

安世亚太成形工艺 CAE 仿真技术解决方案



安世亚太官方微信

目录 Contents

▶ 信息化环境下的加工制造 CAE 仿真技术.....	4
▶ 安世亚太制造工艺 CAE 仿真解决方案.....	5
▶ 铸造工艺仿真分析.....	6
1. Novacast 高端铸造分析软件功能简介.....	6
2. 重力铸造工艺方案及应用.....	8
3. 压力铸造工艺方案及应用.....	10
4. 离心铸造方案及应用.....	12
5. 其他类型铸造工艺应用.....	13
▶ 金属体积成形工艺仿真分析.....	14
1. Deform3D 金属体积成形工艺仿真分析软件功能简介.....	14
2. 模锻工艺分析方案及应用.....	17
3. 自由锻工艺分析方案及应用.....	20
4. 环轧工艺分析方案及应用.....	24
5. 型轧工艺分析方案及应用.....	27
6. 挤型工艺分析方案及应用.....	30
7. 旋压工艺分析方案及应用.....	33
8. 斜轧穿孔工艺分析方案及应用.....	36
9. 切削工艺分析方案及应用.....	37
10. 粉末冶金分析方案及应用.....	40
11. 模具强度分析方案及应用.....	43
12. 微观组织分析方案及应用.....	45
13. 微观孔洞分析方案及应用.....	48
14. 焊接工艺分析方案及应用.....	49
固态焊 - 惯性摩擦焊及线性摩擦焊.....	49
搅拌摩擦焊.....	50
熔焊 - 电弧焊及高能电子束焊.....	51
15. 玻璃成形工艺模拟应用.....	52
16. 铆接与螺栓连接工艺模拟应用.....	53
17. 加热炉加热工艺模拟应用.....	54
18. 喷丸强化工艺模拟应用.....	57

19. 增材制造工艺模拟应用.....	58
20. 模具磨损寿命模拟应用.....	60
21. 其他类型成形工艺模拟应用.....	61
▶ 热处理工艺仿真分析.....	62
1. Deform HT 热处理工艺仿真分析软件简介.....	62
2. 热处理工艺分析方案及应用.....	64
▶ Deform DOE/OPT 工艺参数优化分析方案及应用.....	71
▶ Deform Data Analysis 数据分析技术.....	78
▶ Deform Material Suite 材料性能拟合技术.....	81
1. Material Suite 材料性能拟合计算技术简介.....	81
2. JMAK 回复再结晶模型参数拟合.....	81
3. Flow Stress 流动应力数据及模型拟合计算.....	85
4. 热处理 TTT 淬火转变参数计算.....	86
▶ RTM 树脂传递模塑工艺仿真分析.....	87
1. RTM-WORX 树脂传递模塑工艺仿真分析软件简介.....	87
2. RTM-WORX 树脂传递模塑工艺分析方案及应用.....	91
▶ 钣金冲压工艺仿真分析.....	93
1. Dynaform 冲压成形工艺仿真分析软件简介.....	93
2. 冲压工艺分析方案及应用.....	95
▶ 安世亚太工艺 CAE 仿真协同解决方案.....	101
1. 体积成形多种工艺一体化仿真.....	101
2. 铸 - 锻一体化仿真.....	102
3. 铸造 - 热处理一体化仿真.....	104
4. 铸造件强度及疲劳寿命分析一体化仿真.....	105
5. 锻造 - 热处理件强度及疲劳寿命分析一体化仿真.....	105
▶ 安世亚太技术服务体系.....	106

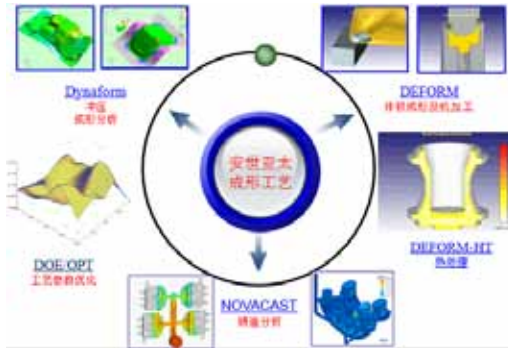
► 信息化环境下的加工制造 CAE 仿真技术

以信息技术为代表的现代科学技术的发展对机械加工工业提出了更高、更新的要求，随着制造业信息化应用的不断深入，机械加工工业将同新技术和新兴产业的发展共同进步。CAD/CAE/CAM 技术已成为先进制造企业信息化发展的重要内容，CAE 的发展也逐渐占据了产品设计与制造的高端位置。采用有限元 CAE 软件，可提高大型、精密、复杂、长寿命产品的设计制造水平，对于企业来说，CAE 无论是从产品品质的提高、交付周期的缩短、研发成本的降低等方面都可增强企业的核心竞争力。

加工制造方法主要包括铸造、锻压、冲压、特种成形、切削及热处理、注塑等工艺，因此，机械产品的设计与制造也必然与相关成形工艺密切相关，加工工艺的优劣及对产品的成形质量也是制造性企业必须要考虑的问题。CAE 计算机模拟技术及相应的成形工艺仿真平台，无论在提高生产率、保证产品质量，还是在降低成本、减轻劳动强度等方面，都具有很大优越性。近些年，CAE 机械加工模拟技术在航空航天、军工、兵器、汽车、家电、电子通讯、日用品等领域逐步地得到了广泛应用。

▶ 安世亚太制造工艺 CAE 仿真解决方案

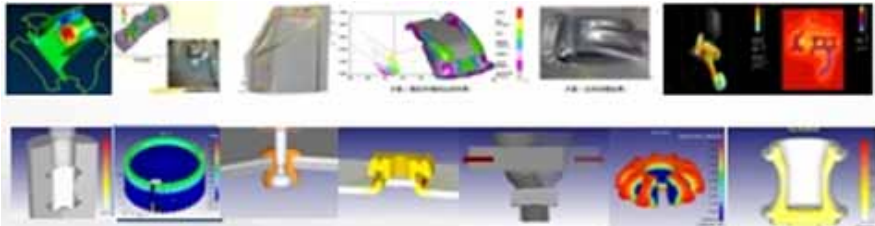
安世亚太金属机械加工工艺一体化仿真平台几乎囊括各类金属的多种成形工艺分析,包括铸造、锻造(自由锻、模锻)、特种成形(旋压、电磁成形)、轧制、挤压、机加工、拉拔、热处理、冲压、成本优化、注塑、浇注、压延等。由 Deform、Deform-HT、Novacast、Jscast、Dynaform 所构成的工艺仿真体系能够为企业提全方位、全工艺的数值模拟分析方案。



安世亚太金属加工工艺一体化仿真平台



工艺平台所支持的金属成形工艺类别



工艺模拟系统

► 铸造工艺仿真分析

1. Novacast 高端铸造分析软件功能简介

Novacast 铸造仿真模拟系统采用了业内独特而先进的 CVM 有限体积法计算机数值模拟技术，是一个专门为分析、评价和优化铸造工艺方案而开发的高端软件工具。借助该软件系统，铸造技术人员能够在设计工艺方案时通过对现有方案下铸件形成的过程做计算机模拟，以形象准确的可视化效果，通过计算机显示铸造过程温度、充型速度、压力和凝固时间变化，并对可能产生的缺陷提出预报。

NovaCast 适用于几乎所有的铸造工艺及合金的充型、凝固过程的数值模拟，其有限体积算法对于金属流动计算更具优势，具有计算速度快、计算精度高、易用性好的特点。在缩短试模时间、降低铸件成本、优化铸造工艺及相关技术的累积与传授等应用方面是最好的 CAE 铸造工艺专用系统。

1) 主要分析能力

- 浇冒补缩结构设计计算系统：优化设计浇流道、冒口、套筒、过滤网、铸件几何建模、补缩距离等
- 充型计算系统：预测流动缺陷（填充不良、冷隔、夹杂、卷气、粘砂路径等）
- 凝固计算系统：预测凝固缺陷（缩孔、疏松、偏析、气孔等）
- 热应力计算系统：预测热应变缺陷（变形、冷热裂纹、收缩、残余应力、机械强度等）

2) 主要技术特性

丰富的材料数据库

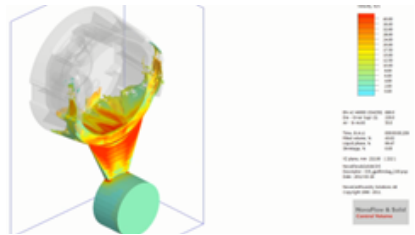
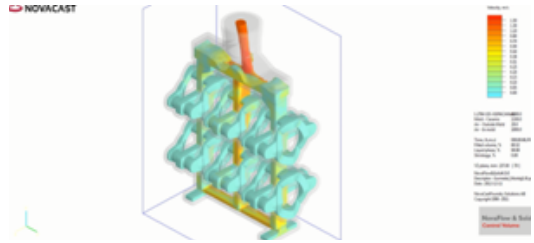
- 具有铸铁、灰铁、球铁、铸钢、合金钢、不锈钢、高温合金、可锻铸钢等
- 铝合金、镁合金、铜合金、钛合金、锌合金、钛合金等
- 发热材料、保温材料、绝热材料、涂层、冒口材料
- 冷铁、冷却水、冷却空气、加热器
- 金属模具材料、砂型、型壳、泡沫、过滤网及型芯材料

优秀的网格划分

- 有限体积网格极易划分复杂及薄壁结构铸件
- 流动分析及凝固分析网格均采用有限体积网格算法
- 不存在网格不连续或难以处理的情况，无需人工修复
- 可采用 dual-mesh 双网格控制技术，极大提高凝固计算精度
- 有限体积网格方法计算速度快、精度高、简单易用

多种铸造工艺分析

- 砂型铸造（浇铸）分析
- 离心铸造分析（立式、卧式）
- 压铸、低压铸造分析
- 金属型铸造分析
- 倾转铸造分析
- 壳型铸造分析
- 减压及差压铸造分析
- 消失模铸造分析
- 精密铸造分析
- 双金属铸造分析

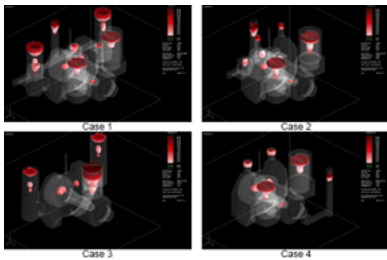


多种缺陷预测

- 缩松、缩孔
- 浇不足
- 冷隔
- 卷气、卷渣
- 粘砂
- 夹渣
- 裂纹
- 变形
- 偏析
- 考虑氧化膜的破碎、卷入

3) 工艺参数及方案优化分析

- 浇铸系统、排气孔和溢流槽的位置及个数优化
- 冒口的位置及大小优化
- 冷铁的布局优化
- 模具冷却方案优化



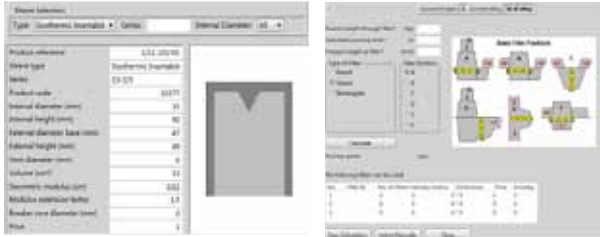
不同工艺方案优化



铸造系统结构设计优化

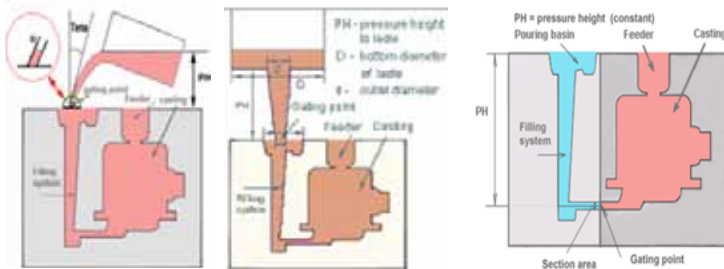
2. 重力铸造工艺方案及应用

- 可进行几乎所有的重力铸造工艺过程的模拟，包括：砂型铸造、金属型铸造、真空浇注、熔模铸造、球铁及灰铁铸造、壳型铸造、倾转铸造、双金属铸造。
- 可自动产生砂型模型，自动检查铸造系统各组件间的装配间隙并进行填充修补。
- 可实现浇冒系统自动设计计算，可设计计算冒口、冒口颈、浇道、套筒、过滤器、补缩距离等结构尺寸，优化设计方案。

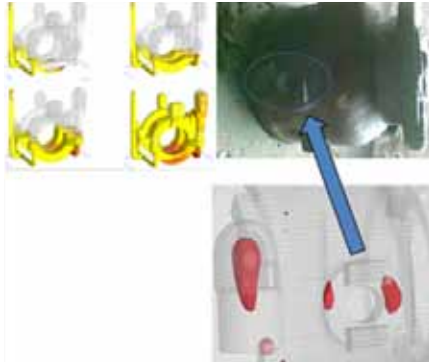


浇冒系统设计计算

- 具有与材料性能计算软件 Jmatpro 的接口，可实现 Jmatpro 计算的材料热物性参数直接导入 NOVACAST 用于铸造计算。
- 先进的 CVM 网格处理方法，简单快速的处理铸件模型，特别是复杂及薄壁铸件。
- 提供专业的重力铸造工艺参数设置界面，根据现场铸造设备情况设置浇包高度、浇注角度、流量、倾转角度、温度、压力高度、多浇包、多浇口、多材料等参数。
- 提供全面的缺陷分析能力，包括疏松、缩孔、浇不足、冷隔、卷气、气孔、夹杂、冷热裂、粘砂、收缩、残余应力、偏析等。
- 可获得动画、凝固时间、充填时间、温度梯度、G/R、铸件及铸型温度分布、CT 扫描、曲线及图表、场变量云图、残余应力等。
- 可计算不同大小和密度的夹杂物及砂粒在充型过程中随金属液的流动现象，跟踪流动轨迹，预测其最终分布位置。
- 考虑球墨铸铁奥氏体的凝固收缩、石墨体积膨胀、石墨颗粒尺寸的变化。
- 大吨位铸件考虑铸造凝固过程的金属液自然对流现象。

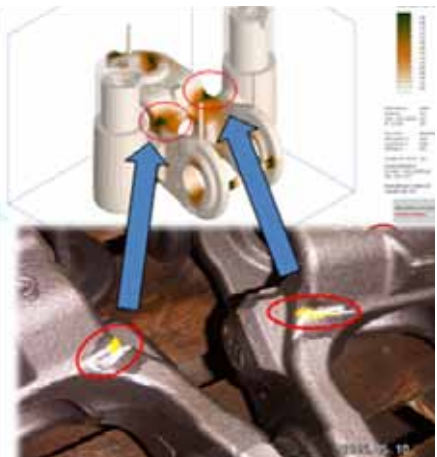


- 项目描述
 - 通过模拟铸造工艺过程预测浇注系统设计缺陷
- 项目挑战
 - 铸件重量大，具有较大计算规模
- 解决方案
 - 通过求解热流动、凝固过程分析凝固顺序及孤立液相区预测缩孔存在位置
- 重要价值
 - 通过准确预测铸造缺陷，避免了早期采用试验的方法，降低了成本和测试周期



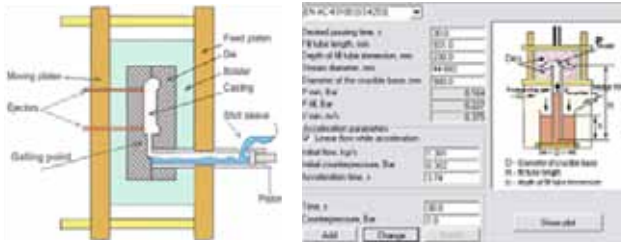
案例二：铸件铸裂位置预测

- 项目描述
 - 铸件结构较为复杂，铸造后出现裂纹
 - 通过应力计算及弹塑性模型预测热裂位置
- 项目挑战
 - 应力现象复杂
 - 裂纹结果受铸造整个过程结果影响
- 解决方案
 - 通过弹塑性模型及充型凝固结果计算冷却应力情况
 - 凝固过程考虑热应力及塑性应力的影响，同时考虑在砂型内部冷却所受砂型硬度的影响
- 重要价值
 - 准确预测了裂纹出现位置，在工艺研发阶段指导工艺修正，降低了废品率



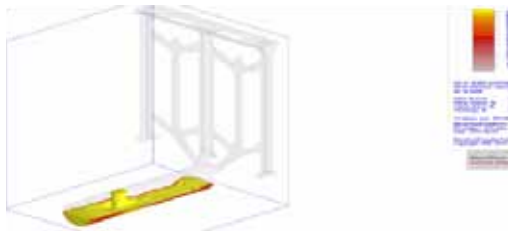
3. 压力铸造工艺方案及应用

- 提供压铸工艺参数优化设计功能，可最优设计压铸工艺及浇铸结构，可计算最大充型时间、浇口尺寸、锁模力等，具备压铸机设备库。
- 提供多种压力铸造工艺边界条件，包括压铸料筒、升液管、活塞、压力、速度、切换时间、速度切换位置、水管、保压条件等。
- 可进行高压铸造、低压铸造、差压铸造等典型的压力铸造工艺分析，具备专业的铸造工艺参数设置面板，真实反映各种压力铸造设备的运动条件



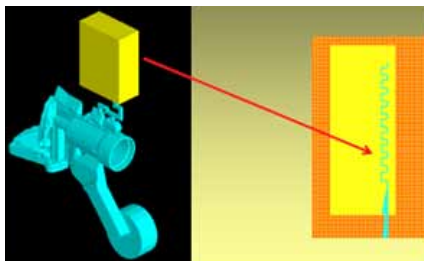
压力铸造工艺参数设置

- 具有压铸料筒的液体金属流动分析能力，可实现浇注后压射前的静止过程及压射过程的模拟，提高卷气缺陷的预测精度。
- 具有全面的缺陷分析能力，包括疏松、缩孔、卷气、气孔、氧化膜、冷热裂、收缩变形、残余应力等。
- 可模拟表面张力及铸型与金属液间的润湿性对充型流动的影响，精确计算自由表面形状及位置。
- 考虑型腔中气体压力及气体通过砂型间隙中的排气。
- 从压铸料筒开始的充型计算可充分考虑料筒内金属的流动稳定性，避免卷气的发生。
- 可优化压缩活塞的运动参数，减少卷气缺陷的产生。
- 丰富的后处理功能，可获得动画、凝固时间、充填时间、温度梯度、G/R、铸件及铸型温度分布、CT扫描、曲线及图表、场变量云图、残余应力等。
- 计算模具温度场，优化冷却系统，并可同时显示金属液流动形态和铸型温度。
- 预测铸件热裂及冷裂的位置。

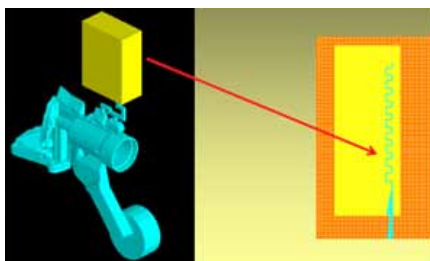


考虑料筒的压铸

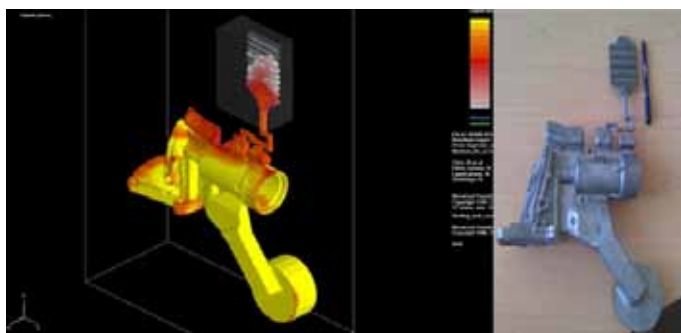
压力铸造应用案例



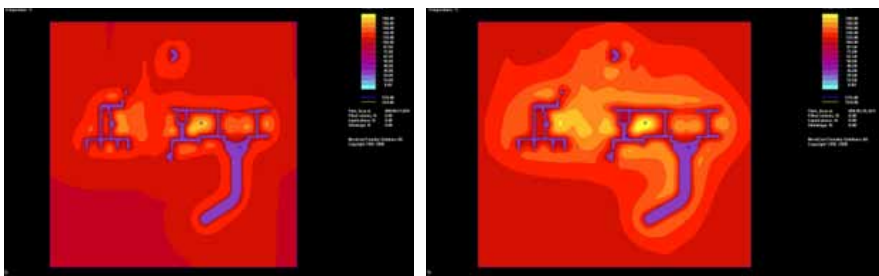
波纹排气道网格处理



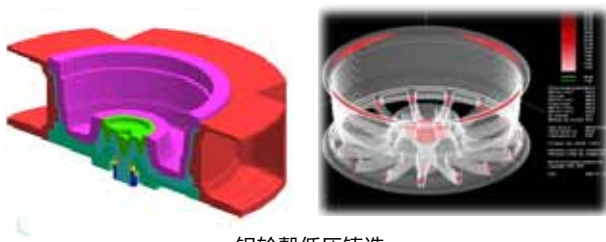
流动过程



排气效果分析



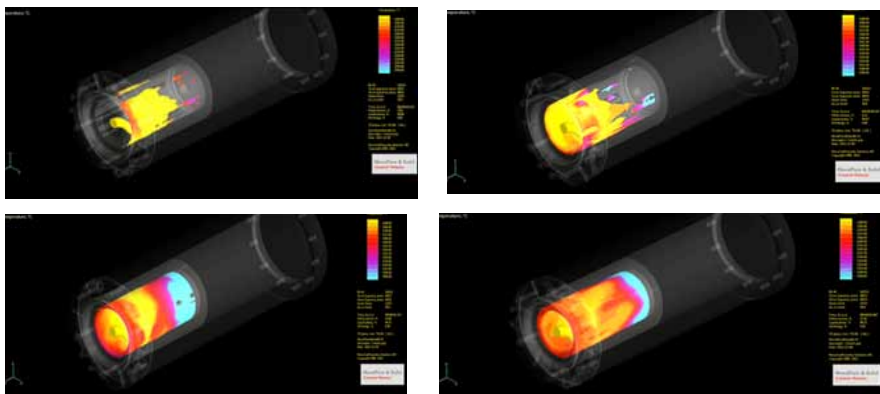
模具预热循环分析 - 温度场



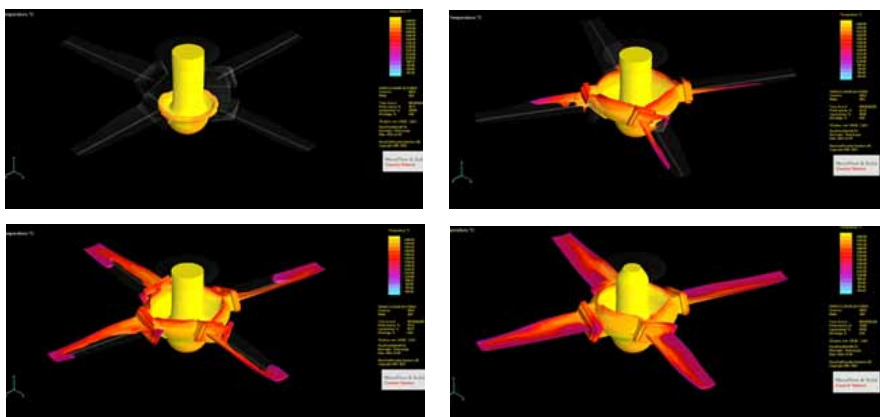
铝轮毂低压铸造

4. 离心铸造方案及应用

- 能够分析立式离心铸造和卧式离心铸造的铸造工艺过程
- 能够进行两种金属的离心铸造的浇注凝固分析
- 可考虑模具厚薄、激水量大小、浇注速度快慢、转速变化、浇注量、来水时间、还原时间、激水时间、模具温度、涂料厚度等工艺条件的影响
- 获得离心铸造过程任一点的温度场随时间的变化过程
- 有限体积法准确体现重力及离心力作用下的流体流动现象，体现整个充型过程
- 预测铸件缺陷产生的部位和缺陷形式，包括缩孔缩松、充型不足、壁厚不均、形变等
- 计算模具温度场变化，优化水管分布参数



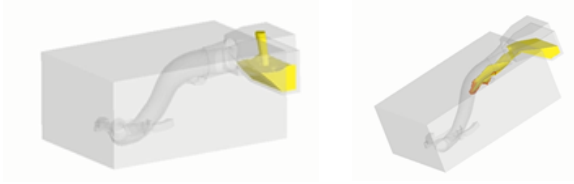
卧式离心铸造充型过程



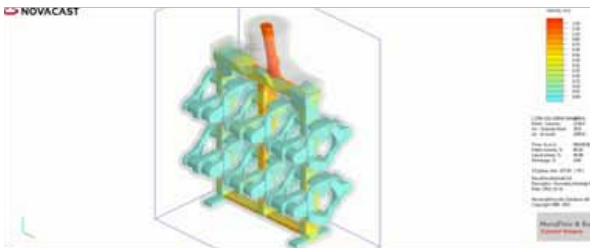
立式离心铸造充型过程

5. 其他类型铸造工艺应用

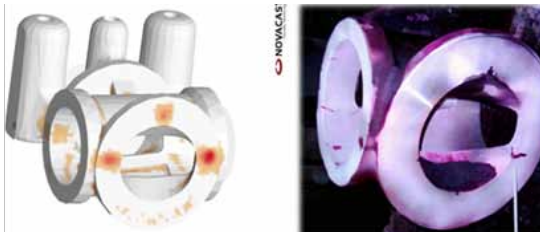
● 倾转铸造工艺模拟



● 精密熔模铸造工艺模拟



● 铸造裂纹



● 工艺方案优化



Casting weight(kg)	485	485
Gross weight (kg)	940	725
Weight savings (kg)	--	215
Pouring time (sec)	35	30
# sleeves	5	2
Cutting area (cm)	2800	450
Cost reduction (Euro)	--	200

成本节省

► 金属体积成形工艺仿真分析

1. Deform3D 金属体积成形工艺仿真分析软件功能简介

Deform-3D 是在一个集成环境内综合建模、成形、热传导和成形设备特性进行模拟仿真分析。适用于热、冷、温成形，提供极有价值的工艺分析数据。如：材料流动、模具填充、锻造负荷、模具应力、晶粒流动、金属微结构和缺陷产生发展情况等。

- 设计及优化工具和产品工艺流程，减少昂贵的现场试验成本。
- 提高工模具设计效率，降低生产和材料成本。
- 缩短新产品的研究开发周期。
- 成形工艺优化。
 - 模具优化设计
 - 成形工步优化
 - 锻坯优化设计
 - 模具使用疲劳寿命
 - 模具强度计算
 - 成形缺陷预测
 - 压力机吨位确定
 - 金属内部微观组织
 - 刀具优化设计。
 - 加工参数优化
 - 刀具磨损
 - 刀具强度
 - 切削硬化
 - 切削屑状况
 - 产品缺陷预测
 - 裂纹产生
 - 折叠
 - 填充不满
 - 扭拧
 - 残余应力
 - 硬度不足
 - 表面质量

友好的图形界面

Deform3D 专为金属成形而设计，具有 windows 风格的中英文图形界面，可方便快捷地按顺序进行前处理及其多步成形分析操作设置，分析过程流程化，简单易学。另外，Deform 针对典型的成形工艺提供了模型建立模板，采用向导式操作步骤，引导技术人员完成工艺过程分析。

高度模块化、集成化的有限元模拟系统

Deform 是一个高度模块化、集成化的有限元模拟系统，它主要包括前处理器、求解器、后处理器三大模块。前处理器完成模具和坯料的几何信息、材料信息、成形条件的输入，并建立边界条件。求解器是一个集弹性、弹塑性、刚（粘）塑性、热传导于一体的有限元求解器。后处理器是将模拟结果可视化，支持 OpenGL 图形模式，并输出用户所需的结果数据。Deform 允许用户对其数据库进行操作，对系统设置进行修改，并且支持自定义材料模型等。除此之外，Deform 能够将 2D/3D 系统整合于同一界面，可实现 2D/3D 模型的网格及参数数据转换，完成二维到三维的多工序联合分析计算。

多工序操作集成系统能够将锻造、热分析、热处理、切削、自由锻、轧制工艺的分析集成在统一操作界面下，实现多工序任意工艺内容的添加计算，并能够实现各工序参数的卡片式管理，达到成形及热处理的全工艺连续分析。



