

钛合金激光快速成形与热轧板材氩弧焊试验

Titanium Argon-Arc Welding Between Laser Rapid Forming and Hot Rolled Plate

北京航空材料研究院 吴鹤 白明远 张文扬
成都飞机工业(集团)有限责任公司 虞文军

[摘要] 研究了 Ti6Al2ZrMoV 合金激光快速成形与热轧板材进行氩弧焊焊接后的力学性能,并对焊缝微观组织和断口特征进行了观察和分析。结果表明焊后试样室温拉伸强度和塑性均略低于 2 种基体的正常值。

关键词: Ti6Al2ZrMoV 合金 激光快速成形 热轧氩弧焊 力学性能

[ABSTRACT] The microstructure and mechanical property of the argon-arc welding seam between the Ti6Al2ZrMoV alloy laser rapid forming (LRF) and hot rolled plate are studied. The results of Erickson test at room temperature review that the tension strength and ductility are both lower than that of LRF and hot rolled matrixes.

Keywords: Ti6Al2ZrMoV alloy Laser rapid formation Hot roll argon-arc welding Mechanical property

激光快速成形(LRF)是将材料技术与制造技术有机融为一体的“新材料设计、新材料制备与近净成形高性能复杂零件快速成形一体化”高新技术^[1]。将快速原型技术(RP)自由成形与激光熔覆技术相结合,能够实现高性能、复杂结构、致密金属零件的直接成形,因此该技术具备诸多优异的特点^[2]。而现有航空制造业中,钛合金普遍采用热轧制方法加工零件。同时,在航空制造工程中,氩弧焊技术逐渐替代了传统的机械连接(如铆接、螺栓连接等)工艺而得到广泛的应用。因此,激光快速成形与热轧 2 种成形技术制造零件的焊接特性越来越受到工程设计人员的重视。本课题研究了采用激光快速成形和热轧制 2 种成形技术制备的 Ti6Al2ZrMoV 合金板材经氩弧焊焊接后的力学性能,并观察和分析了其微观组织和断裂特征。

1 试验材料及方法

试验采用 LRF 法制备的 Ti6Al2ZrMoV 合金毛坯料和 2mm 厚的热轧板材。将激光快速成形毛坯线切割成厚度为 2mm 的薄板试样,并将其与热轧板材经氩弧焊

焊接在一起。氩弧焊焊接前,进行薄板、焊丝的化学清洗,清洗试剂为(5%~10%) HF+(30%~35%) HNO₃+60%H₂O,清洗 5min 后烘干。氩弧焊时焊丝采用直径为 1.6mm 的 Ti6Al2ZrMoV 合金焊丝,薄板试样的间隙控制在 0.5mm 左右,不开坡口,然后采用手工氩弧焊进行定位点焊,焊接电流为 50~55A。试样的焊接在真空充氩箱中进行氩弧焊,并采用单面焊接、双面成型工艺,焊接电流为 70~80A。焊后未进行去应力退火热处理和焊缝处的 X 射线检验。焊接好的试样加工成非标准板材拉伸试样(如图 1 所示)。

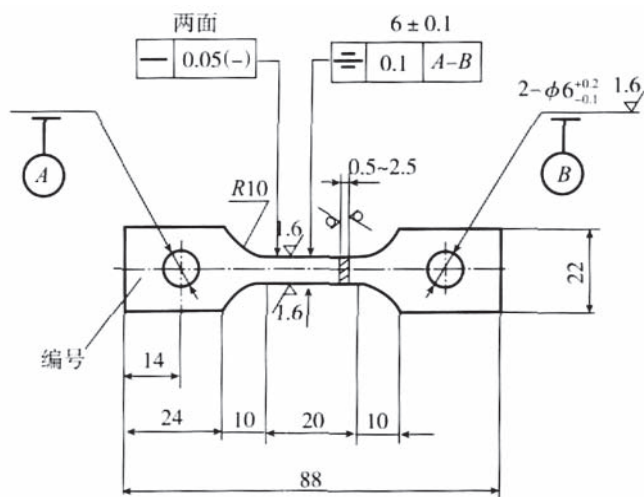


图 1 室温板材拉伸试样结构和尺寸

Fig.1 Structure and dimension of tension testing plate specimen

试样的拉伸性能测试在室温下进行,试验设备为 INSTRON4507 试验机。截取试样加工后的余料制备成焊缝区和热影响区的金相试样,在 JSM-5600 HV/LV 型扫描电镜上分析微观组织。同时,切取试样拉伸断裂后的断口位置,分析断口的宏观和微观特征。

2 试验结果与分析

氩弧焊定位点焊和焊缝的焊接过程中,电弧稳定,

弧光呈亮白色,无飞溅。焊后的焊点或焊缝均呈银白色,试板平直、变形小,符合一级焊缝表面氧化色要求。

2.1 室温力学性能

氩弧焊焊接试样的力学性能如表 1 所示。试验数据显示,3 个试样的拉伸强度值分散性不大,其中 σ_b 约为 908~1 005MPa, $\sigma_{0.2}$ 约为 817~897MPa,最大差值均小于 10%。试验数据明显低于激光快速成形基体和热轧板材基体的室温力学性能,这可能与采用尺寸相对较小的非标准试样有关。其材料性能受机加工、内部和表面缺陷等影响较大,造成试验数据在一定程度上的误差和分

