

# 熔化极脉冲焊熔滴过渡合理形式的研究

王其隆 殷树言 张九海 钱乙余

(哈尔滨工业大学)

## 摘 要

本文利用高速摄影机和示波器研究了钢焊丝熔化极脉冲焊的各种熔滴过渡形式, 试验是在平焊和仰焊位置进行的。作者指出虽然一脉冲一滴和一脉冲多滴的过渡形式在平焊和仰焊位置都能提供稳定而有力的轴向熔滴过渡, 但前者只能在很窄的焊接规范区存在, 而后者有较宽的焊接规范区间。因此一脉冲多滴的过渡形式是更合理的。熔化极脉冲焊存在两个区分不同熔滴过渡区的临界电流。第一个称为“临界脉冲过渡电流”, 它是一脉冲过渡一滴的下限电流。第二个称为“临界跳弧电流”, 它是一脉冲过渡多滴的下限电流。文中还对熔化极脉冲焊的电弧形态与熔滴过渡形式的关系进行了研究和讨论。发现一脉冲多滴过渡的产生过程总是伴随着“跳弧”现象, 亦即附着在熔滴端面上的闪亮弧根突然上跳到缩颈的根部。这种跳弧现象在一定的脉冲电流幅值和相应的脉冲电流时间产生。在通常的熔化极气电焊中, 当由颗粒过渡转变到射流过渡时也出现这种跳弧现象。实质上, 常规的熔化极气电焊过程的临界电流就是连续电流下的临界跳弧电流。下面的现象可说明这一点, 在熔化极脉冲焊过程中, 当延长脉冲电流时间时, 临界跳弧电流将逐渐接近常规熔化极气电焊的射流过渡临界电流。在一脉冲一滴和一脉冲多滴的过渡过程, 在脉冲电流停止后还能出现熔滴脱离的现象, 这可能是由于焊条熔化金属运动的惯性和焊条端头上金属细液柱的失稳现象所引起的。

由于熔化极脉冲焊能够扩大熔化极氩弧焊的规范范围, 所以已成功地被用于焊接热敏感性材料、单面焊双面成形、薄壁结构的焊接和全位置焊接等。

自从熔化极脉冲焊问世以来, 已有许多文献对熔化极脉冲焊的熔滴过渡进行了研究和讨论。但是关于熔化极脉冲焊的合理过渡形式问题, 文献〔2、3、4、6、9、10、12、13、14〕认为, 一个脉冲过渡一滴是最佳的过渡形式, 一个脉冲过渡多滴将产生较大的飞溅。而文献〔5〕却认为, 一个脉冲过渡一滴是一种特殊情况, 并不是最佳的过渡形式。这些作者对脉冲焊合理过渡形式的评价大都只通过平焊位置的焊接试验得出的。本文对各种过渡形式在平焊和仰焊位置时过渡的稳定性, 产生飞溅情况等进行了试验, 企图得到关于熔化极脉冲焊熔滴过渡合理形式的正确结论。

## 一、试验设备、条件和测试方法

本试验采用的脉冲焊设备如图 1，其原理参见文献〔15〕。

直流焊接电源的空载电压均匀可调，其最高电压可达 65V 以上，其外特性可以是平的或缓降的，脉冲电流调节范围为 50~500 A，脉冲频率范围为 2~126 Hz，脉宽比调节范围为 20~80%。维弧电流通过调节电阻 R，可在 50~200 A 范围自由调节。脉冲电流波形前沿决定于主回路电感和电阻的比值。

