

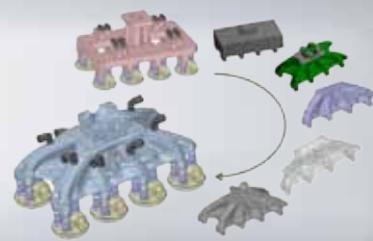


ANSYS Additive Suite

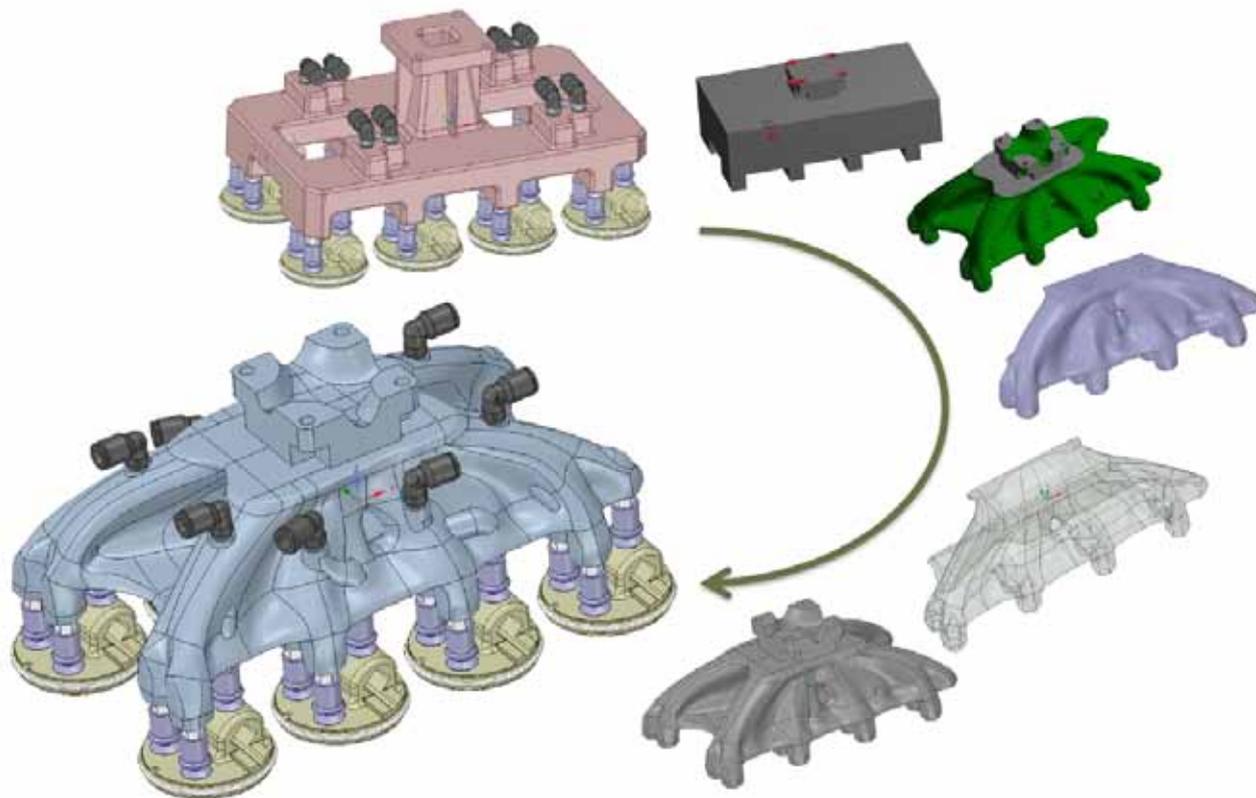
增材工艺仿真解决方案

ANSYS Additive Suite

增材工艺仿真解决方案



增材制造工艺仿真提升 3D 打印品质	03
ANSYS Additive Suite	04
面向增材制造的拓扑优化	06
Spaceclaim 直接建模与后拓扑结构设计工具.....	06
Workbench Additive 面向设计工程师的工艺仿真.....	07
Additive Print 面向工艺工程师的工艺仿真.....	09
Additive Science 面向工艺专家和材料科学家的工艺仿真.....	11
应用案例	13
后拓扑结构设计	13
某制件同轴送粉工艺仿真	13
过滤器变形补偿设计	14
连接件摆放方案优化.....	14
刮板碰撞预测	15
微观组织分析	15



增材制造工艺仿真提升 3D 打印品质

在金属增材制造过程中，激光功率、扫描速度、层厚、扫描间距等工艺参数不合理都会影响最终打印件的质量，如制件过度变形、开裂、支撑断裂、刮板碰撞等宏观缺陷以及孔隙率过大、微观组织不合理等微观缺陷。安世亚太应用增材制造工艺仿真解决上述问题，在实际打印之