表 1 室温拉伸性能

试样编号	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ /%
121 [#]	963	870	8.6
122 [#]	908	817	6.1
123 [#]	1 005	897	6.1

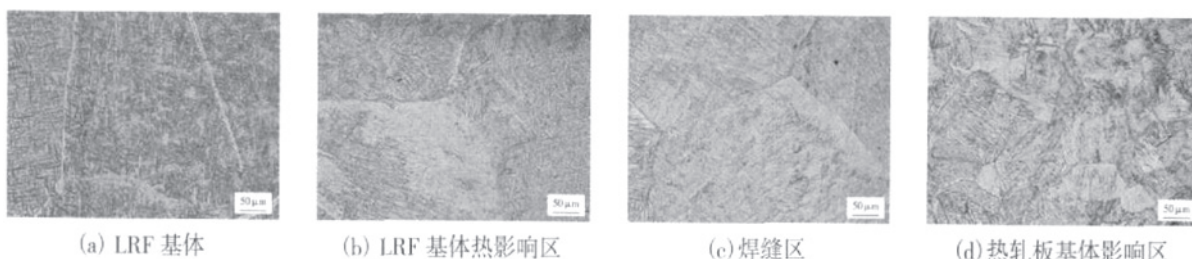


图 2 焊后不同部位的典型微观组织

Fig.2 Typical microstructures of different areas in the specimen

接时的热作用影响很大。焊缝区的针状马氏体粗大,这是氩弧焊焊接时,金属液熔化后快速冷却所致。

2.3 断口分析

试样断裂位置以及断口的宏观、微观典型形貌见图 3。观察可知,试样断裂位置均位于焊缝附近(图 3 (a)),宏观观察可见塑性变形特征(图 3 (b))。若焊接工艺控制不当,焊缝处往往会形成气孔缺陷(图 3 (c)),从而不同程度地影响材料的强度或塑性。焊缝断口典型特征如图 3 (d) 所示,虽属于韧窝断裂,但由于形成韧窝尺寸和深度有限,因此表现为塑性值较低。

3 结论

(1) 激光快速成形与热轧 2 种成形技术得到的 Ti6Al2ZrMoV 合金,氩弧焊焊接后的力学性能良好,室温拉伸强度、塑性与基体相当,数据分

散性。同时,试样尺寸越小,氩弧焊时过热越大。试样的基体和焊缝均未进行 X 射线检验,焊后也未进行去应力退火处理,导致试样和焊缝均可能存在冶金缺陷和焊接应力,致使个别试样的力学性能低于正常值。

2.2 微观组织分析

激光快速成形与热轧板材氩弧焊焊接后的基体、热影响区和焊缝区的典型微观组织如图 2 所示。观察可知,激光快速成形基体和焊缝之间的热影响区微观组织(图 2 (a)、(b))符合激光快速成形板材氩弧焊热影响区的组织特征,即氩弧焊焊接后,靠近激光快速成形板材一侧热影响区的 β 晶粒较粗大,且尺寸与激光快速成形基体相当, β 晶粒未发生长大现象。显微组织均呈现细小、网篮状 β 转变组织特征,这与激光快速成形钛合金板材晶粒尺寸及内部显微组织对氩弧焊焊接的热作用不敏感有关。而热轧板材一侧的热影响区晶粒相对较小(图 2 (d)),但是与原始热轧板材等轴组织的晶粒尺寸相比,呈现近百倍的显著长大趋势,表明热轧钛板材受焊

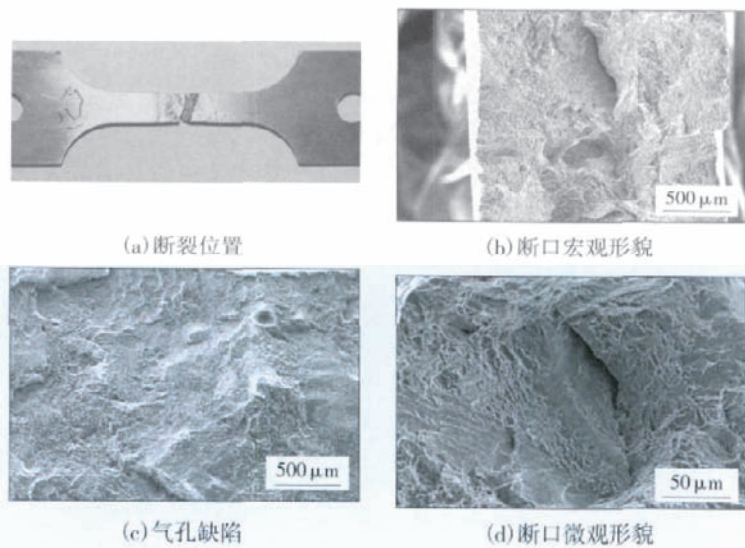


图 3 试样断裂位置和断口典型特征

Fig.3 Typical characters of crack position and fracture pattern

(下转第 95 页)

