力的飞跃。

### 根基与进化：从深科技到共创未来

以数字智能驱动真实制造，SynaCore的诞生源自于新加坡科技研究局（A\*STAR）高性能计算研究所（IHPC）多年的基础研究积累，以及其兄弟单位材料研究所（IMRC）的支持，离不开新加坡国家增材制造创新集群（NAMIC）的战略支持，离不开新加坡制造研究院SIMTech以及新加坡国立大学（NUS），新加坡南洋理工大学（NTU），新加坡科技设计大学（SUTD）等在前沿制造技术领域的沉淀与支持，离不开A\*STAR 增材创新中心（AIC）从材料到不同领域的制造商企业生态圈在AM-DT增材制造数字孪生软件研发过程给予的大力支持，离不开早期用户的信任与反馈。

## SynaCore 愿景

### “以数字智能驱动真实制造”

这份成就，同样源于早期用户的信任与宝贵反馈。正因与不同领域制造商的紧密互动和深度协作，AM-DT数字孪生软件才能在新加坡科技研究局高性能研究所的开发过程中持续被验证、被优化、被完善，最终锤炼成一款历经实践考验的成熟可靠的软件，为增材制造技术的应用与创新提供了坚实支撑。在此，我谨代表 SynaCore 团队，向每一位倾注热爱与支持的伙伴，致以最诚挚的谢意。

世间没有两片完全相同的树叶，正如每一片叶子都遵循着光合作用与维管结构那不可违背的自然法则，同时又温柔地回应着属于自己的那份光照与风动——不同设备商的机器各有其独特之处，不同制造商生产的零件亦千差万别。数字孪生也随着其物理实体的独特足迹而生长，适应着特定的热历史、材料批次与几何语境。没有两次打印会完全相同，正如没有两片树叶会完全相同；然而这一切又都归属于同一个充满进化的系统，受那些普遍的第一性原理所“规范”。

SynaCore 保持快速迭代，紧跟市场需求。我们认为数字孪生应该是您持续增值的资产——它会随着使用不断积累价值，而不是一次性的消耗品。

欢迎访问 [www.synacore.net](http://www.synacore.net) 申请试用。我们视这为一种合作关系：您在实际使用中遇到的问题和想法，会直接帮助改进产品；同时您也在构建属于自己的、独特的数字资产。

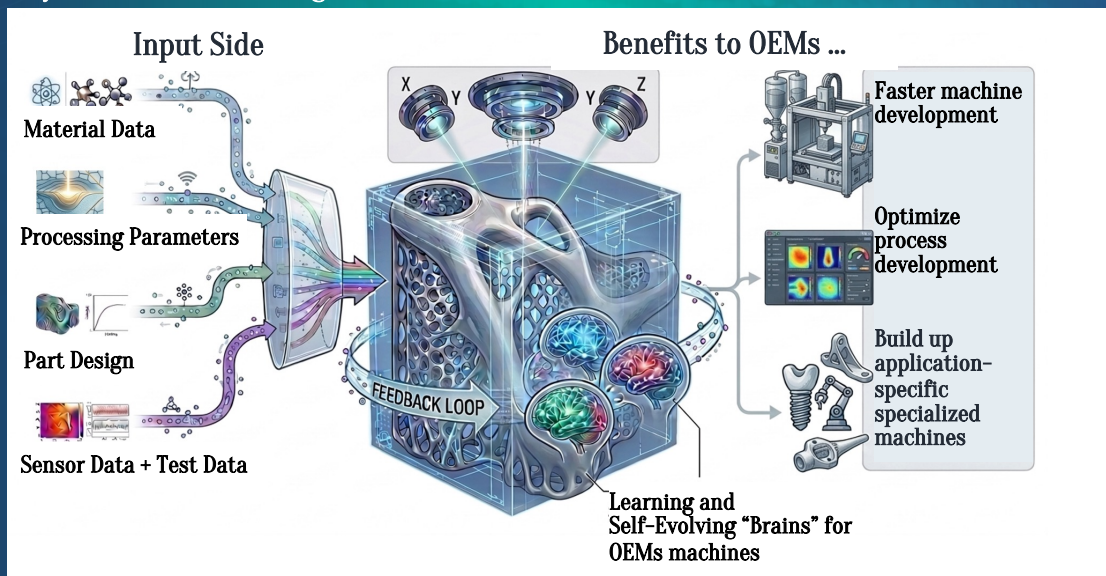
如果在试用过程中发现任何问题，或有改进建议，请随时告诉我们。好的口碑来自于真实的协作，我们期待与您一起把这件事做得更好，共同推动行业发展——以数字智能驱动真实制造