前，应用软件进行虚拟打印，通过对增材工艺过程的仿真，可以从宏观、微观两个角度进行实现控形、控性分析，预测部件最终的残余应力和变形、优化工艺参数，从而保证打印质量和效率而避免低效的试错过程，最终以极低的成本、超高的效率打印出高质量的产品。

传统增材制造流程

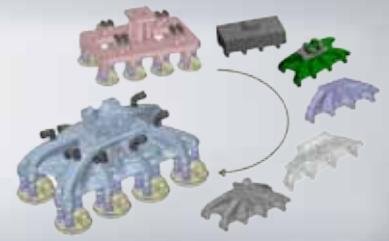


仿真优化增材制造流程



ANSYS Additive Suite

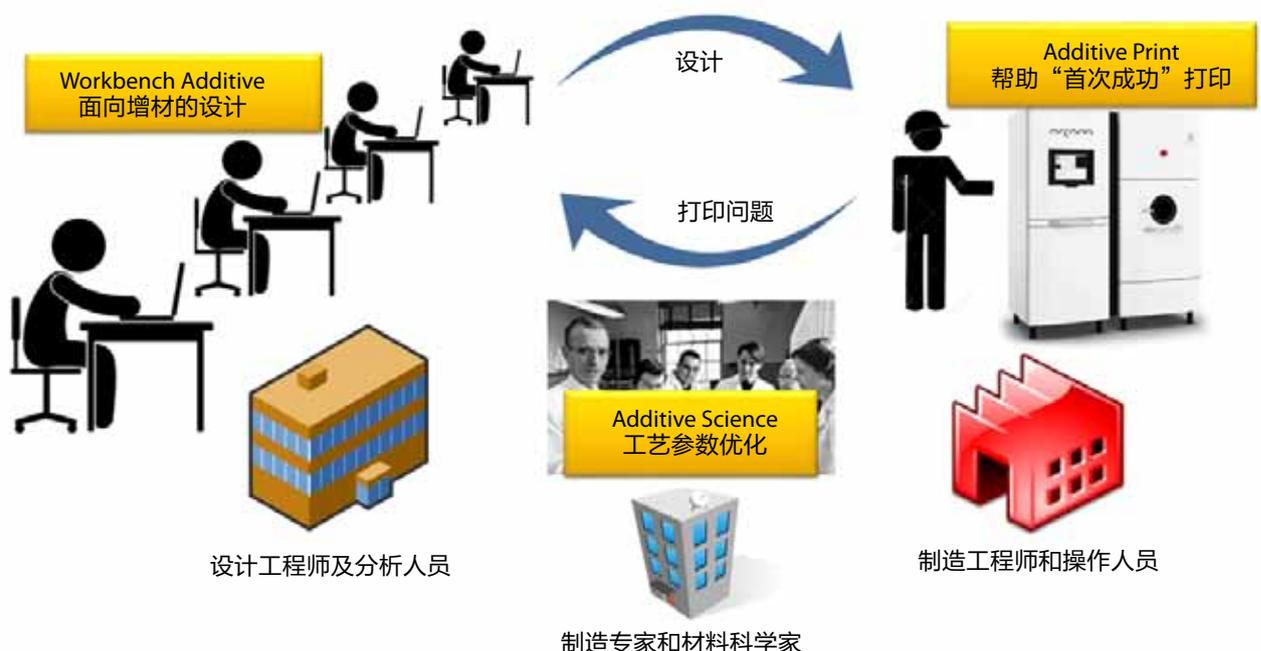
增材工艺仿真解决方案



ANSYS Additive Suite

ANSYS Additive Suite 使得用户可以考虑整个增材工艺链的各个环节，包括打印设置、工艺过程仿真、支撑生成、打印失败预防、微观结构预测等，它提供了能够直接读入成形设备扫描策略文件并对成形构件的热历史进行计算的解决方案，能够通过仿真深入了解增材制造特有的热行为并进行详细预测，帮助完成高质高效的增材制造工艺设计而无需昂贵而耗时的试错过程。针对团队中不同角色提供了完整的解决方案。

- 面向增材制造的拓扑优化：为面向增材制造的设计人员提供考虑悬垂角约束的拓扑优化，获少甚至无支撑的设计模型；同时可进行点阵优化，获得最优的点阵变密度分布的设计模型。
- SpaceClaim- 直接建模与后拓扑结构设计工具：SpaceClaim 是基于直接建模思想的新一代 3D 建模和几何处理软件。为工程和工业设计人员提供了充分的自由和空间以轻松表达最新的创意，设计人员可以直接编辑模型而不用担心模型的来源，同时可以为 CAE 分析、快速原型和制造提供简化而准确的模型。



