

300M 低合金钢电子束焊接工艺研究

Research on Electron Beam Welding Procedure of 300M Low Alloy Steel

北京航空制造工程研究所高能束流加工技术重点实验室 郭光耀 李晋炜 韩瑞清

[摘要] 300M 钢优异的力学性能,在航空工业中广泛用作大件结构材料,其中最典型和最广泛的应用是飞机起落架材料。在 300M 钢电子束焊接工艺的研究中,通过采用增加扫描波形的焊接方法,获得了正反面成形的,组织性能优异的 300M 焊接接头,该工艺特别适合管类零件的焊接。电子束焊接工艺为 300M 钢应用的拓展,提供了巨大的助力。

关键词:电子束 焊接 300M 低合金钢

[ABSTRACT] 300M low alloy steel that has excellent mechanical properties, widely used for large structural materials in the aviation industry. For example it is widely used to make the aircraft landing gear. Study on electron beam welding of 300M steel, by the use of scan waveform welding methods, get good the front and back appearance and organization performance of welded joints of 300M, which is especially suitable for welding of pipe parts. Electron beam welding procedure will powerful promote application of 300M steel.

Keywords: Electron beam Welding 300M Steel

300M 合金钢是在 4340 钢基础上改进得到的一种超高强钢^[1],该材料采用精细的热处理工艺,然后在 500K 进行低温回火制备得到,抗拉强度和弹性模量分别为 2000MPa 和 205GPa,具有较高的韧性,断裂韧度为 $70\text{MPa}\cdot\text{m}^{-1/2}$ 。由于 300M 钢优异的力学性能,在航空工业中广泛用作大件结构材料,其中最典型和最广泛的应用是飞机起落架材料^[2-3]。为了获得合格的零件,通常有两种方法,一是完全依赖数控加工,整体加工出所要求的零件;二是采用焊接的方法将各个部分焊接起来,最终获得所要求的零件。第一种方法,比较浪费材料,同时对数控加工要求很高,其次毛坯锻造纤维流线部分切断,疲劳性能表现并不出色;第二种方法,比较节约

材料,对数控加工的要求较低,但是对焊接的要求极高。弧焊等焊接方法易在焊缝中形成夹渣,这些夹渣均是裂纹源导致疲劳性能不好^[4],故采用电子束焊接方法进行焊接,而电子束焊接方法具有能量密度集中、调整范围广、精确可控的优点,且不需要填充材料,避免了外来夹杂物的引入。本文就 300M 钢的电子束焊接工艺进行了相应的研究。

1 焊接试验

本文开展 300M 合金钢电子束焊接工艺研究,通过调整焊接参数,获得质量合格的电子束焊缝,经过 X 射线探伤和金相分析,检验焊缝内外质量,总结焊接规律。

1.1 试验材料

本文所用的测试材料为 300M 钢,母材为 $\phi 250\text{mm}\times 3000\text{mm}$ 规格的棒材。首先根据所要进行的试验及应用前景确定材料的厚度,电子束焊接工艺试验选用 10mm 厚板材,由棒材上通过电火花线切割下料,并进行机械加工而成,试板尺寸为 $200\text{mm}\times 100\text{mm}\times 10\text{mm}$,沿平行于长度方向的方向焊接。将试板平放于工作台上,未加外加拘束。通过调整焊接电压、电流、聚焦电流以及焊接速度等,确定出此种厚度材料电子束焊接的工艺参数,并完成试片和试板的焊接。焊接完成的试板进行 X 光探伤检查,合格的试件切取金相试样分析焊接工艺。依据 HB/Z 315-1998《高温合金、不锈钢真空电子束焊接工艺》和 HB 7608-1998《高温合金、不锈钢真空电子束焊接质量检验》进行相关检验。

本试验用焊接材料为 300M 钢棒材,材料化学成分参见表 1。

1.2 试验设备

焊接设备为本实验室自主研制的 ZD150-15A 型高压定枪电子束焊机,其最大加速电压 150kV,最大焊接

表1 300M钢名义化学成分(质量分数)

%

元素	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Fe
含量	0.38~0.43	0.60~0.43	1.45~1.80	≤ 0.010	≤ 0.010	0.70~0.95	1.65~2.00	0.30~0.50	0.05~0.10	≤ 0.35	余量

电流 200mA,真空室容积为 9m³ (如图 1),具有高速扫描控制系统,能发生各种波形。



图1 ZD150-15A型高压电子束焊接设备

Fig.1 ZD150-15A High voltage electron beam welding equipment

1.3 试验过程

试验过程真空室真空度为 5×10^{-2} Pa,综合考虑了加速电压、焊接电流、聚焦电流、焊接速度等焊接参数^[5],并施加了不同程度的扫描波形,焊接参数参见表 2。

表2 300M钢电子束焊接工艺参数

工艺	加速电压 Ua/kV	焊接电流 Ib/mA	聚焦电流 If/mA	焊接速度 v/ mm·min ⁻¹	扫描波形			
					波形	频率	X轴	Y轴
1	150	35	361	1200	无			
2		39	363					
3		65	361	1500	5#	300	50	50
4		70	361					

