

# 轮毂成形工艺 CAE 解决方案



# 目录

1 轮毂概述 .....	1
1.1 轮毂简介 .....	1
1.2 轮毂结构特点 .....	1
1.3 轮毂材料选择 .....	2
2 轮毂制造工艺及工艺仿真需求分析 .....	3
2.1 轮毂制造工艺分析 .....	3
2.2 轮毂工艺仿真需求分析 .....	4
3 轮毂制造工艺 CAE 解决方案 .....	5
3.1 轮毂铸造工艺分析 .....	5
3.2 轮毂锻造工艺分析 .....	7
3.3 轮毂旋压工艺分析 .....	8
3.4 轮毂冲压工艺分析 .....	9
3.4 轮毂热处理工艺分析 .....	11
4 安世亚太轮毂制造工艺 CAE 工具 .....	12
5 安世亚太公司及技术支持 .....	12
6 轮毂相关行业国内典型用户 .....	14



# 1 轮毂概述

## 1.1 轮毂简介

轮毂是汽车上最重要的安全零件之一，轮毂承受着复杂的载荷，包括汽车和载物质量作用的压力，车辆在启动、制动时动态扭矩的作用以及汽车在行驶过程中转弯、凹凸路面、路面障碍物冲击等来自不同方向动态载荷产生的不规则交变受力。而轮毂的质量和可靠性不但关系到车辆和物资的安全性，还影响到车辆在行驶中的平稳性、操纵性、舒适性等性能，这就要求轮毂动平衡好、疲劳强度高、有好的刚度和弹性、尺寸和形状精度高、质量轻等。因此，也给轮毂的制造工艺提出了巨大的挑战。



安世亚太  
PERA GLOBAL

## 1.2 轮毂结构特点

轮毂主要是由轮辐和轮辋两大部分构成。

轮辐是介于轮胎与车轴之间的起支撑作用的重要部件。轮毂按轮辐的构造可分为辐条式轮毂和辐板式轮毂两种。辐条式轮毂的轮辐是由许多钢丝辐条组成的，这种钢丝辐条能起到很好通风散热的作用，但要求数量多、价格贵，且不利于安装及维修，仅适用于高级轿车和高档赛车上。辐板式轮毂通常由辐板、轮辋、挡圈及气门嘴孔组成，其中辐板就是用以连接轮辋和安装凸台的支架或圆盘，也称轮辐，其数量和形式多种多样，常见的有五辐，六辐，七辐等。

轮辋是在轮毂上安装和支撑轮胎的部件，轮辋的外部是轮缘，与轮胎相配合。

轮缘的外沿部分易遭受外力载荷的冲击，且在冲击后常产生变形，甚至形成裂纹导致汽车轮胎胎压的泄漏。轮辋常见结构形式主要有深槽式，对开式，平底式，深槽宽式，半深槽式，全斜底式，平底宽式，整体式，可拆卸式等。

汽车轮毂的结构部件还包括胎圈座、胎斗、轮缘等，分别起着衬托胎缘、支撑胎圈、给予轮胎以轴向支承并保护胎圈以免受外界损伤等作用。

### 1.3 轮毂材料选择

汽车轮毂的材料可以选用轻质合金材料（铝、镁合金等）、钢铁材料以及复合材料等三大类别。

铝合金汽车轮毂目前在中占有绝对主导地位，其装车率在 60%以上。至今世界上主要汽车生产大国已经将铝合金轮毂作为车辆的标准配置。与钢制及其他材料汽车轮毂相比，铝合金汽车轮毂具有如下优点：

- (1) 重量轻，减重效果明显，可比钢制车轮毂重量减轻 30%~40%；
- (2) 减震性能好，吸收冲击能量强，可改善车辆的行驶性能，提高安全性；
- (3) 导热性好，可降低轮胎工作温度，提高轮胎的使用寿命；
- (4) 外形美观，采用不同工艺生产铝合金轮毂的结构可以多样化，可以很好地满足各类使用者的审美要求。

镁合金轮毂重量较轻，近年来，出于能源、环保和汽车业内的竞争压力，以及原镁材料价格的下降、镁合金防腐工艺的提高以及镁合金成型工艺的改善，镁合金轮毂的应用越来越广泛。镁合金轮毂具有以下优点：