ANSYS Additive Suite 增材工艺仿真解决方案



ANSYS Additive Suite

增材工艺仿真解决方案

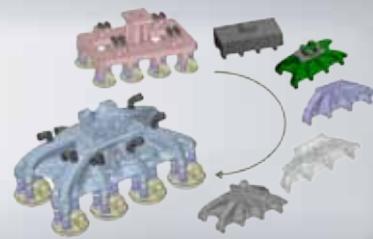
ANSYS 增材工艺仿真套件功能

功能	ANSYS 独有 (高亮)
直接建模	
点阵优化	
后拓扑结构设计、轻量化设计	
简化热分析以及详细热分析选项	
变形 / 残余应力 / 失败预测	
热处理	
自动变形补偿	
四种应变计算模式	
STL 文件修复 / 操作	
位置相关的微观结构输出	
基于几何的自动支撑生成	
基于物理过程的自动支撑生成	
孔隙预测	
应用机器扫描矢量进行分析	
热传感器预测	

- Workbench Additive- 面向设计工程师的工艺仿真 : Workbench Additive 是集成在 ANSYS Workbench 环境下的增材仿真工具, 面向产品设计工程师和分析人员, 可与拓扑优化与后拓扑设计形成无缝流程, 使得设计产品更加满足增材工艺特征约束, 符合 DFAM 设计要求。
- Additive Print- 面向工艺工程师的工艺仿真 : Additive Print 为金属增材工艺制造工程师和设计师提供了易学易用、快捷、强大的增材工艺过程仿真能力。Additive Print 通过模拟 3D 打印过程的材料堆积成型过程, 为残余应力计算、变形分析和成形失败的预测提供了切实可行的解决方案, 使得用户可以获得构件公差并避免成形失败, 而无需进行试错试验。
- ANSYS Additive Science- 面向工艺专家和材料科学家的工艺仿真 : ANSYS Additive Science 适用于增材工艺材料专家、科研人员或者设备工艺参数包开发者, 通过仿真详细研究激光粉末床熔融过程的复杂物理现象, 深入了解工艺机理, 从微观角度进行成形材料机械性能、微观组织结构、成形材料孔隙率以及成形设备工艺参数包开发等更深入的研究。

ANSYS Additive Suite

增材工艺仿真解决方案



面向增材制造的拓扑优化

面向增材制造的拓扑在原有的拓扑优化基础上，可以考虑面向增材制造的悬垂角约束；支持点阵优化，可以计算不同的特定尺寸胞元在模型的最优变密度分布，并与 Spaceclaim 衔接，实现变密度点阵结构设计。

- 悬垂角约束：支持设置悬垂角约束，通过使用悬垂角和构建方向来创建自支撑结构，

通过使用这种增材制造约束进行拓扑优化，从而可获得少甚至无支撑的打印模型。

- Lattice optimization：提供多种点阵类型进行点阵优化，从而获得特定尺寸的胞元在当前几何模型的最优变密度的晶格分布，并可导出该模型进而在 Spaceclaim 中生成变密度点阵模型。

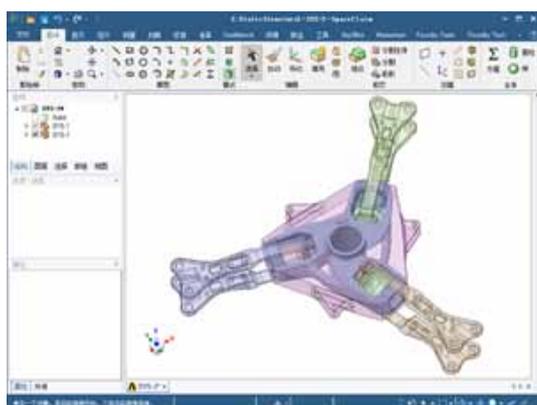
Spaceclaim 直接建模与后拓扑结构设计工具

Spaceclaim 是基于直接建模思想的新一代 3D 建模和几何处理软件。支持基于任意三维 CAD 模型开展工作，也支持基于三角面片模型进行操作，从而可以在 3D 模型或者拓扑优化的基础上进行模型清理、修复、三维造型、轻量化设计等操作。

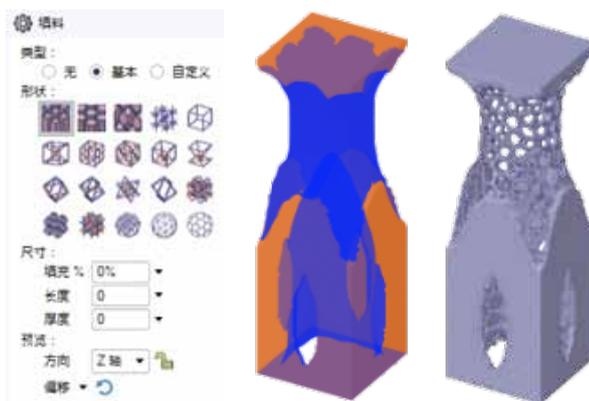
- 丰富的数据接口：拥有充足的数据交换包，直接读取各种 CAD 软件的原始文件，如 AutoCAD、Inventor、CATIA、NX、PRO-E、SolidWorks、Rhino、SolidEdge 等，也可以读取各种标准格式的 3D 模型，如 STP、IGES、ACIS、Parasolid、STL 等。
- 直接建模：可以智能捕捉并识别内部创建及外部导入的各种几何特征，然后利用拉动、

