

15CrMnMoVA钢与30CrMnSiA钢氩弧焊 及焊后热处理工艺研究

戴浩, 王宝龙, 李智勇, 王燕

江西昌河航空工业有限公司 江西景德镇 333002

摘要: 针对15CrMnMoVA与30CrMnSiA合金结构钢异种材料焊接时焊丝及热处理工艺制度选用问题, 通过开展工艺试验与测试, 研究结果表明: 15CrMnMoVA与30CrMnSiA异种材料焊接时, H18CrMoA或15CrMnMoVA焊丝均可选用, 焊后调质采用30CrMnSiA的热处理工艺更为合适, 即淬火温度为880~900℃, 油作为淬火冷却介质, 回火温度为500~570℃。

关键词: 异种合金结构钢; 氩弧焊; 焊后热处理

1 序言

15CrMnMoVA是一种具有较低合金含量和良好焊接性能的低碳贝氏体高强钢, 经调质处理后可以获得高强度、良好的韧性和塑性以及良好的焊接性能, 主要用在直升机主减撑杆、发动机支架等重要部件^[1]。30CrMnSiA属中碳调质钢, 强度高, 焊接性能较差, 30CrMnSiA钢调质后有很高的强度和足够的韧性以及淬透性, 常用于汽车、飞机各种特殊耐磨零配件等。部分航空焊接零件由于特殊的使用要求, 结构设计时选用15CrMnMoVA与

30CrMnSiA两种材料, 并且需要通过焊接方法制造成形。但是这两种材料焊接主要存在以下两点问题: ①焊接工艺规范中两种材料焊接使用的焊丝不同, 15CrMnMoVA钢焊接应选择15CrMnMoVA焊丝, 30CrMnSiA钢焊接应选择H18CrMoA焊丝。②热处理工艺规范中, 为使两种材料满足 $R_m=(1180\pm 100)$ MPa强度要求所采用的热处理工艺制度不同。通过开展钨极氩弧焊工艺试验, 分析添加15CrMnMoVA钢和30CrMnSiA钢焊接时所用焊丝对焊接接头强度的影响, 以及不同热处理温度对焊接

2) 焊接角度, 即焊枪前进角度 θ 和焊枪与腹板的夹角 θ_2 要在 $25^\circ < \theta_2 < 35^\circ$, $90^\circ < \theta < 95^\circ$, 角接头两侧熔深出现交汇区, 熔深根部咬合和互熔良好, 焊缝熔宽、熔深和余高较为理想, 外观成形良好。

3) 本文所研究的角接头的焊接方式和焊枪角度的合理范围结论, 经试验证明效果良好, 已进行大批量实际生产, 为进一步的焊缝形成机理提高有益的实践参考价值。

参考文献:

- [1] 周军, 黄建鹏, 贾小磊. T型钢机器人焊接立向焊接工艺研究[J]. 金属加工(热加工), 2019(4): 14-16.
- [2] 高延峰, 肖建华. 基于焊枪倾角信息融合的弯曲焊缝

轨迹跟踪[J]. 焊接学报, 2014, 35(12): 15-18.

- [3] 郭吉昌, 朱志明, 孙博文. 基于视觉的焊枪空间位姿实时检测技术[J]. 电焊机, 2018, 48(9): 1-7.
- [4] 杨启杰, 龚胜峰. 车桥壳体机器人焊接工艺优化的研究[J]. 金属加工(热加工), 2020(8): 40-43.
- [5] 常云龙, 刘晓龙, 路林, 等. 短路过渡CO₂焊研究现状及展望[J]. 焊接技术, 2013(3): 1-5, 5.
- [6] 杨立军, 李俊岳, 李桓, 等. 波控CO₂短路过渡焊的电弧行为[J]. 焊接学报, 2003(5): 73-76, 7-8.
- [7] 王宝, 杨林, 王勇. 药芯焊丝CO₂焊熔滴过渡现象的观察与分析[J]. 焊接学报, 2006(7): 77-80, 117.
- [8] 安藤弘平, 长谷川光雄. 焊接电弧现象[M]. 施雨湘译. 北京: 机械工业出版社, 1985.