该脉冲设备提供的电流波形如图 2 所示。

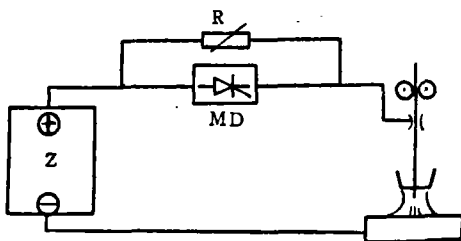


图 1 熔化极脉冲氩弧焊设备原理图

Z—直流焊接电源 MD—脉冲断续器  
R—维弧电阻

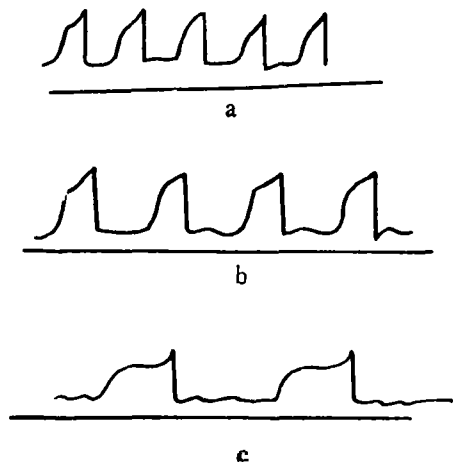


图 2 不同脉冲频率时的电流波形

a)80Hz b)50Hz c)30Hz

试验条件：采用直流反接，维弧电流 $I_w$ 固定为 50 A 左右；焊丝： $\phi 1.2\text{mm}$ , H08Mn2SiA；保护气体：Ar+2%O<sub>2</sub>；流量：25 l/min；工件：8 mm 厚的低碳钢板。平焊和仰焊位置的焊接试验皆是在钢板上进行堆焊来完成的。

测试方法：焊接电流和电弧电压的平均值，由电流表和电压表读数确定。动态波形、脉冲电流和维弧电流等由八线振子示波器记录。熔滴过渡和电弧形态用 Pentazet 35 型高速摄影装置，以每秒钟 4000 幅的速度拍照进行观察和分析。

## 二、试验结果

### 1. 三种基本熔滴过渡形式〔3,7〕

- (1) 一个脉冲过渡几个熔滴
- (2) 一个脉冲过渡一个熔滴
- (3) 几个脉冲过渡一个熔滴

试验证明，一个脉冲过渡多滴和一个脉冲过渡一滴时，熔滴在平焊和仰焊位置皆能有

力地过渡到熔池, 稳定而无显著飞溅。但几个脉冲过渡一滴时, 熔滴只能在平焊位置时依靠重力过渡, 仰焊时则不能过渡而形成严重飞溅。图 3 为富氩气氛中, 不同过渡形式与不同脉冲电流和脉冲时间配合的关系。

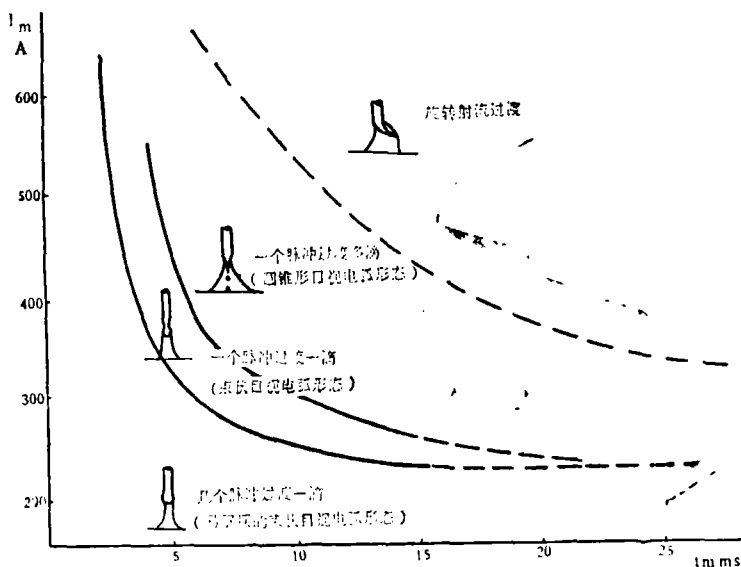


图 3 临界脉冲电流 $I_m$ 和临界跳弧电流 $I_s$ 与脉冲时间 $t_m$ 的关系

注: 试验条件: 直流反接, 维弧电流 $I_w=50A$ 左右, 干伸长 $L=12mm$ , 焊丝 $\phi 1.2mmH08Mn2SiA$ 、保护气体 $Ar+2\%O_2$ , 流量 $Q=25\text{ l/min}$

