

超声冲击对钛合金焊缝表面压应力的影响

马 杰 尤逢海 方声远 贺晓军 高晓鹏

(北京航星机器制造公司,北京 100013)

文 摘 为了研究超声冲击处理对钛合金焊缝压应力的影响,通过在不同的工作电流、不同的冲击头的工作条件下,对不同厚度的钛合金焊接试板进行超声冲击处理。结果表明超声冲击产生的压应力与焊接试板的厚度和结构没有明显的对应关系,而与冲击头的类型与工作电流有关。同时压应力的大小与工作电流呈线性正相关,并且通过拟合得到的直线能够比较准确的反应电流与压应力的关系。试验结果表明超声冲击不仅可以在焊缝及热影响区产生对工件有益的压应力,同时通过控制工艺参数,可以控制压应力的大小。

关键词 钛合金,超声冲击,压应力

Influence of Ultrasonic Impact Treatment (UIT) on Surface Impact Stress of Ti Alloy Welding Beams

Ma Jie You Fenghai Fang Shengyuan He Xiaojun Gao Xiaopeng

(Beijing Hangxing Machinery Manufacturing Company, Beijing 100013)

Abstract In order to further investigate the influence of UIT on the surface compact stress of Ti alloy welding beams, the UIT treatment with different working currents and working hammers on the Ti alloy welding sheets of different thickness were carried out. The results showed that compact stress is related to impact hammer style and working current, and the stress is linear with the working current. The fitting straight line had a good response to the relation between the compact stress and working current. According to the experiment results, it is found the UIT can not only create compact stress on the welding beams and hot-affected zone which is good for the welding parts, and different compact stress values can be obtained by controlling the UIT parameters.

Key words Ti alloy, UIT, Compact stress

0 引言

由于钛合金高的比强度和热强度以及低密度等性能,许多航天飞行结构已广泛采用该类合金制造。由于高的热输入量导致焊接结构存在着较大的焊接应力,并且绝大多数部件焊接后加工余量很少,为了避免钛合金在大气中加热发生氢脆和氧化,导致产品不合格甚至报废,一般采用真空退火或气体保护退火以消除焊接应力,但这些热处理方法费用较高且所需时间较长。超声冲击(UIT)是一种机械振动消除应力的方法,它通过施加在焊缝和近焊缝区高频的冲击力,可以在冲击区域产生压应力,防止焊缝的开裂,提

高焊缝的疲劳强度^[1-4]。

但是如何控制超声冲击产生的压应力,目前尚未见相关报道。本文研究了超声冲击对TA15钛合金焊接试片压应力的影响,为超声冲击的后续工艺化的研究提供试验依据。

1 实验

TA15钛合金试板,规格为80 mm×40 mm× δ ($\delta=0.8, 1.8, 2.5$ mm),采用对接钨极氩弧焊进行焊接,焊接工艺参数如表1所示,焊后对试片进行超声冲击试验。

冲击试验设备为HK2050型手持式超声冲击机,冲击方式采用工具钢制造的针状和片状冲击头,冲击

电流从1到3.0 A,冲击时间为5 min。图(1)为超声冲击过程的示意图,冲击方法为首先垂直焊缝区域进行全覆盖冲击,反复冲击至少三次。然后针对焊趾部位倾斜一定的角度进行冲击,反复冲击至少三次,以产生均匀压痕为原则。

超声冲击后采用X射线衍射法检测焊接试片超声冲击产生的压应力大小,试验设备采用加拿大Proto公司的LXRD型X射线应力仪,测试执行GB7704—87标准。

表1 TIG焊工艺参数

Tab.1 Parameters of TIG welding

δ/mm	I/A	U/V	$v/\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$
0.8	60~80	8	20
1.8	110~120	9~10	20
2.5	160~180	9~10	20

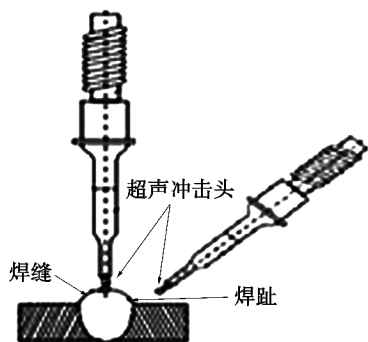


图1 超声冲击示意图

Fig.1 Stretch map of UIT

2 结果与分析

文献[5]提到,通过对比不同厚度的钛合金钨极氩弧焊试板的残余应力发现,在相同的焊接工艺参数下,热影响区的残余应力要比焊缝区域的大,并且沿着纵向, σ_x 方向(平行于焊缝)的残余应力要比横向的大。因此,本文针对热影响区的纵向应力进行研究。

表2列出了不同厚度试板在不同的工作电流作用下热影响区压应力的大小。可以看出在同一厚度下,焊后热影响区产生了约200 MPa的残余拉应力,而随着超声冲击工作电流的增加,产生的压应力逐渐增加,并且电流每增加1 A,针状冲击头产生的压应力增加幅度为150 MPa左右,而片状冲击头的增幅较小,为100 MPa左右。这主要是由于针状冲击头与焊缝的接触面积要小,因此在相同的工作电流下,造成压应力相对较大。

数据显示,压应力的变化与电流的变化呈线性正相关,因此可以通过控制工作电流的大小来控制压应力,对于针状冲击头,1 A电流的压应力的水平为约200 MPa,2 A约为350 MPa,而3 A约为500 MPa。对于片状冲击头,1 A电流的压应力的水平约为150 MPa,2 A约为250 MPa,3 A约为350 MPa。片状冲

