

1Cr12Ni3MoVN 不锈钢 TIG 焊接 工艺及接头性能

南昌航空大学 航空制造工程学院(330063) 周清泉 帅歌旺 刘泽民 潘昌燃 黄 锋

摘要 采用 TIG 焊焊接 2.5 mm 厚 1Cr12Ni3MoVN 马氏体不锈钢板材,研究焊接工艺参数对接头组织与力学性能的影响规律,并优化工艺参数。结果表明,焊接速度为 0.95 mm/s 时,随着焊接电流的增加,接头强度先增后减;焊接速度为 2.33 mm/s 时,随着电流持续增大,接头强度不断下降。当焊接电流为 96 A、焊接速度为 0.95 mm/s、送丝速度为 1 mm/s 时,工艺参数所获接头力学性能最好,抗拉强度达 988.8 MPa,与母材相当。硬度最高值位于焊缝处,约为 611 HV;最低硬度处于热影响区的回火区,约为 292 HV;母材硬度值约为 321 HV。拉伸试样均在热影响区的回火区处断裂,试样断口形貌为浅韧窝形;焊缝组织为铸态板条马氏体,完全淬火区组织为粗大的板条马氏体组织,不完全淬火区组织为板条马氏体-铁素体组织,回火区组织为高温回火索氏体,其硬度比母材调质回火索氏体差。

关键词: 1Cr12Ni3MoVN 马氏体不锈钢 填丝 TIG 焊 接头性能

中图分类号: TG444+.2

0 序 言

1Cr12Ni3MoVN(S/SJ2)是中国从英国罗尔斯-罗伊斯公司引进的材料。主要用于英国“斯贝”MK202 发动机高温部件的制造^[1]。该材料具有良好的强度、韧性和抗氧化性能,已经在多种航空发动机上用于制造高压导向叶片、高压进气匣、压气机盘、压气机叶片、涡轮轴等零部件^[2-4]。

马氏体不锈钢在焊后塑性、韧性降低,而强度与硬度增高,残余应力大,加上材料本身的淬硬倾向大,易导致冷裂纹的出现,不易焊接,这很大程度限制了马氏体不锈钢的应用^[5-7]。因此,有必要对这类合金的相关焊接工艺及焊接机理展开深入研究。文中采用 TIG 焊焊接 2.5 mm 厚 1Cr12Ni3MoVN 马氏体不锈钢板材,

研究不同焊接工艺参数对焊接接头性能的影响规律,优化工艺参数。此项研究将有利于降低该材料构件的制造成本和难度,扩展 1Cr12Ni3MoVN 合金的应用。

1 试验材料与方法

试验用材料为 1Cr12Ni3MoVN 马氏体热强不锈钢板材,调质状态供货,厚度为 2.5 mm,尺寸规格为 100 mm×300 mm,其化学成分见表 1,力学性能见表 2。为了保证获得均一的马氏体组织,并且在调整成分时不出现 δ 相,因此必须用奥氏体化元素加以平衡,即应有适量的 C, Mn, Ni, N。故选择具有耐高温和抗氧化性能的 ER410NiMo 焊丝作为填充材料,焊丝直径选择 2.0 mm,其化学成分见表 3。试验保护气体选择纯氩气。

表 1 1Cr12Ni3MoVN 化学成分(质量分数,%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	N
0.08~0.15	≤0.25	0.50~0.90	≤0.02	≤0.015	11.0~12.5	2.0~3.0	1.50~2.00	0.25~0.40	0.02~0.04

表 2 1Cr12Ni3MoVN 力学性能

抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	断后伸长率 A (%)	维氏硬度 (HV)
≥946	≥765	≥9.4	321

试验焊接设备为林肯 SQUARE WAVE TIG-355,水冷式焊枪。试验采用自动填丝 TIG 焊,接头形式为对接焊,接头坡口形式为 I 形坡口,单面焊双面成形。为了更好地保护焊缝,该试验焊枪焊前提前 5 s 通保护气,焊后延时 5 s 断气。

试验主要考虑焊接电流与焊接速度对接头的影响而设计,采用直流正接焊接电流,通过预试验初步确定

焊接参数范围:焊接电流 80 ~ 130 A,气体流量 8 ~ 16 L/min,弧长 1 ~ 3 mm,喷嘴与工件的距离为 10 ~ 12 mm,接头对接间隙为 0.1 ~ 0.5 mm。焊接速度分别取 0.95 mm/s 和 2.33 mm/s,最终确定的焊接工艺参数见表 4。

