

TC1和TC3钛合金的焊接性研究

北京航空学院 邹莱莲

一、前言

钛合金在工业中的应用日益增多,尤其在化工、航空、宇航工业中,更倍受重视。目前,我国常用的钛合金有TA7、TC1、TC3等。众所周知,钛合金具有较活泼的化学性能,易与氢、氧、氮等元素发生作用,从250℃开始吸氢、从400℃开始吸氧、从600℃开始吸氮。因而,焊接钛合金必须注意对加热区的保护。为了避免钛合金与空气中的各种气体起作用,常用的熔化焊方法有:氩弧焊、等离子焊、真空电子束焊。其中氩弧焊必须采用适当外加保护措施或在充氩室中焊接。在我国,广泛应用氩弧焊焊接钛合金。但是,对氩弧焊焊接钛合金时保护加热区的关键众说纷云,对于焊接规范的研究也甚少。本文即针对上述问题以TC1、TC3钛合金为试验材料,进行了相应的研究,试图以此推动钛合金焊接工艺的研究。

二、试验材料及试验方法

试验材料:TC1(Ti-2Al-1.5Mn)、TC3(Ti-5Al-4V)钛合金,均采用1mm厚的退火状态板材,焊件尺寸为70×150mm。

试验方法:采用自动钨极氩弧焊,焊接夹具可使焊缝背面通氩气保护;焊枪后加拖罩保护,焊件为不留间隙的对接接头(不加填充焊丝)。

焊接接头的弯曲试样见图1。弯曲试验在5吨材料试验机上进行。

各规范所焊的焊接接头均进行金相分析,并采用扫描电镜对弯曲试样断口进行分析,以揭示接头性能变化的内因。

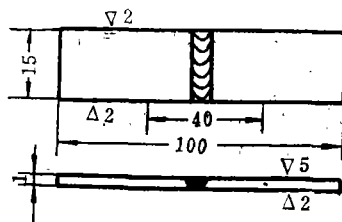


图1 弯曲试样简图

三、试验结果及分析

1. 焊接试验

将厚度为1mm的TC1、TC3钛合金板材剪切为70×150mm的试件,焊前进行酸洗,酸洗液为:10%HF+30%HNO₃+60%H₂O。试件在装入焊接夹具前,修锉待焊边缘,以细砂纸打磨,最后用丙酮擦拭干净,并在试件两端装入引弧板和收弧板。

焊接采用正、反面均通氩气保护的自动钨极氩弧焊,为了保护高于400℃的加热区域不受大气污染,采用尾拖罩的保护措施,拖罩尺寸为100×22mm。

焊接规范见表1。钨极直径为2mm,钨极伸出长度为4~5mm,电流极性为直流正接。

表1 TC1、TC3钛合金焊接规范

规范	焊接电流 A	电弧电压 V	焊接速度 mm/min	焊接线能量 J/cm
I	56~58	10	255	29.28~30.33
II	48	10	180	35.56

注:焊接接头型式:无间隙对接,焊件由银铜垫板的夹具紧固。

焊后观察焊缝、热影响区以及试件背面受热区的表面质量,以银白色为优质。

2. 改变焊枪结构和焊枪喷嘴大小的工艺

试验

由于焊接钛合金的保护问题至关重要,因而,不少焊接工作者很重视焊枪的结构设计,为了考证焊枪结构和喷嘴对焊接钛合金的保护效果,本研究分别采用了两类焊枪:一种是一般的氩弧焊焊枪;另一种则采用具有双层透镜、结构复杂的钛合金氩弧焊焊枪。对于每一类焊枪分别配以不同大小的喷嘴,以试验焊接保护效果,试验结果见表2。

