

# 气保护药芯焊丝熔滴过渡的形式及特点<sup>\*</sup>

李 桓 曹文山 陈邦固 孙小兵<sup>\*\*</sup>

(天津大学 天津 300072)

**摘 要** 根据气保护药芯焊丝的特点, 设计了以激光为背光的高速摄影试验。基于试验结果, 总结出了药芯焊丝熔滴过渡的各种形式及存在条件并分别做了描述, 阐述了药芯焊丝熔滴过渡的特点。认为药芯焊丝的熔滴过渡形式与实芯焊丝相比, 既有共同点, 又有不同点。与实芯焊丝熔滴过渡过程相比, 药芯焊丝熔滴过渡的特点是: 焊丝端部与熔池之间始终存在着半熔化状态的渣柱, 其长度取决于药芯材料的熔点。由于熔滴可附着于渣柱周围以附渣的形式进行过渡及渣柱的导向性等, 因此除短路过渡以外, 渣柱在一定程度上有利于稳定熔滴过渡过程和减少飞溅。

**关键词:** 药芯焊丝 气保护 熔滴过渡

**中图分类号:** TG 403



李 桓

## 0 序 言

药芯焊丝是近年来国际上迅速发展起来的一种新型焊接材料。国内对药芯焊丝的研究和开发也正处于高速发展的时期, 已取得一定成果。但对药芯焊丝焊接过程的深入研究还开展得不多。本文利用高速摄影的试验手段, 对药芯焊丝的熔滴过渡行为做了研究, 总结出了气保护药芯焊丝的各种熔滴过渡形式及其特点。

## 1 试验方法

本文采用高速摄影的方法<sup>[1]</sup>对药芯焊丝的熔滴过渡行为做了研究。图 1 为高速摄影试验的装置及光路示意图。它由四大部分组成, 即光源部分、扩束部分、成像部分及摄影部分。

(1)光源部分: 即图 1 中的激光源, 使用的是波长为  $6.328 \times 10^{-7} \text{m}$  的氦—氖激光器;

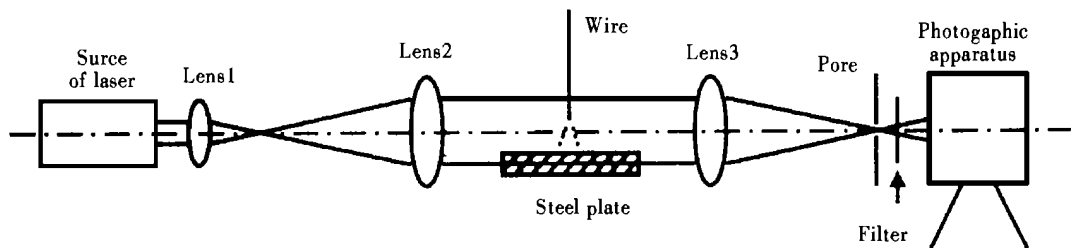


图 1 高速摄影装置及光路示意图

Fig. 1 Device of high-speed photographing and optical path

(2)扩束部分: 由显微目镜及凸透镜的扩束镜, 即图 1 中的透镜 1、透镜 2;

(3)成像部分: 包括焊丝、成像物镜、小孔光阑、干涉滤光片。成像物镜即图 1 中的透镜 3, 干涉滤光片的中心波长为  $6.328 \times 10^{-7} \text{m}$ ;

(4)摄影部分: 高速摄影主机, 即图 1 中的摄影机。

主要器件的性能:

激光器: 是由北京科学仪器厂生产的 HN—T4 型氦—氖激光器, 波长为  $6.328 \times 10^{-7} \text{m}$ , 最大功率 40 mW, 试验中使用的功率为 24 mW;

高速摄影机: 选用原民主德国生产的 Pentazet35 型 35 mm 标准底片高速摄影机, 最高摄影频率为 2000 幅/s。试验中使用的摄影频率为 750 幅/s。

焊接工艺参数如下。

干伸长: 20 mm;

保护气体流量: 20 L/min;