MO 多工序分析系统

有限元网格自动生成器以及网格重划分自动触发系统

Deform 强大的求解器支持有限元网格重划分，能够分析金属成形过程中多个材料特性不同的关联对象在耦合作用下的大变形和热特性，由此能够保证金属成形过程中的模拟精度，使得分析模型、模拟环境与实际生产环境高度一致。Deform 采用独特的密度控制网格划分方法，方便地得到合理的网格分布。计算过程中，在任何有必要的时候能够自行触发高级自动网格重划分生成器，生成细化、优化的网格模型。

集成金属合金材料库

Deform 自带材料模型包含有弹性、弹塑性、刚塑性、热弹塑性、热刚粘塑性、粉末材料、刚性材料及自定义材料等类型，并提供了丰富的开方式材料数据库，包括美国、日本、德国的各种钢、铝合金、钛合金、高温合金等 300 种材料的相关数据。用户也可根据自己的需要定制材料库。

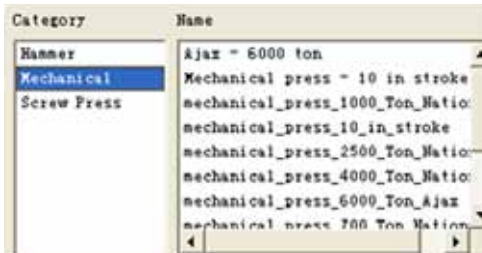
按国家分: 美国标准 (AISI、SAE、ASTM)，日本标准 (JIS)，德国标准 (DIN)，国际标准 (ISO)，欧洲标准 (EN)，俄罗斯标准 (GOST)，英国标准 (BS)，韩国标准 (KS)。

按用途分: 铝合金 (130 种)，不锈钢 (40 种)，模具用钢 (17 种)，工具钢 (85 种)，钢 (200 种)，耐高温钢 (60 种)，超合金 (17 种)，钛合金 (22 种)，刀具用钢 (11 种)，其他铜、金刚石等 (27 种)。

按行业分: 冷成形用材料，热处理用材料，热成形用材料，机加工用材料，特殊行业材料。

集成多种成形设备模型

Deform 集成多种实际生产中常用的设备模型，包括液压机、锻锤、机械压力机、螺旋压力机等。设备型号数据库还包括多种型号锻锤、机械压力机、螺旋压力机数据，可根据实际压机型号直接选用。成形设备数据库可以分析采用不同设备的成形工艺，满足用户各种成形条件下模拟的需要。



Category	Name
Hammer	Ajax - 6000 ton
Mechanical	Mechanical press - 10 in stroke
Screw Press	mechanical_press_1000_Ton_Ratio:
	mechanical_press_10_in_stroke
	mechanical_press_2500_Ton_Ratio:
	mechanical_press_4000_Ton_Ratio:
	mechanical_press_6000_Ton_Ajax
	mechanical_press_700_Ton_Ratio:

成形设备型号数据库

先进的 DOE/OPT 工艺参数优化环境

Deform DOE 设计优化系统能够进行成形工艺参数及模具结构设计参数等的多参数自动优化，在设定多个变量及目标函数的条件下实现工艺参数及结构设计参数的优化，自动提供最佳的工艺设计方案。可优化毛坯尺寸、模具结构、应力应变、材料破坏、材料重量、成形缺陷、成形边界条件等方面，提供优化及成功的工艺方案参数。DOE/OPT 模块在业内是唯一实现成形工艺智能优化的模块，在该领域的应用已取得领先地位。

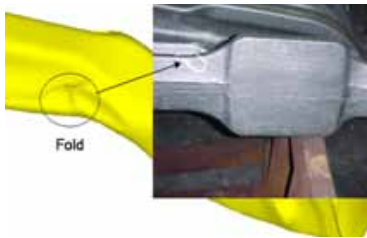
辅助成形工具

Deform 针对复杂零件锻造过程，提供了预成形设计模块 Preform，该模块可根据最终锻件的形状反算锻件的预成形形状，为复杂锻件的模具设计提供了指导。

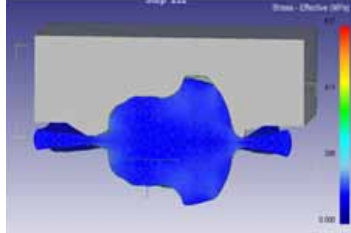
针对热处理工艺界面热传导参数的确定，提供了反向热处理分析模块 (Inverse Heat)，帮助用户根据试验结果确定界面热传导参数。

2. 模锻工艺分析方案及应用

- 冷、温、热锻的成形和热-力耦合分析
- 丰富的材料数据库，包括各种钢、铝合金、钛合金和高温合金
- 用户自定义材料数据库允许用户自行输入材料数据库中没有的材料
- 提供材料流动、模具充填、成形载荷、模具应力、纤维流向、缺陷形成和韧性破裂等信息
- 预测填充不足、折叠、裂纹、飞边等缺陷
- 弹塑性材料模型适用于分析残余应力和回弹问题
- 多孔材料模型适用于分析粉末材料成形的压实和锻造及烧结分析
- 完整的成形设备模型可以分析液压成形、锤上成形、螺旋压力成形和机械压力成形
- 用户自定义子函数允许用户定义自己的材料模型、压力模型、破裂准则和其他函数

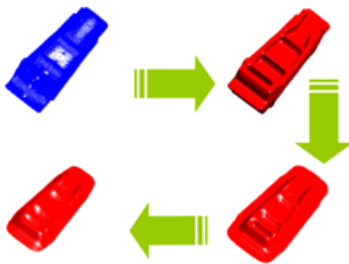


折叠

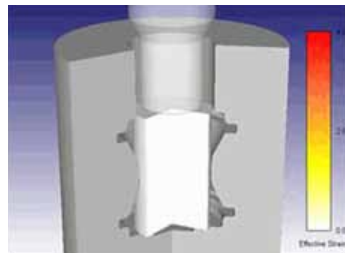


填充不足

- 流线和质点跟踪可以分析材料内部的流动信息及各种场量分布
- 温度、应变、应力、损伤及其他场变量等直线的绘制使后处理信息更加丰富
- 自动接触条件及完美的网格再划分使得在成形过程中即便形成了缺陷，模拟也可以进行到底
- 多变形体模型允许分析一模多件或耦合分析模具应力
- 磨损分析模型用于评估成形过程中模具磨损情况
- 预成形设计模块为复杂工件的预制锻坯设计提供指导



预制毛坯计算



机闸模锻成形

- 基于损伤因子的裂纹萌生及扩展模型可以分析剪切、冲裁和机加工过程
- 完善的热边界条件可以分析热成形中材料与环境间的热交换
- 提供依据模具运动时间、载荷力、成形温度、闭模间隙等精确成形行程控制准则
- 可计算热锻过程中由于空气或润滑剂高温蒸发所造成的材料填充不满缺陷

模锻应用案例

案例一：气缸毛坯优化及缺陷分析

● 项目描述

- 气缸锻造成形，毛坯的设计尺寸影响成形结果
- 对不同毛坯设计尺寸进行分析优化，预测成形缺陷，获得最佳毛坯尺寸和成形结果

● 项目挑战

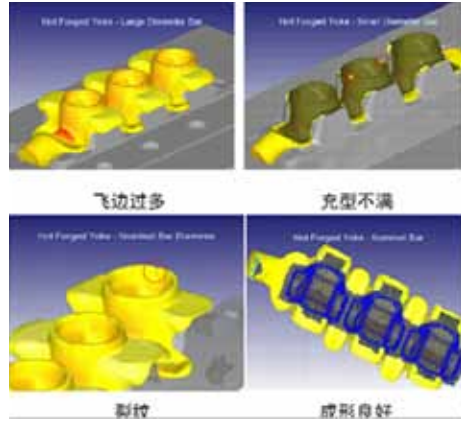
- 产品复杂，成形过程材料流动和填充复杂可能出现的缺陷种类较多

● 解决方案

- 采用热-结构耦合锻造模拟分析通过计算材料流动与接触行为，预测各种成形缺陷

● 重要价值

- 通过多方案对比优化分析，在工艺定型前期预测缺陷，获得结构尺寸最佳的毛坯设计



案例二：紧固件工艺优化

● 项目描述

- 优化传统紧固件成形工艺
- 分析不同成形毛坯尺寸条件下紧固件成形内部特质，提升产品质量

● 项目挑战

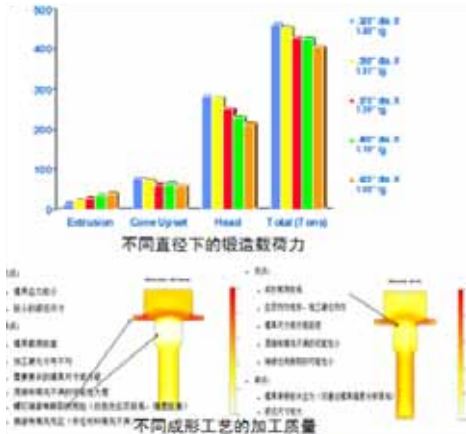
- 要求对成形缺陷及应力应变等有高的计算精度
- 需要准确的冷挤计算能力

● 解决方案

- 采用冷成形方法计算出不同条件下的成形吨位
- 通过成形应变分布评估加工硬化及强度脆弱部位

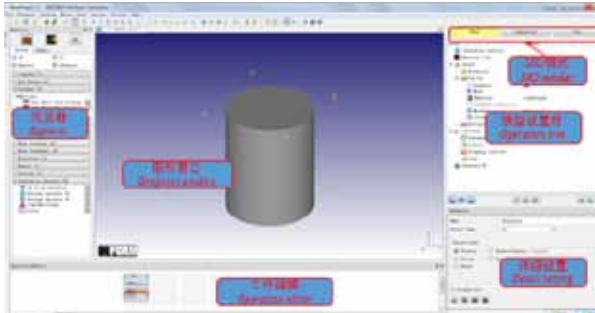
● 重要价值

- 通过成形现象、应变及成形力、材料填充难易等结果获得最佳成形质量



MO 多工序锻造主要分析流程

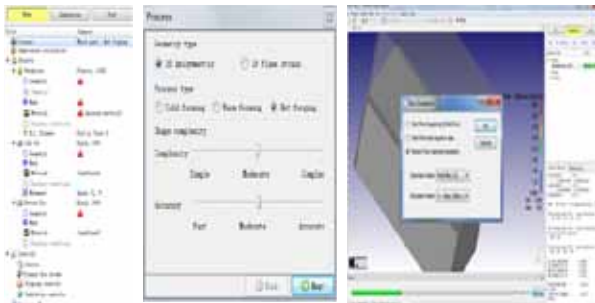
MO 模块作为新一代锻造工序的操作模式，能够极为方便地定义多工序锻造的工艺参数及计算流程，相对 3D 传统多工序锻造计算，MO 可以一次性设置所有工步的分析参数，从而实现自动化的数据传递和工艺流程计算。可任意添加工艺流程卡片，从锻前加热、多次锻造、到锻后冷却等，向导式的操作方式极为简便。



MO 多工序锻造设置界面



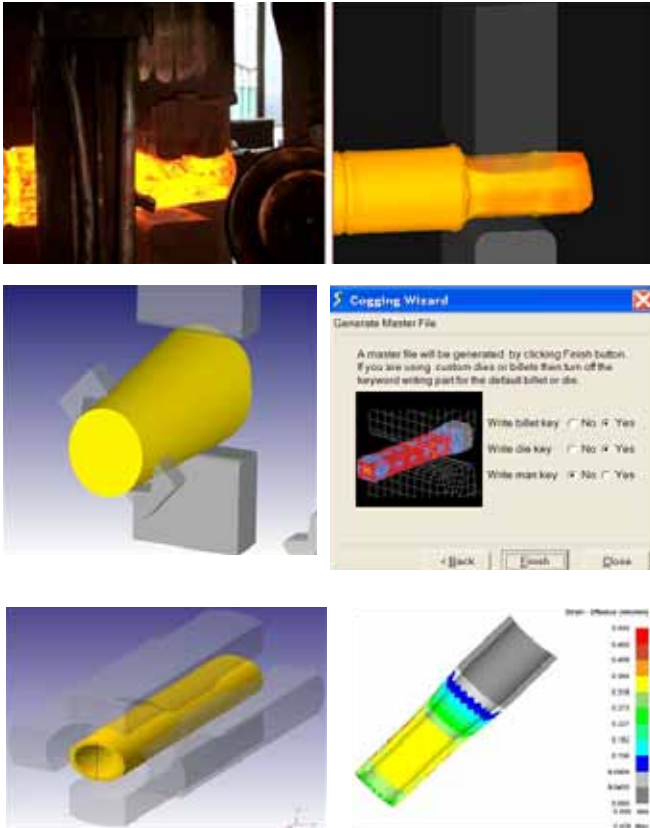
添加锻造工步



设置各工步工艺参数并在同一界面提交计算

3. 自由锻工艺分析方案及应用

- 具有流程式的操作模板，可操作性强
- 具有自由锻工模具模型自定义方式，方便使用
- 可任意进行咬合、加热、锻打工序的多工步设置
- 可分析成形过程金属流动、缺陷产生、工件形状、晶粒细化及优化工艺设计
- 优化锻打次数、锻造比、拔长效率、加热温度、平砧结构等参数
- 预测自由锻形状尺寸、折叠、表面裂纹、扭曲等成形缺陷
- 具有锻锤设备库及多工步自由锤锻设置方式



Cogging 及 swaging 分析

自由锻应用案例

案例一：轴类件自由锻工艺分析

● 项目描述

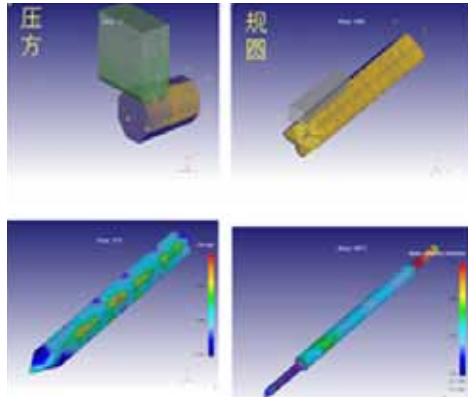
- 通过模拟多工序数次捶打过程，预测各阶段拔长形状尺寸、温度场及裂纹等缺陷
- 自由锻锻打次数多，成形过程涉及塑性大变形，温度变化及材料破坏

● 解决方案

- 结构-热耦合分析，考虑功转热、空气散热、锻打间隙加热
- 采用连续捶打设置方式实现连续锻打，预测各阶段成形尺寸及可能出现的锻造裂纹等缺陷

● 重要价值

- 通过模拟多工序数次捶打过程，预测各阶段拔长形状尺寸、温度场及裂纹等缺陷，优化锻造比、打击次数等，指导工艺设计



案例二：大型锻件内部夹杂及孔洞变形分析

● 项目描述

- 该零件坯料初始内部有孔洞、塑性及刚性夹杂缺陷，通过分析锻造过程预测缺陷的运动、闭合及对成形结果的影响

● 项目挑战

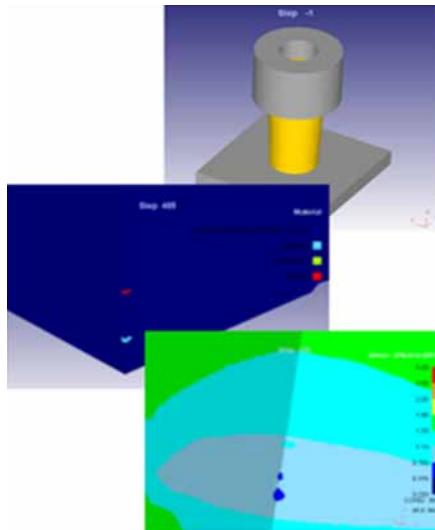
- 夹杂、孔洞的设置及分析
- 小缺陷的变形及对结果的影响

● 解决方案

- 采用建立孔洞、内部不同材料性质的夹杂模型进行整体锻造计算

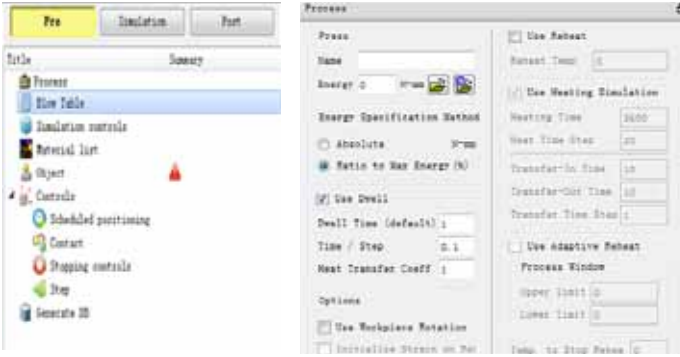
● 重要价值

- 预测了锻造过程孔洞及夹杂随材料流动、闭合等的现象，评估这些缺陷对最终产品加工质量的影响

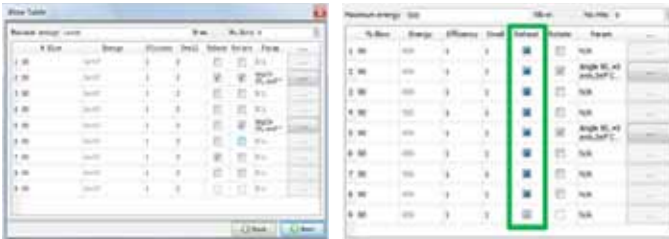


自由锤锻多次锻打主要分析流程

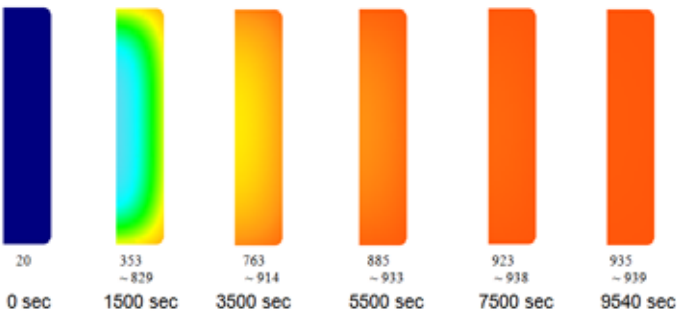
锻锤和螺旋压力机的多次自由锻打模拟,可设置多次锻打的工艺流程表,每次锻打的能量/效率,锻打间隙工件停留模具的传热,使用自适应加热模拟等。



自由锤锻工艺流程参数设置



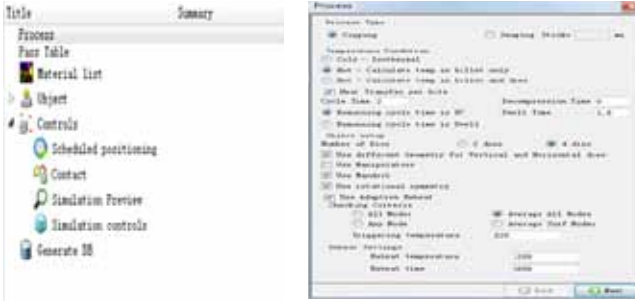
自由锤锻锻打流程表设置



自适应加热由温度控制加热时间

自由锻拔长 / 径向旋锻主要分析流程

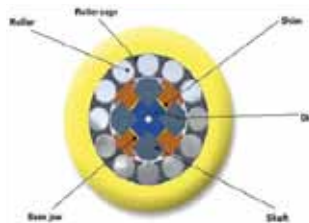
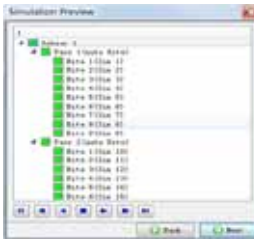
Cogging 及 Swaging 模块能够非常智能化、简易化地实现大型自由轴类件的拔长、径向旋锻的分析设置，采用向导式设置方法，专业性强。



自由锻 / 径向旋锻设置流程及工艺类型选择



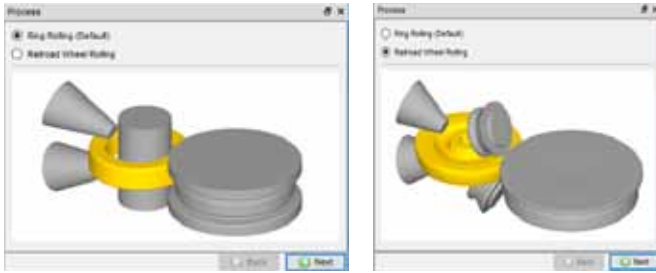
锻打工艺流程表（咬合、加热、锻打、旋转参数）



锻打过程动画预览

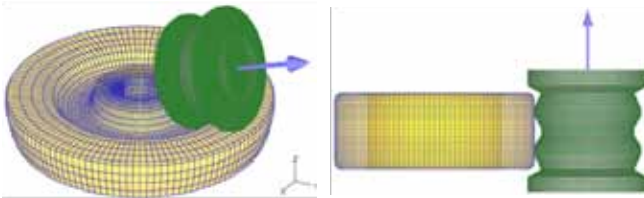
4. 环轧工艺分析方案及应用

- 具有专用环件环轧和火车车轮环轧模板，操作方式流程化
- 具有环件模型及模具模型自动产生方式
- 复杂及多数量模具可实现准确自动定位



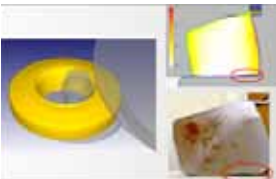
航空环件及火车车轮环轧

- 可完全采用全六面体网格及重划分技术，保证模拟结果的高精度

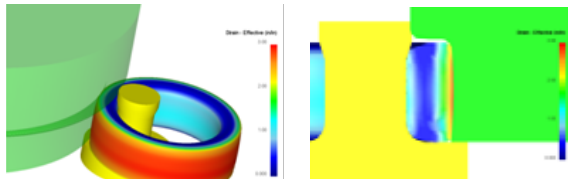


全六面体单元

- 同时进行轧制及温度的耦合分析
- 可任意设置模具旋转运动方式，实现多步轧制
- 可进行环轧变形过程模拟、模具应力及磨损分析
- 能够采用 Lagrange 和 ALE 方法计算环轧过程
- 可参数化定位轧辊间、轧辊与轧坯间的方位、距离、角度等
- 预测环轧过程中出现的折叠、凹坑、蝶形、壁厚不均、压扁、椭圆、锥度等成形缺陷



环轧缺陷分析



温度场及应变

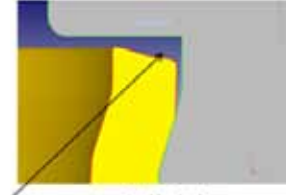
环轧应用案例

案例一：航天发动机环件碾环缺陷分析

- 项目描述
 - 通过模拟环轧成形过程，对设计方案的可行性进行分析，预测充型不满等缺陷
- 项目挑战
 - 材料在径向变形的同时进行整体旋转运动，计算较为复杂
 - 成形过程将受到摩擦、压力等的影响，接触方式复杂
- 解决方案
 - 边界条件
 - 采用全六面体网格，提高计算精度
- 重要价值
 - 通过模拟异型环件的碾环过程，预测成形缺陷，评估碾环工艺参数的合理性



工件最终的尺寸

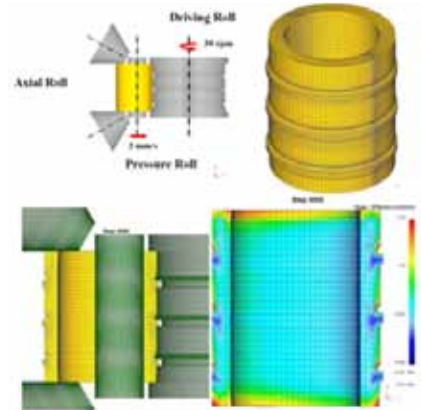


轧件缺陷图

轧件端部表面质量不好，出现凹凸现象

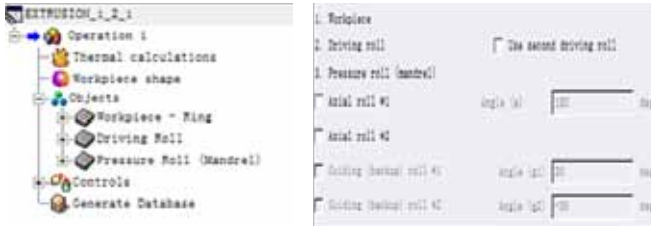
案例二：异性环件碾环尺寸分析

- 项目描述
 - 通过模拟异型结构件的环轧过程，对环件成形尺寸精度进行预测
- 项目挑战
 - 环件形状较为复杂，轧制计算过程局部网格变形大
- 解决方案
 - 采用全六面体单元进行热轧分析，提高传热计算精度
 - 采用热固耦合及刚塑性材料进行计算，预测成形尺寸及可能出现的缺陷
- 重要价值
 - 模拟环境完整轧制过程，预测成形尺寸，降低了复杂件的试模次数

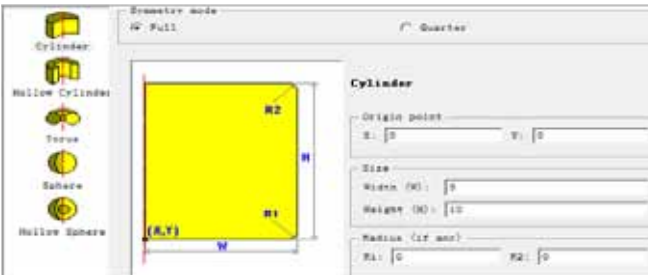


环轧主要分析流程

Ring Rolling 环轧专用模块采用全六面体网格算法，能够实现六面体网格的自适应 remeshing，保证高的计算精度。向导式设置流程具备专业化特点，简单易用。



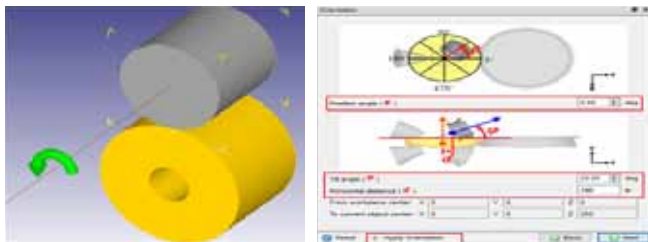
环轧模组设置选项



参数化建立轧件及轧辊模型



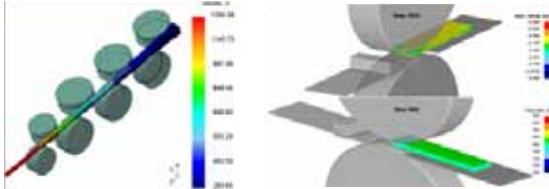
全六面体网格自动生成



自动定位及运动设置

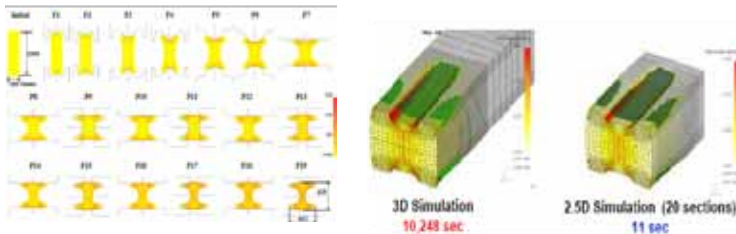
5. 型轧工艺分析方案及应用

- 具有专用轧钢模板，操作方式流程化，简单易学
- 可进行板材、管材、线材、型材及连轧机组的轧制分析
- 具有钢坯模型及轧具模型自动产生方式
- 复杂及多数量轧具可实现准确自动定位



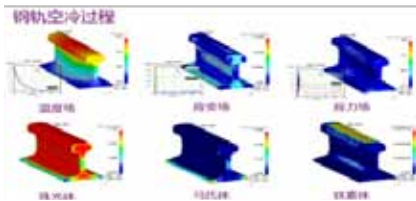
线材及板材轧制成形

- 可完全采用全六面体网格及重划分技术，保证模拟结果的高精度
- 同时进行轧制及温度的耦合分析
- 可任意设置轧具旋转运动方式，实现多道次轧制
- 可进行轧钢变形过程模拟、轧辊及磨损分析
- 可考虑轧制过程中的弯辊力、轧辊横向移动、轧辊下压量变化等方面的工艺参数的影响
- 能够采用拉格朗日及 ALE 算法计算轧制过程，具备独特而先进的 2.5D 算法快速预测多道轧制过程充型、应力应变、轧制力、扭矩、截面减缩率等结果，优化辊型及辊缝设计



2.5D 连轧模拟

- 可耦合热处理分析计算轧制过程中发生的冷却及组织转变现象



型材轧制过程组织变化

- 预测轧制过程中出现的折叠、塔型卷曲、壁厚不均、变形、流线紊乱等轧制缺陷

型轧应用案例

案例一：考虑弯辊力的轧板过程板型控制分析

● 项目描述

- 通过模拟轧辊在弯辊力的作用下预测板型及轧辊变形情况，分析对板型的影响

● 项目挑战

- 轧制过程中各轧辊的摩擦、力传递及弹性变形，并耦合轧制过程预测板材的变形，成形条件复杂

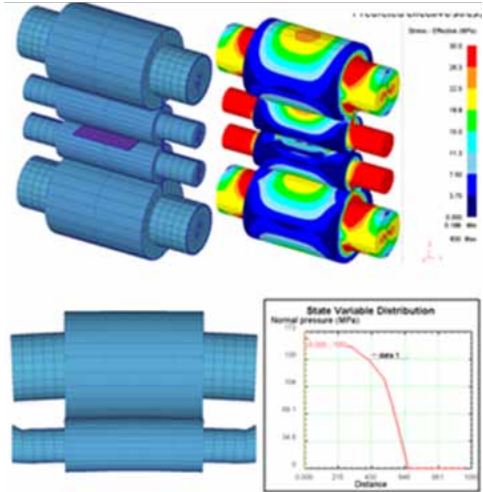
● 解决方案

- 采用弹塑性、弹性及热固耦合算法同时计算轧辊变形及板材厚度、温度场、轧

制力等的结果

● 重要价值

- 通过轧制模拟，达到控制板型、预测轧辊变形及轧辊受力情况，优化弯辊力、轧辊移动、轧缝尺寸等工艺参数



案例二：卷管工艺分析

● 项目描述

- 通过模拟卷管的多工序过程预测卷管形状

● 项目挑战

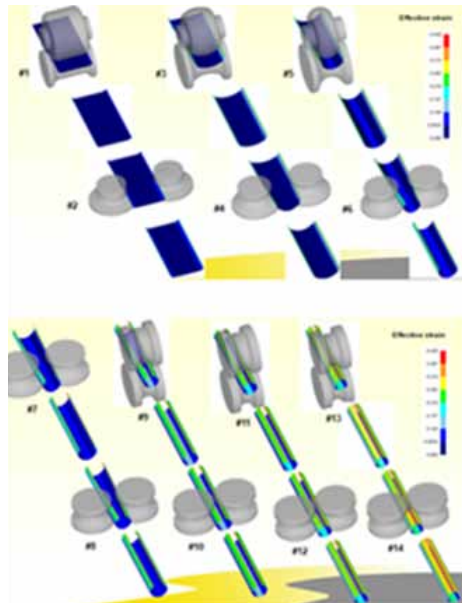
- 卷管过程工序多，各工序要实现计算结果的良好传递

● 解决方案

- 采用六面体单元，厚度方向分布三层单元结构
- 各工序实现连续计算，保证各结果的传递

● 重要价值

- 通过轧制模拟预测卷管过程中可能出现的异常变形缺陷，对于优化工序有着良好的指导意义



轧制分析主要设置流程

Shape Rolling 轧制专业模块具备了业内最为专业全面的轧制分析方法，能够最为快速、准确地计算各种型材的轧制过程，采用六面体轧制及 2.5D 轧制技术能够更为简便地实现轧辊设计及轧制参数优化。



轧制工艺类型及算法选择



辊型参数化设计

The image shows the 'Face Table' configuration window, which is used to define the sequence of rolling passes. It includes a table for defining pass parameters and options for simulation control.