由图可见三种过渡形式之间皆存在着对应一定脉冲时间的临界脉冲电流值。几个脉冲一滴与一个脉冲一滴之间的脉冲电流临界值称为临界脉冲电流; 一个脉冲一滴与一个脉冲多滴之间的脉冲电流临界值称为临界跳弧脉冲电流。当脉冲时间短时, 两个脉冲电流临界值皆提高, 且差值较大。当脉冲时间较长时, 两个脉冲电流临界值皆降低, 而且逐渐趋向一致, 随着脉冲时间的继续加长, 两个脉冲电流临界值皆趋向与连续电流时射流过渡临界电流值相一致, 脉冲焊的特点也逐渐消失。表 1 是几种不同脉冲时间时一个脉冲过渡一滴的脉冲电流区间及两个临界脉冲电流的差值。

表 1

脉冲时间 (ms)	一个脉冲过渡一滴的电 流区间(A)	两个临界脉冲电流的差值 (A)
4.3	340~500	160
6.6	280~350	70
14	230~260	30

由表可见, 在图 3 所示的试验条件下, 只有当脉冲时间小于 5 ms 时可以实现较稳定的一个脉冲一滴的过渡。而当脉冲时间大于 5 ms 时不容易保持稳定一个脉冲一滴的过渡。它很容易受规范微小波动的影响而转变为一个脉冲多滴或几个脉冲一滴的过

渡。

## 2. 不同过渡形式与电弧形态的关系

一个脉冲过渡多滴时的目视电弧形态一般为圆锥状, 而一个脉冲过渡一滴的目视电弧形态皆为束状。两种不同的目视电弧形态都是由不同的瞬时电弧形态变化过程所决定的。这种瞬时电弧形态可以通过高速摄影照片观察。

一个脉冲过渡多滴和相应的瞬时电弧形态变化过程如图 4 (图版 18) 所示。这种过渡形态是在脉冲时间较长, 脉冲电流较大时产生。在维弧电流阶段由于电流较小, 而背光的作用较强, 则在高速摄影照片上看不到电弧烁亮区, 只有少量焊丝金属被功率较小的电弧加热熔化而聚积在焊丝端头 (图 5 (1) 和图 4 (0))。