2 试验分析

由 300M 钢电子束焊缝外观与横截面形貌(图 2 和图 3)可以看出:在相同焊接速度以及穿透焊接情况下,

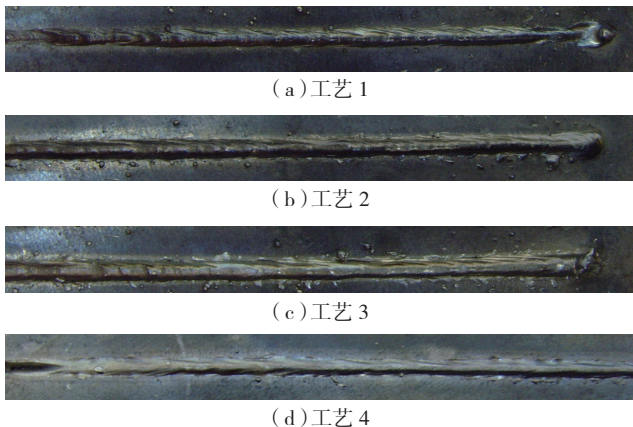
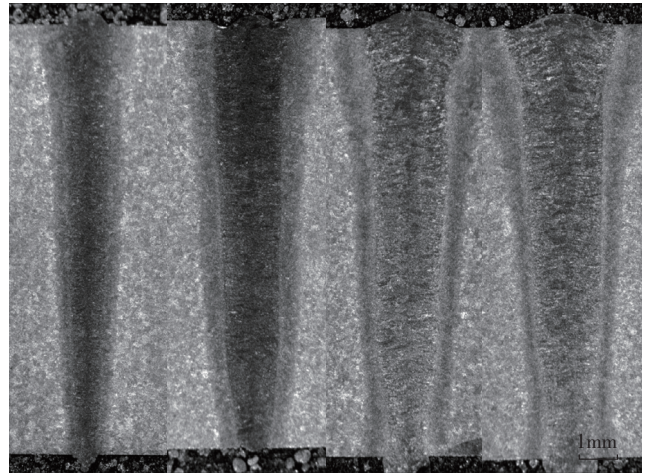


图2 300M钢电子束焊缝外观形貌(焊缝正面)

Fig.2 Surface appearance of EB welding seam of 300M steel (Top view)



(a)工艺 1 (b)工艺 2 (c)工艺 3 (d)工艺 4

图3 300M钢电子束焊缝横截面形貌

Fig.3 Transversal surface of EB welding seam of 300M steel

随着焊接电流的增加,焊缝宽度有增大的趋势。对比表 2 及图 3,可以发现,当电子束焦点位置基本保持不变的情况下,在增加偏摆扫描焊接措施并提高焊接速度后,穿透焊所需焊接电流大幅增加,并且焊缝深宽比略有下降。无偏摆扫描焊缝截面形貌呈现标准的“钉”形,并且在焦点适中时,可达到焊缝两侧边界平行的效果;但该方法不容易实现焊缝正反面同时成形,焊缝正面易出现咬边缺陷,背面则易出现间隔性焊瘤,成形不均匀。偏摆扫描焊缝容易实现焊缝双面成形效果,背面成形连续饱满,同时正面可消除咬边;但偏摆扫描焊接往往需要增大焊接电流,为保证相应的焊缝深宽比,还需要提高焊接速度,因此需要进一步提高焊接热输入量。根据图 3 可以看出,扫描焊接时,焊接束流偏小则焊缝正面与背面宽度存在显著差异,可通过增大焊接电流或调整偏摆扫描幅值进行控制。经过 X 射线探伤检测,以上 4 种电子束焊接工艺焊缝内部质量均可满足 HB7608-1998《高温合金、不锈钢真空电子束焊接质量检验》I 级焊缝标准,探伤结果参见图 4。