	Pass 1	Pass 2	Pass 3	Pass 4	Pass 5	Pass 6	Pass 7
Pass direction	-Z	-Z	-Z	-Z	-Z	-Z	-Z
Rolling Type	Hot	Hot	Hot	Hot	Hot	Hot	Hot
Roll speed	Constant-1	Constant-1	Constant-2	Constant-2	Constant-3	Constant-3	Constant-3
Roll speed (rpm)	50	50	50	50	50	50	50
Roll gap (in)	0.01	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.01
Roller (in)	6	6	6	6	6	6	6
Rotation about X (deg)							
Clear defined work cycle							

设置轧制工序流程表

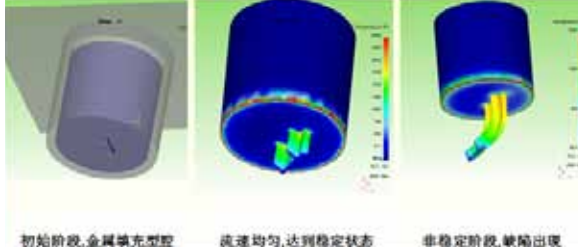
The image shows the 'Rolling Pass Result Table' which displays the results of the simulation for each pass. The table includes columns for Pass 1 through Pass 7 and rows for various performance metrics.

	Pass 1	Pass 2	Pass 3	Pass 4	Pass 5	Pass 6	Pass 7
Torque	709.60	978	1124.22	432.67	1010.79	896.5	713.08
Rolling Force	3095.57	4875.01	5911.47	1406.20	4214.27	3615.06	3646.40
Max Eff Strain	0.186	0.124	0.509	0.560	0.776	0.886	1.07
Max Damage	0.0228	0.0144	0.0324	0.0604	0.126	0.126	0.139
Stretch Area	23.1	21.2	19	18.2	16.3	15	13.6
Area Reduction(%)	0.47	0.22	0.90	4.35	6.30	9.09	6.33

2.5D 快速计算结果预览

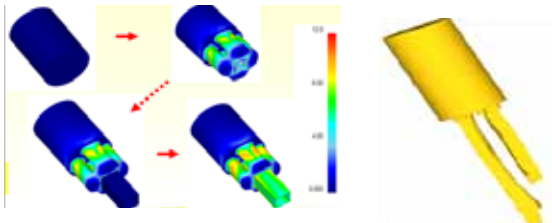
6. 挤型工艺分析方案及应用

- 高级 ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian) 及 S-S (Steady-state) 稳态算法适合复杂非对称截面型材挤压成形过程
- 具有向导式操作界面, 自动产生型材或挤型模具, 实现挤型设置过程的流程化管理, 操作简便
- 增量算法可模拟挤压过程材料分流及在焊合过程, 预测焊缝位置
- 增量算法可实现型材挤压成形的裂纹、扭拧、波浪及弯曲等缺陷



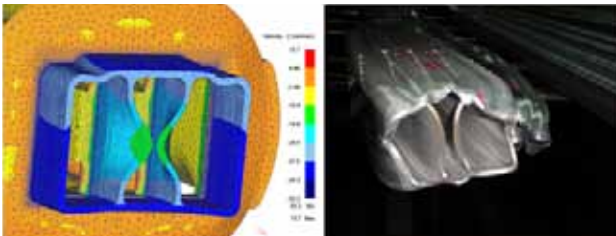
挤型工艺分析

- 优秀的单元重划及节点粘接接触能力可模拟焊合过程中焊接面的形成
- ALE 稳态算法可在很少的时间步内收敛, 快速获得流速、温度等场变量
- 增量算法与稳态算法相结合可高效模拟从棒料挤压 - 分流 - 焊合 - 挤出稳定端面的整个过程



增量法 + 稳态法管材挤压成形

- 分析挤压过程中再结晶现象及微观组织结构的变化

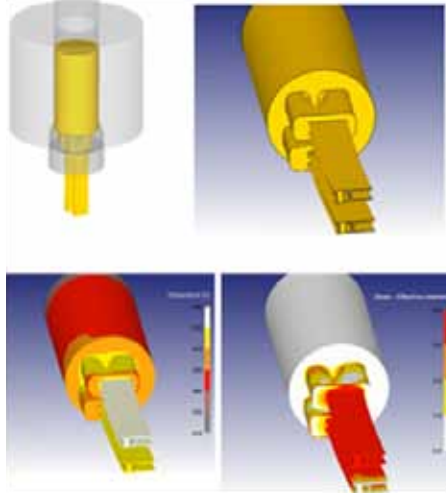


ALE 法预测挤型变形缺陷

挤型应用案例

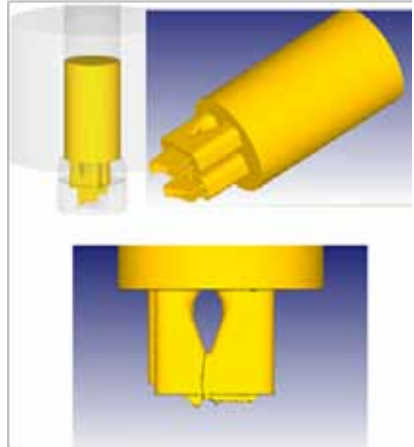
案例一：ALE 法铝型材挤型缺陷分析

- 项目描述
 - 通过模拟空心铝材成形预测出成形弯曲缺陷以及挤型过程中出现的温度场、应力应变及材料流速变化，评估挤型模设计
- 项目挑战
 - 材料变形过程复杂，双焊合室结构造成计算存在一定难度，采用传统计算方法则计算时间可能需要很久
- 解决方案
 - 采用 ALE 算法计算挤型过程
 - 快速计算型腔内材料流动，耦合温度场预测成形缺陷
- 重要价值
 - 通过先进的 ALE 算法能够快速模拟复杂型材的挤压过程，预测挤出缺陷，指导挤型模设计



案例二：LAG 法挤型分流焊合过程分析

- 项目描述
 - 通过真实模拟铝材分流焊合成形过程预测出成形缺陷以及焊缝的形成位置，计算成形力、材料流动及焊合情况
- 项目挑战
 - 材料变形过程复杂，涉及分流焊合过程，单元变形大，计算时间长，焊合过程复杂
- 解决方案
 - 采用 LAG 法模拟真实挤型过程
 - 计算材料的分流、焊合及挤出现象，耦合温度场预测成形缺陷及焊缝位置
- 重要价值
 - 通过传统 LAG 法能够预测挤型过程，分析焊合情况，指导焊合模的设计优化

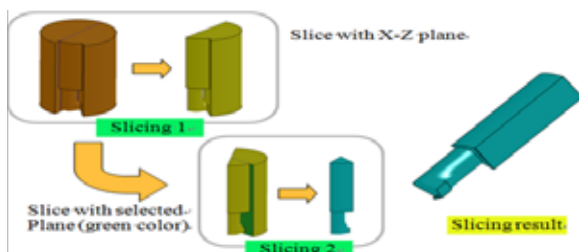


挤型分析主要设置流程

Extrusion 专用型材挤型模块能够采用拉格朗日及 ALE 算法计算型材挤型过程，布尔操作能够满足直接产生 ALE 型材网格的需要。



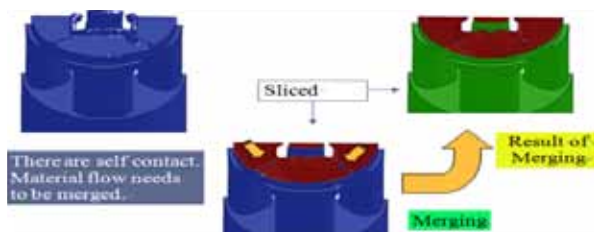
挤型操作流程及模型产生设置



ALE 法布尔操作生成型材



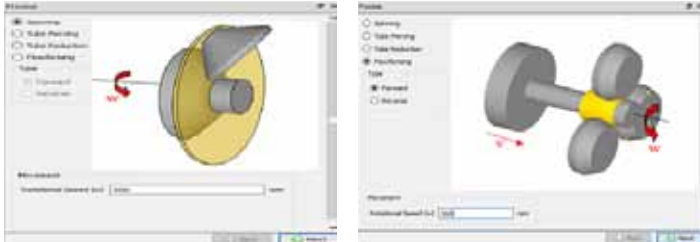
定义工作带



布尔操作直接合并焊合面

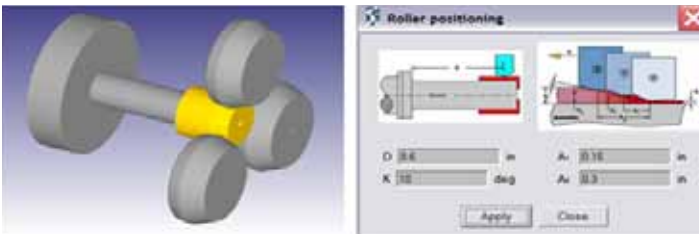
7. 旋压工艺分析方案及应用

- 可进行普通拉伸旋压、强力旋压、缩孔旋压等旋压工艺的计算
- 具有 Spinning, Flowforming 旋压类型的专用模块及操作流程
- 具有专用筒形件、弹壳等深冲压、旋压模板，操作方式流程化，简单易学



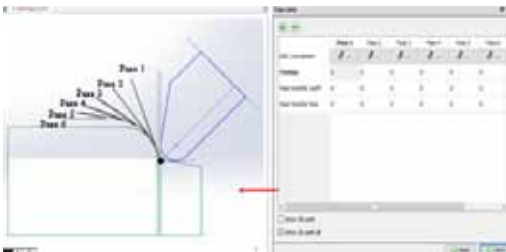
拉伸旋压及流动成形工艺模板

- 具有筒型坯模型及轧具模型自动产生方式
- 能够设置多组旋轮的同时运动，实现复杂运动轨迹的计算
- 复杂及多数量轧具可实现准确自动定位



旋压模具定位

- 可完全采用全六面体网格及重划分技术，保证模拟结果的高精度
- 具备 Lagrangian, ALE, Explicit 等计算方法，快速实现复杂旋压过程分析
- 可任意定义旋轮旋压路径，通过空间运动轨迹或 G 代码进行设置或导入
- 具有拉伸旋压多次旋压模拟功能，可以一次性设置旋压流程表，实现全流程模拟
- 优化工具旋转速度、进给深度、轧具尺寸等参数，预测成形形状、成形缺陷等

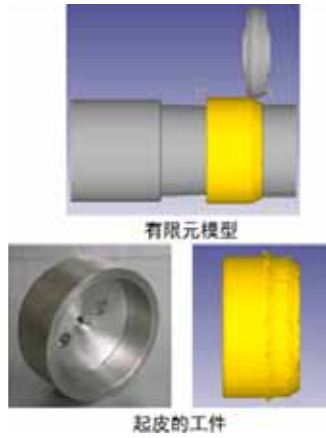


多道次旋压工艺流程表

旋压应用案例

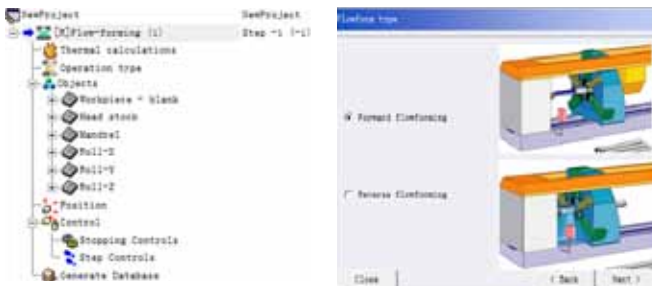
筒形件强力旋压分析

- 项目描述
 - 对薄壁筒形件的旋压成形过程进行模拟分析，预测毛刺、壁厚等结果，降低试模次数
- 项目挑战
 - 旋轮运动路径长、工件壁厚变形大，单元细化程度高
- 解决方案
 - 采用滚轮相对运动方式，网格应变细化标准计算材料大变形
- 重要价值
 - 通过设定成形工艺过程，预测出筒
 - 形件旋压壁厚、毛坯及应力应变结果，可指导进行工艺优化，从而得到最佳旋压结果



流动成形主要设置流程

Flow-forming 模块作为专业的旋压分析模块，能够根据旋压机床特点设置旋压模型及分析流程，可采用拉格朗日及 ALE 算法计算强力旋压过程。

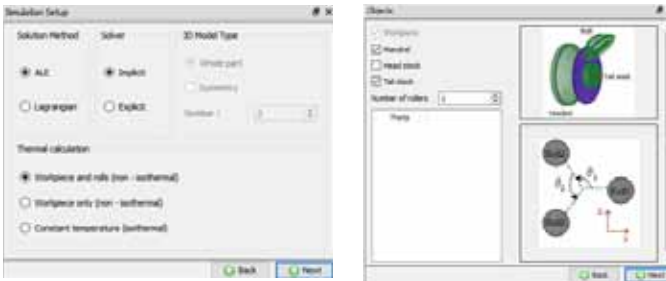


拉伸旋压成形主要设置流程

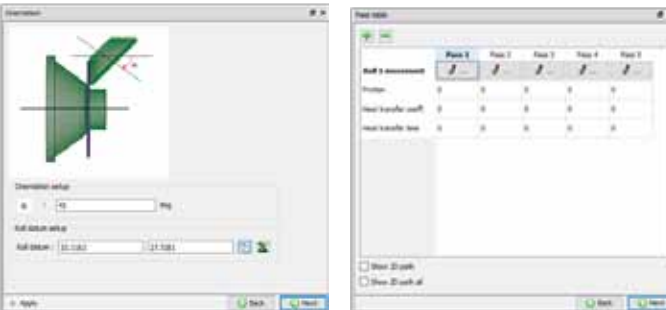
Spinning 模块可以作为普通拉伸旋压和强力旋压的专业分析模块。此模块具有流程化的操作方式，直接建立相关旋压模型，可选择性地使用 ALE、Lagrangian 和 Explicit 算法计算旋压过程，可设置旋压工艺流程表和任意旋压路径。



旋压分析设置流程及旋压类型选择



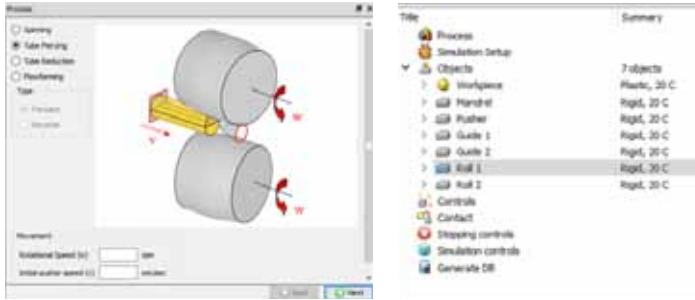
算法及模型种类选择



定义旋轮运动路径和旋压流程表

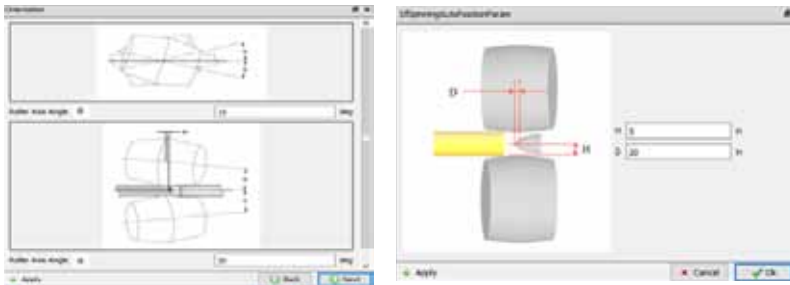
8. 斜轧穿孔工艺分析方案及应用

- 具备专业斜轧穿孔工艺分析模板和向导式设置流程，参数化建立轧机及毛坯模型
- 可采用 ALE 和 Lagrangian 算法进行成形过程的模拟计算，同时考虑热及变形的耦合计算，实现热轧穿孔模拟



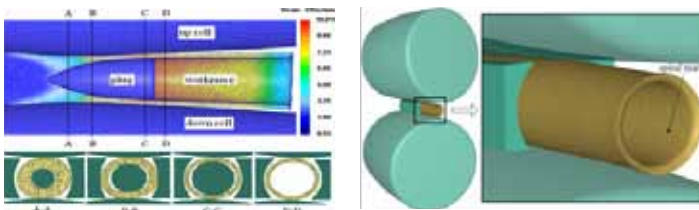
斜轧穿孔模板及设置流程

- 参数化设置轧辊定位角度、相对位置、芯轴转动、轧辊转动等数据



轧辊相对角度及轧制位置参数化设置

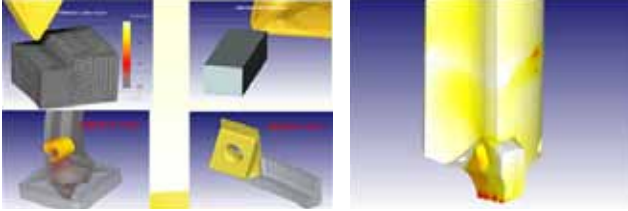
- 考虑张力减径、浮动芯棒的轧制特点
- 能够模拟曼内斯曼效应、内部表面螺纹、表面“青线”、壁厚不均、折叠、破裂等成形缺陷
- 可获得应力应变、轧制温度、轧制尺寸、壁厚等结果



斜轧穿孔内面螺纹缺陷

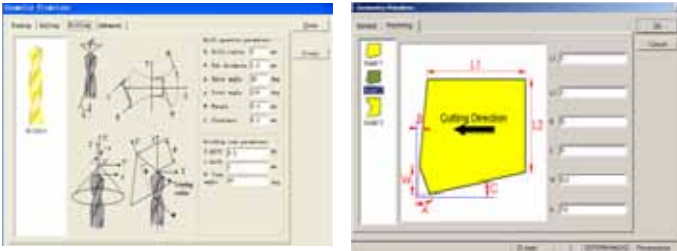
9. 切削工艺分析方案及应用

- 实现机加工过程中的结构-热耦合分析,具有完整的热传输模型,包括热对流、热传导、热辐射、摩擦生热、塑性功转热、微观组织潜热
- 可进行铣、刨、钻、车削等机加工分析,可模拟切削屑的产生及流动状态

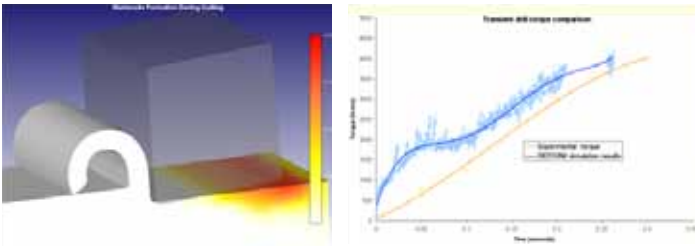


机加工切削屑模拟及刀具应力

- 具有刀具钢材材料数据库及涂层技术
- 具有多种车刀、钻头模型数据库及自定义方式,更方便地生成刀具模型

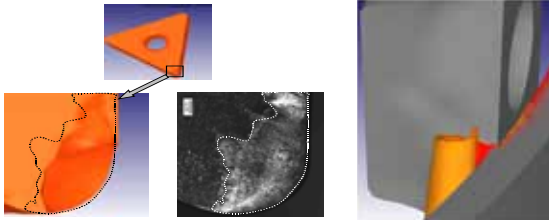


- 可进行多种加工方式的选择,实现多工序机加工的流程式分析设置
- 可按刀具加工路径编程方式灵活定义刀具的任意路径,通过多种切削路径方案优化最佳路径,提高切削效率
- 可进行机加工过程中刀具、工件温度场的分析,获得升温数据

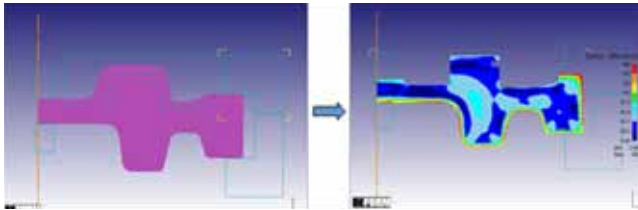


机加工工件温度场及切削力曲线

- 可进行加工过程刀具控制力的计算
- 可进行刀具的磨损、疲劳寿命分析
- 可进行刀具的应力应变及强度分析
- 可优化刀具结构及加工工艺参数，包括进给量、切削角度、切削速度及深度等
- 可进行机加工后机车卸载后的工件变形分析
- 可计算切削件的残余应力分布情况



刀具磨损分析及切削温度场

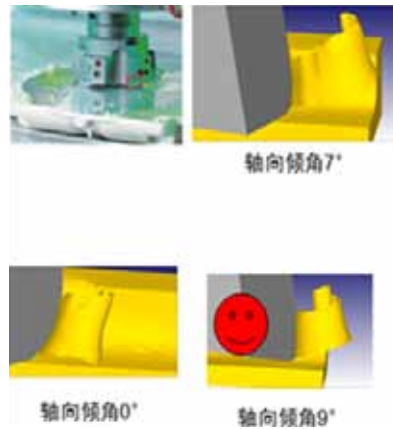


切削变形分析及切削残余应力分布云图

切削应用案例

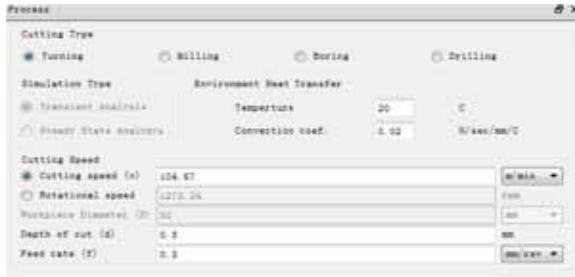
铣削刀具角度优化分析

- 项目描述
 - 刀具切削角度对切削屑形状及加工质量影响
- 项目挑战
 - 刀具切削变化角度小，工艺优化范围要求精确
 - 材料变形极大，切削屑壁厚薄
- 解决方案
 - 网格自适应细化解决超大变形切削屑难题
 - 网格自接触和裂纹计算获得准确的切削屑形状及断裂现象
- 重要价值
 - 预测不同切削角度下的切削屑形状，优化了切削角度，提高加工质量

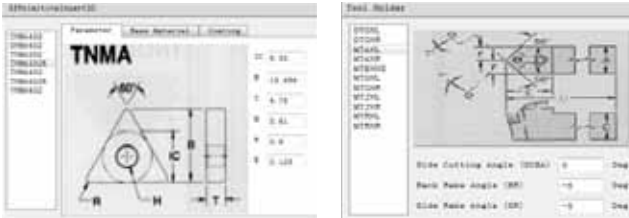


切削分析主要设置流程

Machining 及 Distortion 模块具有向导式的切削加工分析操作界面，能够满足 2D/3D 模型的切削过程及切削后形变的分析计算。



切削工艺类型及切削参数设置



参数化定义刀具及切削角度



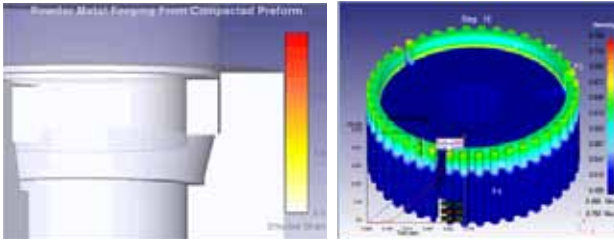
涂层厚度材料及毛坯参数化定义



刀具磨损设置

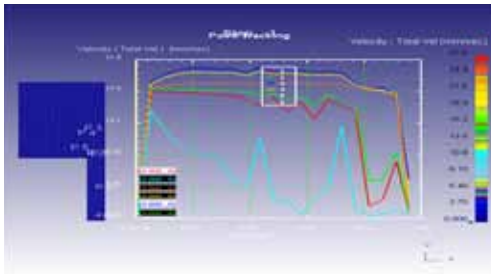
10. 粉末冶金分析方案及应用

- 能够进行金属粉末的模压、粉末烧结、粉末锻造成形工艺的分析
- 能够定义初始松装密度、分层松装密度的分布情况



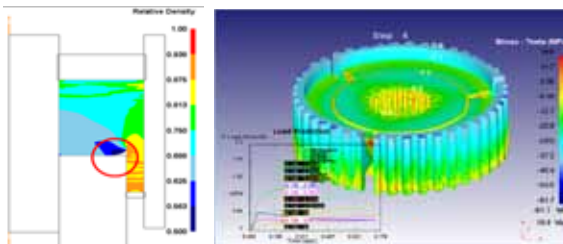
粉末压实密度分布云图

- 能够任意设置多组模具的不同时刻、不同速度的运动，实现粉末浮动成形控制
- 成形过程考虑粉末空隙的闭合、粉末的流动



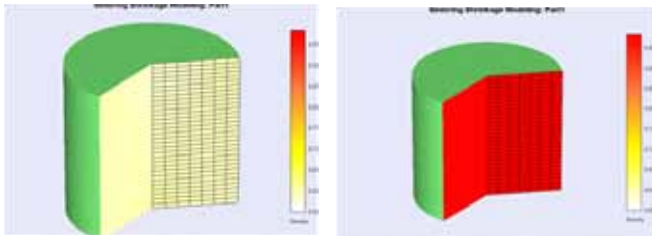
粉末流速变化曲线

- 考虑粉末与模具的摩擦及压力机的成形载荷；
- 能够预测压实过程的粉末密度变化、应力应变、裂纹、温度场、体积变化、成形尺寸等结果



压实裂纹及应力云图

- 能够通过粉末成形的结果优化模具运动方式、模具结构设计、压实工艺参数
- 能够施加温度环境模拟粉末材料压实后的烧结过程
- 预测烧结的各种结果，包括应力应变、体积变化、烧结后的尺寸、烧结密度等结果
- 能够进行烧结体的后续锻造分析，预测粉末锻造所产生的各种结果