- (1) 强度高，抗振性能好，外力退让性好，比铝合金轮毂可以承受更强烈的冲击载荷；
- (2) 面设计自由度大，镁合金截面刚度随起厚度的立方比而增加，利于调整和设计方案；
- (3) 切削性能好，轮毂表面无须抛光；
- (4) 受冲击摩擦不会起火花。

然而，由于较高的价格、较低的耐蚀性以及材料生产中的延展性困难、在产品的锻造和铸造生产中需要特殊技术等因素的制约，镁合金轮毂在汽车上的应用仍不十分普及。

碳素钢主要用于规则成型钢轮毂，该轮毂是由坚固的圆柱形轮辋和碳素钢轮盘焊接而成。碳钢轮毂价格较低，基本能够满足一般动力性能机车的要求，但由于材料强度低、比重大等缺点，一般不常使用。球墨铸铁也可用于制造汽车轮毂，其综合力学性能优良，但同样强度相对较低、密度大，且铸造过程及铸造模型制作复杂、轮毂形状难于控制，也大大限制了其应用。一些强度高、塑韧性好、加工成形性和焊接性良好的合金钢，可以用作轮毂材料，其综合性能较好，在重载汽车及普通轿车上较为常用。

复合材料具有特殊的振动阻尼特性，可减震、降低噪声，抗疲劳性能好，损伤后易修理，便于整体成形，可用于汽车轮毂制造。复合材料汽车轮毂具有以下特点：

- (1) 比强度和比模量高；
- (2) 化学稳定性优良；
- (3) 减磨、耐磨、自润滑性好；
- (4) 具有高韧性和高抗热冲击性，耐热性好，并具有导电和导热性。

## 2 轮毂制造工艺及工艺仿真需求分析

### 2.1 轮毂制造工艺分析

汽车轮毂的制造工艺非常多样，铸造法、锻造法、旋压法、冲压法、热处理等均可用于汽车轮毂的制造。

(1) 铸造法具有适应性强、花色品种多样、生产成本较低等优点，也是生产轮毂最普遍的方法，尤其铝合金轮毂中，铸造占 80% 以上。

金属型重力铸造法由于金属液在金属铸型中冷却速度较快，铸件比砂型铸造的组织致密。该法工序简单，设备投资少，生产成本较低，适用于中小规模生产。但此方法生产的铝轮毂加工余量大，内部质量较差，缩孔缩松严重，浇注过程中氧化膜和熔渣等夹杂物易卷入铸件，有时也会卷入气体而形成气孔缺陷。

金属型低压铸造法用干燥、洁净的压缩空气将保温炉中的金属液自下而上通过升液管和浇注系统平稳地上压到铸造机模具型腔中，保持一定 20~60 kPa 的压力直件凝固。因金属在压力下充型和凝固，所以充填性好，铸件缩松少，致密性

高。坩埚表面的氧化膜不会被破坏，气孔和夹渣缺陷少。同时由于利用压力充型和补充，大大简化了浇冒系统，使金属液利用率大大提高。但该方法铸造时间较长，加料、更换模具费时间，设备投资大。

(2) 锻造法生产的汽车轮毂晶粒流向与受力的方向一致，其强度、韧性与疲劳强度均显著优于铸造轮毂，有较好的减震性能及更高的强度重量比。同时，性能具有很好地再现性，几乎每个轮毂具有同样的力学性能。另外，锻造轮毂表面无气孔，因而具有很好的表面处理能力。而锻造轮毂的最大缺点是生产工序多，生产成本极高。

(3) 旋压是一种综合了锻造、挤压、拉伸、弯曲、环轧、横轧和滚挤等工艺特点的无切削加工先进工艺。成形的轮毂由于不受尺寸制约、产品美观、性能良好、安全性高、节省材料、节约能源等因素，其发展势头良好。

(4) 冲压成形是利用模具对金属板料进行压力加工获得设计所需形状、尺寸和性能的产品零件。其节约材料、效率高、成本低，是制造业中重要的加工工艺之一。由于轮毂轮辐的零件特点，冲压成为其成形的重要工艺方式之一。

(5) 汽车轮毂的热处理工艺主要包含传统的“四把火”等，对于铝合金热处理工艺主要由固溶处理和时效处理组成。



## 2.2 轮毂工艺仿真需求分析

根据对汽车轮毂制造工艺的分析，可得出汽车轮毂的制造过程涉及多种工艺类型且工艺难度较大，生产过程中面临多种产品缺陷的可能性。而传统的试错法（即不断地试模修模）大大的浪费人力、物力、财力及时间，企业面临的市场竞争压力却日益增大，这使得企业需要寻找一种方法来解决这一矛盾。采用工艺仿真方法，使用工艺软件进行虚拟试模可以大大减少实际试模的次数、降低产品研发周期、节省人力、物力、财力，是提高企业市场竞争能力的有效方法。

