

叶片成形工艺 CAE 解决方案



安世亚太科技股份有限公司

晏建军

2012 年 07 月

目 录

1. 叶片的概述.....	3
1.1 叶片的用途及分类.....	错误!未定义书签。
1.2 叶片的制造工艺.....	4
2. 叶片的关键工艺问题及其涉及的相关专业问题.....	4
3. 叶片制造工艺的 CAE 需求分析.....	4
4. 叶片制造工艺的 CAE 解决方案.....	5
4.1 叶片的锻造成形工艺分析.....	5
4.2 叶片的切削工艺分析.....	6
4.3 叶片的铸造成形工艺分析.....	10
4.4 叶片的冲压工艺分析.....	11
4.5 叶片锻造模具强度分析.....	13
5. 安世亚太提供的叶片制造工艺 CAE 解决方案.....	14
6. 安世亚太公司及技术支持.....	14
7. 叶片相关行业国内典型用户.....	15



1. 叶片的概述

1.1 叶片的用途及分类

叶片是流体传动设备上的重要部件之一,主要分为静叶片和动叶片。静叶片一般由工作部分和安装部分组成,动叶片一般由叶根、叶型和叶顶三部分组成。

叶片主要分为风机叶片、燃机叶片、汽轮机叶片、风扇叶片、发动机叶片等,风力机叶片主要用于电力和可再生能源行业,该种叶片上的每个剖面设计成翼型,从叶根到叶尖,其厚度、扭角和弦长有一定分布规律,具有良好的空气动力外形。发动机叶片主要用于航空科技和推进技术与航空动力装置行业,该种叶片按一定规律作空间积叠的叶型,或按气动设计直接造型所形成的空间曲面体,并通过它与气流进行能量交换和转换的叶状元件。燃机和汽轮机叶片主要用于机械工程、传动和液力传动行业,该种叶片是叶轮的主要导流部分,它直接改变工作液体的动量矩。

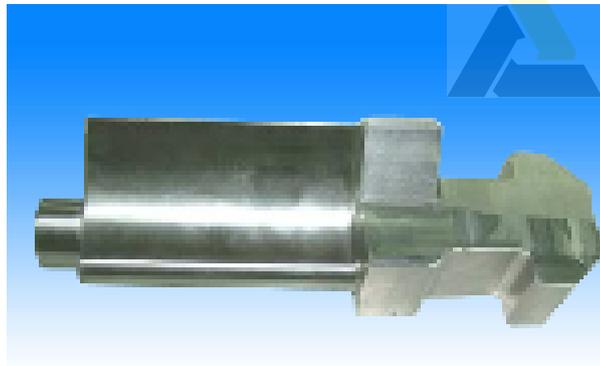


图 1 工业叶片



图 2 航空发动机及叶片

1.2 叶片的制造工艺

叶片（毛坯）的制造工艺主要以切削和锻造工艺为主，另外还包括铸造和冲压等成形工艺。

- 1、锻造成形工艺：
- 2、切削成形工艺
- 3、铸造成形工艺
- 4、冲压成形工艺

2. 叶片的关键工艺问题及其涉及的相关专业问题

表 1 关键工艺问题涉及的相关专业问题

序号	工艺问题	涉及的相关专业问题
1	锻造工艺材料填充、折叠、成形吨位、温度场	热-结构耦合、塑性成形问题
2	铣削工艺切削力、温度场、切削屑、回弹等	热-结构耦合、摩擦、金属切削、回弹问题
3	铸造工艺填充不足、缩孔缩松、铸造应力、温度场等	流场、相变、热-结构耦合问题
4	冲压工艺减薄率、回弹、裂纹等	塑性成形、静力回弹问题
5	模具强度、裂纹、磨损、结构优化	结构变形、强度、优化问题

3. 叶片制造工艺的 CAE 需求分析

叶片的多种制造工艺及其模具设计所涉及的工业问题，以往的研发手段基本是在研发过程中进行不断“试模”和实验，这种靠经验式的方法不但延长了研发周期、增加了开发成本，而且对于出现的很多制造工艺问题也无法找到内在原因，对于新材料及新产品也需要长期的过程来积累加工经验，因此已不能满足现代高效的叶片制造工艺需求。