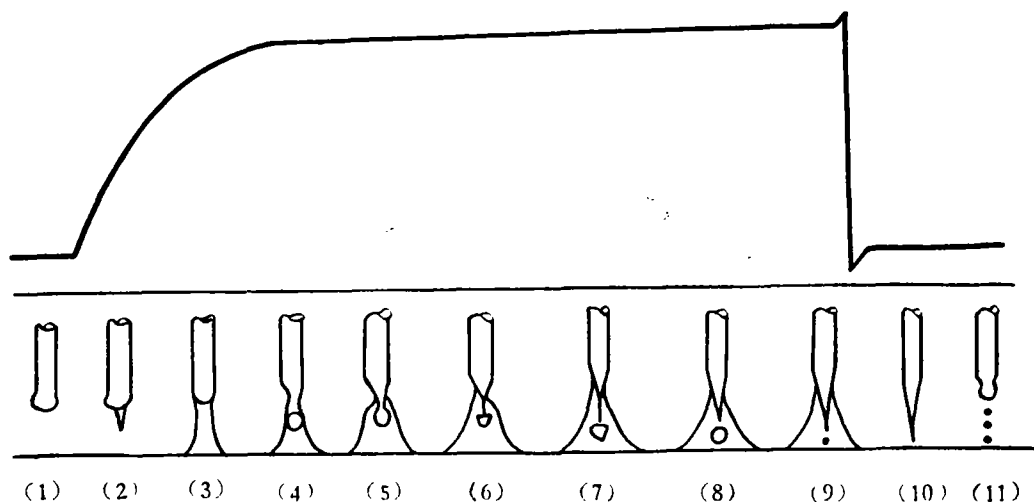


图 5 一个脉冲过渡多滴时的熔滴过渡和瞬时电弧形态示意图

当脉冲电流开始作用时, 首先在焊丝端头附近出现局部的电弧烁亮区, 阳极斑点集中在焊丝端头 (图 5 (2) 和图 4 (1)), 随着脉冲电流的继续作用, 烁亮区从焊丝端头逐渐向工件延长, 直到与工件相连。首先形成束状的烁亮区 (图 5 (3) 和图 4 (4)), 随后焊丝熔化金属逐渐增加, 阳极斑点逐渐扩张, 这时电弧的烁亮区也由束状逐渐变成截锥状。由于脉冲电流继续加热, 在焊丝端头将聚积更多的液体金属, 形成熔滴, 同时出现缩颈, 阳极斑点继续扩大, 并上爬到熔滴的上部, 弧根复盖了整个熔滴, 如图 5 (5) 和图 4 (15), 这时电弧的烁亮区成为钟形, 缩颈继续拉细。随着脉冲时间的继续延长, 烁亮区的弧根从熔滴的上表面瞬时跳到细颈的根部, 如图 5 (6)、图 4 (18) 和图 6 (图版 18) 所示, 这种现象称为跳弧现象。跳弧之后, 电弧由钟形立刻变成锥形烁亮区。同时细颈也立即变得更细更长, 熔滴的形状也由球形变为半球形, 细颈很快地被拉断, 而过渡一个大滴。这时并不发生任何飞溅, 如图 5 (7) 和图 4 (19)。在锥状电弧的笼罩下, 已脱离的半球状熔滴在沿焊丝轴向过渡的过程中, 又很快恢复成球形, 同时焊丝端头成为铅笔尖状, 一直保持到脉冲结束, 如图 5 (8) 和图 4 (27)。在第一个熔滴过渡之后, 将有细小的熔滴自铅笔尖的尖端逐个脱落和过渡, 并一直持续到脉冲电

流结束之后,其数量决定于脉冲电流的大小。这种形态与连续电流时的射流过渡完全相同。在细小熔滴过渡过程中,从高速摄影照片上也看不到任何飞溅,电弧过程十分稳定,如图5(9)。当脉冲电流结束时,首先看到电弧亮点区迅速消失,而焊丝端头的金属液柱继续被拉长,见图5(10)和图4(32)。随后该液柱逐渐断成数截,并又分别聚球和以不同速度落入熔池,如图5(11)、图4(35)和图7(图版18)(有时距焊丝端头最近的小熔滴又返回焊丝)。同时焊丝端头液体金属收缩成半圆弧状,电弧长度增加。以后维弧阶段焊丝端头始终保持这一状态。仰焊时这种电弧形态的变化和熔滴过渡过程与上述过程相同,熔滴也可以有力地过渡,每次脉冲皆重复上述过程。在Ar或Ar+1~2%O<sub>2</sub>的混合气体保护时,这一过程是十分有规律的。其他条件不变,只改变电流波形前沿(由缓升改为陡升)时,每个脉冲周期中的电弧瞬时形态和熔滴过渡演变过程并不发生显著变化<sup>[1]</sup>,只是各阶段所占时间有所不同。

一个脉冲只过渡一滴是在脉冲时间较短或脉冲电流较小时发生的。维弧阶段与前面相同。进入脉冲阶段后,熔滴脱落前的电弧形态的变化过程及焊丝端头的液体金属的形状也与前面相同。但由于脉冲电流较低或脉冲时间较短,其瞬时电弧形态没有跳弧过程,来不及达到形成圆锥状电弧形态,脉冲电流即结束。在这种条件下,熔滴大多数在脉冲电流结束后的维弧阶段初期脱落,如图8和图9(图版19)。

由于这种过渡时电弧不出现圆锥形的瞬时电弧形态,束状瞬时电弧形态所占时间较长,故目视电弧形态基本上为束状。焊接过程中也没有飞溅,电弧也十分稳定。

几个脉冲过渡一滴是在脉冲电流很小或脉冲时间很短时发生的。虽然在第一个脉冲周期内,焊丝端头也可以积累一定数量的熔化金属,并能形成熔滴。但由于脉冲电流很小或脉冲时间很短,该熔滴在一个脉冲周期内只呈现脱离趋势,但不能脱离。在维弧阶段,已产生缩颈的熔滴又收缩回去,如图10所示。只有在重复施加一个或几个脉冲周期时,熔滴金属积累足够数量(熔滴直径大于焊丝直径),主要依靠重力实现熔滴的脱落与过渡。电弧形态变化情况与一个脉冲过渡一滴时相近。目视形态也为束状,但不如一个脉冲一滴时挺直有力。仰焊时,熔滴不能实现过渡。