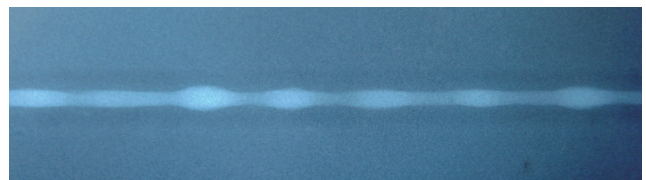


图4 300M钢电子束焊缝X射线探伤底片

Fig.4 Negative film of X-ray detection for EB welding seam of 300M steel

如图 5 所示,300M 钢电子束焊缝表现为在热影响区边界联生结晶,指向焊缝中心生长成粗大的柱状晶组织。这与焊缝初始结晶阶段焊缝两侧温度梯度大,位于

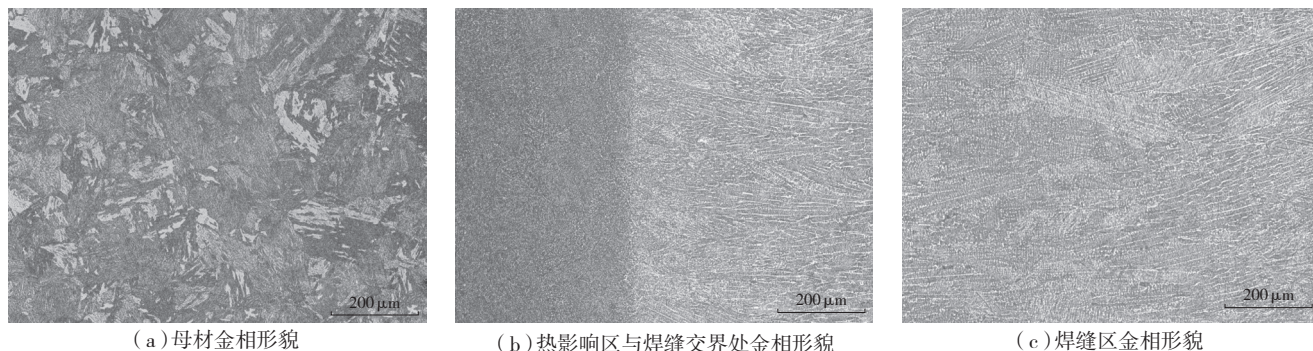
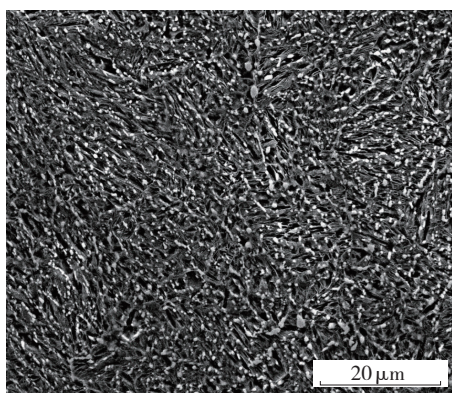


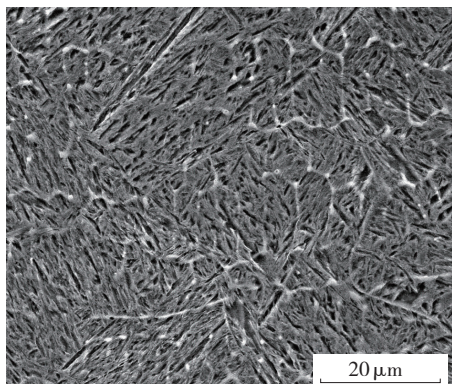
图5 焊接接头各区域金相形貌

Fig.5 Metallographic phase appearance of various areas of EB welding seam

焊缝熔池边缘的半熔化状态晶粒作为焊缝区柱状晶形核的晶核,以“外延结晶”方式由热影响区与熔池的边界处开始向熔池内生长,随后以柱状晶的形式平行于最大温度梯度方向,继续向焊接熔池中以“竞争生长”方式生长,晶内为细针状马氏体组织。从高分辨扫描电镜形貌(图6)来看,母材中存在弥散分布的碳化物析出颗粒,而焊缝中,仅在晶界上有少量碳化物析出颗粒。这是由于电子束焊接属于快速熔凝过程,熔池冷却中,碳化物成分来不及完成“扩散—聚集—长大—析出”的过程。



(a) 母材



(b) 焊缝

图6 母材与焊缝扫描电镜形貌

Fig.6 Appearance of base material and welding seam by SEM

最终,选择了焊接参数4,保证了焊缝焊接的双面成型,背面成形连续饱满,正面咬边消除,无需进一步机械加工,尤其适于管类零件的焊接;同时焊缝的接近一种平行焊缝,底部略窄,零件的角变形较其他参数组大幅减少,零件的残余应力也有一定程度的减少;零件的热输入能量较大,为碳化物的析出赢得了时间,为下一步的热处理提供了有利的条件。

3 结论

(1) 300M 钢电子束焊接无需填充材料,最大限度的保证了接头的性能,无外来夹渣物引入,避免产生裂纹源;

(2) 300M 钢电子束焊缝质量满足 HB7608-1998《高温合金、不锈钢真空电子束焊接质量检验》I 级焊缝标准;

(3) 采用偏摆扫描焊接方法可实现焊缝双面成型效果,背面成形连续饱满,同时正面可消除咬边,质量较好的焊接接头,特别适于管类零件的焊接,如飞机起落架等;

(4) 300M 电子束焊缝组织良好,为后续热处理提供良好的基础。

参考文献

- [1] 赵振业,宋德玉,李向斌,等.一种超高强钢构件抗疲劳实验研究.中国工程科学,2005,7(10):51-55.
- [2] 赵振业,赵英涛,何鲁林,等.先进飞机结构材料的发展.材料工程,1995(1):4-11.
- [3] 李铭.大型飞机起落架制造技术.航空制造技术,2008(21):68-71.
- [4] 宋进兵,邓春明,周克松,等.表面强化300M低合金钢疲劳性能评价及断裂分析.新技术新工艺,2006(2):89-91.
- [5] 林世昌.影响电子束焊接质量的几个工艺因素.第十一次全国焊接会议.2005-10-26.

(责编 亿霖)