

Fe₃Al 合金与 A304 钢的 TIG 焊试验研究

何前进,徐道荣,胡志田

(合肥工业大学 材料科学与工程学院,安徽 合肥 230009)

摘要: 采用 TIG 焊方法,分别选择 9Cr-1Mo 钢焊丝、A347 焊丝和 Inconel 82Ni 基合金焊丝作填充材料对 Fe₃Al 合金与 A304 不锈钢进行焊接试验,并对接头质量进行了检测分析。结果表明:三种填充焊丝的焊缝中均有裂纹产生,并且在 Fe₃Al 合金的热影响区还出现了微裂纹;采用 Cr-Mo 钢焊丝时,溶池金属沿 Fe₃Al 母材基体结晶长大,接头区组织较均匀,而采用 Ni 基焊丝时,Fe₃Al 侧存在界线明显的熔合区。

关键词: Fe₃Al/A304;TIG 焊;焊接试验

中图分类号: TG457.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2006)11-0010-03

Research of Fe₃Al Intermetallics and 304 Stainless Steel TIG Weld

HE Qian-jin, XU Dao-rong, HU Zhi-tian

(College of Mater. Sci. and Eng., Hefei Institute of Technology, Hefei 230009, Chian)

Abstract: The weldability tests were performed on Fe₃Al Intermetallics and 304 stainless steel by using TIG welding with filler materials of 9Cr-1Mo based alloy, 347 austenitic stainless steel and Inconel 82 nickel-based alloy respectively, the joints also were studied. The results show that crack forms on welding zone, crack also forms on heating affected zone of Fe₃Al alloy. The molten metal of the pool coagulates along the base material of Fe₃Al alloy with filler materials of 9Cr-1Mo based alloy and the microstructure phase of the joint is homogeneous. Fusion zone can be found obviously when welded with filler materials of Ni based alloy at the side of Fe₃Al base materials.

Key words: Fe₃Al/A304; TIG welding; weldability tests

Fe₃Al 金属间化合物具有比重小、弹性模量高、耐热耐磨耐蚀等优异性能,有希望成为新一代的高温结构材料,从而引起了国内外研究者的广泛关注^[1,2]。通过近些年的研究,曾被认为是 Fe₃Al 合金两个致命弱点的室温脆性和 600℃ 以上强度急剧下降的本质已被逐步揭示,并得到了很大的改进^[3,4]。

文献[5,6,7]分别研究了在 A304 不锈钢基体上堆焊 Fe₃Al 合金的工艺性及焊层金属性能,结果表明采用 TIG 焊方法可以得到完整的 Fe₃Al 合金堆焊层,且堆焊层金属的抗氧化性能明显优于 A304 型不锈钢。若能实现 Fe₃Al 合金与不锈钢的焊接复合,将具有十分广阔的应用前景。本研究拟采用不同的填充材料进行 Fe₃Al 合金和 A304 不锈钢的 TIG 焊对接试验,观察检测接头区的宏观、微观组织结构与性能,旨在探讨 Fe₃Al 合金与 A304 不锈钢对接的工艺性和适用的填充材料。

1 试验材料及方法

焊接试验用母材为 Fe₃Al 合金和 A304 奥氏体不锈钢板,选择的三种填充金属分别为 ϕ 2.5mm 的 9Cr-1Mo 钢焊丝、A347 不锈钢焊丝和 Inconel 82 Ni 基合金焊丝。母材及焊丝的化学成分见表 1、2。试板焊接坡口型式如图 1。

表 1 母材的化学成分(质量分数,%)

	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo	Nb	Al	Fe
Fe ₃ Al							5.0	0.5	0.5	28.0	Bal.
A304	≤0.12	≤1	≤2	≤0.03	≤0.03	8~11	17~19				

表 2 焊丝的化学成分(质量分数,%)

	C	Si	Mn	S	P	Cu	Ni	Cr	Mo	V
9Cr-1Mo	0.07	0.17	1.03	0.005	0.003	0.18	0.69	8.99	0.89	0.17
A347	0.08	1.0	0.5~2.5	0.03	0.04	0.5	9~11	18~21	0.5	
Inconel 82	≤0.1	≤0.5	2.5~3.5					18~22	2~3	

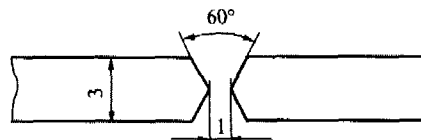


图 1 焊接试板坡口示意图

焊前将 Fe₃Al 合金与 A304 不锈钢的焊接坡

收稿日期:2006-01-12

作者简介:何前进(1980-),男,安徽岳西人,硕士研究生;

