

高强贝氏体钢 TIG 焊组织与性能研究

哈尔滨理工大学 材料学院 (150080)

戴鸿滨

哈尔滨工业大学 先进焊接与连接国家重点实验室 (150001)

熊志亮 范成磊 林三宝

摘要 采用 TIG 焊焊接高强贝氏体钢,并分析其组织和性能。试验结果表明,焊接接头由焊缝、熔合区、热影响区及临近的母材组成,其中热影响区又分为淬火区和回火区,淬火区又包括粗晶区和细晶区。焊缝金属主要由针状马氏体、残余奥氏体和少量条状贝氏体组成,呈明显的柱状晶分布。在不预热及进行焊后热处理的情况下,抗拉强度仅为母材的 25% 左右,为脆性断裂。

关键词: TIG 焊 高强贝氏体钢 微观组织 力学性能

中图分类号: TG444.74

0 前言

贝氏体钢是一种具有较高强度和良好韧性的钢种,一直是钢铁材料界的研究重点。近年来,具有良好强韧性能的高强度贝氏体钢受到钢铁界的重视,目前这种新型贝氏体钢有不同的名称,如超细贝氏体钢、先进贝氏体钢、超强贝氏体钢、无碳化物贝氏体钢、纳米结构贝氏体钢、超级贝氏体钢等,统称为超级贝氏体钢^[1]。2004 年,英国国防部联合剑桥大学 Bhadeshia 教授等人^[2]利用 Si 对碳化物析出的抑制作用,采用特定的合金元素成分及特殊的热处理工艺,开发了一种超级贝氏体钢,该钢种具有的优异的强韧性,其极限抗拉强度高达 2 500 MPa,硬度 HV 600~670。这种新型贝氏体钢在低温下发生贝氏体转变获得亚纳米超细贝氏体,贝氏体铁素体板条中间不是析出碳化物而是残余

奥氏体薄膜。由于超级贝氏体钢超高的强度和良好的韧性,已在轴类和装甲板生产等方面进行了应用^[3]。该超级贝氏体钢的碳当量高达 1% (质量分数),淬硬性很大,冷裂倾向严重,焊接性差。文中对该钢在 TIG 焊下的组织和性能进行了初步研究,以期扩大该钢种的应用范围。

1 试验方法及过程

试验材料为英国 Corus 公司生产的一种新型高强贝氏体钢,该钢以 C, Mn, Si 为基本元素,同时添加了大量的其它合金元素,含碳量为 0.82% (高于高碳钢含碳量标准 0.6%), Si 和 Mn 元素含量也很多,属于高碳钢,具有很大的淬硬倾向。其化学成分如表 1 所示,试件尺寸约为 80 mm × 23 mm × 2 mm。

焊后经砂纸打磨至试件表面无大划痕,然后再采

表 1 超级贝氏体钢的化学成分(质量分数,%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al	V	Co	Cu	Sn	P	N	S
0.82	1.660	2.05	0.220	0.360	1.06	0.051	0.002	0.003	0.040	0.003	0.009	0.002	—

用金丝绒抛光布和 1.5 μm 的金刚石抛光液抛至表面呈镜面。用 3% 的硝酸酒精腐蚀后采用 OLYMPUS - GX71 金相显微镜进行接头宏观形貌及组织观察。采用 Hitachi S - 4700 型扫描电镜 (SEM) 对焊接接头各区域组织和拉伸件的断口进行形貌观察,并利用设备所附带的能谱装置 (EDS) 对试样进行成分分析。采用 INSTRON 5569 电子万能材料试验机,在室温下完成拉

伸试验,拉伸加载速度为 1 mm/min。采用 HVS - 1000 型数显显微硬度计,在焊接接头的焊缝区、淬火区、回火区、母材等处分别测试,由于试验材料硬度高,采用 5 N 的试验载荷压力,载荷保持时间为 10 s。

对超级贝氏体钢板进行 TIG 焊,焊接电源为直流正接,钨极直径 φ2.4 mm,不填丝对接焊。焊后不经热处理,空冷至室温。焊接过程中使用 Ar 气保护,保护气流量 12 L/min。焊接速度 0.25 cm/s,弧长控制在 2 mm。表 2 为 TIG 焊工艺规范参数。

