

# 工艺参数对 TIG 自动焊焊缝成形影响规律研究

杨未未, 张文庆, 杨育军

(新乡航空工业(集团)有限公司, 河南 新乡 453000)

**摘要:**随着科技的不断进步,TIG 自动焊接技术被广泛应用于不同领域。基于此,选择 TIG 自动焊机,通过调整工艺参数,探究不同焊接电流、脉冲频率、焊接速度、送丝速度和弧压情况下对焊缝成形的影响规律,以期能提高生产效率,降低生产成本,使企业获得更为可观的利润。

**关键词:**TIG 自动焊机;焊接电流;焊接速度;送丝速度;焊缝成形

**中图分类号:**TG434.5

**文献标识码:**A

**文章编号:**1672-1152(2025)03-0004-04

## 0 引言

随着自动焊接技术的迅速发展,TIG 自动焊以其高精度、高质量、高稳定性和广泛的材料适应性,在航空航天、精密仪器制造、核能工程和汽车制造等领域得到了广泛应用<sup>[1]</sup>。然而,在实际焊接过程中,焊缝成形质量往往受到多种因素影响,其中,工艺参数的选择尤为关键。因此,深入研究工艺参数对自动焊焊缝成形的影响,对于优化焊接工艺、提高焊缝质量有着重要意义。

## 1 研究方法

TIG 自动焊机是一种将 TIG 焊接和机械臂整合到一起的加工设备,因其自动化程度较高,涉及的工艺参数较多,主要有焊接电流(基值电流、峰值电流)、焊接速度、送丝速度、弧压和脉冲频率等,不同参数对焊缝成形影响均不一样<sup>[2]</sup>。本研究主要通过控制参数变量法,研究摸索不同的工艺参数对焊缝成形的影响规律。

## 2 研究过程

### 2.1 试片材料

试验采用 1Cr18Ni9Ti 不锈钢板,规格为 200 mm × 50 mm × 2 mm,采用对接的接头形式进行焊接研究分析。

### 2.2 试验设备

TIG 自动焊机设备以机器人为中心,采用双工位布局,双工位包括:小型环缝机床及装配与焊接工作台,可满足环缝或异形件的焊接,如图 1 所示。

系统主要由 1 套库卡 KR16R1610 机器人系统

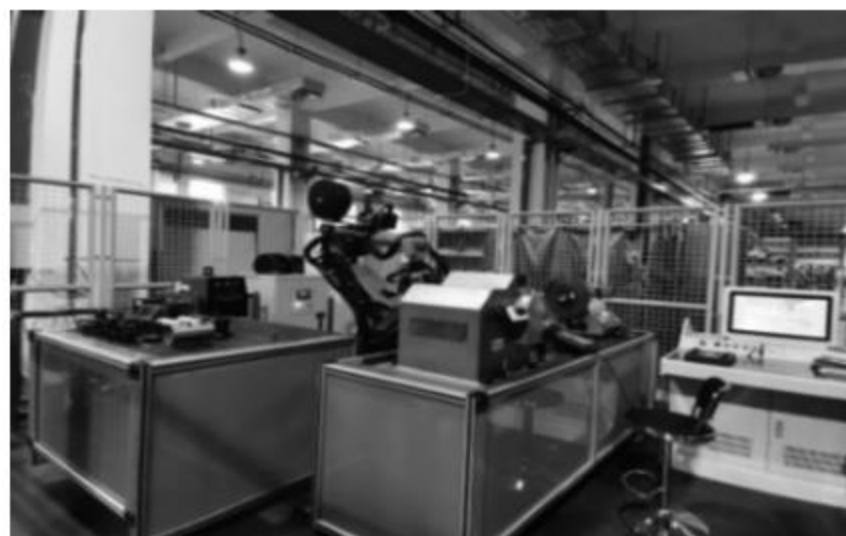


图 1 TIG 自动焊机

(包括机器人本体、控制器、示教器和防撞传感器)、1 套 DT 控制系统(包括数据采集系统、弧长跟踪软件和焊枪摆动软件、手控盒)、1 套小型环缝机床、1 个装配与焊接工作台、1 套焊接系统(包括 1 台 Dynasty 400 交直流 TIG 逆变焊接电源、1 把 WT-28 水冷 TIG 自动焊枪、1 套 Coolmate 3 焊枪冷却水箱及管路)、1 套 WFC 精密送丝系统、WV-100 摄像监视系统及 SCC 系统控制台。

### 2.3 焊前准备

试片焊接之前,用不锈钢丝刷打磨并用酒精擦拭。然后,将试片装夹在专用工装上进行焊接。焊接工装如图 2 所示。



图 2 焊接工装

### 2.4 工艺参数设置

设置不同工艺参数进行试验,有利于分析不同参数对焊缝成形的影响,如表 1—表 6 所示。

表 1 基值电流为影响因素时的参数设置

试验编号	基值电流 /A	峰值电流 /A	脉冲频率 /Hz	送丝速度 / (mm/min)	焊接速度 / (mm/min)	弧压 /V
1	30	157	2.5	300	180	9.5
2	35	157	2.5	300	180	9.5
3	40	157	2.5	300	180	9.5
4	45	157	2.5	300	180	9.5
5	50	157	2.5	300	180	9.5