汽车轮毂制造工艺主要仿真需求如下：

### (1) 铸造工艺仿真分析

- 重力铸造分析；
- 低压精密铸造分析。

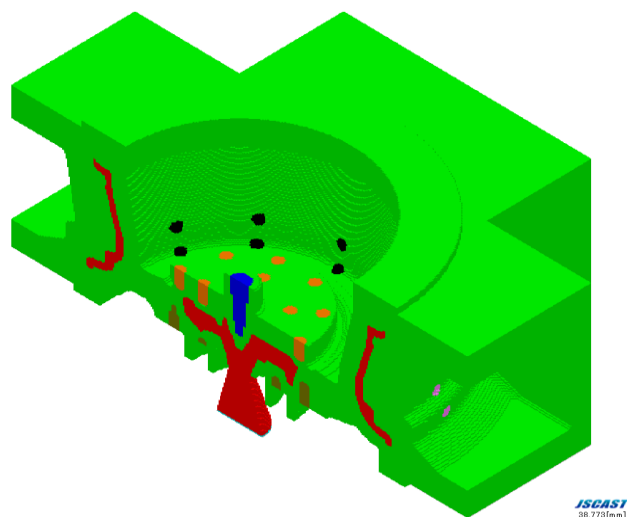
### (2) 锻造工艺仿真分析

- 热模锻分析；
- 半固态锻造分析等。
- （3）旋压工艺仿真分析
- 旋压成形分析。
- （4）冲压工艺仿真分析
- 冲压成形分析。
- （5）热处理工艺仿真分析
- 传统“四把火”分析；
- 渗碳；
- 固溶及时效处理分析；

