

TiNiNb 合金激光焊接接头的组织与性能

陈庚^{1,2}, 赵兴科¹, 陈俐², 王蔚^{1,2}, 黄继华¹, 张华¹

(1. 北京科技大学材料科学与工程学院, 北京 100083; 2. 北京航空制造工程研究所 高能束流加工技术重点实验室, 北京 100024)

摘要: 试验研究了 TiNiNb 宽滞后形状记忆合金 Nd:YAG 激光焊接的组织与性能。通过光学显微镜、扫描电镜、能谱分析、X 射线衍射、硬度测试和拉伸试验对母材和焊缝的微观组织、元素分布、相组成以及接头力学性能进行了研究。结果表明: 焊缝主要是由 TiNi 基体相和 -Nb 相组成的共晶组织, -Nb 在 TiNi 基体相晶界和晶内分布不均匀; 接头各区域的显微硬度均高于母材; 室温下表现出较高的抗拉强度。用 Nd:YAG 激光焊接 TiNiNb 形状记忆合金是一种较理想的焊接方法。

关键词: TiNiNb 合金; 激光焊接; 微观组织; 力学性能

中图分类号: TG456.7; TG139+.8 文献标识码: A 文章编号: 1001-3814(2008)17-0099-03

Microstructure and Properties of Laser Welded Joint of TiNiNb Wide Hysteresis Shape Memory Alloy

CHEN Geng^{1,2}, ZHAO Xingke¹, CHEN Li², WANG Wei^{1,2}, HUANG Jihua¹, ZHANG Hua¹

(1. School of Material Science and Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory for High Energy Density Beam Processing Technology, Beijing Aeronautical Manufacturing Technology Research Institute, Beijing 100024, China)

Abstract: The TiNiNb wide hysteresis shape memory alloy was welded by Nd:YAG laser welding. The microstructure and properties of laser welded joint were investigated by OM, SEM, EDS, XRD and the tensile test. The results show that the microstructure of welded joint is mainly composed of TiNi phase and -Nb phase, -Nb distribution in the TiNi phase are not uniformity. The hardness of welded joint is higher than base metal and the tensile strength of the welding joint at the room temperature is better. The TiNiNb shape memory alloy is welded by Nd:YAG laser, which is a good method.

Key words: TiNiNb shape memory alloy; laser welding; microstructure; properties

TiNiNb 宽滞后形状记忆合金由于其加工成形性能良好, 经过适当的处理后其相变滞后可以达到 150 , 这种宽滞后形状记忆合金构件可在通常气候条件下运输、存储, 不需要保存在液氮中, 安装时只需加热到 70~80 即可完全形状回复, 因此为实际工程应用带来了很大方便。以往对该合金的研究主要集中在合金的相变行为、形状记忆效应以及应变恢复特性等方面^[1-4], 但其焊接性能的研究还不充分, 因此在某种程度上限制了该合金的推广应用。

形状记忆合金焊接接头不仅应保证一定的强度和塑性, 而且要尽量保证其记忆功能, 这就给其焊接带来一定困难^[5]。激光焊接由于其功率密度

大, 焊缝热影响区小及焊接变形小, 近年来越来越受到人们的关注。当前用 YAG 激光器焊接 TiNiNb 形状记忆合金尚未见报道, 作者为此进行研究, 以期得到对生产实际有益的结果。

1 试验材料与方法

TiNiNb 形状记忆合金的原材料由北京有色金属研究院提供, 于哈尔滨工业大学炼制。试验用 TiNiNb 材料为厚度 1mm 的冷轧板, 试样尺寸为 50mm×90mm, 其成分如表 1 所示。在氢氟酸、硝酸和水的混合液中浸泡, 去除表面氧化膜, 用丙酮超声波清洗干净, 吹干备用。

表 1 试验用 TiNiNb 合金的化学成分(质量分数, %)
Tab. 1 Chemical composition of TiNiNb alloy(wt%)