## 3 实验结果与分析

### 3.1 基值电流对焊缝成形的影响

当峰值电流为 157 A、脉冲频率为 2.5 Hz、送丝速度为 300 mm/min、焊接速度为 180 mm/min 和弧压为 9.5 V 时,分析基值电流对焊缝成形的影响。图 3 为基

收稿日期:2024-12-27

第一作者简介:杨未未(1992—),男,河南灵宝人,本科,毕业于郑州大学,工程师,研究方向为焊接工艺技术。

表 2 峰值电流为影响因素时的参数设置

试验编号	基值电流/A	峰值电流/A	脉冲频率/Hz	送丝速度/(mm/min)	焊接速度/(mm/min)	弧压/V
1	40	137	2.5	300	180	9.5
2	40	147	2.5	300	180	9.5
3	40	152	2.5	300	180	9.5
4	40	157	2.5	300	180	9.5
5	40	167	2.5	300	180	9.5

表 3 脉冲频率为影响因素时的参数设置

试验编号	基值电流/A	峰值电流/A	脉冲频率/Hz	送丝速度/(mm/min)	焊接速度/(mm/min)	弧压/V
1	40	157	1.0	300	180	9.5
2	40	157	1.5	300	180	9.5
3	40	157	2.0	300	180	9.5
4	40	157	2.5	300	180	9.5
5	40	157	3.0	300	180	9.5

表 4 送丝速度为影响因素时的参数设置

试验编号	基值电流/A	峰值电流/A	脉冲频率/Hz	送丝速度/(mm/min)	焊接速度/(mm/min)	弧压/V
1	40	157	2.5	280	180	9.5
2	40	157	2.5	290	180	9.5
3	40	157	2.5	300	180	9.5
4	40	157	2.5	350	180	9.5
5	40	157	2.5	400	180	9.5
6	40	157	2.5	500	180	9.5
7	40	157	2.5	600	180	9.5

表 5 焊接速度为影响因素时的参数设置

试验编号	基值电流/A	峰值电流/A	脉冲频率/Hz	送丝速度/(mm/min)	焊接速度/(mm/min)	弧压/V
1	40	157	2.5	300	160	9.5
2	40	157	2.5	300	170	9.5
3	40	157	2.5	300	180	9.5
4	40	157	2.5	300	190	9.5
5	40	157	2.5	300	220	9.5

表 6 弧压为影响因素时的参数设置

试验编号	基值电流/A	峰值电流/A	脉冲频率/Hz	送丝速度/(mm/min)	焊接速度/(mm/min)	弧压/V
1	40	157	2.5	300	180	9.0
2	40	157	2.5	300	180	9.5
3	40	157	2.5	300	180	10.0
4	40	157	2.5	300	180	10.5
5	40	157	2.5	300	180	11.0

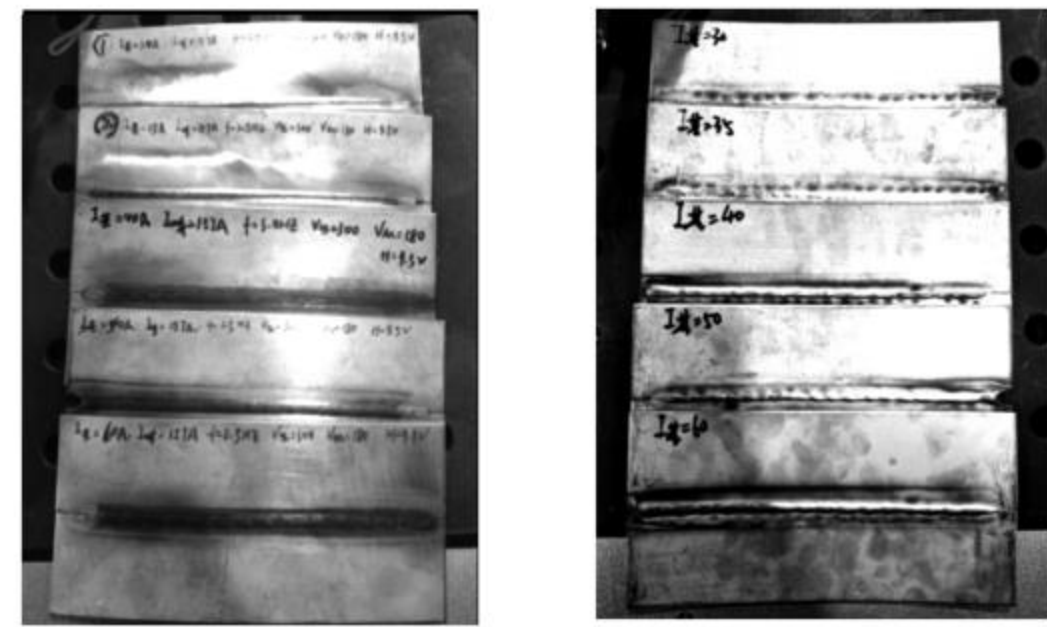
值电流为 30~50 A 的焊缝外观形貌。经统计测量,焊缝尺寸如表 7 所示。

基值电流对焊缝尺寸的影响趋势如图 4 所示。

由实验数据可以发现,随着基值电流的增加,热输入逐渐增加,焊缝熔宽、背透增加。

### 3.2 峰值电流对焊缝成形的影响

当基值电流为 40 A、脉冲频率为 2.5 Hz、送丝速度为 300 mm/min、焊接速度为 180 mm/min 和弧压为 9.5 V 时,分析峰值电流对焊缝成形的影响。图 5 为峰



