30CrMnSiNi2A 与 Q235 异种钢焊接接头组织与性能分析

邓吉鸽[1]，熊宏锦[1]，娄宇航[2]

（1.海军装备部驻重庆地区军事代表局，重庆 400042；
2.重庆红宇精密工业有限责任公司，重庆 402760）

摘要：目的 探讨 30CrMnSiNi2A 与 Q235 异种钢焊接接头的组织与性能。**方法** 采用手工电弧焊对两者进行焊接，为了获得性能良好的焊接接头，焊前对其进行焊前预热，焊后对其进行焊后退火。通过 X 射线探伤检测，拉伸、冲击试验，显微硬度检测及光学显微镜金相分析等一系列工艺试验，对焊接接头进行研究。**结果** 焊缝质量等级达到Ⅰ级；焊缝组织为先共析铁素体、针状铁素体、珠光体组织；30CrMnSiNi2A 侧热影响区组织为回火索氏体，粗晶区组织片层厚度大于细晶区组织片层厚度；Q235 侧热影响区由不完全重结晶区、细晶区、粗晶区组成。**结论** 30CrMnSiNi2A 与 Q235 钢焊接后，获得了工艺性、力学性能良好的接头，可运用于 2 种材料焊接的实际生产。

关键词：异种钢焊接；组织；性能
DOI：10.3969/j.issn.1674-6457.2017.04.010
中图分类号：TG407 **文献标识码：**A **文章编号：**1674-6457(2017)04-0059-05

Micro-structures and Properties of Q235 and 30CrMnSiNi2A Dissimilar Steel Joints

DENG Ji-ge[1], *XIONG Hong-jin*[1], *LOU Yu-hang*[2]

(1.The Military Representative Office in Southwest of the Air Force, Chongqing 400042, China;
2.Chongqing Hongyu Precision Industry Co,. Ltd., Chongqing 402760, China)

ABSTRACT: The paper aims to reveal micro-structures and mechanical properties of 30CrMnSiNi2A and Q235 dissimilar steel joints. Welded joints without developing any defects were obtained by SMAW (Shielded metal arc welding) after preheating and post annealing. The joints were studied by X-ray flaw detection, tensile and toughness test, micro-hardness and optical microscope analysis, etc. Joints reached to level Ⅰ quality; micro-structures of the welds consisted of GBF (Grain boundary ferrite), AF (Acicular ferrite), P (pearlite). HAZ (heat affect zone) of 30CrMnSiNi2A were the tempered sorbite. Its layer thickness was greater than that in the fine grain zone. HAZ of Q235 was composed of incomplete recrystallization region, fine grain zone and coarse grain zone. Welding of 30CrMnSiNi2A and Q235 dissimilar steel leads to joints of perfect manufacturability and mechanical property. It can be used for the actual production of the two kinds of welding materials.

KEY WORDS: dissimilar steel welding; micro-structure; properties

30CrMnSiNi2A 钢是一种综合力学性能优良的航空结构材料，具有淬透性高、切削加工性能好和焊接性良好的特点，主要用于航空航天、武器装备等领域。Q235 为普通碳素结构钢，其含碳量适中，综合性能比较好，强度、塑性和焊接性能得到较好的配合，现广泛应用于船舶、武器装备、汽车、容器等行业[1]。

收稿日期：2017-05-09
作者简介：邓吉鸽(1977—)，男，工程师，硕士，主要研究方向为机械控制。

由于 30CrMnSiNi2A 和 Q235 的应用具有交叉性和广泛性，在某些场合有特殊要求，对两者异种钢焊接接头的组织性能进行分析非常有必要。如果能够得到焊接成形良好的焊接接头，充分发挥 2 种材料各自的优势，扩大 2 种材料的应用，对实际生产具有很好的指导意义。