表 2 焊枪型式和喷嘴直径对保护效果的影响

焊 枪 型 式	喷嘴直径 ϕ mm	气 体 流 量			保 护 效 果
		Q嘴	Q反	Q拖	
		l/min			
一般氩 弧焊焊 枪	11	10	3	12	在热影响区边缘局部呈彩色(包括紫、蓝、黄等颜色)
	14	10	3	12	银白色
	18	10	3	12	银白色
双层透 镜的钛 合金焊 枪	11	10	3	12	在拖罩边缘处局部呈紫、蓝、黄等色
	14	10	3	12	银白色
	18	10	3	12	银白色

注:焊接电流:48A。电弧电压:10V。焊接速度:180mm/min。材料:TC3(1mm)。接头型式:无间隙对接。

当去除尾拖罩,再以同样的规范焊接时,不论用哪一号喷嘴,这两类焊枪均不能获得满意的焊接接头。当用 $\phi 11\text{mm}$ 的喷嘴施焊时,其焊缝及热影响区均呈紫、蓝、黄等彩色,采用 $\phi 14$ 或 $\phi 18\text{mm}$ 的喷嘴焊接时,焊缝及热影响区则呈浅蓝色。

由以上试验结果可知,只要焊枪的结构满足一般氩弧焊的要求,加以尾拖罩,就可以用来焊接钛合金,而无需特殊设计、加工复杂的枪体。试验还证明,若定点焊时(即引弧后,

焊接小车不移动所得的焊点),焊枪能保证获得保护效果良好的焊点,则此焊枪也适于焊接钛合金。

由表2可见,焊接钛合金时,焊接质量与喷嘴直径大小有关,以采用直径等于或大于14mm的喷嘴为宜。

3. 弯曲试验

将焊件按图1加工成弯曲试样,试验在5吨材料试验机上进行。试验结果列于表3。

表 3 厚度1mm的TC1、TC3钛合金焊接接头的弯曲试验结果

试验材料	试样号	焊接电流 A	电弧电压 V	焊接速度 mm/min	焊接线能量 J/cm	弯曲角度	注
TC1	001	58	10	255	30.33	97 96.5~97.5	
	002	48	10	180	35.56	68 67~68.5	
	003	56	10	255	29.28	80 79~81.5	反面未加保护
	004	—	—	—	—	180	母材
TC3	005	48	10	180	35.56	35 35~35.5	
	006	—	—	—	—	57	母材
	007	56	10	255	29.28	43 42.5~43	

注:喷嘴直径 $\phi 14\text{mm}$ 。Q嘴=10l/min, Q反=3l/min。Q拖=12l/min。每组试样3~5块,弯曲角度所示分子为平均值,分母为最小和最大值。

由表3可见,与TC3钛合金相比,TC1钛合金具有较好的塑性,对于同一合金,焊接接头的弯曲角随着焊接规范的变化有较大的差异。当焊接线能量由30.33J/cm变为35.56J/cm时,TC1合金焊接接头的弯曲角将由97°下降至68°,与此类似,TC3钛合金焊接接头的弯曲角随焊接能量的增加也有所降低。若保护条件不同时,也会影响焊接接头的弯曲角,表中试样003即属于此类情况。该组试样虽然采用了较低的焊接线能量,却因为焊缝反面未加保

护,而使焊接接头弯曲角减小。

不同母材的性能差异主要决定于它们的化学成分。TC1钛合金中,仅含有约2%的铝和1.5%的锰。加入铝元素,可强化钛合金,但对塑性影响不大;锰属于 β 稳定元素,它与 β 相有限固溶并有共析转变,但是,共析转变速度很慢,在一般的冷却速度下,共析转变不能进行。因此,TC1虽属 $(\alpha+\beta)$ 型钛合金,由于 β 稳定元素量少,且其共析转变速度慢,故其性能与 α 型钛合金相差无几,表现为既具有较高的强度,又有甚好的塑性。TC3钛合金中,除含有5%左右的铝外,还加入4%左右的钒,钒属于 β 稳定元素,钛中加入钒,可扩大 β 相区范围,提高 β 相的稳定性,它与 β 相无限固溶而与 α 相有限固溶,加入一定数量的钒,使TC3钛合金的室温组织为 $(\alpha+\beta)$,合金强度进一

