

时效处理对 T—250 钢电子束焊接接头组织及性能的影响

吴 军 张立武 王常建

(陕西非金属材料工艺研究所,西安 710025)

文 摘 采用金相显微镜、透射电镜观察了焊后不同时效状态下 T—250 马氏体时效钢电子束焊缝的微观组织,测试了不同时效状态下焊接接头的室温强度、夏比缺口冲击韧性、显微硬度,并用扫描电镜分析了拉伸断口形貌。结果表明:随时效温度的升高,焊缝区枝晶间逆转奥氏体析出量增加,焊缝缺口冲击韧性增大,断口韧窝增大;但由于 500 ℃×4 h 时效处理后焊缝马氏体孪晶较多而使其拉伸强度和缺口冲击韧性降低。经 480 ℃×4 h 时效处理后,焊接接头强度具有最佳强韧性配合。

关键词 T—250 马氏体时效钢,电子束焊接,逆转变奥氏体,时效处理,接头性能

Effect of Ageing Treatment on Microstructure and Properties of Electron Beam Weld Joints of T-250 Steel

Wu Jun Zhang Liwu Wang Changjian

(Shaanxi Institute of Non-metallic Material and Technology, Xi'an 710025)

Abstract Microscopy and TEM are used to examine microstructure of T-250 EB weld metal under different ageing conditions. The ultimate tensile strength (UTS), Charpy-V-notch (CVN) impact toughness and micro-hardness of different ageing conditions of the weld joints are tested at room temperature, and SEM is used to analyse fracture appearance. Experimental results indicate that there exist reverted austenite dispersed along the interdendritic boundaries. Their amount of reversed austenite, CVN impact toughness and dimple of fracture increase with increase of post-weld ageing temperature. After ageing at 500 ℃ for 4 h, tensile strength and Charpy-V-notch impact toughness of weld metals decrease since there exist lots of twinned martensite in the weld fusion zone. Optimum strength and toughness are obtained by ageing at 480 ℃ for 4 h.

Key words T-250 maraging steel, Electron beam welding, Reverted austenite, Ageing treatment, Weld joint property

1 前言

马氏体时效钢是一类以固溶冷获得高位错密度、高韧性的单相 Fe-Ni 板条马氏体组织,再经时效析出 Ni₃Mo、Ni₃Ti、Fe₂Mo、Fe₂(Mo、Ti) 等金属间化合物相共同强化的高比强、高断裂韧性的超高强度钢。其固溶状态下具有优异的成型、焊接、切削加工性能,热处理工艺简单,热加工尺寸稳定性好,抗应

力腐蚀能力强。因而马氏体时效钢在航空航天、原子能、海洋、兵器、模具等高技术领域有着广泛的应用^[1]。T—250 马氏体时效钢在性能相当(与 18Ni9Co5Mo 相比,σ_{0.2}为 1 700 MPa 以上、K_{IC}为 90 MPa·m^{1/2}以上^[2])的条件下由于不含 Co 而使材料成本大大降低,这为扩大该类材料在尖端技术领域的应用创造了良好的发展机遇。对于 T—250 马氏体

收稿日期:2003-01-20;修回日期:2003-03-25

吴军,1974 年出生,硕士,主要从事金属材料及其连接技术的研究工作
宇航材料工艺 2003 年 第 4 期

时效钢而言,焊后时效处理的目的是为了提高焊接接头的强度并改善其综合性能。电子束焊接属于高能密度焊接,具有热输入小、焊缝及热影响区窄等优点^[3],非常适合于 T-250 马氏体时效钢的焊接。目前,有关 T-250 钢电子束焊接接头的热处理国内尚未见报道,因此探索合理的焊后时效处理工艺对于优化 T-250 钢焊接接头的综合性能,是推广其应用的必要前提。

2 实验

2.1 材料

实验材料为国内某钢厂提供的 T-250 马氏体时效钢板材,板材厚度为 4 mm,其化学成分见表 1。

表 1 T-250 马氏体时效钢化学成分

Tab.1 Chemical composition of T250 maraging steel

% (质量分数)			
C	Ni	Mb	Ti
0.01	16~22	2.0~5.0	1.0~3.0
Al	S	P	Fe
0.05~0.15	0.005	0.008	余量

2.2 设备

KS55-G150 型真空电子束焊机,SRJX-12-9 型箱式电阻炉,Neophot-2 型光学显微镜,JSM-840 型扫描电镜,FM-7 型显微硬度仪,JEM-200CX 透射电镜。