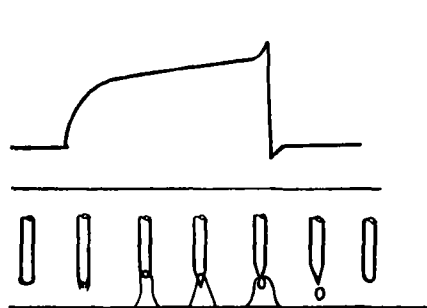


图8 一个脉冲一滴的熔滴过渡和瞬时电弧形态的变化过程示意图

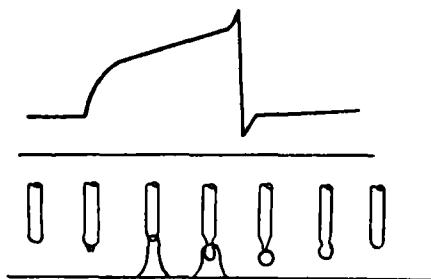


图10 几个脉冲一滴的熔滴过渡和电弧形态的变化过程示意图(第一周期的情况)

### 三、讨 论

#### 1. 一个脉冲过渡多滴是更合理的过渡形式

通过平焊和仰焊位置各种熔滴过渡形式的焊接试验证明,一个脉冲一滴的过渡形式,在脉冲时间较短时有较宽的规范区间。但当脉冲时间较长时,稳定规范区间较窄,易受外界因素的波动而转变为不稳定的几个脉冲一滴的过渡形式(图10)。而一个脉冲多滴的过渡形式在多种脉冲时间皆有较宽的规范区间,即使存在外界因素波动,也不易转变为几个脉冲一滴的过渡形式。因此,如果不考虑电弧对熔池的热和力的作用,只考虑熔滴过渡的稳定和力时,一个脉冲过渡多滴应是更合理的过渡形式。盲目追求一个脉冲一滴的过渡形式是不必要的,这种过渡形式只有在对外界波动因素(网路电压、保护气流变化、送丝速度的变化等)进行更严格的控制时才能得到满意的结果。

#### 2. 瞬时电弧形态与脉冲电流值和脉冲时间的关系

当脉冲电流开始作用时电弧亮点首先从焊丝端头附近产生。由于热惯性的原因,先在靠近焊丝端头的局部空间出现少量金属蒸汽,故形成局部亮点。随着脉冲电流作用时间的延长,亮点区逐渐延伸到工件,形成束状电弧形态。脉冲电流作用时间进一步延长,熔滴上发射金属蒸汽的面积也增加,阳极斑点由熔滴的下部逐渐扩展到熔滴的侧面和上部,从而形成钟状亮点区。随后联接熔滴的缩颈进一步变细,电流密度提高,产热增加,当缩颈上产生一定密度的金属蒸汽时,阳极斑点将上爬到缩颈而形成锥状亮点区,以后将继续保持这一电弧形态,直至脉冲结束,见图4。当脉冲时间及其他条件一定时,脉冲电流值越大,则上述电弧形态变化过程所需要的时间越短。例如:脉冲电流为300A时,电弧形态变化过程所需要的时间(称为动态时间)为0.004s;脉冲电流为400A时,则此动态时间降低为0.0025s。

#### 3. 维弧阶段熔滴脱落的作用力

一个脉冲过渡一滴时,熔滴多数是在脉冲电流停止后,维弧阶段的初期,以球形脱落而沿轴向过渡。一个脉冲过渡多滴时,一大滴过渡之后,小滴继续从“铅笔尖”有力地往熔池过渡,一直可延续到维弧电流期间,如图11(图版20)。这一现象按电磁收缩力的作用是无法解释的。因为维弧电流很小,它所产生的电磁收缩力也很小。而用重力作用也同样解释不通。因为在仰焊时间,同样也能实现有力的轴向过渡。本文认为,这时促使熔滴脱离的主要原因,是熔滴的惯性作用和金属液柱的不稳定性。这与文献〔8〕中提出的,“熔滴脱离是由于初始惯性运动的结果”是一致的。