叶片的各制造工艺可以通过 CAE 技术实现快速试模，在研发过程的早期发现工艺设计、模具设计的缺陷和内在问题，优化成形工艺，降低制造成本，提高产品质量。

叶片的 CAE 制造工艺分析需求包括：

1、叶片的锻造成形工艺分析

- 叶片的锻造工艺分析主要是预制毛坯的锻造分析。

2、叶片的切削工艺分析

- 叶片铣削工艺分析

3、叶片的铸造成形工艺分析

- 叶片的铸造工艺过程分析，包括充型、凝固、冷却应力分析

4、叶片的冲压工艺分析

- 叶片冲压分析，包括拉深和回弹分析

5、叶片锻造模具强度分析

- 叶片模具强度、裂纹、变形及磨损分析

4. 叶片制造工艺的 CAE 解决方案



4.1、叶片的锻造成形工艺分析

叶片的锻造成形工艺分析主要包括预制坯的锻造成形分析，叶片的锻造工艺分析可实现：

- 通过锻造全过程模拟，获得叶片形状及尺寸，有助于分析叶片缺陷发生的原因；
- 获得锻造过程工件应力场、应变场及速度场分布；
- 分析材料流动规律及材料纹理流动现象；
- 预测成形缺陷，包括裂纹、凹坑、飞边、折叠、填充不足等；

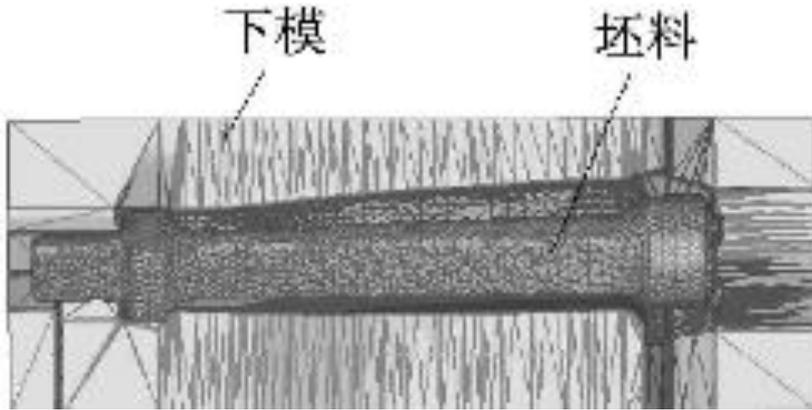


图 3 叶片精锻成形

- 可优化工艺参数，包括成形力、成形速度、润滑方案、毛坯尺寸等；
- 分析及优化叶片结构参数，降低成形吨位、避免成形缺陷；
- 获得锻造成形过程中金属微观组织相图、晶粒尺寸变化情况。

