

应用技术

带阻尼台叶片多向模锻过程温度分布研究

汪宇¹, 刘郁丽¹, 杨合¹, 郭强²

(1. 西北工业大学 凝固技术国家重点实验室, 西安 710072; 2. 西安航天动力机械厂, 西安 710072)

摘要: 在确定了模具分模形式及分模面的基础上, 基于 DEFORM-3D, 建立了带阻尼台叶片多向模锻过程的三维热力耦合有限元模型, 确定了模具的加载方式, 实现了带阻尼台叶片多向模锻过程的有限元模拟。研究得到了不同压下量下坯料表层温度场及典型截面温度场, 揭示了带阻尼台叶片多向模锻过程温度的分布规律。

关键词: 带阻尼台叶片; 多向模锻; 温度场; 数值模拟

中图分类号: TG316 **文献标识码:** A

文章编号: 1674-6457(2010)04-0048-04

Research on Temperature Distribution in Multi-directional Forging Process for Blade with a Damper Platform

WANG Yu¹, LIU Yu-li¹, YANG He¹, GUO Qiang²

(1. State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2. Xi'an Aerospacemotor Machine Factory, Xi'an 710072, China)

Abstract: On the basis of designing the die parting style and die parting face, a 3D thermal-mechanical finite-element model of multi-directional forging for the blade with a damper platform was built using DEFORM-3D, and loading method of dies was specified. Furthermore, a 3D FE simulation of multi-directional forging of the blade was conducted. Then the distribution of temperature of the block surface and different typical sections under different reductions was obtained. Furthermore, the temperature distribution were revealed.

Key words: blade with a damper platform; multi-directional forging; temperature field; numerical simulation

带阻尼台叶片是航空发动机的重要零件, 叶身具有变截面, 大扭角, 厚度薄等特点, 阻尼台为不规则几何体^[1], 有的甚至带有凹弧, 如图 1 所示。如果采用传统的锻造方法, 阻尼台凹弧部位将妨碍锻件的出模, 为使锻件顺利出模, 必须在模具阻尼台部位增加分模面, 即采用多向模锻技术进行生产。多向

模锻是在多向模锻液压机上, 利用多种分模形式的模具及多方向压力, 使加热的坯料在压力机作用下, 获得无锻模斜度(或很小)的形状复杂锻件的工艺方案^[2], 这种工艺能满足多模块在不同方向的不同运动, 实现复杂制件的精密锻造。钛合金锻造工艺中, 温度对组织性能的影响最为显著, 合理的锻造温度

收稿日期: 2010-04-21

基金项目: 西安科技计划项目(GG06046)

作者简介: 汪宇(1986—), 男, 湖南益阳人, 硕士, 主要研究方向为先进塑性加工技术及数值模拟。

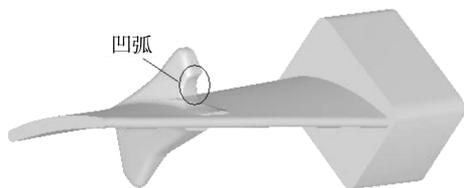


图1 带阻尼台叶片

Fig. 1 Blade with a damper platform

能较大程度地提升锻件性能^[3]。锻造过程中,锻件各部分的实际温度是不停变化的,因此分析带阻尼台叶片多向模锻过程中温度场的变化规律对研究叶片组织性能具有重要理论意义。

目前,关于带阻尼台叶片多向模锻的报道还很少,只有德国某公司为斯贝发动机锻造的高压压机带阻尼台叶片采用多向模锻实现了精锻^[4],但此项技术从不向外泄露。文献^[5]和^[6]对带阻尼台叶片精锻过程进行了研究,但其阻尼台形状简单,只需考虑水平分模面。为此,文中基于 DEFORM-3D,在确定了模具分模面及加载方式的基础上,建立了带阻尼台叶片多向模锻过程的三维热力耦合有限元模型,并通过对不同压下量下坯料温度场的分析,揭示了带阻尼台叶片多向模锻过程中坯料温度的分布规律。

1 有限元模型建立

多向模锻分模形式有:水平分模、垂直分模及兼具水平分模与垂直分模特征的联合分模^[7]。文中研究选用水平分模和联合分模方式。将水平分模面选在叶身和榫头沿水平方向投影面积最大的位置上,将联合分模面选在阻尼台部位的中间,得到如图2所