收稿日期: 1998—09—21

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金资助项目 (59571066)。

<sup>\*\*</sup> 参加本项研究工作的还有张文钺、雒玉岐。

焊丝直径:  $\phi 1.2\text{ mm}$  ;  
极性: 直流反接;  
焊机型号: 天津市电焊机厂生产的 GD—500 型  $\text{CO}_2$  气体保护半自动焊机;  
送丝机型号: 新乡市电气控制设备厂生产的 S86A 型送丝机。  
试验用的药芯焊丝为天津三英焊业有限公司生产的 SQJ501、韩国现代公司生产的 SF—71 和自行研制的 Yan507。试验中还用到了实芯焊丝作为对比, 试板材料为 Q235 钢。

2 药芯焊丝熔滴过渡的形式

选取不同的电流、电压、保护气体进行焊接, 做了大量高速摄影试验。然后将所得底片进行整理、分析

和归纳, 得出如下结论。  
同实芯焊丝<sup>[2]</sup>类似, 药芯焊丝的熔滴过渡形式也有如下几种: ①大滴排斥过渡; ②细颗粒过渡; ③射滴过渡; ④射流过渡; ⑤短路过渡。这几种过渡形式的形成条件和过渡状况如表 1 所示。其中细颗粒过渡是主要的过渡形式, 其形成条件为:  $\text{CO}_2$  气保护, 焊接电流 240 A, 电弧电压 30 V, 焊丝直径  $\phi 1.2\text{ mm}$ 。

2.1 大滴排斥过渡

当焊接电流较小和电弧电压较高(160 A, 30 V)时, 弧长较长, 熔滴不易与熔池短路。因电流较小, 弧根面积的直径小于熔滴直径, 熔滴与焊丝之间的电磁力不易使熔滴形成缩颈。斑点压力也阻碍熔滴过渡。随着焊丝的熔化, 熔滴长大, 其重力克服表面张力的作用形成大滴状熔滴过渡(熔滴直径为焊丝直径的 2.5 倍)。

表 1 药芯焊丝熔滴过渡形式、形成条件及过渡状况  
Table 1 Metal transfer patterns their existing conditions and description

Transfer patterns	Existing conditions				Description	
	Types of gases	Welding currents $I/\text{A}$	Arc voltages $u/\text{V}$	Wire feeding speeds $v/(\text{m}\cdot\text{min}^{-1})$	Sizes of metal drops(times of the wires diameter)	Frequencies of transfer ( $\text{drops}\cdot\text{s}^{-1}$ )
Repelled globular	$\text{CO}_2$	160	30	7.2	2.5	14
Small drop	$\text{CO}_2$	240	30	11.0	1.5	24
Projected spray	Ar	270	32	15.0	0.96	162
Streaming spray	Ar	290	35	15.8	0.43	244
Short-circuiting	$\text{CO}_2$	160	20	6.4	1.1	68

试验中用的是  $\text{CO}_2$  保护气体, 而  $\text{CO}_2$  气体高温分解吸热对电弧有明显的冷却作用, 使电场强度增高, 电弧收缩, 弧根面积减小, 增加了斑点压力对熔滴过渡的阻碍作用, 最终形成大滴状排斥过渡。典型照片如图 2a 所示。

2.2 细颗粒过渡

在  $\text{CO}_2$  气体保护情况下, 随着焊接电流的增加(至 240 A), 斑点面积也增加, 熔滴所受的等离子流力和电磁力增加, 熔滴过渡频率也增加(为 24 滴/s)。这时, 熔滴直径为焊丝直径的 1.5 倍左右, 属于细颗粒过渡。典型照片如图 2b 所示。过渡时, 会出现熔滴这一次在左, 下一次在右的位置交替现象, 典型照片如图 2c 所示。这种现象是由于未完全熔化的渣芯阻挡了熔滴向焊丝根部的热传递造成的。  
试验中还发现, 相同电流、电压情况下, 药芯焊丝的熔滴尺寸比实芯焊丝小, 这说明药芯焊丝比实芯焊丝容易形成细颗粒过渡。

药芯焊丝的这种过渡形式飞溅较少, 电弧稳定, 焊缝成形好, 所以在生产和试验中得到广泛应用。也就是说, 细颗粒过渡是药芯焊丝熔滴过渡的主要

形式。

2.3 射滴过渡

使用 Ar 作保护气体时, 用  $\phi 1.2\text{ mm}$  的药芯焊丝, 270 A, 32 V, 会出现射滴过渡。过渡时, 熔滴直径接近于焊丝直径(0.96 倍焊丝直径), 熔滴脱离焊丝沿焊丝轴向过渡, 形成熔滴“抱着”渣芯向下滑落的状态。这时的过渡频率为 162 滴/s。典型的高速摄影照片如图 2d 所示。

