

基于熔滴过渡理论的药芯焊丝 工艺质量控制

孙 咸¹,王红鸿²,张汉谦¹

(1.太原理工大学 焊接材料研究所,山西 太原 030024;2.上海交通大学 焊接研究所,上海 200030)

摘要:介绍了气保护药芯焊丝熔滴过渡理论的基本概念,探讨了药芯焊丝熔滴过渡的影响因素,研究了药芯焊丝焊接飞溅和焊缝中气孔(压坑)控制机理。结果表明,这类焊丝熔滴过渡的基本形态是非轴向排斥滴状过渡,焊丝的电弧形态属于活动、连续型。焊丝熔滴过渡受主导力的控制,随焊接参数(电流)变化,熔滴过渡的主导力发生变化,致使熔滴过渡指数和过渡形态改变。影响熔滴过渡的主要因素是:药芯组成物、焊丝截面形状、焊丝直径和钢带厚度以及焊接工艺参数等。提出了控制焊接飞溅新观点,即控制熔滴尺寸是必要条件,而控制“熔滴大角度过渡次数”“熔滴存在时间和过渡间隔均匀性”“熔滴依附渣柱过渡次数”等指数是充分条件,两者缺一不可。在控制焊缝中气孔(压坑)机理方面,发现细熔滴过渡时气孔(压坑)倾向大,促使熔滴细化的药芯组成物和工艺参数都具有增大气孔(压坑)倾向的作用。

关键词:药芯焊丝;工艺质量;熔滴过渡理论

中图分类号:TG422.3

文献标识码:A

文章编号:1001-2303(2006)11-0005-06

Control of usability quality in flux-cored wire based on metal transfer theory

SUN Xian¹, WANG Hong-hong², ZHANG Han-qian¹

(1.Reserch Institute of Welding Consumables, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 2.Welding Research Insittute, Shanghai jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: The fundamental conception of metal transfer theory of gas-shielded flux-cored wire was presented, the factors influencing metal transfer of flux-cored wire were discussed, and the theory of controlling welding splash and the pore was studied. The result shows that the basal mode of metal transfer of this kind of flux-cored wire is non-axial repelled droplet transfer, the arc mode is activated and continued. Metal transfer is dominated by the primary force, and with the change of welding conditions (welding current), the primary force is changed which bring about the change of metal transfer index and metal transfer mode. The main factors influencing metal transfer are the component of flux, the shape of wire section, the diameter of wire, the thickness of the steel stripe, and the welding parameters. The new conception of controlling welding splash is brought forward controlling the droplet dimension is the necessary condition, controlling such parameters as ‘the number of large angle metal transfer’ ‘the time of being droplet and the uniformity of metal transfer’ ‘the number of slag pole-guided metal transfer’ is the sufficient condition, and neither is dispensable. The mechanism of controlling the pore in the weld metal shows that the trend of producing pore increases with the fined drop metal transfer. The component of flux and the welding conditions which can fine the droplet will have the effect on increasing the incline of pore.

Key words: flux-cored wire; usability quality; metal transfer theory

收稿日期:2006-07-05

作者简介:孙 咸(1941—),男,山西孝义人,教授,主要从事焊接材料及金属焊接性方面的研究和教学工作,对焊接材料软件开发具有丰富经验;1992年获国务院颁发的政府特殊津贴。

