

碱性药芯焊丝熔滴过渡特性及工艺性分析

王 勇^{1,2}, 王 宝³, 张英乔³, 王志军¹

(1. 中北大学 机电工程学院, 太原 030051; 2. 太原理工大学 材料科学与工程学院, 太原 030024;

3. 中北大学 材料科学与工程学院, 太原 030051)

摘 要: 利用高速摄像和汉诺威弧焊分析仪,在富氩气体保护条件下,在不同的焊接参数下对3种碱性药芯焊丝样品进行了测试和分析。结果表明,较小焊接参数时,熔滴过渡形式为粗熔滴排斥过渡,电弧稳定性差,飞溅大;随着焊接参数的增大,熔滴过渡逐渐转变为细熔滴过渡,过渡过程趋于稳定。熔滴受到较大的排斥力以及熔体的表面张力大是造成大颗粒飞溅的主要原因,较长的渣柱对熔滴过渡具有导向作用,细化熔滴和形成稳定、较长的渣柱是改善碱性药芯焊丝工艺性的重要途径。

关键词: 碱性药芯焊丝; 焊接电弧; 熔滴过渡; 焊接工艺性

中图分类号: TG 422.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2015)10-0081-06

0 序 言

目前工程上应用的钛型气保护药芯焊丝用量大、范围广,是药芯焊丝的主导产品,但对要求抗裂性较高的合金钢、高强度细晶粒钢等重要的构件则要求使用碱性药芯焊丝。碱性药芯焊丝工艺性差使其应用受到制约。研究开发工艺性优良的碱性药芯焊丝是迫切需要解决的技术问题之一,也是药芯焊丝的技术难点之一。

以碱性药芯焊丝熔滴过渡为主要内容的电弧物理特性的研究,是探索改进碱性药芯焊丝工艺性的基础性工作。相关文献对钛型药芯焊丝熔滴过渡特性进行过研究^[1,2],对其工艺性的分析和定量化评价进行了探讨^[3]。文献[4]对钛型、金属粉型以及自保护药芯焊丝的电弧物理特性做了系统的研究,但对碱性药芯焊丝未作阐述。碱性药芯焊丝的研究虽已有相关论文^[5]发表,但涉及碱性药芯焊丝电弧物理特性的文献相对较少。文中对碱性药芯焊丝的熔滴过渡、飞溅、电弧稳定性等与焊丝工艺性密切相关的电弧物理特性进行研究,为进一步改进碱性药芯焊丝工艺性提供试验依据。

1 试验方法

选取自制的两种碱性药芯焊丝,焊丝编号分别

为YC507(1)和YC507(2),选取市售国外某品牌碱性药芯焊丝,焊丝编号ESAB。焊丝直径均为1.6 mm,焊丝型号均符合AWS E71T-5。采用时代公司NB-500型电焊机,极性为直流反接,保护气体为80% Ar + 20% CO₂,气体流量20 L/min,焊丝伸出长度20 mm。平焊过程中采用Nikon1J1型相机拍摄熔滴过渡过程,拍摄速度1 200 f/s,汉诺威弧焊分析仪同步采集电弧电压、焊接电流,测试时间5 s。试验焊接参数及实际测试统计结果如表1所示。

2 试验结果

2.1 小焊接参数条件下熔滴行为的观察

在预置电压24 V、送丝速度75 mm/s小焊接参数条件下,对3种碱性药芯焊丝熔滴过渡特征进行了观察。图1是YC507(1)-1的高速摄像,图1a中是一个大熔滴不正常过渡的情形,当熔滴脱离焊丝端头时,自身被拉长,但很快收缩成球形,熔滴在不断变形过程中进入熔池形成过渡。图1b中显示熔滴由缩颈处断开后,看似熔滴与熔池接触过渡,但瞬间熔滴被弹起飞离熔池形成大颗粒飞溅。图1c中焊丝端部较大熔滴在电弧力的作用下被推向一侧,并飞离出去形成明显的大颗粒飞溅。通过高速摄像可以看出,熔体大都不是平稳地过渡到熔池中,在焊丝端头的熔体没有规则的形态,在熔滴内部激烈的冶金条件下,熔滴活动十分剧烈,加之电弧力的影响,大块熔体很容易从焊丝端部被分离出去,形成大颗粒飞溅。有时甚至熔滴与熔池已经接触,但熔滴

