

水下局部排水 CO₂半自动焊气孔问题的研究

宋宝天 王 林*

(哈尔滨焊接研究所)

摘要

本文针对水下局部排水CO₂半自动焊中的气孔问题进行了初步探讨,着重研究了CO₂气体流量对气孔生成的影响。试验表明,气孔的性质为氢气孔,气孔的形态为螺钉状和条虫状两种。随着CO₂气体流量的增加,气孔率下降,气孔形态由螺钉状向条虫状演变。选择合适的CO₂气体流量使之形成稳定的背面气相区,是防止对接坡口封底焊道产生气孔的有效途径。

一、序言

在水下焊接中,气孔是不可忽视的缺陷之一。气孔存在于焊缝中,使接头的机械性能下降。为了提高水下焊接质量,保证焊接结构的安全性和可靠性,对气孔问题进行研究是十分必要的。

到目前为止,对水下焊接气孔问题研究得尚少,且均局限于湿法焊接。为此在对水下局部排水CO₂半自动焊的工艺研究基础上^[1],本文重点探讨了CO₂气体流量对生成气孔的影响。

* 参加本项工作的还有范增岐、王连东、高佳珍同志。林尚扬、宋天虎、阎家树、钱宝杰等四位同志给予了大力的指导和支持,在此表示感谢。

二、试验方法

试验是在水槽中进行, 试板离水面深为200mm, 设备是自行研制的水下局部排水CO₂半自动焊机, 如图1(图版35)所示。采用平外特性电源, 直流反接法。试板选用A3钢板, 厚12mm, 焊丝为H08Mn2SiA, 直径1.0mm。选用常规的焊接参数, 用不同的CO₂气体流量进行水下平板堆焊试验和V型坡口对接平焊位置封底焊道焊接试验。

焊后对试件进行X射线探伤, 确定气孔位置和气孔率, 然后解剖, 对气孔进行宏观及微观分析, 对气孔中的氢、氧含量做定性分析。并用甘油法测定V型坡口封底焊道扩散氢含量。

三、试验结果

1. 平板堆焊

平板堆焊试验焊接参数与试验结果列于表1。从表中可以看出, 除CO₂气体流量为1m³/h时产生少量气孔外, 其余堆焊金属中均无气孔。

表1 平板堆焊焊接参数与试验结果

试验号	CO ₂ 流量 (m ³ /h)	焊接电流 (A)	电弧电压 (V)	焊接速度 (mm/min)	气孔率* (个数/100mm)
1	1	120~130	22	155~165	1.7
2	2	120~130	22	155~165	0
3	3	120~130	22	155~165	0
4	4	120~130	22	155~165	0

*气孔率按GBJ236-82标准评定。

2. V型坡口焊接

V型坡口封底焊道焊接参数及试验结果列于表2。

观察X射线底片和试样的纵向及横向截面可以发现, 随着CO₂气体流量的变化, 气孔的形态及数量均发生了变化。

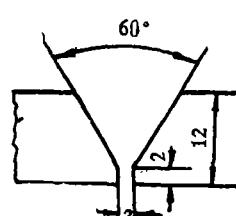
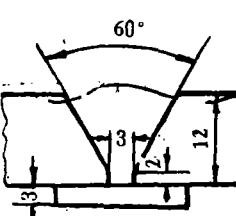
在V型坡口封底焊道中出现的气孔大致呈现两种形态: 螺钉状和条虫状。

a. 螺钉状气孔

这类气孔在X射线底片上呈圆形或椭圆形, 如图2(a)(图版36)所示, 而其

纵、横截面均呈螺钉状，如图2 (b) (C) (图版36) 所示。从电镜扫描断口分析 (图2、d) (图版36) 中也可看出其螺钉状形态，故称这种气孔为螺钉状气孔。

表2 V型坡口焊接参数及试验结果

试验号	接头形式	CO ₂ 流量 (m ³ /h)	焊接参数			气孔率 (个数/100mm)		
			焊电	接流 (A)	电弧电压 (V)	焊接速度 (mm/min)	螺钉状	条虫状
5		0.5	145~150	21.5	130	61.8	0	61.8
6		1	145~150	21.5	131	51.4	0	51.4
7		1.3	145~150	21.5	200	31.4	0	31.4
8		2	145~150	21.5	179	2.3	2.7	5
9		2.3	145~150	21.5	206	0	1.4	1.4
10		3	145~150	21.5	120	0	1.8	1.8
11		3.3	145~150	21.5	196	0	1.8	1.8
12		4	145~150	21.5	120	0	0	0
13		4	145~150	21.5	204	0	0	0
14		4.5	145~150	21.5	126	0	0	0
15		1	140~150	22	163	71.8	0	71.8
16		1	140~150	22	160	70.9	0	70.9
17		1.3	140~150	22	200	50.9	7.1	58
18		2	140~150	22	173	10.9	9.6	20.5
19		2	140~150	22	208	2.5	16.4	18.9
20		2.3	140~150	22	194	2.7	3.2	5.9
21		3	140~150	22	179	0	4.3	4.3
22		3.3	140~150	22	193	0	2.7	2.7
23		4	140~150	22	166	0	0	0
24		4	140~150	22	207	0	0	0

注：1. 试板坡口刨削加工

2. 气孔率按GBJ236—82标准评定

该类气孔多数起源于焊道的中下部，也有少数起源于焊道的根部，气孔沿熔池结晶方向成长，如图2 (b) 所示。这种气孔有时穿透焊缝表面形成表面气孔，如图3 (图版35) 所示。

b. 条虫状气孔

这类气孔从X射线底片上看形如睫毛，如图4 (a) (图版37) 所示。其纵、横截

面形如细长的小虫，如图4(b) (c) (图版37)所示。因此称这种气孔为条虫状气孔。该类气孔多起源于焊道根部，如图4(d) (图版37)所示，也有从熔合线处起源的。该类气孔无论起源于何处，均沿熔池结晶方向向焊缝中心成长，有时几个气孔汇聚到一起，形如树枝状，如图4(c)。

图5、图6是在其它条件基本不变的情况下，随着CO₂气体流量的变化，焊缝中气孔率及气孔形态的变化趋势。

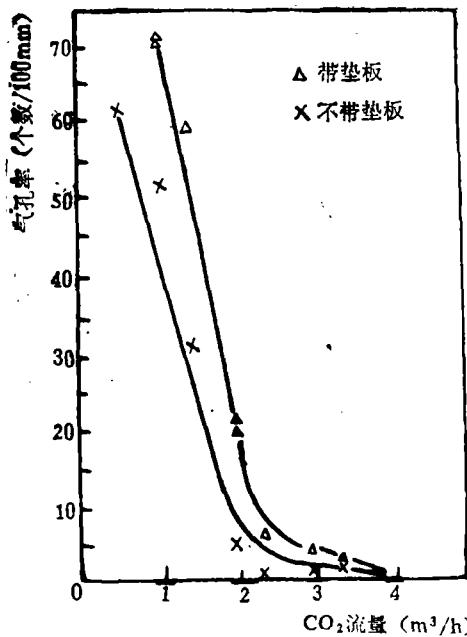


图5 CO₂气体流量对气孔率的影响

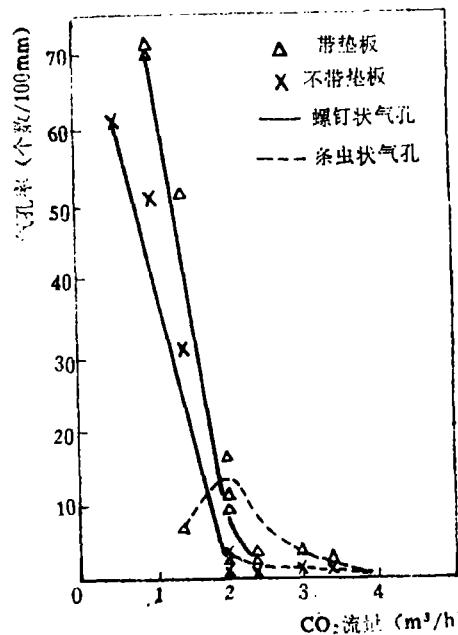


图6 CO₂气体流量对气孔形态的影响

图5、6的气孔率是用一定长度焊缝中的气孔直径乘以相应的换算系数后的累计值来表示的。换算系数如表3所示^[2]。

表3 气孔率换算系数

气孔直径 (mm)	≤ 0.5	0.6	1.1	1.6	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1
换算系数 (个数)	0.5	1	2	3	5	8	12	16	20	24

从图5和图6中可以看出，随着CO₂气体流量的增加，气孔率呈下降的趋势，气孔的形态随CO₂气体流量的增大，由螺钉状向条虫状演变。当CO₂气体流量接近2 m³/h时，螺钉状气孔已很少见，大多数气孔呈条虫状；当流量增加到3 m³/h时，螺钉状气孔完全消失，条虫状气孔也相应减少；当流量增加到4 m³/h时，气孔基本消失。

四、结果分析

1. 气孔性质

气孔的性质与形成气孔的条件有关，水下这一特殊环境下焊接与大气下焊接时形成的气孔的性质是有明显差异的。

在水下焊条湿法焊接中，电弧气氛的成分为：62~82% H₂，11~24% CO，4~6% CO₂，及少量的N₂、O₂和金属蒸气^[3]。表4中给出了水下焊条湿法重力焊及CO₂半自动焊时的气孔成分^{[4][5]}。

从表4中可以看出，在水下湿法焊接中，氢是气孔中气体的主要成分。因此，一般认为水下湿法焊接中产生的气孔是氢气孔^{[3][5]}。

表4 水下焊接气孔成分分析

成 分 及 规 范	H ₂ (Vol. %)	CO (Vol. %)	CO ₂ (Vol. %)	其余(Vol. %)
CO ₂ 焊	64	10	—	26
400A 35V				
120A 26V	76	12	—	13
焊条重力焊 175A	77.8	1.1	7.5	13.6

对水下局部排水CO₂半自动焊气孔中的气体成分进行定性分析。其方法是：在同一条焊缝上取出数块内部含有气孔的试样，将其中一部分试样中的气孔用机械方法剖开，放掉气孔中的气体；另一部分试样不剖开，即带有原来气孔。然后用SQM-1型脉冲加热气相色谱仪分别测定剖开气孔和带有气孔两种试样中的氢、氧含量，结果列于表5。

表5 气孔气体成分的分析

序号	试样 原号	气孔 形态	试样类型	H (ppm)	O (ppm)
1	6	螺钉状	剖开气孔	2.7	672
2			带有气孔	11.1	651
3	15	螺 钉 状	剖开气孔	5.1	672
4			剖开气孔	5.8	659
5			剖开气孔	5.9	654
6			带有气孔	8.1	699
7			带有气孔	9.7	697
8			带有气孔	11.7	687
9	19	条虫 状	剖开气孔	3.4	725
10			带有气孔	5.0	758

从表5中可以看出,带气孔的试样(无论带螺钉状气孔还是带条虫状气孔)中,其含氢量都远远高于剖开气孔的试样,而含氧量则变化不大。从上述两种试样中的氢、氧含量变化的趋势可以说明气孔中的气体成分主要是氢。另外,从观察气孔的剖面中可以看到,气孔内壁光亮,无氧化现象。

2. 气孔的生成

(1) 气泡核的生成

在液态金属中气泡核的生成要有能量消耗,因此气泡核多在消耗量较小的地方形成,如非金属夹杂物表面,母材金属未熔化晶粒的界面及树枝状晶相邻间的凹陷处等^[6]。在水下焊接时,由于焊缝金属凝固较快,冶金反应所产生的氧化物不易及时浮出,而形成较多的夹杂物,这就给气泡成核造成了有利条件,是水下焊接较容易产生气孔的主要原因之一。图7(图版38)所示的扫描电镜照片表明了气孔起源于气孔根部的一夹杂质,由能谱分析得知,该夹杂物是锰、硅、铝的氧化物。

(2) 气孔的成长与形态变化

气泡核形成后便开始长大,当气泡在液态金属温度较低时形成并开始上浮,上浮速度小于或等于熔池结晶速度的垂直分量时,则气泡将被结晶面所捕捉。随着结晶的进行,大量的过饱和氢继续向气泡中扩散,使气泡长大,长大了的气泡要上浮,但是气泡下方已被结晶面所固定住,致使气泡被拉长,并产生缩颈,结晶面也随之向缩颈处进展。这时如果气泡生长速度较快,则气泡拉断而上浮,残留的气泡继续成长。而当气泡的成长速度不足以拉断上浮时,则只是形成缩颈,同时结晶面也已成长上来。气泡再继续成长,又形成新的缩颈。这样往复成长,最后由于焊缝表面已先凝固,气泡停止成长,而形成具有螺钉状的气孔。

当CO₂气体流量较大($\geq 2\text{m}^3/\text{h}$)时,排水效果提高,液态金属在高温下溶解的氢量则相应地减少,氢的过饱和程度也相应降低,气泡长大速度也随之而减慢,使得气泡刚刚形成还没来得及长大,便被结晶面所捕捉,夹在结晶前沿晶粒的凹陷处。

随着结晶的进行,结晶前沿氢的过饱和程度有所增加^[6],氢将继续向气孔中扩散,使其长大,其成长速度和熔池结晶速度沿气泡成长方向的分量基本上相等。当结晶进行到焊缝表面时,由于焊缝表面已先结晶凝固,致使气孔难以继续向上成长,而转向熔池结晶的水平方向,直至停止成长,如图4(b) (c)。也就是说,在CO₂气体流量较大时,熔池中溶解的氢较少,只有当液态金属即将凝固时,氢在液态金属中的溶解度显著降低,这时才有过饱和的氢析出形成气泡核。气泡在其形核后,没有足够的时间长大,便被柱状晶结晶前沿捕捉,并携带着一起长大,而形成细而长的条虫状气孔。

(3) CO₂气体流量对气孔生成的影响

CO₂气体在水下局部排水半自动焊中起着排水及保护作用。而排水效果的好坏,将直接影响到对焊缝的保护效果。

在水下平板堆焊时,仅焊缝正面与水接触,焊枪从正面易将水排除而形成稳定的气相区,从而排除了水对焊缝的直接影响。因此,在CO₂气体流量较小的情况下($2\text{m}^3/\text{h}$),就可以得到无气孔的焊缝。但在V型坡口封底焊接时,焊缝正面和背面都与水相接触,

只排除坡口正面的水，虽然可以焊接，但背面的水却仍在直接影响焊缝质量。

通过用透明有机玻璃板制做的V型坡口对接试板模型的排水试验，观察了不同的CO₂气体流量的排水效果。发现，当CO₂气体流量达到某一值时，不仅试板正面的水可被排除，形成气相区，而在试板背面也形成一个气相区，称作背面气相区。且随着CO₂气体流量的增加，背面气相区逐渐增大，并趋于稳定，如表6、图8（图版38）和图9（图版38）所示。

表6 排水试验条件及结果

试验号	对接间隙 (mm)	CO ₂ 流量 (m ³ /h)	背面排水效果 (%) *
1	1~1.5	0	0
2	1~1.5	0.6~0.9	5
3	1~1.5	1.3~1.8	50
4	1~1.5	2.1~2.4	100

*以正面焊枪排水面积为100%

这个试验揭示了采用水下局部排水CO₂半自动焊封底焊接时焊缝中产生的气孔之所以随着CO₂气体流量的增加气孔数量减少的原因。就是由于当CO₂气体流量增加时，在试板背面也形成了气相区，使熔池正面和背面都处在CO₂气氛中，从而降低了焊缝金属中的含氢量。

图10是CO₂气体流量对V型坡口封底焊道扩散氢含量的影响。从图中可以看出，V型坡口封底焊道扩散氢含量随CO₂气体流量的增加而降低，当CO₂气体流量增加到4m³/h时，焊缝扩散氢含量已降至5mL/100g左右。

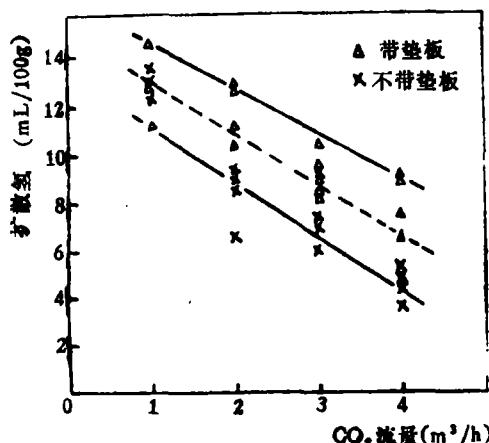


图10 CO₂气体流量对V型坡口封底焊道中扩散氢含量的影响

五、结 论

通过上述关于水下局部排水CO₂半自动焊气孔问题的试验研究，可得出如下结论：

1. 采用水下局部排水CO₂半自动焊接法在水下进行焊接时，所产生的气孔是以氢为主要成分的氢气孔。其形态大致可分为两种：螺钉状和条虫状。

2. 螺钉状气孔产生于CO₂气体流量较小的情况下，且随着CO₂气体流量的增

加而逐渐向条虫状气孔转变，气孔率也逐渐降低。当CO₂气体流量足够大时（本试验条件下为4m³/h），气孔消失。

3. 在水下进行平板堆焊时，只要CO₂气体流量达到足以将焊件表面的水排出（约2m³/h），便可获得无气孔的堆焊焊道。

4. 在水下V型坡口封底焊道中，产生气孔的主要原因是CO₂气体流量不够大，坡口背面没有形成稳定的气相区。因此选择合适的CO₂气体流量（一般大于4m³/h），是防止封底焊道产生气孔的有效途径。

（1984年1月16日收到）

参 考 文 献

- (1) 林尚扬等, 焊接学报, 2(1981), №1, P9~20。
- (2) 现场设备工业管道焊接工程施工及验收规范, (GBJ236—82), 化学工业出版社, (1982)。
- (3) Yoshiaki ARATA at al., Transactions of JWRI, 10 (1981), №1, P12~18.
- (4) 益本功等, 溶接学会誌, (1971), №7, P38~44。
- (5) 莲井淳等, 溶接学会誌, (1981), №12, P81~87。
- (6) N.K.帕豪德涅著, 焊缝中的气体, 机械工业出版社, (1977)。

A STUDY OF WELD POROSITY IN LOCAL DRY CO₂ GAS SHIELDED SEMI-AUTOMATIC UNDERWATER WELDING

Song Baotian, Wang Lin

(Harbin Research Institute of Welding)

Abstract

In this paper, the porosity in the welds of local dry CO₂ gas shielded semi-automatic underwater welding was studied, and the effect of CO₂ gas flow rate on the formation of porosity was stressed. It was found that there were two kinds of porosity in the welds, the "screw" shape and the "earth worm" shape. Both were of the hydrogen type. The porosity decreased with the increase of CO₂ gas rate, with its shape changing from "screw" into "earth worm". A suitable rate of CO₂ gas flow should be set to form a stable cavity at the back side of the groove in the root run of sealing weld, an effective way to prevent porosity.