在脉冲电流阶段,熔滴表面大部分或全部都被阳极斑点所复盖。此时熔滴上作用一个较大的电磁轴向推力,推动熔滴以较高的初始加速度沿其轴向运动,并使缩颈拉长。脉冲结束瞬时,熔滴虽未脱落,但已具有一定运动速度。脉冲结束时,虽然电磁轴向推力的作用被去除,但熔滴已具有一定初始速度,表现出一定的惯性力。此时在缩颈处将产生两个方向相反的力,一个是阻止熔滴脱落的表面张力的合力,另一个是熔滴的惯性力。当熔滴的初始速度足够大时,亦即惯性力足够大时,缩颈将被强制拉断,熔滴脱

落。熔滴一旦脱离焊丝，牵制熔滴的作用力（即缩颈处的表面张力）完全去除，熔滴的惯性力可继续使它更有力地向工件过渡（仰焊时也是这样），而没有飘浮到熔池以外的熔滴。维弧阶段熔滴能够脱落并有力过渡，虽不直接是电磁收缩力而是惯性作用的结果，但是，该惯性力仍是由脉冲电流结束前的电磁轴向推力的作用所产生的。所以，这种过渡能否实现和过渡的强弱仍由前期的脉冲电流大小来决定。

由图3可知，一个脉冲过渡一滴时，不同脉冲时间要求的脉冲电流值不同。较短的脉冲时间要求高较的脉冲电流，较长的脉冲时间要求低的脉冲电流。这是由于不同脉冲时间，脉冲电流停止瞬间熔滴悬挂状态不同引起其脱落所要求的惯性力不同，从而要求的脉冲电流也不同。由高速摄影照片发现脉冲时间长短不同时，在脉冲电流停止瞬时，熔滴悬挂状态如图12和图13（图版20）所示。

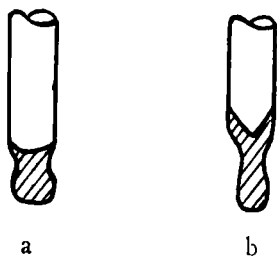


图12 脉冲时间不同时，在脉冲电流停止瞬间，焊丝端部液体金属的状态

a) 脉冲时间较短      b) 脉冲时间较长

脉冲时间较长时，由于高温弧柱对焊丝侧面的热幅射作用时间较长，对焊丝端部温度场产生较大的影响，所形成的等熔线形状有助于产生缩颈较细的熔滴，如图12。这种熔滴悬挂状态使熔滴脱离焊丝较容易，脉冲电流停止后，较小的惯性力即可使之脱离，故要求前期的脉冲电流值可以较小。当脉冲时间较小时，高温弧柱对焊丝侧面的热幅射影响较小，没有上述产生缩颈较细的熔滴的条件，故脉冲电流停止瞬时，熔滴的缩颈较粗，如图12，需要较大的惯性力继续作用才能使之脱离，故要求前期脉冲电流值较大。

另外，根据高速摄影照片可以看到，一个脉冲过渡多滴时，第一个大滴皆在脉冲电流作用期间脱落，随后继续过渡小滴，一直到脉冲电流停止之后这些小滴仍然能够实现有力的轴向过渡。虽然小滴的质量较轻，也不会飘浮到熔池之外形成飞溅。在这种熔滴过渡的过程中，脉冲电流停止瞬时，熔滴悬挂状态如图7（图版18）所示。这时焊丝端头的细液柱继续产生熔滴和过渡熔滴的原因，除了上述惯性作用外，尚有表面张力作用予以帮助。根据表面张力理论可知<sup>[16]</sup>，当一液柱的长度为其直径的三倍多时，表面张力将破坏此液柱的稳定性，使之自动截成数段，然后形成熔滴。这时小熔滴的形成与脱落不需要另外的作用力，而可以自动产生。因此，熔滴的脱离不是只依靠惯性作用。而已脱离焊丝的小熔滴经电弧空间过渡是依靠惯性作用来实现。所以，前期脉冲电流所引起的惯性作用，可以更有效地用于小熔滴在电弧空间的过渡。使小熔滴能有力地轴向过渡到熔池而不致产生飞溅。因此，无论从大量高速摄影照片的观察，还是从过渡原因的分析，都说明了一个脉冲过渡多滴时易产生小熔滴的飞溅的观点是没有根据的。

