

高氮钢双丝 CMT 增材工艺参数对熔滴过渡影响规律

张浩然¹,丁家亮¹,张旭敏¹,贺申^{1,2},王克鸿^{1,2}

(1. 南京理工大学 材料科学与工程学院,江苏 南京 210094;

2. 受控电弧智能增材制造技术南京理工大学重点实验室,江苏 南京 210094)

摘要:对高氮钢的双丝 CMT 增材制造过程进行研究,采用高速摄像采集双丝增材过程中的熔滴过渡过程,重点分析波形参数中峰值电流、基值电流和峰值送丝速度等参数对双丝增材过程中熔滴过渡稳定性的影响。研究发现:双丝峰值电流增加,前丝 CMT 周期标准差逐渐减小,熔滴过渡过程逐渐稳定,而后丝 CMT 周期标准差增多,稳定性变差;基值电流增加,焊丝端部的熔滴会逐渐增大;增大峰值送丝速度,双丝 CMT 周期的标准差先减小后增大。调节前丝峰值电流在 150 A~175 A,后丝峰值电流 ≤ 125 A,基值电流 ≤ 60 A,峰值送丝速度在 30 m/min 左右,熔滴过渡过程相对稳定。保持前丝单个 CMT 周期能量输入在 23 J~28 J,后丝能量输入在 16 J~18.5 J,高氮钢双丝 CMT 熔滴过渡过程比较稳定,熔滴炸裂较少。

关键词:高氮钢;增材制造;熔滴过渡;能量输入

中图分类号:TG444+.72 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2023)05-0082-05

Effect of Parameters in High Nitrogen Steel Double Wire CMT Additive Process

ZHANG Haoran¹,DING Jialiang¹,ZHANG Xumin¹,HE Shen^{1,2},WANG Kehong^{1,2}

(1. School of Materials Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

2. Key Laboratory of Controlled Arc Intelligent Additive Manufacturing Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: The manufacturing process of twin wire CMT additive of high nitrogen steel is studied. The droplet transfer process in the process of twin wire additive is collected by high-speed camera. The effects of waveform parameters such as peak current, base current and peak wire feeding speed on the stability of droplet transfer in the process of twin wire additive are analyzed. It is found that with the increase of double wire peak current, the CMT cycle standard deviation of the front wire gradually decreases, and the droplet transition process gradually stabilizes, while the CMT cycle standard deviation of the rear wire increases and the stability becomes worse. When the base current increases, the droplet at the end of the welding wire will gradually increase. With the increase of peak wire feeding speed, the standard deviation of double wire CMT cycle first decreases and then increases. The peak current of the front wire is 150 A—175 A, the peak current of the rear wire is less than or equal to 125 A, the base current is less than or equal to 60 A, the peak wire feeding speed is about 30 m/min, and the droplet transition process is relatively stable. When the energy input of single CMT cycle of the front wire is kept at 23 J—28 J and the energy input of the rear wire at 16 J—18.5 J, the process of twin wire CMT high nitrogen steel droplet transfer remains stable and droplet burst occurs less.

Keywords: high nitrogen steel; additive manufacture; droplet transfer; heat input

0 引言

高氮低镍奥氏体不锈钢 (high nitrogen low nickel austenitic stainless steel, HNLNS) 作为一种新型 Cr-Mn-N 系不锈钢材料,具有良好的强度、耐腐蚀性和抗冲击性,并且塑性和传统 Cr-Ni 奥氏体不锈钢相当^[1],适用于制造大型构件。在镍元素短缺的环境下,低成本的高氮钢应用需求增大。

以电弧作为热源的增材制造技术,与激光、电子束等其他热源相比成本较低,且设备简单、体积小,丝材成本低,适合大尺寸零件的快速成型^[2-3]。电弧增材构件与铸造件相比,具有更加优异的组织性能和力学性能;与锻造

件相比,节约了原材料消耗并大大减少了成型时间。综合来看,电弧增材制造技术是一种低成本、高效率、高性能的制造工艺^[4]。

电弧增材过程中以电弧作为热源,以金属焊丝作为增材原料,在基板上按照规划好的路径进行自下而上层层堆积,直至成型完成。但是由于丝材熔化堆叠,熔池热量不断积累,因此存在热输入量大、变形严重、飞溅无法避免等问题,导致在增材过程中出现大量缺陷。冷金属过渡焊接技术(CMT)作为一种新型焊接工艺技术,它是在短路过渡的基础上开发出来的,因此具有焊接热输入量小、熔滴过渡过程温度易控制等优点,在增材制造领域有着很大的

