

高强耐热镁合金陀螺仪支架精密锻造工艺

张浩¹ 崔子振¹ 杜志惠¹ 阴中炜¹ 单德彬²

(1 航天材料及工艺研究所,北京 100076)

(2 哈尔滨工业大学,哈尔滨 150001)

文 摘 采用数值模拟的方法研究了高强耐热镁合金陀螺仪支架的等温锻造过程,分析了坯料形状、锻造方案对构件成形过程中金属流动行为的影响,根据模拟的结果制定了相应的成形方案,并成功锻造出了高强耐热镁合金陀螺仪支架锻件。对该锻件进行了时效热处理工艺研究,得出优化的时效处理制度为 $200^{\circ}\text{C}\times 63\text{ h}$ 。在该时效制度下,材料的室温抗拉强度达到了 371 MPa ,屈服强度达到 243 MPa ,伸长率达 4.1%

关键词 镁合金,等温成形,时效处理,力学性能

Isothermal Forming of Gyroscope-Brackets by Numerical Simulation and Experiment

Zhang Hao¹ Cui Zizhen¹ Du Zhihui¹ Yin Zhongwei¹ Shan Debin²

(1 Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

(2 Harbin University of Science and Technology, Harbin 150001)

Abstract The isothermal forming process of gyroscope-brackets has been studied by numerical simulation. The effects of billet shape and forming programme on metal flowing behavior has been analyzed. According to the simulation results the forming programme had been chosen. After isothermal forming, the product was heat treated at $200^{\circ}\text{C}\times 63\text{ h}$. The fracture strength reaches 371 MPa , the yield strength reaches 243 MPa and the elongation reaches 4.1% .

Key words Magnesium alloy, Isothermal forming, Aging treatment, Mechanical property

0 引言

随着航天飞行器对减重需求的日益迫切,具有优异比强度、比模量的高强耐热镁合金在航天领域的应用越来越广泛^[1]。陀螺仪支架也采用了高强耐热镁合金进行制造,该部件属薄壁高筋类复杂结构件,若采用方形锻造坯料直接机械加工的方法制造,材料的利用率不足 10% ,且生产效率低下、成本高昂。

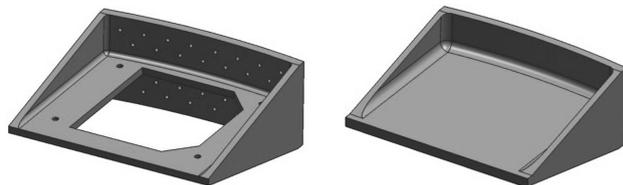
等温模锻成形是提高此类复杂结构件力学性能、材料利用率及加工效率的有效方案^[2-4],但是,该支架属于高筋非对称结构,该类锻件成形过程中金属流动规律复杂,筋板充填困难,容易出现折叠、充不满等缺陷,而且锻后脱模困难。

本文设计了分瓣组合模具,并采用有限元法对等温锻造工艺进行了有效的优化设计,最终采用铸锭热挤压、等温成形的工艺路线,成功的研制出了高强耐

热镁合金陀螺仪支架锻件。

1 陀螺仪支架模具设计

陀螺仪支架三维造型,如图1(a)所示。为了方便锻造成形需要,现简化零件,去除所有圆孔。同时为锻件脱模需要,将三角直壁部分每侧各加 1° 拔模斜度,如图1(b)所示。



(a) 零件图

(b) 锻件图

图1 支架零件及锻件图

Fig. 1 Brackets component and forging piece

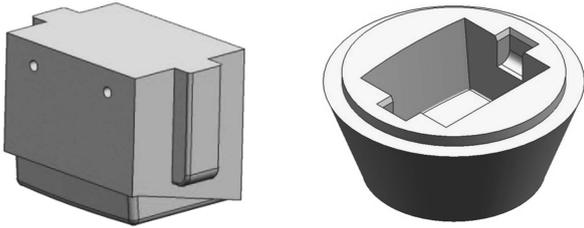
陀螺支架中间腹板厚度为 12 mm ,与腹板连接的

收稿日期:2011-11-21

基金项目:国防基础科研计划项目(A0320110003)