移动、填充、组合等工具进行特征编辑，极大地降低了鼠标单击操作，较之传统 3D 软件，可提升建模、编辑效率 5~10 倍。

- 三角面片处理：可以对 STL 文件进行清理、修复、收缩缠绕、光顺等操作，并可将三角面片转化为实体模型，从而实现三角面片的处理以及后拓扑结构设计。
- 轻量化设计：提供多种点阵结构，通过控制填充率、长度、厚度等参数实现选定区域的轻量化设计；同时也可根据点阵优化的结果实现变密度点阵结构设计。



Spaceclaim界面



点阵结构设计

Spaceclaim

Workbench Additive 面向设计工程师的工艺仿真

Workbench Additive 是集成在 ANSYS Workbench 环境下的增材仿真工具，面向产品设计工程师和分析人员，帮助他们保证可进行增材制造的更好设计：

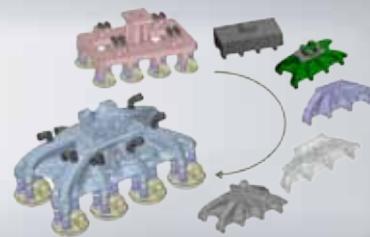
- 采用热应力耦合计算，计算考虑非线性及与温度相关的材料属性，通过热应力耦合分析模拟逐层材料堆积过程的温度场、热变形以及热应力；
- 仅需要提供最基本的工艺参数，如预热温度、层厚、扫描速度、扫描间距、铺粉时间等，

使用人员不需要具备增材设备操作条件，也不需要工艺有深入了解，即可应用内置的材料库和增材仿真功能进行初步的打印过程仿真，为设计提供指导。

- 可与拓扑优化与后拓扑设计形成无缝流程，仿真预热、制造、冷却、去除基板 / 支撑、热处理等工艺过程，预测温度场、热变形、应力分布以及刮板碰撞，从而回答设计是否可打印、如何进行变形补偿、理想打印方向是什么、理想支撑设计等问题。

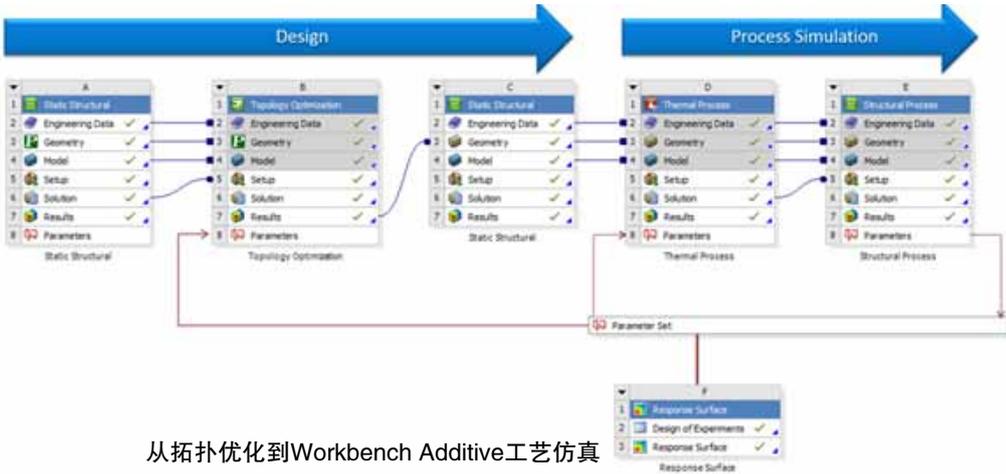
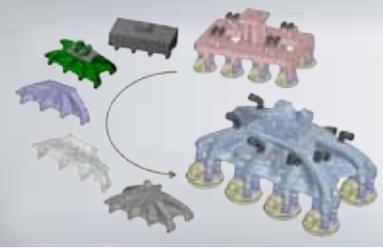
ANSYS Additive Suite