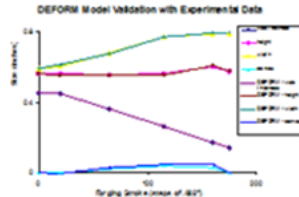
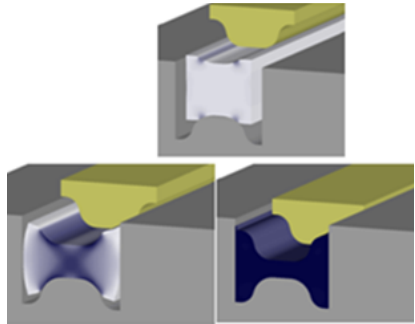


粉末烧结前后密度变化云图

粉末冶金应用案例

连杆粉末锻造分析及尺寸预测

- 项目描述
 - 通过模拟连杆粉末的压实锻造过程，预测成形后的密度与尺寸，并与实现数据进行了对比，验证了计算准确性，为连杆粉末成形的工艺定型提供了指导
- 项目挑战
 - 粉末的流动在压实过程中因松装密度问题在压实过程中变得不易控制，体积收缩造成各部位的成形尺寸变化很大
- 解决方案
 - 采用多孔材料模型计算压实锻造分析过程
 - 基体材料的流动特性结合空隙材料本构特性进行成形密度和形状的预测
- 重要价值
 - 通过分析连杆的粉末锻造过程，准确预测密度变化及各部位成形尺寸，通过优化成形工艺参数实现所要求的密度及尺寸分布

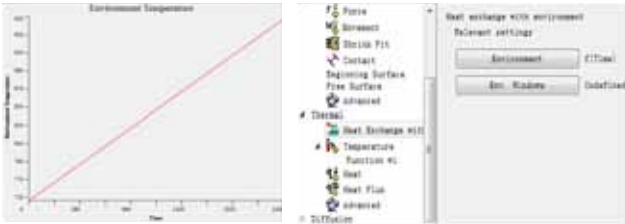


粉末压实及烧结主要分析流程

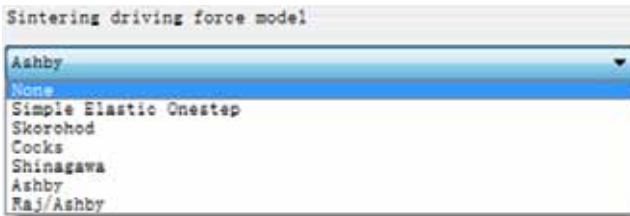
Power forming 采用 porous 多孔材料本构模型进行粉末压实及粉末锻造分析，采用 cocks、ashby 等烧结模型，考虑粉末机体及初始密度、粉末颗粒尺寸、自由面总能、晶粒边界能、形核边界能等因素的影响。



粉末压实模型及初始松装密度设置



设置传热边界



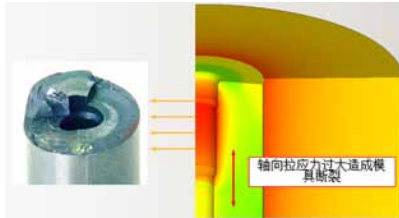
选择烧结模型



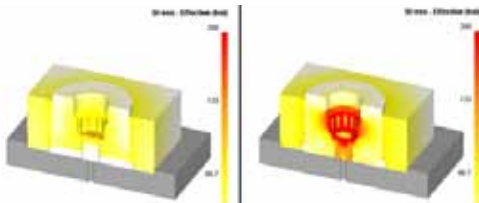
设置烧结时间

11. 模具强度分析方案及应用

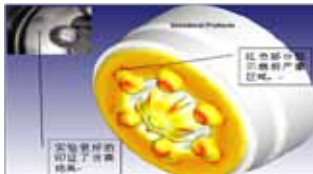
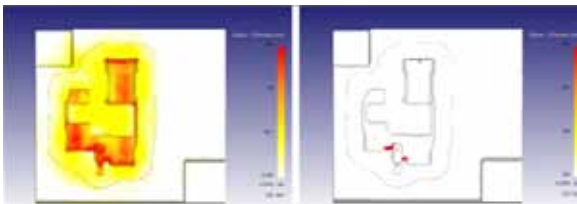
- 能够进行模具及工具在锻造、轧制、挤压、冲压、切削等过程中的应力分析
- 具备成形过程耦合模具应力分析方法及一步法模具应力分析法的计算能力
- 可模拟单个模具及组合模具的受力应力分析



- 可考虑模具过盈装配、滑片装配等形式的模具应力分析
- 能够计算不同过盈量装配的初始应力分布



- 分析受力的最大位置，通过等效应力及各个方向的主应力评估模具产生裂纹的趋势
- 通过应力集中位置指导模具的横向及纵向组合设计
- 能够考虑在成形过程中模具的弹性变形对成形结果的影响
- 可计算成形过程模具的磨损情况，预测磨损量及磨损区域面积



模具应力分析应用案例

项目一：模具应力及尺寸优化分析

● 项目描述

- 初始模具设计造成其凸模圆角处受力过大，循环成形载荷条件下产生断裂重新设计后的模具结构在该处所受力得到降低，很大程度延长了使用寿命

● 项目挑战

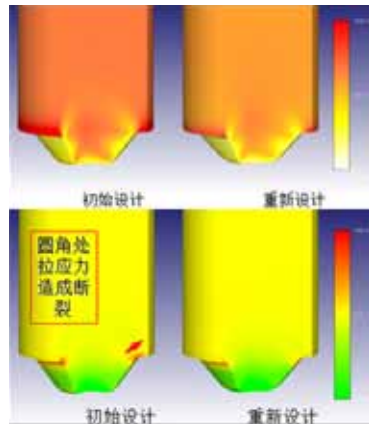
- 成形过程模具受力情况复杂
- 对于载荷的边界条件需要完整施加

● 解决方案

- 模拟真实成形过程，计算模具最大受力时刻
- 获得模具在成形载荷下的应力结果，通过拉应力数值作为模具产生危险断裂的判断标准

● 重要价值

- 通过模具受力状态分析，预测各部位应力分布情况，优化模具结构从而降低了模具局部应力，延长了模具使用寿命



项目二：组合模具应力及结构分割优化分析

● 项目描述

- 通过模拟初始设计组合模具的应力分布，获得应力集中部位，根据不同的应力集中分布情况进行模具分割组合设计，从而降低模具应力延长其使用寿命

● 项目挑战

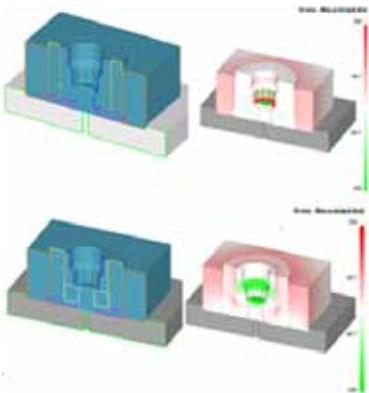
- 模具组件多，受力状态复杂，存在各组件间的过盈装配及滑片装配条件，接触现场复杂

● 解决方案

- 采用一步法施加模具受力条件
- 考虑各组件间的过盈及滑片装配情况，预先计算预应力，获取环向应力及轴向应力集中位置及数值，采用横向和纵向组合及改变过盈量的方式进行模具结构优化，降低局部应力

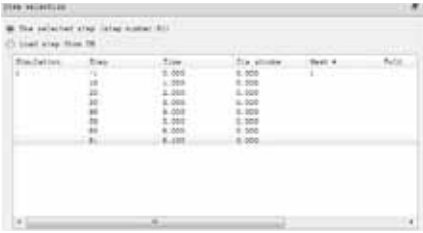
● 重要价值

- 通过分析模具的应力集中情况，指导了模具分割设计，改善了受力状态，延长了模具使用寿命



模具应力分析主要设置流程

Deform tool stress 功能能够采用一步法进行应力分析，也可采用耦合锻造过程的方法进行应力分析。



导入载荷最大的成形 step 数据



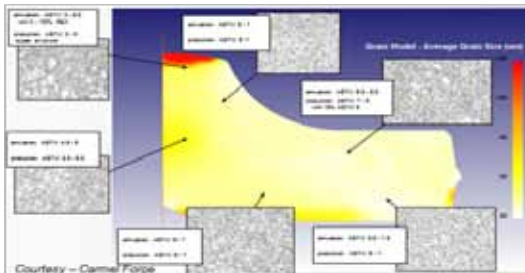
添加模具组件



自动将成形模具受力加载到模具上进行计算

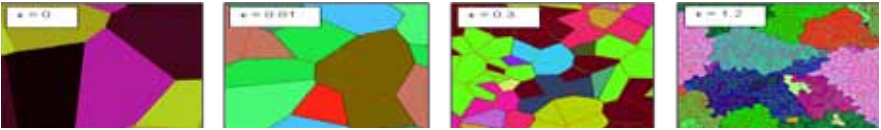
12. 微观组织分析方案及应用

- 模拟微观组织在金属成形过程、热处理过程及加热、冷却过程中的演变
- 模拟晶粒生长，分析整个过程的晶粒尺寸变化
- 计算成形及热处理过程中的回复再结晶现象，包括动态再结晶、中间动态再结晶及静态再结晶
- 通过微观演变预测总体性能，避免缺陷
- 具有多种组织计算模型，包含典型的 JAMK 方程、CA 元胞自动机、Mesoscale 中尺度及蒙特卡洛方程



热锻微观组织晶粒尺寸云图

- 用户可二次开发自己的晶粒演变模型用于微观组织计算
- 具有元胞自动机法可现实微观组织相图、晶粒尺寸、晶界及晶向，实现微观组织演变的可视化观测
- 计算成形微观晶体结构演变，获得极图、反极图等结果

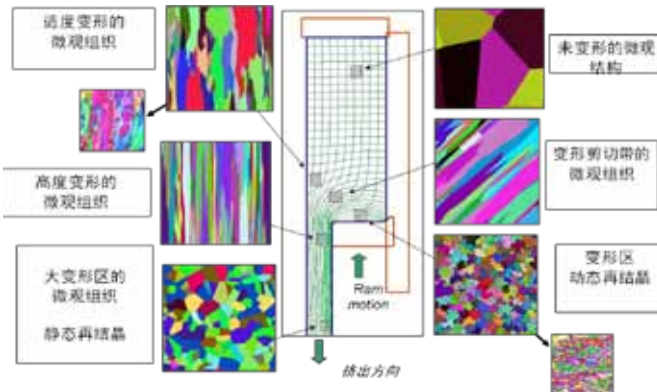


微观组织演变相图



微观结构计算

- 预测金属成形过程中各部位的晶粒尺寸变化及晶粒结构的变形

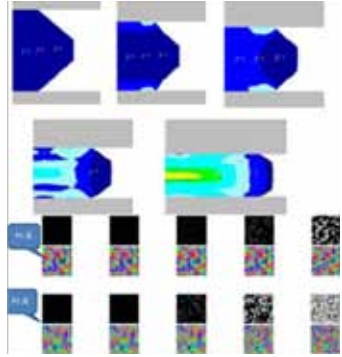


金属成形晶粒尺寸分布

微观组织模拟应用案例

自由锻过程晶粒组织演变分析

- 项目描述
 - 自由锻过程中晶粒的细化有利于提高材料的整体性能，晶粒尺寸的预测能够指导自由锻工艺的优化从而获得更加高性能的产品
- 项目挑战
 - 自由锻过程中发生回复再结晶现象，随着塑性及温度的变化晶粒尺寸发生演变，整个过程从宏观到微观具有很大的计算难度
- 解决方案
 - 采用 CA 元胞自动机法耦合自由锻过程进行分析考虑结构、热、微观组织的耦合计算
- 重要价值
 - 通过成形过程的微观组织分析，预测了晶粒尺寸的演变，通过优化自由锻工艺获得理想的晶粒和温度场数据，有利于提高产品的机械性能



微观组织分析主要设置流程

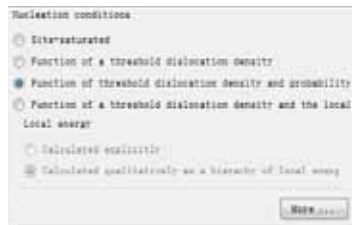
Deform Microstructure 采用不同的晶粒计算模型会有不同的分析设置流程，CA 元胞自动机法是最为流行的计算方法。



CA 法分析流程及关注点设置



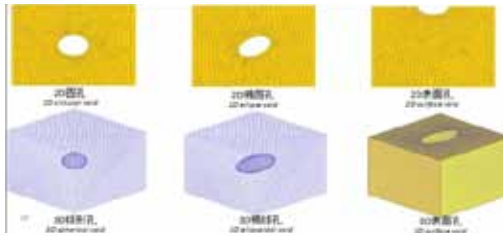
设置初始晶粒（可导入 EBSD 图）及位错密度参数



选择回复再结晶及形核条件

13. 微观孔洞分析方案及应用

- 采用子模型的宏观尺度模拟材料内部微观孔洞随材料成形的变形流动过程
- 参数化建立微观孔洞的孔型、孔径，直接产生三维孔洞模型及单元

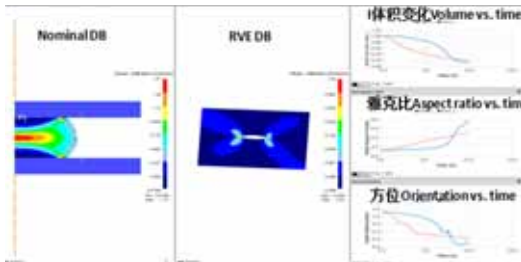


微观孔洞模型

- 采用成形计算结果，指定初始孔洞位置，直接关注孔洞子模型的变形结果，使得微观孔洞模拟更为准确快速
- 能够设定多个孔洞的形状、尺寸、体积比、分布，包括初始织构的参数
- 预测孔洞周边局部应力应变、裂纹、孔洞形变及闭合、体积变化、方位、的演变
- 可用于铸造后毛坯内缩孔缩松分布的设置，进行后续工序如自由锻等工艺的孔洞闭合流动分析，从而实现铸锻一体化模拟



微观孔洞类型

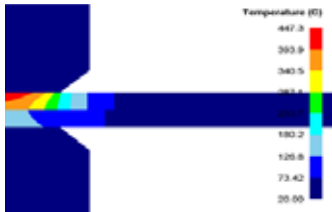


孔洞变形模拟结果

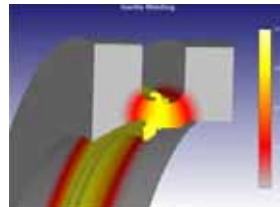
14. 焊接工艺分析方案及应用

固态焊 - 惯性摩擦焊及线性摩擦焊

- 具有材料的固体塑性焊接工艺分析能力，可实现摩擦焊（搅拌摩擦焊、惯性摩擦焊、压力焊、旋转摩擦焊等）、电阻焊（点焊、缝焊、对焊、凸焊）。

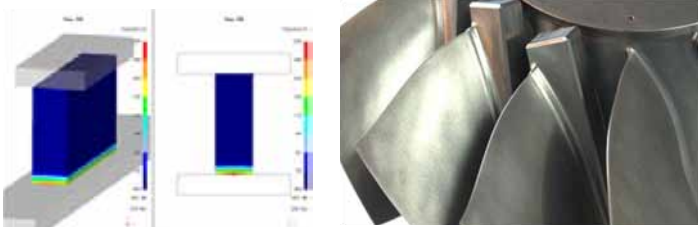


电阻焊过程分析



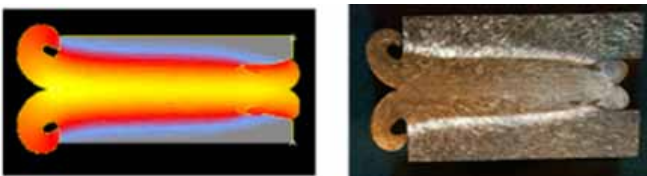
摩擦焊过程分析

- 计算焊缝温度场、应力应变、扭曲变形、焊缝形状等焊接数据
- 实现焊接过程焊缝微观组织的模拟计算，包括晶粒尺寸、回复再结晶、组织相转变等，评估焊接性能
- 能够采用 2.5D 技术快速计算线性摩擦焊工艺过程，预测温度场焊合力、焊缝处变形等结果



线性摩擦焊

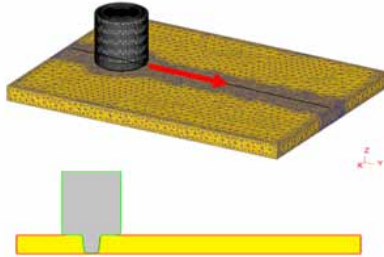
- 优化焊接工艺参数，包含焊接位置、焊接顺序、压力、电流、速度、时间等
- 焊接接头质量取决于外加轴向压力、初始飞轮 RPM 转速和能量、界面温度、顶锻距离、飞边和残余应力



模拟和实际结果一致

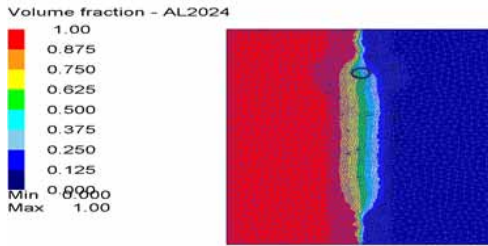
搅拌摩擦焊

- 具备 ALE 网格重划分功能，通过较少次数的细化实现搅拌移动过程的材料变形处理



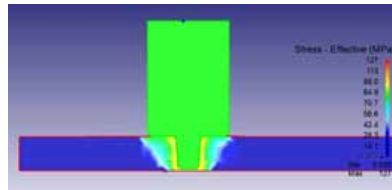
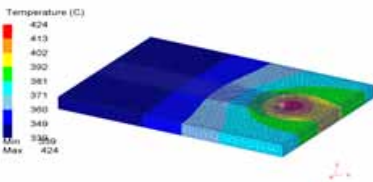
ALE 法 FSW 网格处理

- 能够在同一个模型里定义不同的材料类别及混合相，从而实现搅拌焊过程中焊缝区域的材料混合计算



焊缝区域不同材料相的混合百分比

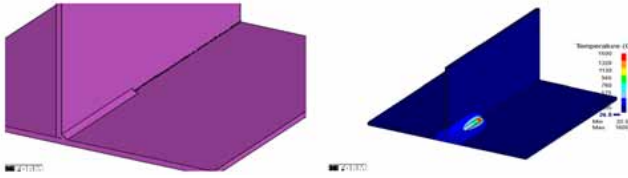
- 能够计算搅拌焊材料流动方向及速度，分析不同的搅拌转速、搅拌头移动速度、搅拌头结构对搅拌焊结果的影响
- 能够计算搅拌过程应力应变、温度场数据；能够同时考虑搅拌头搅拌过程下压力对焊接结果的影响



焊件应力及温度场分布

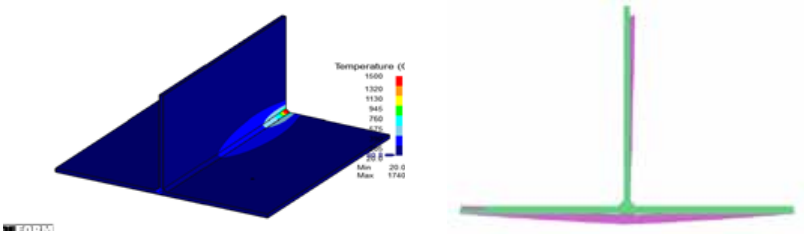
熔焊 - 电弧焊及高能电子束焊等

- 具备 2D 高斯热源、3D 高斯圆锥热源、双椭圆热源
- 可实现多条焊缝的分析，可根据焊缝分布定义热源进入方向
- 焊接过程采用单元堆积实现焊缝的逐渐形成过程，该过程同时考虑焊缝熔滴的初始温度及对焊件和熔池的传热



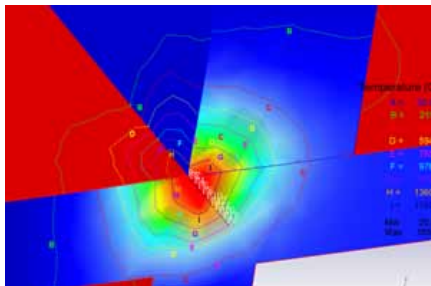
焊缝形成过程

- 能够设置节点约束或建立夹具分析及优化焊接夹持位置对焊件变形的影响
- 能够计算焊接及冷却过程温度场、应力应变、变形数据



焊接工件温度场及变形

- 能够计算熔池固液相变、组织转变现象，模拟熔池尺寸；考虑不同电压、电流和热效率对热源能量的影响



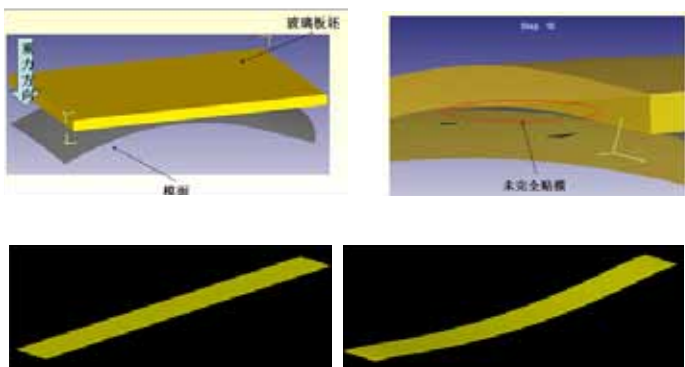
熔池区域及温度等值线图

15. 玻璃成形工艺模拟应用

以汽车用玻璃为主的玻璃成形工艺包括落模成形、热弯成形、模压成形、辊压成形等。这些工艺过程中，具有热粘弹塑性特性的玻璃在高温接近软化状态下进行成形，重力作用也将对其成形结果产生影响。与其他工业产品成形类似，玻璃的成形在成形工艺及模具设计不合理的情况下仍然会产生成形缺陷，如贴膜不紧、形状未完全成形、表面裂纹等。Deform 可对上述玻璃成形工艺进行模拟。

● 玻璃落模成形分析

玻璃落模成形分析一般在将玻璃加热到 500C 以上，玻璃材料呈现软化状态，在重力作用下产生弯曲并贴合模具表面形成一定形状的产品。通过对玻璃落模成形过程数值模拟计算，预测不同温度及模面设计条件下玻璃的成形结果，预测贴合间隙等缺陷，优化工艺参数。



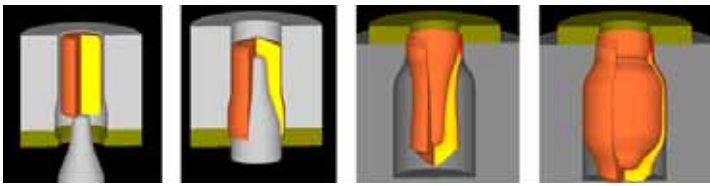
玻璃落模成形过程及应变分布云图

贴膜成形不足的缺陷预测

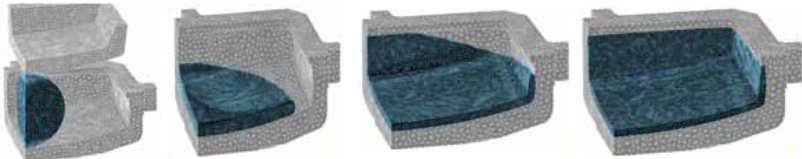
● 玻璃模压成形分析

DEFORM 玻璃成形数值模拟能够用于获得玻璃模压成形过程中的物理现象，这些现象是实验很难预测的。DEFORM 玻璃模压成形需要考虑的要点包括：

- 金属模内的形状尺寸变化。玻璃产品形状尺寸与上下模的闭合间隙相关，而模具在冷热状态下的尺寸可能产生变化。可以通过 CAD 建立模具冷温下的形状，通过考虑金属热膨胀的热计算可以获得模具的温度分布及热变形。
- 模压过程的玻璃材料流动行为。在设计好的工艺参数下玻璃是否完全填充模具型腔是模压成形的重要方面，成形过程中，有些地方可能因流动特性而更快地填充，而其他地方有可能无法完全充型。



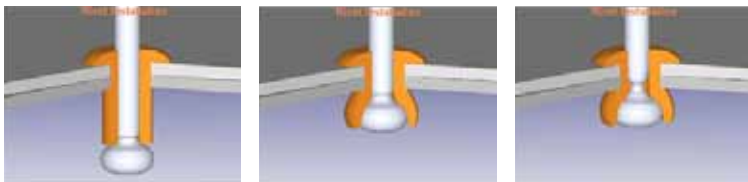
- 材料充型过程和停留过程玻璃材料的温度分布情况。玻璃需在一个可控的速率下进行冷却以便使其表面层冷却避免玻璃产品因热损耗而产生畸变。但非常快的冷却速率也将产生不理想的热应力现象。
- 模具的温度分布。过冷的模具表面可能造成玻璃产品的局部应力而产生扩展性裂纹。另一方面，过热的模具表面可能造成玻璃粘在模具表面上。
- 玻璃应力。与模具接触位置的玻璃在成形和停留过程中会产生较为明显的热变化。在某些部位可能达到其流动温度点以下，因此粘性和结构松弛现象成为玻璃应力计算的重要影响因素。
- 重力影响。因模压前期重力作用造成的玻璃变形将考虑在计算中。



玻璃模压成形材料流动分析

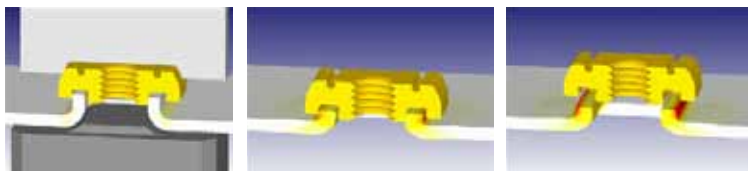
16. 铆接与螺栓连接工艺模拟应用

- 能够进行各型螺钉、螺母、螺丝等的连接件及紧固件铆接工艺分析
- 反映铆接、攻丝、压入等的变形过程，可计算多个变形体同时变形、接触、结合等结果



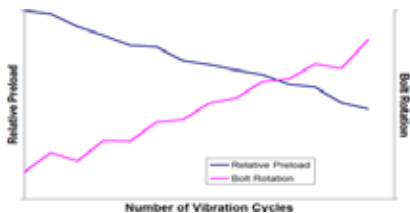
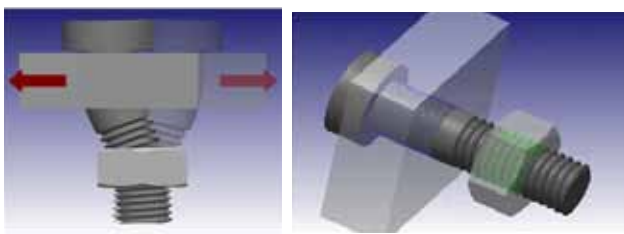
铆钉铆接成形

- 预测铆接等工艺的变形效果、铆接力、扭矩、铆接过程所产生的应力应变、裂纹、升温等结果
- 能够同时考虑螺母、螺钉等与被铆接体如钣金、孔洞等的协同变形，预测铆接效果



穿刺螺母安装模拟

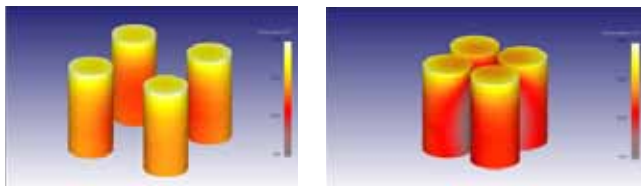
- 优化连接件或紧固件结构设计，使其达到最佳的铆接效果
- 可实现螺栓连接的循环振动载荷加载边界条件，计算螺栓预紧力衰减、螺母松弛滑移结果