作者简介:张浩,1983年出生,工程师,主要从事耐热镁合金相关研究工作。E-mail:haozhang@hit.edu.cn

三角侧壁厚度为 8 mm, 圆弧形侧壁厚度为 10 mm, 圆弧形筋总高度 95 mm, 中间腹板投影面积约 0.05 m²。由于该零件要求近净成形, 只有很少部分允许机械加工, 因此要求模具设计非常精密。模具采用在中间腹板平面处分模, 在凸模圆弧形筋顶部设置一排料口, 模具导向依靠凸凹模两侧的导向柱和导向槽配合。整体模具设计见图 2。



(a) 凸模 (b) 凹模

图 2 陀螺支架模具三维模型

Fig. 2 Sketch map of die

因锻件圆弧形筋与中间腹板形成倒梢的结构, 为便于脱模, 可将凹模设计成纵向分瓣形式, 见图 3。凹模分瓣后, 可在凹模外设置一个凹模模套, 既可利用模套加热模具, 又可起到对分瓣式凹模固定的作用。

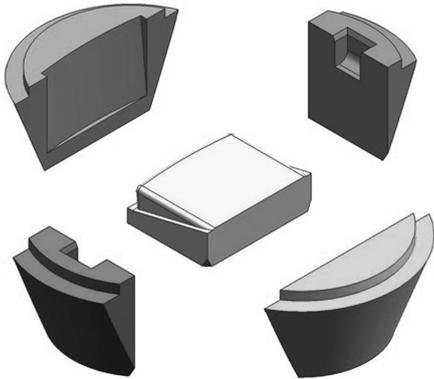


图 3 陀螺支架凹模分瓣模型

Fig. 3 Details of dies

2 陀螺仪支架成形过程的数值模拟

2.1 有限元模型的建立

因陀螺支架属于非对称件, 且形状复杂。为了获得更加贴近实际情况的模拟数据, 选择对其进行整体成形模拟。由于实际锻造试验采用等温锻造的方式进行, 模具本身弹性变形对零件最终成形质量影响很小, 故模具选取刚性材料模型, 且设定材料与模具间没有热交换。有限元模型如图 4 所示。

模拟模型中包括凸模、凹模及坯料。采用 DEFORM 3D 软件对支架进行成形过程模拟, 具体条件如下: 模拟成形过程中材料参数由实验测得; 成形过程忽略弹性变形, 只考虑塑性变形部分; 凸模在成形过程中速率恒定为 1 mm/s; 摩擦模型选取剪切模型, 宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2012 年 第 1 期