表2 TIG 焊工艺规范参数

电源种类和极性	焊接电流 I/A	电弧电压 U/V	焊接速度 $v/(cm \cdot s^{-1})$	热输入 $E/(kJ \cdot cm^{-1})$	冷却方式
直流正接	140	11.6	0.25	4.22	空冷

2 试验结果及分析

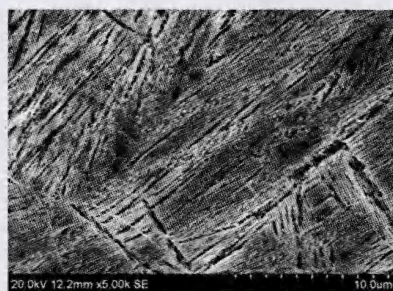
超级贝氏体钢属于易淬火钢,母材供货状态为淬火态,焊接接头由焊缝、熔合区、热影响区及临近的母材组成,其中热影响区又分为淬火区和回火区。图1为母材的金相组织,由极细的贝氏体和残余奥氏体组成。



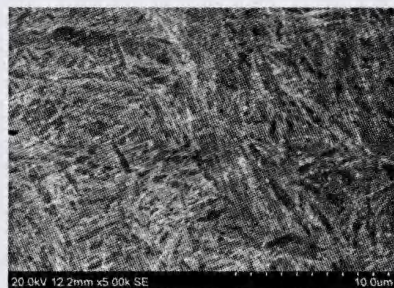
图1 母材的微观组织

图2为焊接各区域的扫描电镜照片。回火区在组织上与母材原始组织并无大的差别,为板条状的贝氏体和残余奥氏体组织,但在测量显微硬度时,发现此区硬度较母材有所下降。回火区(图2a)较母材腐蚀的深,且离熔合区越远,温度越低,淬火组织的回火程度降低,这是由于组织发生不同程度的回火,在贝氏体铁素体板条间有碳化物的析出,更容易被腐蚀。淬火区(图2b)的组织为针状的马氏体、大粗条状的贝氏体和残余奥氏体,马氏体所占的比例比较大,起到强化相的作用。粗晶区(图2c)的晶粒明显粗大,组织中有大量的初生相贝氏体产生,还有马氏体和残余奥氏体。图2d~e显示,焊缝处为各种形态的柱状晶,主要为马氏体和残余奥氏体组织,还含有一定量的贝氏体。柱状晶是从熔池边界处半熔化的母材晶粒表面开始形核,并沿垂直于熔池金属与母材金属交界面的方向联生长大。

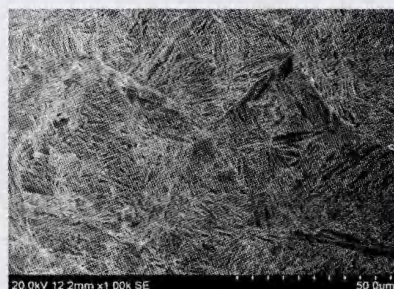
表3为焊接接头的拉伸试验结果。超级贝氏体钢TIG焊焊后强度和断后伸长率有了很大幅度的降低,焊后平均抗拉强度仅为490 MPa,只达到母材抗拉强度的



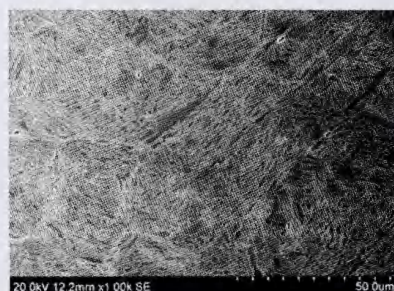
(a) 回火区



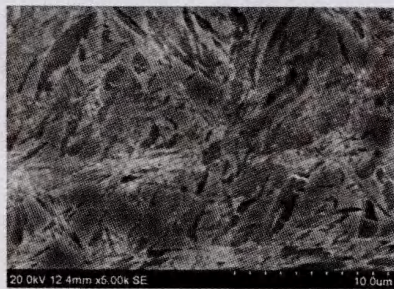
(b) 淬火区



(c) 粗晶区



(d) 焊缝(低倍)