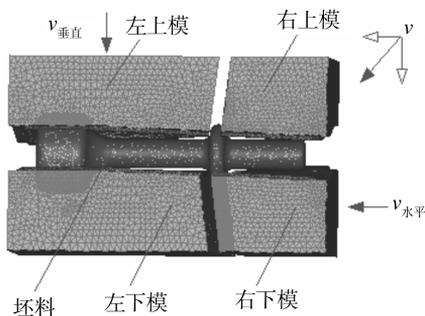


图2 带阻尼台叶片多向模锻三维有限元模型

Fig. 2 3D-FE model of multi-directional forging 所示的左上模块、右上模块、左下模块和右下模块。

基于 DEFORM-3D,采用四节点四面体单元分别对模具及坯料进行网格划分,得到如图2所示的带阻尼台叶片多向模锻三维刚粘塑性有限元模型。

2 数值模拟条件^[8]

叶片材料选用 Ti-6Al-4V 钛合金,模具材料选用 4Cr5MoSiV1 热作模具钢,钛合金及模具钢的热性能参数及本构模型取自 DEFORM-3D 自带数据库。坯料的加热温度为 940 °C,模具初始温度为 300 °C,锻造过程中界面接触换热系数为 4 kW/(m² · K),对流换热系数为 0.00295 kW/(m² · K),采用剪切摩擦模型,摩擦因子取 0.3。

采取垂直方向和水平方向同时加载的方式:左下模块保持静止,右上模块以 20.0 mm/s 的速度倾斜向下运动,为了保持加载速度的一致性,左上模块垂直方向速度为 18.8 mm/s,右下模块水平方向速度为 7.1 mm/s,使榫头、叶身和阻尼台同时成形,如图2所示。

3 模拟结果与分析

3.1 坯料表层温度场分析

不同压下量下坯料表层的温度场分布如图3所

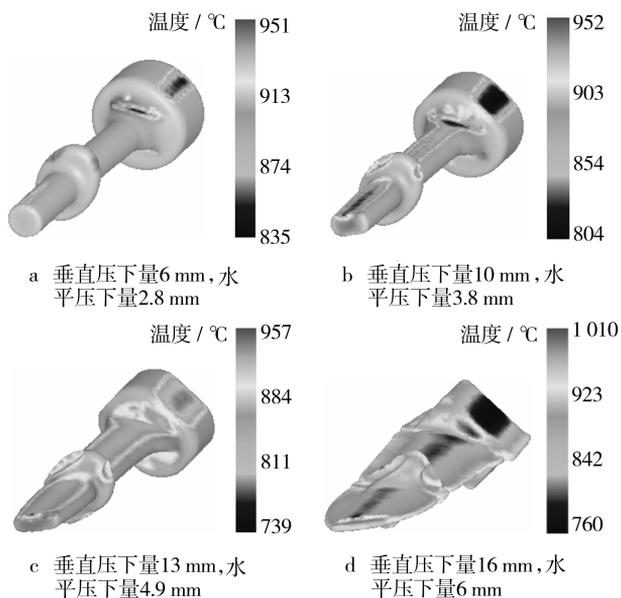


图3 坯料表层的温度场分布

Fig. 3 Temperature distribution of the stock surface

示。变形开始时,最先与模具接触的榫头右侧和靠近榫头部位的叶身温度较低。随着模具压下量的增大,叶片温度分布不均匀程度增大,位于叶身表层的中部区域温度比两侧温度低,同时与右上模接触的阻尼台区域温度较低,是由于模具温度比坯料温度低,坯料和模具接触面积增大导致坯料温度散失。随着压下量的增加,位于叶身两侧的毛边区域等效应变增加,变形引起的热效应增加,导致坯料温度升高。变形结束时,热传导和对流换热增大,坯料表层大部分区域温度降低,坯料的最高温度集中在叶身两侧毛边区域及阻尼台毛边附近,榫头处次之。