增材工艺仿真解决方案



Workbench Additive 功能

材料	<p>自带材料数据库，如 17-4PH Stainless Steel、AlSi10Mg、316 Stainless Structure、Inconel 625、Inconel 718、Ti64 等材料；</p> <p>考虑非线性和温度相关热学和力学参数；</p> <p>支持自定义新增、编辑、删除材料及其参数；</p>
几何模型	<p>支持导入多种格式的几何数据,包括所有主流 CAD 格式 (Pro/E、UG、CATIA 等) 及通用格式 (Stp、igs、x_t、sat 等)；</p> <p>支持导入离散几何数据,可直接基于 stl 进行工艺过程仿真；</p> <p>支持导入支撑结构,包括实体支撑及 block 等支撑；</p> <p>支持根据悬置角度以及支撑参数生成支撑结构；</p> <p>支持对制件进行摆放,如移动、旋转等。</p>
网格	<p>考虑工艺参数的全自动网格划分,支持分层立方体网格及分层四面体网格,可完全适应结构体型；</p>
工艺参数	<p>支持定义如沉积层厚度、扫描间距、扫描速度等打印机参数；</p> <p>支持定义如预热温度、气体 / 粉末温度、气体对流系数、粉末对流系数等打印条件及冷却条件；</p> <p>支持定义打印、冷却、去除基板 / 支撑、热处理的工艺顺序；</p>
边界条件	<p>支持自动处理用于制造工艺的边界条件；</p> <p>支持定义边界条件,如温度、对流和绝热等热边界条件；根据实际情况设置边界条件,如固定某个位置等；</p>
非打印件建模	<p>支持粉末建模；</p> <p>支持考虑非打印件对热交换及变形损耗的影响,如夹具、测量设备及仪表</p>
热处理	<p>支持热处理工艺仿真；</p>
后处理	<p>支持查看并导出增材过程中的某点、线、面、体的温度、变形、应力、应变历史、云图及动画；</p> <p>预测刮板碰撞。</p>



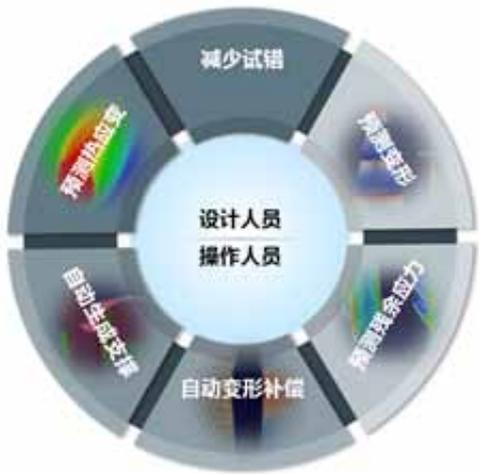
Additive Print 面向工艺工程师的工艺仿真

ANSYS Additive Print 为金属增材制造设备操作者和设计工程师提供了易学易用、快捷、强大的 3D 打印工艺过程仿真能力。Additive Print 通过模拟详细研究激光粉末床熔融过程的复杂物理现象，为残余应力计算、变形分析和打印失败的预测提供了切实可行的解决方案，使得用户可以获得部件公差并避免打印失败，而无需进行试错试验。ANSYS Additive Print 帮助用户详细了解增材制造特有的物理机理，提供了其他任何仿真软件供应商所没有的功能和分析选项，它读入金属打印机的打印文件，采用精确的部件打印扫描矢量进行全尺度热分析，并在此基础上为用户提供了无与伦比的分析预测功能，包括：

- 部件变形和最终形状尺寸
- 逐层变形、形状和应力可视化查看
- 识别部件和支撑中的高应变区
- 自动预测理想支撑结构
- 自动变形补偿 STL 文件
- 预防刮板碰撞以及打印失败