2.3 方法

实验采用真空电子束单道熔透对接焊接,焊后用散焦小束流修饰焊缝,焊接及修饰参数见表 2。

表 2 焊接及修饰参数

Tab.2 Conditions of electron beam welding

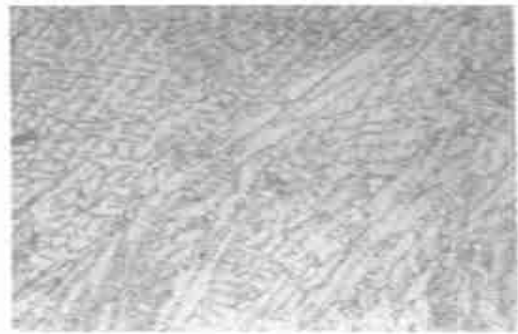
方式	加速电压 / kV	束流 / mA	焊接速度 / mm·s ⁻¹	工作距离 / mm	聚焦电流 / mA	真空度 / Pa
焊接	150	8~11	8	550	2 160	230
修饰	150	4	8	550	2 120	230

试板尺寸为 300 mm × 100 mm × 4 mm,其中焊接方向与板材轧制方向垂直。焊后时效处理时间均为 4 h(空冷),时效温度分别为:450、480、500、540。室温拉伸试样标距 $L = 25$ mm、宽 $b = 15$ mm;夏比 V 型缺口冲击试样厚度为 3.0 mm,缺口位于焊缝熔合区位置,其余按 GB2106-80 执行。

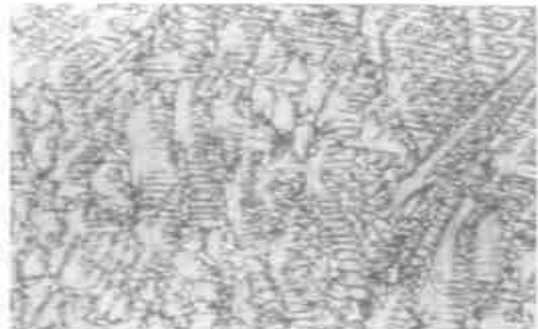
3 结果与讨论

3.1 金相观察

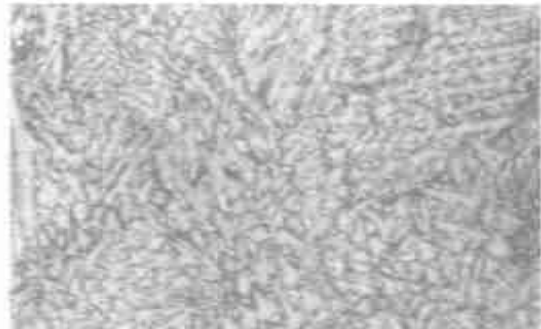
T-250 马氏体时效钢电子束焊接接头(焊缝区),经时效处理后的光学金相照片如图 1 所示。