基金项目:南京理工大学本科生科研训练“百千万”计划立项资助项目(202010288152Y)

第一作者简介:张浩然(2001—),男,湖南常德人,本科,研究方向为增材制造技术,raich_z@126.com。

应用空间。孙哲等^[5]通过建立 CMT 层间和道间搭接计算模型,研究发现在理想状态下采用适应性的参数有助于获得比较理想的成型效果。叶约翰等^[6]对高氮钢进行电弧增材时发现高氮钢多道焊时,气孔较少,但当进行多层多道焊时,送丝速度增大,气孔明显增多。杨东青等^[7]以高氮钢为对象采用 CMT 增材工艺,研究发现热输入和电弧摆宽对表面成型影响较大。

单丝 CMT 工艺能降低热输入,有利于高氮钢增材,但难以满足大型、超大型高氮钢构件的需求,双丝 CMT 能显著提高熔敷效率,减小热输入,改善成形。但是双丝 CMT 增材过程中,双丝双弧共熔池、熔滴交互行为更复杂,氮的逸出行为更复杂,工艺参数对熔滴过渡稳定性的影响也需要进一步研究。本文拟对高氮钢双丝 CMT 增材过程中的熔滴过渡进行深入系统地试验研究,分析工艺参数对熔滴过渡的影响规律,为高氮钢大型构件的增材制造提供借鉴。

1 试验方法

试验用焊接系统由 ABB 六轴焊接机器人和 Fronius 公司研发的 CMT Advanced 4000R 焊接电源组成,选用的焊接材料是直径为 1.0 mm 的自制高氮钢丝材(HNS6T),使用 300×200×80 mm 水冷增材基板,其质量分数如表 1 所示,采用已经配比好的三元保护气 Ar+1.5%O₂+5%N₂,进行机器人双丝 CMT 增材工艺试验。通过电参数-高速摄像同步采集设备采集熔滴过渡高速图像和实时电压电流参数,观察熔滴过渡过程、熔滴形态和熔池行为。

表 1 丝材、母材质量分数 单位:%

材料	C	Ni	Cr	Mo	Mn	Si	N
丝材	0.071	2.32	21.59	1.21	16.95	—	0.79
母材	0.020	1.24	20.80	3.62	17.47	0.85	0.81

ABB 六轴焊接机器人组成部分有送丝机构、电源控制系统、保护气体通路、焊接机器臂、工作台和机器人示教器。示教器可以控制机器人运动轨迹、运动参数和焊接模式。两套送丝机构、保护气体通路和电源控制系统是相互独立工作的,可满足绝大部分焊接要求。

焊接过程中使用高速摄像系统拍摄熔滴过渡过程,波形采集系统同步记录两个电源的电流和电压,采用如图 1 所示的 Phantom VEO410L 型高速相机及 CAVITAR 高频脉冲光源做背景光拍摄高氮钢双丝 CMT 熔滴过渡过程。其中使用的高速相机拍摄速率满幅为 5 000 帧/s,间隔精度为 0.2 ms,采用 1 280×800 CMOS 传感器;背景光所有的脉冲光源持续时间可达 10 ns~10 μs,且有多种波长和功率可选择。



图 1 高速摄像系统

针对传统双丝 CMT 增材过程中所发现的熔滴飞溅,熔滴过渡不稳定等问题,本文通过激光辅助光源结合高速摄像拍摄熔滴过渡过程,并通过电信号采集系统同步采集

电流、电压参数,依据熔滴过渡过程、熔池形态进行研究,探究具体影响规律。系统中波形参数种类较多,本文选取峰值电流、基值电流和峰值送丝速度对熔滴过渡过程的影响进行研究,具体增材工艺参数见表 2,其中前后丝波形参数一致,送丝速度均为 5 m/min,焊接速度为 5 mm/s。

表 2 高氮钢双丝 CMT 增材工艺试验参数表

试验编号	基值电流 I_{-wait}/A	峰值送丝速度 $v_d/(m \cdot min^{-1})$	峰值电流 I_{-boost}/A
1	60	30	100.0
2	60	30	125.0
3	60	30	150.0
4	60	30	175.0
5	60	30	202.2
6	60	30	225.0
7	40	30	150.0
8	60	30	150.0
9	80	30	150.0
10	100	30	150.0
11	60	25	150.0
12	60	30	150.0
13	60	40	150.0
14	60	45	150.0

2 试验结果

图 2 是增材过程中电流电压波形曲线示意图。曲线记录一个 CMT 周期数据,在燃弧峰值阶段,电弧引燃,电流迅速升高到设定的峰值电流 I_{-boost} ,电流开始上升阶段,电压随电流的增加而增加,熔滴逐渐长大;为避免熔滴过度长大,起弧阶段结束后,电流降低为基值电流 I_{-wait} ,熔滴与熔池在低电流下短路;当丝材伸入熔池形成短路过渡时出现大电流低电压,提高液相桥的缩颈速度,缩颈电流值只与丝材和送丝速度相关,不随增材过程变化,本次试验缩颈电流保持在 120.0 A 左右。缩颈形成后,CMT 机械回抽,出现短时间的低电流和低电压。图 2 中,燃弧阶段的峰值电流、峰值持续时间、基值电流、电流上升速率和下降速率以及短路阶段的短路电流等可进行调节和设定,而基值时间、短路时间、缩颈电流等参数不可调节,部分参数未在图中列出。

表 3 为试验参数对高氮钢双丝 CMT 增材周期的影响。高氮钢双丝 CMT 熔滴过渡过程是不稳定的过程,每组参数下统计 100 个周期得到其平均周期 T 和周期的标准差 S 。

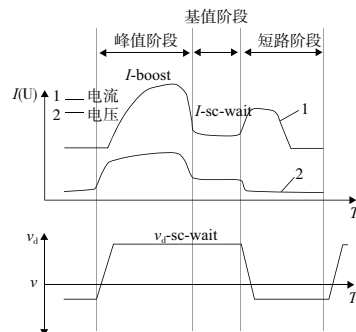


图 2 送丝速度与电流电压波形示意图

表3 双丝熔滴过渡平均周期和标准差

试验编号	前丝平均周期/ms	前丝标准差	后丝平均周期/ms	后丝标准差
1	16.48	2.01	15.77	0.22
2	15.37	2.18	14.83	0.20
3	15.60	0.85	14.05	0.64
4	15.57	0.86	14.73	0.70
5	16.12	0.69	15.39	1.14
6	15.87	0.58	15.42	1.30
7	17.01	0.61	16.40	0.55
8	15.60	0.85	14.05	0.64
9	15.07	0.97	14.79	1.01
10	16.01	1.26	14.52	1.47
11	17.14	1.34	15.82	0.76
12	15.60	0.85	14.05	0.64
13	14.63	1.61	13.94	0.83
14	15.27	1.97	13.57	1.05

2.1 高氮钢双丝 CMT 各波形参数对熔滴过渡影响

1) 峰值电流 I -boost

峰值电流对高氮钢双丝 CMT 熔滴过渡、熔池形态有较大影响,随峰值电流增加(见表2 编号1—编号6),前丝周期标准差逐渐减小,焊接过程逐渐稳定,而后丝周期标准差逐渐增多,稳定性变差。利用高速摄像观察到的高氮钢双丝 CMT 熔滴过渡如图3所示。当峰值电流为100.0 A、125.0 A时,峰值电流较小,热输入小,熔滴长大尺寸小,最大直径小于等于丝材直径,熔滴落入表面张力大的熔池受拉力向两侧铺展,前丝下方的熔池无法迅速堆积,熔池高度低,熔池的液态金属层极薄,凝固速度快,很可能在焊丝回抽前熔池前壁就已经凝固,焊丝没有及时回抽发生“黏丝”现象,频繁的“黏丝”会造成焊接电参数异常^[8],导致前丝周期标准差大。而后丝由于峰值电流小,双丝之间影响小,且后丝与前丝共熔池温度高,小熔滴过渡稳定无炸裂和飞溅。因此后丝 CMT 周期标准差 S 小,稳定性好。

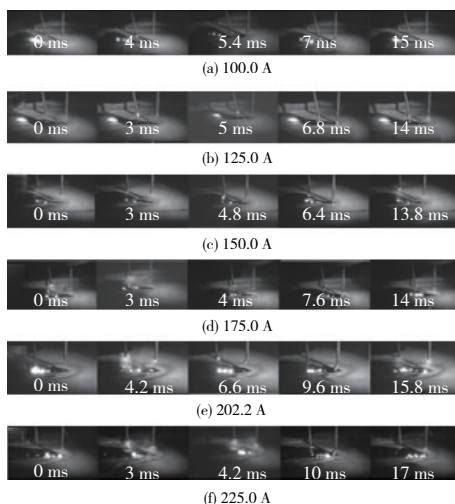


图3 峰值电流改变熔滴过渡与熔池形态

随着峰值电流增加,前丝熔滴温度高,焊丝“黏丝”现象消失,焊接过程相对稳定,前丝周期标准差减小,但热输入增大,前后丝熔滴尺寸大,形成熔池高度明显增加,而且由于峰值电流增加,电弧压力增大以及氮化物的析出和氮气的溢出^[9],熔池流动加剧,前丝熔滴过渡通过熔池对后丝熔滴过渡产生影响,因此后丝周期标准差随峰值电流增加而增大;同时后丝熔池高度明显高于前丝,前丝的平均周期始终应大于后丝的平均周期。

当峰值电流过大如202.2 A、225.0 A时,热输入大,熔滴尺寸大,熔滴温度上升快,表面张力系数小,表面张力小,同时内部丝材中熔解的氮成分随温度的增加溶解度降低形成较大的氮气泡,氮气溢出、气泡活动剧烈形态不稳,对熔滴和熔池会产生极大的干扰,后丝出现2 ms~5 ms的持续炸裂过程,前丝出现较大飞溅和炸裂,如图3(e)和图3(f)4.2 ms时刻。因此在控制热输入的前提下选用较高的前丝峰值电流保证前丝增材过程的稳定,选择较低的后丝峰值电流,降低热输入,减少氮的逸出,保证小的电弧压力和熔池高度,维持后丝熔滴过渡的稳定。

2) 基值电流 I -wait

基值电流为 CMT 电流下降阶段到短路电流开始之间的电流值,即熔滴开始向下接触熔池表面过程电流值,目的是维弧与保持熔滴形态。采用单因素实验法研究,得到如图4熔滴过渡过程图。随着基值电流增加(见表2 编号7—编号9),双丝的 CMT 周期标准差增大。基值电流增加,短路过渡前向下接触熔池表面的熔滴会有一定程度的增大。大基值电流下,熔滴受焊丝运动和电弧力作用,出现摆动,导致增材过程的不稳定。

熔滴表面与熔池表面电流的流动方向相反,产生相互排斥的电磁力^[10]。当基值电流较小时,熔滴与熔池发生短路过程中所受的电磁排斥作用大大减少,熔滴飞溅小、对熔池形态影响小,如图4(a)—图4(c)过程。当基值电流较大时,形成熔滴尺寸大,熔池液态金属高度增加;同时熔滴、熔池间的电磁排斥作用明显增大,熔滴飞溅严重,且后丝出现炸裂如图4(d),熔池受到电磁斥力作用稳定性差。因此,基值电流 ≤ 60.0 A 熔滴过渡过程比较稳定。

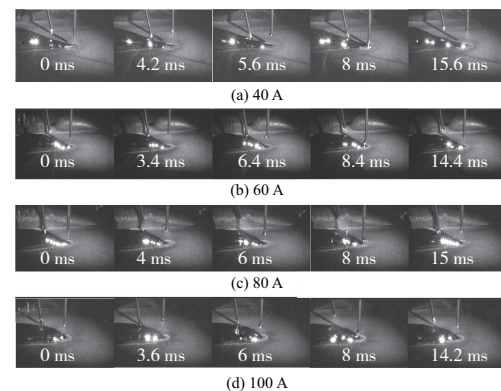


图4 基值电流改变熔滴过渡与熔池形态

3) 峰值送丝速度 v_d

峰值送丝速度参数见表2 编号11—编号14,随峰值送丝速度增加,其双丝 CMT 周期标准差先减小后增大。高速摄像得到图5峰值送丝速度的熔滴过渡过程图像。

峰值送丝速度实质影响的是基值电流持续时间^[11],当传感器检测到丝材从熔池中抽离时,电压迅速升高,电流也随之升高。同时丝材回抽的距离是固定的,当丝材达到回抽位置后便开始向前送丝,向前速度为峰值送丝速度,基值电流持续时间减少,而当检测到丝材插入进熔池时,向前送丝速度从峰值送丝速度开始减少。由于平均送丝速度固定,所以提高峰值送丝速度,将缩短 CMT 周期时间。当峰值送丝速度为 25 m/min 时,发生短路前形成较大熔滴,电磁力作用增大,熔滴摆动,焊丝并不能被完全送进熔池发生短路便可能出现回抽运动,且如图 5(a)所示前后丝均存在 3 ms 的持续炸裂过程,飞溅严重,熔滴过渡极不稳定;当峰值送丝速度为 40 m/min、45 m/min 时,炸裂飞溅少,焊丝在向下运动过程中,速度较大,前丝出现频繁的“黏丝”现象,而后丝则对熔池产生冲击,熔池波动影响熔滴过渡稳定。当峰值送丝速度为 30 m/min 时,无明显“黏丝”现象,且仅后丝存在部分飞溅,熔滴过渡稳定,平均周期标准差小,熔池形态好。

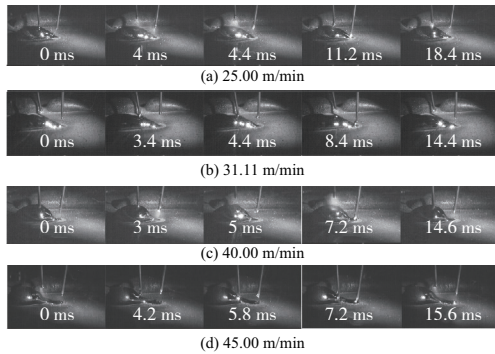


图 5 峰值送丝速度改变熔滴过渡与熔池形态

2.2 前后丝不同波形参数对熔滴过渡影响

在上述高氮钢双丝 CMT 增材工艺试验中发现前后丝之间存在差异和影响,考虑到前后丝的熔滴过渡稳定性,调整波形参数如表 4(前丝/后丝),依次得到熔滴过渡过程如图 6 所示。

表 4 前、后丝不同波形参数调整表

试验编号	基值电流 I_{-wait}/A	峰值送丝速度 $v_d/(m \cdot \min^{-1})$	峰值电流 I_{-boost}/A	前丝标准差 S	后丝标准差 S
1	60	30	180/150	0.93	0.71
2	60	30	180/100	1.15	0.68
3	60	30	175/125	0.74	0.43
4	60	30	150/100	0.66	0.52
5	80	30	175/125	1.04	0.82
6	40	30	175/125	0.62	0.41

在表 4 中,当峰值电流为 180 A/150 A(编号 1)或基值电流为 80 A(编号 5)时,热输入增大,氮的逸出导致双丝熔滴飞溅与炸裂都严重,熔滴过渡过程周期标准差与 2.1 节分析相符;适当降低峰值电流,控制基值电流 ≤ 60 A、峰值送丝速度为 30 m/min,发现前丝峰值电流高于

后丝峰值电流时,熔滴过渡过程有明显改善,前后丝之间通过共熔池的干扰有所降低,双丝周期标准差有一定程度的降低,但前丝熔滴存在一定偏离焊丝中心线现象。因此结合熔滴过渡过程图像和平均周期标准差变化等规律,控制前丝峰值电流在 150 A~175 A 时,前丝过渡相对稳定,而后丝峰值电流 ≤ 125 A,熔滴过渡比较稳定;双丝基值电流则控制在 ≤ 60 A,峰值送丝速度控制在 30 m/min 左右,熔滴过渡过程稳定。