Ti	Ni	Nb	C	N	H	O
余	50.9	9.0	< 0.05	< 0.05	< 0.005	< 0.05

激光焊采用英国 Gsi Lumonics 公司生产的 AM356 型连续 YAG 激光器为核心的焊接系统; 最大功率 4.5kW, 波长为 1.06 μm, 模式为多模,

收稿日期: 2008-06-13

基金项目: 武器装备重点基金资助项目(6104110)

作者简介: 陈庚(1983-), 男, 湖北应城人, 在读硕士, 主要从事激光焊接方面的工作; 电话: 010-62334859;

E-mail: chengeng8888@sohu.com

焦距为 150mm, 光斑直径为 0.6mm, 配备 ABB 公司制造的 IRB2400/16 型工业机器人, 其机械系统部分采用六自由度机械手。激光通过光纤传输并透射聚焦后到达工件, 焊接过程以工作台静止, 由机械手带动激光相对运动来实现。焊接过程中采用三路高纯氩气对焊接高温区进行全方位的保护, 焊接试验采用对 TiNiNb 合金试板堆焊。

线切割切取焊缝横截面, 经 HF:HNO₃:H₂O=1:3:10 的混合液腐蚀, 通过光学显微镜和扫描电镜观察焊缝组织; 使用能谱仪和 X 射线衍射分析焊缝区域成分; 使用硬度仪和万能拉伸实验机(MTS810)测量焊缝区域硬度和焊接接头抗拉强度。

2 试验结果和分析

2.1 焊缝形貌

图 1(a) 是在优化后的焊接参数(激光功率 $P=1800\text{W}$ 、焊接速度 $V=1.5\text{m/min}$ 、离焦量为 0 mm、焊缝同轴保护气体为 10L/min、背保护气体和侧吹气体为 15L/min) 下焊接所得焊缝的断面形貌, 可看出其焊缝表面平整光滑, 焊缝背宽比大, 为典型的匙孔焊缝形貌。图 1(b),(c) 是在热输入恒定条件下, P 和 V 不同所得焊缝的断面形貌, 可看出在焊接热输入相同的条件下, 高功率、高速度的焊接比低功率、低速度的焊接更能增加熔宽比。

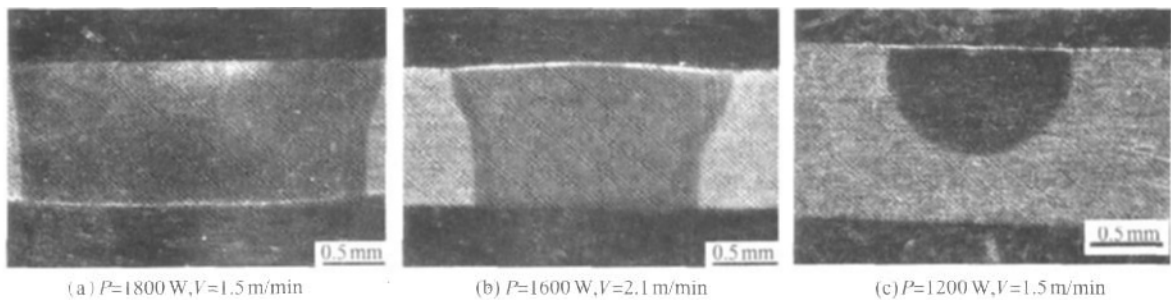


图 1 TiNiNb 合金激光焊接焊缝断面形貌
Fig. 1 Cross section morphologies of laser welded joints of TiNiNb alloy

2.2 焊接接头微观组织

图 2 是 TiNiNb 合金激光焊接接头不同区域的微观组织变化情况。从图 2(b) 可看出, 激光焊接接头可分为母材、焊缝和熔合区三个部分。焊缝组织是熔融金属凝固时晶粒垂直于热影响区向中

心呈放射状生长形成的铸态树枝状晶, 但其晶体的取向较紊乱, 这可能与激光深熔焊接时熔池剧烈流动有关; 在熔合线靠近焊缝中心一侧, 由于柱状晶的生长方向总是沿着最大散热方向, 同时以母材半熔化晶粒为基底通过联生结晶外延生长而