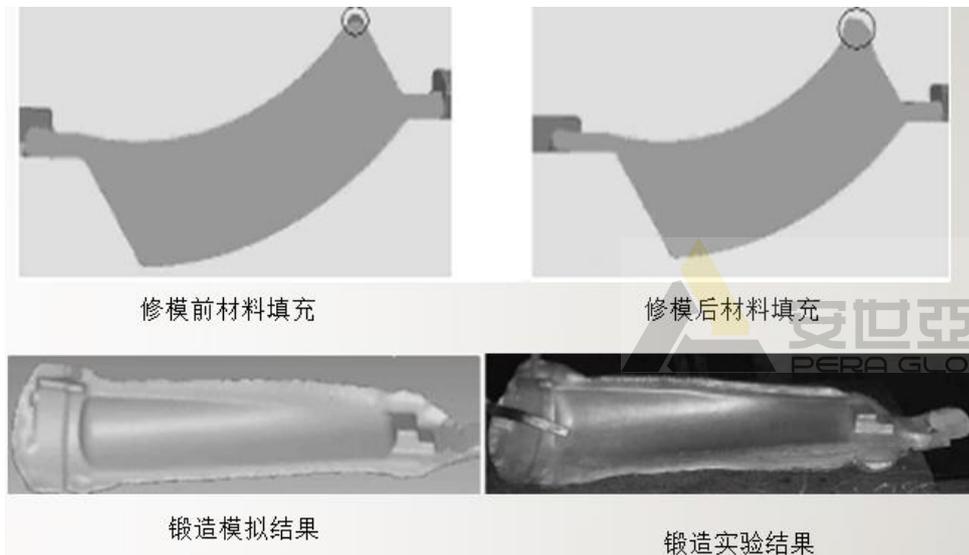


图 4 叶片锻造缺陷分析

4.2、叶片的切削工艺分析

叶片切削成形工艺主要是曲面铣削工艺，叶片铣削工艺分析可实现：

- 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；

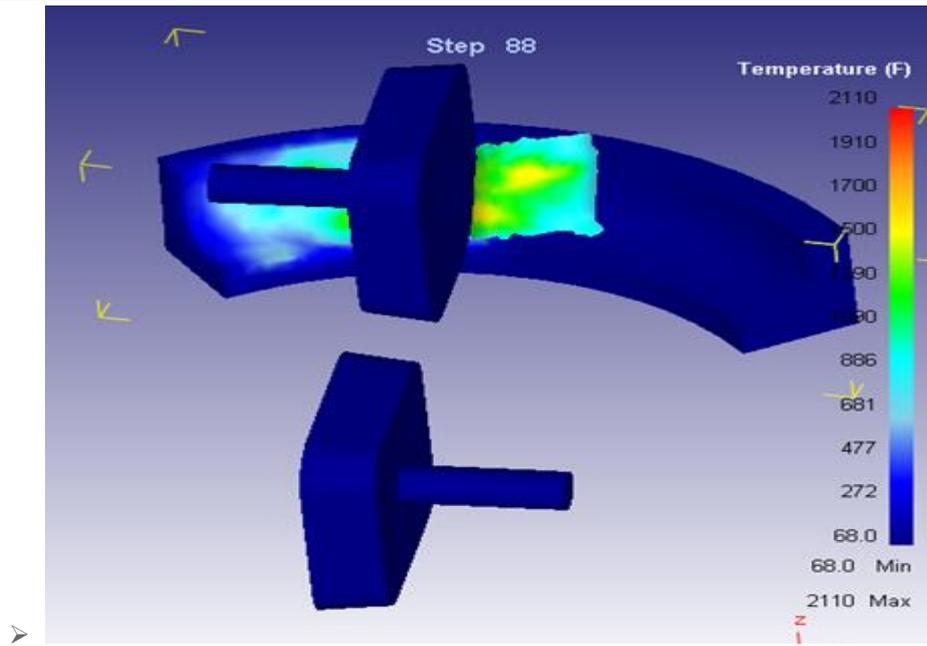


图 5 铣削工艺分析

➤可计算切削屑形状、切削温度场、切削液快速冷却过程；

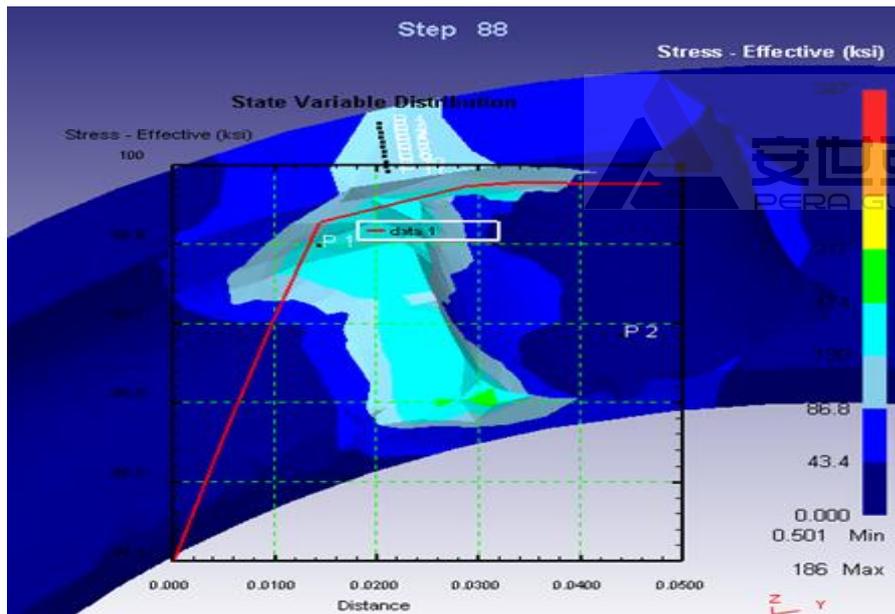


图 6 铣削工件等效力云图