1 材料及方法

选用材料为 Q235 和 30CrMnSiNi2A，试板的尺寸为 450 mm×200 mm×20 mm，坡口形式见图 1。Q235 含有质量分数不大于 0.22%的 C，不大于 1.4%的 Mn，不大于 0.35%的 Si，不大于 0.05%的 S，不大于 0.045%的 P，Q235 抗拉强度为 375 ~ 460 MPa；30CrMnSiNi2A 含有质量分数不大于 0.34%的 C，不大于 1.3%的 Mn，不大于 1.2%的 Si，不大于 1.2%的 Cr，不大于 1.8%的 Ni，不大于 0.02%的 S，不大于 0.02%的 P，在淬火+低温回火条件下，30CrMnSiNi2A 的抗拉强度大于 1570 MPa。母材 Q235 显微组织见图 2，为等轴珠光体和铁素体混合组织[2]。

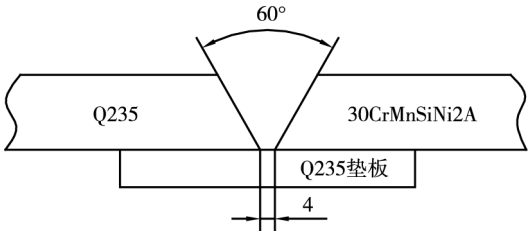


图 1 坡口形式
Fig.1 Groove type

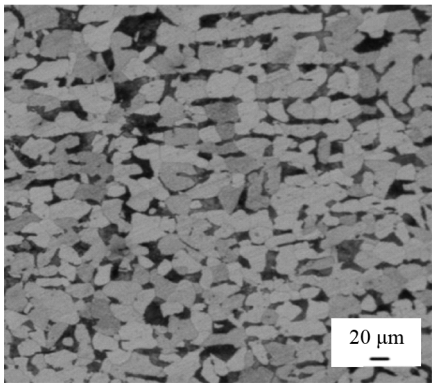


图 2 母材 Q235 显微组织
Fig.2 Microstructure of Q235

正火态母材 30CrMnSiNi2A 的显微组织见图 3，为贝氏体+珠光体+铁素体混合组织[3]。焊接方法采用手工电弧焊。焊接设备为 ZX7-400 逆变焊机，参照 GB/T 5117—2012[4]，焊条采用直径为 Φ3.2 mm 的 E5015。焊接前对试板进行预热，采用氧乙炔火焰加热，加热温度为 150 ℃。焊接完成后对试板进行焊后退火，温度为 690 ℃、保温时间为 2 h，随炉冷至 500 ℃后出炉油冷。焊接电流选为 135 A，焊接电压为 26 V，焊接速度为 11.2 cm/min，热输入为 18.8 kJ/cm，层间温度为 120 ~ 180 ℃。

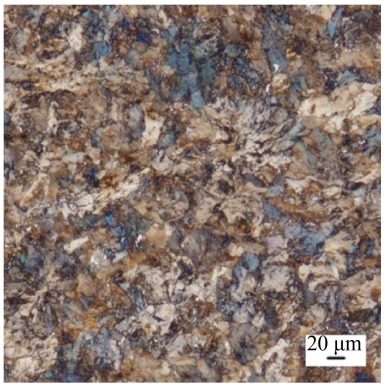


图 3 母材 30CrMnSiNi2A 显微组织
Fig.3 Microstructure of 30CrMnSiNi2A

参照 GB/T 2649—1989《焊接接头机械性能试验取样方法》[5]，对接头进行取样，并分别按照 GB/T 2651—2008《焊接接头拉伸试验方法》[6]和 GB/T 2650—2008《焊接接头冲击试验方法》[7]，进行力学性能试验。在焊接接头处取样制备金相试样，试样经过砂纸研磨、抛光后，用体积分数为 4%的硝酸酒精腐蚀。利用型号为 XYD-4510 的 X 射线探伤机对接头进行 X 射线探伤检测，利用 OLYPAS 金相显微镜观察接头组织，利用 THSV-1-800M-AXY 显微硬度计进行维氏硬度测定，利用 WDW-200E 电子万能试验机进行拉伸试验，利用 JBZS-300 摆锤式自动数显冲击试验机进行冲击试验。