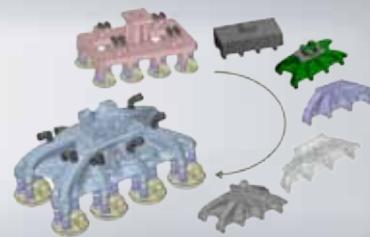
ANSYS Additive Print 的价值体现在：

- 消除不确定性因素，减少试错试验
- 设计可以精确打印的几何
- 帮助更精确的报价
- 减少激光粉末床融化打印失败，加速制造过程



ANSYS Additive Suite

增材工艺仿真解决方案



ANSYS Additive Print 功能一览表

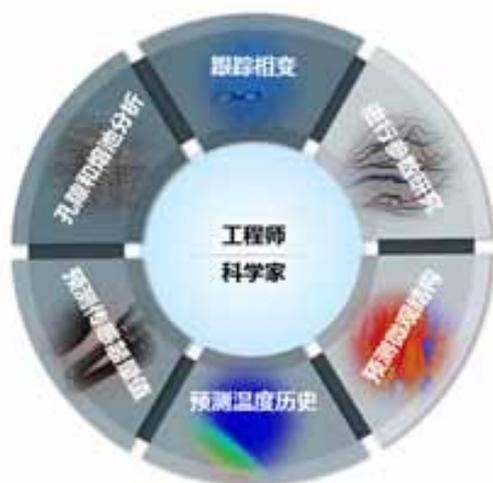
材料	<ul style="list-style-type: none">• 自带材料库, 如 17-4PH、Al357、AlSi10Mg、CoCr、In625、In718、Ti64 等, 支持自定义。
几何模型	<ul style="list-style-type: none">• 可形成个人零件库、打印文件库, 包括零件、支撑、扫描路径等信息;
计算模式	<ul style="list-style-type: none">• 提供假定均匀应变、扫描模式应变、热应变三种模式计算;
支撑优化	<ul style="list-style-type: none">• 基预测支撑必需承担的残余应力;• 基于特定算法自动进行支撑优化, 该算法可根据残余应力大小改变支撑的密度;• 计算确定的支撑结构以 STL 文件格式提供给用户。
预测变形	<ul style="list-style-type: none">• 基详细了解构件在成形过程中的变形;• 观察和评估工艺方案对变形和残余应力的影响, 帮助选择合理的摆放和支撑策略;• 查看初始形状和最终变形形状 (移除支撑前和移除支撑后) 之间的差异;
预测残余应力	<ul style="list-style-type: none">• 提前了解成形过程中应力如何积累;• 预测应力趋势、最终残余应力和成形过程中的最大应力位置;• 逐层查看成形过程中应力;• 预测高应变区域及刮板碰撞;
自动变形补偿	<ul style="list-style-type: none">• 预测结果自动传递到变形补偿模型并以 STL 文件格式提供给用户, 该文件基于成形过程产生的变形进行预先的变形补偿, 从而保证一次就获得保形零件;
预测热应变	<ul style="list-style-type: none">• 依据扫描矢量, 基于零件进行全尺度热分析预测热应变;• 基于扫描方向预测热应变各向异性效应;



Additive Science 面向工艺专家和材料科学家的工艺仿真

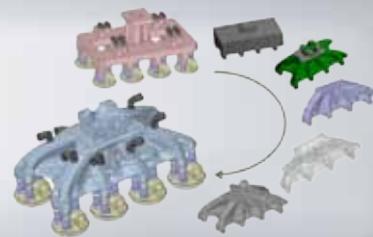
ANSYS Additive Science 面向增材工艺材料专家、分析工程师、设备工艺参数开发工程师等，深入研究增材制造过程的微观机理，可用于探索材料及工艺如何影响温度历史、熔池特性、金相组织、内部缺陷等等，帮助设计更好的设备及材料，以获得机器 / 材料组合的最佳工艺参数，并确保实现理想的完整性部件以及预期的微观结构和物理性能。

- 确定最佳的设备 / 特定材料的工艺参数
- 控制微观组织结构和材料机械性能
- 更快更有效地应用新材料粉末
- 减少验证组件所需的实验次数
- 加速创新，降低风险
- 将仿真预测的机器正确行为与传感器测量的机器实际行为进行对比，基于此建立工艺评定程序



ANSYS Additive Suite

增材工艺仿真解决方案



ANSYS Additive Science 功能一览表

单道参数模拟	<ul style="list-style-type: none">● 预测所选材料在一定基板温度、层厚，不同激光功率、扫描速度下的熔池特征，包括熔池的长度、宽度以及深度；● 支持一次性计算 300 种工艺参数组合，从而初步优化工艺参数；● 针对全尺寸构件分析熔池尺度现象，获取详细温度历史和微观结构信息；
孔隙率模拟	<ul style="list-style-type: none">● 预测所选材料，在一定基板温度、起始扫描角度、旋转角度，在不同激光功率、扫描速度、层厚、扫描间距、条带宽度下，给定立方体的孔隙率、粉末率及固相率，从而进一步优化工艺参数，确定设备理想工艺参数；● 支持一次性计算 300 种工艺参数组合；
温度历史模拟	<ul style="list-style-type: none">● 计算温度历史，基于粉末熔化凝固整个过程，预测制件在打印过程中的温度历史，帮助用户控制制件的最终机械性能；
预测微观结构	<ul style="list-style-type: none">● 基于工艺参数输入（基板预热温度、激光功率和扫描速度，以及扫描策略）预测成形件晶粒大小、生长方向及组织偏析等；● 预测微观结构，从而控制各向异性力学属性，比如材料强度和弹性模量；
温度传感器模拟	<ul style="list-style-type: none">● 基于机器 / 材料组合预测各种热传感器的测量值，包括静态点、移动点、红外摄像头，以及粉末床金属成形设备高温传感器；● 预测固定点、固定区域、同轴区域的温度历史及平均温度，将仿真结果与现场传感器读数关联；● 模拟 Sigma Labs 热传感器，提供固定的圆形视区内的空间平均温度；
参数研究	<ul style="list-style-type: none">● 允许用户通过虚拟试验评估成百上千的指标，而不需要开展物理试验；
跟踪相变	<ul style="list-style-type: none">● 采用合金元素成分相关、温度梯度相关的相变细节，精确预测温度历史、传感器输出以及微观结构，具有无与伦比的优势。