表 1 试验主要参数及实际测试统计值

Table 1 Welding parameters and statistical data in welding process

试验编号	预置电压 U_1/V	送丝速度 $v_f/(mm \cdot s^{-1})$	焊接速度 $v_w/(mm \cdot s^{-1})$	电弧电压 U/V		焊接电流 I/A	
				平均值	标准偏差	平均值	标准偏差
YC507(1)-1	24.0	75	5.16	22.58	1.57	219.98	19.97
YC507(2)-1	24.0	75	5.16	22.52	1.73	208.04	26.41
ESAB-1	24.0	75	5.16	22.55	1.91	214.46	26.41
YC507(1)-2	25.4	87	5.16	23.40	1.56	232.01	26.75
YC507(2)-2	25.4	87	5.16	23.99	1.97	242.71	21.98
ESAB-2	25.4	87	5.16	23.96	1.59	241.76	17.54
YC507(1)-3	28.0	108	5.93	26.32	1.67	298.29	13.62
YC507(2)-3	28.0	108	5.93	26.33	2.32	301.97	16.37
ESAB-3	28.0	108	5.93	26.40	1.53	289.17	8.19

也会脱离熔池形成大颗粒飞溅。整个焊接过程基本看不到渣柱。

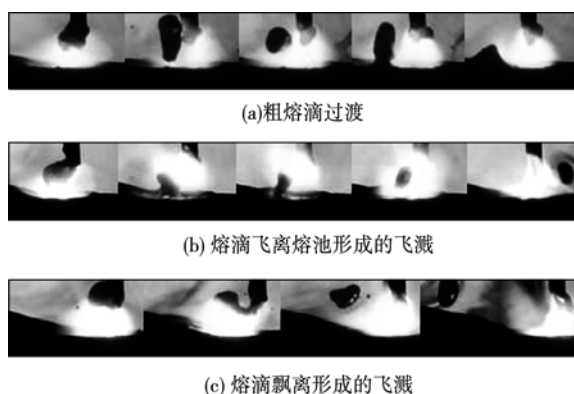


图 1 YC507(1)-1 的高速摄像

Fig. 1 High-speed camera photos of YC507(1)-1

图 2 是 YC507(2)-1 在同样小参数条件下的高速摄像,熔滴脱离焊丝端部与熔池接触,看似熔滴将脱离熔池,但在熔池表面张力的作用下,熔滴最终被拉入熔池形成过渡,与图 1b 中的景象截然相反,两种不同的现象分别经常出现在两种焊丝的焊接过程中。通过观察 YC507(2)-1 的高速摄像,整个焊接过程都可以看到渣柱存在,形成的大颗粒飞溅比 YC507(1)-1 明显减少。

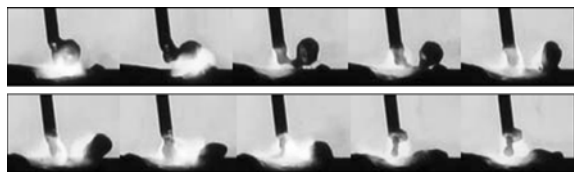


图 2 YC507(2)-1 的高速摄像

Fig. 2 High-speed camera photos of YC507(2)-1

图 3 是 ESAB-1 的高速摄像,图 3a 是粗熔滴排

斥过渡过程,可以看出,ESAB 焊丝在小参数条件下,熔滴尺寸较为粗大,电弧斑点处在熔滴的下方,熔滴受到的排斥作用较强,熔滴在长大过程中与熔池接触,但在电弧力的作用下,熔滴又想挣脱熔池的束缚,但最终还是在熔池表面张力的作用下,将熔滴拉入熔池形成过渡。图 3a 中看出熔滴进行了短路过渡但未发生短路电爆炸飞溅。图 3b 中显示,焊丝端部粗大的熔滴由于自身爆炸造成严重的飞溅。图 3c 中显示了较长的渣柱。通过观察 ESAB-1 的高速摄像发现,熔滴粗大、渣柱较长是 ESAB 焊丝的典型特点,由于存在较长的渣柱,有时会看到较细的熔滴沿渣柱过渡的场景。