3-1 正面 3-2 背面

图 3 基值电流参数试验

表 7 不同基值电流下焊缝尺寸

试验编号	基值电流/A	熔宽/mm	余高/mm	背透/mm
1	30	6.27	0.44	1.89
2	35	6.45	0.42	2.91
3	40	6.92	0.4	4.28
4	45	7.08	0.34	4.49
5	50	7.87	0.32	5.51

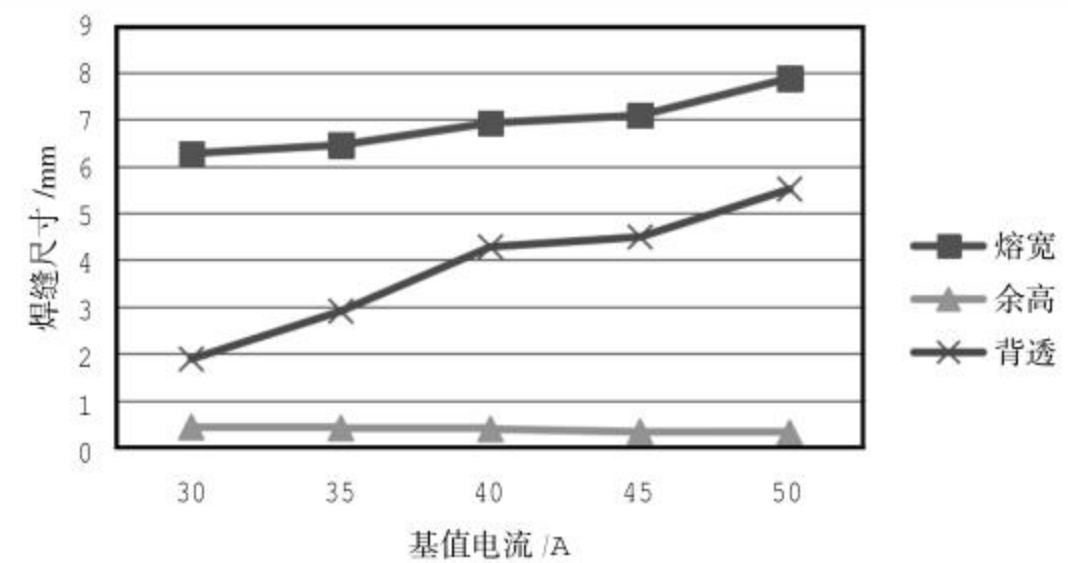


图 4 基值电流对焊缝尺寸的影响

值电流 137~167 A 的焊缝外观形貌。经统计测量,焊缝尺寸如表 8 所示。



5-1 正面 5-2 背面

图 5 峰值电流参数试验

表 8 不同峰值电流下焊缝尺寸

试验编号	峰值电流/A	熔宽/mm	余高/mm	背透/mm
1	137	6.09	0.51	0
2	147	6.56	0.47	1.20
3	152	7.27	0.31	3.55
4	157	7.40	0.26	4.72
5	167	7.57	0.14	5.02

注:试验 1 未焊透。

峰值电流对焊缝尺寸的影响趋势如图 6 所示。

根据实验数据可以发现,随着基值电流的增加,热输入逐渐增加,焊缝熔宽、背透增加。

### 3.3 脉冲频率对焊缝成形的影响

当基值电流为 40 A、峰值电流为 157 A、送丝速

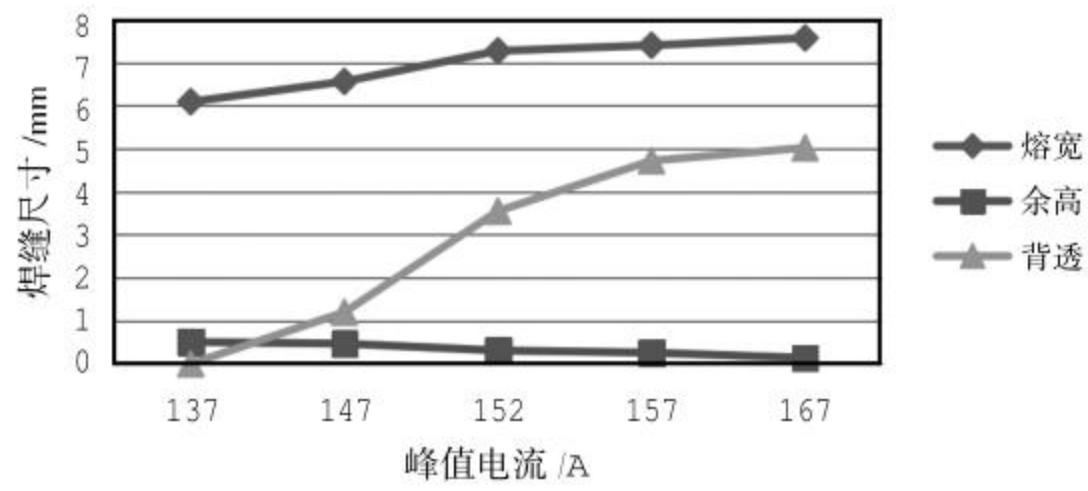


图 6 峰值电流对焊缝尺寸的影响

度为 300 mm/min、焊接速度为 180 mm/min 和弧压为 9.5 V 时,分析脉冲频率对焊缝成形的影响。图 7 为脉冲频率为 1.0 ~ 3.0 Hz 的焊缝外观形貌。经统计测量,焊缝尺寸如表 9 所示。