王晓燕 / SynaCore CEO

# 第一性原理

基于第一性原理物理学算法，SynaCore AM-DT 将数字孪生转化为自进化智能，使不同 OEM 厂商的增材制造设备能够进化出各自独特的“大脑”，在此基础上增材制造设备厂商不仅可以通过设备“大脑”破除加工过程“黑箱”问题，可以加快设备迭代速度，提高参数优化能力，并且还可以针对不同的应用开发专机。

## SynaCore AM-DT Digital Twin for OEMs



# 从第一性原理出发



## 第一性原理的主要特征

植根于第一性原理，SynaCore AM-DT的物理基础模型作为元语言，使不同设备制造商能够为其装备培育出各具特色的智能“大脑”——每个大脑在第一性的物理定律的框架内自我进化。

01 根植于第一性物理原理

02 基于物理的求解器

03 高保真仿真能力

04 专属独特性

### 物理一致性保证

第一性原理模型严格遵循能量守恒、动量守恒和质量守恒等基本物理定律。

### 跨尺度可扩展性

第一性原理模型能够自然地原子尺度过渡到宏观尺度。这种多尺度一致性使得SynaCore数字孪生的物理基础模型能够同时预测微观结构（晶粒尺寸、相沉淀）和宏观性能（力学性能、残余应力）。

### 外推能力与泛化性

由于基于普适物理定律，第一性原理模型在新材料、新工艺参数下的外推能力远超纯数据驱动模型。

### Question:

基于固定架构的数字孪生如何使每台增材制造机器都具备独特的“智能大脑”和自主演进能力？

### Answer:

SynaCore通过第一性原理将增材制造过程“转译”为物理过程的数学描述（meta-language），使硬件差异被统一在物理定律框架下。在此基础上，不同品牌设备基于自身独特的运行数据、材料响应和环境扰动，生长出（cultivate）具有个体差异的决策中枢（“Brain”）——即具备持续学习、持续优化的设备专属智能。

SynaCore AM-DT 物理基础模型可模拟：

- ✓ 牛顿力学
- ✓ 麦克斯韦方程组
- ✓ 玻尔兹曼方程
- ✓ 热力学定律...

SynaCore AM-DT物理基础模型由新加坡科技研究局（A\*STAR）高性能计算研究所（IHPC）开发，代表了数字孪生技术的底层架构和算法创新。

这些模型能够模拟牛顿力学、电磁学麦克斯韦方程组、玻尔兹曼方程等基本物理定律，利用基于物理的求解器生成的替代数据构建高保真仿真框架。

探索SynaCore AM-DT的独特性，请阅读后续页面中关于SynaCore AM-DT端到端的一站式仿真功能、SynaCore Advanced Mesher高级网格生成器、SynaCore AI Alloy智能合金功能及SynaCore Adaptive ToolPath自适应路径的详细信息。