螺栓预紧力松弛分析

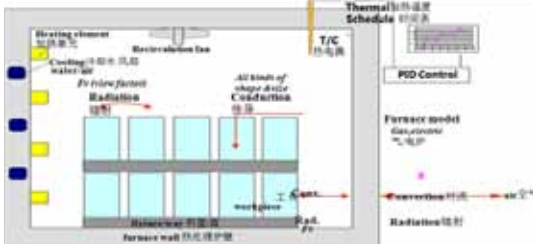
17. 加热炉加热工艺模拟应用

- 反映工业加热炉内工件的加热环境、加热过程，模拟产生更真实的炉内温度
- 能够考虑被加热件不同装料方式、加热时间等条件下的工件升温结果



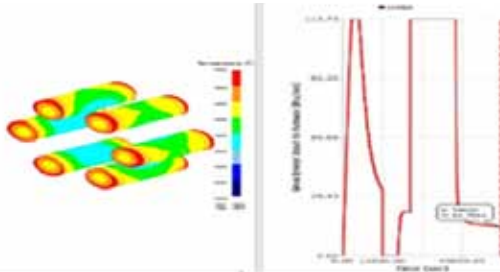
工件不同装料方式加热温度场

- 加热设备包括加热炉种类、尺寸、炉壁材料及厚度、燃料、冷却管道、风机、料筐 / 托盘等实际结构
- 考虑 PID 模块对炉温的控制，典型的 PID 控制单元保证加热炉在期望的设定点
- 遵循能量守恒，估算能源消耗的效率成本，包括总投入、炉内热存储、热损耗、炉壁损耗、风机冷却、风机加热、冷却系统热损耗等



加热炉参数设计

- 加入强制对流换热模型，可根据循环风机自动计算对流传热系数
- 能够快速简便地设置多个工件模型，运行快速设置带固定装置的多个工件
- 可获得工件内外部随时间变化的升温曲线、能耗曲线等数据
- 评估加热炉各参数设计，优化装料及加热时间



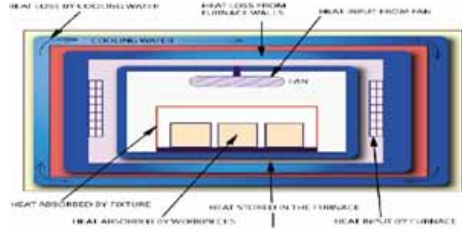
加热温度及耗能曲线

加热炉加热分析主要设置流程

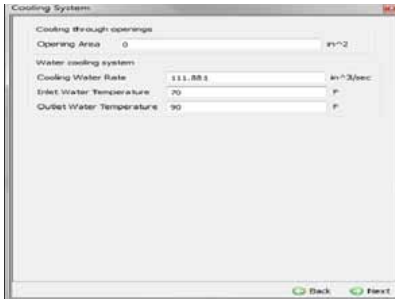
Deform Furnace 模块采用流程化操作方式，参数化建模及加热炉参数设计，快速计算多个工件在炉内的加热过程，预测温度及能耗等结果。



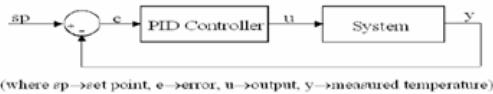
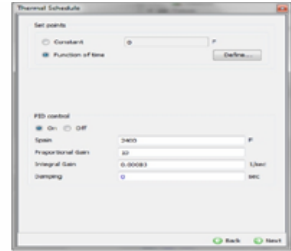
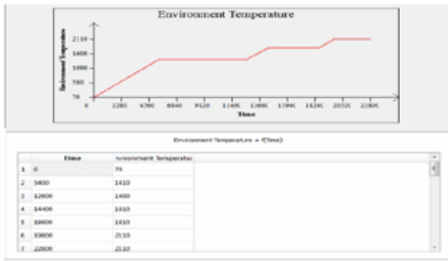
工件装料方式定义



加热炉型及燃料参数定义



冷却管道及风机参数定义



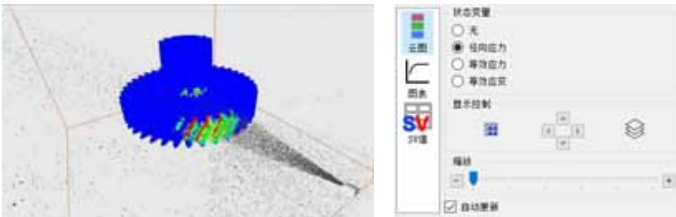
PID 控制单元定义



18. 喷丸强化工艺模拟应用

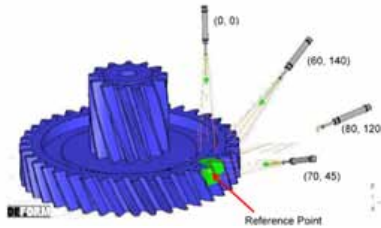
Deform Shot Peen 喷丸专用工艺模拟系统具备向导式、专业流程化的操作方式，喷丸工艺流程设置简便易用。Deform 集成加工系统各成形工艺模块能够与喷丸工艺模块无缝集成，可将锻造、热处理等工艺模拟结果导入到喷丸工艺模块中，实现多工序加工结果数据的良好传递，进而更加准确地评估后续喷丸工序对产品的应力强化结果。

- Deform Shot Peen 喷丸工艺模拟系统可设置喷丸工艺的多种条件，包括弹丸尺寸、质量，喷丸持续时间、质量流量、喷枪气压、出口速度、喷丸冲击角度变化等
- Deform Shot Peen 可独立快速研究不同尺寸参数喷丸及冲击次数、角度及效率对产品材料的影响，获得冲击应力分布、残余应力与喷射角度、材料表面不同深度的结果



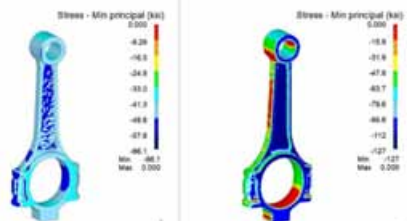
喷丸工艺参数快速评估

- 喷丸过程中的产品固定及约束，可设置任意位置的节点约束、导入夹具等固定方式
- 可导入不同工艺的模拟结果进行后续喷丸工艺分析，获得各种残余应力与冲击结果的数值关系，如垂直速度、冲击角、打击次数、打击密度、暴露时间、冲击区域等
- 可设置喷嘴直径及定义多个喷嘴同时对不同区域进行喷射，可实现喷嘴参数化定位



多喷嘴及喷射区域定位

- 能够获得喷丸工艺的多种结果数据，包括工件表面冲击速度、冲击角度、区域打击量、打击密度、残余应力、应变等结果



连杆喷丸工艺残余应力分布云图

19. 增材制造工艺模拟应用

Deform Additive Manufacturing 需要同时处理多尺度和多物理问题，并且能够将增材与切削工艺联合分析，能够实现：

AM 整体模型

- 建立路径和热源
- 温度变化、残余应力及变形
- 支持不同的固定方式

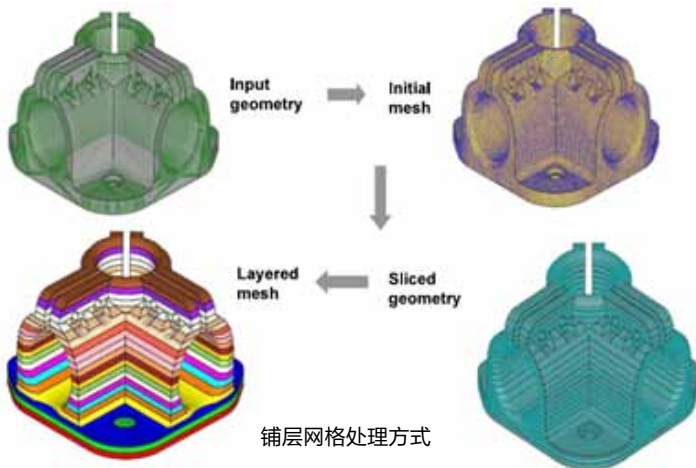
局部微观模型

- 熔化 / 重熔，凝固，相变过程
- 金属熔池特征与孔隙度
- 微观结构 - 属性 - 性能模型

AM 后处理

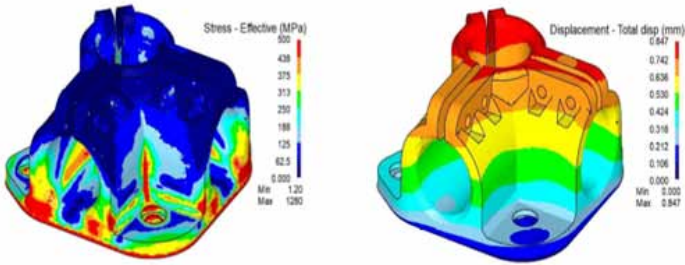
- HIP- 扩散、空隙、变形
- 切削 / 移除固定方式 - 变形

Deform Additive Manufacturing 具有可直接进行网格分层的处理方式，能够根据铺层厚度、产品尺寸自动进行几何及网格的层数分割划分，网格可直接采用四面体单元及六面体单元，同时具备针对 AM 工艺计算的 VOXEL mesh 网格，铺层扫描方式分为用户自定义路径铺层及逐层铺层方式。



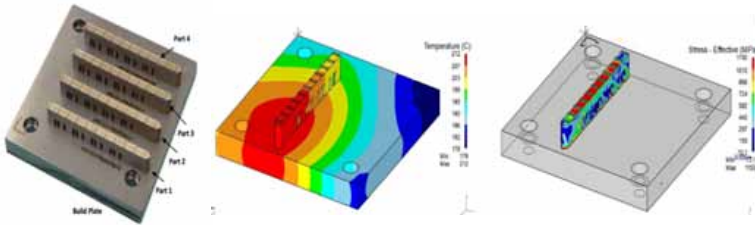
在热源模型方面，具备 3D 高斯圆锥热源及双椭圆热源，能够反映铺层过程热源输入类型及移动传热方式。

通过铺层过程温度 - 结构 - 微观相变耦合计算，预测铺层过程温度场变化、应力应变、结构变形、融化凝固现象、组织成分分布等结果，并且连续计算铺层完成后冷却过程及最终变形结果。

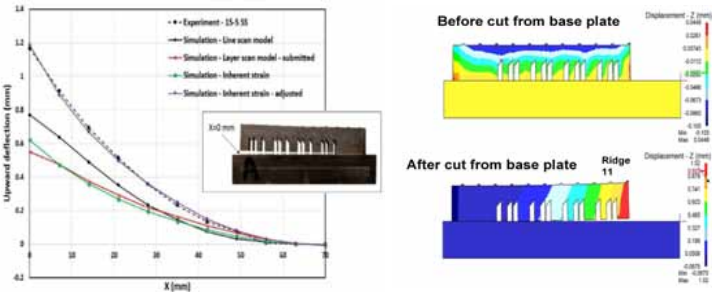


铺层冷却后结构变形量及应力

在激光粉末床熔炼工艺中，能够同时计算基底或固定物的温度场。



AM 温度场云图



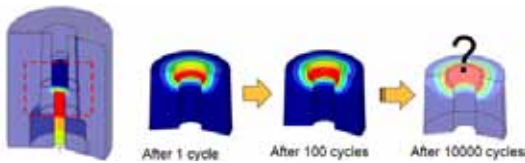
从基底切除后的产品变形量与实验对比

20. 模具磨损寿命模拟应用

锻造模具经过几百上千次使用后会因磨损逐渐加剧而产生磨损区域几何形状改变、体积减少等缺陷，从而影响后续锻件的成形尺寸精度及模具使用寿命。

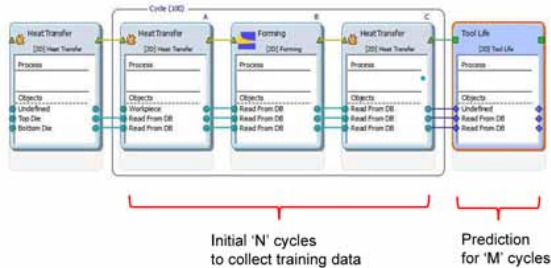
可采用 Deform 的磨损模型进行前几次锻造次数的计算，在磨损计算方面，温度对后续磨损累积作用更加明显，因此可通过计算多次锻造条件下的模具传热热流进行多次磨损的稳态预测。系统将预测模具磨损并进行模具几何更新，在采用特殊循环载荷求解器进行锻造循环条件下的模具磨损及应力计算。

模具温度会随着锻造的进行，在前几次锻造时将产生明显变化，在数次锻造后可保持温度的稳定状态。

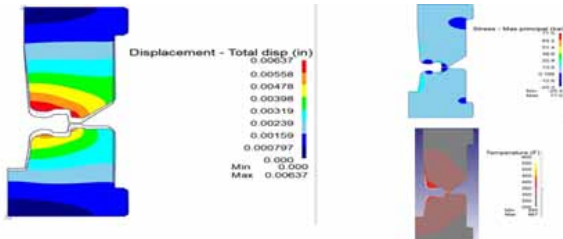


模具锻造多次循环后磨损

Deform 通过计算前期几次锻造的模具热流变化，通过拟合算法获取后续数次模具热流稳态曲线，然后通过热流循环及磨损模型进行几百上千次的锻造条件下磨损计算，预测最终的模具磨量、应力、温度等结果，用于苹果模具使用寿命。

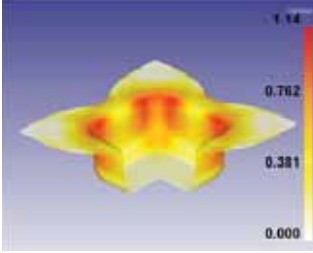


模具磨损寿命分析设置流程

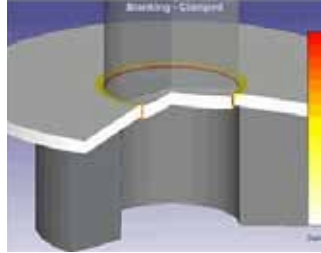


经过 2250 锻造使用后的模具应力及磨销量云图

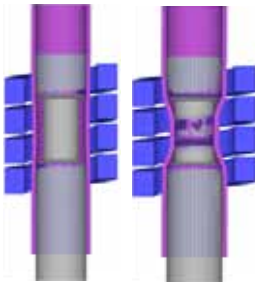
21. 其他类型成形工艺模拟应用



冲压



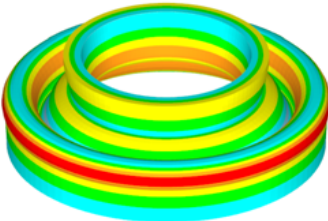
冲裁



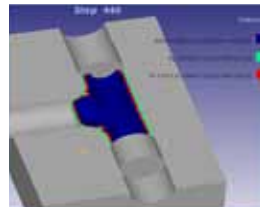
电磁成形



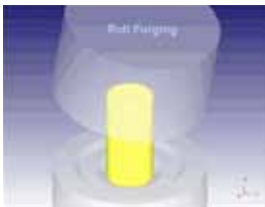
旋铆



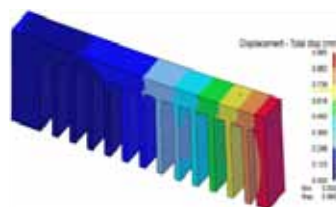
橡胶变形



内高压成形



摆碾



3D 打印

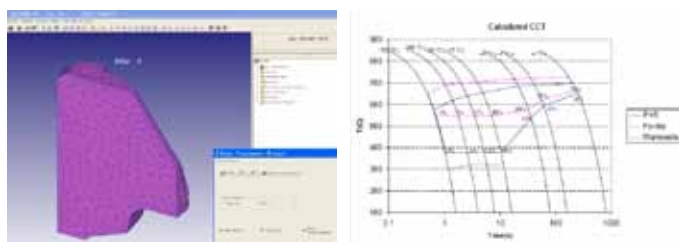
► 热处理工艺仿真分析

1. Deform HT 热处理工艺仿真分析软件简介

Deform HT 是一套专业的金属热处理工艺仿真软件，是一套基于有限元分析方法的专业工艺仿真系统，用于分析金属热处理工艺。二十多年来的工业实践证明了基于有限元法的 Deform HT 有着卓越的准确性和稳定性，模拟引擎在结构、温度和微观组织及产品缺陷预测等方面同实际生产相符，保持着令人叹为观止的精度，被国际模拟领域公认为处于同类型模拟软件的领先地位。

友好的图形界面

Deform HT 专为金属热处理而设计，具有 windows 风格的图形界面，可方便快捷地按顺序进行前处理及其热处理工艺表的设置，分析过程流程化，简单易用。另外，Deform HT 针对典型的工艺提供了分析模板，采用向导式操作步骤，引导技术人员完成工艺过程分析。



图形界面

高度模块化、集成化的热处理专业有限元模拟系统

Deform HT 是一个高度模块化、集成化的热处理专业有限元模拟系统，它主要包括前处理器、求解器、后处理器三大模块。前处理器完成热处理产品几何信息、材料信息、热处理工艺条件的输入，并建立热处理介质边界条件；求解器是一个集弹性、弹塑性、刚（粘）塑性、热传导、微观组织于一体的有限元求解器；后处理器是将模拟结果可视化，支持 OpenGL 图形模式，并输出用户所需的结果数据。Deform HT 允许用户对其数据库进行操作，对系统设置进行修改，并且支持自定义材料模型等。

有限元网格自动生成器以及网格重划分自动触发系统

Deform HT 强大的求解器支持有限元网格划分，能够分析金属热处理过程中多个材料特性不同的关联对象在耦合作用下的变形和热特性，由此能够保证金属热处理过程中的模拟精度，使得分析模型、模拟环境与实际生产环境高度一致。Deform HT 采用独特的密度控制网格划分方法，方便地得到合理的网格分布，表面结构化网格计算技术更适合热传输计算。

集成金属合金材料库

Deform HT 自带材料模型包含有弹性、弹塑性、刚塑性、热弹塑性、热刚粘塑性、粉末材料、刚性材料、相变材料及自定义材料等类型，并提供了丰富的开放式材料数据库，包括美国、日本、德国的各种钢、铝合金、钛合金、高温合金等 300 种材料的相关数据。用户也可根据自己的需要定制材料库。软件所带材料数据库包含：

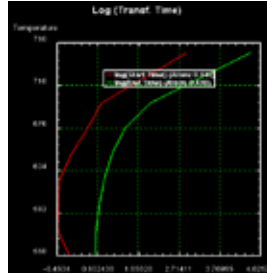
按国家分：美国标准（AISI、SAE、ASTM），日本标准（JIS），德国标准（DIN），国际标准（ISO），欧洲标准（EN），俄罗斯标准（GOST），英国标准（BS），韩国标准（KS）。

按用途分：铝合金（130 种），不锈钢（40 种），模具用钢（17 种），工具钢（85 种），钢（200 种），耐高温钢（60 种），超合金（17 种），钛合金（22 种），刀具用钢（11 种），其他铜、金刚石等（27 种）。

按行业分：冷成形用材料，热处理用材料，热成形用材料，机加工用材料，特殊行业材料。



材料数据库



“C”曲线

集成多种热处理动力学转变模型

Deform HT 集成多种相转变的动力学方程，包括扩散模型、TTT 奥氏体转变模型、马氏体晶格切变模型、固溶沉淀模型、应力松弛及蠕变模型等。可以分析不同相间转变的百分比、潜热、相塑性及体积变化，满足用户各种热处理条件下模拟的需要。

用户自定义子程序

Deform HT 提供了求解器和后处理程序的用户子程序开发。用户自定义子函数允许用户定义自己的材料模型、动力学转变模型、破裂准则和其他函数，支持高级算法的开发，极大扩展了软件的可用性。后处理程序的用户子程序开发允许用户定制所关心的计算结果信息，丰富了后处理显示功能。

辅助热传递系数计算工具

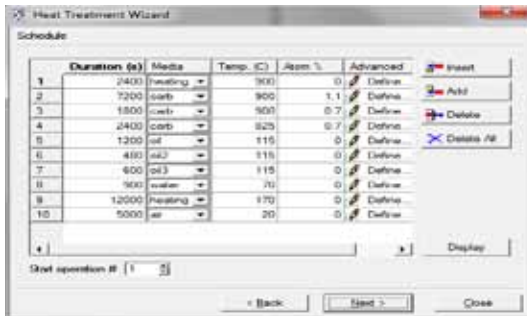
Deform HT 针对复杂的热处理介质中热传输过程，提供了逆向计算热传输系数模块 Inverse-HT，该模块可根据热处理实验中的时间 - 温度曲线，逆向计算特殊热处理介质下的热传输系数，帮助用户根据试验结果准确确定界面热传导参数。

2. 热处理工艺分析方案及应用

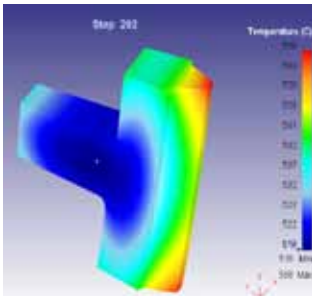
金属的热处理工艺，主要包括奥氏体化，渗碳，淬火，回火，退火，感应淬火，时效等。热处理阶段中，常会出现热处理过程加热及冷却时间不能准确把握，相变过程无法监控，渗碳深度及碳含量无法确定、淬火马氏体转变率不能准确控制、工件发生淬火扭曲变形、残余应力过大或分布不合理、淬火硬度不够、出现淬火裂纹等缺陷，而通过传统“试错”及经验的方式并不能准确和科学化、数据化地分析热处理工艺的合理性，造成了金属的热处理工艺失败，延长了生产周期。Deform-HT 可对金属热处理整个工艺过程进行模拟分析，通过直观分析云图及各种数据判断金属在热处理过程中产生的缺陷及工艺设计问题，达到良好的设计需求。

热处理工艺模拟过程的实现

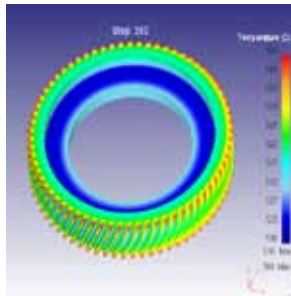
Deform HT 可进行金属产品复杂热处理工艺的流程设置，包括炉内加热的奥氏体化，渗碳工艺的环境碳含量，淬火介质的水、油、碱液，各工艺阶段的保温及冷却时间、温度等。通过计算分析获得热处理过程各阶段、各时刻的产品外部及内部场变量数据变化情况。



热处理工艺表设置（奥氏体化 - 渗碳 - 油淬 - 水洗 - 回火 - 空冷）



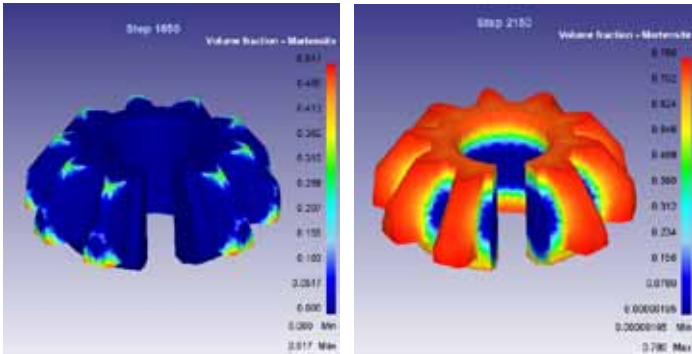
奥氏体化阶段某时刻温度云图



加热过程温度云图

热处理过程相变含量模拟

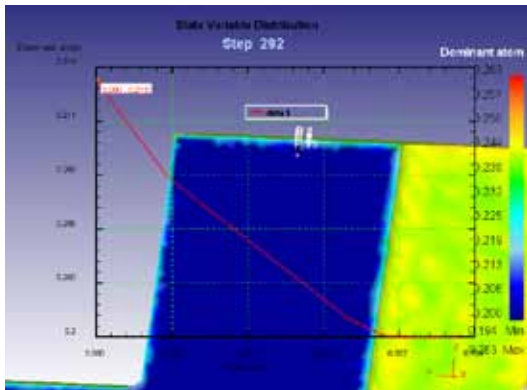
热处理中，Deform HT 通过相变动力学方程进行各相在该过程中的转变情况，包括珠光体、铁素体等到奥氏体的扩散转变，奥氏体向马氏体的晶格切变转变，奥氏体向珠光体、铁素体的等温冷却转变，马氏体到奥氏体的转变及连续冷却转变等，计算不同热处理阶段、不同时刻的各相转变百分比及相得分布，帮助用户更合理地设计工艺保温时间及温度值。



不同阶段马氏体的百分含量及分布情况

渗碳及碳含量模拟

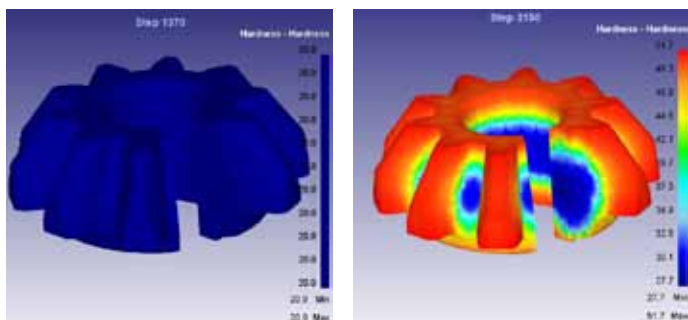
Deform HT 可模拟金属热处理渗碳过程中碳的内部扩散、环境碳的固溶渗透，获得渗透过程中碳的渗透深度、碳含量及分布情况，更好地优化渗碳时间、渗碳温度等工艺参数。



渗碳某时刻距表面不同深度范围内的碳含量分布曲线（可获得渗碳深度值）

热处理硬度模拟

热处理过程中不同相具有的硬度不同，Deform HT 可计算热处理各阶段金属产品内部及表面硬度的变化和数值，同时可考虑渗碳后表面碳含量对淬火硬度的影响。

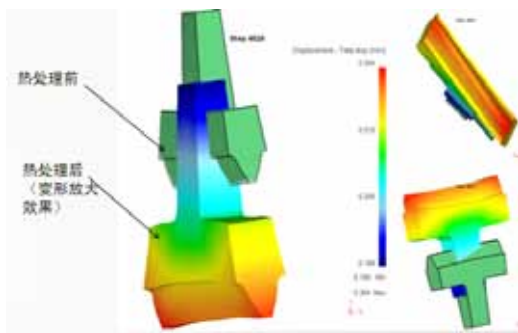


初始状态时的硬度

油淬后硬度值及各处硬度大小分布

热处理变形模拟

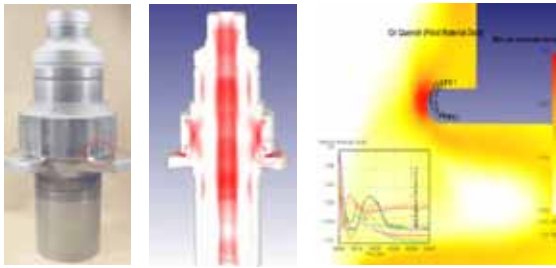
Deform HT 同时考虑热处理过程中由热膨胀、相变塑性、相密度及相转变所造成的尺寸及体积变化情况，从而分析热处理过程发生的形状扭曲，体积膨胀等热处理缺陷，对于产品尺寸的变化差异可精确到微米级别。



热处理淬火前后的尺寸变化

热处理残余应力及裂纹模拟

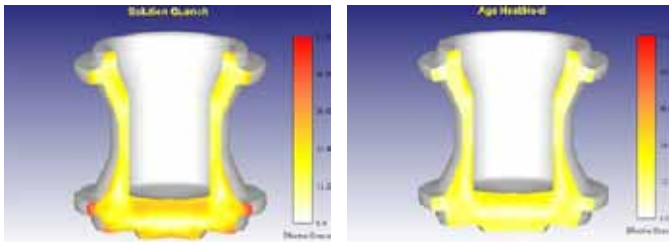
Deform HT 热处理残余应力计算包括热应力及组织应力的耦合结果，采用的弹塑性有限元模型可完全计算金属热处理过程各个时刻及淬火之后的残余应力分布情况，包括笛卡尔坐标系及圆柱坐标系下等效应力、最大主应力、环向应力、轴向应力及径向应力及其拉压应力情况，进行热处理残余应力的优化和淬火产生裂纹的判断依据。残余应力的计算及优化，可避免金属热处理裂纹及增强产品的疲劳使用寿命，提高热处理后的产品质量。