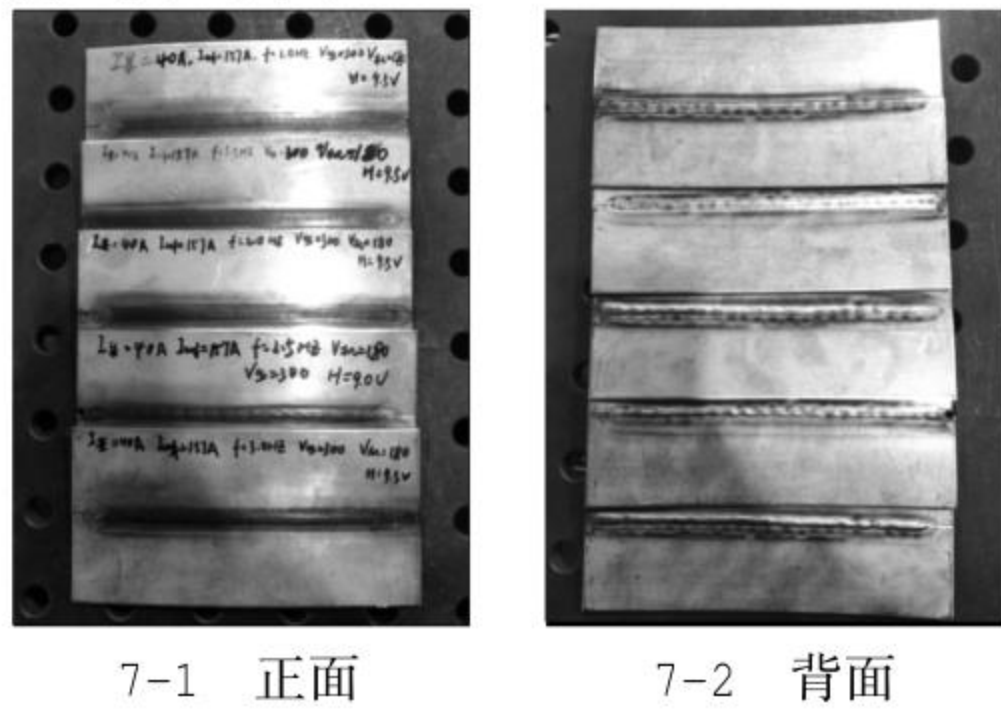


图 7 脉冲频率参数试验

表 9 不同脉冲频率下焊缝尺寸

试验编号	脉冲频率 /Hz	熔宽 /mm	余高 /mm	背透 /mm
1	1.0	7.45	0.20	0.28
2	1.5	7.46	0.33	0.32
3	2.0	7.59	0.34	0.36
4	2.5	7.66	0.36	0.42
5	3.0	7.79	0.38	0.47