#### 4. 电弧炼亮区产生和发展

随着脉冲电流作用时间的延长，炼亮区在焊丝端头的笼罩面也是逐渐扩大的。当炼亮区笼罩面扩大到包围整个熔滴时，将产生炼亮区突然跳到熔滴缩颈根部的现象，完成这个跳跃过程的时间为0.25~0.5ms。本文把这个现象称为跳弧现象，如图6（图版

18)。一旦产生这种跳弧现象后,熔滴的情况也将发生质变,缩颈瞬时变细变长,熔滴被强制推下,而且由圆球状变为半球状,焊丝端头变成“铅笔尖”状,细小的熔滴从“铅笔尖”端头射向熔池,烁亮区变成圆锥形,与连续电流射流过渡时的特点完全相同。如果脉冲时间继续延长,则以后的熔滴过渡的情况和烁亮区的形状也一直保持这种特点,不再发生变化。同时烁亮区在焊丝端头的笼罩面也不再扩大,保持稳定。

从上述过程可以看出,跳弧现象是在电弧烁亮区动态变化过程的最后阶段产生的。它是烁亮区在熔滴表面扩展的最后结果。因此,当其他条件固定时,跳弧现象能否产生决定于:①脉冲电流值的大小。因为脉冲电流值决定了焊丝端头产热的大小,从而决定烁亮区在熔滴表面是否能扩展和扩展速度的快慢。②脉冲时间。脉冲时间大于电弧烁亮区动态变化过程所需要的时间时,跳弧现象才有产生的机会。如果脉冲时间小于电弧烁亮区动态变化过程所需要的时间,则跳弧现象不可能产生。正因为这样,临界跳弧电流与脉冲时间有如图3所示的关系。当脉冲时间较短时,要产生跳弧现象应使烁亮区的动态变化速度加快,故需要提高脉冲电流值。当脉冲时间较长时,烁亮区的动态变化速度减慢也可使跳弧现象有出现的机会,故脉冲电流值可以减小。

从图3可以看到,当脉冲时间大于25ms时,临界跳弧电流值逐渐接近连续射流时的临界电流值。事实上,脉冲焊时的临界跳弧电流与连续电流射流过渡的临界电流有着共同的本质。当脉冲时间较长时,临界跳弧电流等于连续电流射流过渡的临界电流。采用连续电流进行焊接时,如果逐渐提高电流,由颗粒状过渡转变为射流过渡时,在最后一个颗粒脱离焊丝之前,也必然要产生跳弧现象。一旦产生这种跳弧现象,熔滴过渡情况才能发生本质的变化。因此,连续电流射流过渡的临界值,事实上就是连续电流条件下的临界跳弧电流。

这种跳弧现象产生的机理和跳弧引起的熔滴过渡的本质变化,尚有待进一步研究和探讨。

## 四、结 论

1. 通过平焊和仰焊位置的试验证明,一个脉冲一滴和一个脉冲多滴的过渡形式皆能实现焊丝金属稳定有力而无颗粒状飞溅的轴向过渡。一个脉冲过渡一滴时,稳定规范区间较窄,而一个脉冲过渡多滴时,稳定规范区间较宽。

2. 通过大量试验发现,在钢焊丝熔化极脉冲焊中存在一个特殊的电弧现象,称为跳弧现象,即电弧烁亮区从熔滴表面瞬时上跳到缩颈根部的现象。该现象使熔滴过渡发生了本质的变化。不同的焊接条件有不同的临界跳弧电流。

不同熔滴过渡形式与电弧形态有密切的联系。一个脉冲过渡一滴的目视电弧形态为束状,一个脉冲过渡多滴的目视电弧形态为圆锥状。而目视电弧形态是瞬时电弧形态变化过程决定的。一个脉冲过渡一滴时没有跳弧现象,而一个脉冲过渡多滴的情况只能在产生跳弧现象的条件下才能发生。

3. 熔化极脉冲焊时,事实上存在着两个临界电流。一个是临界脉冲电流,即一个



脉冲过渡一滴的电流下限值。另一个是临界跳弧电流,即一个脉冲过渡多滴的电流下限值。

4. 临界跳弧电流与连续电流射流过渡的临界电流有共同的本质。随着脉冲时间的延长,临界跳弧电流与连续电流的临界电流趋向一致,连续电流的临界电流实质上就是连续电流条件下的临界跳弧电流。