热处理裂纹模拟

应力松弛及时效分析

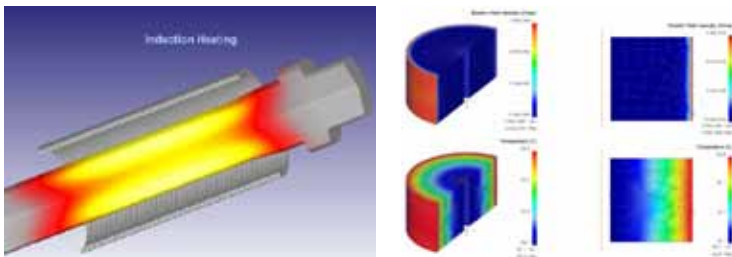
Deform-HT 可进行铝合金、镍合金等有色金属的固溶时效及应力松弛热处理分析，获得热处理温度场、残余应力、热处理形变、应力消除、裂纹等结果，优化时效温度和时间。



铝合金轮毂固溶淬火及时效

感应热处理分析

Deform-HT 通过 FEM 有限元及 BEM 边界元算法进行感应热处理的分析，包括单频和多频感应加热及淬火工艺过程，可计算磁场密度、加热温度场、残余应力、相转变深度、热处理变形、裂纹等结果，优化线圈设计及电流参数、淬火时间及冷却方式。



电感应热处理分析

热处理应用案例

齿轮热处理形变缺陷分析

● 项目描述

- 齿轮热处理后出现齿端面不平，尺寸发生变形，造成废品率很高 - 通过热处理工艺分析预测了变形缺陷，印证了初始工艺设计的不合理性，找到了内在原因

● 项目挑战

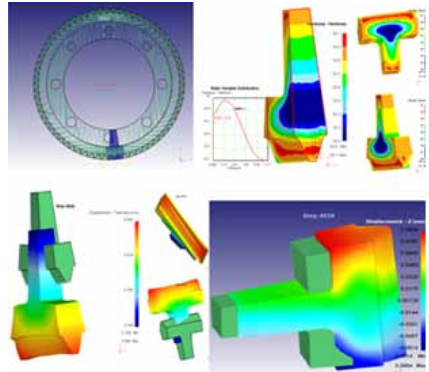
- 热处理微观组织材料参数复杂，工艺参数复杂
- 热处理工序多，结构形变复杂
- 热处理过程结构变形很小

● 解决方案

- 结构、热、微观组织耦合分析
- 预测组织转变、温度场、残余应力、硬度、变形量、渗碳深度等结果

● 重要价值

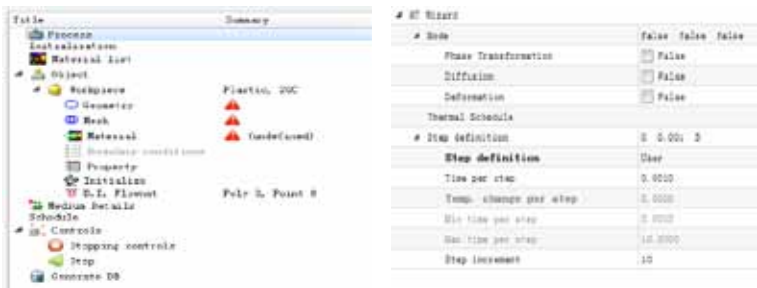
- 准确预测了热处理微小变形，找出工艺缺陷，指导后续工艺的修改优化



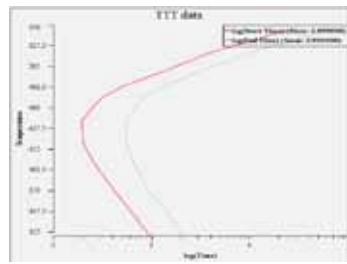
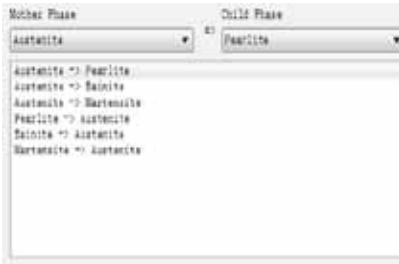
热处理形变

相变热处理分析主要设置流程

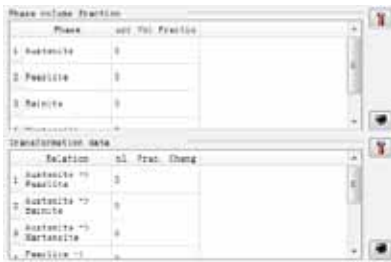
Deform HT 热处理模块采用向导式操作方式，可直接定义热处理流程表。可实现多个工件的热处理分析计算。



热处理分析流程



可自定义新的 C 曲线



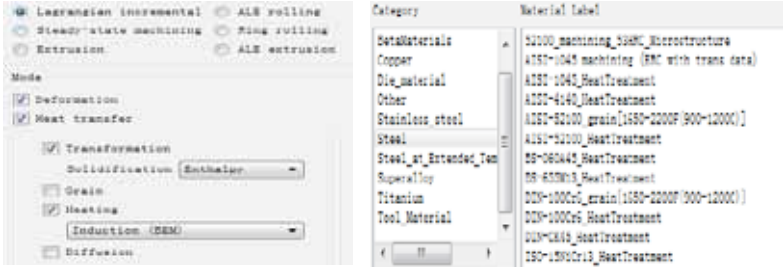
初始相及热处理介质定义

Duration	Media	Temp.	Atm (K)	Advanced
1 1800	1 - Heating Furnace	560	0	Define...
2 7200	2 - Carb. Furnace	850	0.8	Define...
3 3200	3 - Oil	100	0	Define...
4 1800	1 - Heating Furnace	280	0	Define...
5 3600	4 - Air	30	0	Define...

热处理工序表定义

感应淬火分析主要设置流程

感应淬火热处理采用 BEM 算法实现单频、双频、单线圈、多线圈的感应加热及感应淬火分析。



选择感应淬火算法及热处理材料数据库



定义感应面线圈运动



定义线圈电流参数

定义淬火介质及进入速度



► Deform DOE/OPT 工艺参数优化分析方案及应用

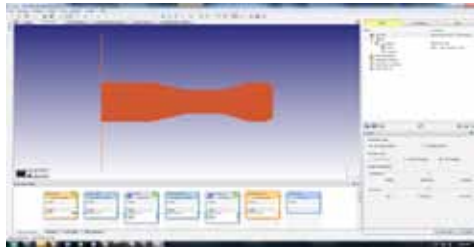
Deform DOE/OPT 设计优化系统能够进行成形工艺参数及模具结构设计参数等的多参数自动优化，在设定多个变量及目标函数的条件下实现工艺参数及结构设计参数的优化，自动提供最佳的工艺设计方案。可优化毛坯尺寸、模具结构、应力应变、材料破坏、材料重量、成形缺陷、成形边界条件等方面，提供优化及成功的工艺方案参数。DOE/OPT 模块在业内是唯一实现成形工艺智能优化的模块，在该领域的应用已取得领先地位。

通过采用 DOE/OPT 优化技术，能够实现：

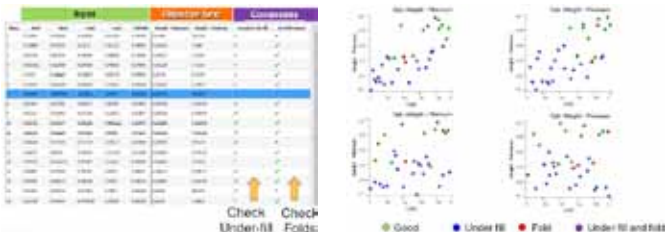
- 完成工艺缺陷的自动化解决方案
- 完成最佳的工艺设计方案的计算，提升产品质量，降低成本
- 完成多种方案的优化，提供最优设计思路
- 直接获取最佳更改方案，大大降低工程师修改方案的时间，提升分析效率
- 获取各工艺参数的敏感性分析，使工程师确切掌握工艺参数对结果的影响，提升技术水平

DOE/OPT 具备以下特点：

- 具备专业的 DOE/OPT 前后处理界面，可进行模锻、挤压、自由锻、切削、轧制、加热、热处理等工艺的多参数优化及模具结构尺寸设计优化
- 可优化单工序或多工序间的多个工艺参数或结构设计参数
- 可自动优化最佳毛坯尺寸、毛坯重量、模具结构、应力应变、残余应力、材料破坏、晶粒尺寸、飞边、无折叠、无充型不满等

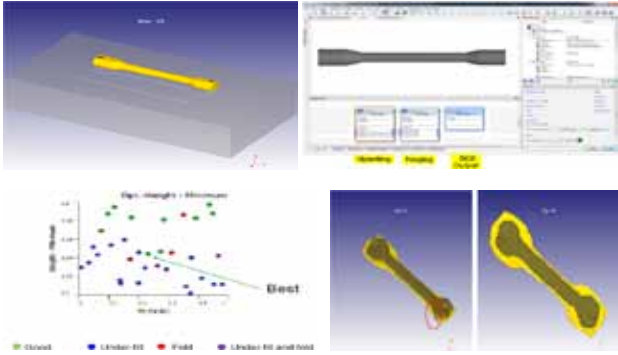


DOE/OPT 多工序参数优化窗口



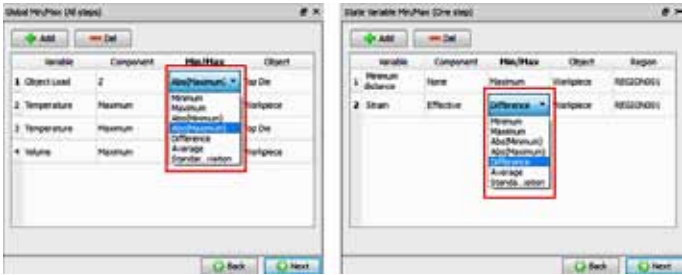
多参数目标优化

- 自动优化工艺参数及边界条件，包括成形速度、成形力、成形温度、加热温度、保温时间、冷却时间、切削屑形状等
- 进行多工序预成形毛坯的尺寸自动优化

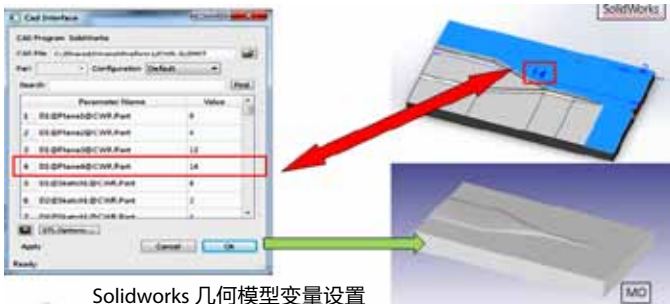


最优化毛坯尺寸

- 多种约束目标输出选项，包括成形力大小、温度高低、体积最小、应变、最小距离、各种应力值、损伤、磨损量等
- 具备全因子法、拉丁超立方、Taguchi 法及自定义优化算法
- 具备优秀的结构尺寸优化能力，可以查阅 Deform Geometry Toll 进行尺寸变量设置，也可与 Solidworks 有数据接口，对复杂几何特征进行变量优化

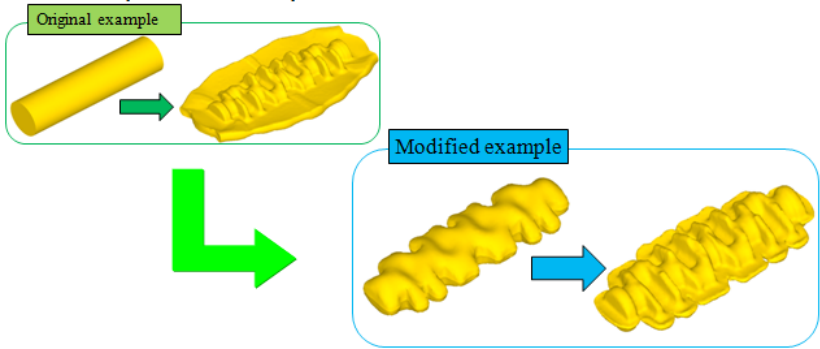


优化目标输出选项

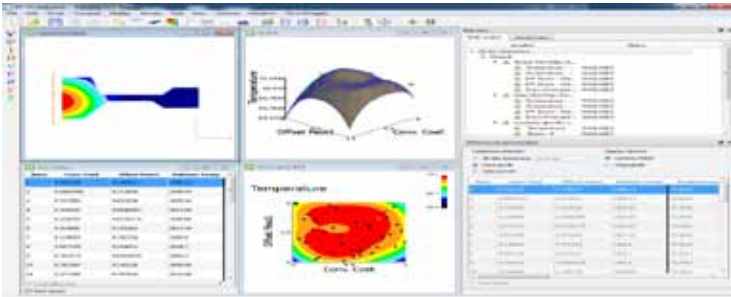


Solidworks 几何模型变量设置

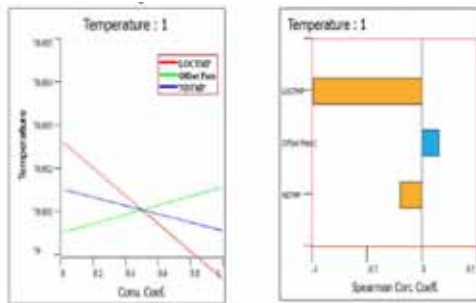
- 能够与 Preform 模块联合计算，优化预锻铸坯的外形尺寸
- 具备多样化的优化结果分析工具，包括优化数据方案列表、2D/3D 响应面、敏感性图、Tornado 图、散点图等



Preform 铸坯优化



3D 响应面及多方案数据表



敏感性图及 Tornado 图

DOE 优化应用案例

项目案例一：预成型件尺寸优化

项目描述：毛坯或预成型件的尺寸及锻造方向影响成形过程中的金属流动，从而可能造成飞边过多、折叠、填充不满的缺陷，最优化预成型件的尺寸及锻造方向，能够获得最佳的成形效果及最经济的成本利用。采用 DOE 功能将预成型件几何尺寸及锻造方向作为优化变量，将无缺陷的锻件结果及预成型件的最小体积作为优化目标，通过 40 个优化组合的自动模拟，最终给出最佳的尺寸及锻造方向优化结果，实现了工艺智能优化的效果，降低了人工设计及试模次数，达到良好的经济效益。

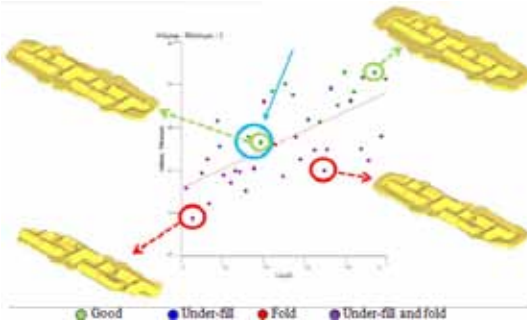


锻造毛坯模型及工艺



设计变量：毛坯长、直径、摆放角度

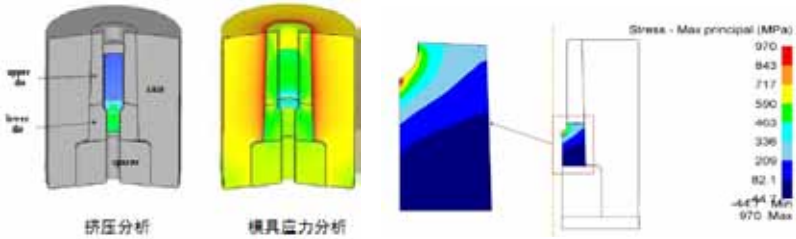
Item	Length	Diameter	Rotation	Volume	Completion time (min)	Has defect	Cost
1	0.402703	0.810275	0.343008	13.7746	1	✗	✗
2	0.874781	0.189388	0.881182	15.0242	1	✗	✗
3	0.942385	0.888858	0.127771	17.5368	1	✓	✓
4	0.333883	0.823646	0.346338	14.4017	1	✗	✗
5	0.341019	0.83801	0.105417	18.0872	1	✓	✓
6	0.594128	0.727846	0.443822	18.3869	1	✓	✓
7	0.333886	0.438413	0.297384	15.648	1	✗	✗
8	0.706111	0.241182	0.271401	14.8881	1	✗	✗
9	0.978884	0.221389	0.893279	14.8438	1	✗	✗
10	0.872820	0.828486	0.423866	16.2816	1	✓	✓
11	0.640746	0.886258	0.72323	17.0848	1	✓	✓
12	0.173278	0.888818	0.738988	16.8313	1	✓	✓
13	0.10796777	0.888818	0.104463	13.8857	1	✓	✓
14	0.384378	0.733733	0.354818	13.1413	1	✗	✓



优化结果：最佳尺寸方案

项目案例二：模具结构优化

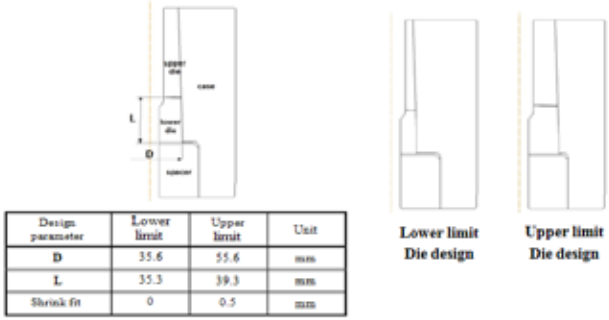
项目描述：模具结构的设计不但影响成形件的结果，同时也会影响其自身的受力情况及疲劳寿命，因此改善模具受力状况以提高模具使用寿命就需要对模具结构的设计进行优化。DOE 能够将模具各部位设计尺寸及装配过盈量作为变量，以应力最小化作为目标，从而实现最低化应力分布并最终达到延长模具寿命的目的。



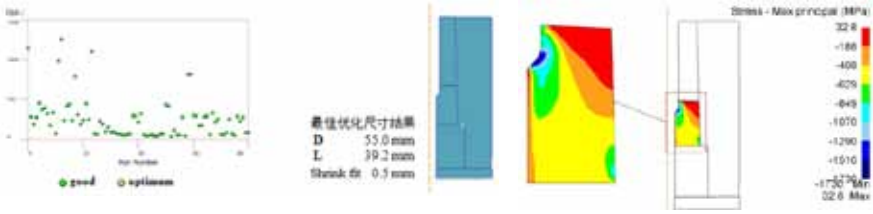
挤压分析 模具应力分析

初始设计模具的应力分布
(在倒角处应力很大可能出现破裂)

挤压成形中模具应力



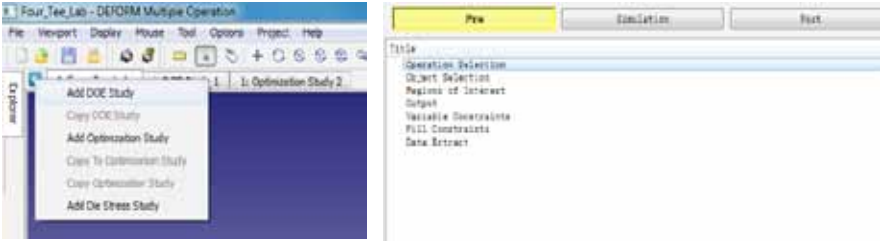
将内衬套圈的底部直径、高度及装配过盈量值作为变量进行优化



采用最佳尺寸使得模具整体应力达到极大降低

DOE/OPT 优化分析主要设置流程

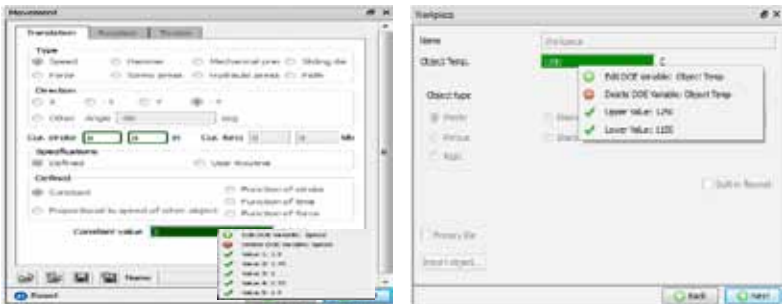
DOE/OPT 优化功能通过 Deform MO 在初次模拟方案后进行优化计算，根据初次方案的结果进行相应的参数变量和目标约束设置，最终计算出满足目标要求的工艺参数设计方案。



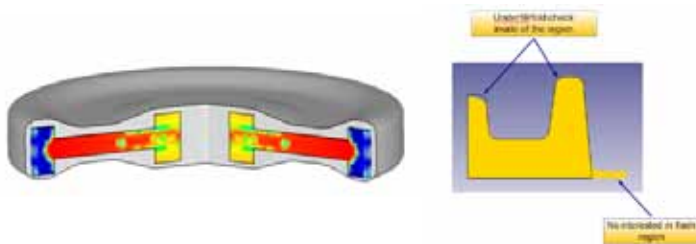
添加 DOE/OPT 优化流程



采用 Solidworks 或采用 Deform Morphing 功能进行结构尺寸变量设置



设置工艺参数变量



设置问题出现区域或关注区域

Operation Base	Study Variable	# of Samples	Lower	Upper	Normal	Keyword	Object/ Material
OPERATION 1	(1) Object Temp.	3	120 C	120 C	120 C	NDIMP	Workpiece
	(2) Speed	3	244 mm/sec	196 mm/sec	130 mm/sec	MDPCTL:Speed	Tip Die
	(3) Flank width	3	7.3	23.4	34.8	GEOPC:FlankWidth	Workpiece
	(4) Alpha	3	0.38	0.2	0.12	GEOPC:AlphaValue	Workpiece

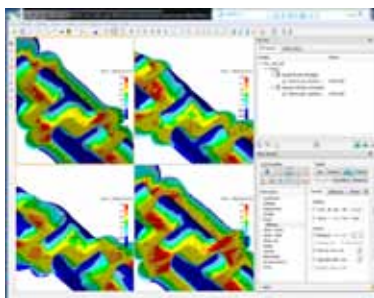
选择优化算法

Variable	Component	Min/Max	Object
1 Object Load	Z	Abs(Max)	Tip Die
2 Temperature	Maximum	Maximum	Workpiece
3 Temperature	Maximum	Maximum	Tip Die
4 Volume	Maximum	Maximum	Workpiece

Constraint	Value	Unit
Underfill volume ratio less than	0.1	%
Minimum die distance less than	3e-06	in

设置目标约束

Name	Flow stress	Friction	Try die displacement	Min	Max
1	0.2710175	0.2892275	0.7612327	0	0
2	0.2432144	0.2491275	0.9026555	0	0
3	0.3529715	0.287417	0.90994	0	0
4	0.3276389	0.283982	0.963266	0	0
5	0.363226	0.287777	0.238245	0	0
6	0.2818818	0.279027	0.324784	0	0
7	0.323239	0.324479	0.114943	0	0
8	0.326670	0.293492	0.957991	0	0



计算获取优化方案

► Deform Date Analysis 数据分析技术

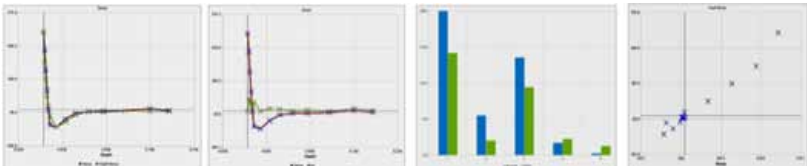
Deform Date Analysis 数据分析技术基于 DOE 设计环境，用于通过分析现有模型数据，获得模拟计算所需的输入参数。现有模型数据可包括实验数据（尺寸、载荷力、应变、晶粒、硬度等），也可能是数值计算结果（Deform 或其他 CAE），经验公式及相关算法。

Deform Date Analysis 可帮助用户获得晶粒演变模型参数、材料高温高应变率等阶段应力应变参数及其他相关计算参数方面。其包括数据输入、数据整理、数据结构、数据分析、数据模型、模型修正及由此获得的结果数据预测。

其数据分析模型包括：

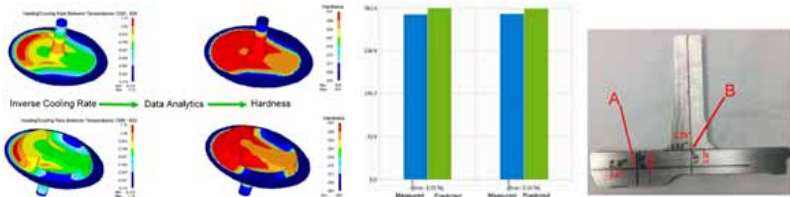
- 线性回归
- 二次回归
- 三次回归
- 高斯过程
- 神经网络
- 符号回归
- 方程拟合 - 参数求解
- 分段线性差值

模型修正使用对比预测值与测量值的偏差结果，根据试验测试结果与模型计算结果修正输入参数。修正过程可使用新数据及曲线数据，使用表达式计算数值偏差。



数据偏差修正

Deform Data Analysis 可用于模型的硬度与冷却率关系的分析，预测的硬度数据可在后处理中进行显示。产品测量后的硬度数据与模拟预测的硬度结果可采用数据分析修正功能做对比。



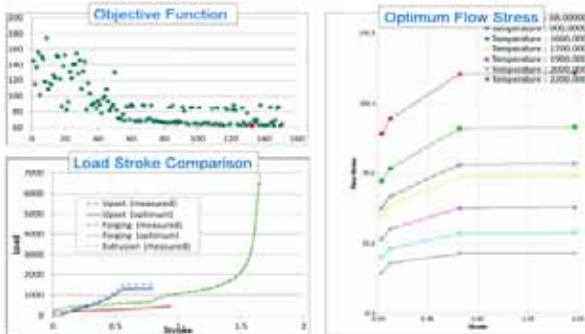
模拟预测与实际产品硬度偏差约 3.5%

Deform Data Analysis 可用于切削产品的表面应力预测，采用应力拟合方程，通过对比切削表面实验应力与模拟应力进行数据曲线分析修正，从而获得应力函数的参数。

Case	EdgeRadius	DepthRate	DepthRate	DepthRate	DepthRate	DepthRate	DepthRate	DepthRate
Case 14	0.025	0.1				0.0376	0.176	
Case 15	0.025	0.1				0		
Case 16	0.025	0.2				0		
Case 17	0.025	0.2				0		
Case 18	0.05	0.15				0		
Case 19	0.05	0.15				0		

切削表面应力函数系数数据修正

Deform Data Analysis 可用于计算流动应力数据，通过对比实验与模拟的成形力来找到误差最小的流动应力输入数据。



通过分析成形力偏差获得流动应力数据

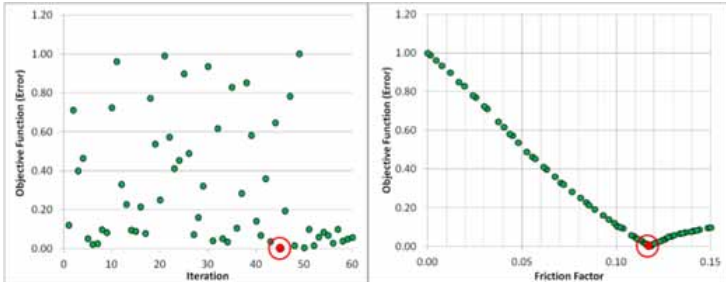
Deform Data Analysis 可用于逆向计算模具磨损模型的输入参数，可对现有 Archard 模型及 Usi 模型进行参数拟合。通过分析实验与模拟的磨损深度进行偏差计算，能够更加准确地获取不同模具材料的磨损模型系数。

Probe	Optimum	Measurement	Error
1	0.0093	0.0097	3.85(%)
2	0.0493	0.0504	2.23(%)
3	0.0741	0.0757	2.05(%)
4	0.0934	0.0951	1.70(%)
5	0.0720	0.0733	1.87(%)
6	0.0540	0.0549	1.55(%)
7	0.0194	0.0198	2.06(%)
8	0.0088	0.0088	0.21(%)
9	0.0097	0.0100	2.88(%)

Parameter	Optimum	Reference	Error
a	0.87	0.875593	-0.64%
b	1.115	1.11338	0.15%
c	1.62	2.19267	-26.12%