## 3 轮毂制造工艺 CAE 解决方案

### 3.1 轮毂铸造工艺分析

轮毂铸造工艺分析能够全面的考虑充型过程、凝固过程及冷却过程的各种工艺参数，预测铸造过程中零件可能产生的各种成形缺陷。

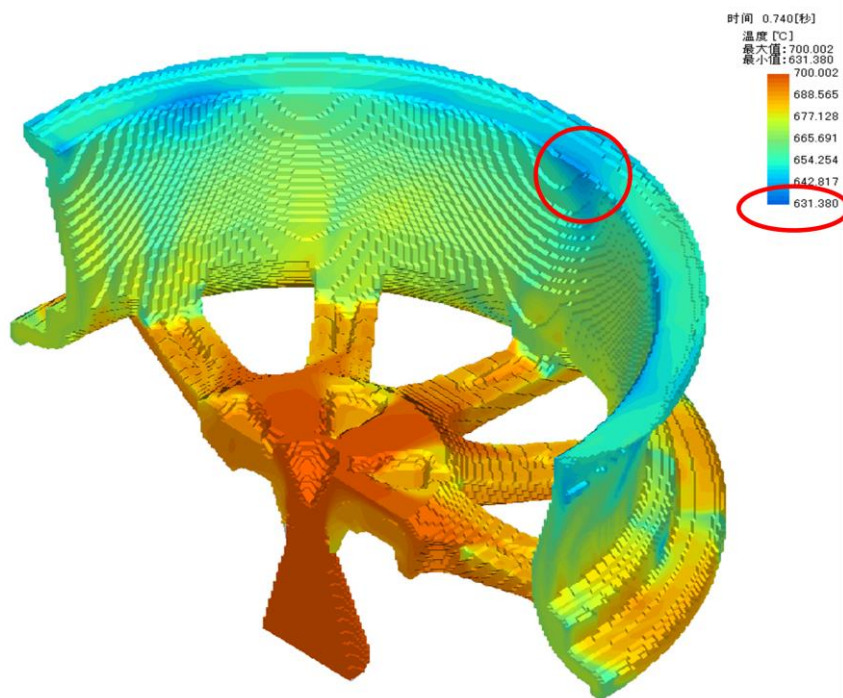


轮毂成形工艺方案

#### （1）充型过程分析

通过充型流动形态模拟可预测充填时间、充填不良、夹杂、卷气、冷隔等缺陷。

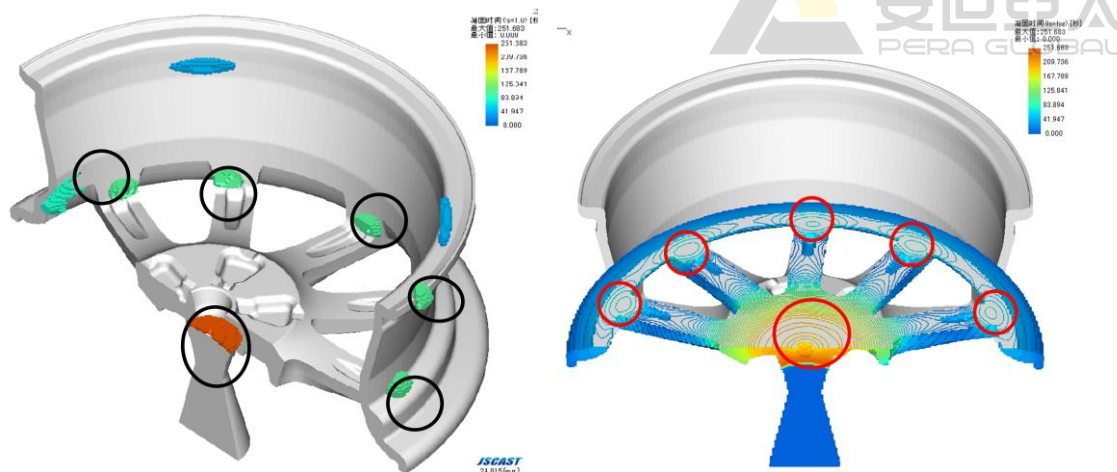




充型完毕的温度云图

### (2) 凝固过程分析

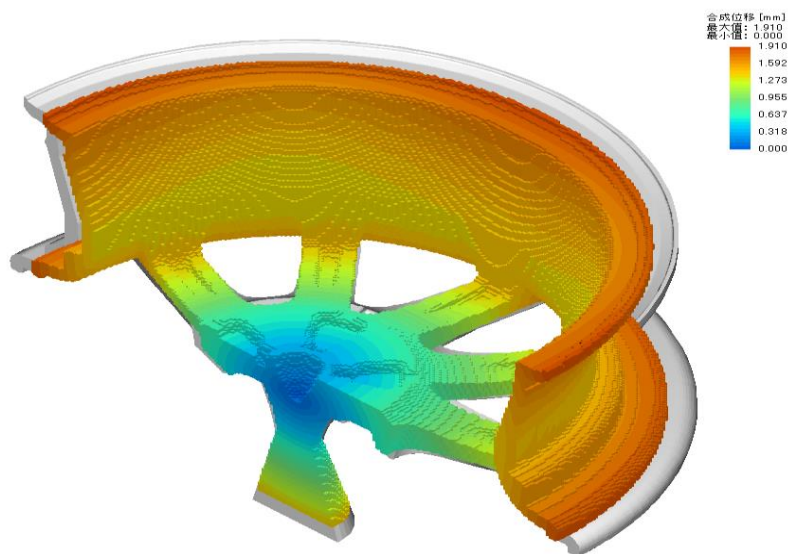
通过凝固过程模拟预测缩孔、缩松、热裂、偏析等凝固缺陷。