2 结果与分析

2.1 X 射线探伤结果

按照 GB/T 3323—2005《金属熔化焊焊接接头射线照相》[8]，对焊接接头进行 X 射线探伤检测，结果表明，焊缝中无裂纹、未熔合、未熔透和条形缺陷，在任意焊缝 10 mm×10 mm 区域内，圆形缺陷数量不大于 2 个，缺陷长径不大于 2 mm。能达到该标准中Ⅰ级焊接接头标准。

2.2 显微组织

在焊接热源的高温作用下，被焊的局部母材和填加材料经过熔化和凝固形成焊缝，未发生熔化，但受到焊接热影响的母材形成热影响区，焊缝与热影响区之间的过渡区为熔合区。焊接热源离开后，熔池金属开始凝固，在随后的连续冷却过程中还将发生相的转变，形成相变组织，由于熔池中冶金条件和冷却条件不同，可得到不同的焊缝组织。热影响区距焊缝远近不同，所经历的焊接热循环不同，于是整个焊接热影

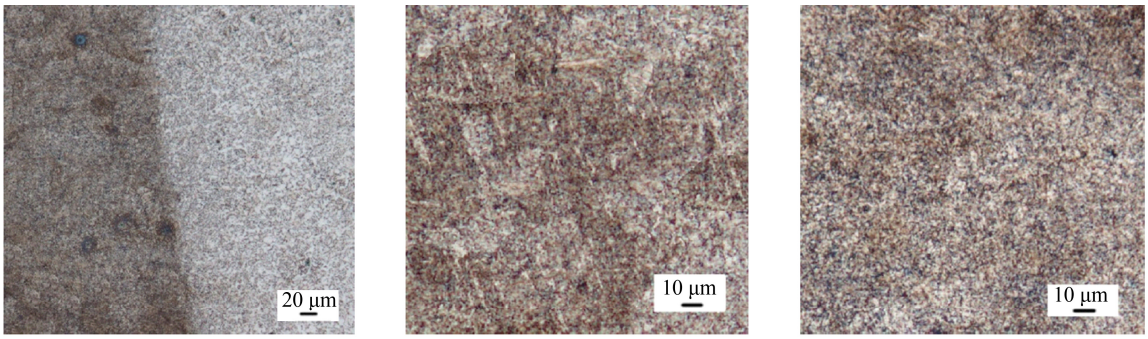
响区呈现出分布不均的组织[9]。

2.2.1　30CrMnSiNi2A 侧显微组织

30CrMnSiNi2A 侧显微组织见图 4，可知，焊接接头 30CrMnSiNi2A 侧热影响区无明显的粗晶区特征，热影响区组织为回火索氏体组织，是由铁素体和渗碳体组成，渗碳体聚集球化[10]。粗晶区、细晶区显微组织分别见图 4b 和图 4c，可知，粗晶区组织板片状铁素体和渗碳体片层大于细晶区的板片状铁素体和渗碳体片层组织。