# 从第一性原理出发

## 数字DNA基因：独特因子

与通用AI模型不同，第一性原理模型植根于基本物理定律，基于其特定的物理环境、材料和工艺参数，为每个实施创建独特的“数字DNA”。

### 属于用户的智能

这种基础性方法确保不同设备厂商的设备“大脑”本质上都是独一无二的，不久的将来为其特定的制造生态系统自适应，并随着增材制造的积累不断进化。

### 智能优势

基于第一性原理的设备大脑提供无与伦比的可靠性与精确度，通过能够适应真实工况的物理智能创造可持续的竞争优势。

## 关键特征

### 物理镜像

每个制造环境都具有独特的物理条件。

### 材料特性

不同的材料展现出独特的物理行为。

### 过程参数

独特的运行设置定义了系统行为。

### Question:

是什么使SynaCore基于物理的方法具备独特力量，能够为设备制造商和终端零件制造商解锁增材制造的价值？

### Answer:

SynaCore将植根于第一性原理的“数字DNA”嵌入其中——捕获不同设备供应商的设备、不同材料和不同工艺的独特物理特性，以提供适应真实工况的精度，从而为设备制造商和零件制造商双方创造可持续的竞争优势。

### 对于设备制造商

SynaCore基于第一性原理的数字孪生为不同的品牌设备创建独特的“数字DNA”，实现通过物理定律对增材制造精确性能预测和参数优化。这种基于物理的方法使不同的OEM厂商能够通过专有数字能力来区分其机器，这些能力将支持设备厂商对硬件、材料和工艺参数的进一步优化等特定行为。

### 对于终端零件制造商

SynaCore AM-DT数字孪生提供可靠的、基于物理的预测，进化式不断提升一致性零件质量，减少试错，并通过展示对制造过程的基本理解来加速认证。最终，这种第一性原理基础通过每次实施都改进的科学验证数字资产，为设备制造商和零件生产商双方创造持久的竞争优势。

# SynaCore AM-DT

## 数字孪生核心功能

### 当前 SynaCore AM-DT 数字孪生功能

制造业的未来是数字化、智能化和可持续的——我们正携手共建这一未来。

SynaCore AM-DT 践行这一愿景。SynaCore AM-DT 数字孪生将基于物理的模型与算法、人工智能与工艺数据有机融合，逐步实现质量保证从后处理检测向加工前预测、参数优化乃至自适应调整的渐进过渡——稳步推动向“自我进化”智能生产的转型。

### SynaCore AM-DT: 当前核心功能

#### 多尺度建模

**核心**

融合增材制造设备、材料和工作流的自适应内核及过程-结构-性能关联模型

**价值创造:** 端到端的一站式预测金属3D打印结果（微观结构、沉淀相、力学性能、热处理等）

#### AI Alloy智能合金

**内置AI模型**

内置机器学习的数字孪生

**价值创造:** 将新零件和新合金的开发过程极大缩短（钛合金、镍基合金、铁基合金...），并减少人力、材料和设备的浪费。

#### Adaptive Toolpath自适应加工路径

**自进化**

基于数字孪生对打印过程的逐层预测

**价值创造:** 自适应调整工艺参数，减少缺陷形成

#### 多模态数据融合

**熔池监控传感器**

集成光学、热学、声学传感器数据

**价值创造:** 实现熔池动力学与内部缺陷的相关性分析，目前为离线传感器数据学习，不久的将来将视用户需求部署在线分析。

# 预认证

传统的增材制造工艺认证长期受制于破坏性取样、冗长统计推断和高昂成本的反复循环——通常耗费数年之久，却始终无法洞悉内部几何结构的复杂性。

## Question:

如果验证单个合格零件都需要批量生产并破坏数十个试样，继而耗费数年等待统计确认——那么这种既耗时又耗材的所谓“质量保证”模式，难道不正是现代制造业面临的集体悖论吗？

## Answer:

SynaCore AM-DT通过基于第一性原理物理来预测微观结构、力学完整性及热处理效果，从而化解这一集体悖论，大幅削减对漫长破坏性测试周期的依赖——这一范式转变契合了国际标准与认证机构的紧迫诉求，这些机构正积极寻求替代方案以规避那些浪费资源的认证过程。