表 3 ER410NiMo 焊丝化学成分(质量分数,%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
0.06	0.5	0.6	<0.03	<0.03	11.0 ~ 12.5	4.0 ~ 5.0	0.40 ~ 0.70	0.75

表 4 焊接工艺参数及接头拉伸力学性能

序号	焊接 电流 I/A	电弧 电压 U/V	正面气体 流量 $Q_{\text{正}}/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$	背面气体 流量 $Q_{\text{背}}(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$	焊接 速度 $v_b/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	送丝 速度 $v_s/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	正面焊缝 宽度 W/mm	背面焊缝 宽度 W'/mm	抗拉强度 R_m/MPa
1	92	13.68	15	13	0.95	1.00	6	5	956
2	94	13.76	15	13	0.95	1.00	7	5	969
3	96	13.84	15	13	0.95	1.00	7	4	989
4	98	13.92	15	13	0.95	1.00	7	5	944
5	108	14.32	15	13	2.33	1.25	6	4	976
6	112	14.48	15	13	2.33	1.25	6	5	972
7	116	14.64	15	13	2.33	1.25	6	5	971
8	120	14.80	15	13	2.33	1.25	7	5	955

拉伸试验设备型号为 WDW - 100 微机控制电子万能试验机,拉伸速度设定为 1.00 mm/min,试验中每一组参数条件下的焊接试板取 2 个拉伸试样,结果取平均值。硬度试验采用 MHV - 100 数显显微硬度计,测量接头附近区域的显微硬度变化,加载力为 1.96 N,加载时间为 10 s,点距为 0.25 mm。

2 试验结果与分析

2.1 TIG 焊焊缝外观及尺寸

按表 4 中的焊接参数进行焊接试验,焊接后焊缝外观如图 1 所示。8 组焊接工艺参数的焊缝均呈鱼鳞纹状较平直且焊缝宽度均匀,无气孔、夹渣、裂纹、咬边等缺陷。焊缝余高小于 1 mm,焊缝正面宽度为 6 ~ 7 mm,焊缝背面宽度为 4 ~ 5 mm。观察发现,随着焊接电

流的增大,热输入量增加,焊缝背面的鱼鳞纹更加明显,焊缝宽度增加,背面熔透得更多。

2.2 接头抗拉强度

如图 2 所示,焊接速度为 0.95 mm/s 时,随着焊接电流的增加,热输入增加,热影响区里的马氏体组织析出增多,强度提高;由于热输入的增加,高温时间停留增加,使热影响区粗大晶粒增加,使得晶界数量减小,导致强度减弱,综合两方面因素,接头抗拉强度呈现先增后减的趋势。焊接电流为 96 A 时,接头抗拉强度最大,达到 989 MPa;焊接速度为 2.33 mm/s 时,由于电流持续增大,热输入增加,高温停留时间长,粗大晶粒的数量增加,使得晶界减少,导致抗拉强度减小。焊接电流为 108 A 时,接头抗拉强度最大,达到 976 MPa。对比 8 组焊接工艺参数所得接头的常温抗拉强度可知,3 号试样接头抗拉强度最大,达到 989 MPa。3 号试样的焊接工艺参数为:焊接电流为 96 A,焊接速度为 0.95 mm/s,送丝速度为 1 mm/s。

2.3 接头硬度

图 3 为 3 号接头显微硬度。由于位于焊缝中心的组织大部分为粗大的板条状马氏体,而板条状马氏体组织具有很高的硬度,因此硬度峰值位于焊缝处,约为 611 HV。由于焊缝处马氏体组织分布不均匀,所以焊

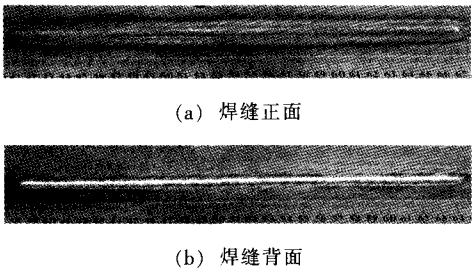


图 1 第一组工艺参数下焊缝外观

缝处的显微硬度在 610 ~ 577 HV 范围波动。随着距离焊缝中心的距离增大,热影响区与母材之间硬度值有明显下降的趋势,硬度值从 579 HV 左右减小到 292 HV 左右;硬度值最低点在热影响区中的回火区,约为 292 HV。母材组织主要为回火索氏体,其具有塑性、韧性好及硬度小的性能,硬度平稳,约为 321 HV。焊缝及热影响区的平均硬度均高于母材的平均硬度。