2.2.2　Q235 侧显微组织

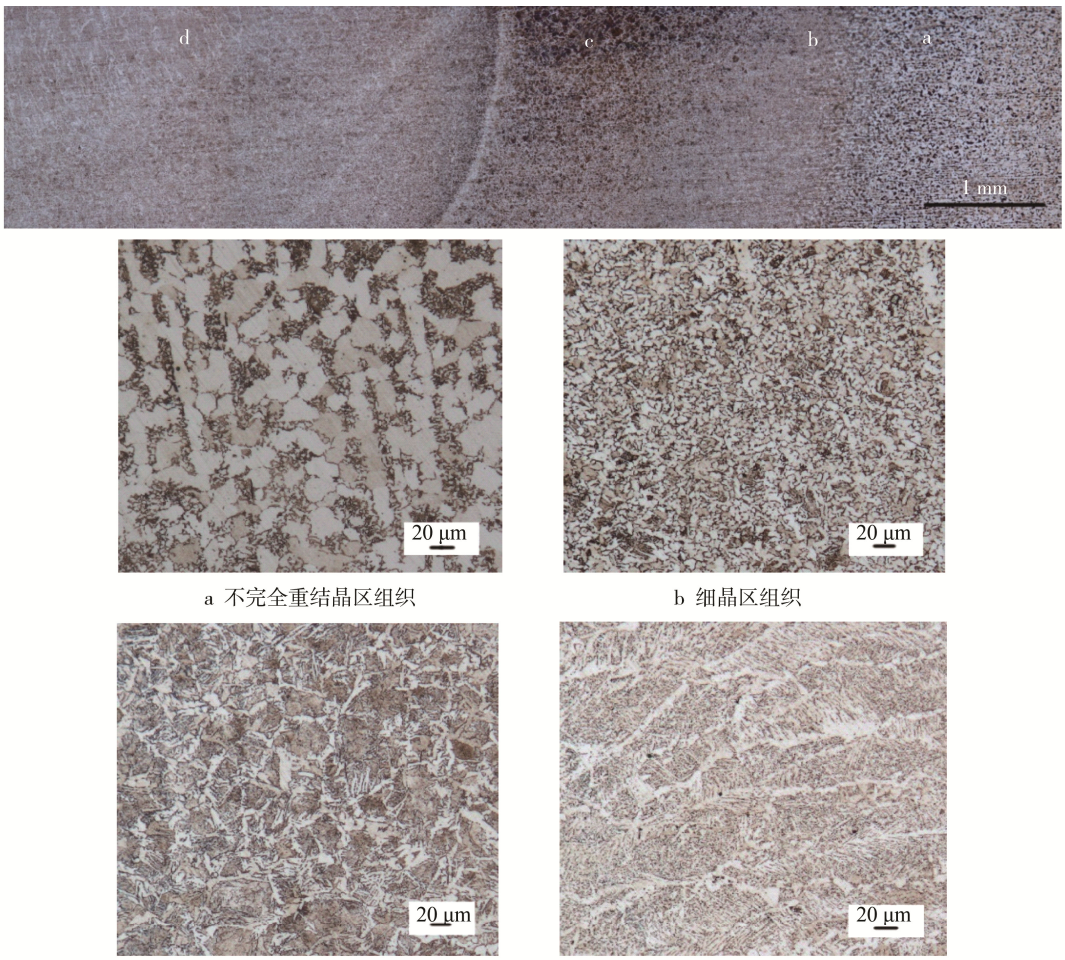
Q235 侧母材-热影响区-焊缝的显微组织见图 5，可知，焊接接头 Q235 侧热影响区由不完全重结晶区、细晶区、粗晶区组成，图 5a—c 分别给出了对应的显微组织，焊缝显微组织见图 5d。由图 5a 可知，该区



a 30CrMnSiNi2A 熔合线处组织　　b 粗晶区组织　　c 细晶区组织

图 4　30CrMnSiNi2A 侧显微组织

Fig.4 Microstructure of 30CrMnSiNi2A side



a 不完全重结晶区组织　　b 细晶区组织

c 粗晶区组织　　d 焊缝组织

图 5　Q235 侧组织

Fig.5 Microstructure of Q235 side

组织特征为晶粒大小不一的铁素体和细小珠光体，这是因为该区部分组织经历了 2 次相变重结晶，形成了细小的铁素体和珠光体，而另一部分原始铁素体未发生重结晶，晶粒较为粗大[11]；由图 5b 可知，该区组织特征为晶粒细小而均匀的铁素体和珠光体，这是因为在焊接过程中，加热时该区的铁素体和珠光体经历了到奥氏体的相变重结晶，冷却时又经历由奥氏体到铁素体和珠光体的相变重结晶，使晶粒得到了显著的细化，且大小均匀[12]；由图 5c 可知，该区组织特征为晶粒粗大的铁素体和珠光体，这是因为由于加热温度过高，金属处于过热状态，原始奥氏体晶粒发生严重长大，冷却后得到粗大的铁素体和珠光体，经过焊后退火后，铁素体和珠光体组织无明显变化[13]；由图 5d 可知，焊缝组织特征为铁素体和少量珠光体，明显可见沿奥氏体晶界首先析出的先共析铁素体和晶内针状铁素体，这是因为焊缝组织由化学成分和冷却条件决定，焊条 E5015 为低碳低合金焊条，焊后组织为铁素体和珠光体混合。