0 前言

最近10年,我国的药芯焊丝产业得到了迅速发展,其中碳钢药芯焊丝的工艺质量已经提高到一个新的水平。以E501T-1型焊丝为例,我国药芯焊

丝行业通过引进和自主开发,对影响市场销量的焊丝工艺质量问题产生原因已查清,国外知名品牌所特有的关键技术正在被国人突破,国产药芯焊丝与国外同类名牌之间的差距正在逐步缩小。与此同时,随着国内外焊材市场需求量的提升,国产药芯焊丝生产和研发进入了一个新的发展时期。然而,应当看到,发展是不平衡的。药芯焊丝生产厂家的技术水平良莠不齐,有的企业技术开发尚未全面过关,仍然沿用已经过时的软件体系和落后的工艺装备,产品质量停滞不前,前期用户反映焊丝的工艺质量问题居多,随后在工艺性评定中又频频出现熔敷金属力学性能不过关的现象。药芯焊丝工艺质量的关键技术究竟在哪里?药芯焊丝的工艺质量归结底与熔滴过渡密切相关。对药芯焊丝熔滴过渡的研究已经有不少文献报道^[1-4],其理论尚在发展,迄今为止仍有许多现象未被认识。在此,特将药芯焊丝的熔滴过渡理论与工艺质量相联系,开展 E501T-1 型药芯焊丝工艺质量控制机理研究。

1 熔滴过渡理论概要

1.1 药芯焊丝熔滴过渡形态及其分类

在药芯焊丝研究发展过程中,关于钛型药芯焊丝熔滴过渡形态评价出现了几种观点。一种观点认为,这类药芯焊丝的熔滴过渡形态,在小电流区域是细颗粒过渡,在大电流区域是射流过渡,不发生短路过渡^[1]。另一种观点则认为,随着焊接条件(参数)的变化,熔滴过渡分为大滴排斥过渡、细颗粒过渡、射滴过渡、射流过渡和短路过渡五种^[2]。最具特色的是文献[3]的观点,它将这类药芯焊丝熔滴过渡特性归纳为四个方面,即熔滴的周向旋转特性、熔滴的非轴向过渡特性、药芯滞熔特性、熔滴与熔渣分离过渡特性。本试验观察证实,这类药芯焊丝熔滴过渡的基本形态是非轴向排斥滴状过渡,其主要的过渡指标是熔滴尺寸、过渡频率和熔滴过渡的非轴向倾向。熔滴过渡形态的变化主要依赖于焊接电流的变化。在小电流焊接时,焊丝端部的滴状熔滴在多种力作用下急速摆动,并以非轴向方式不停地脱离焊丝实现过渡。随着焊接电流的增大,熔滴尺寸减小,过渡频率增大,熔滴的非轴向倾向略显减小;当焊接电流大于某范围值后,熔滴尺寸急剧减小,过渡频率急剧增大,熔滴沿焊丝渣柱方向过渡,此时的形态可以称为“射滴过渡”。熔滴沿渣柱的过渡行为,对稳定电弧、减小焊接飞溅、改善操

作工艺性较为有利^[2]。在生产现场通常采用较大的焊接电流,当电弧电压相应提高时,这类焊丝发生短路过渡的机会较小。最近采用高速摄影和汉诺威分析仪测试显示,以滴状为主的过渡中,在电弧电压较低的那些瞬时,亦会发生短路过渡行为。

1.2 药芯焊丝电弧形态及其分类

由于电参数受到焊丝截面形状、保护气体和药芯组成物等因素的影响,作为焊接热源的电弧,它的行为特点既不同于焊条电弧焊,也有别于实芯焊丝。药芯焊丝的电弧行为,不仅通过电弧稳定性影响焊接工艺性,而且还可能通过熔滴过渡区冶金反应影响焊接飞溅和焊缝质量。国内外对实芯焊丝气保焊电弧行为的研究文献较多,但对药芯焊丝的电弧形态研究甚少。本研究通过与实芯焊丝的对比观察,把药芯焊丝的电弧形态分为四种类型:按电弧的连续性分,可以分为连续型和断续型电弧;按电弧的活动性分,可以分为活动型和非活动型电弧。实芯焊丝 CO₂ 气保护焊时,尽管熔滴的非轴向排斥过渡形态使电弧偏离焊丝轴线,而且随熔滴在焊丝端急速摆动而飘移不定,但电弧首先是在焊丝端头的整个截面上产生的,同时熔滴在短路过渡瞬间会出现电弧瞬间熄灭现象,因此实芯焊丝的电弧形态属于活动、断续型。而 O 型截面药芯焊丝 CO₂ 气保护焊时,熔滴虽然也是非轴向排斥过渡形态,而且随熔滴在焊丝端急速摆动而发生电弧迁移,然而电弧首先是产生在焊丝金属外套管上,况且熔滴的滴状过渡并未出现电弧瞬间熄灭现象,因此该类药芯焊丝的电弧形态应属于活动、连续型。总体上看,药芯焊丝 CO₂ 气保护焊时,因为药芯中加有稳弧剂,电弧的挺度和稳定性均比实芯焊丝的好,焊丝的工艺性得到明显改善。