MW 20210613

接头强度的影响,确定这两种材料焊接合适的焊丝种类和热处理工艺制度。

2 材料焊接及热处理工艺性分析

15CrMnMoVA属于珠光体耐热钢,焊接中存在的主要问题是冷裂纹、热影响区的硬化、软化,以及焊后热处理或高温长期使用中的消除应力裂纹(SR裂纹)。如果焊接材料选择不当,焊缝中还有可能出现热裂纹^[2],15CrMnMoVA钢化学成分见表1,连续转变曲线如图1所示。

表1 15CrMnMoVA钢化学成分(质量分数)(%)

C	Mn	Cr	Mo	V	Fe
0.12~0.18	0.80~1.10	1.25~1.50	0.80~1.00	0.20~0.30	余量

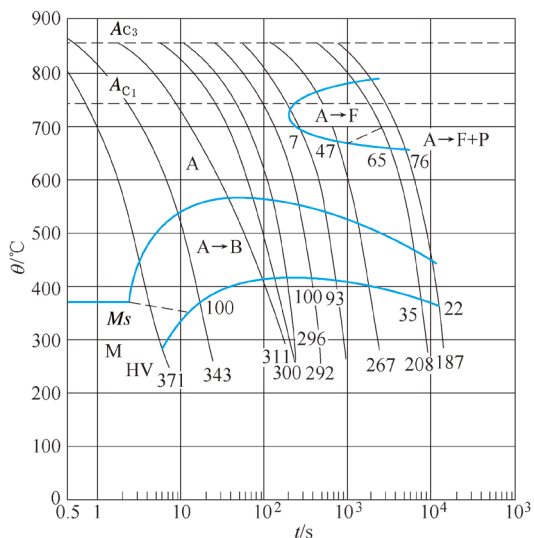


图1 15CrMnMoVA钢连续转变曲线^[3]

30CrMnSiA属于中碳调质钢,含碳量高、合金元素多,在快速冷却时,从奥氏体转变为马氏体的起始温度 M_s 点较低,焊后热处理区产生硬度很高的马氏体,容易造成脆化,对氢致冷裂纹的敏感性很大。此外,焊接熔池凝固时,固液相温度区间大,结晶偏析倾向大。因此,焊接时具有较大的热裂纹倾向,需要采用低碳、低硫和磷的焊接材料^[4],30CrMnSiA钢化学成分见表2,连续转变曲线如图2所示。

表2 30CrMnSiA钢化学成分(质量分数)(%)

C	Mn	Si	Cr	Ni	Fe
0.28~0.35	0.80~1.10	0.90~1.20	0.80~1.10	<0.40	余量

3 试验方法

试验采用手工钨极氩弧焊,试件材料为

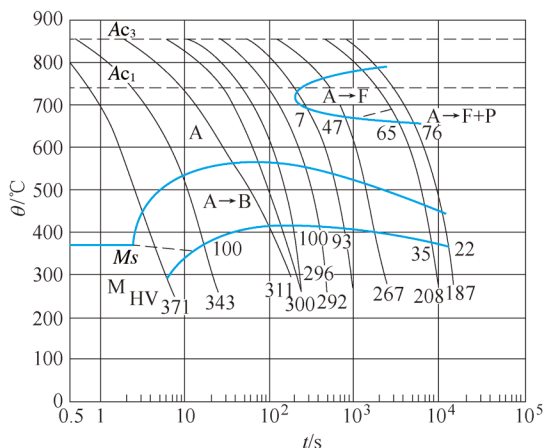


图2 30CrMnSiA钢连续转变曲线^[5]

30CrMnSiA钢与15CrMnMoVA钢,规格为300mm×100mm×1.5mm,材料焊前热处理状态为冷轧+退火态。分别选用H18CrMoA、15CrMnMoVA两种焊丝进行焊接,H18CrMoA、15CrMnMoVA焊丝室温抗拉强度分别为630MPa、860MPa^[6],焊丝化学成分见表3、表4。焊接电流为60~70A,电弧电压为8~13V,氩气流量8~12L/min。试验件焊接完成后,分别采用30CrMnSiA钢、15CrMnMoVA钢淬火和回火温度进行调质处理。其中,30CrMnSiA钢淬火温度为880~900℃,油淬,回火温度为500~570℃,水冷;15CrMnMoVA钢淬火温度为975℃,油淬,回火温度为650~680℃,空冷。同时还选用H18CrMoA焊丝完成冷轧+退火态的30CrMnSiA钢同种材料焊接,按30CrMnSiA钢热处理工艺制度进行焊后调质处理;选用15CrMnMoVA焊丝完成冷轧+退火态的15CrMnMoVA钢同种材料焊接,按15CrMnMoVA钢热处理工艺制度进行焊后调质处理。按HB 5135—2000一级焊缝质量要求经过X射线检测合格后截取这六类焊接试件焊缝试样,按GB/T 228.1—2010要求进行拉伸检测,以及母材硬度检测、焊接接头金相检测。

表3 H18CrMoA焊丝化学成分(质量分数)(%)

C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Fe
0.15~0.22	0.40~0.70	0.15~0.35	0.80~1.10	0.15~0.25	≤0.30	余量

表4 15CrMnMoVA焊丝化学成分(质量分数)(%)

C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Fe
0.12~0.18	0.80~1.10	≤0.20	1.05~1.5	0.80~1.00	0.20~0.30	余量