应用案例

后拓扑结构设计

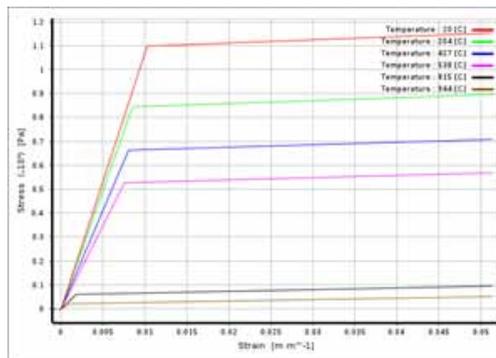
经过拓扑优化获得的概念设计模型，其表面比较粗糙，不适用于直接使用，需要进行后拓扑结构设计，后拓扑结构设计是在最大限度保留拓扑优化结构特征的基础上，考虑力学要求、美学要求以及装配要求的最终设计模型，并根据需要对其进行参数化以利后续参数化详细设计。下图显示是对经过拓扑优化的模型进行后拓扑结构设计的过程，首先，将拓扑优化的结果输出为片体模型，其次对片体模型进行清理、蒙皮、修复、光顺、合并等处理，最后获得满足需求的设计，同时也可将片体模型转化为实体，从而可以基于实体进行直接建模及参数化。



后拓扑结构设计流程

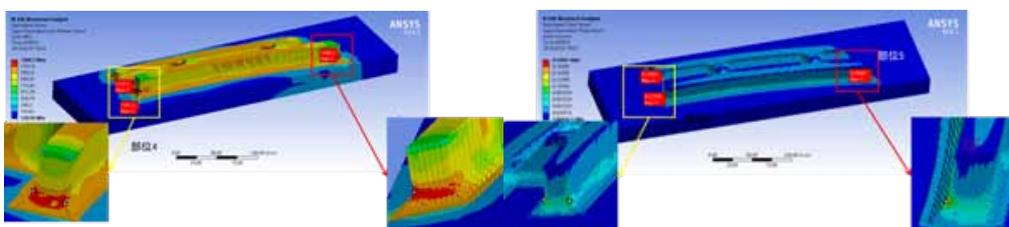
某制件同轴送粉工艺仿真

为了优化某制件在同轴送粉工艺过程中的温度场、变形及应力，采用 Workbench additive 对该制件进行工艺仿真，材料采用 TC4，并考虑与温度相关的材料参数，从而获得该制件在打印过程中的温度场以及打印结束之后的变形、应力及应变分布，获得变形、应力及应变的最大位置，为该制件的实际打印提供设计指导，工艺设置以及结果如下图所示。



Machine Settings	
Additive Process	Powder Bed Fusion
Deposition Thickness	1 mm
Hatch Spacing	5 mm
Scan Speed	15.7 mm/s
Dwell Time	1 e-006 s
Dwell Time Multiple	1
Number of Heat Sources	1
Build Conditions	
Preheat Temperature	25 °C
Gas/Powder Temperature	Specified
Gas Temperature	350 °C
Gas Convection Coeff	1 e-005 W/mm² °C
Powder Temperature	350 °C
Powder Convection Coeff	1 e-005 W/mm² °C
Powder Property Factor	1 e-006
Cooldown Conditions	
Room Temperature	25 °C
Gas/Powder Temperature	Use Room Temperature
Gas Convection Coeff	1 e-005 W/mm² °C
Powder Convection Coeff	1 e-005 W/mm² °C

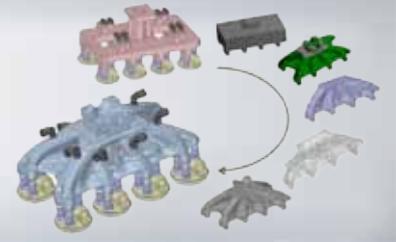
与温度相关的材料参数（左）及工艺参数（右）



打印结束后的应力及应变

ANSYS Additive Suite

增材工艺仿真解决方案



过滤器变形补偿设计

某过滤器在增材成形过程中在网状结构与顶端连接的部位出现凸起变形，由于该薄壁结构成形后无法进行其他的机械加工来保证构件几何精度，因此成形后构件不能满足设计要求。采用 ANSYS Additive Print 进行增材工艺仿真分析，可以准确获得该过滤器在打印过程中的变形，并且基于变形补偿几何模型进行反变形设计，作为实际成形时的几何，利用 Additive Print 可以进行迭代确定合理的补偿因子，输出补偿模型，得到满足精度要求的成形构件，如下图所示。



(a) 补偿前

(b) 补偿后

过滤器变形补偿设计

连接件摆放方案优化

3D 打印零件的摆放方式非常重要，直接关系到零件最终的变形、应力和打印效率，基于 ANSYS Additive Suite 可以对 3D 打印零件的摆放方案进行对比优化。

摆放方案优化需要考虑的因素包括变形、应力、支撑数量和打印时间，通过 ANSYS Additive Suite 的工艺过程仿真可以对不同摆放方案的变形、应力、支

撑等进行对比，从而优选最佳的摆放方案。

下图为某连接件的摆放方案优化的应用，用 ANSYS Additive Print 对连接件四种可选的摆放方案进行对比分析，确定了其变形、应力、支撑数量，并结合打印时间以及用户的要求进行综合评估，确定理想的摆放方案。