(e) 焊缝(高倍)

图2 焊接各区域的 SEM 照片

25%,断后伸长率降到1.33%,也远低于母材的7%,为脆性断裂,断裂位置为焊缝中心。焊件拉伸断口比较平齐而光亮,断口没有缩颈,看不到剪切唇,有明显的放射线纹,并且断面与拉应力方向垂直。断口的 SEM 显示(图3),断口呈河流花样,有冰糖状的特征,存在显微裂纹。

表3 焊接接头的拉伸结果

编号	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%)
1	496.50	1.33
2	564.04	1.22
3	410.17	1.44
平均值	490.40	1.33

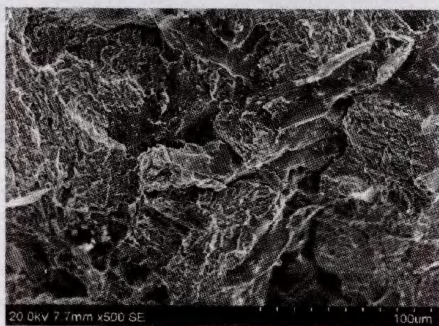


图3 焊缝各区域的 SEM 照片

图4为焊接接头的硬度曲线,曲线从左往右依次为焊缝、热影响区和母材。试验测得各区的平均硬度值如下:焊缝区 HV 695.1,淬火区 HV 682.4,回火区 HV 471.3,母材 HV 543.1。焊缝的硬度较淬火区稍高,二者的硬度都比母材大得多,粗晶区附近硬度有所降低,回火区硬度大幅度下降,降到母材硬度以下。这是由于焊缝和淬火区的组织主要为马氏体,马氏体的

硬度很大。回火区组织较母材没有多大变化,只是发生了回火,有碳化物的析出,造成硬度下降。

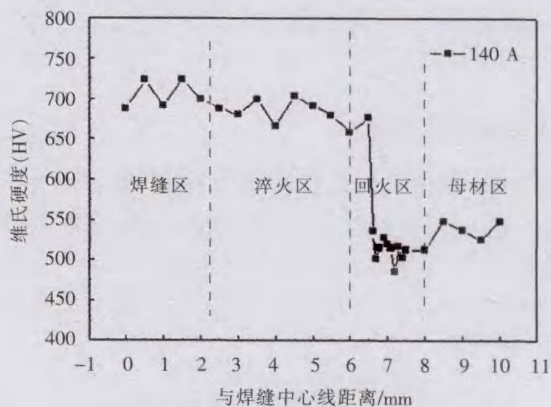


图4 焊接接头的硬度分布曲线

3 结 论

(1) 超级贝氏体钢 TIG 焊接接头由焊缝、熔合区、热影响区及临近的母材组成,其中热影响区又分为淬火区和回火区,淬火区又包括粗晶区和细晶区。焊缝金属主要由针状马氏体、残余奥氏体和少量条状贝氏体组成,呈明显的柱状晶分布。

(2) TIG 焊接接头抗拉强度只达到母材的 25%,拉伸时都断于焊缝,断后伸长率在 1%~2% 间波动,断口为脆性断裂形貌。

(3) 超级贝氏体钢若要获得性能良好的焊接接头,需要进行预热和焊后热处理,以及研制相应的焊接材料。

参 考 文 献

- [1] 徐光,操龙飞,补丛华,等. 超级贝氏体钢的现状和进展[J]. 特殊钢, 2012(1): 18-21
- [2] Caballero F G, Bhadeshia H K D H. Very strong bainite[J]. Current Opinion in Solid State and Materials Science, 2004, 8(3-4): 251-257.
- [3] Bhadeshia H. Bainitic bulk - nanocrystalline steel[C]. The 3rd International Conference on Advanced Structural Steels Gyeongju. Korea, 2006: 33-40.

作者简介: 戴鸿滨,1971 年出生,副教授。主要研究方向为电弧焊及激光焊接技术,已发表论文 20 余篇,出版教材 3 部。