脉冲频率对焊缝尺寸的影响趋势如图 8 所示。

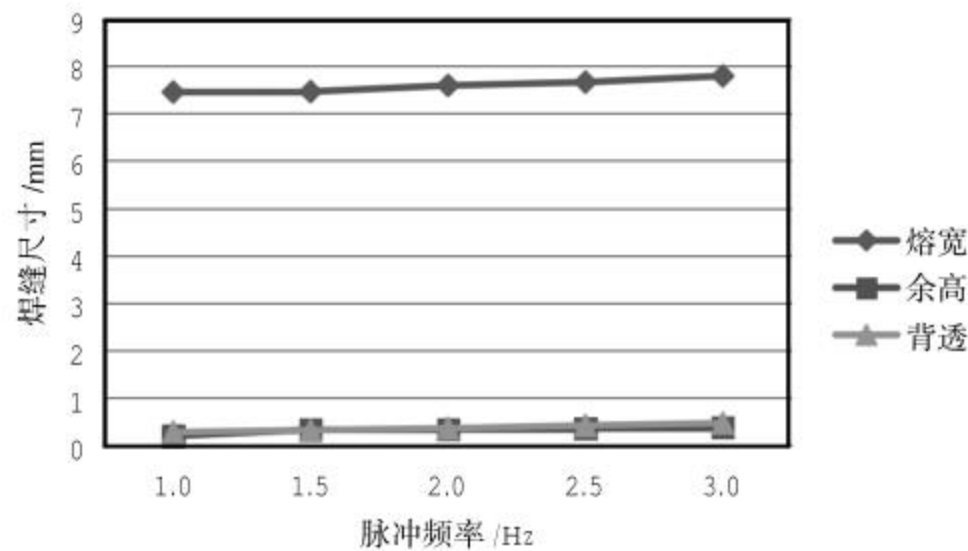


图 8 脉冲频率对焊缝尺寸的影响

由实验数据可以发现,脉冲频率对焊缝尺寸影响不大,主要影响焊缝鱼鳞纹形状。对比 f=1 和 f=3 时的鱼鳞纹形状,脉冲频率越大,鱼鳞纹越密集,如图 9 所示。

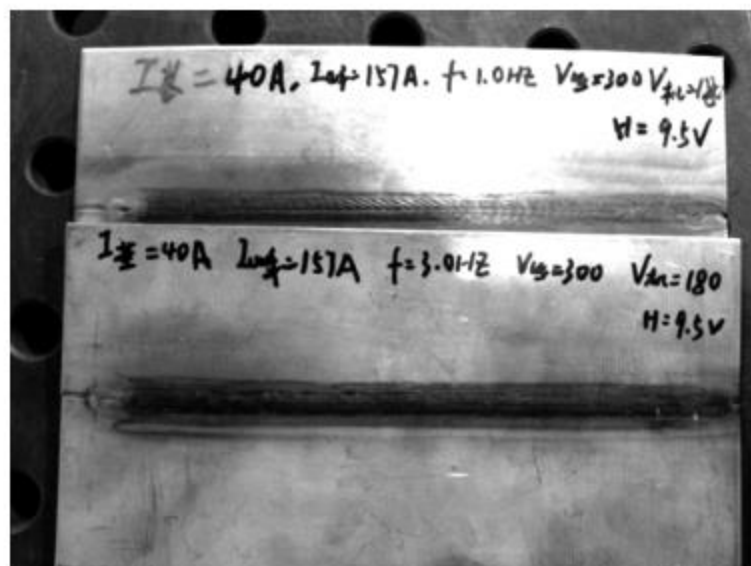
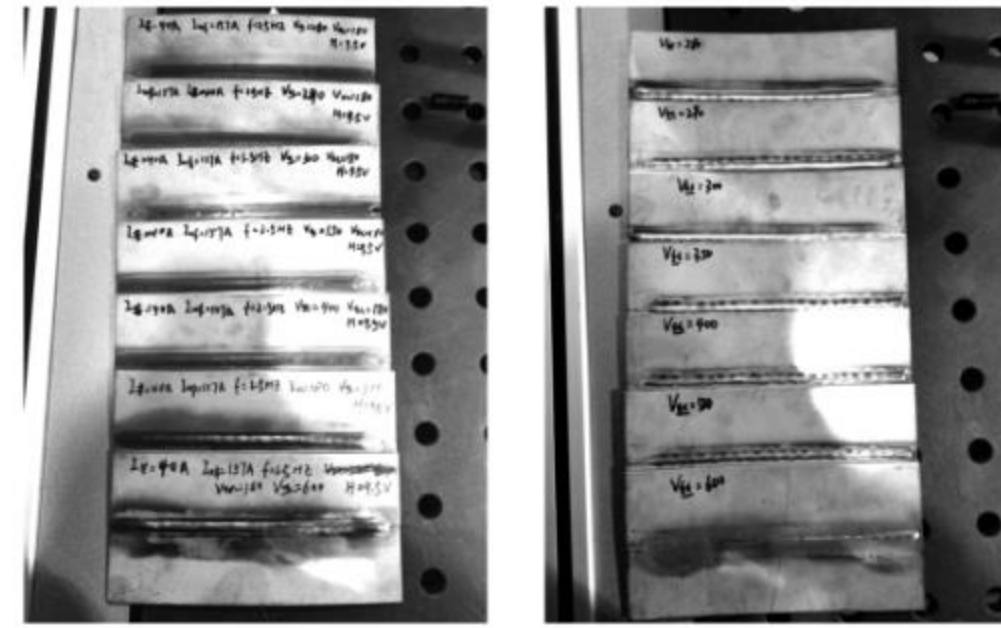


图 9 鱼鳞纹形状对比

### 3.4 送丝速度对焊缝成形的影响

当基值电流为 40 A、峰值电流为 157 A、脉冲频

率为 2.5 Hz、焊接速度为 180 mm/min 和弧压为 9.5 V 时,分析送丝速度对焊缝成形的影响。图 10 为送丝速度为 280 ~ 600 mm/min 的焊缝外观形貌。经统计测量,焊缝尺寸如表 10 所示。



10-1 正面 10-2 背面

图 10 送丝速度参数试验

表 10 不同送丝速度下焊缝尺寸

试验编号	送丝速度 /(mm/min)	熔宽 /mm	余高 /mm	背透 /mm
1	280	7.25	0.20	4.54
2	290	7.22	0.22	4.38
3	300	7.15	0.26	4.23
4	350	7.13	0.40	3.71
5	400	7.01	0.63	2.96
6	500	6.94	0.73	2.87
7	600	6.91	0.99	0

注:试验 7 未焊透。

送丝速度对焊缝尺寸的影响趋势如图 11 所示。

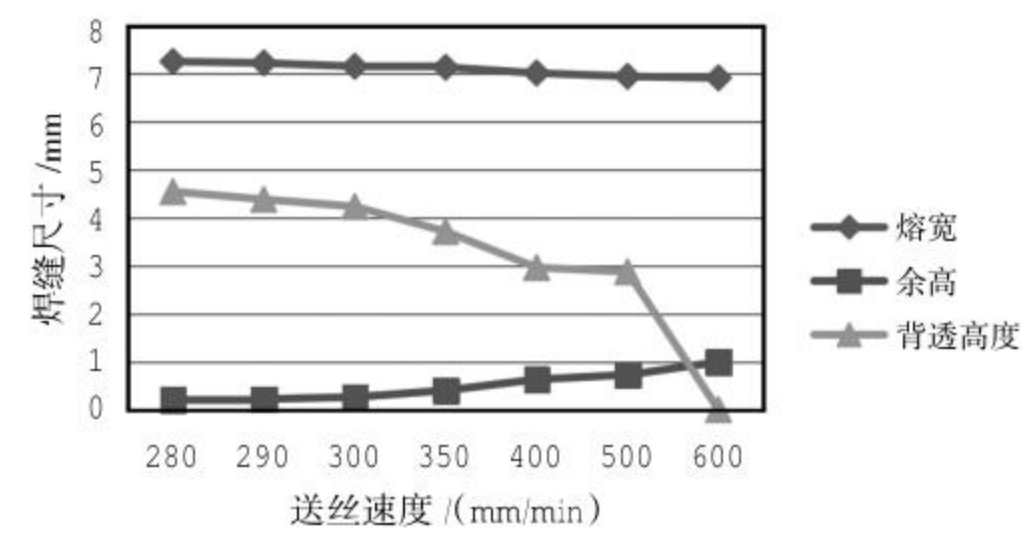


图 11 送丝速度对焊缝尺寸的影响

由实验数据可以发现,送丝速度越大,单位时间送丝量越多。在同样的焊接热输入情况下,焊缝余高越高,背透越少。

### 3.5 焊接速度对焊缝成形的影响

当基值电流为 40 A、峰值电流为 157 A、脉冲频率为 2.5 Hz、送丝速度为 300 mm/min 和弧压为 9.5 V 时,分析焊接速度对焊缝成形的影响。图 12 为焊接速度为 160 ~ 220 mm/min 的焊缝外观形貌。经统计测量,焊缝尺寸如表 11 所示。

焊接速度对焊缝尺寸的影响趋势如图 13 所示。

由实验数据可以发现,焊接速度越大,单位长度内热输入越少熔宽、焊缝背透越小,余高增加。

### 3.6 弧压对焊缝成形的影响

当基值电流为 40 A、峰值电流为 157 A、脉冲频率为 2.5 Hz、送丝速度为 300 mm/min 和焊接速度为 180 mm/min 时,分析弧压对焊缝成形的影响。图 14 为



12-1 正面 12-2 背面

图12 焊接速度参数试验

表11 不同焊接速度下焊缝尺寸

试验编号	焊接速度 / (mm/min)	熔宽 /mm	余高 /mm	背透 /mm
1	160	7.89	0.24	6.18
2	170	7.80	0.29	5.60
3	180	7.79	0.36	4.23
4	190	7.74	0.40	3.95(背透不均匀)
5	220	6.98	0.64	0(无背透)

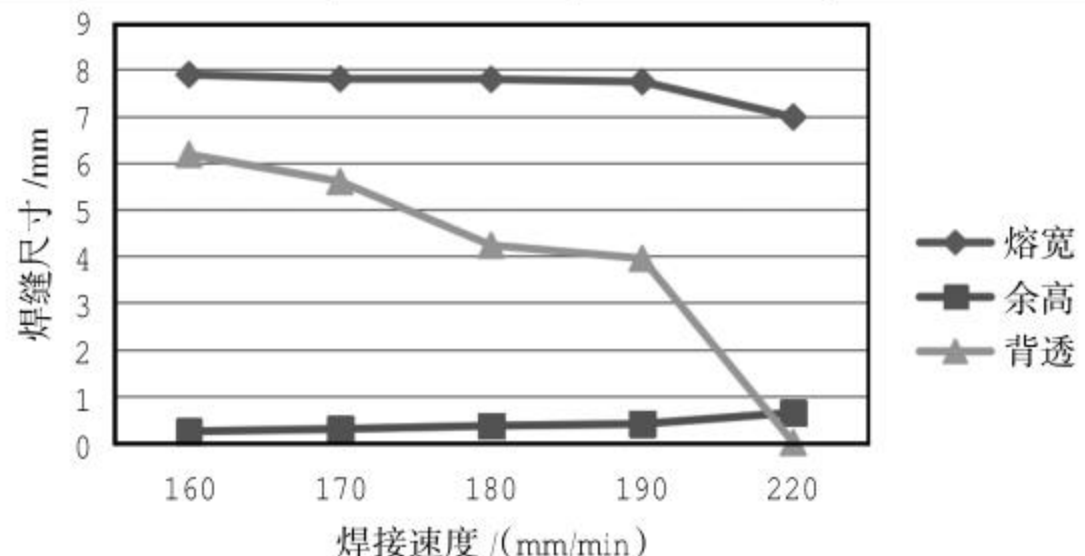


图13 焊接速度对焊缝尺寸的影响

弧压为 9~11 V 的焊缝外观形貌。经统计测量,焊缝尺寸如表 12 所示。



14-1 正面 14-2 背面

图14 弧压参数试验

表12 不同弧压下焊缝尺寸

试验编号	弧压 /V	熔宽 /mm	余高 /mm	背透 /mm
1	9.0	7.14	0.14	0.58
2	9.5	7.30	0.16	0.55
3	10.0	7.40	0.29	0.51
4	10.5	7.43	0.36	0.49
5	11.0	7.41	0.42	0.39

弧压对焊缝尺寸的影响趋势如图 15 所示。

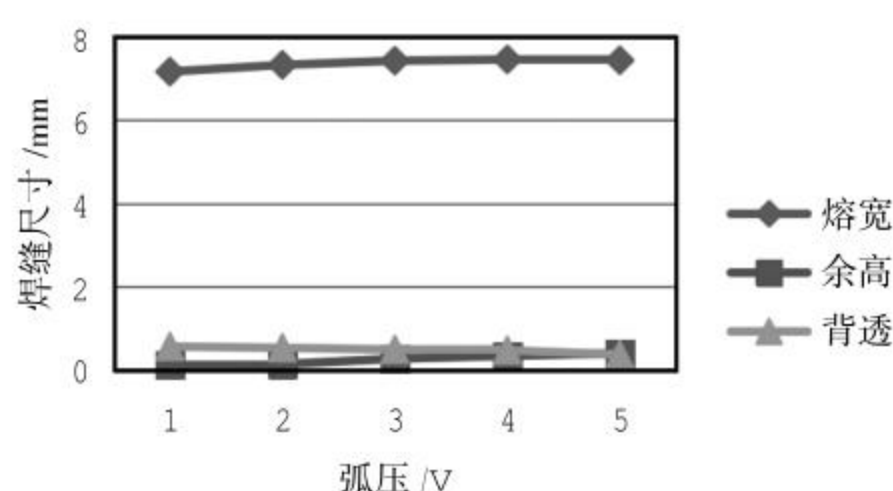


图15 弧压对焊缝尺寸的影响

随弧压增加,熔宽和加热面积略有增大。当弧长超过一定范围后,电弧热量分散,导致热效率降低,熔宽减小,焊接背透减小,余高增加。

#### 4 结论

1)随着基值电流、峰值电流的增加,热输入增加,焊缝熔宽和背透均增加。

2)脉冲频率对焊缝的外观尺寸影响不大,主要影响鱼鳞纹的疏密程度,脉冲频率越大,鱼鳞纹越密集。

3)送丝速度越大,单位时间送丝量越多。在同样的焊接热输入情况下,焊缝余高越高,背透越少。当送丝速度选择不当,可能造成未焊透、烧穿和焊缝凹陷等缺陷。

4)焊接速度越大,单位长度内热输入越少,熔宽、焊缝背透越小,余高增加。焊接速度过快,保护气流严重偏后,可能是钨极端部、弧柱和熔池暴露在空气中,使气体保护氛围破坏,并造成焊缝不成形或成形不好,容易产生未焊透和气孔等缺陷。焊接速度太慢,焊接热输入集中,容易造成烧穿和咬边<sup>[3]</sup>,如图 16 所示。

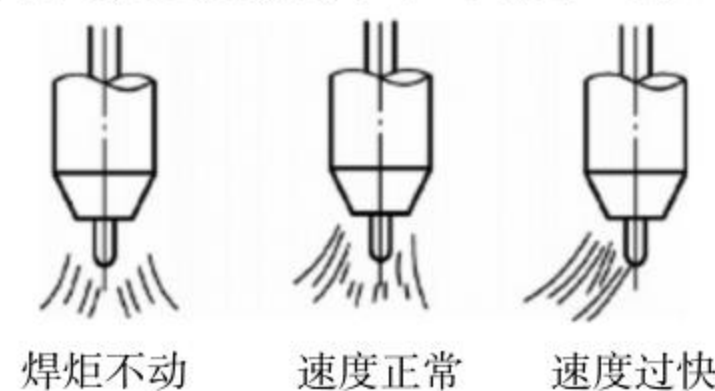


图16 焊接速度对焊缝的影响

5)随着弧压的增加,熔宽和加热面积略有增大。当弧长超过一定范围后,电弧热量分散,导致热效率降低,电弧力对熔池作用减小,导致熔宽减小,焊接背透减小,余高增加。当电弧长度增加,易产生未焊透缺陷,并使气体保护效果变差。因此,应在电弧不短路的情况下,尽量控制电弧长度,

#### 参考文献

[1] 高海丰.自动焊接在机械焊接中的应用[J].科技展望,2016(25):134-136.  
 [2] 戴红.自动焊接参数对焊缝成形及微观组织影响规律研究[J].机械制造文摘:焊接分册,2020(2):29-33.  
 [3] 雷世明.焊接方法与设备[M].北京:机械工业出版社,2019.

(编辑:郭萍茹)(下转第11页)

寸为 92.7  $\mu\text{m}$  和 49.5  $\mu\text{m}$ 。

3) 预时效可以促进  $\beta$  相的析出。破碎的块状 LPSO 相, 断裂的层状 LPSO 相,  $\beta$  相, 粗、细  $\text{Mg}_5(\text{Gd}, \text{Y})$  沉淀这些第二相, 通过 PSN 机制和钉扎效应, 利用变形过程中位错的积累与释放, 共同促进了大量动态再结晶颗粒的形成, 有利于提高合金的性能。

4) 镦粗 - 挤压 - 镦粗工艺制作的坯料综合性能好, 达到了强度 - 延性的平衡。试样的屈服强度为 175 MPa, 极限抗拉强度为 258 MPa, 延伸率为 10.1%。

#### 参考文献

- [1] 车波. 预时效 Mg-Zn-Gd-Er 合金的热压缩行为和组织研究[D]. 湘潭: 湖南科技大学, 2022.
- [2] 马宇龙, 卢影峰, 姚泽. Mg-Gd-Y-Zn-Zr 系高强稀土镁合金研究现状及发展趋势[J]. 轻合金加工技术, 2024, 52(4): 10-16.
- [3] 于昊玮, 胡敬源, 张梁, 等. 预时效工艺对 Cu-Cr-Zr 合金力学性能和电学性能的影响[J]. 铜业工程, 2024(3): 163-170.
- [4] HUA L, YUAN P-G, ZHAO N, et al. Microstructure and mechanical properties of 6082 aluminum alloy processed by preaging and hot forging [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2022, 32(3): 790-800.
- [5] MUGA C O, ZHANG Z W. Strengthening Mechanisms of Magnesium-Lithium Based Alloys and Composites[J]. Advances in Materials Science and Engineering, 2016, 2016: 1-11.
- [6] PENG P, TANG A T, SHE J, et al. Significant improvement in yield stress of Mg-Gd-Mn alloy by forming bimodal grain structure [J]. Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing, 2021, 803: 140569.
- [7] 高傲, 李全安, 陈晓亚, 等. 稀土镁合金中 LPSO 相的研究进展中国稀土学报[J]. 2024, 42(2): 204-215.
- [8] ZHANG R Q, WANG J F, HUANG S, et al. Substitution of Ni for Zn on microstructure and mechanical properties of Mg-Gd-Y-Zn-Mn alloy[J]. Journal of Magnesium and Alloys, 2017, 5(3): 355-361.
- [9] WANG Z T, JIANG J H, LIU X N, et al. Dynamics and Kinematics Models of Dynamic Recrystallization of AZ80 Magnesium Alloy During Thermal Deformation [J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2019, 48(7): 2062-2067.
- [10] HAO Y, ZHOU L, CHEN Z, et al. The growth of  $\beta$  phase in Mg-Gd-Y-Ni alloy by experimental and first-principles study[J]. Journal of Magnesium and Alloys, 2024, 12(2): 506-515.
- [11] CHAI F, MA Z Y, HAN X H, et al. Effect of strain rates on mechanical behavior, microstructure evolution and failure mechanism of extruded-annealed AZ91 magnesium alloy under room-temperature tension [J]. Journal of Materials Research and Technology-Jmr&T, 2023, 27: 4644-4656.

(编辑: 武倩倩)

## Effect of Pre-aging on Microstructure and Mechanical Properties of Rare earth Magnesium Alloys

Liu Bin<sup>1,2</sup>

(1. Shanxi Polytechnic College, Taiyuan Shanxi 030006, China; 2. School of Material Science and Engineering, North University of China, Taiyuan Shanxi 030051, China)

Abstract: The microstructure evolution and mechanical properties of Mg-9Gd-4Y-2Zn-0.5Zr rare earth magnesium alloy were studied by adding pre-aging treatment in the upsetting-extrusion-upsetting passes. The parameters of pre-aging in the deformation process of the alloy were revealed, which provided reliable reference data for the plastic processing technology. The results show that the pre-aging treatment between passes can promote the precipitation of the second phase. With the increase of deformation passes, the precipitation behavior becomes faster and the peak aging time becomes shorter. The peak hardness(HV) of PAU-1 sample is 130, and the peak aging time is 28 h. The peak hardness(HV) of PAE-2 sample is 117, and the peak aging time is 18 h. During the deformation process, the lamellar LPSO phase is twisted and fractured, and the block-shaped LPSO phase is broken, and the second phase particles are formed, which makes the dynamic recrystallization particles form a large number at the edge of the grain and inside the grain. The performance of the material is improved, and the balance between strength and ductility can be achieved. Through the production process, the yield strength, ultimate tensile strength and elongation of the sample are 175 MPa, 258 MPa, and 10.1%, respectively.

Key words: pre-aging treatment; rare earth magnesium alloy; thermal deformation; hardness; microstructure

(上接第 7 页)

## Research on the Influence of Process Parameters on TIG Automatic Welding Seam Formation

Yang Weiwei, Zhang Wenqing, Yang Yujun

(Xinxiang Aviation Industry (Group) Co., Ltd., Xinxiang Henan 453000, China)

Abstract: With the continuous advancement of technology, TIG automatic welding technology has been widely applied in different fields. Based on this, TIG automatic welding machine is selected to explore the influence of different welding currents, pulse frequencies, welding speeds, wire feeding speeds, and arc pressures on weld formation by adjusting process parameters, in order to improve production efficiency, reduce production costs, and enable the enterprise to obtain more considerable profits.

Key words: TIG automatic welding machine; welding current; welding speed; wire feeding speed; welding seam formation