5. 一个脉冲一滴和一个脉冲多滴的过渡时,无论平焊或仰焊位置,皆存在脉冲电流停止后熔滴脱离和过渡现象。这种过渡主要是靠液体金属运动的惯性作用和表面张力引起的金属液柱破碎现象来实现的。

(1979年10月20收到)

### 参 考 文 献

- (1) 王其隆,殷树言,钱乙余,焊接学报,(1980),Vol.1, № 1.
- (2) 钢脉冲电弧焊的金属过渡,气体保护焊译文集,哈尔滨焊接研究所,1975年6月, P.12—22.
- (3) Lesnewich A., WRC Bulletin, 170/February, (1972).
- (4) Daggett, E.H., Welding Journal, (1970), №10.
- (5) Rienks, F. and Ashauer, R.C., Welding Journal, (1971), May.
- (6) 松陵机械厂和西北工业大学,斩波式脉冲氩弧焊设备与工艺试验总结,1976年2月。
- (7) Потапьевский, А.Г., Сварка в защитных газах плавящимся электродом, —《Машиностроение》, (1974).
- (8) Needham, J.C., British welding Journal, (1965), № 5.
- (9) 中村孝,清原道也,冈田明之著,アルゴ・ソーク溶接,(1971),产报。
- (10) Ленивкин, В.А., Автоматическая сварка (1975), №11.
- (11) 安藤弘平,长谷川光雄共著,溶接アーク现象,(1962),产报。
- (12) Патон, В.Е. и др., Автоматическая сварка, (1964), №1.
- (13) Патон, В.Е., Шейко, П.П., Автоматическая сварка, (1965), №5.
- (14) Потапьевский, А.Г. и др., Автоматическая сварка, (1965), №6.
- (15) 渤海造船厂,哈尔滨电焊机厂,哈尔滨工业大学,哈尔滨工业大学学报, (1975), №1, 41—56.
- (16) Boys, C.V., Soap bubbles and the forces which mould them, Doubleday, (1959).

## STUDY ON THE FAVOURABLE METAL TRANSFER MODE IN PULSE MIG WELDING

*Wang Chilung, Yen Shuyiang, Chang Giuhai and Chian Yiyu*  
(*Harbin Institute of Technology*)

### Abstract

In this paper various metal transfer modes in the pulse MIG welding with steel electrode are studied by means of high speed cine camera and oscillograph. Experiments have been made in the downhand and the overhead welding positions. The authors suggested that, though both the monodroplet per pulse and the multidroplet per pulse transfer modes can provide a smooth and strong axial metal transfer, the former exists only in a narrow welding condition region while the latter in a wider region. So the multidroplet per pulse transfer mode is more favourable. There are two critical current levels demarcating the distinctively different metal transfer mode regions in pulse MIG welding. The first is called the critical pulse transfer current, being the lower threshold current of the monodroplet per pulse transfer; and the second is called the critical arc jumping current, being the lower threshold current of the multidroplet per pulse transfer. The relation between the arc luminous core shapes and the metal transfer modes of the pulse MIG welding are also studied and discussed. The authors have found that the starting of the multidroplet per pulse transfer is always accompanied with an "arc jumping", i.e. the luminous arc root attached to the front surface of the droplet jumps instantly up to the bottom of the constricted neck. This arc jumping phenomenon takes place at a certain amplitude of pulse current with a certain correlated pulse current time. In the conventional MIG welding process this arc jumping phenomenon appears also at the time a globular transfer is converted into a streaming transfer. In essence the critical current of the conventional MIG welding process is just the critical arc jumping current in a continuous current condition. This is supported by the evidence that by extending the pulse current time the critical arc jumping current in the pulse MIG process will gradually approach to the critical current of streaming transfer in the conventional MIG process.

During the process of both monodroplet and multidroplet per pulse transfer the droplet detachment can take place even after the cutoff of the pulse current. This may be attributed to the inertial force of the molten metal in motion and to the instability of the thin liquid metal column on the electrode tip.