➤可进行加工过程刀具控制力的计算，可任意设定加工路径；

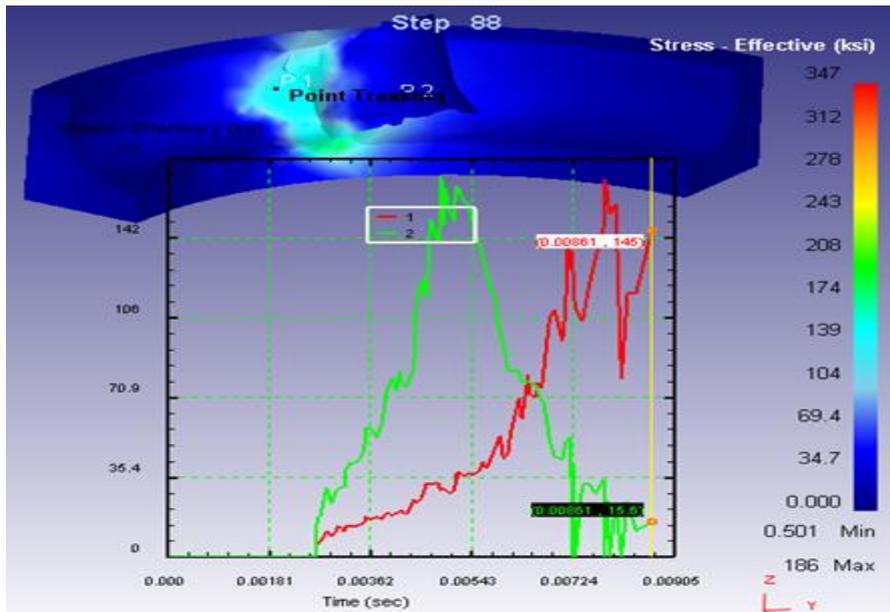


图 7 铣削等效应力曲线

- 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；

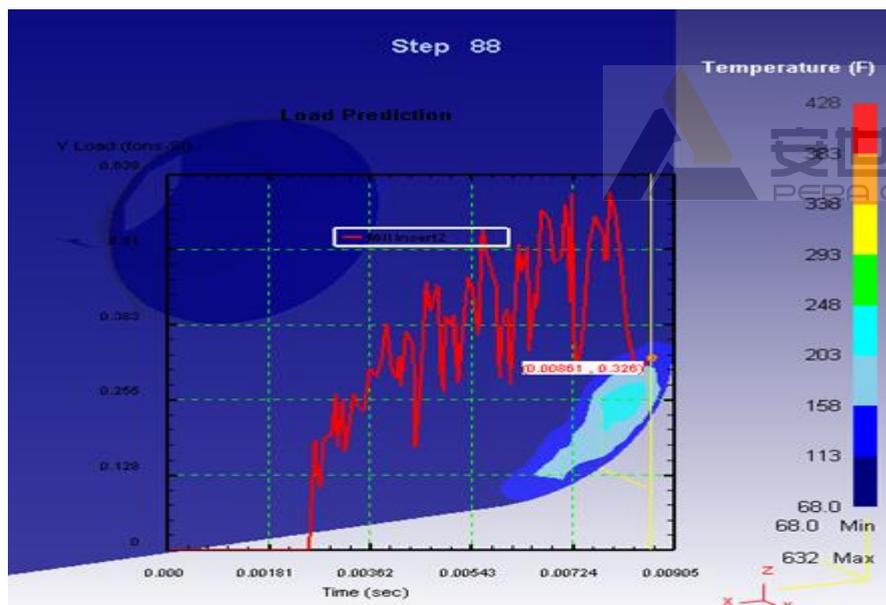


图 8 刀具温度场云图及铣削力曲线

- 可优化刀具结构及加工工艺参数，包括进给量、铣削速度及深度等；
- 可进行机加工后机床卸载后的工件变形及残余应力分析；

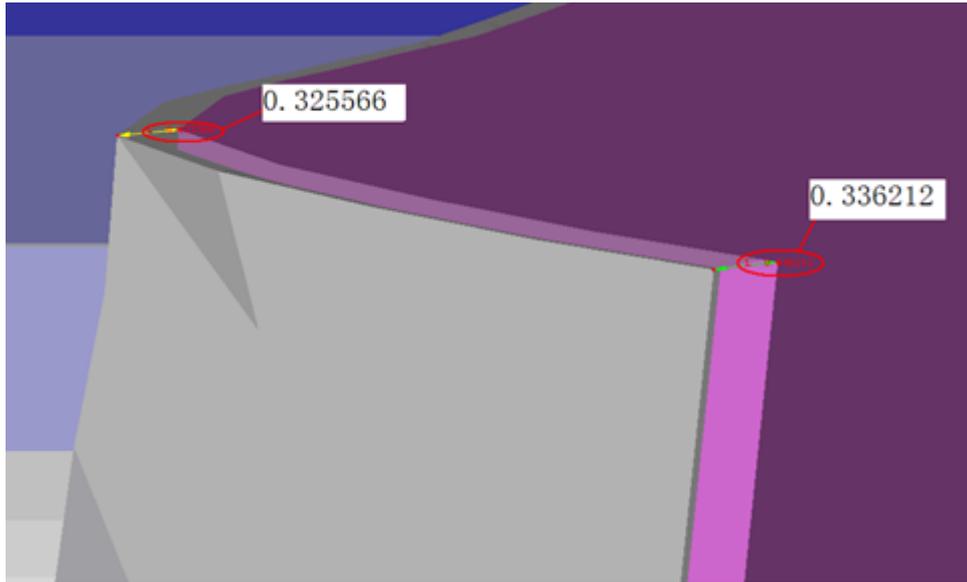


图 9 加工后回弹分析

4.3、叶片铸造成形工艺分析

叶片铸造成形工艺分析一般为差压铸造、重力铸造，包括金属液充型过程、凝固过程和冷却应力计算过程的分析，可实现：

- 浇注及压铸叶片成形工艺过程的金属液充型、凝固和冷却应力分析；
- 浇铸系统、排气孔和溢流槽的位置及个数优化；
- 优化铸造工艺参数，如差压压力、浇注速度、浇注温度、保压压力及时间等；



图 10 叶片铸造温度场云图

- 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；
- 铸造缺陷预测，包括，包括缩松、缩孔、浇不足、冷隔、卷气、气孔、夹杂、热裂、粘砂、氧化膜、收缩等；

