

# 钛金属的激光焊接

李清修 易搏藤 万乃斌

(天津师范大学物理系)

**提要:** 针对钛金属的性质,做了氧、氮、氢和空气对钛金属焊区的影响的试验,以及惰性气体保护焊接的工艺试验。试验结果表明了采用惰性气体保护焊接的必要性。

## Laser welding of titanium

Li Qingxiu, Yi Boten, Wan Naibin

(Department of Physics, Tianjin Normal University)

**Abstract:** A series of tests have been made to examine the effects of  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$  and air on laser welding of titanium and inert gas was used to protect the welding section. Our experimental results indicate the necessity of using inert gas as a protective measure in obtaining satisfactory welding effects.

### 一、试验结果

#### 1. 氧的影响

分别以不同量的氧加入氩中,然后分别在這些不同成份的混合气体中进行焊接。发现焊区表面颜色随氧含量增多,由原银白色变为黄色,再变到紫蓝色。当氧量很大或纯氧时,就变为暗灰色。焊区金属的硬度和脆性,随氧量增加而增大,塑性下降,产生的裂纹和气泡也越多越严重,焊区金属显得松散。图1是焊区严重氧化时产生的裂纹。

在纯氧喷吹进行激光焊接时,有时钛会剧烈氧化,炽热燃烧气化。

为保证焊区的机械性能,焊区含氧量必须严格控制在小于0.15%。

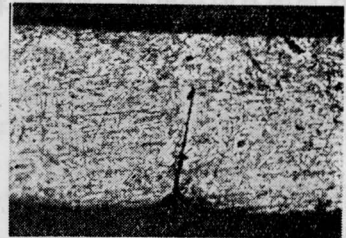


图1 焊区严重氧化时产生的裂纹(放大40倍)

#### 2. 氮的影响

以不同的氮加入氩中,然后分别在這些不同的混合物中进行焊接。发现焊区表面由原来银白色变为金黄色,随氮量的增加,颜色稍有加深。焊区金属硬度和脆性也随之增大,塑性变小。硬脆化比氧的影响大。随氮量的增多焊区产生的裂纹、气泡越多越严重。

收稿日期: 1982年4月26日。

因此氮在焊区的含量必须控制在小于0.05%，才能保持焊区的良好机械性能。图2是焊区严重氮化时产生的贯穿性裂纹。



图2 焊区严重氮化时产生的贯穿性裂纹  
(放大40倍)

### 3. 氢的影响

同上一节一样，在氢氮不同比例的混合气体中进行焊接。发现焊区金属状态与用纯氮保护焊几乎一样，没有发现裂纹和气泡。经弯曲、拉伸、摔打试验，没有发现机械性能有不同。只是氢的存在显得焊区温度较高，气化较多，熔坑较深。

4. 在空气中(或氧、氮、氢等的混合气体中)焊接，发现在这种条件下对钛焊区的影响更加显著。焊区冷却时可听到爆裂的咔吧声，焊区金属严重脆化，产生裂纹和气泡，严重时焊区周围有时会出现一些蘑菇状体，如图3所示。



图3  
(放大40倍)

5. 用纯氮保护，对在真空中退火的钛材缝焊，在这种条件下没有产生裂纹、气泡，焊区呈钛金属本来的银白色。焊区金属性能良好，抗拉强度达42千克/毫米<sup>2</sup>，密封性达到 $\sim 5 \times 10^{-9}$ 托升/秒，它很有希望制作为心脏起搏器等仪表器件的密封外壳。

## 二、焊区状况分析

### 1. 裂纹产生的原因

激光焊接是非平衡快速加热和冷却过程。

金属结晶过程中潜热释放不均，可引起晶粒的表面张力和表面能的积聚现象。加上金属中不可避免会有些杂质存在，致使金属原子、晶格点阵不能按理想的情况整齐排列。因此造成晶格畸变等缺陷，产生超显微裂纹，它是形成裂纹的胚核。仅限于这些少量的超显微裂纹对金属的性能一般还影响不大。最主要的是焊接过程中，氧、氢、氮等的大量侵入，使这种情况严重扩展。成为有害的裂纹。

### 2. 气泡产生的因素

(1) 焊件金属内部含有较大的氢、氧、氮、碳或结晶水等。

(2) 焊件被氢、氧、氮或水气以及尘埃、油污等污染，或在这种环境中焊接加工，在焊区中容易产生诸如CO、H<sub>2</sub>O、H<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>等气泡。在氧和氮含量较大的气体中焊接试验时，都发现有严重的气泡产生，如图4所示。

