

编号:

# 哈尔滨工业大学

## 大一年度项目立项报告

项目名称: 脉冲超声波辅助 GMA 焊

项目负责人: 孙明睿 学号: 1190302815

联系电话: 电子邮箱:

专业集群: 智能装备 辅导员: 胡云飞

指导教师: 蔡笑宇 职称: 讲师

联系电话: 电子邮箱:

院系及专业: 焊接技术与工程

哈尔滨工业大学基础学部制表

填表日期: 2019 年 11 月 9 日

### 一、项目团队成员（包括项目负责人、按顺序）

姓名	性别	所在专业集群	学号	联系电话	本人签字
孙明睿	男	智能装备	1190302815		
朱明泽	男	智能装备	1190302818		
吴佳玮	男	智能装备	1190302811		

### 二、指导教师意见

签 名：	
年 月 日	

### 三、项目专家组意见

批准经费：	元
组长签名：	（ 学部盖章 ）
年 月 日	

## 四、立项报告

### (一) 立项背景

**熔化极气体保护焊(GMAW)**是应用最广泛的焊接方法之一，具有熔敷速度快、焊接效率高、易于实现自动化的优点<sup>[1]</sup>。在不同的规范区间内，熔化极气体保护焊表现出不同的熔滴过渡形式，直接决定了焊接过程稳定性和焊缝质量<sup>[2,3]</sup>。熔滴过渡长期以来一直是焊接学术界及技术领域的重点研究课题。**如何使熔滴以较小的尺寸连续稳定地向熔池过渡，如何实现不同空间指向下的稳定熔滴过渡，如何减小甚至消除焊接飞溅，进一步如何实现可控的熔滴过渡等**，是焊接工作者不断追求的目标。虽然近年来不断提出了波形控制<sup>[4]</sup>、振动送丝<sup>[5]</sup>、磁场控制<sup>[6]</sup>等方法，有助于解决上述某些方面的特定问题，**但是技术上仍有不同程度的局限性**。从熔滴过渡行为的理论分析出发，我们设想，如果在焊接过程中在熔滴上增加一个促进熔滴过渡的力，那么问题就可以得到良好的解决。

**超声波**是一种频率高于 20kHz 的机械振动，具有定向传播性好，能量密度高的优点<sup>[7]</sup>。其在传播过程中不但能够产生空化效应、声流效应、机械效应、热效应等超声波效应，而且高声强导致的非线性效应能够在传播空间内产生固定方向和大小的声辐射力<sup>[8,9]</sup>。在空间材料科学领域，利用高声强超声波所产生的声辐射力，能够将密度比气体大几万倍的固体和液体克服重力而悬浮于气体中，也可以将密度很小的气泡定位于液体中某一位置而不上浮到液面上，实现了对样品的无接触控制<sup>[10]</sup>。

随着对焊缝质量要求的不断提高和超声凝固理论的不完善，越来越多的研究将超声振动引入电弧焊接领域，形成了超声辅助焊接技术，在细化晶粒、改善焊缝性能等方面也取得了良好效果。当超声设备与焊接工件通过固体接触的方式作用时，焊缝晶粒产生了明显的细化，并且焊缝组织也有一定程度的改善<sup>[11]</sup>。而当超声波以气体和等离子体为介质传输并作用于钨极氩弧焊(TIG)焊接过程时，焊接电弧发生了明显的收缩<sup>[12]</sup>。焊缝熔深增加，微观组织更加均匀。随着声辐射条件的变化，电弧的收缩程度发生了周期性的波动。据此初步推断超声波在复杂的电弧焊接环境下形成了一定谐振模式的声场，构成了声辐射力形成的基本条件。

结合常规熔化极气体保护焊和超声辐射力的特点，提出超声辅助熔化极气体保护焊方法(Ultrasonic-assisted GMAW)。将超声波推广到 GMAW 焊接过程中，

在焊接过程中对熔滴过渡方向施加高声强的超声振动，利用声辐射力作用于熔滴过渡过程，提高过渡频率和过程稳定性，扩大 GMAW 焊接的可用规范区间。同时也必然有部分超声进入熔池，改善焊缝成形和组织。与常规 GMAW 焊接相比，超声辅助 GMAW 方法发展应用具有更大的优势，其进一步研究和应用具有广阔的前景。

## （二）项目研究内容及实施方案

研究内容：电弧行为、熔滴过渡、焊缝成形

### 1. 电弧行为

电弧行为的研究主要通过电信号分析系统和电弧图像采集系统实现，如图 1-1 所示。电信号分析系统选用 LEM 公司的 LT1000-S 型电流传感器和 LV28-P 型电压传感器，将焊接过程中电流和电压信号转换为 0-10V 范围内信号，通过阿尔泰 USB2813A 数据采集卡连接计算机，进行数据的实时采集和存储，采样频率为 11.5kHz。