## 传统增材制造检测认证局限性

传统增材制造的检测与认证缓慢、昂贵，且往往具有破坏性。从几何结构到材料性能，各环节在测量、覆盖范围及效率方面均存在局限——制约了增材制造规模化应用与创新的发展。

**关键挑战：**传统增材制造认证方法需进行数千次测试，耗时数年，某些极端情况下甚至长达15年之久，凸显了零件性能对工艺敏感的复杂性。

⚠ 多数方法具有破坏性或具有显著局限性

检测类别	传统方法局限性
几何检测	复杂内部腔体、微桁架尺寸难以接触测量
内部缺陷检测	粗糙表面干扰检测结果
内部缺陷检测	复杂几何形状导致缺陷取向检测困难
致密性检测	破坏性 无法用于最终零件检测
材料表征	破坏性 需要破坏性取样，无法全覆盖
成分分析	破坏性 取样点有限，难以反映复杂结构（如梯度材料、多材料界面或封闭内腔）不同位置的化学均匀性
力学性能	破坏性 需要大量试样，成本高
功能验证	无法预测长期使用性能

## 变革增材制造检测与认证范式

### Question:

倘若在您定义金属零件的设计与工艺参数的时候，其微观结构、力学性能等能够被预知并推荐合适的热处理工艺，将会如何？

### Answer:

SynaCore AM-DT数字孪生使这一预见成为现实：植根于第一性原理物理，它基于多层激光轨迹计算孔隙率、表面粗糙度及微观组织，进而推演微观结构演化和力学性能，同时部署SynaCore自适应扫描路径，实现扫描策略的逐层自适应优化。



### 三层架构

#### 系统级数字孪生

聚焦整个工艺链的管理、规划与决策

#### 离线级数字孪生

用于高保真仿真并优化工艺参数

#### 产品级数字孪生

聚焦产品生命周期

### 系统级数字孪生

#### System-Level DT

聚焦整个工艺链的管理、规划和决策。SynaCore AM-DT通过整合设计、材料选择、工艺规划、生产和后处理等阶段的数据，构建可扩展的制造设备网络、数据存储系统和计算能力平台，实现实例认证组件（instance-qualified components）的数字孪生管理。

### 离线级数字孪生

#### Offline-Level DT

SynaCore AM-DT利用热仿真模型预测零件尺度的热历史，结合传感器特征作为机器学习模型的输入，实现孔隙率、沉淀相、微观结构、机械性能和热处理的预测并通过Adaptive ToolPath实现加工路径自适应优化。SynaCore在不久的将来将根据用户需求部署在线级数字孪生，并将对零件制造结果的预测和工艺优化能力扩展到自进化的全自动化增材制造单元以及自进化增材制造车间。

### 产品级数字孪生

#### Product-Level DT

不久的将来，通过增材制造数字孪生与减材制造数字孪生等的结合聚焦产品全生命周期管理，追踪产品在使用过程中的性能和状态。通过持续更新虚拟模型与物理产品收集的数据，实现多尺度-多物理场模型的构建，用于预测维护需求、优化产品性能和延长产品寿命。