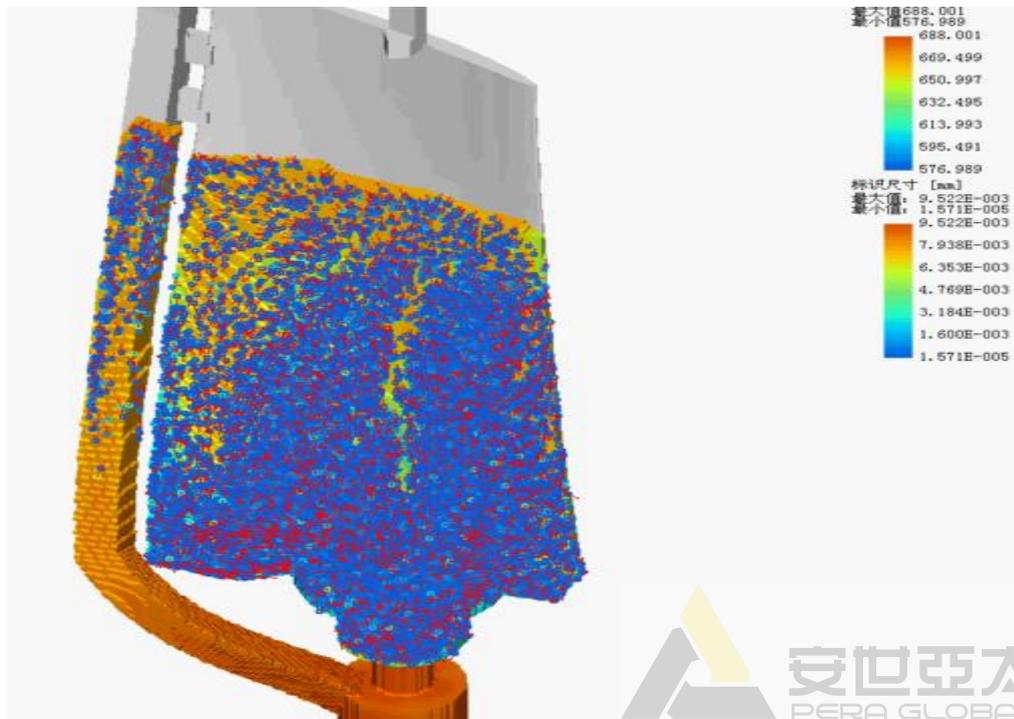


图 11 叶片铸造气泡缺陷分析



图 12 叶片铸造缩孔分析

- 可计算合金氧化膜的卷入及破碎、熔液压力及氢浓度，铝合金微孔缺陷

的定量推定；

- 考虑球墨铸铁奥氏体的凝固收缩、球墨体积膨胀、石墨颗粒尺寸的变化

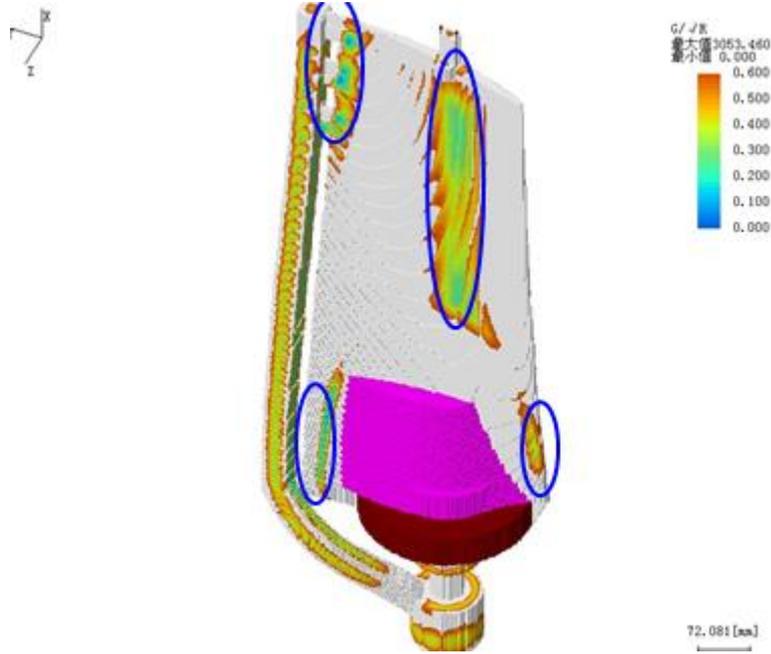


图 13 叶片铸造缩松位置

4.4、叶片冲压工艺分析

叶片的冲压工艺，主要关注薄板叶片的冲压拉深过程及出现的材料塑性变形、拉裂、起皱及回弹情况，通过叶片拉深工艺过程进行模拟计算，可预测各种成形缺陷，优化冲压拉深工艺参数。