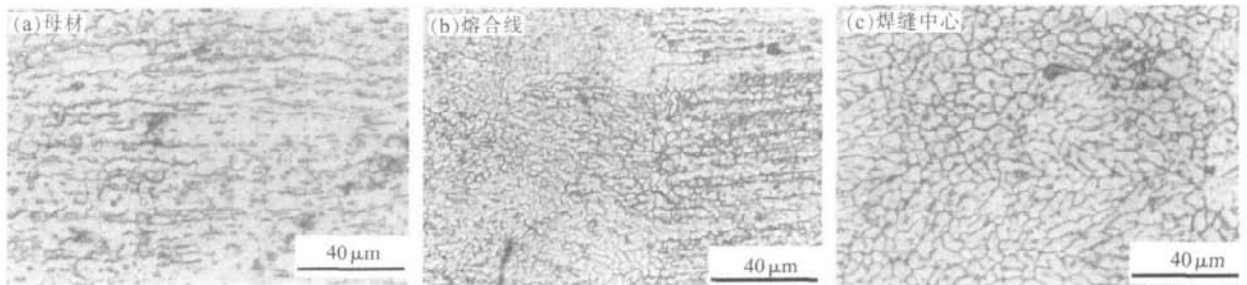


图 2 焊缝组织 Fig.2 Microstructure of laser welded joint

成, 柱状晶沿熔合线向焊缝中心相对生长; 热影响区靠近焊缝区域为粗大等轴晶, 而距离焊缝较远的部分为相对细小的等轴再结晶组织; 熔合区介于焊缝和热影响区组织之间逐渐过渡。

图 3 是焊缝中心区域的扫描电镜照片。可看出, 焊缝由基体相及其晶界处的网状共晶组织构成。基体相的晶粒较细小, 这可能是和激光焊接时快速凝固所导致。图 4 对焊缝中心 A、B 两点能谱

