

钛合金/镍/不锈钢网的扩散连接技术*

李小强, 李元元, 张大童, 龙雁, 陈维平

(华南理工大学机械工程学院, 广东 广州510640)

摘要: 研究了以Ni为中间过渡层时, 钛合金与不锈钢网的扩散连接技术, 分析了影响扩散连接的主要因素和接头微观组织, 确定了最佳工艺参数, 并获得了剪切强度达146 MPa的无变形接头。

关键词: 钛合金; 不锈钢网; Ni中间层; 扩散连接

中图分类号: TG453 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579(2003)03-0092-03

在某部件中, 需将钛合金与不锈钢网连接在一起。然而因钛合金与不锈钢的物理和化学性能差异显著, 连接时易在接头处形成脆性相和较大的内应力, 导致接头极易开裂。目前采用摩擦焊、钎焊等方法尚难以获得高性能接头和解决接头相容性问题^[1-3]。直接扩散连接虽能解决接头相容性问题, 但接头强度仍偏低^[4]。为了提高接头性能, 本文采用镍作中间层, 研究了其扩散连接技术。

1 实验材料与方法

TC4钛合金待焊面焊前用氢氟酸清洗10 s; 00Cr18Ni10不锈钢网焊前则采用王水酸洗30 s。酸洗后的试件和镍箔(30 μm厚)均需用无水乙醇洗净、风干。扩散连接时的真空度为 5.33×10^{-3} Pa。

2 试验结果与讨论

2.1 连接温度对接头的影响

图1和图2分别显示了连接温度对接头剪切强度和断口形貌的影响。随连接温度的升高, 接头强度显著提高, 接头断口形貌由不锈钢网与镍箔之间的轻微黏着向扩散层韧性断裂转变; 但当连接温度增至850℃后, 接头强度反而略有下降, 断口形貌呈现扩散层脆性断裂。

图3为接头金相照片。由图可知, 随着连接温度的升高, 接头区形成的金属间化合物(脆性层)厚度不断增加。结合能谱、元素线分布分析表明, 950℃连接接头的扩散层可分为4个区: 1区由TiNi₃组成, 靠近镍层; 2区为TiNi; 3区为Ti₂Ni; 4区为沉淀弥散相(α' Ti)和针状组织(与镍偏聚有关)的混合区。850℃时扩散层由2区、3区和4

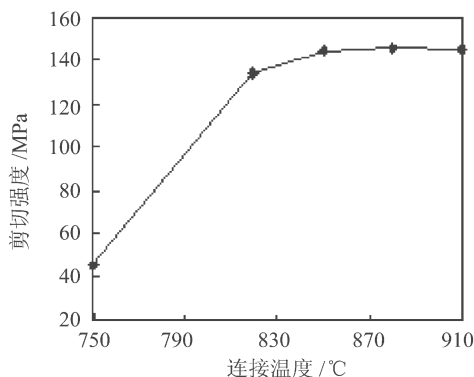


图1 接头剪切强度与扩散连接温度的关系

Fig. 1 Dependence of shear strength of joints on bonding temperature
 $p=15\text{ MPa}$, $t=15\text{ min}$

区组成, 750℃时扩散层仅含3区和4区。

综上所述, 连接温度较低时, 被焊材料的屈服强度较高, 以致被焊面间的接触不够充分, 焊合率偏低, 同时低温下原子扩散能力差, 削弱了界面冶金结合, 故接头主要断于不锈钢网与镍箔之间, 且呈轻微黏着, 接头强度较低; 随着连接温度的增加, 被焊材料的屈服强度急剧下降, 被焊面间的接触面积迅速增加, 焊合率大幅度提高, 而且随着温度的提高原子扩散能力增加, 从而增强了界面冶金结合, 同时由于镍-钛金属间化合物当含量较低时具有一定的塑性, 因而接头断口呈韧性断裂, 接头强度明显提高; 但进一步提高连接温度, 接头界面处又因过分扩散形成太多的金属间化合物, 断口呈现脆性, 接头强度反而降低。

2.2 连接比压力对接头的影响

比压力小时接头的有效结合面积也较小, 比压

* 收稿日期: 2003-01-12

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目(990552); 华南理工大学自然科学基金资助项目(E5305293)