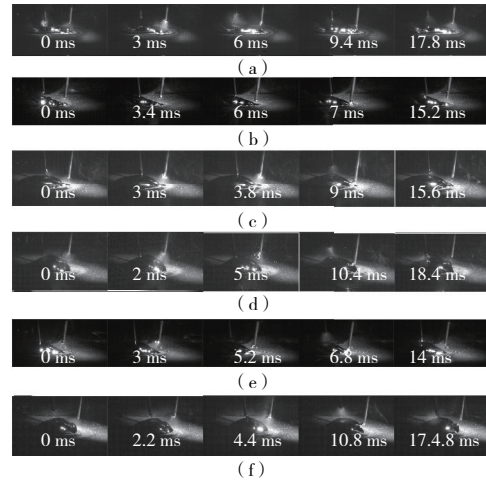


图 6 前后丝不同波形参数下熔滴过渡与熔池形态

3 熔滴过渡稳定性机理讨论

上述研究表明,高氮钢双丝 CMT 增材过程中熔滴极易发生炸裂,造成熔滴过渡的不稳定,因此本节就高氮钢双丝 CMT 增材过程中的熔滴过渡稳定性机理进行讨论。

3.1 氮逸出分析

普通熔滴过渡过程中熔滴受力主要有 3 部分:熔滴自身重力,电磁力和熔滴表面张力,而对于高氮钢,会增加一对氮气向外压力和约束住气泡的表面张力,熔滴炸裂主要就是这一对力大小发生了变化^[12],如图 7 所示。

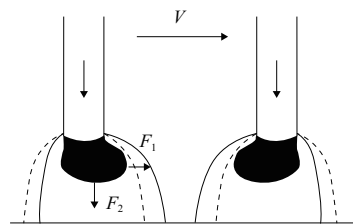


图 7 熔滴过渡受力示意图

对于高氮钢 CMT 增材而言,在熔滴过渡过程中会出现氮气溢出,造成的熔滴过渡过程出现炸裂现象。这是由于熔滴温度升高,高氮钢中的氮溶解度逐渐降低^[13],并且随着氮含量的增大,氮向外逸出的驱动力也越大。当熔滴中氮元素含量高于大气压下氮的溶解度时,固溶氮逸出,并聚集形成氮气泡,并随着熔滴温度升高而不断长大。当熔滴中氮气泡处内部压力大于其表面张力,会产生炸裂,造成熔

滴过渡不稳定。这将会影响高氮钢增材过程的稳定性。

因此高氮钢双丝 CMT 增材过程熔滴过渡稳定性的关键在于控制能量输入,从而调控熔滴温度,防止氮的逸出现象。所以通过调节电流参数控制能量输入是一种可行的稳定高氮钢双丝 CMT 熔滴过渡的方法。

3.2 能量输入分析

电弧热输入决定了单位时间内焊丝的熔化量,也决定了单位时间内电源对熔滴和熔池能量输入的大小,从而影响熔滴过渡过程的氮逸出现象。对单个 CMT 周期内的能量输入计算,有利于掌握熔滴过渡稳定的条件。使用式 $E_t = (\int_0^T U_i \cdot I_i dt) / T$, 计算每个周期的能量输入 E_t 。其中 U_i 和 I_i 分别是瞬时电压和瞬时电流。根据 CMT 电参数波形和实验数据,对于上述峰值电流、基值电流和加速送丝速度 3 个参数,计算出增材时单个 CMT 周期内的能量输入如图 8 和图 9 所示。

由图 8、图 9 可知,峰值电流,基值电流和峰值送丝速度的双丝单个 CMT 周期能量输入大小与平均周期长短基本对应,前丝能量输入基本高于后丝。根据图 8 和图 9,结合 2.2 节试验参数分析,发现保持前丝单个 CMT 周期能量输入在 23 J~28 J,后丝能量输入在 16 J~18.5 J 以下,高氮钢双丝 CMT 熔滴过渡过程比较稳定,熔滴炸裂较少。但为保证有效的成形,应尽量提高热输入。