4 结果分析与讨论

4.1 力学性能

试件焊接接头试样拉伸性能、硬度检测、断裂位置结果见表5, 试验结果表明, 30CrMnSiA钢与15CrMnMoVA钢异种材料焊接时, 无论是添加H18CrMoA焊丝还是15CrMnMoVA焊丝, 当采用15CrMnMoVA钢热处理温度进行焊后调质处理的试件时, 30CrMnSiA钢母材侧硬度与焊接接头抗拉强

度均低于1180MPa, 相差约180MPa。这可能是, 一方面, 当采用更高的淬火温度时, 由于30CrMnSiA钢的连续转变曲线形状与15CrMnMoVA钢不同, 在975℃转变后奥氏体转变量不充分; 另一方面, 当采用更低的回火温度, 30CrMnSiA钢产生魏氏组织, 均导致30CrMnSiA钢母材及近母材侧焊缝力学性能下降^[7]。

30CrMnSiA钢与15CrMnMoVA钢异种材料焊

表5 焊接接头试样力学性能测试结果

序号	母材	焊丝	热处理后母材硬度 HRC		抗拉强度/MPa	断裂位置
			15CrMnMoVA	30CrMnSiA		
1	30CrMnSiA、 15CrMnMoVA	H18CrMoA	39	38	1180	热影响区
2			36	27	896	焊缝
3		15CrMnMoVA	37	37	1175	热影响区
4			36	27	894	焊缝
5	30CrMnSiA	H18CrMoA	—	36	1180	热影响区
6	15CrMnMoVA	15CrMnMoVA	39.5	—	1180	热影响区

注: 单号试件按30CrMnSiA钢的热处理工艺参数淬火、高温回火; 双号试件按15CrMnMoVA钢的热处理工艺参数淬火、高温回火。

接时, 当添加H18CrMoA焊丝时, 使用30CrMnSiA钢的热处理工艺焊后调质处理后的焊接接头性能较佳, 达1180MPa, 与30CrMnSiA钢、15CrMnMoVA钢同种材料焊接后经相应热处理温度调质处理后的焊接接头基本相同; 当添加15CrMnMoVA焊丝时, 使用30CrMnSiA钢的热处理工艺焊后调质处理后的焊接接头性能较佳, 达1180MPa, 与30CrMnSiA钢、15CrMnMoVA钢同种材料焊接后经相应热处理温度调质处理后的焊接接头基本接近。总体表明, 这两种材料焊接时, 使用稍低的淬火温度、稍高的回火温度, 可以获得综合力学性能更优的接头, 与调质处理后的基体材料力学性能相当。

4.2 金相组织

30CrMnSiA钢与15CrMnMoVA钢异种材料焊接接头的金相组织如图3~图6所示, 在图3和图5中, 焊接试件使用热处理淬火温度为880~900℃, 回

火温度为500~570℃, 15CrMnMoVA钢母材侧和30CrMnSiA钢母材侧组织呈现索氏体组织特征, 为属于铁素体和渗碳体的混合, 焊缝区晶粒粗大, 没有明显的结晶取向, 图3和图4焊缝区的差异在于使用H18CrMoA与15CrMnMoVA焊丝焊缝区组织中铁素体和渗碳体比例不同, 这是由于两种焊丝成分不同导致熔化结晶后的析出相分布差异。

在图4和图6中, 焊接试件使用热处理淬火温度为975℃, 回火温度为650~680℃, 15CrMnMoVA钢母材侧和30CrMnSiA钢母材侧组织呈现粒状贝氏体组织特征, 晶粒沿奥氏体晶界析出, 在铁素体间分布有渗碳体。图4的焊缝区组织无异常, 铁素体与渗碳体交叉, 但是图6的焊缝区出现了明显的魏氏组织特征, 且明显具有过烧痕迹, 分析这是由于焊接热循环过程中, 奥氏体晶粒重新长大, 冷却时, 首先沿奥氏体晶界析出粗大的针状铁素体, 富集的奥