作者简介: 李小强(1972年生), 男, 博士后; E-mail: lxqgyy@163.com

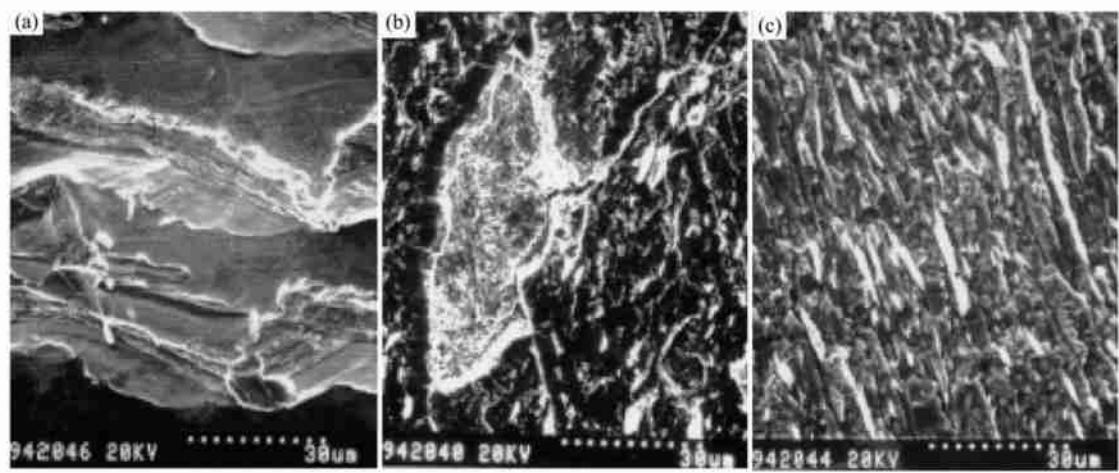


图 2 不同温度下扩散连接接头的断口形貌

Fig. 2 Fracture surface morphologies of joints bonded at various temperature
 $p=15\text{ MPa}$, $t=15\text{ min}$
(a) $750\text{ }^{\circ}\text{C}$; (b) $850\text{ }^{\circ}\text{C}$; (c) $950\text{ }^{\circ}\text{C}$

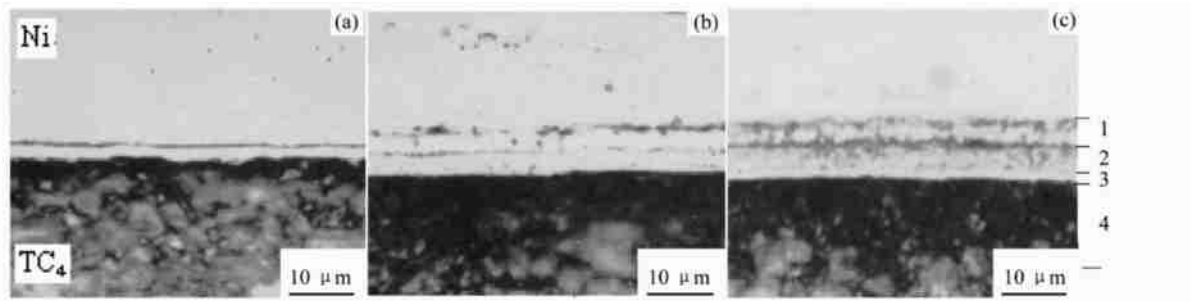


图 3 不同温度下扩散连接接头的金相照片

Fig. 3 Microstructures of joints bonded at various temperature
 $p=15\text{ MPa}$, $t=15\text{ min}$
(a) $750\text{ }^{\circ}\text{C}$; (b) $850\text{ }^{\circ}\text{C}$; (c) $950\text{ }^{\circ}\text{C}$

力的提高不仅有利于增加接头区的结合面，同时也有利于破坏待焊表面氧化膜，此外，还增加了结合区微观缺陷，加速了界面原子的扩散，从而在宏观上表现出接头强度随比压力显著上升；但当比压力增至 10 MPa 后，比压力对扩大结合面以及界面区原子扩散已不再产生明显影响，以致焊后接头性能对比压力又表现出不敏感的一面，如图 4 所示。