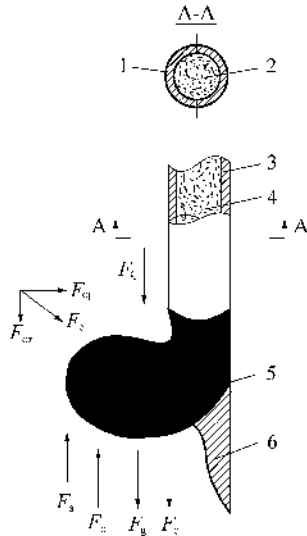
1.3 药芯焊丝熔滴过渡机理和过渡主导力

1.3.1 熔滴形成过程

以 O 型截面对接口药芯焊丝为例,其熔滴形成过程为:进入电弧区的焊丝端部,在接口处及其附近的钢带首先快速熔化,而在接口径向处的钢带则滞后熔化,于是很快形成了偏心熔滴悬于焊丝端部;与此同时,处于焊丝端部、熔滴下方的还有滞后钢带熔化的所谓渣柱,有时还有滞后熔化的一小段细钢带,如图 1 所示。随着焊丝不断送进,熔滴在电弧中急速旋转、飘移并过渡。可以看出,电弧燃烧时,焊丝端部沿圆周方向不能同步熔化,而是沿接口处熔化速度快,接口径向处熔化速度慢,结果出



现偏心熔化(或马蹄形熔化)、熔滴沿焊丝周边悬挂运动和熔滴的非轴向过渡现象。至于处于熔滴下方的渣柱的形成,则是由于药芯组成物熔点比钢带高所致。



1—焊丝接口;2—接口径向;3—金属外皮;4—药芯;5—熔滴;6—渣柱。

图 1 熔滴受力示意

Fig.1 Schematic diagram of the force on the droplet

1.3.2 熔滴过渡机理

电弧中熔滴的过渡,最终靠作用于熔滴上的各种力的综合变化。为此本研究建立了药芯焊丝熔滴过渡受力模型,如图 1 所示。该模型认为,药芯焊丝的熔滴在电弧中受到模型中诸多作用力的共同作用,随着焊接参数的变化,各种力的大小和方向可能发生变化,致使熔滴过渡指数不断改变,熔滴过渡形态发生变化。药芯焊丝熔滴受以下几种力的作用:表面张力 F_{σ} 、重力 F_g 、电磁力 F_c 、气体吹力 F_q 、斑点压力 F_b 、等离子流力 F_i 。

研究表明,焊接电流较小时,重力和表面张力是熔滴过渡的主导力,此时重力促进熔滴过渡,而表面张力则阻碍熔滴过渡;焊接电流较大时,电磁力、等离子流力以及表面张力是熔滴过渡的主导力,它们均有利熔滴过渡;斑点压力与电源极性有关,保护气体吹力则对熔滴过渡可能产生负面影响。应当看到,熔滴过渡是上述各种力综合作用的结果,熔滴过渡的控制实质上就是控制作用在熔滴上的各种力,这些力的变化和影响因素比较复杂。

1.4 药芯焊丝熔滴过渡的影响因素

1.4.1 药芯组成物的影响

研究了多种药芯组成物对熔滴过渡的影响。

(1)金红石含量增大时不能降低熔滴的界面张力,对熔滴的细化作用并不强烈,原因是金红石其中的主要成分 TiO_2 结构十分稳定,在电弧中不使熔滴增氧。

(2)硅铝酸盐矿石粉含量增大时对熔滴有明显的细化作用,原因是其中所含的 SiO_2 以及 K_2O 、 Na_2O 使熔滴的表面张力减小,熔滴被细化。

(3)铝和铝镁合金对熔滴有一定的细化作用,机理可能是这些组元燃烧放热,使熔滴温度升高,熔滴的表面张力减小。

(4)氟化物含量增大时,虽然能减小熔渣的表面张力,使熔渣变稀,但是由于 CaF_2 是反电离物质,增大电极斑点压力,阻碍熔滴顺利过渡,因而使熔滴尺寸变大,电弧稳定性变差,加剧了熔滴非轴向排斥过渡倾向。

文献[4]在药芯中加入白云石,焊接时放出 CO_2 使药粉不易烧结,有利克服“滞熔”现象;药芯中加入的金属镁,在焊接过程中燃烧,放出大量热,有利于控制焊丝的“滞熔”现象,改善电弧稳定性和熔滴过渡形态^[4]。有人研究了铁粉的影响,随着药芯中铁粉含量增加,焊丝的熔化速度降低,熔滴尺寸和渣柱长度减小,有利于熔滴过渡;然而,随药芯中铁粉含量增大,熔滴增氧,硅、锰元素含量降低,焊缝中气孔倾向增大,影响焊缝的质量。为此,提出限定铁粉含量的最大值为药芯总重的 40%^[5]。

1.4.2 焊丝截面形状的影响

研究表明,药芯焊丝熔滴过渡形态与焊丝截面形状关系密切。简单截面(O型,对接缝)药芯焊丝为非轴向排斥滴状过渡,位于外皮的薄钢带先于药芯熔化,形成的熔滴悬于焊丝一侧(偏心焊丝轴线),并沿周边长大,加之 CO_2 电弧特性使熔滴的受力状况恶化,作用在熔滴上的电极斑点压力增大,导致电弧不稳、飞溅大,产生渣柱,甚至出现药芯成块脱落等不利的工艺特性。熔滴过渡区冶金反应的不完全,还将导致焊缝力学性能不稳定、不均匀,严重影响焊丝的工艺质量。复杂截面药芯焊丝为细熔滴滴状过渡,非轴向倾向被减弱,有的焊丝也可能呈轴向过渡。此时由于弧根面积大,电磁轴向分力促使熔滴过渡,克服了简单截面焊丝熔滴过渡的不利因素,表现出电弧稳定、飞溅较小、过渡频率适中等一系列优点。熔滴过渡区冶金反应较为完全、充分,焊缝中合金元素分布均匀,显微组织晶粒较细,熔敷

金属力学性能优良、稳定,尤其是缺口冲击韧性值远高于简单截面焊丝。

1.4.3 焊丝直径、钢带厚度的影响

研究表明,随药芯焊丝直径的减小,熔滴弧根面积增大,电磁轴向分力促使熔滴过渡,此时焊接电弧稳定、飞溅减小、熔滴细化,焊丝的操作工艺性满意。反之,药芯焊丝直径增大后,熔滴过渡阻力增大,电弧不稳、飞溅增大、熔滴粗化,焊丝的操作工艺性急转直下。因此对于大直径焊丝,最好采用复杂截面。关于钢带的厚度,对于相同直径的焊丝,采用略厚一点的钢带有利于熔滴过渡。原因是厚带生产时,焊丝填充系数较小,熔滴弧根面积较大,同时产生的渣柱较小,焊丝的工艺性好。

1.4.4 焊接工艺参数的影响

(1)焊接电流的影响。焊接电流是熔滴尺寸、过渡形态发生明显变化的关键参数。其影响规律是:①当焊接电流较小为 160~200 A 时,熔滴尺寸略大,过渡频率较低,焊丝端部滞熔的渣柱尺寸小,此时电弧稳定性略差,但熔滴绝大多数落入熔池,焊接飞溅不算太大,高温渣的凝固范围较小,形成“短渣”,熔渣覆盖均匀,焊缝金属光泽好,成形均匀美观,此时焊丝的立向上焊接工艺性优良。②焊接电流增大至 240~260 A 时,熔滴尺寸减小,过渡频率增大,焊丝端部滞熔的渣柱尺寸增大,有一定数量的熔滴沿渣柱滑入熔池,此时电弧稳定性较好,焊接飞溅较小,高温渣流动性适中,熔渣覆盖均匀,焊

缝金属光泽鲜亮,成形均匀美观,焊丝工艺性优良。③当焊接电流继续增大至 280~300 A 时,熔滴尺寸再减小,过渡频率再增大,焊丝端部滞熔的渣柱尺寸也增大,此时电弧稳定性反而变差,熔滴不完全沿渣柱滑入熔池,焊接飞溅增大,高温渣变稀,熔渣覆盖不均匀,焊缝金属光泽被氧化,成形不均匀,焊丝工艺性变差。其机理是:随着焊接电流增大,电弧热亦增大,熔滴的温度提高,熔滴的表面张力被减小,熔滴反应区冶金反应剧烈。

(2)电弧电压的影响。随着电弧电压增大,熔滴有细化倾向。原因是电弧电压增大使电弧长度增大,电弧的氧化性增大,熔滴的表面张力被减小。

(3)电源极性的影响。在相同焊接电流条件下,直流反接时,熔滴较细,过渡频率较高;直流正接时,情况相反。这与电弧中电子发射机理及熔滴所受斑点压力有关。其余参数,如焊丝伸出长度、保护气流量、焊接速度等对熔滴过渡形态无明显影响。

2 药芯焊丝工艺质量控制

2.1 药芯焊丝焊接飞溅的控制

表 1 是三种药芯焊丝熔滴过渡指数与焊接飞溅关系测试结果。可以看出,三种焊丝的熔滴过渡形态、电弧形态基本相同,均为非轴向排斥滴状为主的过渡形态和连续、活动型电弧形态。它们的熔滴过渡指数的主要差别是:

(1)过渡频率不同。B 焊丝的最高,达 33.95 Hz;

表 1 熔滴过渡指数的高速摄影法测试结果(直流反接, $I=240\text{ A}$, $U=28\text{ V}$)

Tab.1 Metal transfer index in the high speed camera experiment(DC reversed polarity, $I=240\text{ A}$, $U=28\text{ V}$)

焊丝	统计时间 t/s	熔滴过渡次数 $n/\text{次}$	过渡频率 f/Hz	电弧位于熔滴底部次数 $n/\text{次}$	电弧迁移次数 $n/\text{次}$	大角度排斥过渡次数 $n/\text{次}$	大角度过渡熔滴存在时间、间隔均匀性	飞溅次数 $n/\text{次}$	依附渣柱过渡次数 $n/\text{次}$	熔滴过渡形态	电弧形态
A	1.848	50	27.06	50	50	39	时间长间隔不均	16	3	非轴向排斥滴状为主	连续、活动型
B	0.972	33	33.95	33	33	6	时间较短间隔较均	7	22	非轴向排斥滴状为主	连续、活动型
C	1.716	49	28.55	49	49	22	时间短间隔均匀	8	13	非轴向排斥滴状为主	连续、活动型

A 焊丝和 C 焊丝的比较接近,分别为 27.06 Hz 和 28.55 Hz。

(2)熔滴的大角度排斥过渡(熔滴与焊丝轴线间的夹角大于 60° 的过渡),次数不同。其中 A 焊丝的最多,达 39 次;B 焊丝的最少,仅为 6 次;C 焊丝的居中,为 22 次。

(3)大角度过渡熔滴存在时间和过渡间隔均匀性不同。其中 A 焊丝的存在时间较长,间隔不均匀;B 焊丝的存在时间较短、间隔较均匀;C 焊丝

的存在时间短、间隔很均匀。

(4)熔滴依附渣柱过渡次数不同。其中 A 焊丝的最少,为 3 次;B 焊丝的最多,为 22 次;C 焊丝的居中,为 13 次。

(5)飞溅次数不同。其中 A 焊丝的最多,达 16 次;B 焊丝和 C 焊丝的比较接近,分别为 7 次和 8 次。为什么熔滴过渡和电弧形态基本相同条件下,三种焊丝的工艺性却有差别?分析 A 焊丝和 C 焊丝的熔滴过渡指数间关系发现,熔滴尺寸和过渡频率都



比较接近,但飞溅程度不同。因此认为,熔滴的粒度和过渡频率不一定是影响飞溅的关键因素,飞溅小需要的是熔滴过渡阻力小,熔滴过渡区冶金反应生成 CO 气体少。“熔滴的大角度排斥过渡次数”和“大角度过渡熔滴存在时间、过渡间隔均匀性”,以及“熔滴依附渣柱过渡次数”指数,可以很大程度上反映熔滴过渡阻力大小。所谓熔滴的大角度排斥过渡,是指悬于焊丝端部的熔滴在不停摆动或旋转运动中,由于受到阻碍过渡力的作用,熔滴被排斥至偏离焊丝轴线,当它与焊丝轴线间夹角处于大角度状态时才脱离焊丝实现过渡,如图 2 所示。熔滴与焊丝轴线间夹角越大,熔滴过渡所受到的阻力就越大,熔滴过渡越困难。熔滴的大角度过渡次数越多,焊接工艺性就会变差。反之,熔滴与焊丝轴线间夹角越小,熔滴过渡所受到的阻力就越小,熔滴的小角度过渡次数越多,焊接工艺性就会变好,如图 3 所示。为此,提出改善熔滴过渡特性新观点,即控制熔滴尺寸是必要条件,而控制“大角度过渡次数”“熔滴存在时间和过渡间隔均匀性”“依附渣柱过渡次数”则是充分条件,两者缺一不可。用该理论可以很好解释上述试验结果。A 焊丝和 C 焊丝熔滴过渡频率接近,熔滴尺寸亦接近,可是 A 焊丝的大角度排斥过渡次数高,而且熔滴存在时间长、过渡间隔不均匀、依附渣柱过渡次数最少,说明熔滴过渡阻力大,熔滴所受斑点压力大,熔滴的冶金反应时间长,产生的 CO 气体量多,焊接飞溅倾向大,焊丝的综合工艺性比较差。C 焊丝正是在“充分条件”方面比 A 焊丝优先,故其焊接飞溅倾向较小,综合工艺性比较好。而 B 焊丝在“充分”和“必要”条件方面均占优势,其综合工艺性最好。

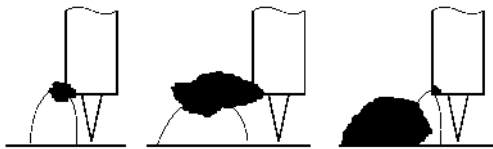


图 2 熔滴的大角度排斥过渡示意

Fig.2 Schematic diagram of droplet transfer at large angle

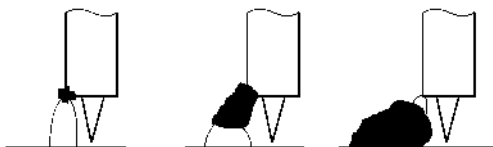


图 3 熔滴的小角度排斥过渡示意

Fig.3 Schematic diagram of droplet transfer at small angle

2.2 药芯焊丝焊缝中气孔(压坑)的控制

2.2.1 熔滴过渡特性与气孔(压坑)关系的测试结果

钛型渣系气保护药芯焊丝对气孔较敏感。气孔(压坑)的出现率具有随意性和伴随性。所谓随意性是指焊接规范和条件未改变而突发出现的气孔(压坑),所谓伴随性是指气孔与压坑同时出现的现象。气孔和压坑的外观形态呈多样性,其中气孔以圆孔形为主,压坑则以沟槽状为主。从气孔(压坑)的内表特征看,都具有较光滑的内表面。综合分析其特征可以判断,除了密集蜂窝状型气孔属氮气孔之外,其余形态气孔(压坑)的性质主要属氢气孔(压坑)。已经知道,焊缝中气孔的产生,不仅取决于熔池中吸收氢气的总量,还取决于熔池中氢气逸出的难易程度。焊缝中压坑的产生,还与焊接熔渣的凝固速度、熔渣中气体逸出的难易程度有关。熔滴过渡特征与气孔(压坑)关系的测试结果如表 2 所示。

表 2 熔滴过渡特性与气孔(压坑)关系的测试结果

Tab.2 Relationship between metal transfer characteristic and pore in the weld metal

焊丝	电弧稳定性	熔滴过渡特征	熔滴过渡频率
A	稳定	细熔滴非轴向滴状过渡	高
B	较稳定	略粗熔滴非轴向滴状过渡	略低
焊丝	气孔(压坑)倾向	其他工艺特征	
A	敏感	手感柔和,飞溅极小	
B	不敏感	手感不柔,飞溅较大,有小爆炸	

从表 2 可以看出,熔滴过渡形态对气孔(压坑)有一定的影响。综合工艺性优良的 A 焊丝,其熔滴呈细熔滴非轴向滴状过渡形态,对气孔(压坑)敏感;工艺性稍差的 B 焊丝,其熔滴也呈细熔滴非轴向滴状过渡形态,但熔滴尺寸略有增大,过渡频率略微降低,飞溅较大,对气孔(压坑)不敏感。原因是:A 焊丝熔滴颗粒细,比表面积大,在电弧中熔滴吸收的氢多,进入熔池中的氢总量多,过渡频率高时,进入熔池中的氢总量更多,当氢的逸出条件差时,就易生气孔,即“熔滴过渡形态对气孔的影响理论”;当氢在熔渣中的逸出条件差时,就易生压坑。与之相反,B 焊丝熔滴颗粒较粗,比表面积较小,熔滴吸收的氢少,进入熔池中的氢总量少,气孔(压坑)倾向小。

2.2.2 药芯组成物的影响

八种药芯组成物的试验结果如表 3 所示。可以看出,除了氟化物对气孔(压坑)不敏感外,其余都对气孔(压坑)敏感。其中,促使熔滴细化作用强烈的组成物,产生气孔(压坑)的倾向越严重。石英加入量的增加,使气孔(压坑)倾向增大。石英中的 SiO₂ 使熔

滴的表面张力减小,熔滴被细化,细熔滴在电弧中吸收的氢多,进入熔池中的氢总量增加,同时高温渣变稠使熔池中气体的逸出条件变差,综合作用加剧了气孔(压坑)敏感性。长石加入量的增加,使气孔(压坑)倾向增大。其机理是:长石中的 SiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 使熔滴的表面张力减小,熔滴细化。锆英石加入量对气孔(压坑)敏感也是熔滴细化的结果。镁砂、铝镁合金加入量对气孔(压坑)敏感,是熔滴被细化、高温渣变稠两个因素影响所致。

表 3 药芯组成物对焊丝气孔及工艺性的影响

Tab.3 Effect of flux component on pore and usability of wire

药芯组成物	稳弧性	熔滴尺寸	气孔(压坑)倾向	其他工艺特征
金红石	变好	未细化	存在敏感性	高温渣变稠,脱渣性好,飞溅减小
石英	影响不大	细化	存在敏感性	高温渣变稠
长石	影响不大	细化	存在敏感性	飞溅减小,成形好
锆英石	影响不大	细化	存在敏感性	高温渣变稠
镁砂	不明显	略细化	存在敏感性	高温渣变稠
氟化物	变差	粗化	不敏感	飞溅增大,高温渣变稀
铝镁合金	变好	细化	存在敏感性	飞溅减小,高温渣变稠
铁粉	影响不大	影响不大	存在敏感性	变化不大