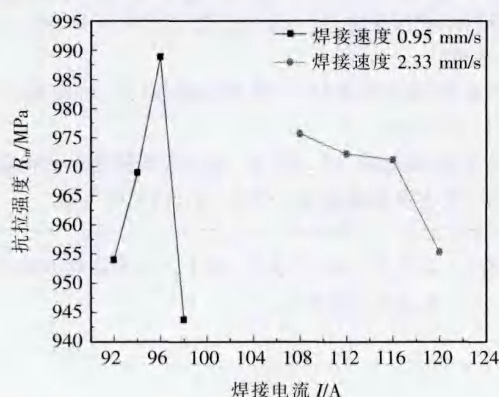


图2 不同焊接速度下各焊接电流所焊接头抗拉强度

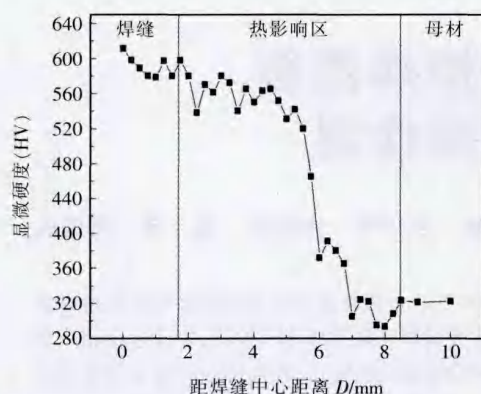


图3 接头硬度分布图

2.4 接头断口

如图4所示,接头拉伸断裂方式为正断加剪切断的混合断方式,接头拉伸断口呈现明显的韧性断裂,试样断口形貌为浅韧窝形。不同焊接工艺参数所得接头进行拉伸试验时,接头都在热影响区(HAZ)断裂。断口附近有明显的收缩变形,断口色泽灰暗,边沿有剪切唇,断口与载荷的方向成一定的角度。母材焊接时的状态为调质状态,焊接时HAZ中有一区域的温度高于调质时的回火温度,发生回火处理,组织性能发生变化,出现软化现象,故这个回火区冷却后的抗拉强度较焊缝和母材低,拉伸试验时接头在此处断裂。

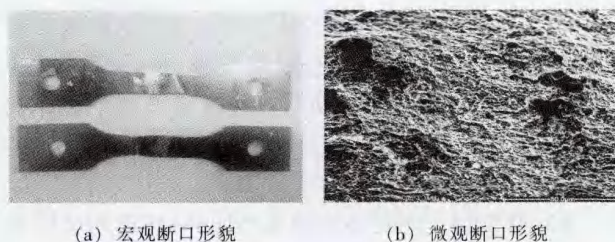


图4 试样拉伸断口形貌

2.5 接头显微组织

接头的显微组织如图5所示。在图5a中,焊缝组织沿着散热相反的方向生长,组织粗大,为铸态板条马氏体。热影响区从融合区到母材划分为完全淬火区、不完全淬火区和回火区。完全淬火区靠近焊缝,温度在 A_{C3} 以上,回火索氏体转变为奥氏体并且晶粒严重长大,焊后快速冷却得到的组织为粗大板条马氏体。不完全淬火区的温度在 $A_{C1} \sim A_{C3}$,回火索氏体转变为奥氏体,铁素体不变,快速冷却后得到的组织为板条马氏体-铁素体混合组织。回火区则是因为焊接时该区温度高于母材调质的回火温度而发生回火热处理,得到的组织为综合力学性能差于母材索氏体的高温回火索氏体。母材组织为具有良好综合力学性能的回火索氏体。

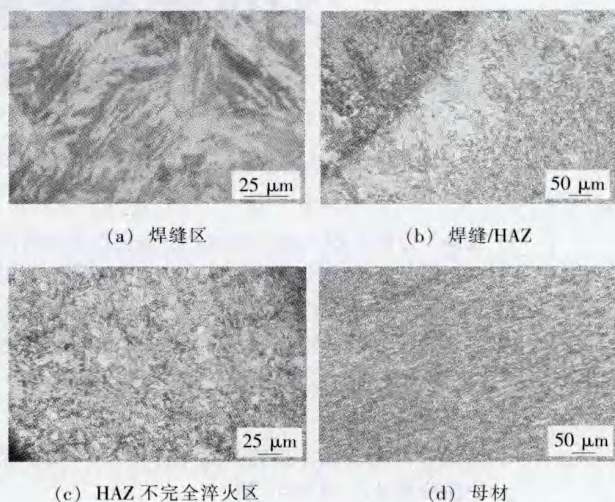


图5 接头显微组织

3 结论

(1)用ER410NiMo焊丝焊接2.5 mm 1Cr12Ni3MoVN马氏体不锈钢板材时,采用焊接电流为96 A,焊接速度为0.95 mm/s,送丝速度为1 mm/s工艺参数所获接头力学性能最好,接头抗拉强度达到989 MPa,与母材相当。