步提高,但塑性不如TC1合金。

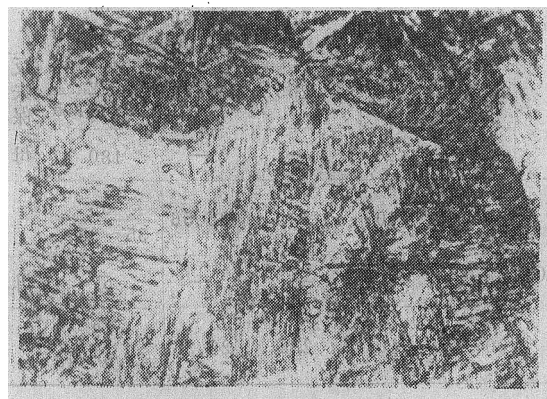
当焊接的保护条件改变时,由于钛合金在高温下会吸氧、氢、氮等,显然会影响焊接接头的弯曲角大小。

为了进一步揭示焊接规范对弯曲角影响的内在因素,本研究对不同规范下的焊接接头进行了金相分析和弯曲试样的断口分析。

4. 金相分析

图2为TC1和TC3钛合金焊接接头的金相照片,其中,a为TC1焊缝组织,b为TC1接头的粗晶区组织,c和d分别为TC3的焊缝和粗晶区组织。

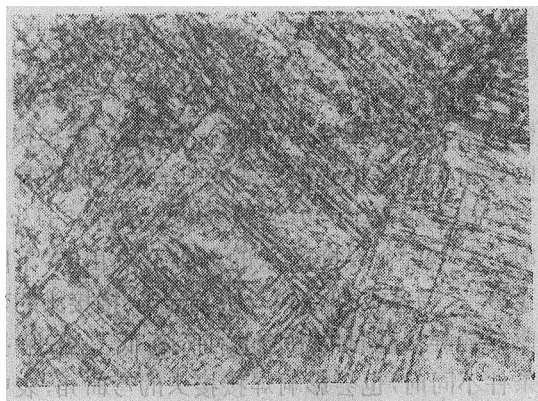
由图2可见,在所试验的两种钛合金焊接接头中,都有针状 α' 相存在,所不同的是,TC3的焊缝和粗晶区中(图2c、d) α' 相更多、更显著,而在TC1的焊缝中(图2a),除有 α'



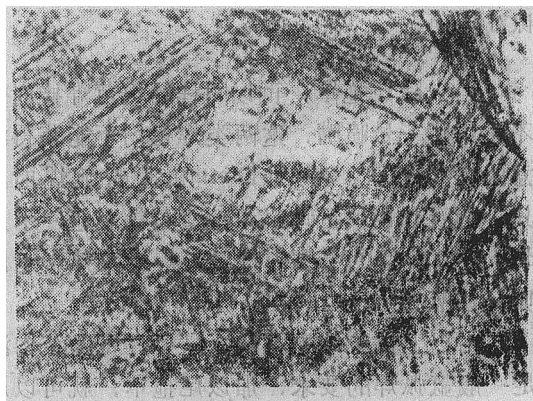
a. TC1焊缝组织



b. TC1粗晶区



c. TC3焊缝组织



d. TC3粗晶区组织

图2 TC1和TC3焊接接头金相组织

×250

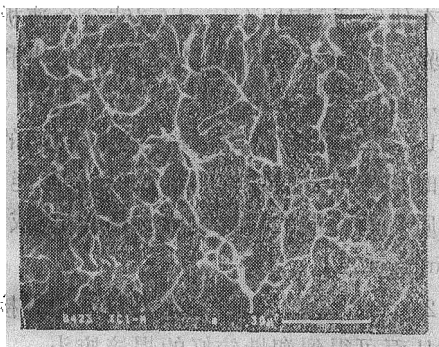
相外,还可以见到魏氏体组织。其次,比较图2b和d可见,TC1比TC3具有更大的热敏感性,在图2b中,晶粒长大时的原始晶界清晰可见。