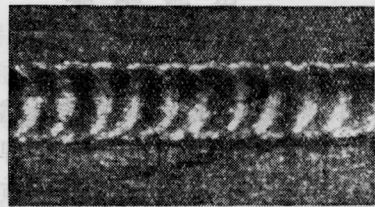


图4  
(放大40倍)

但在氢的焊接试验中，尚未发现有肉眼可见的气泡，焊区性能与纯氮保护焊的焊区，经弯曲、拉伸、摔打，在抗拉强度、塑性和冲击韧性上均无明显区别。原因可能是钛材含碳等有害元素少，激光作用时间又很短。在冷却过程中氢被驱赶到焊区中央高温区逸出表面，因此，氢的侵入不多，焊区含氢量少，或气

泡和钛氢化合物来不及大量形成。

(3) 焊件的对接面不平整,并有杂质、灰尘、油脂等污染,对气泡的形成,影响更是显著和直接。

(4) 焊接的加热和冷却速度不适当。

(5) 当焊接的激光能量密度控制在正好熔透焊件厚度时没有发现气泡,若熔深小于焊件厚度,对于在大气中焊接的焊区,气泡大多产生在焊斑底部和周壁的熔合线内侧,如图3所示。对于在氧氩或氮氩混合气体中的焊接,气泡大多产生在焊区中心,如图2所示。这可能是由于氧或氮吹拂焊区表面,使金属液体表面首先凝固一层钛的氧化物或

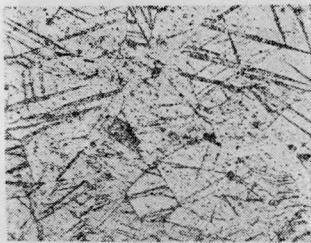


图 5

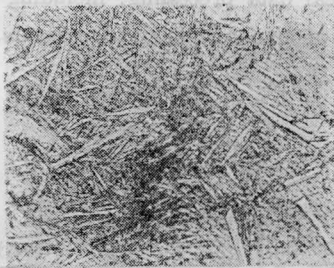


图 6

(上接第 787 页)

量。它还避免了量热法的一个麻烦,即要在一个高的背景温度上去测量一个微小的温度变化的过程。当然,光声法是一种相对测量,单用这种方法是不能确定样品对光的吸收系数以及样品热参数的绝对值的,除非配以其它方法,在一个标准条件下,进行校准。

### 参 考 文 献

[1] L. B. Krenzer, C. K. N. Patel; *Science*, 1971,

氮化物,它们的熔点分别约为 2000°C 和 2940°C,都高于钛的熔点。因此,熔区中的气体被封闭造成气泡。

### 三、焊区的金相结构

钛金属具有同素异晶转变现象,在 885°C 以下为密集六方晶体,称为  $\alpha$  钛;在 885°C 以上为体心立方晶格结构,称为  $\beta$  钛。合金元素的加入以及冷却速度会影响这个转变温度。

下面对试验(5)的焊区进行讨论,钛从高温冷却到低温过程中产生  $\beta \rightarrow \alpha$  相变。 $\alpha$  钛的  $\beta/\alpha$  相变点,由于激光焊接的急冷有点下降。但过冷相变的组织与缓冷相差不多,所产生的  $\alpha$  相由于急冷其结晶内部有些变态,例如产生层合缺陷,或是孪晶、滑移等晶体缺陷。是针状组织,称为  $\alpha'$  相,或称钛的马氏体,如图 5~7 所示。有些焊区表面有较明显的台级状纹道,它可能是马氏体相变时切变倾动的结果。焊区金属的性能如所测试的一样,它比母材的硬度稍有提高,塑性和韧性有些下降,但变化不大。可焊性还好。



图 7  
(放大 100 倍)

45, 173

- [2] R. A. McFarlane, L. D. Hess; *Appl. Phys. Lett.*, 1980, **36**, 137.
- [3] P. S. Bechthold *et al.*; *Solid State Commun.*, 1980, **36**, 225.
- [4] Svein Otto Kanstad, Per-Erik Nordal; *Infrared Phys.*, 1979, **19**, 413.
- [5] M. A. A. Siqueira *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1980, **51**, 1403.
- [6] O. P. Christensen *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1974, **45**, 4954.