- 实现叶片冲压过程模拟，获得材料流动规律，成形形状尺寸，指导模具设计及工艺参数的优化。



图 14 叶片热处理温度场

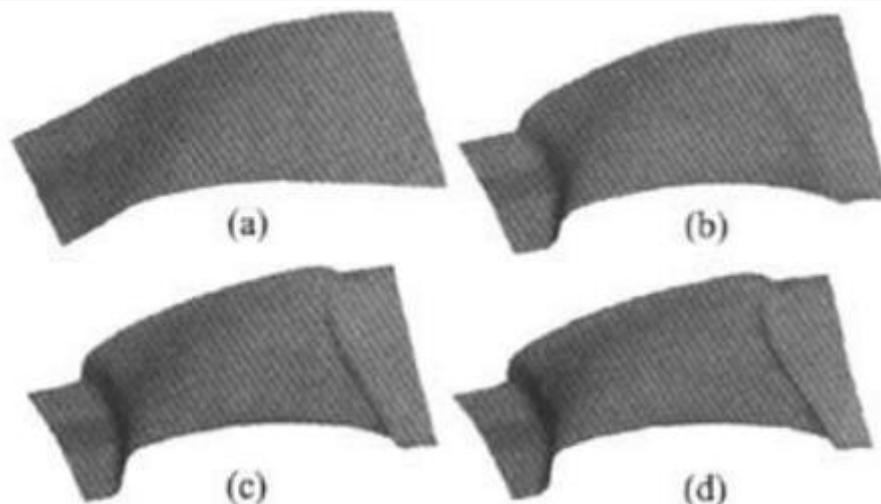


图 15 叶片拉深变形过程

- 通过成形极限云图预测各种冲压拉深缺陷，包括拉裂、起皱、拉深不足等；
- 获得多种成形数据，包括材料流动、减薄率、应力应变等；



图 16 成形极限云图

- 计算拉深后回弹情况，获得回弹尺寸及回弹角度，自动修正模具结构；

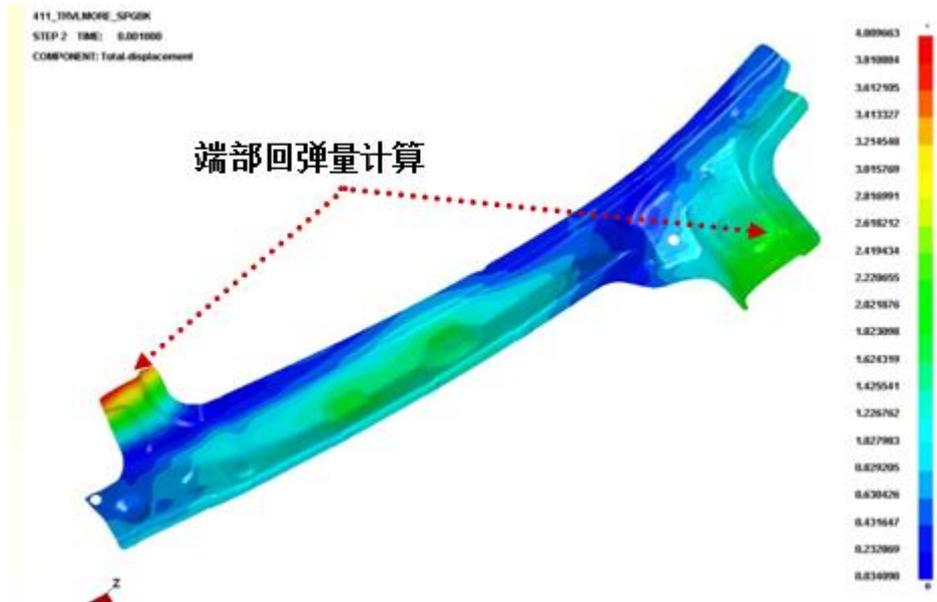


图 17 回弹量计算

4.5、叶片锻造模具强度分析

叶片锻造成形过程中，模具受到较大成形力作用，可能会使模具产生局部集中应力，造成裂纹或低周疲劳断裂，模具产生较大弹性变形或者磨损，叶片模具分析可实现：

- 叶片锻造模具在叶片成形过程中的应力分析；
- 模具热装及组合模具应力分析；
- 模具磨损及疲劳裂纹分析；
- 模具弹性变形分析；

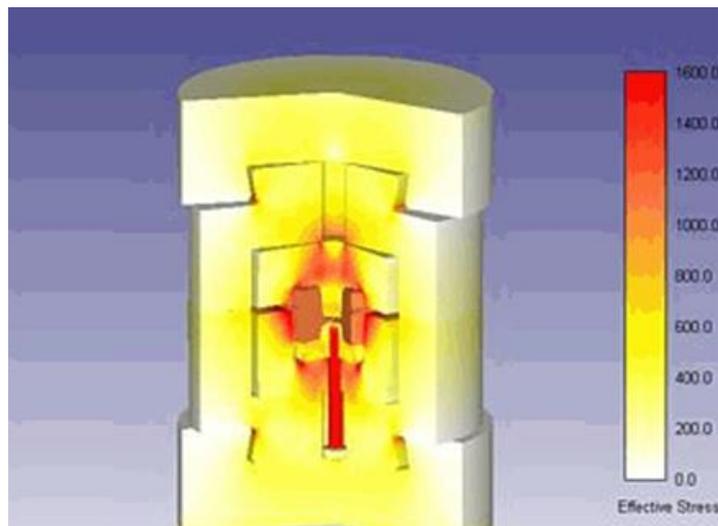


图 18 叶片模具应力分析

5. 安世亚太提供的叶片制造工艺 CAE 解决方案

根据叶片的制造工艺特点和 CAE 分析需要，安世亚太科技股份有限公司结合自身多年的 CAE 实施经验，为叶片的制造工艺提出了全面的 CAE 解决方案：见下表 2。

表 2 安世亚太提供的叶片制造工艺 CAE 解决方案

序号	工艺问题	涉及的相关专业问题
1	锻造工艺材料填充、折叠、成形吨位、温度场	DEFORM 3D
2	铣削工艺切削力、温度场、切削屑、回弹等	DEFORM Machining
3	铸造工艺填充不足、缩孔缩松、铸造应力、温度场等	JSCAST
4	冲压工艺减薄率、回弹、裂纹等	DYNAFORM/FTI