才能够实现信息的协调与交互。信息建模的目标体现在 2 个方面:一是信息的统一描述;二是信息的可视化展示。

图 4 为制造执行监控系统信息模型中所涉及的主要数据。通过系统功能表与角色表的关联实现系统的个性化定制;通过登陆人员信息表与角色表的关联实现系统访问权限的颗粒化管理;零件信息表和工艺信息表存储零件的基本信息;通过人员关注表中的信息及其相关的表中的信息可以为不同人员以要求的方式组织不同的信息,并加以展示;调度计划表中存储工序级的作业计划;实际反馈表中则存储工序和零件的实际作业情况,当实际执行情况与调度作业计划中的情况发生冲突时,根据实际执行情况对作业计划进行相应的调整。

制造信息的可视化展示的目标是为将各种连续的业务过程进行离散化处理,将其最终落实为各个环节的信息关联,而对于车间业务而言,面向执行的周转过程无疑是其中的核心。因此,对于制造信息的可视化,本课题采取以零件的生产周转过程为主线展开,通过对各个工序的开工、周转、完工等内容的管理,实现质量、工时等业务的协同。同时对于信息的可视化,从零件和工序 2 个角度进行区分,如对于零件而言,体现在正在执行、执行完毕尚未入库、执行完毕已经入库;对于工序而言,体现为尚未执行、正在执行、执行完毕等。同时提供生产准备情况的检查以及工艺人员关注的工序。通过提供多层次的查询,为型号负责人、协作车间以及库存人员提供相关信息的定制性查询参考。

4 系统开发与实现

通过关键技术的突破,以 Windows XP 系统为平台, Visual Studio 2005 中的 ASP.NET 平台为开发工具,设计并实现了制造执行过程监控系统的开发,从计划、准备、调度、执行和入库的全过程管理,包括工艺、进度、质量、成本等业务的全方位控制,以及涵盖车间领导、计划人员、工艺人员、调度人员、操作人员、库存人员和协作车间人员等全员参与,以制造执行周转控制为核心,通过建立统一的信息模型,实现了制造信息的可视化,形成有序、协调、可控和高效的车间运行效果。

首先是对基础数据的灵活管理,包括任务分批指令、分批前的计划任务、分批后的计划任务、面向研制任务的工艺更改响应以及急件任务插入等。

基于业务协同的制造执行过程监控以周转过程为核心,提供了面向多角色人员协同参与的可视化信息界面。实现了全过程、全方位以及全员参与的运行效果,

为车间制造执行提供了良好的支撑平台。

5 结束语

制造执行过程监控是实现基于业务协同的基础,是达到车间有序、协调、可控和高效运行的核心保证技术。本课题以计划、准备、调度、执行和入库的全过程分析为基础,通过对工艺、进度、质量和成本等业务的全方位管理,实现了车间领导、工艺、调度、工人和检验等的全员参与。通过业务过程模型的快速定制、制造执行周转过程的控制以及统一的信息建模,建立了基于业务协同的制造执行过程监控平台,通过制造信息的可视化,实现了业务、过程和信息协调管理,支持了多业务角色的协同,为车间制造执行的信息化管理提供了具有推广应用价值的系统平台。

参 考 文 献

- [1] 吴伟仁. 军工制造业信息化. 北京:原子能出版社, 2007.
- [2] 孙志峻. 智能制造系统车间生产优化调度 [D]. 南京:南京航空航天大学, 2002.
- [3] 吴康. 面向多品种变批量生产的制造执行过程监控技术研究 [D]. 北京:北京理工大学, 2007.
- [4] 饶运清, 李培根, 李淑霞, 等. 制造执行系统的现状与发展趋势. 机械科学与技术, 2002, 21 (6): 11-16.
- [5] 陈杰, 孙宇, 张世琪, 等. 面向过程的制造执行系统的研究. 高技术通讯, 1999, 9 (12): 37-40.
- [6] 刘晓冰, 蒙秋男, 黄学文, 等. 基于软构件的柔性制造执行系统平台的研究. 计算机集成制造系统, 2003, 13 (2): 101-106.

(责编 依然)

(上接第 73 页)

散性小,断裂位置位于焊缝处。

② 焊接接头均断裂于焊缝处,其微观断裂特征均为韧窝断裂。

③ 激光快速成形 Ti6Al2ZrMoV 合金氩弧焊焊接的焊缝热影响区均不发生晶粒长大现象,其显微组织保持原始材料典型的细小网篮状 β 转变组织;而热轧 Ti6Al2ZrMoV 合金板材焊缝热影响区的 β 晶粒发生了明显长大现象,晶粒尺寸及内部显微组织对焊接的热作用很敏感。

参 考 文 献

- [1] 杨健, 黄卫东, 陈静, 等. 激光快速成形金属零件的残余应力. 应用激光, 2004, 24 (1): 5-8.
- [2] 肖强伟, 余欢, 徐志峰. 选择性激光烧结技术的发展概况及展望. 国外金属加工, 2005, 26 (2): 8-12. (责编 小颖)