### SynaCore AM-DT 数字孪生的三层技术特征

1 基于第一性原理的多尺度仿真

2 自适应加工参数优化

3 闭环反馈与模型自进化

人们常将可视化软件误认为数字孪生——但真正的数字孪生远不止动态图像；它镜像现实、从中学习并随之进化，以驱动智能决策。

SynaCore AM-DT数字孪生处理动态演化的物理实体——逐层生长的零件，以预测其几何形状、热状态、微观结构、力学强度及热处理效果。

# 终极状态： 标准嵌入式产品预认证

## 未来资格认证变革

制造商向监管机构或客户提交的不再仅仅是有限的物理测试报告，而是支持零件制造的高置信度数字孪生模型，以及这些模型历史预测准确性的验证证明。

通过审查数字孪生的完整性与准确性，结合部分物理验证，面向量产的快速、低成本“预认证”成为可能，并可作为关键参考依据。

## 预认证与实物认证：辩证统一

### 传统认证

- 法律效力确认
- 依靠物理测试
- 抽样检测
- 强制且最终

### 基于数字孪生的预认证

- 工艺性能预测
- 基于模型和数据
- 覆盖全部
- 灵活且前瞻

### 发展趋势

#### 初期

预认证：设计优化与风险筛查的辅助工具

#### 中期

监管机构在特定场景下有条件采信预认证结论

#### 长期

形成“仿真优先、测试验证”的新工艺流程

它们共同构成“预测+确认”的双轨质量保证体系。预认证缩短认证周期；实物认证赋予预认证社会公信力。

## 核心机制

**设计阶段合规：** 自动验证材料规格、几何公差及无损检测标准的符合性

**先验认证：** 打印作业前的虚拟测试，验证预测性能是否满足要求

**预认证即服务：** 数字孪生作为“可认证代理”，具备可查询的置信区间

# 数字孪生 用于预认证的路径

## Question:

SynaCore数字孪生如何预见自身在推动制造认证向社会更可持续、更普惠方向转型中的潜力？

## Answer:

通过虚拟仿真和监测逐步减少对破坏性物理测试的依赖，SynaCore有助于降低材料浪费、缩短认证周期，并使认证增材制造更加普惠可及——为各行各业关键部件更安全、更高效的生产铺平道路。

## 传统检测项目 数字孪生辅助方案

尺寸精度	几何数字孪生	+ 在线轮廓测量
渗透检测	同轴视觉	+ 热成像仪表面监测
射线检测	热历史仿真	+ SynaCore AM-DT 预测模型
密度测试	原位声学监测	+ 机器学习分类
金相检验	SynaCore AM-DT 多尺度微观结构演化仿真	
化学分析	光谱发射监测	+ 元素分布预测
拉伸/硬度测试	SynaCore AM-DT 性能-工艺关联模型	
功能测试	多物理场性能仿真	+ 虚拟验证

## 演进时间线与关键里程碑



# SynaCore AM-DT 用于预认证的潜力

## 尺寸精度

几何

物理模型: SynaCore AM-DT 热-力耦合仿真

方法: 预测残余应力和变形, 优化支撑结构

## 密度/孔隙率

缺陷

物理模型: SynaCore AM-DT 熔池动力学 + 凝固模型

方法: 预测未熔合孔隙和锁孔孔隙

## 微观结构

材料

物理模型: SynaCore AM-DT 相场模型 + 晶粒生长模型

方法: 预测晶粒尺寸、织构和相组成

## 力学性能

性能

物理模型: SynaCore AM-DT 多尺度力学模型

方法: 从微观结构预测宏观力学性能

## 残余应力

应力

物理模型: SynaCore AM-DT 热-弹塑性仿真

方法: 预测残余应力分布, 优化热处理工艺

## SynaCore AM-DT数字孪生推动行业发展迈向自进化制造

### 从"经验试错"

传统: 大量物理测试, 迭代参数调整

### 到"预测优化"

数字孪生: 虚拟测试, SynaCore Adaptive Tool Path加工参数优化

### AI Alloy智能合金

SynaCore AM-DT内置的智能合金模块驱动人工智能开发合金

### 迈向"出生即合格"零件的未来

闭环集成确保每个零件的制造过程完全记录和预验证

# AM-DT数字孪生

## 以数字智能驱动真实制造

### Question:

制造商在采用数字孪生技术时，如何确保其专有知识的安全性和独立性？

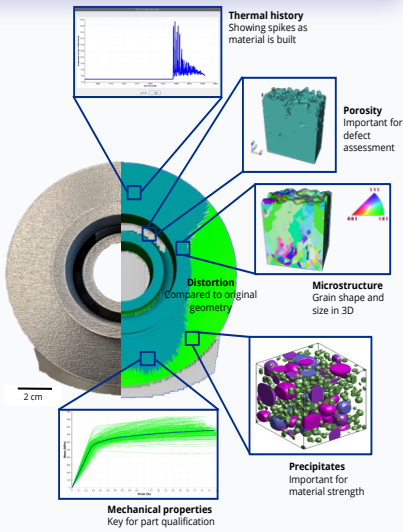
### Answer:

SynaCore 作为中立的基础设施运行，其根基是普适的第一性原理——即不属于任何单一实体的物理定律——赋能制造商完全掌握其独特“数字DNA”的所有权。由于每种品牌的设备、每种增材制造的零件都是独一无二的，制造商数据与 SynaCore 数字孪生基础设施融合所产生的智能同样具有属于制造商的独特性。这种专属性转化为制造商的专有资产价值，成为持续增值的数字资产，进而不断进化和强化其竞争优势。

## Simulation 仿真

### 虚拟世界

数字孪生创建虚拟复制品，实现物理生产前的仿真、预测与优化。



SynaCore AM-DT 数字孪生

### 关键洞察

数字孪生通过物理生产前的虚拟验证实现规模化扩展。



### 物理世界

通过传感器反馈达成持续优化与质量保证。



SynaCore数字孪生：一站式自进化仿真的优势

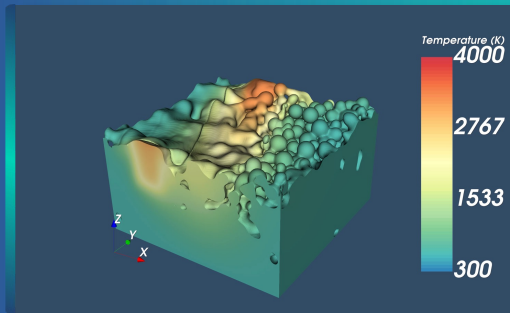
SynaCore数字孪生突破传统仿真局限，通过集成持续学习能力，基于实际制造反馈优化预测，彻底省却反复的手动校准周期。

多尺度求解器

优化算力消耗

API 集成

3x 更快的迭代



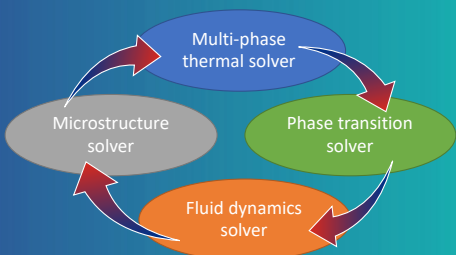
### 端到端预测流程

通过多层激光轨迹计算孔隙率、表面粗糙度及微观组织

- 1 宏观变形预测  
翘曲、收缩及变形的分析
- 2 微观组织进化预测  
晶粒生长、相变及凝固建模
- 3 机械性能计算预测  
抗拉强度、硬度...预测

### SynaCore数字孪生用于仿真的独特优势

- 零件级，局部特定
- 端到端
- 多尺度集成
- 内嵌后加工程序中的热处理预测及优化
- 内嵌Advanced Mesher, AI alloy智能合金, 以及Adaptive ToolPath自适应路径