形成射滴过渡的原因是, 使用 Ar 作保护气体时, 弧根面积扩大并包围熔滴, 使斑点压力和电磁收缩力都有利于熔滴过渡, 只有表面张力对熔滴过渡起阻碍作用。这种情况下, 熔滴容易下落, 并被电磁收缩力、等离子流力、重力等加速, 形成射滴过渡。这时熔滴下落的加速度远远大于细颗粒过渡时熔滴的加速度。

2.4 射流过渡

使用 Ar 作保护气体, 用  $\phi 1.2\text{ mm}$  的药芯焊丝, 290 A, 35 V 时, 会出现射流过渡。典型的高速摄影照片如图 2e 所示。这时, 熔滴直径为焊丝直径的 0.43 倍, 过渡频率为 244 滴/s。基本上每次过渡一

滴,但偶尔会出现一次过渡两滴的现象。一次过渡两滴时,熔滴呈一左一右的位置。此时熔滴下落的加速度比射滴过渡时还要大。

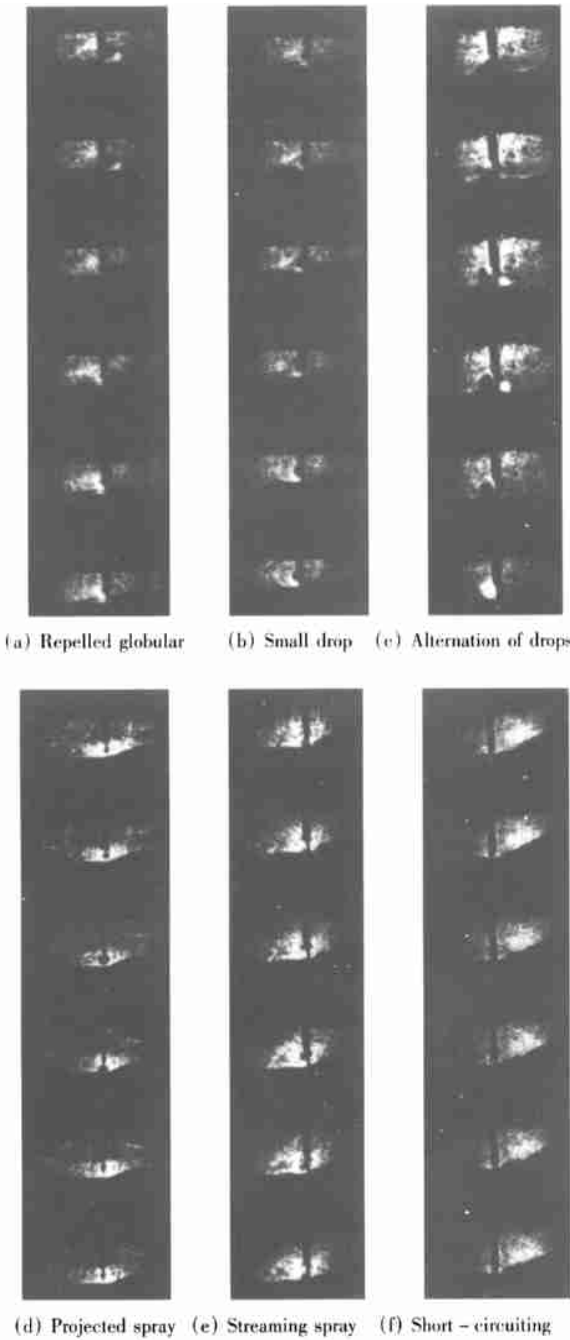


图 2 药芯焊丝的熔滴过渡

Fig. 2 Metal transfer of flux-cored wire

不难发现,药芯焊丝的射流过渡与实芯焊丝的射流过渡有很大区别。最主要的区别就是,实芯焊丝的端部呈明显的“铅笔尖”状;而药芯焊丝则由于未完全熔化的渣芯的阻挡,所谓“铅笔尖”状只形成了一半,甚至不到一半(见图 2e)。“铅笔尖”其实被渣芯阻挡住了,在阻挡处可以看到,液态金属变成散碎的小滴,沿渣芯一侧快速滑落进入熔池。