2.3 力学性能

通过金相试样对接头进行维氏硬度测试，测试点位置为试样中心。从 Q235 侧连续打点，经过焊缝再到 30CrMnSiNi2A 侧，载荷为 500 g，硬度测试结果见图 6。可知，从 30CrMnSiNi2A 侧到 Q235 侧，焊缝硬度由 250HV 减小到 220HV。焊缝区域硬度值是由焊缝化学成分和不均匀组织决定。一方面，焊缝组织中存在先共析铁素体、针状铁素体、珠光体组织，不同组织具有不同硬度。另一方面，焊缝中化学成分不均匀，熔池状态时，合金元素含量较高的 30CrMnSiNi2A 侧微量合金元素向焊缝中扩散，合金元素含量高，硬度越高[14]。

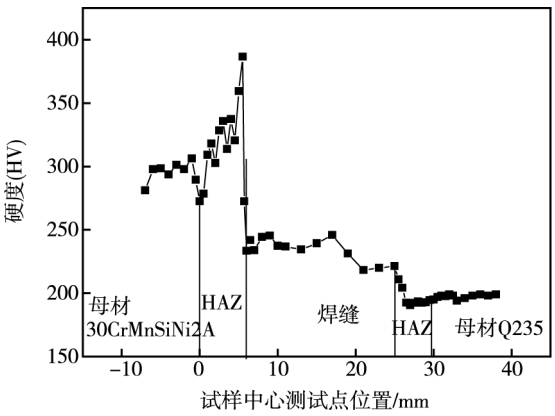


图 6 焊接接头显微硬度
Fig.6 Microhardness of welded joint

母材 30CrMnSiNi2A 的硬度约为 295HV，母材 Q235 的硬度约为 200HV，两侧热影响区宽度约为 5 mm，从图 6 可以看出，30CrMnSiNi2A 侧热影响区的硬度远远高于其他区域，这是因为一方面母材 30CrMnSiNi2A 的合金含量较高，所以硬度高；另一方面是在焊接热循环作用下，熔合线附近的晶粒过热粗化，硬度增加[15]。

经焊接接头拉伸、焊缝冲击试验可知，焊接接头断裂位置为母材，抗拉强度为 436 MPa，焊缝抗拉强度大于母材 Q235 抗拉强度。同时，焊缝具有较高的室温冲击吸收功，为 160 J。30CrMnSiNi2A 与 Q235 异种钢进行手工电弧焊，选用 E5015 焊条时具有良好的焊接接头力学性能。

3 结论

1) 采用手工电弧焊对 30CrMnSiNi2A 与 Q235 进行异种钢焊接，获得成形性良好的焊接接头。

2) 焊接接头进行 690 ℃焊后退火，焊缝组织为先共析铁素体、针状铁素体、珠光体组织；30CrMnSiNi2A 侧热影响区组织为回火索氏体组织，粗晶区回火索氏体片层大于细晶区回火索氏体片层；Q235 侧热影响区由不完全重结晶区、细晶区、粗晶区组成。

3) 焊接接头 30CrMnSiNi2A 侧硬度高于焊缝硬度，焊缝硬度高于 Q235 侧硬度，硬度变化无陡增陡降现象。30CrMnSiNi2A 侧的硬度远远高于焊接接头其他位置。

4) 采用焊条 E5015 作为 30CrMnSiNi2A 与 Q235 的填充材料，即能够保证良好焊接工艺性，同时又能够获得力学性能较好的焊接接头。

参考文献：

[1] 崔忠圻. 金属学与热处理[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2007.
CUI Zhong-qi. Metallography and Heat Treatment[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2007.

[2] 陈永生, 王永东. Q235 钢表面氩弧熔覆 B4C-Ti 复合涂层组织与性能的研究[J]. 黑龙江冶金, 2015(6): 22—24.
CHEN Yong-sheng, WANG Yong-dong. Research on Microstructure and Property of B4C-Ti Composite Coating by Argon Arc Cladding on Q235 Steel Surface[J]. Heilongjiang Metallurgy, 2015(6): 22—24.

