

1420 合金板材氧化膜对氩弧焊缝中气孔的影响

李 艳, 邓继雄, 魏祚伟

(北京航空材料研究院 焊接与锻压工艺研究室, 北京 100095)

摘 要: 通过 X 射线透视和金相方法相结合, 观察了 1420 合金板材氩弧焊缝中气孔的大小、数量及分布, 发现气孔在焊缝两侧熔合线附近呈链状分布, 且主要分布在焊缝根部和背面余高中。试验研究表明焊缝中气孔主要来源于接头背面的氧化膜。同时分析了气孔的形成机理与分布原因, 气孔的气相主要由 H_2 、 CO_2 、 CO 、 H_2O 等组成。通过对断口上气孔形貌分析可将气孔按形状分为五大类, 即球形、喇叭口形、豆荚形、不规则形和陷洞形。

关键词: 1420 铝锂合金; 气孔; 分布; 形貌

中图分类号: TG457.19 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2001)06-81-04



李 艳

0 序 言

1420 合金是前苏联 1960~1965 年间开发和研制的 Al-Mg-Li 系可焊铝锂合金。该合金与 D16 (2024) 合金相比, 其密度降低 12%, 弹性模量高出 6%~8%。前苏联于 80 年代开始进行其焊接性研究, 并将氩弧焊和电子束焊工艺应用于产品制造过程, 取得显著的减重效果, 因而在军机和民机上均获得广泛应用^[1]。该合金的焊接性问题主要为气孔、焊接接头软化、焊接热裂纹^[2~4], 其中尤以气孔问题最为突出。前苏联曾报道采用化学清洗方法去除表面氧化膜以消除焊缝中气孔, 而对气孔的产生机理、气孔的形貌及分布等问题却未见详细报道。国内从 90 年代才开始对该合金开展了一些零星的研究工

作。本文针对气孔问题, 对 1420 合金板材氩弧焊缝中的气孔分布及形貌进行分析, 探讨气孔及其分布的形成原因。

1 试验材料及方法

试验材料为俄罗斯产 1420 铝锂合金板材 ($\delta = 2.5 \text{ mm}$) 和 AMΓ-63 焊丝 ($\phi = 2.0 \text{ mm}$), 1420 合金和焊丝的化学成分见表 1 所示。试板焊前经 460°C 保温 20 min 固溶处理, 空冷; 120°C 保温 10 h 时效处理, 空冷, 再经化学清洗或机械清洗。采用手工钨极氩弧焊, 焊机型号为 WSE-315, 焊接规范: 焊接电流 75~85 A, 焊接速度 180~250 mm/min, 正背面保护气流量分别为 8 L/min、5 L/min。

表 1 1420 合金薄板及焊丝成分(质量分数, %)

Table 1 Chemical compositions of 1420 aluminium-lithium sheet and welding wire

Alloy code	Mg	Li	Zr	Fe	Si	Cu	Ti	Mn	Zn	Na	H	Al
1420	5.02	2.07	0.10	0.07	0.11	0.03	0.01	-	-	0.80		bal.
AMΓ-63	6.37	-	0.16	0.09	0.06	-	0.1	0.61	0.02	-	≤0.08	bal.

Note: The unit of Na and H content is PPM.

焊接试样经 X 射线透视检查, 在观片灯上观察 X 射线透视底板上的气孔分布, 计算焊缝中气孔的数量并测量其大小, 同时结合金相观察焊缝中气孔分布。采用扫描电镜观察断口上焊缝气孔分布及形貌。

2 试验结果及分析

2.1 气孔密度与分布

对焊后试样进行 X 射线透视检查, 发现气孔一般呈链状分布于焊缝两侧熔合线。对于经 X 射线透视检查有大量气孔的一道焊缝, 每隔 10 cm 垂直于焊接方向取一金相试样, 共计 10 个金相试样进行

观察。统计观察结果发现,气孔主要分布在焊缝背面熔合线及背面余高中,焊缝正面熔合线处也常有较多气孔,但数量相对背面少。一般情况下焊缝中心没有气孔,但当截面上气孔量大时,焊缝中心常有尺寸较大且形状独特(一般为椭圆、长条状)的单个气孔。

为了进一步量化气孔在焊缝中的分布,将 100 mm 长,截面积约为 17 mm² 的焊缝先后去掉背面余高(与基体平齐后再铣去 0.1 mm)、正面余高(与基体平齐后再铣去 0.1 mm),经 X 射线透视检查焊缝中气孔分布,结果见表 2、图 1。

由表 2 和图 1 可看出,焊缝气孔在背面熔合线处多而小,而在正面熔合线处却较少而大。又从多次试验中发现,当焊缝气孔减少时,往往首先是正面气孔减少,而背面气孔减少量相对较小。