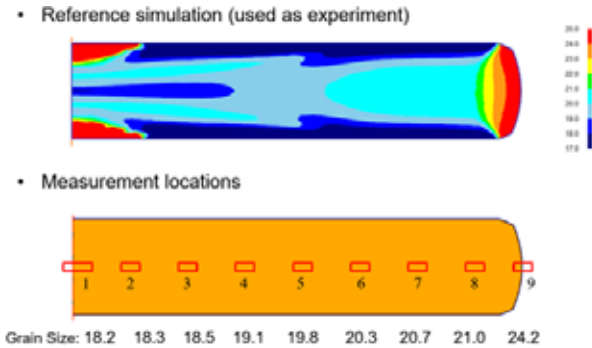
磨损模型系数拟合

Deform Data Analysis 可用于修正成形模具与毛坯间的摩擦系数，通过成形力、成形尺寸等实验与模拟数据的联合函数偏差分析，可更加准确地拟合不同材料的摩擦系数。

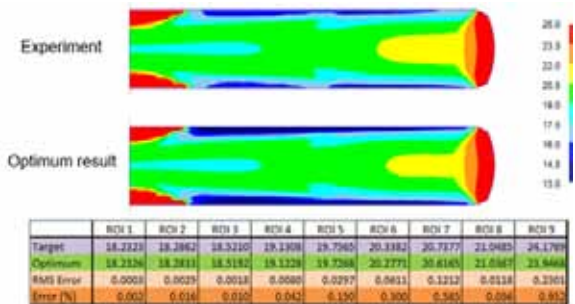


成形摩擦系数数据拟合

Deform Data Analysis 可用于对 JMAK 晶粒演变模型进行系数拟合，通过成形产品内部晶粒尺寸的实验与模拟数据分析，可准确获得针对不同材料的 JMAK 输入方程的系数值。这些不同材料的数据分析获得的晶粒演变参数，能够用于此类材料的成形过程晶粒演变计算。



实验与模拟后的晶粒分布数据



实验与模拟各区域晶粒尺寸数据偏差

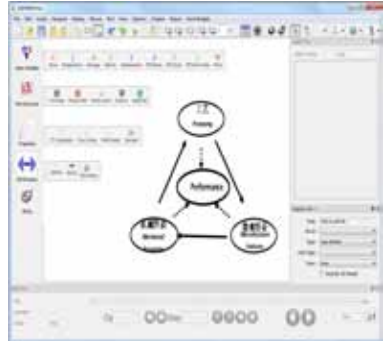
► Deform Material Suite 材料性能拟合技术

1. Deform Material Suite 材料性能拟合计算技术简介

Deform Material Suite 是辅助进行 Deform 内材料性能拟合计算的模块，其能够采用少量实验数据拟合复杂的宏观、微观材料性能数据并用于 Deform 的各类分析计算，解决了软件材料库范围之外材料种类的应力应变参数、微观参数及热处理参数缺乏的问题。

Material Suite 能够提供以下数据的拟合计算：

- JMAK 回复再结晶及晶粒生长模型的参数拟合
- Flow Stress 流动应力参数拟合
- TTT 热处理淬火参数拟合
- 高温合金固溶强化参数拟合



2. JMAK 回复再结晶模型的参数拟合

Deform JMAK 回复再结晶及晶粒生长模型可进行动态再结晶、亚动态再结晶、静态再结晶和晶粒生长模拟，预测结晶率、晶粒尺寸演变等结果。

Deform 所采用的 JMAK 模型动态再结晶方程如下：

DRX临界应变Critical strain for DRX:

$$\varepsilon_c = a_{10} \varepsilon_p$$

峰值应变Peak strain:

$$\varepsilon_p = a_1 d_0^{n_1} \dot{\varepsilon}^{m_1} \exp\left(\frac{Q_1}{RT}\right) + c_1$$

结晶率DRX volume fraction:

$$X_{DRX} = 1 - \exp\left[-\beta_D \left(\frac{\varepsilon - a_{10} \varepsilon_p}{\varepsilon_{0.5}}\right)^{k_1}\right]$$

50%结晶时应变Strain for 50% DRX:

$$\varepsilon_{0.5} = a_2 d_0^{h_2} \dot{\varepsilon}^{m_2} \exp\left(\frac{Q_2}{RT}\right) + c_2$$

结晶晶粒尺寸DRX grain size:

$$d_{DRX} = a_3 d_0^{h_3} \varepsilon^{n_3} \dot{\varepsilon}^{m_3} \exp\left(\frac{Q_3}{RT}\right) + c_3$$

所采用的亚动态再结晶方程为：

$$X_{MRX} = 1 - \exp \left[-\beta_m \left(\frac{t}{t_{0.5}} \right)^{k_m} \right]$$

半结晶率发生时间 Time for 50% MRX:

$$t_{0.5} = a_4 d_0^{h_4} \varepsilon^{n_4} \dot{\varepsilon}^{m_4} \exp \left(Q_4 / RT \right)$$

再结晶尺寸 MRX grain size:

$$d_{MRX} = a_5 d_0^{h_5} \varepsilon^{n_5} \dot{\varepsilon}^{m_5} \exp \left(Q_5 / RT \right) + c_5$$

所采用的静态再结晶方法为：

$$X_{SRX} = 1 - \exp \left[-\beta_s \left(\frac{t}{t_{0.5}} \right)^{k_s} \right]$$

半结晶率发生时间 Time for 50% SRX:

$$t_{0.5} = a_3 d_0^{h_3} \varepsilon^{n_3} \dot{\varepsilon}^{m_3} \exp \left(Q_3 / RT \right)$$

再结晶尺寸 SRX grain size:

$$d_{SRX} = a_6 d_0^{h_6} \varepsilon^{n_6} \dot{\varepsilon}^{m_6} \exp \left(Q_6 / RT \right) + c_6$$

所采用的晶粒生长方程为：

$$d_g = \left[d_0^m + a_9 t \exp \left(-\frac{Q_9}{RT} \right) \right]^{1/m}$$

其中，对于不同的材料，各结晶方程的各个微观系数如、、、等系数不同，而实际使用过程中很难获取各材料上述的方程参数。

Material Suite 通过采用一些宏观实验数据进行再结晶方程的拟合计算，从而将实际的实验数据转换为可用的微观方程参数，使得晶粒模拟的计算结果更加符合真实材料特性。

- JMAK 模型参数的拟合采用流程化操作方式，根据向导进行逐步设置，依次拟合动态、亚动态、静态再结晶及晶粒生长方程参数；



流程化设置回复再结晶拟合计算

- 实验数据可以通过采用不同初始晶粒的毛坯样本进行压缩 / 拉伸实验获得宏观的温度与应变率的使用范围；



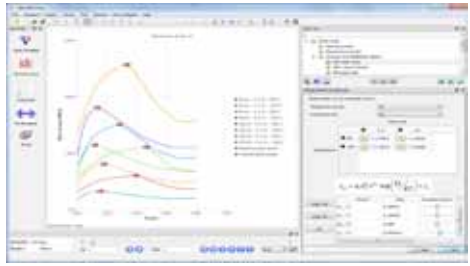
输入不同初始晶粒毛坯压缩实验的温度 - 应变率范围

- 每个温度组内，材料的回复再结晶动力学方程系数恒定，不同温度组内材料参数可能会变化。因此，所需实验的材料参数根据温度变化进行定义；

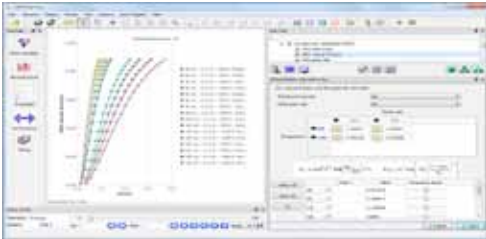


建立不同的温度组

- **峰值应变拟合**：输入使用测试的应力应变数据，系统将自动提取各数据的峰值应变，然后进行参数拟合。通过峰值应变模型参数拟合矫正功能，可以将不同初始晶粒尺寸样本拟合出的应力应变与试验曲线进行吻合度对比，使得拟合数据与使用数据完全相等。由此获得的峰值应变模型系数为当前材料的准确微观参数。



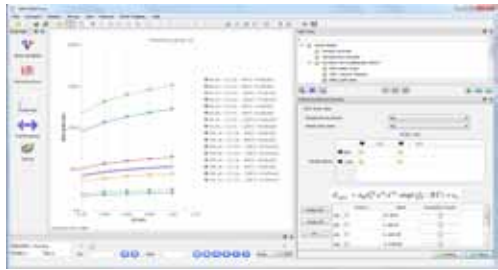
峰值应变模型参数拟合



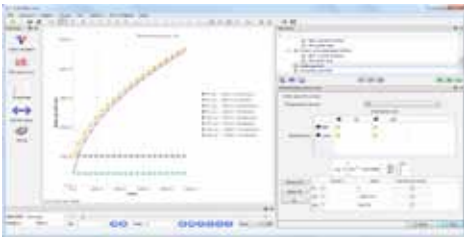
再结晶率模型参数拟合

- **再结晶率参数拟合**：导入实验测得的不同温度 - 应变率下的结晶率与应变的数据曲线，系统将自动提取 50% 结晶率数据，然后通过拟合矫正功能获得结晶率与应变的数据曲线，系统通过对比拟合结果与导入的使用数据，使得两者完全相等，从而获得再结晶率模型的微观参数。

- **再结晶晶粒尺寸拟合**：导入不同温度 - 应变率下的晶粒尺寸与应变的数据曲线，系统将通过拟合矫正晶粒尺寸数据，通过自动与导入的数据曲线进行对比，使得两者数据完全吻合，从而获得动态再结晶模型微观参数。



再结晶晶粒尺寸生长模型参数拟合



晶粒生长模型参数拟合

- **晶粒生长模型参数拟合**：导入不同温度 - 初始晶粒下的晶粒尺寸随时间变化的数据曲线，系统将拟合矫正晶粒尺寸与时间的数据，通过与实验数据对比使得两者完全吻合，从而获得晶粒生长模型的微观参数。

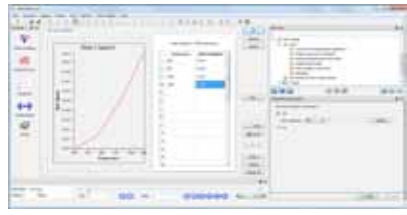
3. Flow Stress 流动应力数据及模型拟合计算

Flow Stress 流动应力数据拟合计算功能针对用户在使用新材料或自定义材料时，无法提供准确的流动应力数据，且不具备专业流动应力应变测试设备的条件下，仅通过提供实验测得的行程 - 载荷数据或少量应力应变数据即可拟合计算出 Deform 模拟成形模拟所使用的完善的流动应力数据，从而大大降低用户对新材料或自定义材料参数的测试难度。流动应力拟合计算功能主要包括：

- 从实验数据（载荷 - 行程或应力 - 应变）向流动应力的转换
- 考虑实验数据的修正
- 对 Deform 已具备的其他流动应力模型进行材料参数拟合转换



导入不同温度 - 应变率下的实验测试的成形力 - 行程或应力 - 应变数据



基于绝热加热效应对流动应力数据进行修正



由实验数据拟合出流动应力数据

Deform 材料数据库中对于大多数材料采用的是温度 - 应变 - 应变率相关的本构模型，除此之外，其流动应力本构模型中为了满足一些特殊应用或材料特性，也具备很多其他本构模型，如用于铝合金计算的模型、考虑热软化效应的 J-C 模型、涉及晶体塑性的模型等。这些本构模型均需要输入一些计算常量或参数系数才能使用。Flow Stess 本构模型参数转换功能能够将基本的温度 - 应变 - 应变率本构模型的材料数据自动拟合转换为新的本构模型数据，从而获得这些本构模型的常量或参数系数，以便 Deform 采用新的本构模型进行分析计算。



流动应力本构模型参数转换拟合

可采用准租赁法和牛顿下山法进行参数转换，可固定本构模型的任何参数并进行拟合矫正，使得拟合出的流动应力数据与原始流动应力数据完全吻合。

4. 热处理 TTT 淬火转变参数计算

Deform 热处理具备强大的模拟功能，材料数据库包含很多牌号的热处理钢种，但是对于用户可能涉及到的一些新材料或需自定义的材料，热处理转变参数的获取很难通过实验测试方法获取。Metarial Suite 能够采用材料的合金配比及初始晶粒尺寸数据拟合计算出该材料的淬火 TTT 转变数据，从而可用于 Deform HT 的热处理模拟计算。TTT 淬火转变参数计算功能包括：

- 采用经验分析模型计算 TTT 淬火曲线
- 输入合金成分，考虑晶粒尺寸及多相成分
- 参数化拟合矫正以与实验数据相吻合
- 获得奥氏体向铁素体、珠光体、贝氏体和马氏体的转变数据



输入合金配比及晶粒尺寸



奥氏体向贝氏体转变曲线



奥氏体向珠光体转变曲线



奥氏体向铁素体转变曲线

► RTM 树脂传递模塑工艺仿真分析

1. RTM-WORX 树脂传递模塑工艺仿真分析软件简介

RTM-Worx 是一款先进的树脂模注工艺仿真软件,由荷兰应用科学研究组织(TNO)在 1991 年开发,广泛用于模拟 RTM、VIP 等复合材料工艺过程中树脂的充型流动情况,也可用于模拟压力驱动下多孔介质中的一般流动过程。RTM-Worx 能高效、方便地利用有限元(FEM)和控制体积法(CVM)求解多孔介质中树脂流动过程的物理方程。

RTM-Worx 的软件设计非常强调高效性、可靠性和稳定性。软件的数值精度非常高,即使在最坏的条件情况下也只需 150 左右的单元就能将误差降到 1% 以下。RTM-Worx 受单元形状和尺寸的影响很小,软件对所有必需的数据都提供了合理的缺省值。由于 FEM 或 CVM 采用相同的离散度,保证了任何情况下计算过程的收敛和压力计算的准确,以及树脂流动前端的确定性。

RTM-Worx 计算速度非常快,在目前主流的硬件配置下,对于一个 2000 到 4000 个单元的模型,计算时间不足 1 分钟。对非等温反应模型,当充分考虑了速度、温度和固化信息时,计算过程也仅约两倍长的时间。

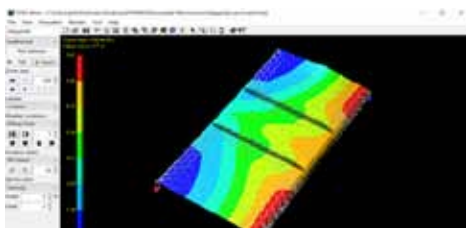
RTM-Worx 提供了丰富的单元类型,包括 1D 线单元,3D 壳体单元和 3D 实体单元,三种单元类型可以在同一个模型中耦合计算,而且可设置不同的渗透率,这是业内独家的模型计算能力,使得异常复杂的流通管道可以方便地建立。对于不同的单元类型,采用达西流(Darcy)、泊肃叶流(Poiseuille)以及用赫尔-肖模型(Hele-Shaw)来模拟计算树脂流动状态。通过点直接建立注射口或排气口,通过线可建立管道及流道,并可包含多孔介质或中空环境。

RTM-Worx 通过在计算机上模拟复合材料树脂注射过程,帮助工程师和设计人员:

- 进行快速的充模过程模拟,避免模具设计失误
- 快速计算确定各工艺参数的影响
- 可对大型构件进行充型时间估算
- 实现计算机“试模”,节省能源、降低成本
- 强化生产、设计、技术各部门间的连接
- 提升企业技术实力等

友好的图形界面

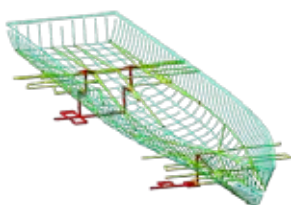
RTM-Worx 操作界面具有典型的 WINDOWS 风格,简单易用,通过导入几何体结构或者在软件中直接建立点、线、面结构构成模型。属性信息可以直接赋给几何实体,与有限元分析单元组概念类似但更加智能,可以任意指定或改变单元属性。它能够提供一个比人工单元组更切合实际情况的概念模型,适用于所有的几何体。



RTM-Worx 操作界面

高度集成化的模拟系统

RTM-Worx 是一个高度集成化的模拟系统，前处理器、求解器、后处理器三大模块集成于同一界面，可独立完成完整的树脂注射过程分析并获得分析结果。求解器采用有限元法（FEM）构建单元，采用控制体积法（CVM）计算流体前端，获得高精度的计算结果，各分析模块可任意切换。软件独特地将点（可模拟注射口或排气口）、1D 线单元（可模拟管道或流道）、3D 壳体单元（模拟壳体结构）、3D 实体单元（模拟异形件）建立在同一个结构模型里，实现复杂形状、多管道的快速建模和分析。



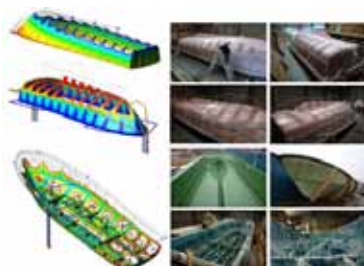
RTM-Worx 1D 管道及 3D 壳体结构模型

强大及可扩展的复合材料工艺模拟

RTM-Worx 设计目标是用来模拟 RTM 工艺的，但也能模拟树脂浸泡成型工艺（RIP），软件的非等温反应模块使 RTM-Worx 也可用于模拟反应注射成型工艺（RIM）。软件已广泛应用在航空航天、风能、汽车、土木工程、造船等领域中。

RTM-Worx 使用了 CFD-Worx 核心。CFD-Worx 已在热塑性塑料注射成形和气体辅助成形（GAIM WORX）与芯片封装（3P-Worx）软件中得到广泛应用，核心的共享也为 RTM-Worx 用户的验证工作提供了便利。

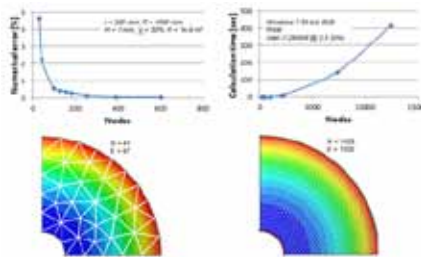
虽然 RTM-Worx 未明确是否适用于树脂模渗透成型工艺（RFI），但德国航空中心（DLR）通过巧妙地利用 RTM-Worx 提供的单元类型将所有单元集中于一个模型中，展示了 RTM-Worx 在 RFI 工艺中的仿真应用。



船舶树脂模塑成形

更高的计算稳定性和高效性，计算速度快，模拟精度高

RTM-Worx 拥有完全重新设计的界面、更快的计算速度（比第一款 RTM 工艺模拟软件 $\pi 7$ 快四倍）。求解速度非常快，粗网格一般数分钟即可完成计算。当充分考虑了速度、温度和固化信息时，计算过程也仅约两倍长的时间。软件的数值精度非常高，即使在最坏的情况下（压力成对数下降的点注射）也只需 150 左右的单元就能将误差降到 1% 以下。RTM-Worx 完全不受渗透率巨大差异的困扰，可简单作为物理参数来应用，无论是实测渗透率还是 Poiseuille 或 Hele-Shaw 流动的树脂通道。由于采用了 FEM/CVM 算法，使得树脂流动前端计算精度高，对于不同的单元类型，采用 Darcy 和 Poiseuille、Hele-Shaw 模拟流动现象。

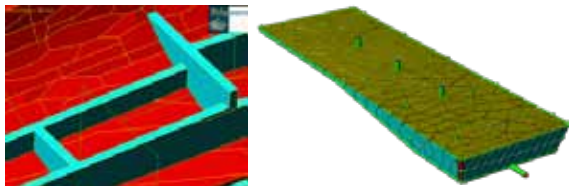


计算精度和速度

先进的网格处理技术

RTM-Worx 软件集成了一个全三维的表面建模工具。首先输入定义中性面的节点坐标 x 、 y 、 z ，然后将节点连接成曲线构成表面的边界线。表面是由一系列闭合的连续曲线组成的，同时带有厚度、织物特性等属性。

RTM-Worx 内置了网格生成器，可以对曲线和曲面进行自动、快速的网格划分，同时支持渐进式划分。单元的尺寸决定了流动模拟的准度和精度。默认情况下，单元的尺寸与节点间距是适应的，即所谓的“分级”网格。在一般情况下，当所有单元尺寸近似相等时 RTM-Worx 模拟性能最佳。除此之外，还可以通过增加节点的方法，提高模型局部的网格划分精度，用户由很大的选择弹性，可根据实际情况选择恰当的划分方法。即使在导入错误的曲线和曲面时，如自重叠和边界相交，网格生成器也可产生正确的网格并顺利进行计算。



RTM-Worx 混合格

丰富的软件模型接口

RTM-Worx 支持多种格式文件的导入，包括：

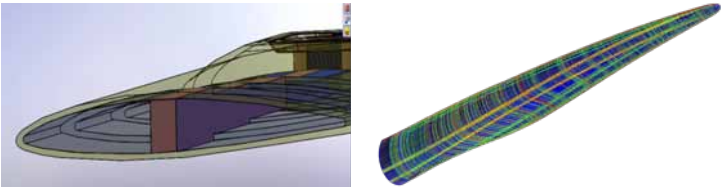
- WDX 文件：RTM-Worx 数据格式，包含所有 RTM-Worx 模型数据的 ASCII 文件。允许用户自定义生成文件，从其他软件导入或导出到其他 RTM 分析软件
- STL 文件：3D Systems 公司的 SLA 接口，属于二进制和 ASCII 格式
- Patran Neutral 文件格式（网格以曲面模型导入）
- C-mold 网格文件（FEM），以曲面模型导入网格及属性
- Fluent GAMBIT 网格文件
- AutoCAD 的 DXF 文件
- SEPRAN 文件（MSH），包括连接单元
- $\pi 7$ 模型数据库（Pi7）文件：全面支持

另外，具备可扩展模块，可导入由 MSC laminate Modeler 软件（或 Anaglyph 公司的 Laminate Tools）生成的 layup 文件。Layup 文件包含模型、有限元网格、铺层顺序及纤维取向等信息。RTM-Worx 软件可以根据这些信息自动计算预成形体性能，并把它保存在一个单独的文件。

RTM-Worx 导入的文件会与现有的模型合并，各个单独的部分将合并为一个整体模型。RTM-Worx 还支持导出 Patran Neutral、DXF 格式（可用于生成注射方式图）和 Tecplot 数据文件格式。

参数化 SALT 扩展脚本功能

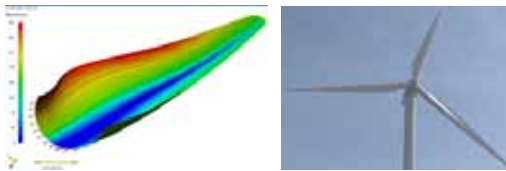
RTM-Worx 提供了 SALT 扩展功能，采用类似 C 语言的程序，用户可以自己编写程序对模拟过程进行扩展。SALT 程序可用记事本打开和编辑，在 SALT 控制台进行。特别对于复杂的铺层结构可灵活使用。



风机叶片复杂铺层材料 SALT 命令流建模

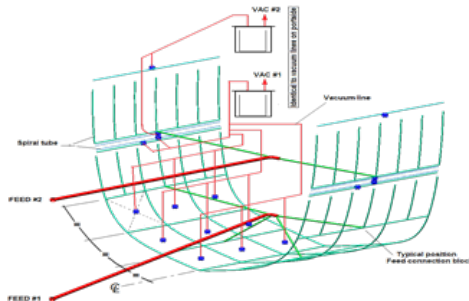
2. RTM-WORX 树脂传递模塑工艺分析方案及应用

- 具备 Windows 操作风格，简便易用
- 进行结构异常处理的全面整合，能完美地处理 Windows 产生的错误故障而不产生崩溃现象
- 计算过程具有高效性、稳定性及快速性
- 可导入多种类型的模型及网格，如 STL、Fluent GAMBIT、DXF 等。具有 MSC laminate Modeler 复合材料铺层结构接口
- 能够模拟壳状或管状几何体中的等温流动
- 能模拟无增强材料情况下树脂在多孔介质或型腔中的等温流动
- 能够模拟非等温反应注射成型工艺（RIM）、树脂传递模塑工艺（RTM）和树脂浸泡成型工艺（RIP）工艺
- 具有先进的 FEM/CVM 算法，精确计算流动前端现象
- 能够将 1D 线单元、3D 壳体单元及 3D 实体单元整合在同一个模型中，对于分析复杂的 3D 注射过程具有简便的建模特点和强大的分析功能
- 能够分析同一模型不同的渗透率特性，可设置预成型体厚度、纤维体积分数或孔隙率、主渗透率和副渗透率、主渗透方向



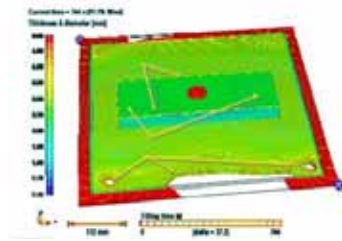
风机叶片 RTM 模塑充型过程分析

- 对于非等温反应模型，还可定义模具表面的 BIOT 热边界条件、增强体材料的热性能如比热容、热传导系数及密度
- 可定义树脂材料的粘度和密度、热传导、比表面能及固化动力学特性
- 可直接定义点为注射口或排气口、线为管道或流道、面为增强体材料，同时具备阀门开关条件的管道设置



线性管道分布

- 后处理可获得充型时间、压力、速度、树脂厚度、渗透率、渗透方向、纤维体积分数、充型率、温度、固化率等结果
- 能够预测干斑及流体前端形状



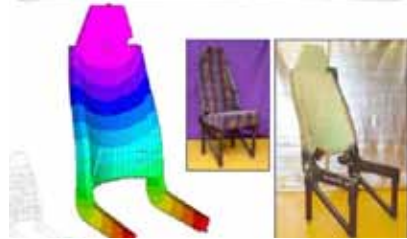
干斑缺陷

典型应用

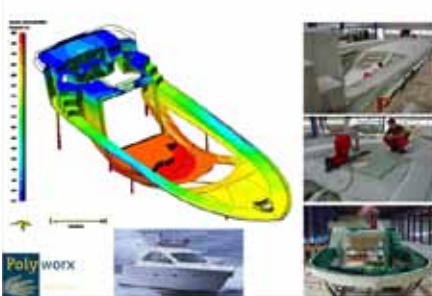
NH-90 直升机起落架应用



汽车座椅应用

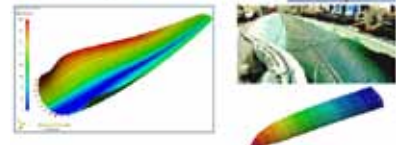


甲板注射工艺模拟应用



风电叶片应用

- 复杂的布局，驱动
- 大约 2000 kg 树脂，170 m²
- 梳齿：多层板模型



► 钣金冲压工艺仿真分析

1. Dynaform 冲压成形工艺仿真分析软件简介

Dynaform 是集前后处理和求解器于一体的板成形专用软件包，可以帮助模具设计人员显著减少模具开发设计时间及试模周期，不但具有良好的易用性，而且包括大量的智能化自动工具，可方便地求解各类板成形问题。

Dynaform 软件基于有限元方法建立，被用于模拟钣金成形工艺，几乎涵盖冲压模模面设计的所有要素，包括：确定最佳冲压方向、坯料设计、工艺补充面设计、拉伸筋设计、凸凹模圆角设计、冲压速度设置、压边力设计、摩擦系数、切边线的求解、压力机吨位等。

Dynaform 软件可应用于不同的领域，包含汽车、航空航天、家电、厨房卫生、钢铁、模具等行业。可以预测成形过程中板料的裂纹、起皱、减薄、划痕、回弹，评估板料的成形性能，从而为钣金成形工艺及模具设计提供帮助。

工艺化风格

覆盖板成形 60 余个工艺因素，所有工作都在集成环境中进行，无须数据转换

● 强大的 LS-DYNA 求解器

LS-DYNA 作为全球公认的显式动力分析程序的鼻祖和理论先导，是行业中应用最广、功能最强、效率最高的显式求解程序，已被无数实际应用所证明。Dynaform 软件对 LS-DYNA 求解器提供全面支持，无须任何文本编辑。

