

新型高温钛合金成形工艺探索*

Investigation on Forming Technology of New High-Temperature Titanium Alloy

航天特种材料及工艺技术研究所 吕昕宇 雷 鹞 许 沂

[摘要] 通过分析合金的材料特点、材料对塑性成形工艺条件的要求,研究了 Ti750 合金的热压、热旋压、超塑、焊接工艺性能。结果表明:该合金的热旋压成形工艺性较差;热压与超塑成形工艺性较好;合金具有较好的焊接性能。

关键词: 高温钛合金 成形工艺

[ABSTRACT] Ti-750 is a new high-temperature titanium alloy. The processing properties of hot pressing, hot spinning, super-plastic forming and welding are researched by analyzing the material characters and technology requirements of Ti-750 alloy plastic forming. It is shown that the hot spinning of Ti-750 alloy has worse processing property, and the hot pressing and super-plastic forming has well processing property. The welding performance of alloy is well.

Keywords: High-temperature titanium alloy Forming technology

Ti750 (取 750℃ 使用温度之意)是一种短时使用的变形热强钛合金,属于 $\alpha + \beta +$ 硅化物 + α_2 型的近 α 型钛合金。短时使用温度可达 750℃,该合金应用背景为未来超音速飞行器结构材料。由于合金的物理冶金特点,可以通过控制合金组织内 α_2 相、 S_2 相 (Ti_5Si_3 相)的析出尺寸、体积分数及分布状态来保证整体组织的强度与韧性。其合金体系为: Ti-Al-4Sn-Zr-Nb-W-Si。

合金中高温强化项的存在在保证材料具有较高的高温强度的同时,也牺牲了材料的室高温塑性,使得其成形工艺较常规钛合金困难许多。本文根据材料特点分析其对弹体结构件成形常用工艺的适应性,研究了该合金的塑性成形特性与焊接性能,形成了适应合金成形特点的工艺体系,以推动合金在新型武器系统上的应用。

1 试验

本文通过对 Ti750 合金的双网篮组织板材进行研

究,测试了板材的室高温拉伸性能,开展了 Ti750 合金板材的热压、热旋压、超塑成形、焊接工艺模拟试验。除热旋压试验用板材为 4mm 外,其余试验用板材均为 2mm,并用超塑与激光焊成形了大尺寸舱段模拟件。

2 结果与分析

2.1 材料特性

Ti750 合金是以某重点型号为背景研制的短时高强钛合金, Ti750 合金的名义成分为: Ti-Al-4Sn-Zr-Nb-W-Si。在合金的研制过程中,通过组织内的 α_2 相、硅化物相的析出尺寸、体积分数及分布状态来保证该合金在服役过程中的高温强度与一定的韧性。合金在 750℃ 时, α_2 相、硅化物、 α 相的固溶强化、 β 相的固溶强化在起作用,保证这个温度具有良好的耐热能力。850℃ 时, α_2 相溶解,不再起作用,而硅化物、 α 相的固溶强化、 β 相的固溶强化仍在起作用。图 1 为 Ti750 合金不同温度的延伸率,图 2 为 Ti750 合金不同温度的屈强比。可见合金需在高温下对成形,且成形工艺窗口较窄。

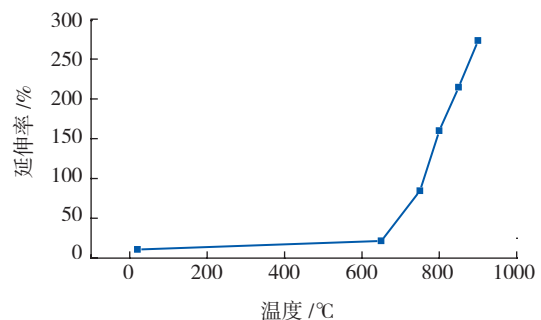


图1 Ti750合金不同温度的延伸率

Fig.1 Elongation ratio of Ti-750 alloy at different temperatures

2.2 合金对塑性成形工艺的要求

(1) 在成形时必须保证温度的均匀性。

Ti750 合金只有在 850℃ ~900℃ 温度范围内屈强比最小,约为 0.75~0.78,除此之外的温度段内屈强比均大于 0.8。说明该合金的工艺窗口较窄,较普通钛合金窄许多(TC4 在 700℃ 时的屈强比为 0.3)。此外,当温度低于 750℃ 时, Ti750 合金的高温强化项析出,致使合金