2.5 短路过渡

在较小电流低电压(160 A, 20 V, CO<sub>2</sub> 气保护)时,熔滴尚未长成大滴就与熔池短路,在表面张力与电磁收缩力的作用下,熔滴向母材过渡,形成短路过渡。典型高速摄影照片如图 2f 所示。此时,熔滴直径约为焊丝直径的 1.1 倍,平均过渡频率为 68 滴/s。

这种过渡形式在实芯细焊丝( $\phi 0.8 \sim 1.6$  mm)气保护焊时,电弧稳定,飞溅较小,焊缝成形较好,广泛应用于薄板和全位置焊接过程。而对于药芯焊丝,由于渣芯的存在,使其在短路爆断的瞬间容易产生飞溅,所以这种过渡形式却不是最好的过渡形式。

3 药芯焊丝熔滴过渡的特点

3.1 药芯焊丝熔滴过渡的特点

与实芯焊丝熔滴过渡过程相比,药芯焊丝熔滴过渡的特点是:焊丝头与熔池之间始终有半熔化状态的渣柱存在。根据药芯焊丝品种的不同,渣柱长短有所差异,即药芯熔点低者渣柱较短;药芯熔点高者渣柱较长。除短路过渡以外,此渣柱不影响正常的熔滴过渡,相反,熔滴粘着于渣柱之上,以附渣的状态进行各种过渡,这对于减少飞溅大有益处。即,一定程度的药芯滞熔不影响正常的熔滴过渡。

细颗粒过渡时,典型的熔滴照片如图 3 所示,图中可清晰地看出熔滴、渣柱、电弧共存的情况。

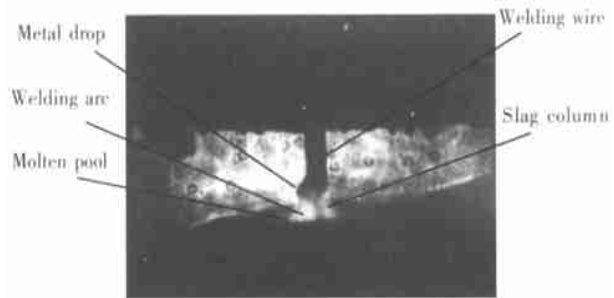


图 3 高速摄影熔滴照片

Fig. 3 Photo of transferring metal drop

CO<sub>2</sub>-shielded, 240 A, 30 V,  $\phi 1.2$  mm

3.2 药芯滞熔的允许程度

上文提出,一定程度的药芯滞熔不影响正常的熔滴过渡。但是,文献[3, 4]认为,应尽量减小药芯滞熔程度。那么,药芯滞熔的程度到底多大为好呢?根据本文所做试验,认为:(1)渣柱刚好接触熔池时过渡最稳,如图 4a 所示。这种情况下,渣柱端部与熔池接触的同时刚好完全熔化,熔化的液态渣随即流入熔池,于是渣柱形成一个稳定的渣桥,金属熔滴

顺着渣桥滑落进入熔池；(2)渣柱还没有接触到熔池时就已经熔化，这时往往在渣柱端部形成一个液态渣滴，如图 4b。当金属滴下落时往往将此渣滴带落进入熔池，增加对熔池的冲击力，易导致飞溅；(3)渣柱进入熔池，进入熔池的渣柱在熔池热的作用下熔化、分解，分解出的气体会造成崩溅，而未完全熔化部分会造成夹杂等，如图 4c。

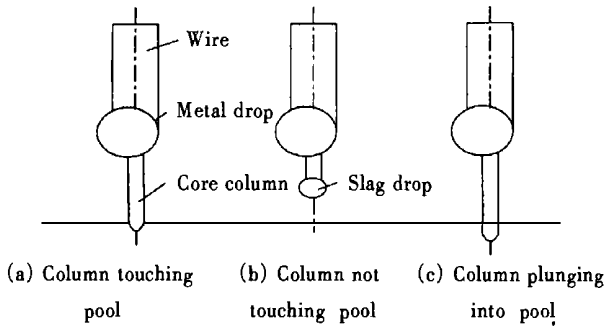


图 4 药芯的滞熔程度示意图

Fig. 4 Melt-retardation of core column

## 4 结 论

(1) 按形成条件的不同，药芯焊丝的熔滴过渡可分几种形式：①大滴排斥过渡；②细颗粒过渡；③

射滴过渡；④射流过渡；⑤短路过渡。细颗粒过渡时焊接过程稳定，飞溅小，焊缝成形良好，生产效率较高，因此细颗粒过渡应是药芯焊丝熔滴过渡的主要形式。

(2) 药芯焊丝熔滴过渡的特点是：焊丝头与熔池之间始终有半熔化状态的渣柱存在。但是，除短路过渡以外，此渣柱不影响正常的熔滴过渡。当渣芯有适当的滞熔时，有利于药芯焊丝的熔滴过渡。