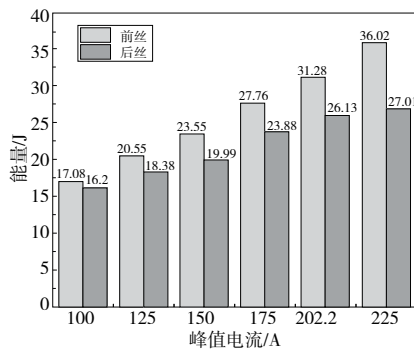


图 8 不同峰值电流下的能量输入

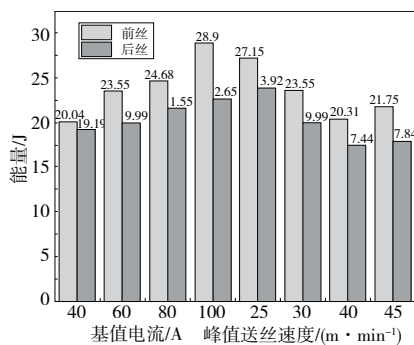


图 9 不同基值电流和峰值送丝速度下的能量输入

4 结语

1) 双丝峰值电流增加,前丝 CMT 周期标准差逐渐减小,熔滴过渡过程逐渐稳定,而后丝 CMT 周期标准差逐渐增多,稳定性变差;前丝峰值电流高于后丝峰值电流时,熔滴过渡过程有明显改善。调节前丝峰值电流在 150 A~175 A,后丝峰值电流 ≤ 125 A,保证熔滴过渡的稳定。

2) 基值电流增加,焊丝端部的熔滴逐渐增大,峰值送丝速度增大,双丝 CMT 周期标准差先减小后增大。调节基值电流 ≤ 60 A,峰值送丝速度在 30 m/min 左右,熔滴过渡过程相对稳定。

3) 保持前丝单个 CMT 周期能量输入在 23 J~28 J,后丝能量输入在 18.5 J 以下,高氮钢双丝 CMT 熔滴过渡过程比较稳定,熔滴炸裂较少。但为保证成形和增材效率,应尽量提高热输入。

参考文献:

- [1] ZHANG X Y, WANG K H, ZHOU Q, et al. System study of the formability, nitrogen behaviour and microstructure features of the CMT wire and arc additively manufactured high nitrogen Cr-Mn stainless steel [J]. Materials Today Communications, 2021, 27: 102263.
- [2] DING D H, PAN Z X, CUIURI D, et al. A multi-bead overlapping model for robotic wire and arc additive manufacturing (WAAM) [J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2015, 31: 101-110.
- [3] DINOVIETZ M, CHEN X H, LALIBERTE J, et al. Effect of wire and arc additive manufacturing (WAAM) process parameters on bead geometry and microstructure [J]. Additive Manufacturing, 2019, 26: 138-146.
- [4] WILLIAMS S W, MARTINA F, ADDISON A C, et al. Wire + arc additive manufacturing [J]. Materials Science and Technology, 2016, 32(7): 641-647.
- [5] 孙哲, 吕耀辉, 徐滨士, 等. 基于 CMT 焊接快速成形工艺研究 [J]. 装甲兵工程学院学报, 2014, 28(2): 85-88.
- [6] 叶约翰, 周琦, 秦伟铭, 等. 高氮钢-不锈钢电弧增材制造表面形貌研究 [J]. 机械制造与自动化, 2019, 48(3): 42-45.
- [7] 杨东青, 王小伟, 王奕楷, 等. 高氮钢 CMT 电弧增材制造多道搭接表面质量评价 [J]. 焊接学报, 2020, 41(4): 73-76, 83, 101.
- [8] 张栋, 陈茂爱, 武传松. 高速 CMT 焊送丝速度和焊接电流波形参数的优化 [J]. 焊接学报, 2018, 39(1): 119-122, 134.
- [9] 夏明生, 田志凌, 彭云, 等. 高氮奥氏体不锈钢熔焊时电弧空间及熔池的氮行为 [J]. 钢铁研究学报, 2007, 19(6): 9-15.
- [10] 赵文勇, 曹熙勇, 杜心伟, 等. CMT 电弧增材制造过程传热传质数值模拟 [J]. 机械工程学报, 2022, 58(1): 267-276.
- [11] 李超凡. 波形参数对铝合金 CMT 高速焊接稳定性及焊缝成形影响的研究 [D]. 济南: 山东大学, 2019.
- [12] 李星燃. 高氮钢复合焊接接头氮行为与性能研究 [D]. 长春: 长春理工大学, 2020.
- [13] 沈春飞, 蒋兴元, 李阳, 等. 奥氏体不锈钢中氮溶解度的热力学计算和实验研究 [J]. 特殊钢, 2010, 31(5): 1-4.

收稿日期: 2022-05-12