5	模具强度、裂纹、磨损、结构优化	DEFORM 3D

具体产品功能与特色见安世亚太科技股份有限公司官网：

www.peraglobal.com .

6. 安世亚太公司及技术支持

安世亚太科技股份有限公司一直是国内最大的工程仿真技术提供者和技术服务商，为金属成形软件客户提供全方位本地服务和技术支持。

安世亚太及其服务支持能力：

- 安世亚太在中国有 12 个分公司，17 个技术支持中心，500 多名员工，其中一半以上是专职技术人员；
- 有成功的商业用户 1400 多家，大学版用户 800 多家；
- 超过 170 多所大学开设软件课程，每年有最少 16000 名受过正规产品培训的大学生走上工作岗位；
- 在软件本地化方面也走在最前列，自 1998 年就率先在国内推出全套中文

手册，目前所有的分析过程指导手册和高级培训手册都有相应的最新版汉语版本。

在贵公司软件调研阶段，安世亚太公司提供就近的服务，包括：

- 提供方案、解释方案；
- 探讨最佳配置；
- 解释安世亚太软件所有模块功能以供选择；
- 负责建议硬件配置。

在贵公司成为安世亚太正式用户之时起,安世亚太公司提供全方位本地服务和技术支持，包括（ISO9001 认证的服务方式）：

- 指导并完成用户所购软件的安装；
- 建立详细的用户信息档案；
- 为用户提供各种方式的技术支持，包括：
 - 软件维护；
 - 操作指导；
 - 解决工程技术问题的技术路线指导；
 - 服务方式：
 - E-mail (24 小时)；
 - 电话（工作日）；
 - 用户现场；
 - 定期发放用户跟踪表，定期的用户回访；
 - 提供初级、高级培训；
 - 免费提供安世亚太相关专业杂志，年会论文集；
 - 有偿提供项目导航、工程项目咨询及软件定制等服务



7. 叶片相关行业国内典型用户

- 西安航空发动机有限公司
- 贵州黎阳厂
- 南车戚墅堰工艺研究所
-