(a) 可选摆放方案

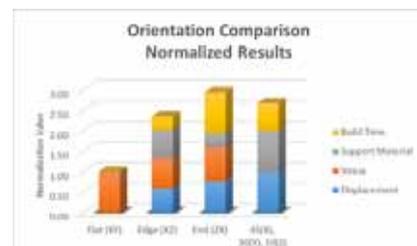


(b) 变形

(c) 应力



(d) 支撑



(e) 方案评估

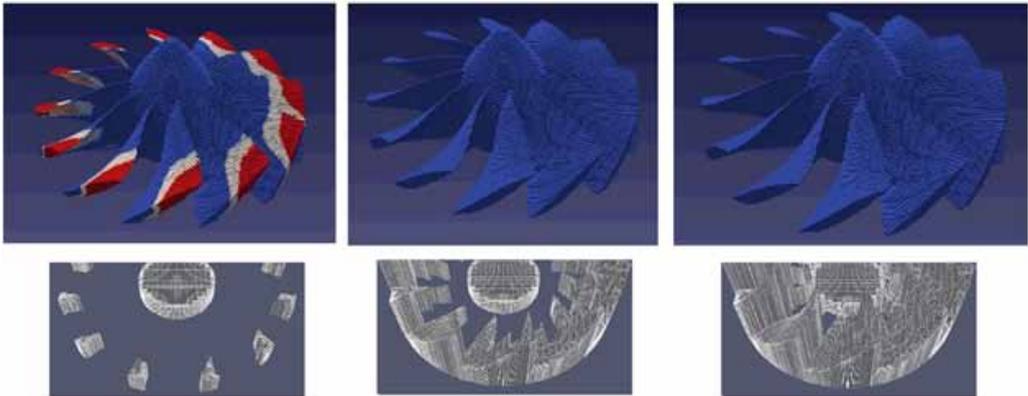
摆放方案优化



刮板碰撞预测

利用 ANSYS Additive Print 基于实际成形层厚等工艺参数可以进行刮刀碰撞区域预测，降低成形失败风险，用户根据结果，可优化支撑添加方案或成形方向等。下图所示为国外某叶片成形

形仿真结果，结果显示，在支撑添加量少的情况下成形过程中叶片部位存在刮刀碰撞风险，基于此结果，优化支撑结构，避免了刮刀碰撞。

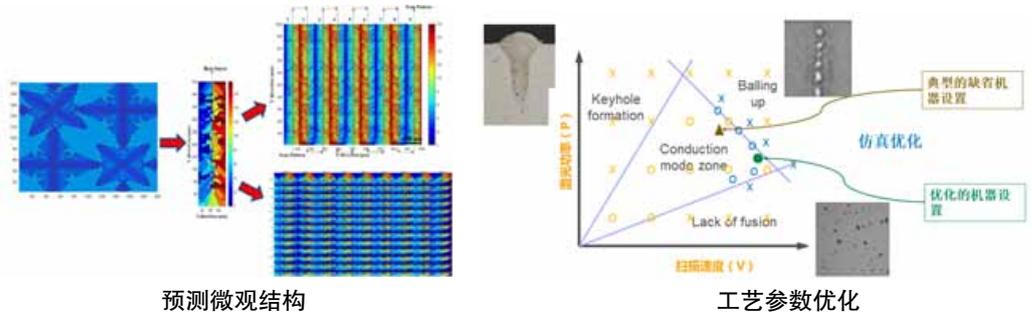


ANSYS Additive Print预测不同数量支撑方案的刮板碰撞

微观组织分析

Additive Science 在进行工艺参数开发方面具有巨大优势，利用 Additive Science 通过组合不同功率、扫描速度进行微观组织模拟，微观组织生长方向、晶粒尺寸、孔隙缺陷、机械性能

等预测计算，以获得理想的激光输出功率、扫描速度组合参数，这样可节约大量工艺实验带来的时间、材料、设备损耗等成本。



Additive Science微观组织结构分析



关注官方微信
peraglobal

客服专线 400-6600-388
www.peraglobal.com



亿维讯
IWINT, INC.

安世亚太
PERA CHINA

安世中德
PERA-CAD/FEM

金铭瑞通
JIN MING RUI TONG

安世工坊
PERA CAE

安世亚太科技股份有限公司

010-52167777

info@peraglobal.com

北京市朝阳区八里庄东里1号
莱锦TOWN园区CN08座

客服专线：400-6600-388

集团总部
010-52167777

北京子公司
010-52167777

上海子公司
021-61077288

成都子公司
028-86671505

西安分公司
029-88348317

南京子公司
025-84677666

武汉分公司
027-87115335

沈阳子公司
024-23181789

广州子公司
020-38682890

香港子公司
00852-31139711