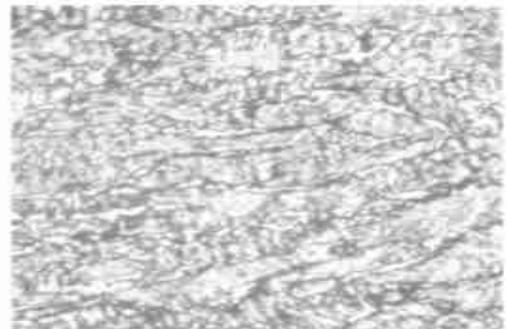
(a) 450



(b) 480



(c) 500



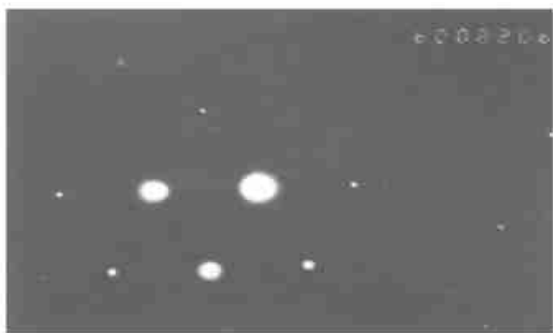
(d) 540

图 1 焊后时效处理金相照片 500 ×
Fig. 1 Microstructures of weld metal after ageing

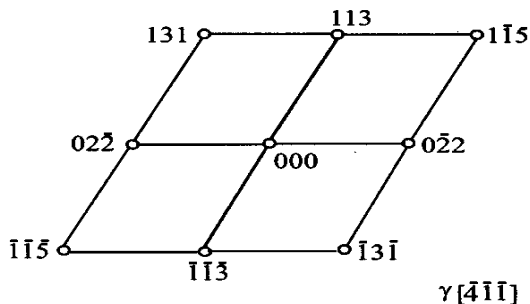
从图 1 可以看出,焊后经时效处理的焊缝组织中,在焊缝树枝晶晶界有“白色小区域”产生,能谱分析结果表明,“白色小区域”为富 Mo、Ti 元素的区域。图 2 的透射电镜分析表明,这“白色小区域”为时效过程中由于 Mo、Ti、Ni 元素偏析而形成的逆转奥氏体组织。当时效温度为 450 时,枝晶间的逆转奥氏体块小,体积分数小;当时效温度为 540 时,枝晶间的逆转奥氏体块增大,体积分数增加。因此在本实验的时效温度范围内,随着时效温度的提高,枝晶边界的逆转奥氏体块尺寸及其在焊缝区的体积分数逐渐增加。



(a) 明场



(b) 电子衍射花样



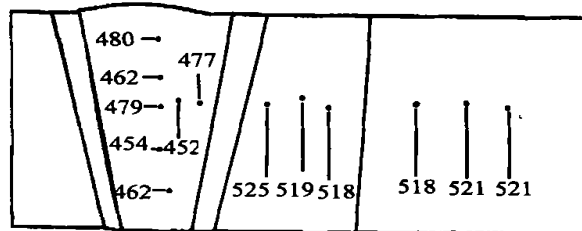
(c) 逆转奥氏体的衍射花样标定

图 2 “白色”逆转奥氏体 TEM 照片

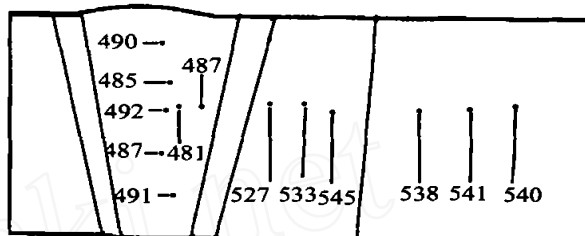
Fig. 2 TEM pictures of “white” reverted austenite

3.2 显微硬度测试

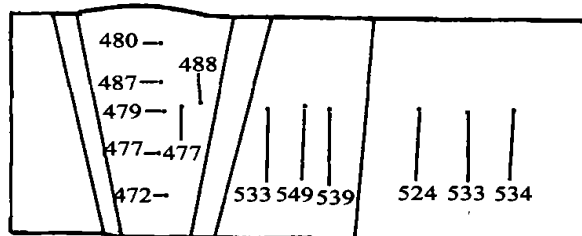
不同时效温度处理后焊接接头横截面的显微硬度及其分布如图 3 所示。



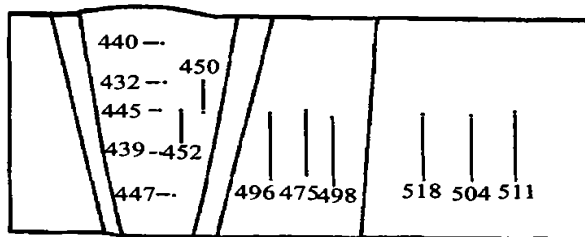
(a) 450



(b) 480



(c) 500



(d) 540

图 3 时效处理后焊缝显微硬度分布

Fig. 3 Distribution of weld joint microhardness

由图 3 可以看出,尽管经过了时效处理,但焊缝区显微硬度仍然比热影响区 (HAZ) 和母材低。由上节的分析结果可知,由于焊缝区枝晶晶界 Mo、Ti 元素的富集,使该处在焊后时效过程中形成逆转变奥氏体;而晶内 Mo、Ti 元素量减少,使该处本应作为

强化的 Mo、Ti 元素量减少,因而使整个焊缝的显微硬度降低,进而强度降低。结果表明,480 时效处理后,焊缝区及母材的显微硬度值最高;540 时效处理后,焊缝区、热影响区及母材的显微硬度值最低。

3.3 力学性能与断口分析

时效处理后,焊接接头力学性能见表 3。由于焊缝区显微硬度低,所有焊接接头拉伸断裂时均表现出局部颈缩并最终在焊缝熔合区断裂,尽管如此,所有焊接接头的强度系数均高于 95%。