5. 断口分析

为了进一步揭示弯曲试样断口的性质,进行了扫描电镜断口分析。分别对TC1和TC3钛合金母材和不同焊接规范所焊的弯曲试样,进

行了断口分析。图3为扫描电镜断口分析结果,为了便于比较,测试所用的试样号即为弯曲试样号,表4列出了分析比较结果。

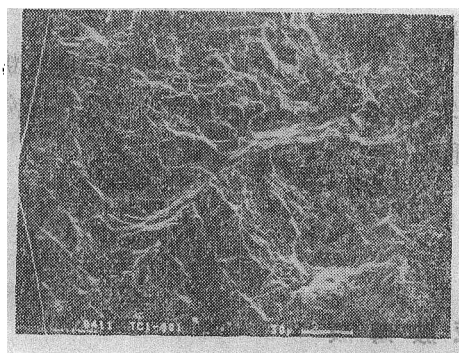
由图3和表4可见,TC1、TC3的母材均属韧窝断裂(图3a、d)。从不同焊接线能量所焊的TC1焊接接头的断口形貌可见,它们均为准解理断裂,这是一种穿晶断裂,由许多单独



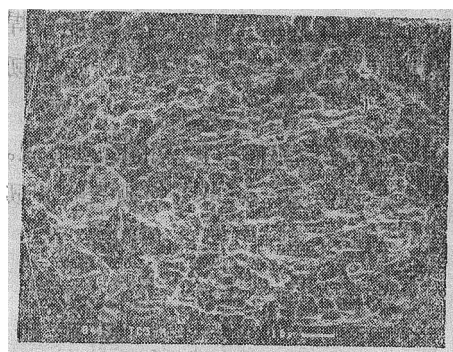
a. TC1母材断口形貌



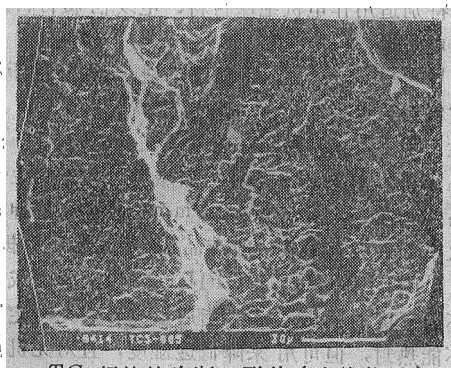
b. TC1焊接接头断口形貌(大线能量)



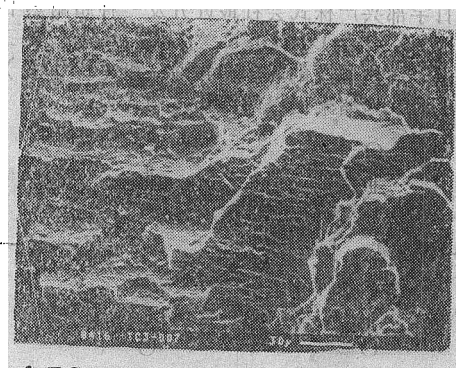
c. TC1焊接接头断口形貌(小线能量)



d. TC3母材断口形貌



e. TC3焊接接头断口形貌(大线能量)



f. TC3焊接接头断口形貌(小线能量)

图3 TC1、TC3焊接接头断口形貌

表 4 弯曲试样断口形貌

材料	条 件 试 样 号	焊接线能量 J/cm	弯曲角 度	断 口 形 貌
TC1	TC1-M (母材)	—	180	韧窝
	TC1-001	30.33	97	韧窝+准解理
	TC1-002	35.56	68	准解理+马氏体板条
TC3	TC3-M (母材)	—	57	韧窝
	TC3-005	35.56	35	准解理断口, 河流花样
	TC3-007	29.28	43	准解理断口