## 参 考 文 献

- 1 李桓. CO<sub>2</sub> 气体保护焊无爆短路过渡控制研究:[ 博士学位论文]. 天津: 天津大学, 1997.
- 2 姜焕中. 电弧焊及电渣焊. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- 3 陈邦固, 雷万钧. “滞熔”现象对碱性气保护药芯焊丝飞溅的影响. 焊接技术, 1995, 6, 4~5
- 4 陈邦固, 曹文山, 等. 药粉预熔对改善药芯焊丝滞熔现象的作用. 焊接, 1998, 3, 16~18

作者简介 李 桓, 男, 1955 年 7 月出生, 博士学位, 副教授; 从 1986 年起在天津大学焊接专业任教, 现担任中国焊接学会焊接物理委员会副主任职务。研究方向为焊接电弧物理、焊接工艺及设备, 承担过国家自然科学基金委员会、国家教育部、天津市科委及石油天然气总公司等许多重要课题并多次获奖, 获得国家专利 4 项, 发表论文 30 余篇。

# 哈尔滨现代焊接技术发展中心招展通知

在哈尔滨市政府大力支持下, 由哈尔滨焊接研究所、中国焊接协会、中国机械工程学会焊接学会、国家焊接材料质量监督检验中心、机械工业火焰切割机械产品质量监督检测中心联合创办的哈尔滨现代焊接技术发展中心已正式运营, 创办这一中心的目的是建立一个全国性的焊接技术信息中心、焊接器材商务中心和焊接行业活动中心。

本“中心”设有各种格局的临街铺面、展示大厅、各种开间的写字间及可举办各种会议的多功能大厅。其中, 焊接器材、焊接技术展示大厅约 200 m<sup>2</sup>, 设有几十个展位, 常年为焊接材料、焊接设备、焊接检验设备制造厂家展示最新产品和高新技术, 包括企业形象的宣传。

展示厅招展有关事宜如下。

- 展示时间 常年展出, 从即日起参展产品随到随展, 从展出之日起计算展费。
- 展示费用 实物展品展示费按占地面积计算, 定价每年 1 500 元/ m<sup>2</sup>; 立式展板每块(800 mm×1 200 mm)1 000 元/年; 音像资料展示 500 元/年。临街广告灯箱每个 3 000 元/年。
- 展品范围 1. 电弧焊设备及弧焊电源; 2. 电阻焊设备; 3. 电子束焊设备; 4. 激光焊接与切割设备; 5. 热喷涂设备及辅具; 6. 钎焊设备、材料及辅具; 7. 各种切割设备及辅具; 8. 各种焊接材料; 9. 辅助设备、装置、工具及配件; 10. 工业机器人及各种自动焊接生产线; 11. 各种检验设备、骷髅、牟牧希? 2. 各种个人防护用具及环保设备; 13. 焊接技术; 14. 企业形象。
- 展品管理 按合同约定, 参展样品由展厅负责保管, 如遇丢失、损坏, 按原厂出厂价赔偿, 以保证参展厂家利益不受损失。展厅派专人负责展品说明及演示。如遇用户需求将及时与参展厂家联系。
- 参展资料 参展厂商提供一份内容详尽的产品说明、企业介绍以供展厅解答之用。另再提供一定数量的产品广告宣传资料, 以备用户索取。
- 展品接收 欲参展厂商可直接与本中心展示与技术信息部联系, 议定各事项后签定展示合同, 即汇款并带来展品。

## 哈尔滨现代焊接技术发展中心

地 址: 哈尔滨市和兴路 111 号  
电 话: 0451-6312597(展示与信息部)  
0451-6336623(招商部)  
负责人: 钟 彬

邮 编: 150080  
传 真: 0451-6312597  
展示与信息部: 金光日 张国光