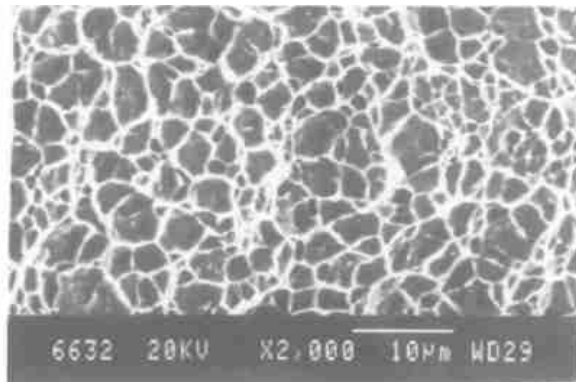
表 3 表明,焊接接头在 480 时效处理后,其拉伸强度最高,延伸率和夏比缺口冲击韧性也较高;500 时效处理后,虽然焊缝的逆转变奥氏体数量稍有增多而有利于提高塑性和夏比缺口冲击韧性,但由于该温度时效处理后,熔合区内存在较多的孪晶马氏体(与 480 比较),使得其接头的延伸率和夏比缺口冲击韧性降低;540 时效处理后,由于逆转变奥氏体量的显著增加而使其接头强度降低,而塑性和夏比缺口冲击韧性提高;由于 450 为亚时效,其接头的强度、塑性和夏比缺口冲击韧性均较低。

表 3 焊接接头力学性能

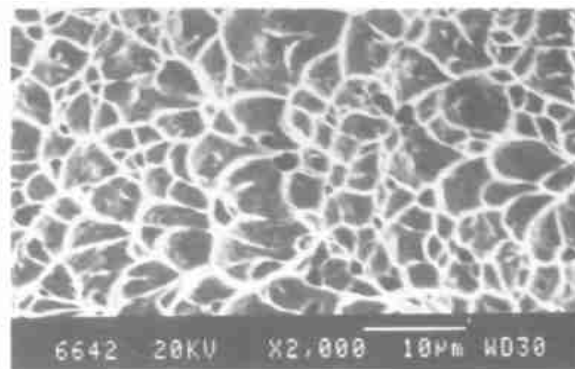
Tab. 3 Mechanical properties of the EB weld joints

焊后时效处理	拉伸强度 /MPa	焊接接头强度系数/%	延伸率 /%	缺口冲击韧性/ $J \cdot cm^{-2}$
450 ×4 h	1 720	95.6	5.1	35.4
480 ×4 h	1 770	95.7	6.1	38.3
500 ×4 h	1 734	96.3	5.7	37.1
540 ×4 h	1 610	98.0	7.0	45.6

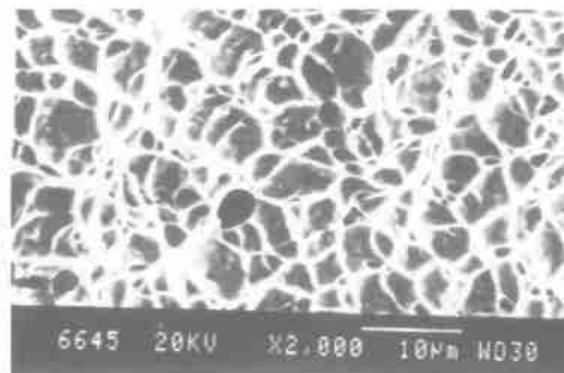
图 4 为电子束焊接后,经不同温度时效处理后焊接接头拉伸断口的 SEM 形貌图。



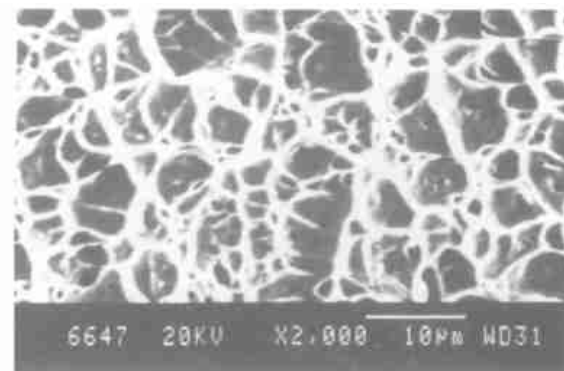
(a) 450 ×4 h



(b) 480 ×4 h



(c) 500 ×4 h



(d) 540 ×4 h

图 4 时效处理后的焊接接头拉伸断口形貌

Fig. 4 Fractographs of weld joints

从图 4 可以看出,450 时效处理的断口韧窝直径最小、深度最浅,因而其接头塑性最小;480 时效处理的断口韧窝直径大、深度深且韧窝上有明显的位错滑移及断裂时的撕裂方向,这说明其焊缝的塑性较 450 时效处理的焊缝好,其延伸率为 6.1%;500 时效处理后的断口与 480 时效处理后的断口韧窝相比,韧窝直径较小、深度较浅,且断口上的撕