焊缝中气孔的产生受很多因素的影响,例如母材、焊丝、保护方式、保护气体流量、焊接规范等。但在焊丝洁净、焊接工艺规范适宜、保护良好的条件下,焊缝中气孔主要受试样表面的氧化膜影响。焊接时接头不同部位的氧化膜对气孔的形成均有影

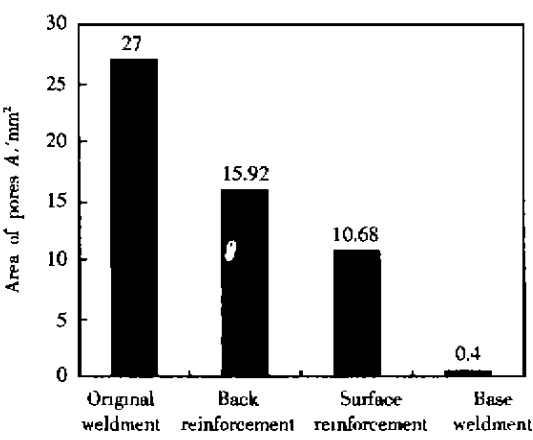


图 1 气孔在焊缝中的分布
Fig. 1 Distribution of pores in weld

响,但由表 3 的试验结果可知不同部位氧化膜对气孔的影响程度不同,其中接头正面的氧化膜几乎不产生气孔,端面氧化膜往往在焊缝中心产生少量气孔,背面氧化膜是导致焊缝中产生气孔的最主要原因。不同部位氧化膜对焊缝中气孔的作用在一定程度上决定了气孔在焊缝中的分布。

表 2 焊缝中气孔分布、数量及大小
Table 2 Distribution, number and size of pores in the weld

Condition of weldment	Pores in weldment		
	Distribution	Pore number per 100 mm-long weld	Average diameter D/mm
Original weldment	Distribute hnkly near the fusion lines	208	0.4
Back reinforcement removed	Distribute intermittently near the fusion lines	80	0.42
Back and surface reinforcements removed	Small pores near the fusion lines	20	0.05

表 3 表面氧化膜位置对气孔的影响
Table 3 The effect of location of oxide film on weld pores

Surface preparation	Pores in weldment			
	Distribution	Average diameter D/mm	Pore number per 100 mm-long weld	Pore area ^① A/mm ²
Back of joint scraped 0.2 mm and edge scraped slightly	Irregular pores in the center of weldment and small pores near the fusion lines	$D_{\text{big}}^{\text{②}} = 2.7$ $D_{\text{small}}^{\text{③}} = 1.0$	—	8.5
Front of joint scraped 0.1 ~ 0.15 mm and edge scraped clean and shiny	Densely pores near the fusion lines and no pores in the center of weldment	0.3	250	17
Back of joint scraped 0.1 ~ 0.15 mm and edge scraped clean and shiny	No pores, but the surface of weldment is very dirty	—	—	—

Note: ①—Area of total pores in a 100 mm-long weld;
②—The average diameter of all big pores($D \geq 2.0$ mm);
③—The average diameter of all small pores($D < 2.0$ mm).

焊缝中气孔的分布规律是有其原因的。首先,气孔在熔合线处呈链状分布,主要因为:第一,1420

合金表面存在一层含 Li_2CO_3 、 LiH 、 LiOH 等化合物、厚约 0.05 mm 的氧化膜,且氧化膜疏松,易吸潮,在

焊接时氧化膜分解放出大量气体;第二,在平衡条件下,氢在铝中的溶解度在凝固点发生突变,溶解度相差约20倍,即熔池在高温下大量吸氢,而在凝固过程中析出大量的氢;第三,熔合线处于熔池的固液界面,在此处气泡形核所需能量大大低于熔池中心气泡形核所需能量,气泡极易在熔合线处形核;第四,熔池是动态的,熔池各截面液态金属存在时间不同,如图2,很明显液态金属存在时间: $t_{AB} > t_{CD} > t_{EF} > t_{KO}$,即熔合线附近液态金属存在时间很短。由文献[2]可知,在1420合金3mm板自动钨极氩弧焊时, t_{AB} 约为 t_{KO} 的30倍,这对熔合线处的气泡溢出极为不利。上述诸多因素共同作用,导致了气孔在熔合线处呈链状分布。

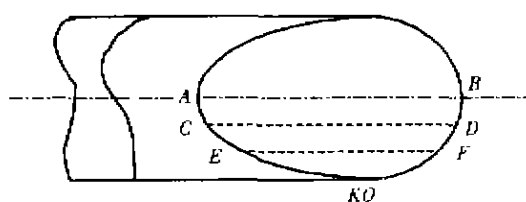


图2 熔池的不同截面

Fig.2 The different sections of weld pool

其次,气孔在背面熔合线及余高中小而多,在正面熔合线及余高中相对大而数量少。这是因为背面氧化膜产生大量气体溶入熔池,但焊缝背面液态金属存在时间短暂且电弧搅拌作用较弱,因此大量的气泡来不及长大上浮,形成细小密集的气孔。而气泡一旦长大上浮,其上浮速度与直径的平方成正比,而且气泡在逐渐上浮的过程中由于外界压力的减小,本身发生膨胀。另外正面熔合线及余高的情况较背面有很大改善。一是阴极雾化的破碎作用,使正面氧化膜产生的能进入熔池的气体大大减少;二是液态金属存在时间有所增长,有利于气泡的聚集长大;三是上浮逸出熔池的距离短,再加上熔池的搅拌作用强等因素共同作用,使得正面熔合线处的气孔相对大而少。

在焊缝中心,由于形核机会少,熔池搅拌作用大,利于气泡上浮逸出,因而几乎无气孔产生。但背面长大上浮的气泡有可能上浮到焊缝中心时熔池凝固而被封闭形成气孔。另外当焊接试板端面未洗净或焊丝表面脏污时,会在熔池中产生大量气体而导致焊缝中心有链状或单个大气孔产生。

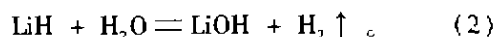
综上所述,合金本身的物理化学性质、熔池各部位的组织结构特点及电弧的热、物理性质共同作用形成了气孔在焊缝中特有的分布。

2.2 气孔的产生及形貌

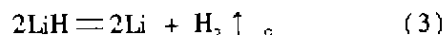
焊缝中气孔的产生是由三个相互关联而又彼此不同的阶段组成,即气泡的形核、长大和上浮逸出或来不及逸出滞留焊缝内形成气孔。而形核的首要条件是液态金属中有过饱和气体,而熔池中气体的来源有三种途径,即母材、焊丝和保护气体,其中母材表面存在的成分复杂的氧化膜是最主要的来源。焊接时,如未清理或清理不净时,在焊接电弧热的作用下母材表面氧化膜发生分解放出大量气体进入焊缝。首先,氧化膜中吸附的潮气及结晶水被分解放出,如:



外界空气或本身分解产生的 H_2O 一旦与LiH接触便有反应(2)发生。



当温度高于700℃LiH发生分解^[5]。



当温度达到800℃时, Li_2CO_3 发生分解^[5]。



其次,Li的化合物在加热条件下能将Al、Mg氧化并放出气体^[5]。此外,母材中的氢也在高温下向熔池扩散;轧制过程中挤入基体中的氧化物夹杂和试板表面的污染物在焊接过程中一旦进入熔池也分解产生成分复杂的气体。在高温下,气相中 CO_2 、 H_2O 、 H_2 等之间还会发生反应,气体成分主要有 H_2 、 CO_2 、 H_2O 、CO等。而形成气孔的气体成分、形成过程不同将使气孔呈现不同形貌。

(1) 球形气孔:焊缝中这种气孔是主要的。它们常单个分布或呈链状分布,尺寸一般较小。从断口看,一般较浅,内壁光滑平整,为非氧化性气孔,即氢气孔。图3a为该气孔的典型形貌。

(2) 喇叭口形气孔:这类气孔在断口上也不少见,其形貌同球形气孔类似,不同之处在于其尺寸一般小一些且径向更深,图3b为其典型形貌。这类气孔也为氢气孔。氢气孔一般在结晶过程中形成,相邻枝晶的凹陷最深处是氢气泡的胚胎场所,因此氢气泡长大上浮时受到很大阻力,但同时氢具有较大的扩散能力,极力挣脱现成表面上浮溢出,两者综合作用,便形成了喇叭口形。

(3) 豆荚形气孔:此类气孔常见于气孔多的断口,尺寸较大,其形貌见图3c。分析表明其为两个气孔合并而成,气孔成分为不同气体的混合。

(4) 不规则气孔:同豆荚形气孔一样,不规则气孔(见图3d)一般也出现在气孔多的断口上。这类气孔尺寸大,一般分布在熔合线、起弧和收弧处的焊缝中央且常成堆分布。气孔内壁倾斜度小,深度很

大,在扫描电镜下观察时,气孔均似“黑洞”。这是由于表面氧化膜大量存在时,分解出大量气体,相互作用,各个方向上的气泡聚集在一起,便形成了该种团状气孔。其成分复杂,常混有多种气体,如 CO_2 、 H_2 、 H_2O 、 CO 等。

(5) 陷洞形气孔: 陷洞形气孔(见图 3e)很少见,其内壁极不光滑,为氧化性气孔,是焊缝中氧化物夹杂分解产生的气体或氧化物夹杂与熔池金属反

应生成的气体所致。例如 Li 氧化形成的 Li_2CO_3 分解产生 CO_2 气体。

3 结 论

(1) 1420 合金氩弧焊缝中气孔一般在焊缝两侧熔合线呈链状分布,且主要分布在焊缝根部和背面余高中,焊缝正面熔合线及余高中气孔相对少而大,焊缝中心很少有气孔分布。

(2) 焊缝中气孔主要来源于背面氧化膜。

(3) 焊缝中气孔的分布是由合金本身的物理化学性质、熔池各部位的组织结构特点及电弧的热、物理性质共同作用形成的。

(4) 焊缝中气孔的气相主要由 H_2 、 CO_2 、 CO 、 H_2O 组成,气孔的形貌主要有五种,即球形、喇叭口形、豆荚形、不规则形及陷洞形。

参考文献:

- [1] Endlyander I N, Bratukhin A G, Davydo V G. Soviet Al-Li alloys of aerospace application [C]. Sixth International Aluminium-Lithium Conference, 1992. 35 ~ 42.
- [2] Овчинников В В, Петров А В, Гринин В В. Исследование механизма образования пор в швах при аргоно-дуговой сварке листов алюминиевых сплавов легированных Литием [J]. Автоматическая Сварка, 1992, (6): 12 ~ 15.
- [3] Ovechinnikov V V, Redchits V V. Two mechanisms of formation of nuclei of gas bubbles in welding lithium-alloyed aluminium alloys [J]. Welding International, 1993, 7(2): 150 ~ 153.
- [4] Ovechinnikov V V, et al. Crack formation in welded joints in alloys of the aluminium-magnesium-lithium system [J]. Welding International, 1993, 7(9): 734 ~ 737.
- [5] 刘预知. 无机物质理化性质及重要反应方程式 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1992.

作者简介: 李 艳, 女, 1972 年 7 月出生, 硕士。主要从事各种新型金属材料的焊接性研究。独立承担完成了“九五”预研课题和航空重点型号攻关等多项课题。已发表论文 5 篇。

Email: Yan. h@biam.ac.cn

(编辑: 王 亚)

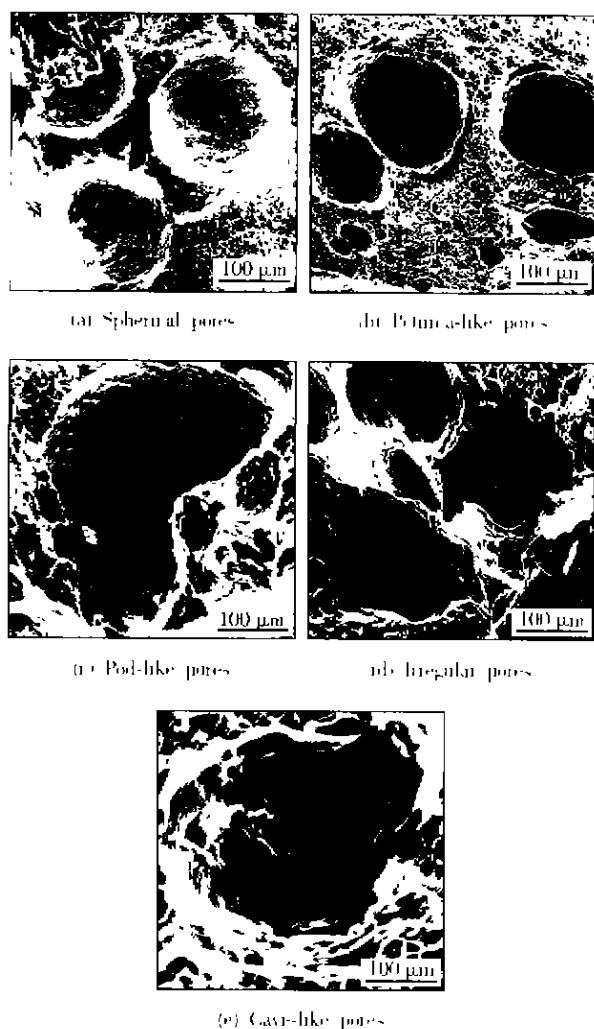


图 3 气孔的不同形貌

Fig. 3 Morphologies of pores