电话:13485512241;E-mail:heqj2003@etang.com

口表面清洗干净,然后点焊固定。施焊工艺参数为:电流 90~95 A,焊速 10~15 cm/min,氩气流 10 L/min。焊后用线切割方法沿垂直于焊接方向切取 $\text{Fe}_3\text{Al}/\text{A304}$ 接头制备成金相试样,经 FeCl_3 乙醇溶液浸蚀,在光学显微镜下观察接头区的金相形貌。

2 试验结果与分析

2.1 焊缝外观形貌

图 2 为用数码相机拍下三种不同填充材料的焊接接头宏观形貌。可见,9Cr-1Mo 和 A347 不锈钢焊丝的焊道波纹细密、飞溅少;Inconel 82 焊



(a)9Cr-1Mo (b)A347 (c)Inconel 82

图 2 用不同焊丝焊接接头试样的宏观照片

丝的焊道表面不均匀,这可能与 Inconel 82 Ni 基合金液态的粘度大、流动性差有关,由此还导致了两焊道之间的未熔透。除此之外,焊道表面均未发现其它任何形式的宏观裂纹。

2.2 接头区的微观组织及缺陷

图 3 为 9Cr-1Mo 钢焊丝靠近 A304 侧的显微组织,未发现任何形式的缺陷,熔合区为枝状晶组

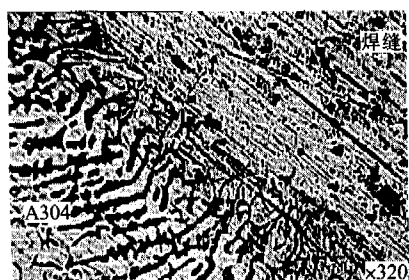


图 3 9Cr-1Mo 焊丝的 A304 侧组织



图 4 A347 焊丝的 A304 侧组织



图 5 Inconel 82 焊丝的 A304 侧组织

织,方向沿着热传导方向。图 4、5 为采用 347 不锈钢焊丝和 Inconel 82 Ni 基焊丝的 A304 侧组织,熔合区也未出现任何缺陷,组织是联生结晶的柱状晶形态。另外,采用 Ni 基焊丝的熔合区组织形貌没有 A347 焊丝的均匀,这可能与 A347 焊丝和母材 A304 成分更接近有关。总之,对于母材 A304 侧熔合区采用三种填充焊丝都是可行的。

图 6 是以 9Cr-1Mo 钢焊丝为填充材料的焊缝显微组织形貌,可看出存在少量的微裂纹。由于焊缝的组织状态主要由填充金属 9Cr-1Mo 钢决定,所以在焊态下会有马氏体淬硬组织生成;另一方面,母材 A304 的热导率低,而 Fe_3Al 母材的导热率也比较低,不利于焊缝区的散热。另外, Fe_3Al 合金的线膨胀系数较大,高温时尤其明显^[9],冷却

时会有较大的收缩,从而产生较大的残余应力;此外,熔池金属冷凝快,易造成化学成分的偏析。以上这些都为裂纹的产生创造了条件。

对于 A347 型不锈钢焊丝,从图 7、10 中可看出,在焊缝中心区、 Fe_3Al 侧熔合区以及邻近的 Fe_3Al 母材上都有穿晶裂纹出现。由于 A347 型不锈钢焊缝金属为奥氏体组织,有热裂纹倾向,而 Fe_3Al 合金比较脆,有冷裂纹倾向,所以这些裂纹可能是由焊接应力诱发的交织在一起的冷裂纹和热裂纹。

图 8 为 Inconel 82 Ni 基焊丝作填充材料的焊缝中心区金相组织,没有明显裂纹迹象。图 9 是以 9Cr-1Mo 钢焊丝为填充材料时的 Fe_3Al 侧显微组织形貌,可看出在 Fe_3Al 侧熔合区有许多晶间微



图 6 9Cr-1Mo 焊丝的焊缝组织



图 7 A347 焊丝的焊缝组织



图 8 Inconel 82 焊丝的焊缝组织

裂纹产生,这显然是由于 Fe_3Al 合金本身的脆性和焊接应力造成的。图 11 为 Inconel 82 Ni 基焊丝的 Fe_3Al 侧组织形貌,在熔合区及 Fe_3Al 母材上都有裂纹出现,与 9Cr-1Mo 填充焊丝的接头相比,开裂更加严重。其原因可能是由于 Ni 基焊丝的热膨胀系数大,凝固时收缩量较大,产生较大的应力所致。此外, Ni 的加入使得熔合区成分、组织、相结构变得十分复杂,熔池金属在凝固时不能依附母材的半熔化晶粒形成联生结晶,而在熔合交界