金红石在药芯中的加入量对气孔(压坑)的产生有一定影响。随药芯中金红石加入量的增加,电弧稳定性变好,熔滴尺寸未细化,高温渣变稠,脱渣性变好,飞溅减小,气孔(压坑)倾向并未减小。熔滴未被细化是由于金红石中含有大量的 TiO_2 , TiO_2 的键能小,表面张力也小,在渣中会使其表面张力下降;但是 TiO_2 结构十分稳定,在焊接条件下不会使熔滴增氧,不能降低熔滴界面张力,致使它对熔滴的细化作用很弱。焊缝中气孔(压坑)倾向未减小的原因较复杂:一方面熔滴未被细化,在电弧中吸收的氢量少,进入熔池中氢总量少,有利于减小气孔(压坑)敏感性;另一方面,药芯中金红石含量增大,高温渣变得太稠,不利于熔池中气体的逸出,反而增大气孔(压坑)敏感性。后者的影响比前者大,因此气孔(压坑)倾向并未减小。

氟化物的加入量对气孔(压坑)及工艺性有重要影响。随着药芯中氟化物加入量的增加,电弧稳定性变差,熔滴颗粒增大,飞溅和爆炸严重,高温渣变稀,抗气孔(压坑)性增强。一方面是粗熔滴吸收的氢少,另一方面是在熔滴反应区氟化物与硅酸盐发生

冶金反应,降低电弧气氛中的氢分压,熔滴中的氢和进入熔池中的氢总量减少,从而降低了氢气孔(压坑)倾向。尽管如此,氟化物的加入量还是不宜过多,因为过量的氟化物会严重损害焊丝的工艺性。

2.2.3 工艺因素的影响

测试结果表明,工艺因素很大程度上通过改变熔滴过渡形态,从而影响气孔(压坑)敏感性。在诸多焊接参数中,焊接电流、电弧电压对熔滴过渡形态——气孔(压坑)倾向影响的规律性,基本遵循了“熔滴过渡形态对气孔的影响理论”揭示的机理。

3 结论

(1)药芯焊丝熔滴过渡的基本形态是非轴向排斥滴状过渡,焊丝的电弧形态属于活动、连续型。

(2)焊丝熔滴过渡受主导作用力的控制,随焊接参数(电流)变化,熔滴过渡的主导力发生变化,致使熔滴过渡指数和过渡形态改变。

(3)影响气保护药芯焊丝熔滴过渡的主要因素有,药芯组成物、焊丝截面形状、焊丝直径和钢带厚度、焊接工艺参数等。这些因素的变化通过熔滴过渡主导力使熔滴过渡特性改变。

(4)在控制焊接飞溅方面提出了新观点,即控制熔滴尺寸是必要条件,而控制“熔滴大角度过渡次数”“熔滴存在时间和过渡间隔均匀性”“熔滴依附渣柱过渡次数”等指数是充分条件。两者缺一不可。

(5)在控制焊缝中气孔(压坑)焊接质量方面,发现细熔滴过渡时气孔(压坑)倾向大,熔滴在电弧中吸收氢的总量是形成气孔(压坑)的主要因素;同时认为,促使熔滴细化的药芯组成物和工艺参数,都具有增大气孔(压坑)倾向的作用。

参考文献:

- [1] 田志凌,潘川,梁东图.药芯焊丝[M].北京:冶金工业出版社,1999.
- [2] 李桓,曹文山,陈邦固,等.气保护药芯焊丝的熔滴过渡形式及特点[J].焊接学报,2000,21(1):13-16.
- [3] 赵丽,张富巨.药芯焊丝电弧焊的熔滴过渡与相关技术特征[J].焊接技术,2002(增刊):36-39.
- [4] Muneharu Kutsuna, Mehari Abraham. Metal transfer and spatter loss in double gas shielded metal arc welding using flux-cored wire[J]. Transactions of the Japan Welding Society, 1989, 20(1):2-8.
- [5] Fukuhisa Matsuda, Masao Ushio, Tatsuo Tsuji, et al. Arc characteristics and metal transfer for flux-cored electrode in GMAW (Report II)[J]. Transactions of JWRI, 1980, 9(1):39-46.