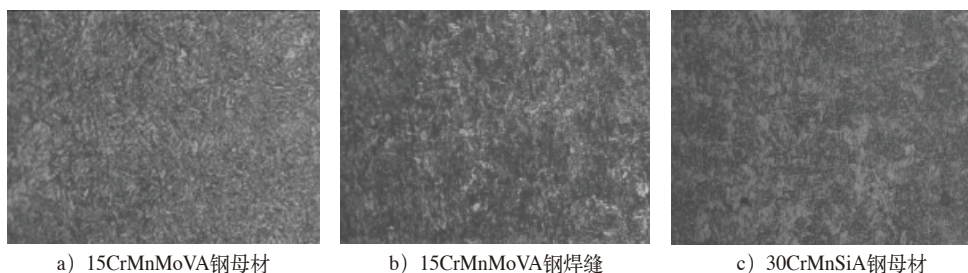


图3 1号试验件金相组织

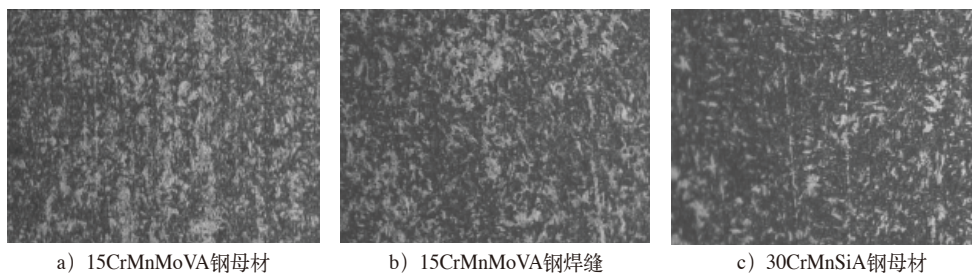


图4 2号试验件金相组织

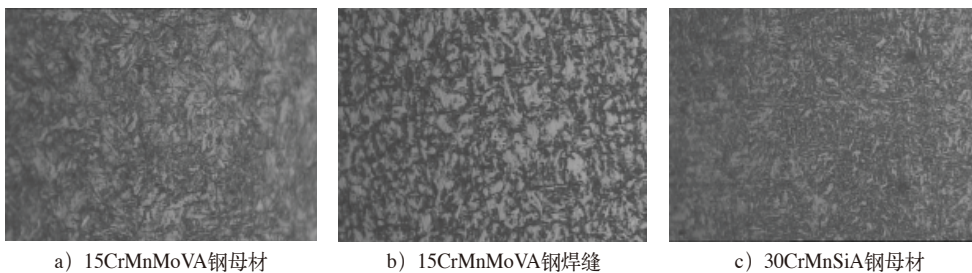


图5 3号试验件金相组织

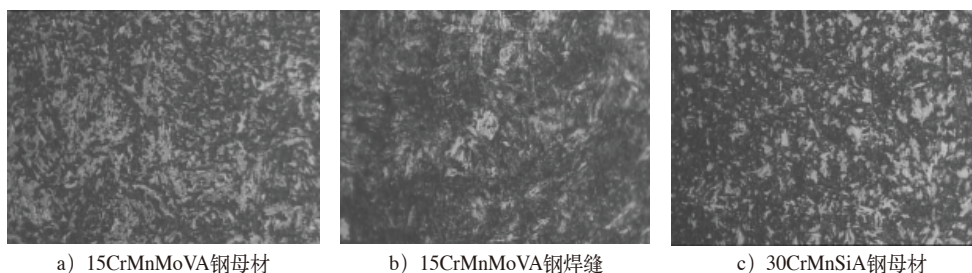


图6 4号试验件金相组织

氏体转变为珠光体，铁素体沿奥氏体晶界析出后，顺奥氏体晶粒内惯习面上不断长大形成的^[8]，这种组织的焊接接头的力学性能很差，符合拉伸性能测试结果，仅为894MPa。

5 结束语

通过开展15CrMnMoVA和30CrMnSiA合金钢异种材料焊丝和热处理工艺制度选用工艺试验，并对焊接接头的力学性能和金相组织进行对比分析，得出如下结论：

1) 15CrMnMoVA钢与30CrMnSiA钢异种材料焊接，选用15CrMnMoVA与H18CrMoA焊丝均能满足性能要求。

2) 15CrMnMoVA钢与30CrMnSiA钢异种材料焊接，焊后调质处理宜采用30CrMnSiA钢的热处理工艺制度，即淬火温度为880~900℃，油作为淬火冷却介质，回火温度为500~570℃，焊后经过调质处理的接头抗拉强度可达1180MPa左右。

参考文献：

- [1] 景启明，韩维新，潘浩.热处理对15CrMnMoVA钢力学性能的影响[J].材料热处理学报，2013，34(7)：89-93.
- [2] 张学军.航空弧焊技术[M].北京：航空工业出版社，2014.
- [3] 中国航空材料手册编辑委员会.航空材料手册（结构钢、不锈钢）[M].北京：中国标准出版社，1988.
- [4] 中国机械工程学会焊接学会.焊接手册（第2卷：材料的焊接）[M].北京：机械工业出版社，2008.
- [5] 陈祝年.焊接工程师手册[M].北京：机械工业出版社，2009.
- [6] 张子荣，时炜.简明焊接材料选用手册[M].北京：机械工业出版社，2004.
- [7] 李亚江.焊接冶金学[M].北京：机械工业出版社，2007.
- [8] 张文钺.焊接冶金学（基本原理）[M].北京：机械工业出版社，1999.