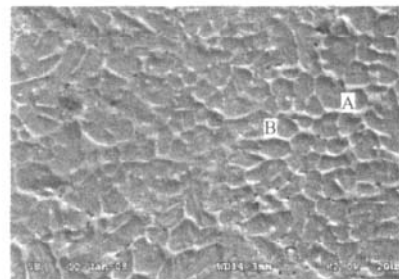


图 3 激光焊接焊缝中心区域的扫描电镜照片
Fig.3 SEM morphology of laser welded joint center

图, 分析表明, Nb 在晶界共晶区含量较高, 而在 TiNi 基体相内含量较低。

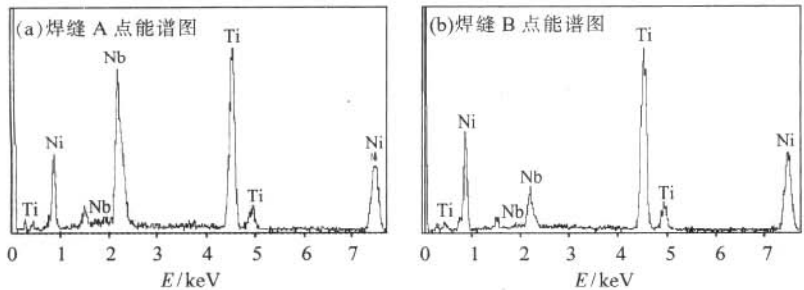


图 4 图 3 中 A、B 点的焊缝能谱图
Fig.4 EDS pattern of A, B spot at fig.3

图 5 是焊缝 X-射线衍射结果。可见, TiNiNb 合金激光焊接接头的组织存在两种相: TiNi 基体

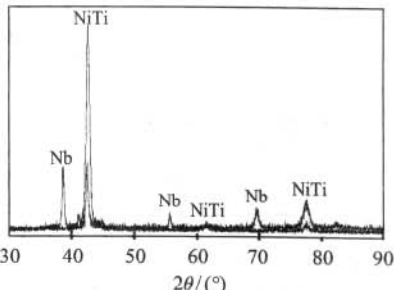


图 5 焊缝区的 X 衍射谱
Fig.5 X-ray diffraction result of weld

和 -Nb。焊缝以及热影响区与母材相组成相同。

2.3 接头力学性能

对 TiNiNb 合金激光焊接接头焊缝横截面中心横向及纵向的显微硬度进行测试, 结果如图 6 所示, 从图 6(a)可看出, 焊缝接头各区域的显微硬度均高于母材(焊缝的平均显微硬度为 285HV0.2, 而母材平均硬度为 245HV0.2), 由于高硬度与马氏体相的形成有关。从图 6(b)可看出, 沿焊缝中心的硬度分布, 在焊缝背面由于等离子体和高温蒸汽在背保护气体作用下起热沉作用, 对焊缝金属有持久的加热

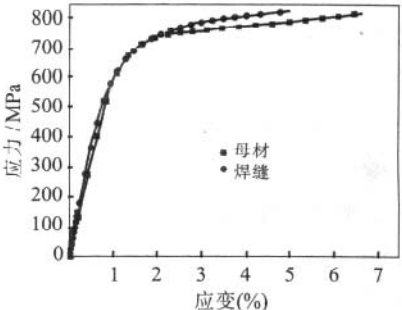


图 7 常温力学性能
Fig.7 Mechanical properties of laser welded joint at room-temperature

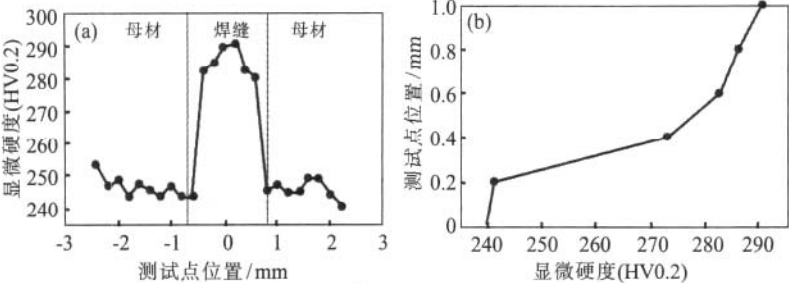


图 6 焊接接头的显微硬度分布
Fig.6 Microhardness distribution of laser welded joint

作用; 在焊缝表面由于等离子体在保护气体作用下而被抑制, 导致焊缝表面的冷却速度高于焊缝背部, 从而使表面的显微硬度较高。

TiNiNb 合金的激光焊接接头常温拉伸力学性能测试结果如图 7 所示。可看出, 接头抗拉强度和母材相当, 而伸长率较母材稍低, 这是由于母材和焊缝组织差异所致, 在母材中, -Nb 在 TiNi 基体相中呈长条分布, 而在焊缝中呈网状分布, 从而导致伸长率相差较大。

3 结论

(1) 焊缝组织是熔融金属凝固时晶粒垂直于热影响区向中心呈放射状生长形成的铸态树枝,

由于激光冷却速度较快, 从而使晶粒细小。

(2) 焊接接头由 -Nb 相和 TiNi 相组成, Nb 在 TiNi 相晶界分布较多。

(3) 激光焊接接头显微硬度均高于母材, 未出现明显的软化区。

(4) 激光焊接接头力学性能好, 其抗拉强度和母材接近, 伸长率较母材略低, 因此, 用 Nd:YAG 激光器焊接 TiNiNb 形状记忆合金是一种较理想的方法。

参考文献:

[1] 赵连城, 蔡伟. NiTiNb 宽滞后形状记忆合金的形变诱发马氏体相变及可逆性[J]. 金属学报, 1997, 33: 90-99
[2] 蔡伟. NiTiNb 记忆合金 应变恢复特性与形变马氏体的逆转变[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1994.
[3] Zhao L C. Study of Ti-Ni-Nb shape memory alloy with a wide hysteresis [A]. Proc. SAM 99[C]. Kanazawa Japan: 1999. 23-30.
[4] 张春生. TiNiNb 宽滞后记忆合金的组织结构和形变马氏体的稳定性[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1991.
[5] 王健民, 陈烈民. 记忆合金网状抛物面天线的研制[J]. 宇航材料工艺, 1987, (1): 1-5.