形核的裂纹相互连接时, 按一定方式撕裂而成的, 因此, 在断口上可明显见到撕裂岭(见图3c)。同时, 由于准解理断裂过程中常常伴随着较大的塑性变形, 故在断口上亦可见蜂窝形貌。图3b为采用较大线能量焊接所得的焊接接头断口形貌, 图中平行的条状组织清晰可见, 它显示了钛马氏体的形貌。与小线能量焊接接头断口相比, 前者条状组织较多, 后者韧窝则相对多些。

图3e、f为TC3焊接接头的断口形貌。它们亦属于准解理断裂, 除可见到撕裂岭和韧窝形

貌外, 图3e中呈现河流花样, 从图右侧可见河流穿过撕裂岭而连续延伸的形貌。图3f呈现台阶, 各台阶上有韧窝及撕裂岭等形貌, 这种台阶状的形态, 在TC1的焊接接头断口中未曾发现, 比较两者的弯曲角及金相组织可知, TC3的焊接接头塑性较差, 这也反映在断口形貌上。

四、结 论

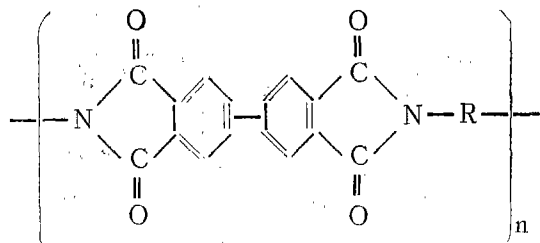
本研究通过对TC1、TC3钛合金薄板的焊接试验, 焊接接头弯曲试验、金相分析和断口分析, 可得下列结论:

1. 采用氩弧焊焊接厚度为1mm的钛合金板时, 使用一般结构的氩弧焊枪就能满足焊接质量的要求, 焊接喷嘴直径等于或大于14mm为宜;
2. 焊接钛合金宜采用较小的焊接线能量, 从而可得到塑性较好的焊接接头;
3. TC1较TC3合金的热敏感性大, 在焊接接头中更易生成粗大组织;
4. TC1和TC3合金的焊接接头断裂形式均属准解理断裂, 它具有撕裂岭和韧窝等典型形貌。

(参考文献略)

超耐热性聚酰亚胺薄膜

日宇部兴产株式会社最近开发一种超耐热性聚酰亚胺薄膜, 名为UPILEX, 有R型、S型、C型三种。它是由合成法制成的联苯四羧酸二酐(BPDA)与二元胺diamine缩聚而得的。其结构式为:



UPILEX-R是聚酰亚胺单体薄膜, 具有(1)长期耐热性好; (2)对裂边的抵御力强; (3)吸水性小; (4)不溶于任何有机溶剂; (5)无一定熔点等特性。这些

性能特别适合作电机绝缘材料、电线包覆材料及软性印刷电路板。

UPILEX-S是R型的改进型, 其性能优于R型。该材料耐热性极高, 热分解温度高达640°C; 尺寸稳定性好(在400°C加热, 收缩率在0.5%以下, 比普通产品小得多), 最适合作加热后尺寸不发生变化的用品; 弹性好(具有800kg/mm²的特高拉伸弹性); 吸水率低(吸水率较一般产品小, 吸湿膨胀率极低);

UPILEX-C是在UPILEX-R的一面或两面涂敷不同厚度的氟化乙烯树脂后形成。它无一定熔点, 故不能热封, 但可用来降低透湿度, 且对无机化学药品具有耐蚀性。目前, 该材料正被用作飞机电线的覆盖材料、耐热马达用扁平线的绝缘材料等。

(无锡市电子学会 陆振基)