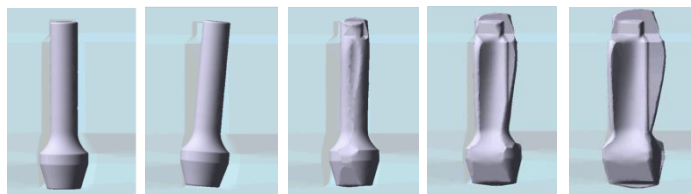


通常情况下，燃气涡轮发动机总成本的很大一部分属于涡轮叶片制造生产的成本。涡轮叶片是制造工艺复杂并非常关键的涡轮发动机的部件，是大规模生产的产品。由于它们有又薄又长的叶片部分和厚大的叶根部分，涡轮叶片锻造生产工艺难度大。涡轮叶片完整的制造工艺链，还包括锻件后期的机加工和热处理工艺。在这个案例中，我们分3个步骤，详细介绍提高叶片锻造工艺，提高模具使用寿命的解决方案。

I. 预锻工序-模具几何优化:

问题描述

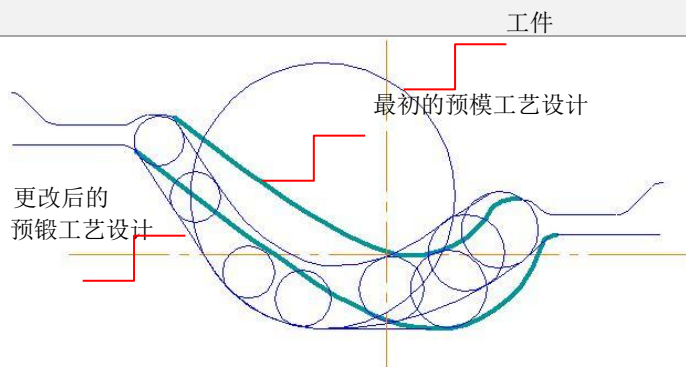
最初的预锻状态



在叶片预锻工序，由于从叶根到叶尖存在一个40—85°大角度旋角扭曲特征，造成锻造的上、下模之间存在过大的剪切力。这将导致材料流动不均衡、以至影响到尺寸精度和锻坯材料沿着叶片体分布的不均匀。

工件放置到预成形下模后，造成工件偏置移动到一侧。

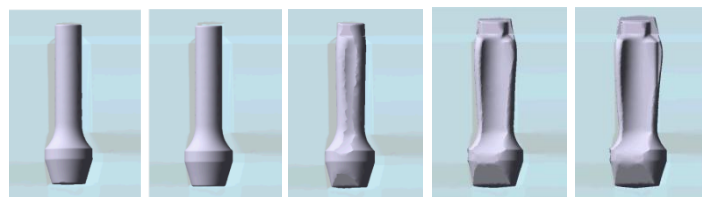
解决方案



通过改变预锻件的几何模型，改善预锻工艺成形期间的工件均衡位置。预锻件的几何模型改变方法，将初始设计的叶片各个横截面旋转到沿锻件轴线分布的新位置。新的预锻模具设计方案，改善了预锻工序中工件材料的均衡流动。此预锻工艺方案模拟分析，采用QForm2D/3D完成，通过改变预锻件的几何设计，将工作载荷最大值从16MN降低到8.5MN。

结果比较

更改设计后-新的预锻状态

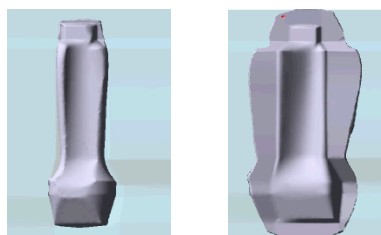


新的预锻模具设计改善了从预锻工序开始的材料流动均衡性。

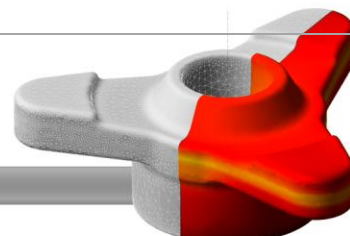
锻造工艺仿真采用QForm2D/3D完成，工作载荷最大值从16MN降低到减少至8.5MN

II. 终锻工序-通过二次锻打工艺降低工作载荷

最初的终锻状态：一次锻打



预锻模具材料为H13。锻造叶片材料 - 镍基合金。



新的终锻工艺方案：二次锻打

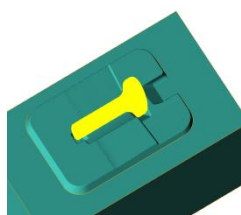


终锻的第一次锻打工艺的最大工作负荷不超过25MN。然后切掉飞边。

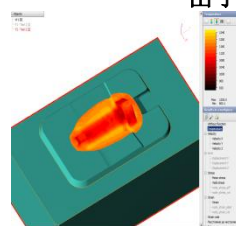


终锻的第二次锻打工艺的最大工作负荷不超过29MN。

III 调整模具预热温度



叶根头部镟粗后的工件



在螺旋压力机上，终锻一次锻打工艺结果

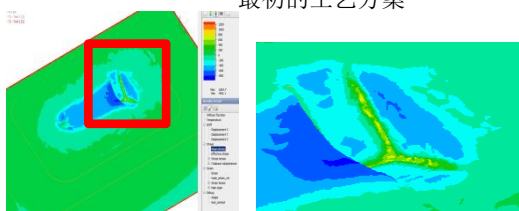
由于模具高拉伸应力，存在模具断裂问题。



由于高拉伸应力，模具材料H13发生裂纹。模具预热温度为150-200°C

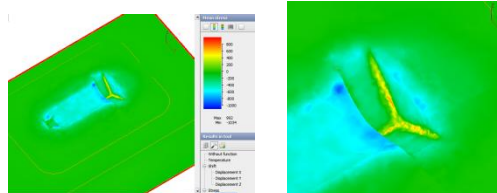
解决方案：模具预热温度提高到450°C

最初的工艺方案



通过模拟表明，在模具裂缝发生区域存在高的拉伸应力。模具预热温度150-200°C，有效应力1450MPa，平均拉伸应力660MPa

改进后的工艺方案



模具预热到300-350°C，重新进行模拟，结果显示有效应力降低到1300MPa和平均应力降低到550MPa。在实践中，它可以更好增加模具寿命。

IV 结论：



1. 采用QFORM2D/3D软件，进行锻造体积成形工艺模拟，可以为模具设计优化和锻造的最佳工艺路线，提供最有效的参考。
2. 在实际例案分析中，显示减少材料的使用，节约能源，提高锻件质量，延长模具寿命。
3. 通过计算机模拟材料的流动和模具的应力分布，进行锻造工艺的研发和改进，可以代替昂贵的试验。