* 总装先进材料项目(51312010302)资助。

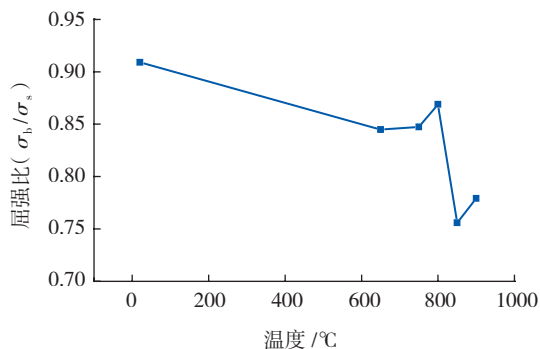


图2 Ti750合金不同温度的屈服比

Fig.2 Yield ratio of Ti-750 alloy at different temperatures



图3 热压成形零件

Fig.3 Hot formed piece

变脆,塑性显著降低,温差引起材料的塑性差会导致构件在成形时因变形无法协调而产生开裂,这种材料特性要求该新型合金在整个成形过程中都需要保证成形温度的均匀性。

(2)成形时进行有效的表面保护。

钛合金化学活性强,高温时容易与氢氧等气体起反应,容易造成反应物材料变脆,损坏材料的基体性能。在合金的塑性成形过程中必须对其表面进行有效的防护^[1]。

(3)成形时以低应变速率进行。

在850℃时,合金的滑移系全部启动,所以合金的热塑性较好。尽管如此,硅化物、α相的固溶强化、β相的固溶强化仍在起作用。位错遇到这些障碍物时,发生塞积,如果应变速率高,没有时间缓解应力集中,位错塞积程度过高;当障碍物与第一位错附近应力大于该处断裂强度时出现微裂纹,裂纹扩展,从而成形失败;但如果应变速率低,位错有时间进行攀移、交滑移等松弛动作,可以滑移转过或穿过障碍物,则热变形可以顺利进行。

2.3 不同工艺对合金的适应特性

(1)热压。

工艺模拟试验表明,Ti750板材适合采用热压工艺来成形结构件,其成形温度低、效率高、工艺性好^[2],符合材料对工艺的要求特点。其原因有3点:a.热压成形可以保持成形板材的温度均匀性,且成形温度低,容易控制;b.热压成形的变形量较小,对应变速率大小要求不高;c.热压成形时零件表面保护效果好,因为热压成形时坯料没有切向力的作用剥离钛板的表面防护材料,有利地保护了板坯的原始性能。图3为热压成形工艺模拟件。

(2)热旋压。

热旋压工艺不适合Ti750大尺寸零件的研制,原因如下^[3-4]:现有旋压设备热旋压时基本都是采用烤枪加热,如果板坯尺寸大,就相应地增加烤枪的数量进行补

热。烤枪之间协调配合,来保证受热板坯温度均匀。对于大尺寸舱段类零件,需要直径近1m的板坯,要保证如此大尺寸板坯成形过程中温度均匀,试验推算约需5~6把烤枪,多把枪间协调性控制困难,无法保障温度在精确范围之内波动。成形芯模须加热至接近成形板料的温度,其加热与保温也是现有条件的难题。此外,旋压成形过程中旋轮对坯料的压应力与切向力的作用会逐渐剥离掉涂敷在成形板坯表面的气体防护层,板坯防护措施困难。另外,变形速率是Ti750热旋压的另一个重要影响因素。旋压加工的剪应变速率在不同的变形条件下是一个高达 $10\sim 10^3\text{s}^{-1}$ 的值。应变速率很高,对Ti750合金的成形较为不利,高变形速率导致变形过程中产生的应力集中与位错塞积等无法释放极易产生裂纹。综上所述,靠现有的旋压条件保证合金成形需要的工艺窗口,工艺性较差。图4为热旋压成形工艺模拟件。