[3] 周义清, 张治民. 热处理对 30CrMnSiNi2A 钢组织与动态性能的影响[J]. 锻压装备与制造技术, 2010(4): 80—83.
ZHOU Yi-qing, ZHANG Zhi-min. Effect of Heat Treatment on Microstructure and Dynamic Properties of 30CrMnSiNi2A Steel[J]. Forging Equipment and Manufacturing Technology, 2010(4): 80—83.

[4] GB/T 5117—2012, 非合金钢及细晶粒钢焊条[S].
GB/T 5117—2012, Covered Electrodes for Manual Metal Arc Welding of Non-alloy and Fine Grain Steels[S].

[5] GB/T 2649—1989, 焊接接头机械性能试验取样方法

[S].
GB/T 2649—1989, Sampling Methods for Mechanical Properties of Welded Joints[S].
[6] GB/T 2651—2008, 焊接接头拉伸试验方法[S].
GB/T 2651—2008, Tensile Test Method on Welded Joints[S].
[7] GB/T 2650—2008, 焊接接头冲击试验方法[S].
GB/T 2650—2008, Impact Test Methods on Welded Joints[S].
[8] GB/T 3323—2005, 金属熔化焊焊接接头射线照相[S].
GB/T 3323—2005, Radiographic Examination of Fusion Welded Joints in Metallic Materials[S].
[9] 刘会杰, 闫久春, 魏艳红, 等. 焊接冶金与焊接性[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
LIU Hui-jie, YAN Jiu-chun, WEI Yan-hong, et al. Welding Metallurgy and Weld Ability[M]. Beijing: China Machine Press, 2007.
[10] 潘雅琴, 张颂华, 张自国. 热处理对 30CrMnSiNi2A 钢组织和性能的影响[J]. 金属热处理, 1980(2): 28—34.
PAN Ya-qin, ZHANG Song-hua, ZHANG Zi-guo. Effect of Heat Treatment on Microstructure and Properties of 30CrMnSiNi2A Steel[J]. Heat Treatment of Metals, 1980(2): 28—34.
[11] 许可, 吴开明, 王红鸿, 等. 热输入对Q420FRE钢焊接热影响区组织和力学性能的影响[J]. 武汉科技大学学报, 2015, 38(4): 254—258.
XU Ke, WU Kai-ming, WANG Hong-hong, et al. Effect of Heat Input on Microstructure and Properties of HAZ of Q420FRE Steel[J]. Journal of Wuhan University of Science and Technology, 2015, 38(4): 254—258.
[12] 刘艳色. 不同焊接热输入量对焊缝热影响区组织和性能的影响分析[J]. 金属加工(热加工), 2006(5): 38—40.
LIU Yan-se. Influence of Different Welding Heat Input on Microstructure and Properties of Weld Heat Affected Zone[J]. Metal Working(Hot Working), 2006(5): 38—40.
[13] 刘宪民, 花峰, 刘蕤, 等. 热处理对 30CrMnSiNi2A 钢力学性能的影响[J]. 钢铁, 2003, 38(1): 43—47.
LIU Xian-min, HUA Feng, LIU Rui, et al. Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties of 30CrMnSiNi2A Steel[J]. Steel, 2003, 38(1): 43—47.
[14] 王磊. 回火温度与合金元素对 30CrMnSiNi2A 钢组织与性能的影响[J]. 焊接, 2010(1): 7—10.
WANG Lei. Influence of Tempering Temperature and Alloy Elements on Microstructure and Properties of Steel[J]. Welding, 2010(1): 7—10.
[15] 牛靖, 董俊明, 付永红, 等. 30CrMnSiNi2A 钢异质焊接及接头力学性能研究[J]. 热加工工艺, 2006, 35(15): 9—11.
NIU Jing, DONG Jun-ming, FU Yong-hong, et al. Study on Heterogeneous Welding of Steel and Mechanical Properties of Joints[J]. Hot Working Process, 2006, 35(15): 9—11.