裂状方向不明显,说明其接头的延性较 480 时效处理的低,其延伸率为 5.7%;与以上三个断口相比,540 时效处理焊接接头拉伸断口韧窝直径最大、深度最深,说明其延性最好,实验测得其延伸率为 7.0%。表明断口形貌与接头性能具有一致性。

马氏体时效钢焊缝中逆转变奥氏体的存在对于焊接接头性能的影响,有着不同的观点:Kenyon 认为^[4],焊缝中逆转变奥氏体的存在将降低焊缝的断裂韧性;Tsay 等人认为^[5],焊缝中逆转变奥氏体的存在能降低裂纹扩展速率、提高塑性和冲击韧性,同时降低对 H₂ 的敏感性;但对于降低焊缝强度则是公认的。从本文的研究结果来看,与 Tsay 等人的结论类似,对于真空电子束焊缝中逆转变奥氏体存在对于断裂韧性的影响,尚待进一步研究。

4 结论

(1) T-250 马氏体时效钢电子束焊缝经时效处理后,逆转变奥氏体在枝晶晶界上析出,逆转变奥氏体的尺寸大小和析出数量随时效温度的升高而增加。

(2) 在 480 ×4 h 时效处理后,焊缝区显微硬度最高,焊接接头拉伸强度最大,延伸率及夏比缺口冲击韧性较大;500 ×4 h 时效处理后,焊缝中较多孪晶马氏体存在;540 ×4 h 时效处理后,由于大量逆转变奥氏体的析出而使焊缝强度指标降低而塑性和冲击韧性增加。

参考文献

- 1 Decker R F, Floreen S. Maraging steel-the first 30 year. In: maraging steel recent development and applications. Symposium of TMS Annural Meeting, Phenix, Arizona, 1988:1
- 2 Tsay L W, Chen C, Aho J N. Effect of ageing treatment on fatigue and mechanical properties of T-250 maraging steel. Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers, 1994;15:23
- 3 王之康编著. 真空电子束焊接设备及工艺. 北京:原子能出版社,1990:1
- 4 Kenyon N. Effect of austenite on toughness of maraging steel. Welding Journal, 1968;47:193s
- 5 Tsay W L, Chen C, Chan S Li. Effect of ageing treatment on the microstructure and properties of T-250 laser welds. Int. J. Materials and Product Technology, 1995;10(1/2):132

(编辑 马晓艳)

(上接第 42 页)

150 mm 压力容器的纤维强度转化率为 70.86%,容器特性系数 PV/W 值可达 37.4 km。

(3) 对采用进一步优化出的工艺参数所制作的 480 mm 压力容器进行试验,其纤维强度转化率达到 73.26%,容器特性系数高达 37.02 km,破坏断面为筒身段,纵环向纤维呈锯齿状参差破坏的理想状态,纤维与基体之间的界面粘接较好,F-12/RE14 复合材料成型工艺性能可行。

参考文献

- 1 姜作义,张和善. 纤维—树脂复合材料技术与应用. 北京:中国标准出版社,1990:40
- 2 张志纯编译. 纤维混成复合材料之应用. 北京:徐氏

基金会出版,1990:27

- 3 余顺海,唐羽章. 混杂复合材料. 湖南:国防科技大学出版社,1987:170
- 4 赵克熙. 原苏联芳纶复合材料性能及其在固体发动机壳体上的应用. 宇航材料工艺,1995;25(5):8
- 5 林德春,张德雄. 固体火箭发动机材料现状和前景展望. 宇航材料工艺,1999;29(4):1
- 6 王晓洁,张炜,谢群炜. 热塑性树脂改性环氧基配方研究. 宇航材料工艺,1999;29(2):21
- 7 雷海锋,杨建奎,张炜等. 原苏联芳纶纤维性能及初步应用研究. 宇航材料工艺,1994;24(6):58

(编辑 李洪泉)