3.2 坯料典型截面温度场分析

为了进一步研究带阻尼台叶片多向模锻过程中温度的分布规律,选取如图4所示的榫头截面A-A、

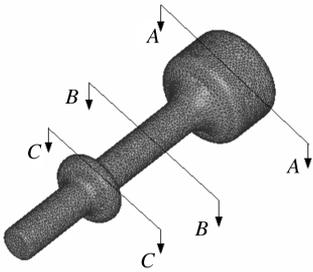


图4 典型截面的选取

Fig. 4 Selection of typical sections

叶身截面B-B及阻尼台截面C-C这3个典型截面进行分析。

同压下量下叶片榫头截面A-A的温度场分布如图5所示。可以看出,随着变形量的增加,榫头内部温度明显升高,而外部与模具接触的区域,尤其是榫头的左下侧和右上侧温度一直处于最低,这是因为变形过程中,由应变引起的温度升高效应不能补偿与模具热交换引起的温度降低效应。同时,在整个加载过程的前、中期,榫头的最高温度基本不变,而最低温度明显降低。相反,加载后期,即垂直压下量为13 mm,水平压下量为4.9 mm时,如图5c所示,榫头的最高温度明显升高,而最低温度基本不变。随着变形量的增加,榫头内外温差逐渐增大,温度分布的不均匀性明显加剧,这主要是对流换热与变形热效应两方面共同作用的结果。

不同压下量下叶身截面B-B的温度场分布如

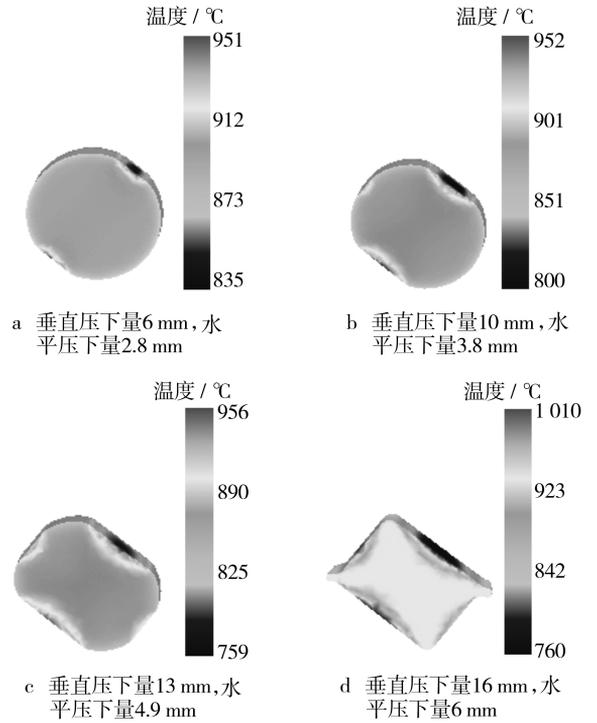


图5 榫头截面A-A温度场分布

Fig. 5 Temperature distribution of section A-A

图6所示。从图6中可知,随着左上模垂直向下加

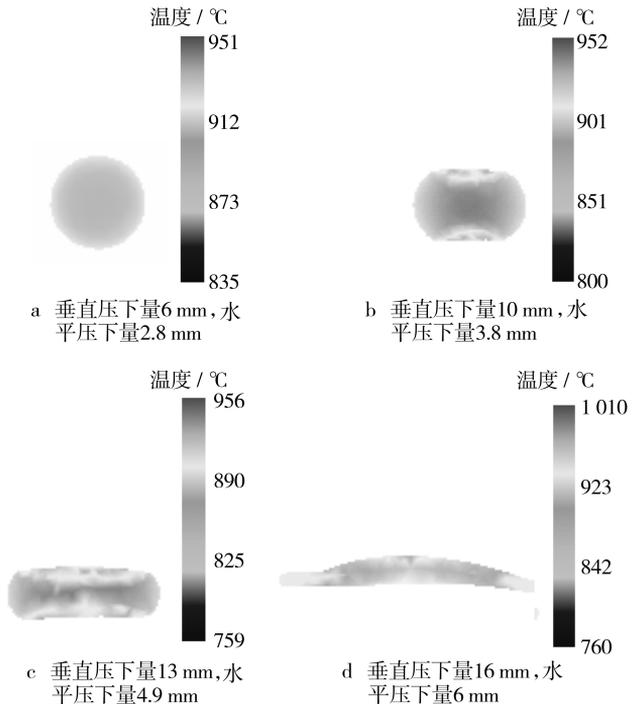


图6 叶身截面B-B的温度场分布

Fig. 6 Temperature distribution of section B-B

载,叶身部位的低温区出现在先与模具接触的区域,即叶盆和叶背表面,而高温区则出现在叶身中心区域;随着压下量的增加,叶身变薄,叶片和模具接触面积增加,且叶身中心的热量通过热传导迅速传到模具上,使坯料中心温度下降,而叶身高温区出现在受挤压力较大的毛边附近,这主要是因为大的变形引起的热效应较大所致。

不同压下量下阻尼台截面 C-C 的温度场分布如图 7 所示。开始变形时,由于右上模与阻尼台接

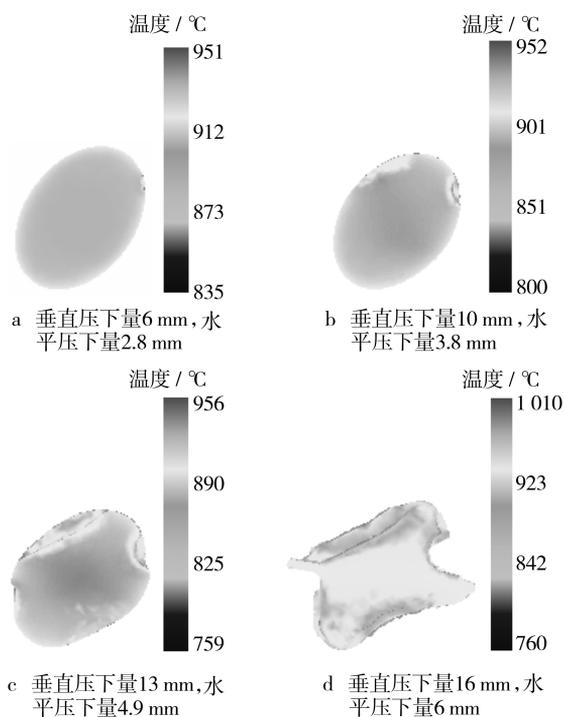


图7 叶身截面 C-C 的温度场分布

Fig. 7 Temperature distribution of section C-C

触,故阻尼台部位的上侧与模具对流换热较强,温度降低。随着变形程度的增加,坯料与模具的接触面积进一步增大,造成坯料的右上侧(凹弧部分)温度明显降低,如图 7b,c 所示。变形结束时,阻尼台上、下两侧毛边温度较低,中间部位温度较高,且整体温度分布比较均匀。变形过程中,阻尼台部分最低温度成逐渐降低的趋势,这是因为与模具接触换热及与空气对流换热的结果;同时,阻尼台部分最高温度随压下量的增大逐渐升高,这是因为毛边部位变形量很大,使热效应效果明显。

4 结语

1) 在确定了水平分模面及联合分模面的基础上,基于 DEFORM-3D,建立了带阻尼台叶片多向模锻过程的三维热力耦合有限元模型,确定了模具的加载方式。

2) 通过对不同压下量下坯料表层温度场及典型截面温度分布的分析,揭示了带阻尼台叶片多向模锻过程中坯料表层及不同变形区域温度的分布规律。该研究对采用多向模锻工艺实现带阻尼台叶片的精锻具有指导意义,同时也为进一步研究锻造温度与锻件组织性能的关系提供了基础。

参考文献:

- [1] 栗祜,谭杰薇. 叶片精锻[M]. 北京:国防工业出版社, 1984:31-35.
- [2] 黄彩娥. 多向模锻的模具结构和设计[J]. 金属成形工艺, 2000, 18(6):28-30.
- [3] 罗娇,李森泉,李宏,等. TC 钛合金高温变形行为及其流动应力模型[J]. 中国有色金属学报, 2008, 18(8): 1395-1401.
- [4] 王乐安. 难变形合金锻造生产技术[M]. 北京:国防工业出版社, 2005:272-274.
- [5] 付永涛,刘郁丽,杨合,等. 带阻尼台叶片精锻过程温度场分布规律研究[J]. 重型机械, 2007(5):25-29.
- [6] 阚盈,齐广霞,史丽坤. 带阻尼台叶片精锻过程热力耦合有限元数值模拟[J]. 热加工工艺, 2009, 38(1):104-109.
- [7] 黄彩娥. 精密模锻件的设计要点[J]. 金属成形工艺, 2001, 19(3):31-36.
- [8] HU Z M, BROOKS J W, DEAN T A. Experimental and Theoretical Analysis of Deformation and Microstructural Evolution in the Hot-die Forging of Titanium Alloy Aerofoil Sections [J]. J Mater Process Tchol, 1999, 88:251-265.