### (3) 冷却过程分析

冷却过程模拟预测热应变缺陷，例如变形、裂纹、收缩、残余应力等。

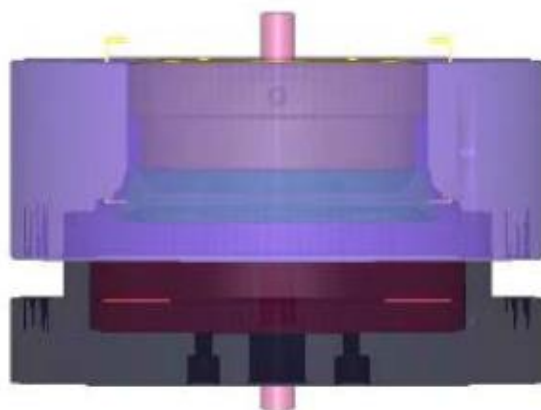




轮毂冷却前后形状对比及冷却后应力分布云图

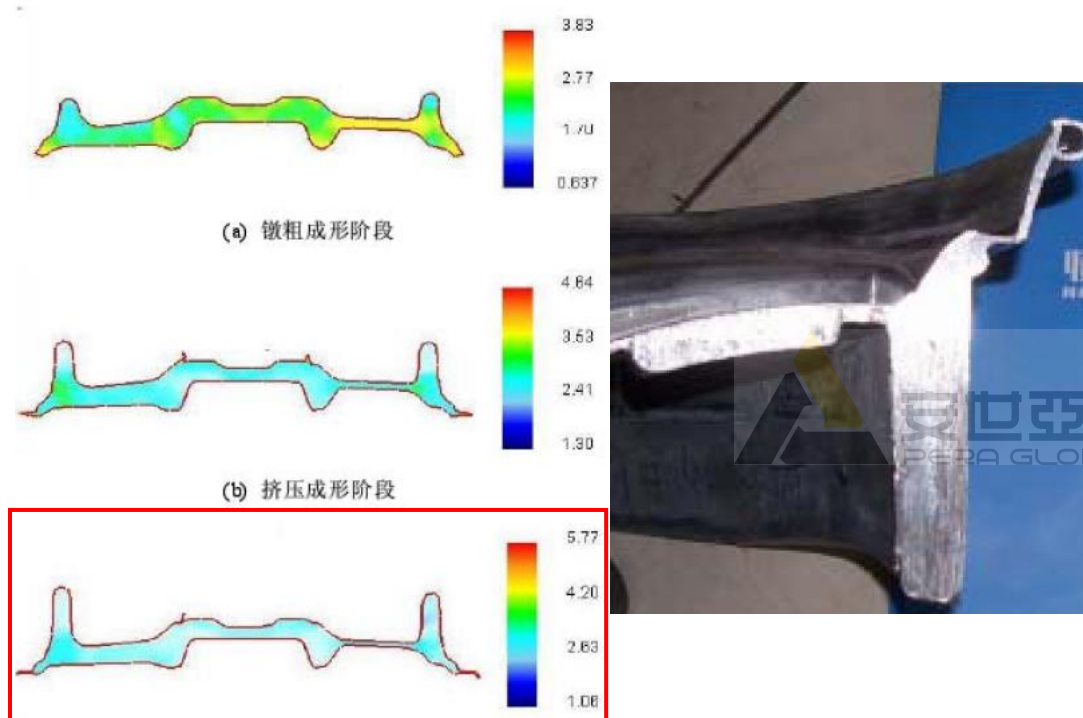
### 3.2 轮毂锻造工艺分析

轮毂锻造工艺分析能够预测各种类型的成型缺陷，且提供多种场变量云图（温度、应力、应变损伤等），为使用者进行工艺方案的调整及优化提供有价值的参考。





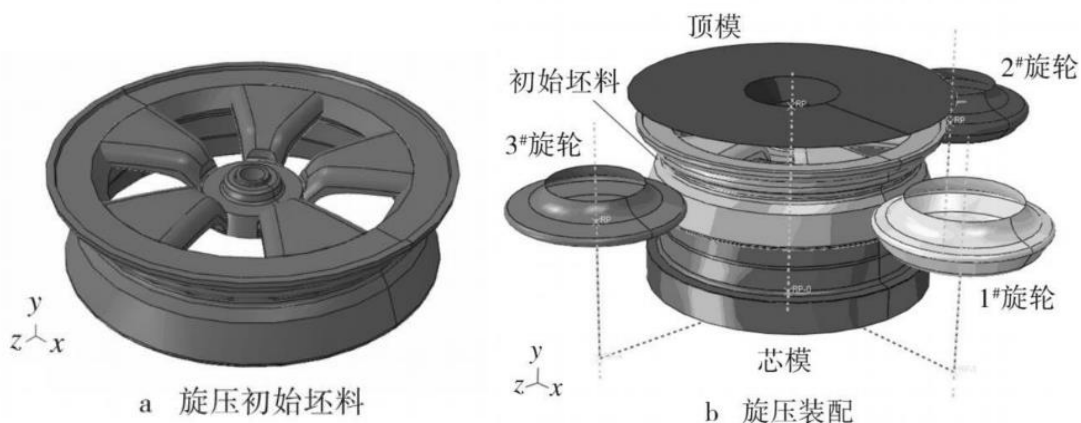
轮毂锻造模具



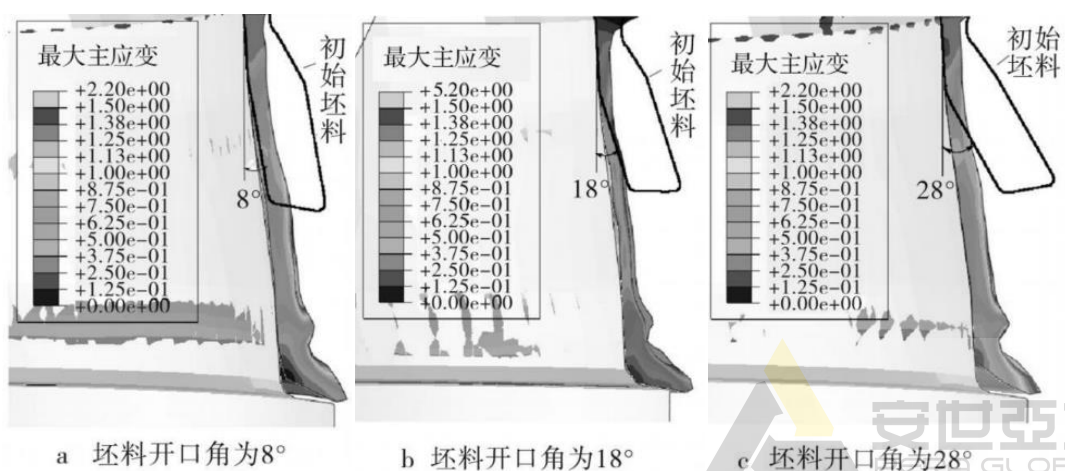
锻造过程仿真结果及实验对比图（红框为最终成形零件图）

### 3.3 轮毂旋压工艺分析

旋压工艺分析可以一定程度上代替实际实验，进行虚拟试模，对工艺方案中存在的缺陷进行预测，并对工艺方案进行优化，大大降低实际试模的次数。



轮毂旋压初始坯料及模具图



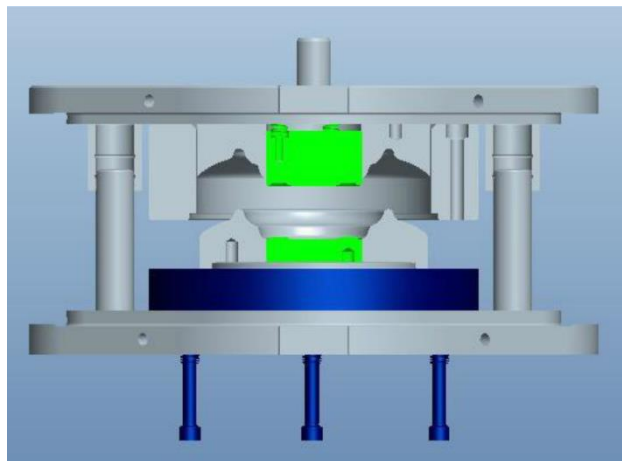
对坯料开口角度进行多方案计算的结果（18度残余应力分布最为合理）

### 3.4 轮毂冲压工艺分析

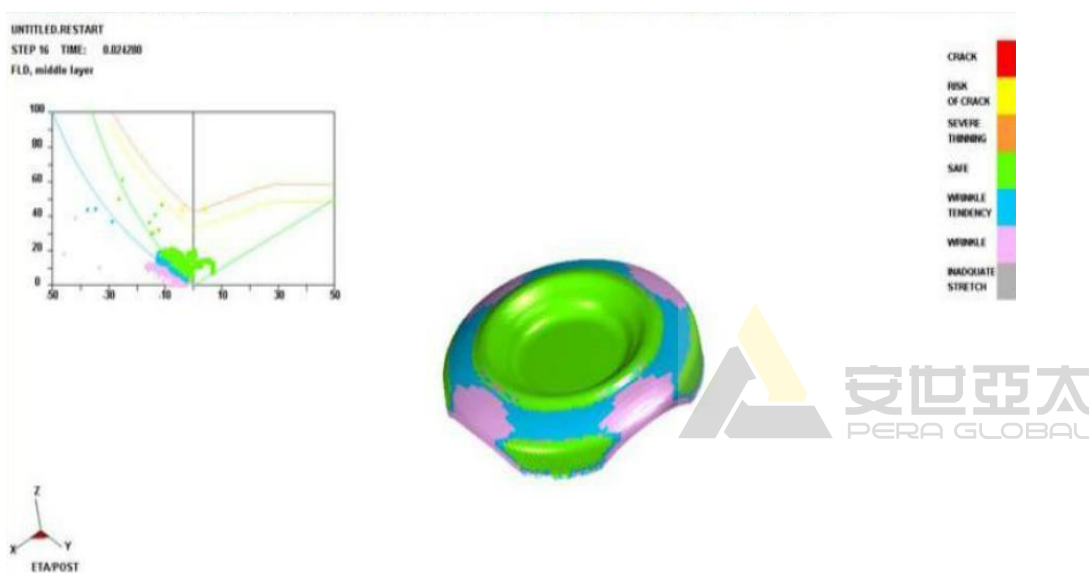
轮毂中轮辐部分可以使用冲压工艺进行成形，通过 CAE 分析能够设计坯料、设计模面、预测成形过程中的各种缺陷、预测成形后回弹、进行回弹补偿等。