图4 热旋压成形模拟件

Fig.4 Hot spun piece

(3)超塑。

超塑成形时板料与芯模一起装炉加热,加热至板料的超塑温度时开始成形^[5],板料与模具的温度一致,以低应变速率成形,成形过程中板坯表面防护层不会受外力作用破坏,根据其工艺特点分析超塑成形比较适合Ti750合金的塑性成形条件。

对于超塑成形技术来讲,因为是靠模具保证结构件的形状,靠高压气体作为成形介质,它不仅能成形形状

规则的圆截面舱体类零件,还能成形其它不规则的结构件。因此,对该新型合金开展超塑成形的深入研究,作为新材料的工艺技术积累与储备,为弹体结构件的需要奠定了更实用的基础。图5为超塑成形工艺样件。



图5 Ti750超塑成形筒形件

Fig.5 Super-plastic formed Ti-750 cylinder piece

2.4 合金的焊接性能

Ti750合金还具有较好的可焊性。本课题研究了该合金的电子束焊、激光焊、氩弧焊成形。结果表明:该合金具有很好的可焊性^[6],激光焊与电子束焊接,其焊缝强度可以达到母材强度,氩弧焊的焊缝强度也可以达到母材强度的80%,焊接后的延伸率最高可达到10%。此外,该合金还具有较好的扩散连接性,因此可成形该合金的复杂结构件。图6为超塑与激光焊成形的舱段模拟件,零件通过了静热联合试验考核。



图6 Ti750舱段模拟件

Fig.6 Simulation section of Ti-750 alloy cabin

3 结论

本课题结合新型高温钛合金的材料特点,深入分析了弹体结构件常用的几种热成形工艺(热压、热旋压、超

塑)对该新型高温钛合金的工艺适应性,并开展了这几种工艺的试验。结果表明:

(1) Ti750合金的材料特性决定其要求成形温度均匀、低变形速率和较好的表面保护;

(2) 大尺寸的Ti750合金零件不适合采用热旋压工艺成形, Ti750合金对超塑成形工艺特性比较适合。

参考文献

- [1] 张喜燕,赵永庆,白晨光.钛合金及应用.北京:化学工业出版社,2005.
- [2] 尚建勤.钛合金TC1整流内罩热成形工艺研究.锻压技术.2000(2):17-18.
- [3] Kang D C, Gao X C, Meng X F, et al. Study on the deformation mode of conventional spinning of plates. Journal of Materials Processing Technology, 1999 (91): 226-230.
- [4] 王成和,刘克璋.旋压技术.北京:机械工业出版社,1986.
- [5] 李伟,杨俊,罗琴英.热压与超塑成形组合工艺研究.飞航导弹,2011,8:60-62.
- [6] 付刚,胡刚.TC4钛合金超塑成形/扩散连接后电子束焊接技术.航空制造技术,2004(12):72-74.

(责编 三丰)

(上接89页)

5 总结

通过调研当前MES实际使用情况,立足机械加工车间的实际需要,通过提出建设目标、建设内容,最后对建设过程中的关键问题进行分析解决。建设了一套可行的MES系统,车间基本实现信息化。通过MES排产重点产品计划得到保障,零部件加工状态、完成时间、操作者及设备信息、质量状况信息可随时查看,外协任务审批网络化,车间实现任意时间内产能统计、人员工时结算等信息化管理。

经过系统实施,设备利用率、车间的生产能力、产品的质量得到提高,并为提高后续产品计划安排的科学性和可行性及后续车间建立无图化打下坚实的基础。

参考文献

- [1] 刁树民,金喜波,杨明远,等.离散型制造业应用MES系统模型设计.佳木斯大学学报,2009,27(3):223-225.
- [2] Wu Yu, Xu Xiaodong, Li Congxin. Modeling research on manufacturing execution system based on large-scale system Cybernetics. Shanghai Jiaotong University,2008,13(6):744-747.
- [3] 王萍,宋新民,鲁晓.离散制造业MES系统作业计划管理模块设计与实现.露天采矿技术,2009,4:67-71.
- [4] 胡国金,刘跃华.基于RFID技术的MES在离散型制造业应用成效研究.中国制造业信息化,2010,39(1):34-40.
- [5] 庞东平,张绍芳,曲杰.条码扫描系统在汽车纵梁折弯全自动生产线的应用.锻压装配与制造技术,2009,(4):53-55.

(责编 可岚)