

# 30CrMnSiA 钢轴类结构的电子束焊接工艺及力学性能研究

## Process and Mechanical Properties of EB Welding of 30CrMnSiA Steel

中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 林波 李飞 杨宏

[摘要] 30CrMnSiA 钢有较好的力学性能和焊接性能,是常见的航空用材。本课题选取了 30CrMnSiA 厚板材和管材进行电子束焊接,研究了 12mm 和 16mm 锁底焊接的电子束焊接工艺及电子束焊接接头的拉伸性能,并分析了焊接接头的断裂情况。

关键词: 30CrMnSiA 钢 电子束焊接 拉伸 断裂

[ABSTRACT] 30CrMnSiA Steel have good mechanical and welding properties, and it is customarily used for aircraft material. The process of 30CrMnSiA steel welded by EB is introduced, the mechanical properties, and the fracture behaviors of welds of 30CrMnSiA steel with 12mm and 16mm thickness are discussed.

Keywords: 30CrMnSiA Steel EB welding Tensile properties Fracture

30CrMnSiA 钢有较高的强度,较好的塑性,并且具有一定的冲击韧性和良好的焊接性,广泛用来制造机翼接头、起落架作动筒、发动机架、压气机叶片和压气机盘等重要零部件。

飞机零部件的焊接对力学性能要求很高,目前 30CrMnSiA 薄板可以使用焊条电弧焊、埋弧自动焊、二氧化碳气体保护焊和氩弧焊等焊接方法,厚板可以使用自动氩弧焊和电子束焊接。某机型上轴类零件设计要求使用电子束焊接,焊缝等级为一级,零件是重要疲劳关键件。为了实现新焊接工艺方法在航空上的应用,本课题分别选取了 30CrMnSiA 厚板材和管材进行电子束焊接,研究了焊接接头的拉伸性能和接头微观组织,优化了焊接工艺,从而实现了轴类零件的焊接。

## 1 试验方法及条件

### 1.1 试验设备

本试验在北京航空制造工程研究所制造的 ZD150-30C CV65M 高压电子束焊机上进行,其加速电压为 150kV,功率为 30kW,电子束焊机见图 1。



图1 ZD150-30C CV65M电子束焊机  
Fig.1 EB welding machine ZD150-30C CV65M

### 1.2 试验材料及方法

本试验材料为 30CrMnSiA 的板材和管材,厚度为 12mm 和 16mm,该材料的化学成分见表 1。

表1 30CrMnSiA的化学成分 w/%

化学成分					
C	Mn	Si	Cr	Ni	Fe
0.28~0.35	0.80~1.19	0.90~1.20	0.80~1.10	≤ 0.40	余量

焊接试验方法:焊缝为锁底焊接,采用电子束一次焊接成形。

拉伸试验方法:按照确定的焊接参数,焊接接头拉伸性能做了 2 个批次,每个批次 6 根试样,试样焊接后经 X 光检验合格后进行热处理,热处理温度为 890℃,540℃回火,保温 1h,油冷。

拉伸试验在 WAW-100B 拉伸试样机上在室温中进行,按 GB 2651 取样,取样尺寸见图 2。

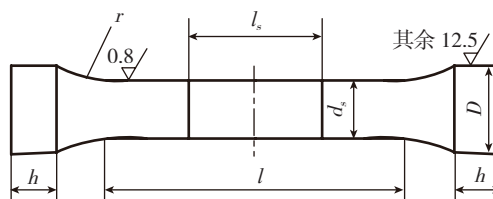


图2 拉伸试样尺寸  
Fig.2 Tensile sample

## 2 焊接工艺的确定

### 2.1 轴类零件焊接的难点

该轴类零件是某机型上的疲劳关键件,焊接厚度为12mm,采用4mm的锁底,这样的焊接厚度用普通焊接方法难以焊透,而零件焊接要求焊接深度在锁底处,但不能穿透。采用电子束焊接主要有4项技术难点:

(1)焊缝背面不能进行打磨,在达到焊接深度要求的同时不能焊透形成塌陷;

(2)焊缝表面留有加工余量,缺陷深度不能超过此加工余量(加工余量为2mm);

(3)焊接时,焊缝处金属容易熔化,造成变形;