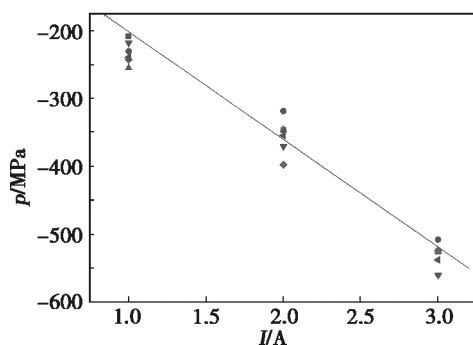
击头作用下的压应力水平不仅明显低于针状冲击头,而且随着电流的增加幅度也比针状冲击头小。同时,从数据中可以看出,试板的厚度对压应力的影响也是有规律的,在相同的工作电流下,不同厚度试板产生的压应力水平是近似相当的,压应力并不随试板厚度的变化而变化,说明试板厚度并不是影响压应力的因素。因此,结合数据分析结果,实现压应力的可控化是完全可行的,压应力的大小只与冲击头类型和工作电流的大小有关系。

表2 工作电流对压应力的影响

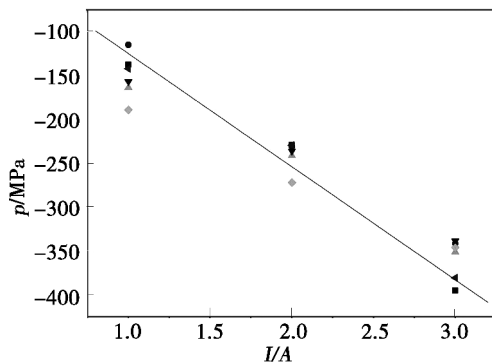
Tab.2 Influences of working current on compact stress

δ/mm	I/A	焊接应力/ MPa	压应力/MPa	
			针状冲击头	片状冲击头
0.8	1	196	-220	-126
	2	196	-333	-230
	3	196	-517	-368
1.8	1	210	-237	-160
	2	210	-358	-239
	3	210	-543	-345
2.5	1	230	-241.1	-166
	2	230	-376	-251
	3	230	-531.1	-363

用Origin软件对表2的数据用最小二乘法进行线性拟合,分别得到了不同冲击头作用下,电流和压应力大小的拟合直线,如图2所示。



(a) 针状



(b) 片状

图2 不同冲击头作用下电流与压应力的拟合直线

Fig.2 Fitting straight line of different compact hammers

得到的拟合方程为:

针状冲击头: $Y(\text{压应力}) = -43.1333 - 158.6X$
(冲击电流)

片状冲击头: $Y(\text{压应力}) = -12.26667 - 119.2X$
(冲击电流)

当工作电流为零时,从拟合后的直线可以发现,针状和片状冲击头显示的压应力值为-43和-12 MPa,在理论上讲,没有工作电流,也就意味着没有能量输入,因此不应该出现压应力,这与拟合计算的结果不符,这主要是由于实验的数据点偏少,因此造成拟合后的方程误差相对较大,特别是-43和-12 MPa对于该拟合直线,都在误差范围以内,从工程上讲,-43和-12 MPa基本可以认为是不存在压应力。

为了验证拟合直线的可靠性,同时也为了进一步验证在其他形式的焊接结构上是否会产生与试片相同的应力水平。针对筒形钛合金焊接件进行验证试验,在焊后进行超声冲击试验,同时测试应力水平,并用拟合后的直线计算出不同冲击电流下的应力值进行比较。比较的结果如表3所示。

表3 筒形件实测与拟合压应力值比较¹⁾

Tab.3 Comparison of fitting value and actual value

I/A	压应力值/MPa	拟合值/MPa	偏差/MPa
1	-213	-202	11.4
2	-358	-360	-2.1
3	-511	-519	-8.3

注:1)为针状冲击头。

首先,从筒形试件超声冲击后的试验测试结果可以看出,筒形件超声冲击后的应力水平和试板冲击后的压应力数值基本在同一数量级上,因此可以说焊接结构形式对压应力基本没有影响。同时,从拟合的压

应力数值来看,在不同的冲击电流下,与实测平均值的偏差量很小,并且都在测量误差范围内。从数值的比较来看,拟合的直线能够比较准确反映各类钛合金焊接件进行超声冲击后的压应力水平。

3 结论

(1)超声冲击在钛合金焊缝区域产生的压应力大小与焊接件的尺寸和形式没有必然的联系,只与冲击头的类型和工作电流有关,在其他条件一致的情况下,针状冲击头产生的压应力要比片状冲击头的大。

(2)超声冲击产生的压应力大小与冲击头的工作电流呈线性正相关的关系。

(3)通过数据拟合后的直线能够比较准确的反应压应力与工作电流的关系。

参考文献

- [1] Statnikov E S. Applications of operational ultrasonic impact treatment technologies in production of welded joints [J]. *Welding in the World*, 2000, 44(3)
- [2] Cheng O, John W, Fisher, et al. Residual stress modification by post-weld treatment and its beneficial effect on fatigue strength of welded structures [J]. *International Journal of Fatigue*, 2003, 25: 1259-1269
- [3] 王东坡. 改善焊接接头疲劳强度超声冲击方法的研究 [D]. 天津大学, 2000
- [4] Huo L X, Wang D P, Zhang Y F, et al. Investigation on improving fatigue properties of welded joints by ultrasonic impact treatment method [J]. *Welding in the World*, 2001, 45(3): 12-16
- [5] 尤逢海, 刘刚, 马杰, 等. 超声冲击对钛合金焊缝应力的影响 [J]. *金属热处理*, 2010, 398: 70-72

(编辑 吴坚)