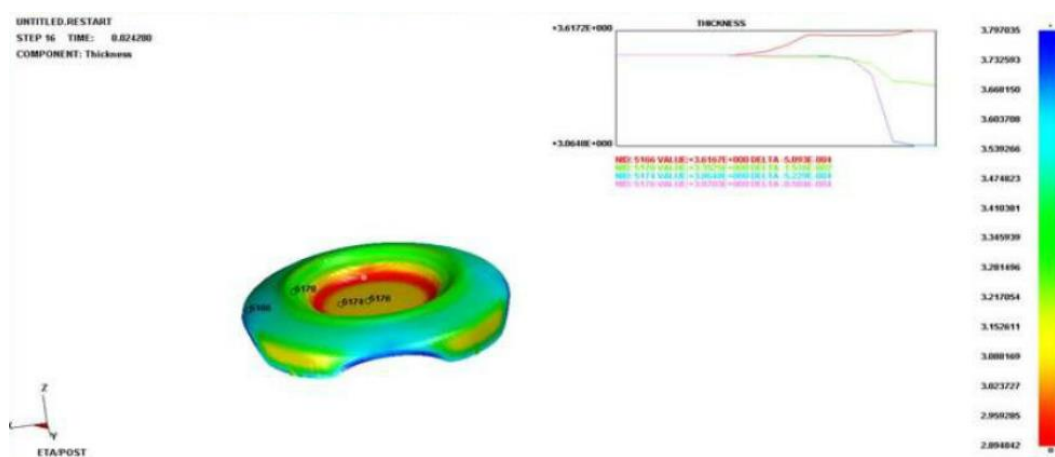
零件模型



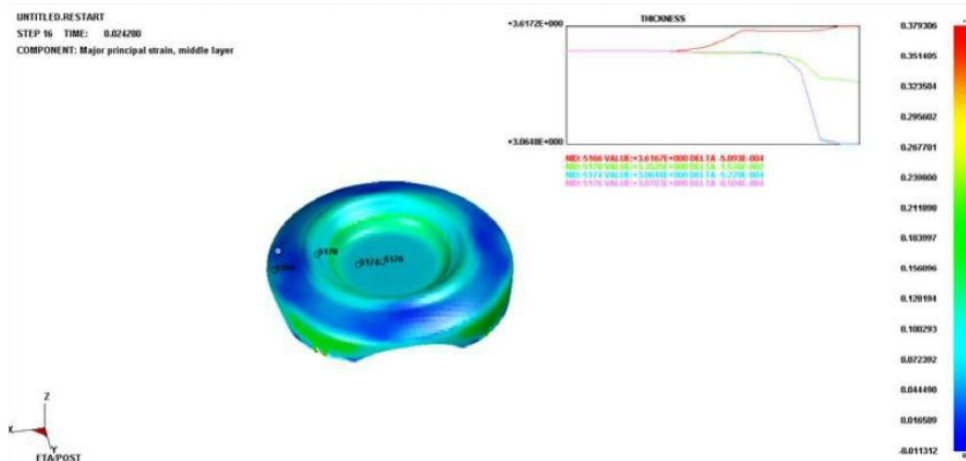
冲压模具



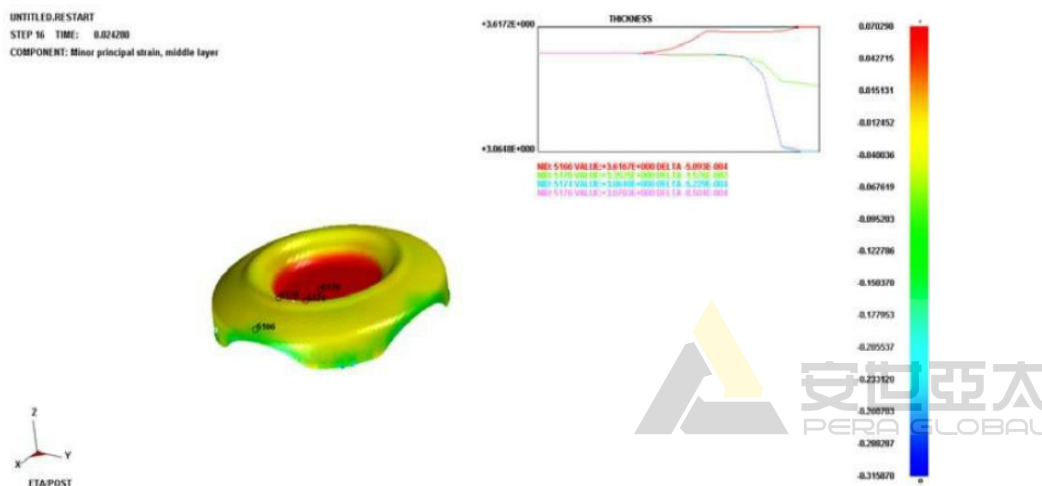
FLD 结果图



厚度分布云图



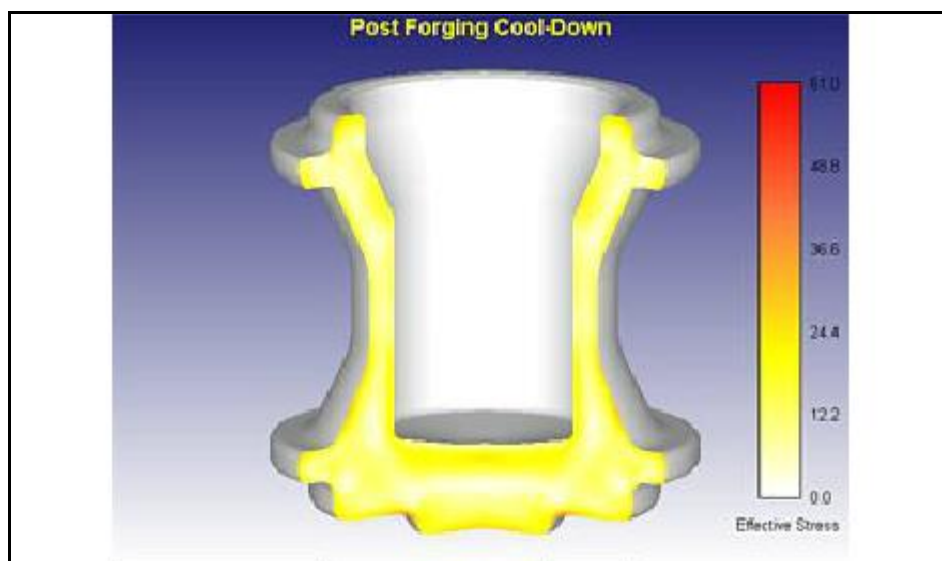
最大应力分布云图



最小应力分布云图

### 3.4 轮毂热处理工艺分析

轮毂热处理工艺分析根据轮毂材料的不同而采用不同的热处理工艺模型及分析方法，钢轮毂常采用传统正火、渗碳、淬火和回火工艺，铝合金轮毂的使用量占据大多数轮毂种类，铝合金轮毂的热处理常采用固溶时效处理，以获得人工及自然时效的应力松弛情况。铝合金轮毂热处理重点关注热处理过程轮毂形变、残余应力及应力消除情况。



铝合金轮毂时效处理等效应力云图

## 4 安世亚太轮毂制造工艺 CAE 工具

工艺类型	安世亚太仿真工具
铸造工艺	JSCAST
锻造工艺	DEFORM-3D
旋压工艺	DEFORM-3D
冲压工艺	DYNAFORM
热处理工艺	DEFORM-HT

## 5 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专业技术支持，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。





## 6 轮毂相关行业国内典型用户

- 1、一汽
- 2、广州肇庆动力配件有限公司
- 3、东风工艺所
- 4、……