Dynaform 软件提供对所有平台（Unix，PC）的支持，数据（输入、结果）可跨平台使用。

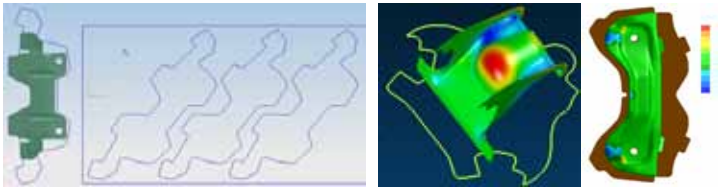
● 丰富的材料数据库

Dynaform 软件中材料库包含有美国、日本、欧洲、中国的常用金属板材共 350 余种，模拟分析时，可以直接调用，也可在库中添加自己的材料，建立自己的材料库。

Dynaform 材料库提供了丰富的编辑、修改功能，如：可以直接导入应力 / 应变曲线，直接编辑应力 / 应变公式等等。

- BSE 模块 – 优化排料

利用 BSE 模块可以方便地通过产品外形得出合理的落料尺寸。



- DSA 模具应力分析模块 (Die System Analysis)

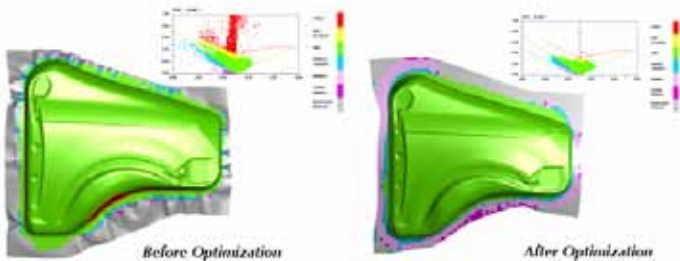
分析冲压过程模具的强度，预测模具应力、变形及寿命。分析模具结构在吊装过程中的受力情况。

- OP 模具冲压优化设计模块 (Optimization Platform)

OP Module 可以实现拉延筋 (Draw Bead) 流线型设计、加强截面线 (Section Cut) 功能，自动优化产品修边线，帮助更加有效的预测板料在成形过程中出现的破裂、起皱、回弹，使客户获得更优化的产品设计。

可自动优化的方面包括拉延力、拉延筋设计、压边力、润滑方式、厚度和材料。

采用 LS-OPT 求解技术，实现自动参数优化。



2. 冲压工艺分析方案及应用

冲压在机械加工行业中占有非常重要的地位，其广泛应用于航空航天制造、汽车覆盖件制造等行业，冲压件产值在整个钣金加工行业也占有相当大的比例。以航空航天、汽车覆盖件为例，该类钣金冲压模具型面复杂，模具设计与制造水平要求高、难度大，冲压工艺也同样繁杂，传统的“试错”法在研发过程中造成模具报废多、成本高、周期长等缺点，降低了企业的市场竞争力。Dynaform 软件可分析冲压工艺设计缺陷，优化成形工艺，实现虚拟环境下的快速“试模”，解决冲压模设计及钣金成形多方面的问题：

模具设计

- 模面设计；压力机吨位确定；压边力确定；压延筋布置；润滑方案选择等

产品缺陷

- 起皱，划痕；拉裂，减薄；变形不足或不协调；回弹；表面质量等

模具生产线

- 模具疲劳分析；模具磨损分析；冲压线运输分析；废料去向分析

坯料设计

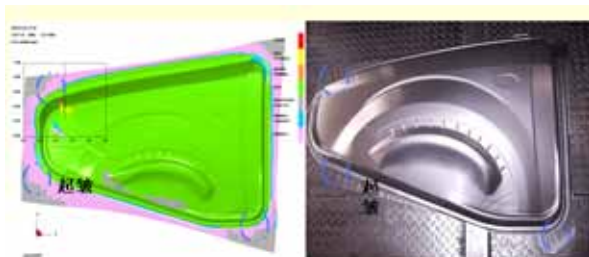
- 毛坯尺寸；排样；切边线确定等

模具设计方案

- 模面设计；与仿真分析的完美结合，压料面、工艺补充面可方便产生并编辑
- 修边线计算及设计及冲压方向优化
- 压延筋优化设计
- 压力机吨位预测：通过计算冲压过程载荷力预测压力机吨位
- 自动修模（回弹补偿）：在 CAE 系统中自动修改模具型面

冲压工艺产品缺陷预测

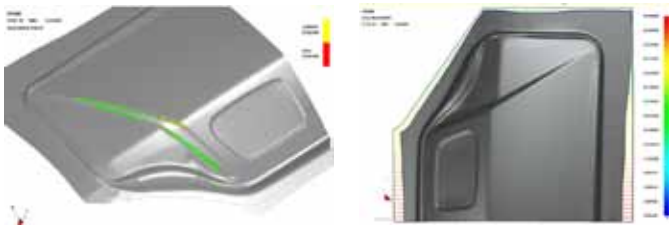
- 冲压起皱预测：可准确预测起皱和折叠



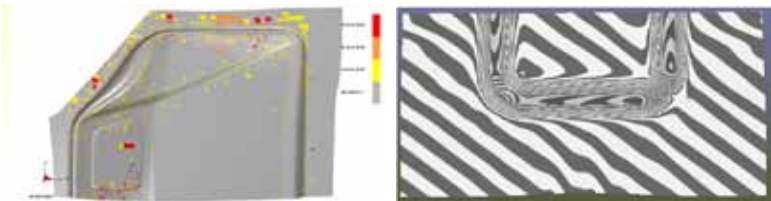
● 冲压裂纹预测：精确计算零件的裂纹位置



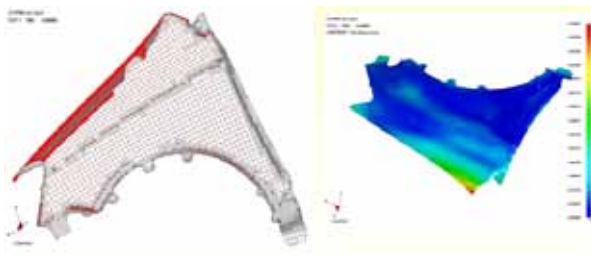
● 冲压划痕及流动量预测



● 成形板料表面缺陷及光顺度预测

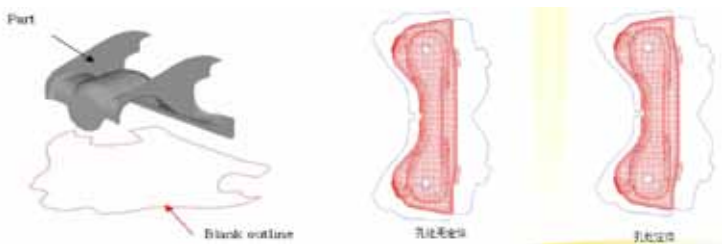


● 冲压回弹预测

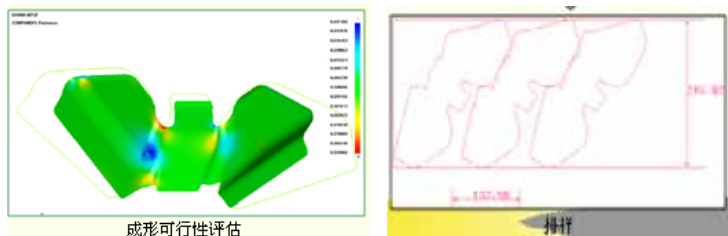


坯料设计方案

- 优化下料尺寸：根据钣金产品特征反算冲压件的最优化下料形状



- 优化排样方式，减少废料：快速预测产品成形性能、获得最优排样及材料利用率

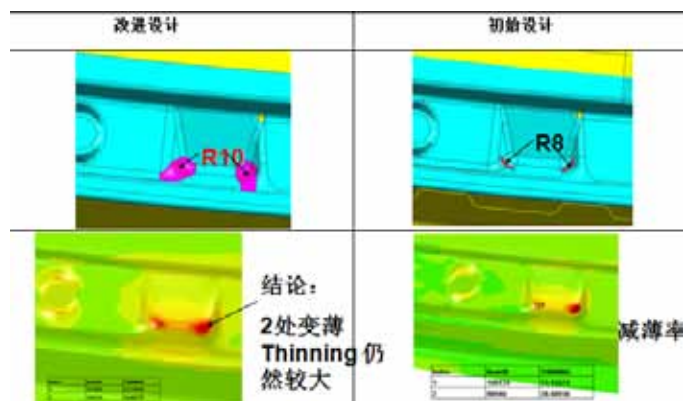
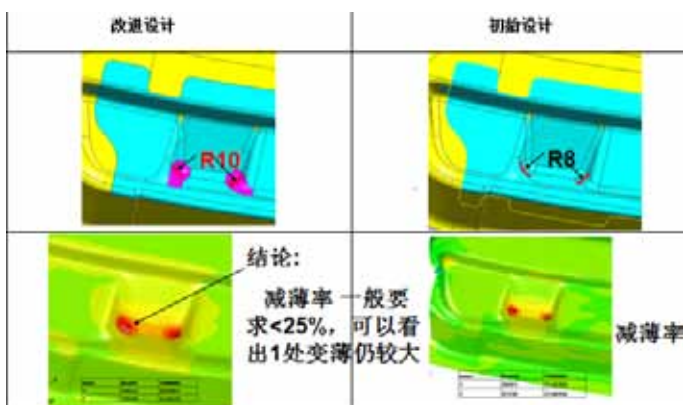
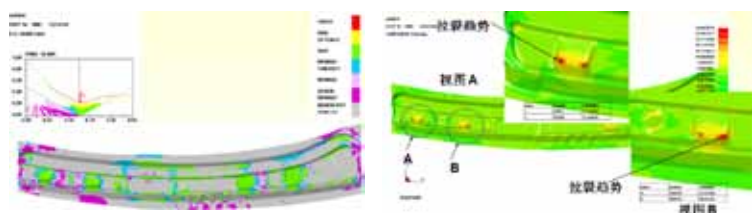


冲压工艺模拟应用案例

项目案例一：覆盖件冲压成形模具结构优化分析

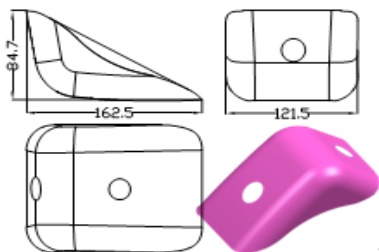
项目描述：某覆盖件冲压成形方案设计中，初始设计通过模拟计算发现中间反拉深圆角处出现减薄率超过许可要求，发生局部拉裂现象，通过改进模具圆角进行方案的改进并进行新方案的模拟计算，获得新方案下的模拟结果，预测冲压的可行性结果



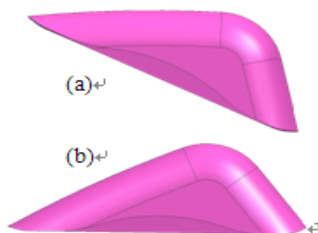


项目案例二：某外罩拉深成形工艺方案优化

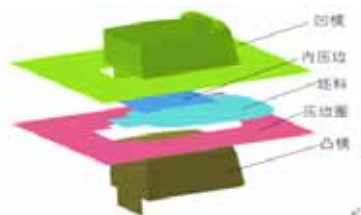
项目描述：某种由单冲模改为级进模生产的不规则形状的外罩，由于受到料带整体排样、冲压方向以及相邻工步等条件的限制，使得成形方案的最终确定产生了很大困难。为此，使用 Dynaform 软件对备选方案中的拉深工艺进行了数值模拟，在跟实验对比的基础上确定了合理的拉深方案、排样、下料尺寸、压边力大小以及其他相关工艺参数。同时针对在成形过程中所产生的起皱现象，根据模拟确定了拉延筋的参数及布置方案。



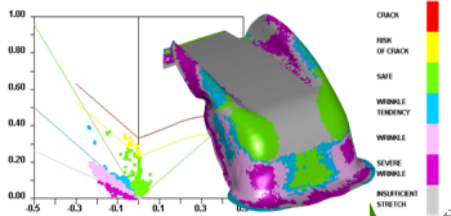
外罩形状及基本尺寸 (mm)



拉深成形的两种放置方式



方案 1 拉深模型



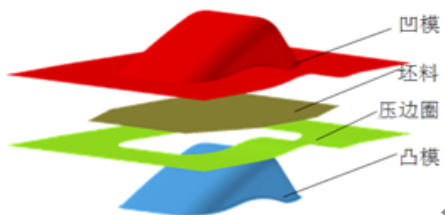
方案 1 模拟所得的拉深效果



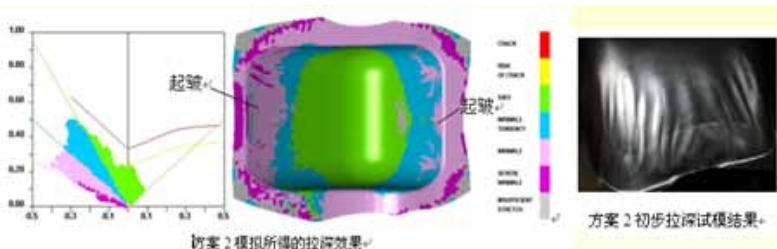
方案 1 拉深试模结果

方案 1、零件的大平面与冲压方向垂直，设置了 2 个压边圈。

该方案在冲压时造成坯料两侧严重上翘，起皱严重。压边圈不能压住料，形成材料重叠



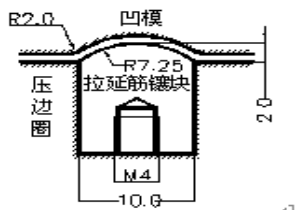
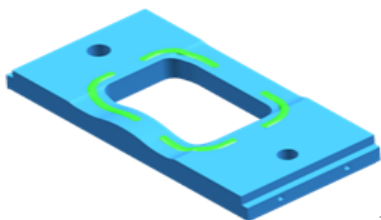
方案 2 拉深模型



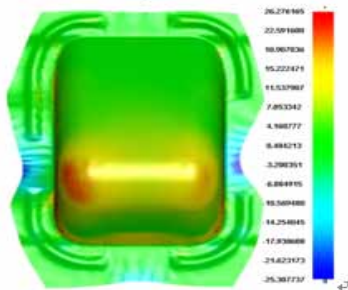
方案 2 模拟所得的拉深效果

方案 2 初步拉深试模结果

方案 2、直接按产品结构进行不对称拉深，压边圈在弧形边一侧随形做成弧面。
该方案在无拉延筋的情况下，无破裂，但起皱严重



拉延筋的布置方案及参数



拉深变薄云图



拉深成形最终效果

方案 3、采用非对称拉延筋控制材料流动，该方案无破裂、起皱缺陷

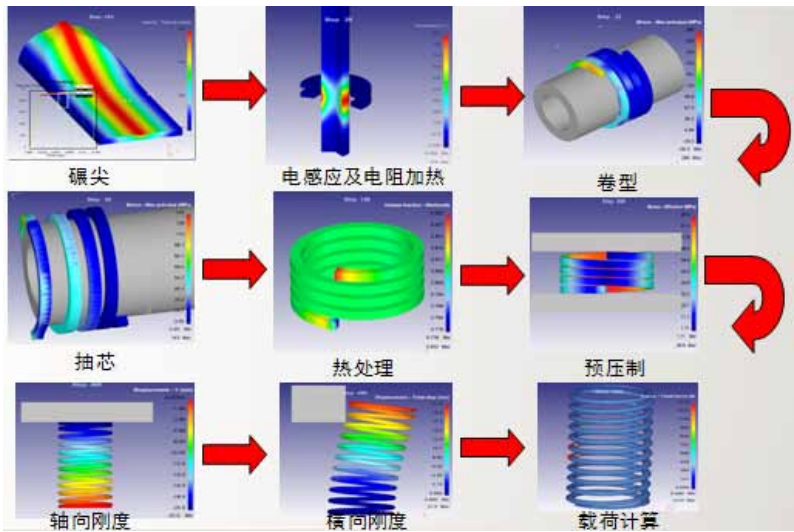
► 安世亚太工艺 CAE 仿真协同解决方案

随着制造工艺的复杂化及仿真分析的深层次需求，产品从制造工艺到研发设计需要进行全面的一体化分析。产品的加工过程的各个环节将对下一工序产生影响，工艺加工结果也将对设计的产品使用方面产生进一步影响。因此，从制造 CAE 到设计 CAE 的一体化分析就显得十分有必要。安世亚太所提供的全面一体化分析方案，能够将各种工艺解决方案与研发设计仿真方案进行良好衔接，实现加工一体化平台的整体解决方案。

1. 体积成形多种工艺一体化仿真

一体化方案：Deform 各专业分析模块连续仿真

Deform 金属体积与热处理分析方案能够实现加工工艺的一体化综合分析方案，从开坯、锻造、切削、热处理到 DOE 优化能够进行完整的连续模拟计算，Deform 的各个分析模块直接能够实现模型数据、计算结果的无缝传递，体现连续加工过程对最终结果的影响。



弹簧全工艺过程模拟

以弹簧的整个制造过程为例，Deform 各专业模块能够实现从弹簧棒料碾尖（deform shape rolling）-> 加热（deform heat transfer）-> 卷型（deform forming）-> 抽芯（deform 3D）-> 热处理（deform HT）-> 预压制（deform 3D）-> 刚度计算（deform 3D）。各阶段均能够实现专业的模拟计算，各模块及分析数据均能无缝传递到下一模块或计算中，使得弹簧的全部加工过程都能够通过仿真实现，每个阶段产生的制造缺陷均能进行有效预测，实现了真正的全工艺一体化模拟方案。

2. 铸 - 锻一体化仿真

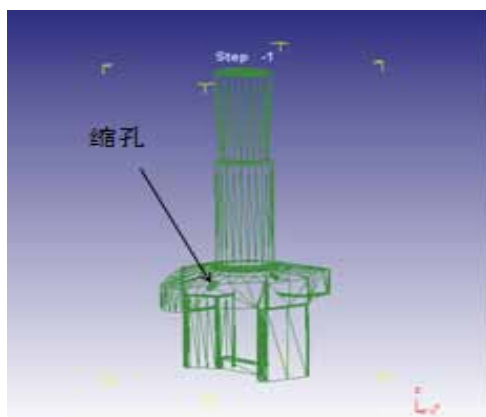
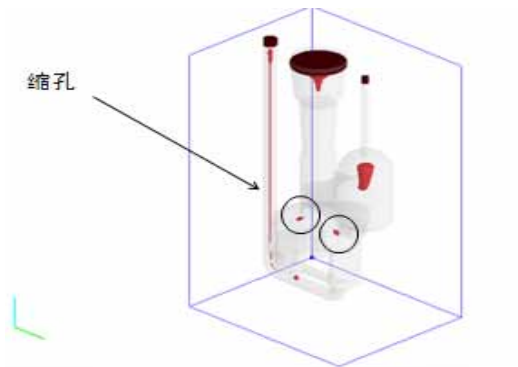
一体化方案：Novacast 铸造 -> Deform 锻造

大型铸锻件产品的加工包括锻坯铸造及自由锻造两个过程，铸造工艺过程产生的缩孔缩松等缺陷将影响后续自由锻阶段的产品特性，如铸造缩孔、刚性及柔性夹杂、缩松集中区域将在自由锻过程中产生空隙流动、变形、闭合甚至在此处产生延展性裂纹，最终造成产品成为废品。

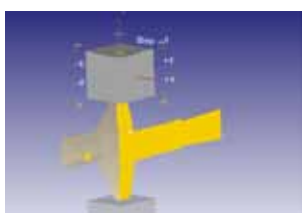
Novacast 专业铸造软件能够预测铸造过程中缩孔缩松及夹杂的产生及位置，并能够通过相应的数据格式进行输出，输出的数据能够继续导入到 Deform 中进行自由锻的分析计算，使得铸造和锻造工序实现良好的结合并最终预测整个铸锻过程的产品缺陷。

Novacast 能够输出的结果数据包括：

- 缩孔形态及坐标位置的几何模型
- 缩松集中区域的几何形态及坐标位置
- 收缩变形后的几何形状
- 残余应力分布的数据输出
- Deform 可以接受上述输出的各种数据，通过布尔操作及空隙介质模型实现
- 导入缩孔形态及位置，通过布尔操作在锻坯内部形成孔洞，成形过程中分析孔洞的流向及闭合情况
- 导入缩松集中区域几何形状及坐标，通过定义孔隙率分析成形过程空隙闭合情况及随材料流动情况
- 导入铸造收缩变形后的形状作为锻坯初始状态
- 自定义输入残余应力集中的部位数值作为成形前的初始条件，评估铸造应力对成形的后续影响



铸造缩孔缺陷向锻造分析的传递

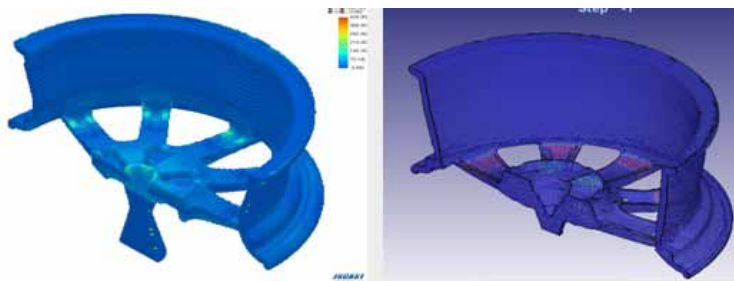


成形过程缩孔流动及变形

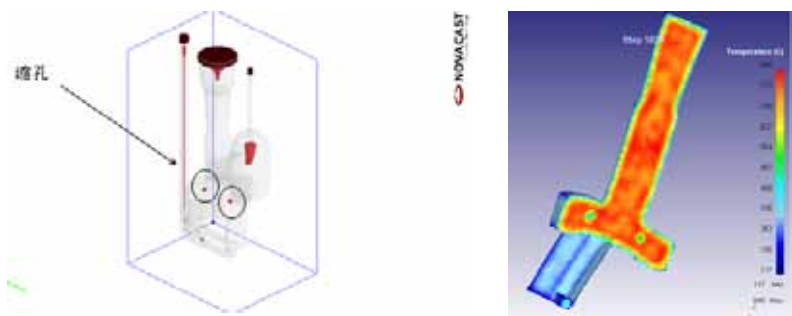
3. 铸造 - 热处理一体化仿真

一体化方案 : Novacast 铸造 -> Deform HT 热处理

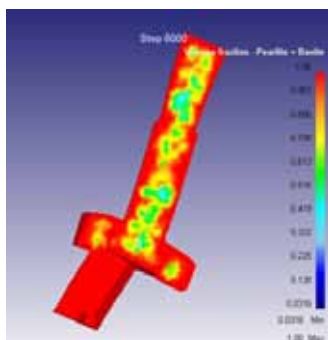
铸造后的产品往往需要经过热处理工序改善产品性能，常用的热处理工序包括淬火、回火、去应力退火及调质、固溶处理等。Novacast 能够将铸造缩孔缩松缺陷及残余应力输出到专业 Deform HT 模块进行后续的热处理分析，预测热处理缺陷及铸造缺陷对热处理工序的影响。



铸造应力集中位置及数据向热处理模块的输出



缩孔缺陷在加热过程中的温度场



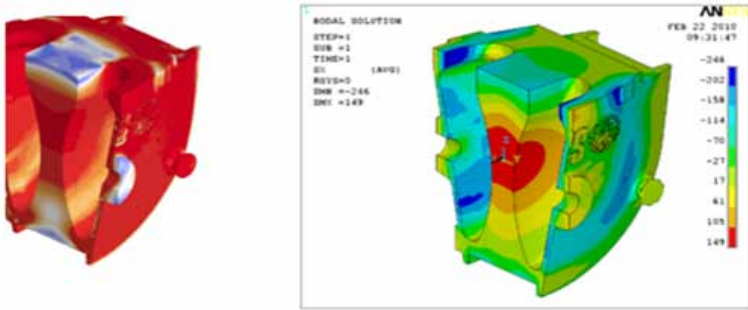
热处理组织转变

4. 铸件强度及疲劳寿命分析一体化仿真

一体化方案 : Novacast 铸造 ->ANSYS 结构力学分析

铸件产品的最终目的是用于机械结构的使用，而铸件产品的质量直接影响到铸件本身或机械结构的强度或使用寿命。铸造凝固过程将产生一定的残余应力，残余应力集中现象会使产品在受力或循环载荷使用过程中产生疲劳断裂现象，因此从铸造结果到强度及疲劳分析结果的连续分析对于评估铸件产品的整体质量有着不可忽略的影响。

Novacast 能够直接将铸造产生的残余应力以数据格式输出并导入到结构分析软件 ANSYS 中进行强度、疲劳等方面的分析，评估铸造对最终产品设计及使用的影响。

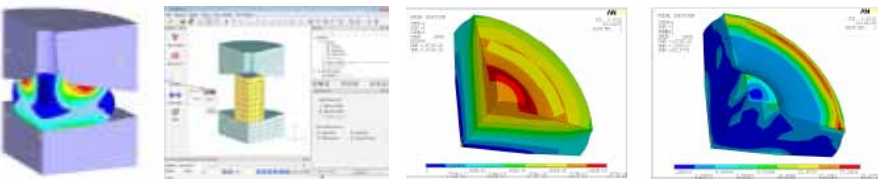


Novacast 铸造应力到 ANSYS 的数据传递

5. 锻造 - 热处理件强度及疲劳寿命分析一体化仿真

一体化方案 : Deform 锻压、热处理 ->ANSYS 结构力学分析

Deform 能够将成形、切削及热处理的残余应力结果直接以数据格式输出并导入到结构分析软件 ANSYS 中进行强度、疲劳等方面的分析，评估锻件、切削件或热处理件对最终产品设计及使用的影响。



Deform 应力到 ANSYS 的传递

► 安世亚太技术服务体系

与 CAD 软件相比，CAE 仿真软件的使用所要求的技术层次更高。因此，CAE 仿真软件公司的实力和技术服务是保证客户能用到可靠的 CAE 仿真软件、能用好 CAE 仿真软件的最重要条件之一。作为业内最大的 CAE 软件技术服务公司，安世亚太科技股份有限公司的实力技术服务能力和口碑是其它任何分析软件公司无法比拟的。

部分奖项
2011 中国制造业研发管理解决方案杰出供应商
2012 中国年度创新软件企业
Ansys 十五年杰出贡献奖
中国烟草行业信息化突出贡献企业奖
中国软件和信息服务业最有价值品牌
2011 中国 CAE 杰出贡献奖
2010 中国制造业信息化工程创新之星
‘十一五’国家科技计划执行优秀团队奖
中国软件影响力百强
2009 中国制造业信息化工程风云榜“十大创新领袖”
2010 年度中国行业信息化突出贡献企业奖 (QMAX)
2010 推进两化融合杰出贡献企业

安世亚太拥有最大而且最稳定的专业技术服务团队

安世亚太在中国有 300 多位全部拥有硕士以上学位的专业技术支持人员，远远超过其它分析软件公司，另外还有 15 个地区和行业技术支持中心共同为中国用户服务，其中专业工艺仿真技术人员达 10 位以上，都是具有硕士以上学历、多年的实际生产及工艺仿真工作经验的专业工程师。同时，安世亚太全国的技术力量实行统一调配，用户可享受到更广泛范围的技术支持。



安世亚太全国子公司及技术支持中心分布图

完善的售后培训

安世亚太的商业用户在购买了相应的仿真软件后，安世亚太公司将会根据客户需求针对现有工艺需求，提供系统初、中、高级培训，配合用户工艺仿真人员将仿真软件应用到实际工艺生产设计中。

持续的售后技术服务

工艺软件（Deform、Novacast、RTM-Worx）的每个用户都有一个唯一的用户 ID 号，通过此 ID 号，可随时向安世亚太发出技术支持请求，公司有专门的售后服务部门及时响应用户的请求并有全国免费的 400 服务专线提供支持。安世亚太每个办事处都专门建立了设备先进的培训中心，开设了大量的定期和不定期用户培训课程。同时，可针对用户需求定制培训内容。

拥有最丰富的参考资料

工艺软件用户不但能从安世亚太公司获取各种中英文的软件应用资料、手册、算例，而且可以从市面上购买相关参考书。

高校技术合作推广中心

安世亚太工艺产品已经与国内很多著名高校的材料加工专业成立了推广中心，针对行业特殊专业领域的需求进行专家教授级别的技术指导。这些合作中心还具有多种材料研究及测试设备，可以为需要进行材料测试的用户提供帮助。



安世工仿官方微信



安世亚太官方微信



安世工仿
PERA CAE

亿维讯
IWINT, INC.

安世亚太
PERA CHINA

安世中德
PERA-CAD/DEM

金铭瑞通
JINMING RUI TONG

安世亚太科技股份有限公司

010-52167777

info@peraglobal.com

cae@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