处形成了一条窄的“白亮带”,“白亮带”内的主要物相可能是 Ni_3Al 化合物^[9]。

综合上述现象可以看出,接头区微观开裂的程度与焊丝的选择有一定关系。但由于 Fe_3Al 合金的塑性差,且两种母材的热膨胀系数大,焊接时会在接头区产生较大的应力,无论采用哪种焊丝,接头区的开裂现象都难以避免,尤其在 Fe_3Al 侧比较严重。所以采取适当措施降低焊接应力应当是减少或避免开裂的主要途径。



图 9 9Cr-1Mo 焊丝的 Fe_3Al 侧组织

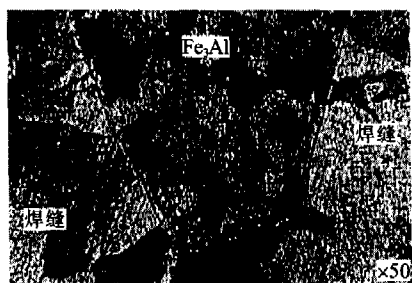


图 10 A347 焊丝的 Fe_3Al 侧组织



图 11 Inconel 82 焊丝的 Fe_3Al 侧组织

3 结论

(1) 采用钨极氩弧 (TIG) 焊方法,选用 9Cr-1Mo 钢、A347 型不锈钢、Inconel 82 Ni 基合金三种填充焊丝进行 Fe_3Al 合金与 A304 型不锈钢的对接焊,接头区都出现不同程度的微观开裂现象,开裂程度与焊丝的选择有一定关系,选用 A347 的焊缝区开裂最严重,而选用 Inconel 82 的 Fe_3Al 侧熔合区开裂最严重。

(2) 三种焊丝的接头在 A304 不锈钢侧熔合区均无开裂迹象;Inconel 82 Ni 基焊丝的焊缝区也无裂纹迹象,但在 Fe_3Al 侧熔合区未能形成联生结晶而留下一条界线分明的“白亮带”。

(3) 接头区的开裂主要是由于 Fe_3Al 合金的本质脆性及局部焊接应力的作用导致的,所以采取适当措施降低焊接应力是减少或避免开裂的主要途径。

参考文献:

- [1] McKamey C G, Devan J H, Tortorelli P F, et al. A review of recent development in Fe_3Al -based alloys [J]. Journal of Materials Research, 1991, 6(8): 1779-1820.
- [2] Fair G H, Wood J V. Mechanical alloying of Fe-Al intermetallics in the DO3 composition range [J]. Journal of Materials Science, 1994, 29(7): 1935-1939.
- [3] 刘毅, 林栋梁. 金属间化合物 Fe-Al 超塑性变形中的位错特征 [J]. 金属学报, 1996, 32(3): 225-229.
- [4] 万晓景, 朱家红, 黄胜标. Fe_3Al 水汽及氢气的表面反应 [J]. 金属学报, 1995, 31(4): 181-185.
- [5] 夏明生, 徐道荣, 秦琳. Fe_3Al 合金的堆焊工艺试验研究 [J]. 热加工工艺, 2004, (1): 36-37.
- [6] 徐道荣, 夏明生, 秦琳, 等. Fe_3Al 合金的堆焊性能研究 [J]. 合肥工业大学学报, 2004, (7): 805-807.
- [7] 徐道荣, 夏明生, 秦琳, 等. Fe_3Al 合金堆焊层的高温抗氧化性能研究 [J]. 机械工程材料, 2004, (12): 33-35.
- [8] 工程材料实用手册编辑委员会. 工程材料实用手册 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1988. 153-158.
- [9] Santella M L, David S A. A study of heat-affected zone cracking in Fe-containing Ni_3Al alloys [J]. Weld J, 1986, 65(5): 129-133. H
- [1] 韩彩霞, 张柯柯, 杨蕴林, 等. 铜与铜及铜合金的焊接研究现状 [J]. 热加工工艺, 2003, (6): 14-16.
- [2] 韩彩霞, 张柯柯, 杨蕴林, 等. 40Cr 与 QCr0.5 的恒温超塑性固态焊接 [J]. 河南科技大学学报, 2003, (4): 14-16.
- [3] 李志远, 钱乙余, 张九海, 等. 先进连接方法 [M]. 机械工业出版社, 2000. 132-189.
- [4] 焊接结构分析基础 [M]. 上海: 上海科技出版社, 1991.
- [5] 胡志中. 钢及其热处理曲线手册. 北京: 机械工业出版社, 1986.
- [6] 安运铮. 热处理工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1988. H

(上接第 9 页) 压缩塑性变形, 即 EPCD。EPCD 使焊件在升温、保温过程中在平行约束应力方向上的尺寸保持恒定。而约束应力则依次发生增大、持平、快速减小直至缓慢减小的变化, 这种变化是升温、保温过程中试样屈服极限的变化及应力松弛综合作用的结果。

参考文献: