

## 高强钛合金TIG 焊接工艺研究

## TIG Welding of High-Strength Titanium Alloy

中国人民解放军第四零八工厂 周世明

**【摘要】** 进行了高强钛合金 Ti17 TIG 焊接接头力学性能测试。结果表明, Ti17 焊缝为针状组织, 硬度低于母材; HAZ 组织明显长大, 硬度高于母材。接头拉伸时为韧性断裂, 接头延伸率比母材高, 接头拉伸强度达到母材的 75%。

**关键词:** Ti17 合金 TIG 焊 接头性能

**【ABSTRACT】** The mechanical properties of high-strength titanium alloy joint are tested. The result shows that the welding seam microstructure of Ti17 exhibits needle morphology, with the hardness less than that of the base metal, whereas the microstructure in the HAZ shows obvious grain growth and the hardness higher than that of the base metal. The fracture of the joint is ductile, with higher elongation than that of the base metal and 75% the fracture strength of the base metal.

**Keywords:** Ti17 alloy TIG welding Joint properties

钛合金比强度高、比刚度大, 中低强度钛合金已在国防工业中广泛应用, 既减轻了装备的质量, 又提高了

其综合性能。而强度要求高的零部件, 目前一般用高温合金或特种钢制造, 为进一步提高其装备性能, 近年来国内外非常重视高强度、轻质材料的研制与开发, 其中高强度钛合金是很重要的研究领域。

20 世纪 90 年代, 西方发达国家研制出的高强度钛合金应用于新型发动机, 显著提高了发动机的效率。我国在新型装备研制中, 自行研制出了近  $\beta$  热强钛合金 Ti17, 其成分近于 Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr, 将用于制造国防工业关键部件。因此, 开展高强钛合金 Ti17 的 TIG 焊接工艺试验研究, 将为高强度钛合金在国防工业中的应用提供技术储备, 具有非常重要的意义。

本文进行了 Ti17 合金的 TIG 焊工艺实验, 利用 X 射线探伤检测焊接质量; 用金相显微镜、扫描电镜分析接头组织及拉伸断口形貌; 用万能试验机测试接头性能。

## 1 试验材料、方法及过程

### 1.1 试验材料

母材及焊丝均采用 Ti17 合金, 其化学成分见表 1。焊丝规格为  $\phi 2\text{mm}$ , 试件包括以下几种:

表 1 Ti17 合金的化学成分

w/%

Ti	Al	Sn	Zr	Cr	Mo	O	Fe	C	N	H
基体	4.93	2.09	1.94	3.94	4.02	0.086	0.11	0.012	0.008 3	0.003 1

(1)  $\phi 6 \times 47\text{mm}$  标准试件(符合 HB5413-96), 用于母材性能、拉伸断口分析;

(2) 平板试件  $120\text{mm} \times 60\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ , 用于 Ti17 合金对接焊接头组织、硬度及质量研究;

(3) 圆柱试件  $\phi 8\text{mm} \times 26\text{mm}$ , 用于 Ti17 对接焊, 焊后加工成  $\phi 6 \times 47\text{mm}$  的标准试件(符合航空标准 HB5413-96), 进行接头性能、拉伸断口分析。

### 1.2 试验方法及过程

(1) 焊前准备。

将加工好的待焊试件、焊丝, 用细砂纸进行人工打磨, 然后进行酸洗、水冲及烘干, 并对待焊处进行刮削。

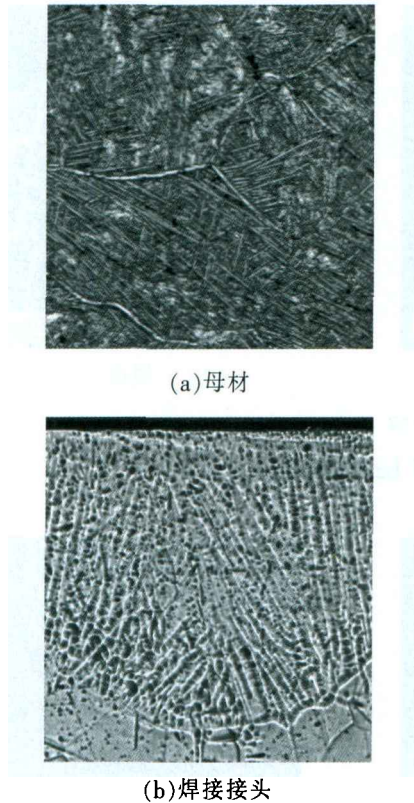
(2) 焊接及焊后检测分析。

改变焊接电流大小, 进行平板及圆棒手工对接 TIG 焊工艺试验, 观察焊接过程, 用 X 射线探伤按照 HB5376-87 进行接头质量检测, 确定较好的焊接工艺。然后用金相显微镜、扫描电镜分析接头组织及拉伸断口形貌, 用显微硬度仪测试接头硬度, 用万能试验机测试接头性能。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 组织观察

图 1(a)、(b) 分别为 Ti17 母材组织和 TIG 焊接头

图1 Ti17合金显微组织( $\times 500$ )Fig.1 Macrostructures of Ti17 alloy ( $\times 500$ )

组织金相图。

母材区为网篮组织,个别区域存在残留大晶界,焊缝区为针状组织,热影响区(HAZ)组织显著长大。

## 2.2 X射线探伤

按照 HB5386-87 标准对平板及圆柱试件进行 X 射线探伤质量检测。结果表明:对于厚度为 3.5mm 平板对接试件,在焊接电流为 140~150A 时,焊缝的正反面成型和熔透性均较好,接头质量符合航空一级标准;在焊接电流低于 140A 时,焊接接头出现未熔合现象。对于直径为 8mm 圆柱对接件,在焊接电流为 65~75A 时,接头质量达到航空一级标准;在焊接电流大于 75A 时,出现焊穿现象;而焊接电流小于 65A,接头存在未熔合现象。

## 2.3 性能测试

### 2.3.1 拉伸性能测试

母材标准试件及圆柱试件在较好工艺条件下 ( $I=65\sim 75A$ )焊接接头的拉伸试验按照 HB5413-96 进行,其拉伸性能平均值结果见表 2。从接头拉伸结果看出,接头强度达到母材的 75%,延伸率比母材好。

### 2.3.2 硬度测试

表2 接头及母材拉伸性能

试件	拉伸强度/MPa	延伸率/%
接头	862.6	10
母材	1 150	8.5

为指导焊后加工,测量了平板试件在不同焊接参数下,沿垂直焊缝方向接头的 HRC 硬度分布曲线,见图 2,其中  $X$  为测试点到焊缝中心的距离。

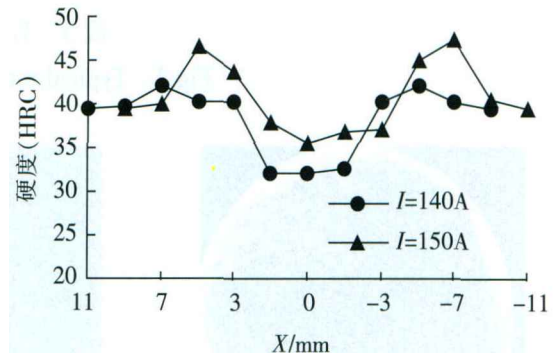


图2 接头的硬度分布

Fig.2 Hardness distribution of welding joint

从图 2 可以看出,焊缝区硬度较母材(HRC38-40)低,HAZ 硬度较母材高。在大电流( $I=150A$ )焊接时,接头硬度最高达到 HRC48.6,在小电流( $I=140A$ )焊接时,接头硬度最高达到 HRC43.1。所以低电流焊接时,便于进行后续机加工。

## 2.4 断口分析

母材标准试件及圆柱试件对接焊件,拉伸的典型断口形貌如图 3、4 所示。

从图 3 与图 4 可以看出,不论 Ti17 母材还是其焊接接头,拉伸断裂均为韧性断裂。从宏观上看,母材拉伸断口起伏较小;从微观上看,母材断口各区域韧窝较浅。而焊接接头断口各区域韧窝较深,且相对比较均匀,同时印证了接头延伸率高于母体的试验结果。

## 3 结论

(1)Ti17 合金 TIG 焊焊缝区为针状组织,硬度比母材低;HAZ 区组织明显长大,硬度比母材高,随着焊接电流的降低,接头硬度最高值降低,硬度变化趋于平缓,但焊接电流过低会出现未焊合缺陷。

(2)圆柱试件在较好工艺条件下( $I=65\sim 75A$ )获得的 Ti17 合金焊接接头拉伸时为韧性断裂,接头延伸率

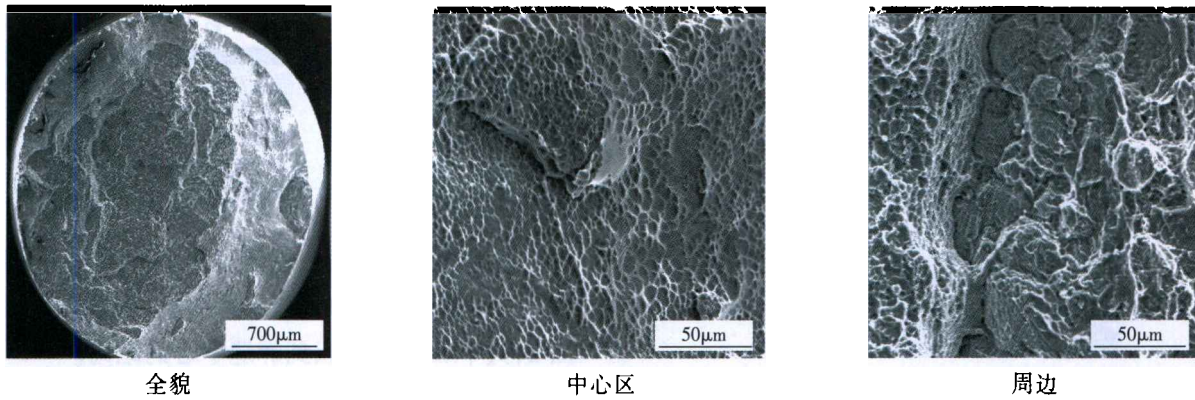


图3 Ti17母材拉伸典型断口

Fig.3 Typical tensile fracture of Ti17 base metal

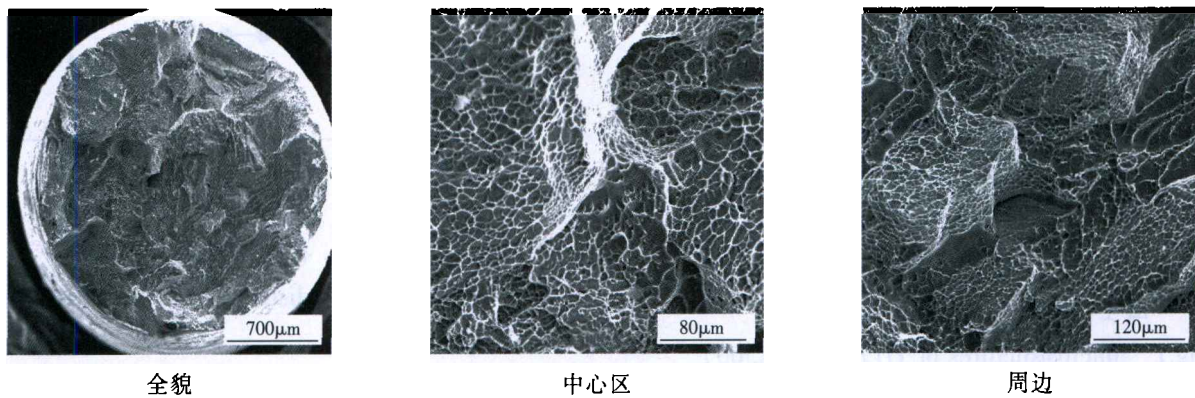


图4 Ti17焊接接头拉伸典型断口

Fig.4 Typical tensile fracture of Ti17 welding joint

比母材略高,接头拉伸强度达到母材的75%。

(3)Ti17合金手工TIG焊时, $\phi 6 \times 26\text{mm}$ 圆柱试件对接焊最佳电流  $I=65 \sim 75\text{A}$ ;  $120\text{mm} \times 60\text{mm} \times 3.5\text{mm}$  平板试件对接焊最佳电流  $I=140 \sim 150\text{A}$ 。

#### 参 考 文 献

- [1] 朱知寿. 钛合金等温锻造技术. 钛工业进展, 2006(5): 45-48.
- [2] Zhou Ronglin. Study on arc-ultrasonic TIG Ti alloy. China Welding, 2005(3): 56-60.
- [3] 宁兴龙. 21世纪航空航天技术用材料的基本发展方向. 稀有金属快报, 2001(4): 1-6.
- [4] 朝明臣. 钛在美国军工中的应用. 钛工业进展, 2001(2): 28-32.
- [5] Boyer R R. Titanium usage on commercial aircraft. 材料工程, 1992(2): 1-3.
- [6] Colling E W. Material properties handbook titanium alloys. ASM, 1994: 685-692.

(责编 孟十)

#### 我国将在西安建设民用航天产业基地

2008年1月18日,西安市政府宣布,中国将在西安建设民用航天产业基地,并将借此加快民用航天技术的创新和应用。这是我国政府继去年7月同意在上海建设国家民用航天产业基地后,在民用航天产业集聚化发展上采取的又一重要措施。

近年来中国的航天产业发展迅猛。去年国务院批准了由国防科工委正式发布的《航天发展“十一五”规划》,这是中国航天领域第一个全面发展规划。建设民用航天产业基地,有利于优化整合航天资源,进一步提升中国的航天技术创新和产品研制能力。

西安国家民用航天产业基地的政府官员赵红专说:“我们将把基地建设成为世界知名的民用航天基地。到2012年,基地工业总产值要达到200亿元,形成10~20个有自主知识产权的名牌产品及5~8家在国内外具有较强竞争力的龙头企业。”(本刊记者 晓霏)