2.3 连接时间对接头的影响

由图 5 可知，在连接温度 850 °C 和比压力 15 MPa 下，随连接时间的延长，接头剪切强度先升后降，当连接时间为 10 ~ 15 min 时，接头强度最高。这是由于连接时间过短会引起接头区原子扩散不足，不能形成良好的冶金结合；而时间过长则会因原子扩散得过于充分，在接头界面区形成太多的脆性金属间化合物，从而增加了接头脆性，损害了接头力学性能。

综上所述，钛合金/镍/不锈钢网扩散连接时，

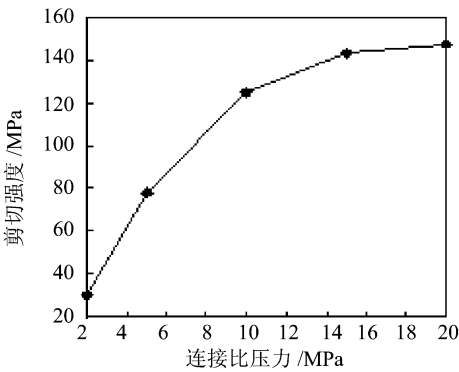


图 4 接头剪切强度与扩散连接比压力的关系
Fig. 4 Variation of shear strength of joints as a function of bonding pressure
 $\theta=850\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=15\text{ min}$

最佳工艺参数为连接温度 850 °C，连接比压力 10 ~ 15 MPa，连接时间 10 ~ 15 min，接头剪切强度达 146 MPa，比直接扩散连接时（最大为 74 MPa^[4]）

高约 1 倍，且构件无明显变形。这主要由以下因素所造成：① 镍高温塑性优于基体金属，从而减小了基体的变形；② 由镍—铬和镍—铁相图可知，镍与不锈钢中的主要元素均不形成金属间化合物。尽管镍与钛会形成金属间化合物，但当含量较低时该类金属间化合物仍具有一定塑性。③ 不锈钢原本含有元素镍，选择镍也符合构件相容性要求。

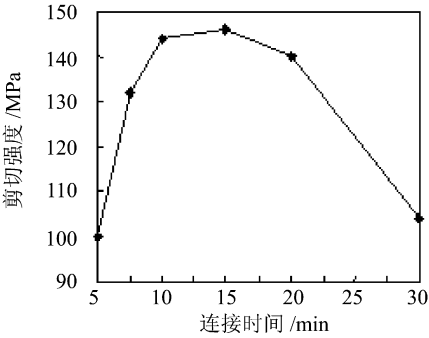


图 5 接头剪切强度与扩散连接时间的关系

Fig 5 Dependence of shear strength of joints on bonding time
 $\theta=850\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p=15\text{ MPa}$

3 结 论

以镍箔作中间层扩散连接钛合金/不锈钢网时，连接温度 850 ℃、连接比压力 10~15 MPa 和连接时间 10~15 min 时，接头剪切强度最大，达 146 MPa，且构件无明显变形。

参考文献:

[1] LUGSCHEIDER E, BROICH U. Mechanical properties of high temperature brazed titanium materials[J] . Welding Research Supplement, 1995(5): 169.
[2] FUTAMATA M, FUJI A. Friction welding of titanium and SUS 304L austenitic stainless steel[J] . Welding International, 1990, 4(10): 768.
[3] KIM Y C. Characterisation and generation mechanism of residual stress and plastic strain in Ti/AISI 304L stainless steel friction welds[J] . Welding International, 1994, 8(11): 893.
[4] 周荣林, 何鹏, 李小强, 等. 钛合金/不锈钢网的扩散连接[J] . 宇航材料工艺, 1999(1): 46.

Diffusion Bonding of Titanium Alloy to
Stainless Steel Wire with a Nickel Interlayer

LI Xiao-qiang, LI Yuan-yuan, ZHANG Da-tong, LONG Yan, CHEN Wei-ping

(College of Mechanical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The diffusion bonding technology of titanium alloy to stainless steel wire with a nickel interlayer, the main factors effecting diffusion bonding and the microstructure of the joints were investigated. Finally, the optimal processing parameters were obtained, and the shear strength of the joint without obvious shape changing was up to 146 MPa.

Key words: titanium alloy; stainless steel web; Ni interlayer; diffusion bonding