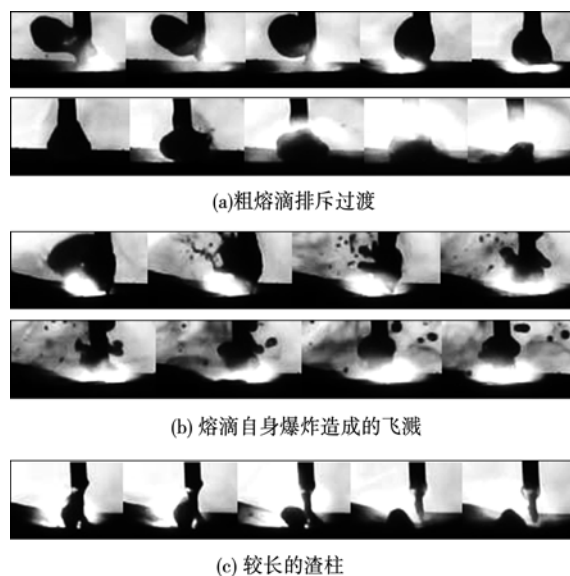


图 3 ESAB-1 的高速摄像

Fig. 3 High-speed camera photos of ESAB-1

2.2 大焊接参数条件下熔滴行为的观察

观察电压 25.4 V,速度 87 mm/s 条件下的 3 种焊丝高速摄像,可以看出,随着焊接参数的增大,熔

滴过渡频次增加,熔滴尺寸相应减小.特别是 YC507(2)-2 的熔滴过渡形式发生了明显变化,出现较多的细熔滴过渡,熔滴大小和过渡周期都比较均匀,电弧稳定,飞溅较小,大熔滴飞离的情况已不出现,焊接过程趋于稳定,表现出良好的工艺性.图 4 是 YC507(2)-2 细熔滴过渡的高速摄像,可以看出在焊丝的下端伸出不少的渣柱.

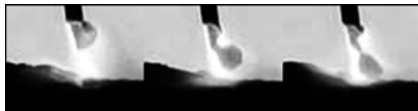
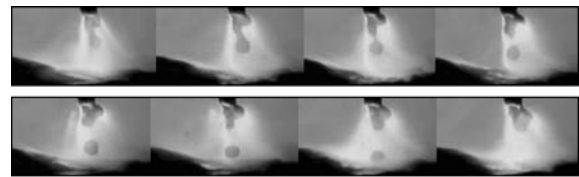


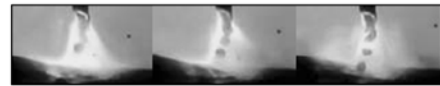
图 4 YC507(2)-2 的细熔滴过渡高速摄像

Fig. 4 High-speed camera photos of the small droplet transfer for YC507(2)-2

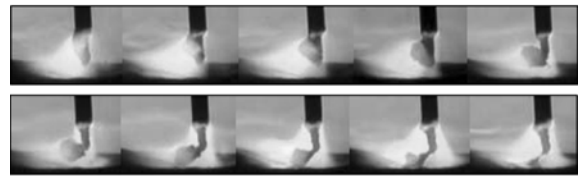
随着焊接参数进一步增大,在电压 28 V,速度 108 mm/s 条件下,3 种焊丝呈完全的细熔滴过渡.图 5 是在该参数条件下 3 种焊丝高速摄像.图 5a 是 YC507(1)-3 细熔滴由大到过渡的整个过程,熔滴过渡的轴向性较强,熔滴过渡形式类似于实芯焊丝的射滴过渡.图 5b 是 YC507(1)-3 连续的细熔滴过渡,熔滴过渡频次较高.图 5c 是 ESAB-3 细熔滴沿渣柱向熔池过渡的高速摄像,可以看出,一个熔滴从形成到依附渣柱过渡到熔池的整个过程.观察 ESAB-3 高速摄像发现,ESAB 焊丝的突出特点是渣柱较长,可以清楚地看出金属熔滴和熔化的渣滴有时分别进行过渡,有时金属熔滴沿渣柱滑落与渣柱末端的渣滴相互融合后过渡到熔池中的情景,过渡过程还时而伴随着非常细小的飞溅.3 种焊丝在较大焊接参数下,大颗粒飞溅已不出现,飞溅形式主要以小颗粒飞溅为主.通过高速摄像发现,在这一焊接参数下 YC507(2)焊丝的飞溅比其它两种焊丝明显,图 5d 是 YC507(2)-3 细熔滴过渡时飞溅现象的



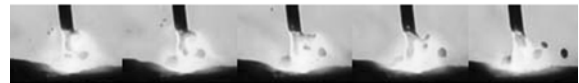
(a) YC507(1)-3 细熔滴过渡



(b) YC507(1)-3 连续细熔滴过渡



(c) ESAB-3 细熔滴沿渣柱过渡



(d) YC507(2)-3 细熔滴过渡时的飞溅现象

图 5 在 28 V-108 mm/s 条件下高速摄像

Fig. 5 High-speed camera photos at 28 V-108 mm/s

高速摄像,看出在焊丝端部熔体发生爆炸导致细颗粒飞溅.

2.3 高速摄像统计结果

表 2 是 3 种焊丝的高速摄像统计结果.其中分别统计了熔滴过渡频次 f_d 、飞溅频次 f_s 以及发生爆炸的频次 f_e .其中,(1)粗熔滴过渡.熔滴直径大于焊丝直径;(2)细熔滴过渡.熔滴直径小于焊丝直径,但忽略极细小熔滴;(3)大颗粒飞溅.飞溅物直径大于焊丝直径;(4)中等颗粒飞溅.飞溅物直径大于焊丝直径的 1/3,但小于焊丝直径;(5)产生的爆炸.由于熔滴中气体强烈逸出产生爆炸,或由于熔滴短路引起的电爆炸;(6)由于细小颗粒飞溅物尺寸较小且较多,难以准确统计,这里不作定量统计.

表 2 高速摄像统计结果

Table 2 Statistical data of high-speed camera

焊丝编号	熔滴过渡频次 f_d/s^{-1}		飞溅频次 f_s/s^{-1}		发生爆炸的频次 f_e/s^{-1}	备注
	粗熔滴过渡	细熔滴过渡	大颗粒飞溅	中等颗粒飞溅		
YC507(1)-1	9.4	0.4	8.0	8.0	5.8	大颗粒飞溅物尺寸较大
YC507(2)-1	7.8	9.0	5.4	3.0	2.8	多数粗熔滴与细熔滴尺寸接近
ESAB-1	5.4	5.4	2.8	4.6	2.2	粗熔滴大都大于焊丝直径的 2 倍,细熔滴较小
YC507(1)-2	3.4	11.0	5.8	7.6	2.2	—
YC507(2)-2	0.5	53.5	—	0.5	—	细熔滴直径接近焊丝直径,大小均匀
ESAB-2	3.6	24.4	4.0	3.8	1.0	粗熔滴和大颗粒飞溅达到焊丝直径的 1.5 倍
YC507(1)-3	—	115.7	—	4.5	2.6	细熔滴大小不均匀
YC507(2)-3	—	102.5	—	33.3	5.1	中等颗粒飞溅较多
ESAB-3	—	94.2	—	3.8	1.4	细熔滴直径接近焊丝直径,大小均匀

2.4 电弧电压和焊接电流测试结果

图 6 和图 7 分别是电压 24 V, 速度 75 mm/s 条件下 3 种焊丝用汉诺威弧焊分析仪测试的电弧电压和焊接电流概率密度分布叠加图。

由图 6 可以看出, ESAB-1 在图中左侧分布的短路电压概率密度较大, 曲线呈双驼峰状, 说明 ESAB 焊丝有着比较多的熔滴短路行为, 其它两种焊丝熔滴与熔池基本不发生短路接触, 3 种焊丝在该参数下的燃弧电压概率密度分布曲线(曲线中段驼峰)很接近。由图 7 可以看出, ESAB-1 的短路电流区域较大, 且短路峰值电流较大, 超过了 500 A, 说明存在短路电爆炸飞溅的几率较大。YC507(1)-1 和 YC507(2)-1 没有短路电流区域, 不会发生短路电爆炸飞溅。YC507(1)-1 燃弧区电流概率分布相对集中, 电流波动较小, 但不能说明该焊丝熔滴过渡稳定, 从高速摄像中观察到 YC507(1)-1 的熔滴过渡很不稳定, 出现许多大颗粒的飘离飞溅, 该焊丝在小参数条件下大颗粒飞溅居多。对概率密度分布图的分析, 应结合高速摄像的观察结果, 才能做出准确判断。

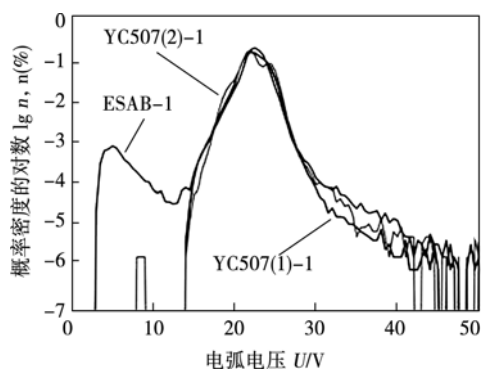


图 6 24 V-75 mm/s 条件下电弧电压概率密度分布叠加图
Fig. 6 Probability density distribution overlay chart of arc voltage at the condition of 24 V-75 mm/s

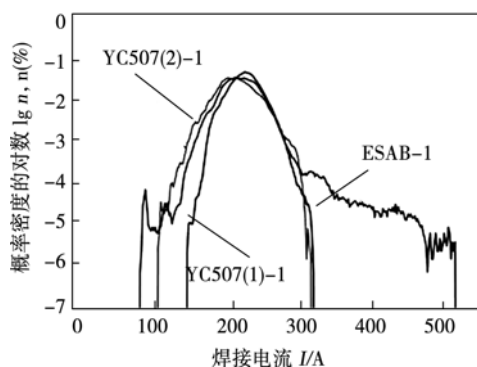


图 7 24 V-75 mm/s 条件下焊接电流概率密度分布叠加图
Fig. 7 Probability density distribution overlay chart of welding current at the condition of 24 V-75 mm/s

图 8 和图 9 分别是电压 28 V, 速度 108 mm/s 条件下 3 种焊丝的电弧电压和焊接电流概率密度分布叠加图。图 8 中可以看出, 3 种焊丝均不出现短路电压概率密度分布, 说明 3 种焊丝在该参数下没有短路行为的发生。由于 3 种焊丝基本实现了细熔滴过渡, 熔滴的过渡对电弧的扰动较小, 因此 3 种焊丝的电弧电压概率密度分布都较为集中。其中 ESAB-3 的电弧电压概率密度分布更为集中, YC507(1)-3 次之。图 9 中可以看出, 3 种焊丝均没有短路电流区域, 基本反映了燃弧电流概率密度分布的情况。ESAB-3 的焊接电流概率密度分布更为集中。

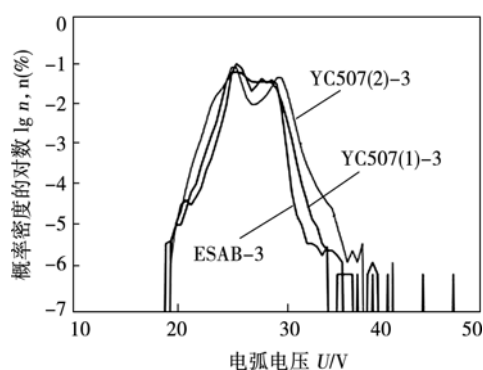


图 8 28 V-108 mm/s 条件下电弧电压概率密度分布叠加图
Fig. 8 Probability density distribution overlay chart of arc voltage at the condition of 28 V-108 mm/s

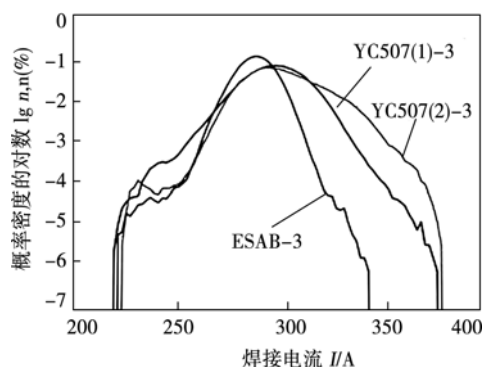


图 9 28 V-108 mm/s 条件下焊接电流概率密度分布叠加图
Fig. 9 Probability density distribution overlay chart of welding current at the condition of 28 V-108 mm/s

3 试验结果分析与讨论

3.1 碱性药芯焊丝熔滴行为特征

3.1.1 碱性药芯焊丝粗熔滴排斥过渡

由高速摄像分析可知, 在小焊接参数下 3 种焊丝熔滴过渡形式为典型的粗熔滴排斥过渡, 过渡频次仅为 10 s^{-1} 左右, 最大熔滴直径相当于焊丝直径的 2~2.5 倍。熔滴较激烈的活动引起熔滴上的电

弧根部同样激烈的运动,导致电弧剧烈动荡,破坏电弧的稳定. 大熔滴的偏斜使电弧力指向电弧区以外,致使熔滴飞离,造成大颗粒飞溅,这是 3 种焊丝在小参数条件下出现大颗粒飞溅的主要原因. 由表 2 可看出,3 种焊丝出现大颗粒飞溅的频次为 $2.8 \sim 8.0 \text{ s}^{-1}$. 3 种焊丝熔滴过渡形式尽管均为粗熔滴排斥过渡,但 3 种焊丝熔滴行为特征却有所不同. YC507(1)-1 熔滴不仅粗大,而且活动特别激烈,引起电弧同样激烈的飘动,粗大的熔滴在较大排斥力的作用下很容易飘离出去形成大颗粒飞溅,大颗粒飞溅是该焊丝飞溅的主要形式. YC507(1)-1 大颗粒飞溅的频次(8.0 s^{-1})接近了粗熔滴过渡的频次(9.4 s^{-1}),也就是说形成粗熔滴的数量接近半数变成了大颗粒飞溅,在焊缝旁边可以看到散布着许多大颗粒飞溅物. 熔滴的表面张力较大,熔滴与熔池的浸润性差,熔滴接触到熔池后不容易很快铺展溶入到熔池中,有时甚至出现已接触熔池的大熔滴在排斥力作用下又脱离熔池形成飞溅的现象,增大了大颗粒飞溅的几率. 与 YC507(1)-1 不同, YC507(2)-1 焊丝熔滴与熔池的浸润性较好,熔滴与熔池接触后容易相互融合,在熔池表面张力的作用下,熔滴很容易被拉入熔池,减小了大颗粒飞溅的几率,大颗粒飞溅的频次降到了 5.4 s^{-1} ,并且主要以小颗粒飞溅为主. 从表 2 中统计的熔滴过渡特征指数来看, YC507(2)-1 粗熔滴过渡的频次比 YC507(1)-1 低,分别为 7.8 s^{-1} 和 9.4 s^{-1} ,而细熔滴过渡的频次(9.0 s^{-1})比 YC507(1)-1 过渡频次(0.4 s^{-1})高得多, YC507(2)-1 统计的大颗粒飞溅的频次、中等颗粒飞溅的频次、以及发生爆炸的频次分别为 5.4 s^{-1} , 3.0 s^{-1} 和 2.8 s^{-1} ,均比 YC507(1)-1 小很多,表明 YC507(2)-1 焊接过程的稳定性比 YC507(1)-1 好.

ESAB 焊丝在小焊接参数下同样为明显的粗熔滴排斥过渡,由于 ESAB-1 熔滴粗大,增大了与熔池短路接触的几率,熔滴长大持续时间较长,短路电爆炸几率应该相应增大一些,但实际上发生短路电爆炸的几率并不大. 由表 2 中的数据看出大颗粒飞溅频次(2.8 s^{-1})和发生爆炸的频次(2.2 s^{-1})并不高,并且是 3 种焊丝中最小的,飞溅主要以细小颗粒飞溅为主. 虽然短路电爆炸的频次较小,但从焊接电流概率密度分布曲线可以看出,短路峰值电流超过了 500 A, ESAB-1 短路电爆炸引起的飞溅不容忽视. 除粗熔滴排斥过渡以外, ESAB-1 还间或出现较细的熔滴过渡形式,表 2 中统计的细熔滴过渡频次(5.4 s^{-1})与粗熔滴过渡频次相同. ESAB 焊丝也同样具有 YC507(2)焊丝熔滴与熔池浸润性好、熔滴与熔池接触后易于相熔的特点,在较长渣柱的导引

下,熔滴滑向熔池,熔滴在熔池表面张力的作用下,很顺利的过渡到熔池中,整个过程电弧相对稳定,过渡过程相对平稳.

3.1.2 碱性药芯焊丝细熔滴过渡

随着焊接参数的增大,熔滴受到的排斥力减弱,电磁收缩力、等离子流力对熔滴过渡的影响增强,熔滴尺寸减小,过渡频次增加. YC507(2)-2 熔滴过渡形式发生了明显变化,熔滴尺寸减小最为明显,该焊丝细熔滴过渡频次大大增加,达到了 53.5 s^{-1} ,熔滴大小和过渡周期都比较均匀,飞溅明显减少,大熔滴飞离的现象已不出现,显示出良好的工艺性. ESAB-2 的熔滴尺寸依然较大,但粗大熔滴受到排斥力的作用明显减小,熔滴由排斥过渡转变为具有一定轴向性的滴状过渡,同时细熔滴过渡的频次明显增大,渣柱对熔滴过渡的导向作用明显增强. 而 YC507(1)-2 的各项指数与小参数时的情况一样依然是 3 种焊丝中表现最差的.

随着焊接参数的进一步增大,熔滴过渡已不受排斥力的影响,较大的电磁收缩力和等离子流力对熔滴过渡起着主导作用,3 种焊丝熔滴过渡形式已转变为完全的细熔滴过渡. 药芯焊丝的钢皮熔化速度迅速增大,药芯滞后于钢皮的程度增大, YC507(1)-3 渣柱显露出来,对熔滴的过渡表现出一定的导向作用,出现连续的细熔滴过渡,大颗粒飞溅已不出现,过渡时熔滴与熔池不发生短路行为,过渡过程趋于稳定,这些原因导致焊丝工艺性得到一定程度的改善,但存在的主要问题是细颗粒飞溅相对较多. YC507(2)-3 细熔滴过渡时常伴随着由熔滴自身爆炸引起的飞溅,表 2 中统计结果显示,中等颗粒飞溅的频次达到了 33.3 s^{-1} . 由图 8 和图 9 可以看出, YC507(2)-3 的电弧电压和焊接电流概率密度分布与其它两种焊丝相比相对分散,这是由于飞溅较多引起电弧稳定性变差. 说明 YC507(2)焊丝不适合在 28 V, 108 mm/s 条件下使用,而在 25.4 V, 87 mm/s 条件下表现出较好的工艺性. 试验表明有些焊丝有其自身特点,对参数的选择比较敏感,在使用时应根据其特点选择合适的焊接参数,以做到工艺性的优化. ESAB-3 电弧稳定,熔化均匀,形成比较均匀的细熔滴过渡,熔滴呈非短路过渡,飞溅物颗粒细小,其工艺性达到理想状态.

3.2 改善碱性药芯焊丝工艺性的讨论

3.2.1 渣柱对药芯焊丝熔滴行为的影响

渣柱是药芯焊丝燃弧过程中特有的现象,它是由于药芯相对于钢皮滞熔形成的. 试验时观察到 YC507(2)和 ESAB 两种焊丝无论在小的焊接参数和大的焊接参数下都能形成稳定的渣柱,熔滴大多

沿渣柱过渡,尤其在大的焊接参数下,渣柱对熔滴的导向作用更为明显.渣柱对熔滴过渡的导向作用减小了熔滴过渡时的偏离,不仅如此,渣柱还促使熔滴细化,因为渣柱的存在使熔滴在还没有长得很大时就从焊丝端部的熔体中分离出来,而附着在渣柱上向熔池过渡,提高熔滴的过渡频次.显然这些因素是导致 YC507(2)焊丝焊接过程的稳定性明显优于 YC507(1)焊丝的重要原因.

3.2.2 焊丝的药芯成分对熔滴行为的影响

碱性药芯焊丝药芯成分不仅含有较多的氟化物,还含有大量的碱性氧化物,这一渣系结构决定了碱性渣具有较大的表面张力并使碱性药芯焊丝具有粗熔滴过渡的基本特征,这是碱性药芯焊丝共有的特性. YC507(1)焊丝药芯中含有多量的 BaF_2 , BaF_2 的熔点较低,在焊接时形成的渣柱较短,同时大量 BaF_2 蒸发产生的反作用力对熔滴过渡起着阻碍作用,造成熔滴剧烈动荡和电弧的激烈活动.由于蒸发产生的反作用力和电弧力的共同作用,造成 YC507(1)焊丝焊接过程中的无序过渡和大颗粒飞溅,这可能是导致 YC507(1)焊丝工艺性差的主要原因.自制的两种焊丝药芯中加入较多的 Al-Mg 合金粉,不仅起到了脱氧作用,还提高了熔融金属的粘度,改善立焊性能.但 YC507(1)焊丝药芯中加入 Al-Mg 合金粉量较多,使熔体粘度和表面张力增大,熔滴不易与熔池浸润,有时发生大熔滴尚未完全溶入熔池时重新脱离熔池形成大颗粒飞溅的现象.因此大量 BaF_2 的蒸发、较短的渣柱、较大表面张力和较大粘度的熔体是造成大颗粒飞溅的主要原因. YC507(2)焊丝药芯中减少了 BaF_2 , Al-Mg 合金的含量,增加了 SiO_2 , CaO 的含量.通过改变 Al-Mg 合金粉和 SiO_2 的含量,适当调整了熔渣的表面张力和粘度,增加 CaO 、降低 BaF_2 提高了药芯粉的熔点,使渣柱变长,改善熔滴过渡状态,大颗粒飞溅减少,提高了焊接过程的稳定性.

4 结 论

(1) 碱性药芯焊丝富氩气体保护焊在小焊接参数条件下,熔滴过渡形式为粗熔滴排斥过渡,熔滴粗大且活动剧烈,过渡频次低,不仅破坏电弧稳定性,同时由于电弧排斥力的影响往往使大颗粒熔体从焊丝端部分离出去,形成大颗粒飞溅,这是不少碱性药芯焊丝普遍存在的工艺质量问题.

(2) 随着焊接参数的增大,熔滴过渡形式由粗熔滴排斥过渡逐渐转变为细熔滴过渡,过渡频次增大,大颗粒飞溅逐渐消失,焊接过程趋于稳定.在实际应用中应选择焊丝实现细熔滴过渡的相应焊接参数,以获得最佳的工艺效果.

(3) 碱性药芯焊丝在焊接过程中能形成稳定的、较长的渣柱至关重要,尤其是在大的焊接参数下,渣柱对熔滴的导向作用十分明显,渣柱的存在减小了熔滴过渡时的偏离,稳定了电弧,同时渣柱还促使熔滴细化,提高熔滴的过渡频次和改善熔滴过渡的均匀性.稳定和较长的渣柱成为形成细熔滴过渡的必要条件.

(4) 合理调整碱性渣渣物的组成,适当降低熔渣的表面张力,改善熔滴与熔池的浸润性,提高药芯的熔点,形成稳定、较长的渣柱,是改善碱性药芯焊丝熔滴过渡形式,提高碱性药芯焊丝工艺质量的基本途径.

参考文献:

- [1] 王 宝, 杨 林, 王 勇. 药芯焊丝 CO_2 焊熔滴过渡现象的观察与分析[J]. 焊接学报, 2006, 27(7): 77-80.
Wang Bao, Yang Lin, Wang Yong. Observation and analysis of metal transfer phenomena for flux-cored electrodes in CO_2 arc welding[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2006, 27(7): 77-80.
- [2] 李 恒, 曹文山, 陈邦固, 等. 气保护药芯焊丝熔滴过渡的形式及特点[J]. 焊接学报, 2000, 21(1): 13-16.
Li Huan, Cao Wenshan, Chen Banggu, et al. Metal transfer of gas shielded flux-cored wire and its characteristics[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2000, 21(1): 13-16.
- [3] 王 勇, 王 宝. CO_2 气保护药芯焊丝工艺性评价方法[J]. 机械工程学报, 2008, 44(4): 234-238.
Wang Yong, Wang Bao. Evaluation method of usability of the flux-cored wire in CO_2 arc welding[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(4): 234-238.
- [4] 王 宝, 宋永伦. 焊接电弧现象与焊接材料工艺性[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [5] 陈邦固, 曹文山, 孙小兵, 等. MgO 型碱性气保护药芯焊丝的研究[J]. 焊接学报, 1999, 20(4): 73-78.
Chen Banggu, Cao Wenshan, Sun Xiaobin, et al. Study on MgO type basic gas shielded flux-cored wire[J]. Transactions of the China Welding Institution, 1999, 20(4): 73-78.

作者简介: 王 勇,男,1969 年出生,博士,副教授.主要从事焊接冶金、焊接电弧物理及焊接材料方面的研究工作.获省部级科技成果奖 4 项.发表论文 10 余篇. Email: wangyong_ty2008@163.com