(4)焊接深度应控制在12mm~16mm之间,为确保焊接接头力学性能的均匀性,应尽量选取平行焊缝。

### 2.2 焊接参数的选定

电子束焊接参数主要有加速电压、焊接速度、聚焦电流和电子束流,焊接之前根据焊接材料的种类、焊接厚度和零件的设计要求来选择合适的焊接工艺参数。

焊接速度:30CrMnSiA钢含碳量较高,焊接时容易出现裂纹,采用常规的焊接方法时,对大厚度复杂构件进行焊接之前还需预热,焊接之后还需保温以防止产生热裂纹;电子束焊接前不需要预热,但焊接速度不能过快,焊接速度选(8~10)mm/s,焊完后保持真空90min随炉冷。

聚焦电流:12mm~16mm厚度的30CrMnSiA钢在焊接时虽然理论上上焦点、表面焦点和下焦点都可以,但考虑到平行焊缝力学性能好,零件变形小,选用零件厚度1/3~1/2的下焦点时比较容易得到平行度较好的焊缝。

加速电压:ZD150-30C CV65M高压电子束焊机最高加速电压为150kV,钢材的最大厚度可达到120mm,故12mm~16mm厚度的30CrMnSiA钢可用较低的加速电压,选用加速电压为120kV。

电子束流:试验时先选用12mm的平板焊接,记录试板点透时电流*a*,再在16mm平板上焊接,记录试板点透时电流*b*,管型试样件锁底对接焊时,电流在*a*~*b*进行选择,通过调整束流使焊接深度在锁底根部1/2~2/3最佳。

### 2.3 焊接变形的控制

热胀冷缩以及焊接各阶段由热胀冷缩造成的内应力的复杂变化是焊接变形的原因。

为了控制焊接中的变形,经过理论分析和大量的试验,我们采取了以下3种措施来控制变形:

(1)严格按照GJB1718电子束焊接中有关装配的要求执行,间隙≤0.1mm,错位量≤0.1mm。零件尾部

较重,使用带滑轮的托架托起;

(2)管型零件焊接前需要点焊和封焊定位,采用8点对称点焊定位,使用1/2焊接电流大散焦封焊;

(3)在零件尾端加一个预紧力,有利于焊缝收缩。

### 2.4 板材试验件的焊接

根据30CrMnSiA板材试验件的焊接试验结果,初步制定了30CrMnSiA管材的焊接工艺方案。经过大量试验,选用了如表2所示参数,焊缝形貌见图3,焊缝深度在锁底根部1/2~2/3,深度合适,整个焊缝较平行,可以进行管型试验件的试验。

表2 30CrMnSiA电子束焊接焊接工艺参数

加速电压 / kV	聚焦电流 / mA	电子束流 / mA	焊接速度 / (mm·s <sup>-1</sup> )
120	1750 ~ 1765	42 ~ 46	8

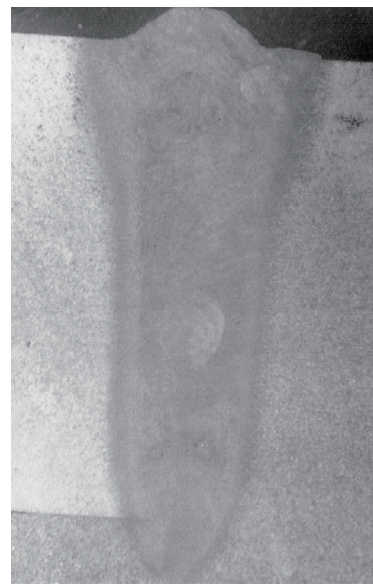


图3 焊缝宏观形貌

Fig.3 Macroscopical appearance of weld shape

### 2.5 管型试验件的焊接

我们采用以上焊接参数焊接管型试验件时,发现收弧部分焊缝塌陷严重。经分析,焊接时,管材的散热方式和板材不一样,直接使用板材的参数进行焊接,在收弧部分没改变热输入的情况下会焊漏,起弧部分未焊透,达不到检测要求。

针对这种情况我们采取了相应的措施:一是焊接时起弧部分加长,收弧部分也加长;二是焊接收弧部分提前将电子束流降低。

按照改进的措施进行试验件的焊接,得到平板上的焊缝形貌,没有焊漏和未焊透部分,焊缝经X光检测达

到一级焊缝标准,在热处理后再一次经 X 光检测后达到标准。

### 3 拉伸性能结果及分析

#### 3.1 拉伸性能结果

拉伸性能试验结果见表 3。从 30CrMnSiA 电子束焊接接头的拉伸强度可以看出,焊缝强度均达到母材的强度,拉伸试验 1# 试样有 4 根断裂在焊缝区域,2 根断裂在母材;2# 试样有 3 根断裂在焊缝区域,3 根断裂在母材。延伸率基本接近母材,其中有 3 件试验件延伸率偏低。

#### 3.2 焊接接头断裂位置及形貌分析

对焊接接头断裂位置及宏观形貌进行分析,有以下 3 种情况:

(1) 断裂在母材,断口呈银灰色,颈缩现象明显,断口粗糙,分为中心纤维区和边缘剪切区(图 4(a)),其中 5 件试样的拉伸强度和延伸率与母材基本一致;

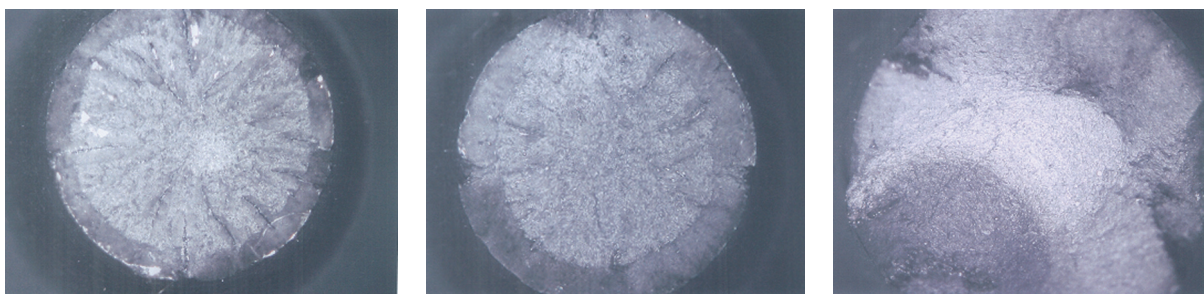
(2) 断裂在焊缝,断口形貌同(1)(图 4(b)),其中 4 件试样拉伸强度和延伸率接近母材;

(3) 断裂在焊缝,断口呈灰色,无明显颈缩现象,断口高低不平,断裂源区在热影响区或者焊缝区有明显气孔的区域(图 4(c)),其中 3 件试样(1-3,1-6 和 2-6)强度接近母材,但延伸率较差。

表3 焊接接头拉伸性能结果

编号	强度 $\sigma_b$ /MPa	延伸率 $\delta_5$ /%	断裂位置	
母材	1160	13	母材	
1#	1	1300	13.5	母材
	2	1300	13.5	母材
	3	1300	8.0	焊缝
	4	1300	12.5	焊缝
	5	1300	10.5	焊缝
	6	1300	6.0	焊缝
2#	1	1280	14.5	母材
	2	1280	10.5	焊缝
	3	1280	13.0	母材
	4	1280	10.5	焊缝
	5	1280	13.0	母材
	6	1280	9.0	焊缝

对焊接接头以上 3 种典型断口进行扫描,3 种断口对应的微观形貌有 3 个特点:(1) 断在母材杯锥状断口,典型的韧断,主要为穿晶断裂(图 5(a));(2) 断在焊缝区锥状断口,不典型的韧断,有少量的沿晶断裂,断口组织比较粗大(图 5(b));(3) 断在焊缝区不规则断



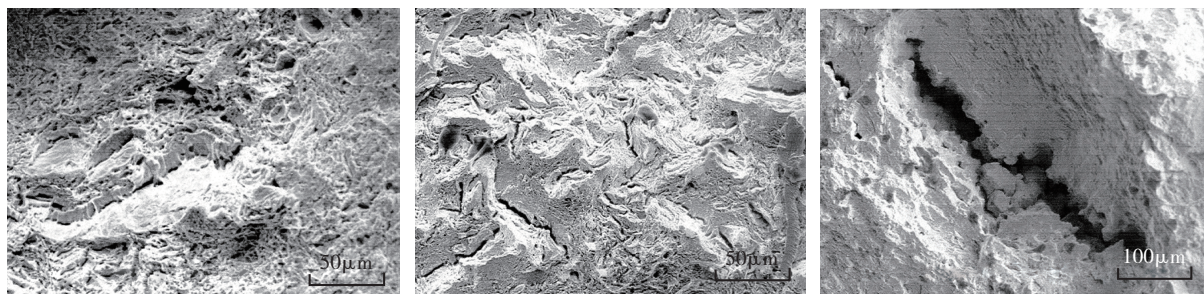
(a) 断在母材杯锥状断口

(b) 断在焊缝区杯锥状断口

(c) 断在焊缝区不规则断口

图4 焊缝断口形貌

Fig.4 Fracture appearance of EB welded joint



(a) 断在母材杯锥状断口

(b) 断在焊缝区锥状断口

(c) 断在焊缝区不规则断口

图5 焊缝区扫描电镜形貌

Fig.5 SEM of EB welded joint

(下转第 122 页)