## SynaCore AM-DT 数字孪生 “内置”

Advanced Mesher  
智能网格生成引擎

## 核心能力

## 用于处理复杂的设计

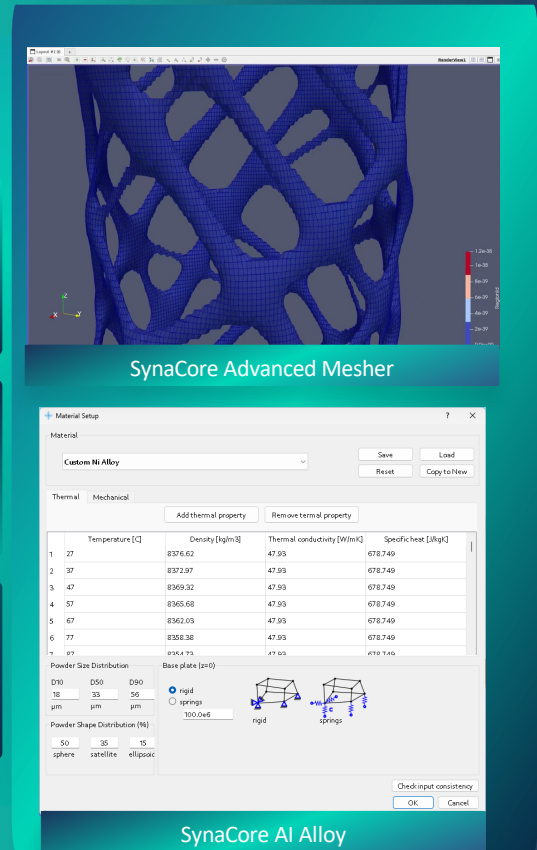
适用于具有内部流动、晶格结构及自由曲面的复杂CAD模型实现自动网格生成

## 自适应细化

基于应力集中、热梯度及几何复杂度的动态网格密度调整

## 优化计算速度

优化网格拓扑，在精度与求解器性能之间取得平衡，计算时间缩短



## SynaCore AM-DT 数字孪生 “内置”

AI Alloy  
智能合金

## 颠覆传统经验驱动型粉末材料研发

SynaCore AI Alloy模块从根本上重塑合金设计范式，以AI驱动的计算材料科学取代长达数十年的反复试错实验。该系统借助人工智能，以前所未有的精确度预测成分-性能关系。

## 传统试错法

- 数年的开发周期
- 基于专家经验
- 试验成本高
- 探索空间受限

## SynaCore AI Alloy 智能合金设计

- 缩短开发周期
- 数字驱动优化
- 压缩开发成本
- 全成分空间

## SynaCore AM-DT 数字孪生 “内置”

# Adaptive ToolPath 自适应参数路径

### Question:

为何传统静态扫描路径表现乏力，而热感知自适应路径却能彻底改变制造结果？

### Answer:

静态路径忽视热动态，导致不可预测的缺陷——SynaCore 的自适应方法利用数字孪生热预测主动调整路径并最小化变形，尽管追求完美仍是一个持续的过程；这种闭环反馈标志着自进化制造的开端，每一次打印都让下一次更智能。

### 基于热历史的策略

SynaCore Adaptive ToolPath技术通过分析制造过程中的热区段，生成智能加工策略。该系统基于累积热分布动态调整激光路径，减少开裂、防止变形等缺陷发生。

#### 热监测

连续温度场计算与热累积追踪

#### 动态路径调节

基于热梯度的自适应路径调整

#### 热损伤预防

自动冷却与速度调整，防止过热

### 内嵌于数字孪生软件

Adaptive ToolPath无缝集成于SynaCore数字孪生平台，获取预测性能与实际性能的闭环反馈。

## SynaCore 数字孪生内嵌Adaptative Toolpath自适应路径

1

### 性能优化

兼顾强度、延展性与成本的多目标优化

2

### 性能预测

力学性能预测

3

### 相预测

热力学稳定性与相变建模

4

### 工艺参数关联

集成式增材制造工艺窗口优化

---

**法律免责声明：**本白皮书不构成任何证券、投资产品或金融工具的要约、招揽或认购邀请。本文件所载内容不得被解释为投资建议、金融推广或建议从事涉及数字资产或相关服务的任何交易。本文件包含有关增材制造数字护照及产品预认证的前瞻性陈述。所有信息均"按现状"提供，不作任何明示或暗示的担保，包括但不限于适销性、特定用途适用性、不侵权或准确性的担保。

**SynaCore**

以数字智能驱动真实制造

[www.synacore.net](http://www.synacore.net)

Singapore Pte. Ltd.  
02-22, Blk 73 Ayer Rajah Crescent  
Singapore, 139952

深核（上海）智能科技有限公司：  
上海市闵行区望汇路260弄上海工业智能中心3号楼7楼  
邮编：201109