(2) 1Cr12Ni3MoVN 马氏体不锈钢接头热影响区回火区软化, 强度、硬度低于母材和焊缝, 拉伸试验时断裂均发生在热影响区的回火区。硬度最高值位于焊缝处, 约为 611 HV; 最低硬度处于热影响区的回火区, 约为 292 HV; 母材硬度值约为 321 HV。

(3) 焊缝组织为铸态的板条马氏体, 热影响区中的完全淬火区组织为粗大的板条马氏体组织, 不完全淬火区组织为板条马氏体-铁素体组织, 回火区组织为高温回火索氏体, 母材组织为回火索氏体。

参 考 文 献

- [1] 吴江枫, 刘金生, 陈敏华. 1Cr12Ni3MoVN(S/SJ2) 锻件试制开发[J]. 上海钢研, 2006(4): 35-41.
- [2] 秦名朋. 0Cr13Ni5Mo 马氏体不锈钢高效率 TIG 焊工艺[D]. 合肥: 安徽省焊接技术交流会论文集, 2012: 61-66.
- [3] Lu S P, Qin M P, Dong W C. Highly efficient TIG welding

of Cr13Ni5Mo martensitic stainless steel[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2013, 213: 229-237.

- [4] Li Dongjie, Lu Shanping, Li Dianzhong, et al. Effect of structural parameters of double shielded TIG torch on the fusion zone profile for 0Cr13Ni5Mo martensitic stainless steel[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2014, 30(9): 922-927.
- [5] 罗昌森, 郭 熠. 00Cr13Ni5Mo 焊丝焊接 1Cr13 马氏体不锈钢的组织与性能[J]. 金属铸锻焊技术, 2011, 40(3): 143-146.
- [6] 张华国. 发动机用材 S/SJ2 钢的研制[J]. 特钢技术, 2001(1): 39-43.
- [7] 吴文烈, 郑惠锦, 刘 鹏, 等. 输电线路铁塔塔脚机器人焊接工艺方法及性能[J]. 焊接, 2015(9): 41-44.

作者简介: 周清泉, 1989 年出生, 硕士。主要研究方向为材料加工数字化技术。

2219 铝合金搅拌摩擦焊焊缝 相控阵超声波无损检测

首都航天机械公司(北京市 100076) 张丽娜 赵衍华 朱瑞灿 刘 伟 黑增民

摘要 分析了 2219 铝合金搅拌摩擦焊接头缺陷特征, 研究了 2219 铝合金搅拌摩擦焊焊缝缺陷相控阵超声波检测技术的原理和特点, 采用相控阵超声波检测方法对典型的搅拌摩擦焊焊缝缺陷进行了检测, 并通过金相剖切结果对检测结果进行了验证和对比分析。结果表明, 针对搅拌摩擦焊焊缝缺陷的特点, 相控阵超声波无损检测技术对缺陷的检出能力强, 对搅拌摩擦焊焊缝的根部弱结合等面积型缺陷和孔洞等体积型缺陷都有较好的检测能力, 是一种行之有效的搅拌摩擦焊焊缝缺陷检测方法。

关键词: 铝合金 搅拌摩擦焊 相控阵 超声波 无损检测

中图分类号: TG115.28

0 序 言

搅拌摩擦焊技术(Friction Stir Welding, 简称 FSW) 作为近年快速发展起来的一项新型固相连接技术, 与传统熔焊相比, 焊接铝合金等轻质低熔点金属时有非常明显的优势。铝合金搅拌摩擦焊技术要实现工程化

应用, 必须解决接头缺陷的无损检测问题。目前国外有关机构对铝合金搅拌摩擦焊无损检测技术进行了研究, 对搅拌摩擦焊接头缺陷表征和检测方法探索进行了数据资料积累^[1-3]。国内对搅拌摩擦焊工艺、搅拌头研制等方面进行了系统研究^[4-8], 但对搅拌摩擦焊接头无损检测技术研究方面还处于探索阶段^[9]。

由于焊接规范选择不当或其它工程化应用因素的影响, 在焊接过程中会产生焊接缺陷。搅拌摩擦焊缺

收稿日期: 2016-02-14