摩擦因数取 0.3; 坯料温度为 410℃, 成形过程设为等温状态, 模具与坯料在成形过程中无热传导。

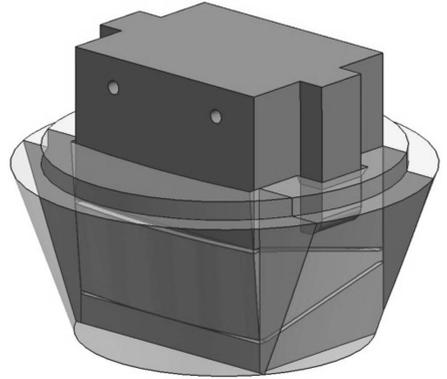


图 4 模拟装配模型

Fig. 4 Assembly model of dies

根据陀螺支架的形状及金属变形流动规律, 初步设计坯料形状为楔形。再根据体积成形特点, 设计了坯料方案, 具体形状如图 5 所示。

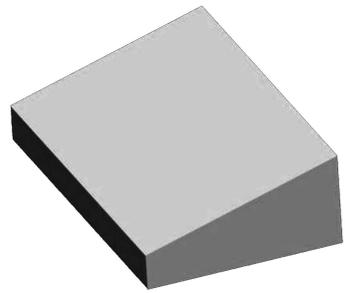
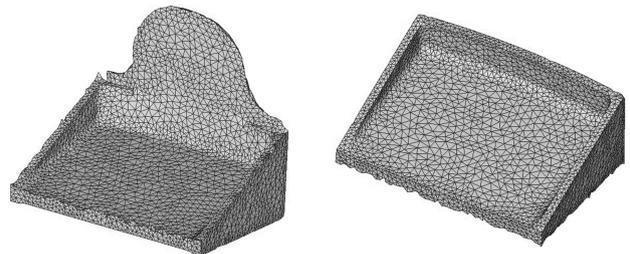


图 5 陀螺支架坯料方案

Fig. 5 Sketch map of bellit

2.2 陀螺支架成形过程的模拟结果分析

最终模拟结果如图 6 所示, 两侧三角筋及中间圆弧形筋均充填完整, 腹板厚度下压到规定厚度, 坯料多余金属均进入飞边部分。锻件整体成形完好, 无明显缺陷。



(a) 上端面 (b) 下端面

图 6 陀螺仪支架成形模拟结果

Fig. 6 Simulation results

下压过程中, 凸模总行程为 41 mm。图 7 和图 8 分别为下压量 12、31.5、34、36.7、41 mm 时的等效应力分布图和速度场分布图。根据凸模不同下压量时

金属的流动充填情况,可将成形过程分为五个阶段。第一阶段,凸模与坯料从线接触到面接触的过程,金属主要由楔形斜面向低端流动,直至凸模平端面整个平面与坯料接触,这个过程金属流动受到的阻力很小;第二阶段,楔形坯料的低端流动到开始与模具壁接触,此时金属主要的流动方向受到阻碍,金属向腹板外侧的三个立筋处流动的趋势增大;第三阶段,坯

料楔形斜面低端平面整体与模具壁接触,金属只能向腹板外侧的三个立筋处流动,此时因为金属沿腹板方向流动的受阻,造成成形载荷急剧上升;第四阶段腹板两侧三角立筋充填完整,金属只能向与腹板连接的圆弧立筋流动;第五阶段,随着凸模的下压,圆弧立筋逐渐充填完成,多余金属只能向圆弧筋处的飞边部分流动,直至腹板厚度达到要求的尺寸。

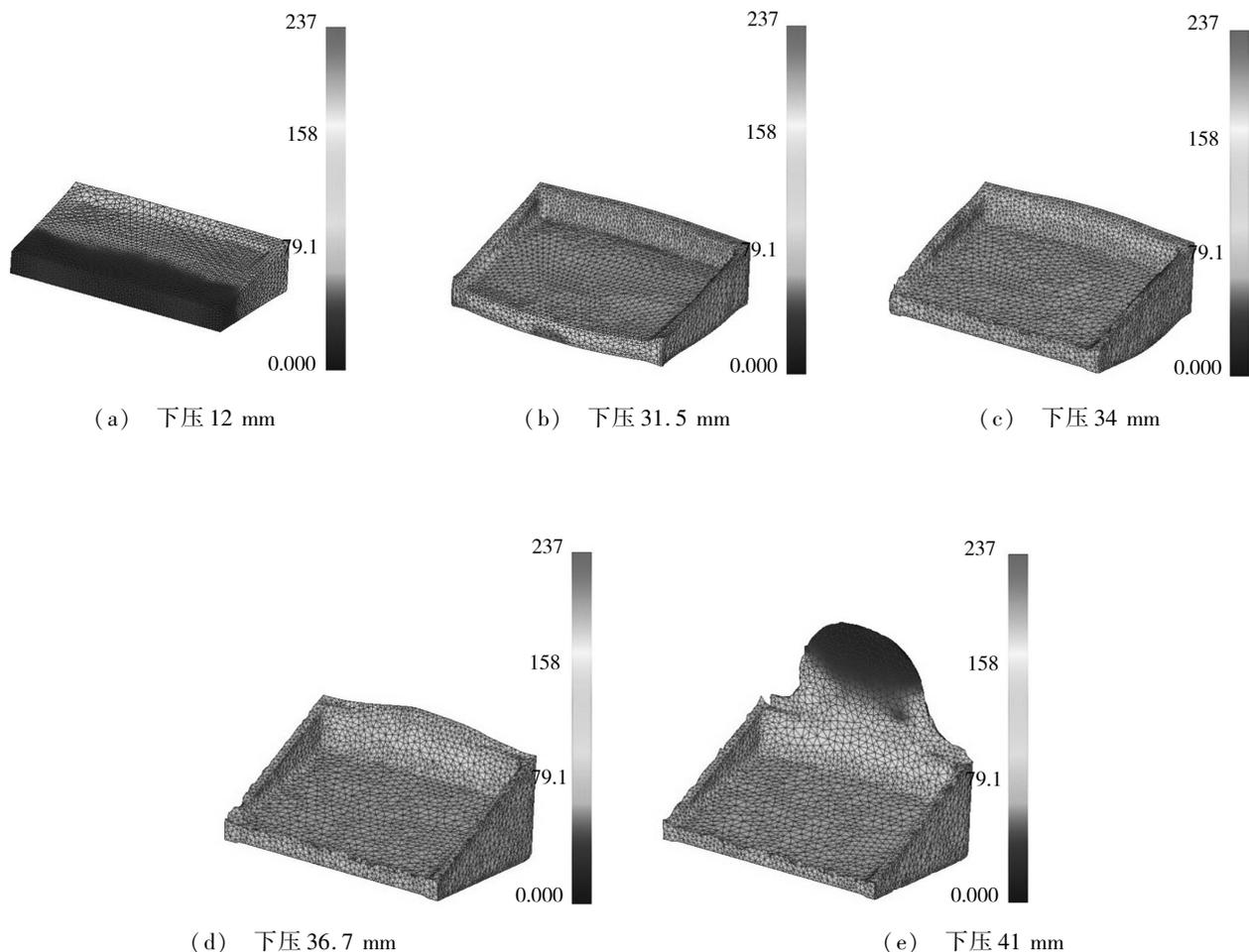
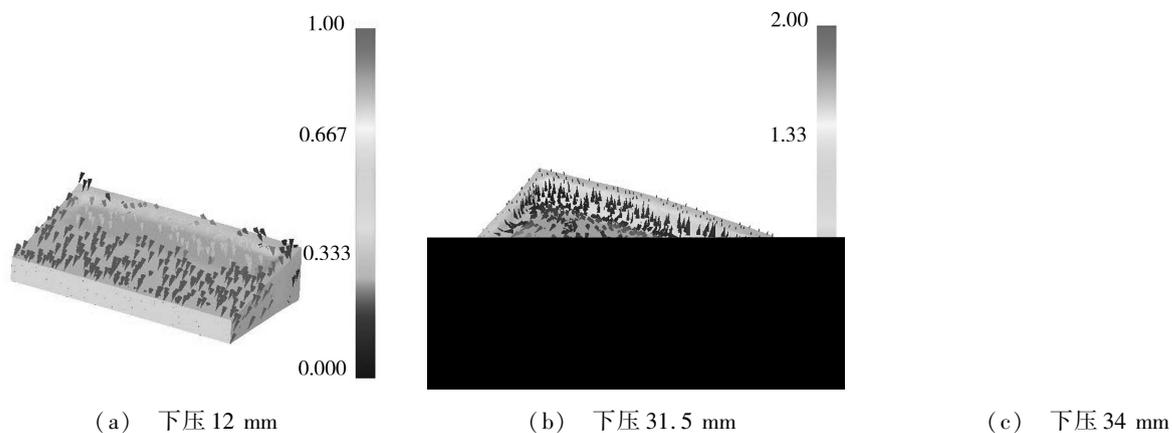


图7 陀螺仪支架成形过程等效应力分布

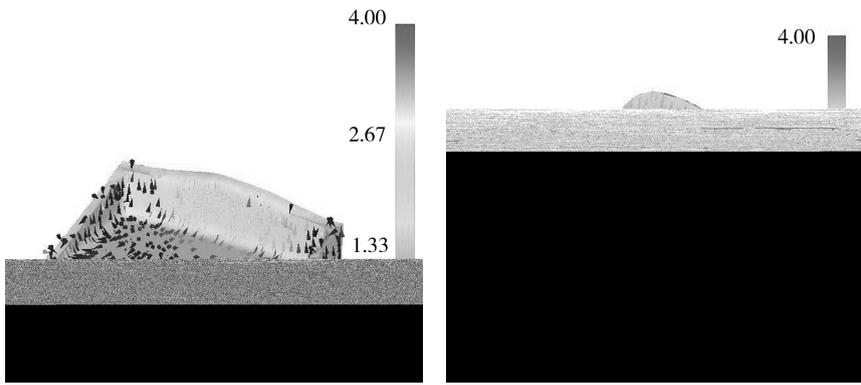
Fig. 7 Equivalent stress distribution



(a) 下压 12 mm

(b) 下压 31.5 mm

(c) 下压 34 mm



(d) 下压 36.7 mm

(e) 下压 41 mm

图 8 陀螺支架成形过程速度矢量图

Fig. 8 Speed vector distribution

3 陀螺仪支架等温成形实验

稀土镁合金陀螺仪支架等温成形实验温度定为 410℃,实验在公称压力为 50 MN 液压机上进行,模具下压速率为 1 mm/s。实验过程与模拟试验一致。

陀螺支架精密等温成形实验最终结果如图 9 所示。锻件最终成形尺寸腹板厚度 12.5 mm,与腹板连接的三角侧筋厚度为 8.2 mm,圆弧筋厚度为 10.2 mm,均留有酸洗抛光余量,符合锻件尺寸要求,这与数值模拟结果一致。

图 9 陀螺支架锻件

Fig. 9 Forging parts of gyroscope-brackets

在陀螺仪支架锻件上截取试样在 200℃ 进行时效热处理。热处理后的性能数据见表 1,可以看出,在 T5 状态的下 5 组性能数据的平均值除伸长率外均高于锻后未处理的,其中时效后材料的抗拉强度和屈服强度得到了明显的提高。在 200℃ 时效时间为 63 h 时达到时效的峰值,此时的锻件组织具有最优的综合力学性能。在该时效制度下,材料的室温抗拉强度达到了 371 MPa,屈服强度达到 243 MPa,伸长率达 4.1%。当时效时间为 80 h 时已出现明显的过时效现象,试样的抗拉强度及伸长率均出现了一定程度的

下降。

表 1 力学性能

Tab. 1 Mechanical properties

状态	t/h	σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%
R	-	289	221	5.9
T5	6	297	212	4.1
	10	316	135	3.3
	40	352	243	3.0
	63	371	243	4.1
	80	349	244	3.8

4 结论

(1) 根据数值模拟的结果,合理的设计了坯料形状和成形方案,工艺实验表明采用此方案可以成功的锻造出性能优良的陀螺仪支架模锻件。

(2) 高强耐热镁合金最优化的时效处理制度为 200℃×63 h。在该时效制度下,材料的室温抗拉强度达到了 371 MPa,屈服强度达到 243 MPa,伸长率达 4.1%。

参考文献

- [1] Toshiji M, Masashi Y, Hiroyuki W, et al. Ductility enhancement in AZ31 magnesium alloy by controlling its grain structure [J]. Scripta Mater., 2001, 45(1): 89-94
- [2] 郝南海, 薛克敏, 吕炎. 上机匣等温锻造工艺研究 [J]. 热加工工艺, 1997(2): 36-37
- [3] 王智文, 张治民, 王强. AZ31 变形镁合金等温变形力学特性的研究 [J]. 机械工程与自动化, 2005(1): 41-44
- [4] 王德林. AZ31 镁合金轿车轮毂温成形工艺研究 [D]. 中北大学, 2005

(编辑 李洪泉)