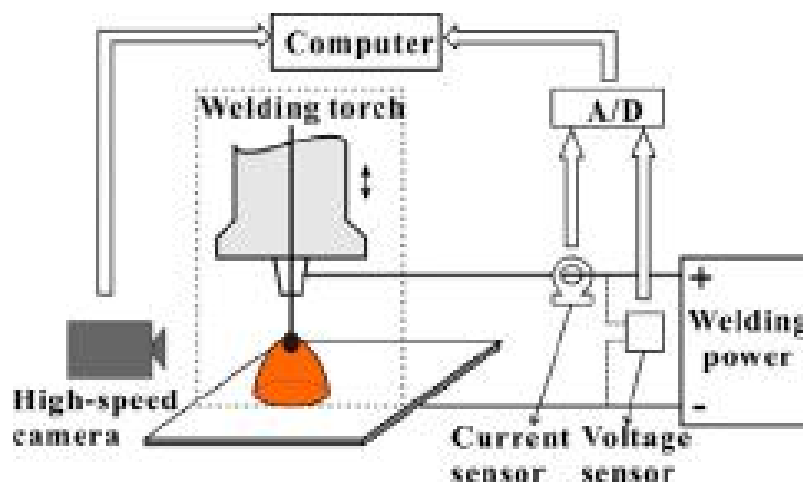


图 1-1 电弧行为研究试验装置

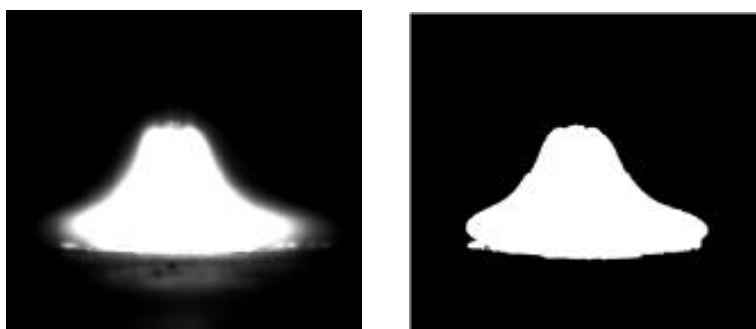
电弧图像的采集通过高速摄像系统完成，包括高速相机、变焦镜头和减光滤光系统。高速相机为 Optronis 公司生产的 CAMRECORD5000×2，如图 1-2 所示。在 512×512 的分辨率下，相机能够达到的最大采集速度为 5000fps/s。相机配合焦距为 300-500mm 的变焦微距镜头进行电弧形态的聚焦成像。镜头前端采用波长为 808nm 的滤光片，带宽为±10nm。在电弧行为的研究中，所采用的高速摄像参数为：图片分辨率为 512×512，采集频率 3000fps，曝光时间为 1/50000。需要注意的是，虽然实验过程中高速摄像过程和电流电压采集过程是同时进行的，但

是目前实验系统尚未能实现高速图片和电信号之间的同步。



图 1-2 高速摄像装置

实验过程所采集到的电弧图像如图 1-3a)所示。从图中可以看出电弧边缘存在一定的低亮度区域。为了提取清晰的电弧形态轮廓，利用 `matlab` 软件对图像进行了阈值处理，获得边界分明的二值化图像，如图 1-3b)所示。从对比图像中可以看出，经过处理后的图像电弧轮廓更锐利，有利于精确测量电弧形态。而且 `matlab` 图像处理过程中采用相同的阈值，电弧形态的量化标准统一，所获得的数据更准确。

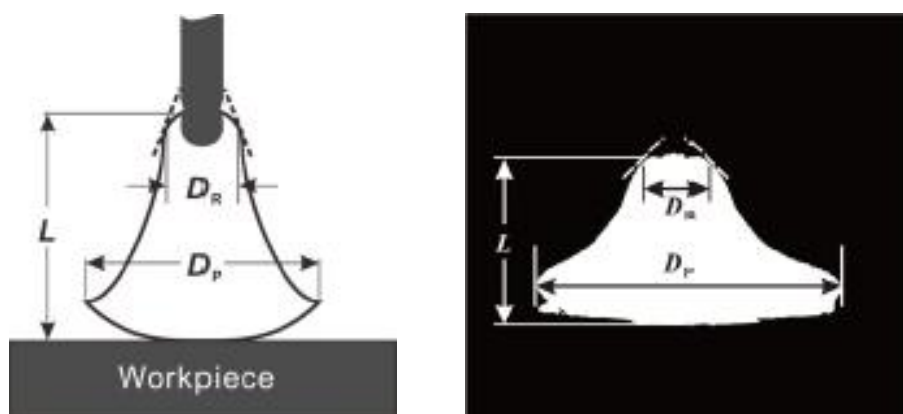


a) 原始电弧照片

b) 处理的电弧图片

图 1-3 电弧形态处理

对处理后的电弧图像进行了尺寸参数的测量，主要的电弧形态参数包括弧长  $L$ ，电弧投影直径  $DP$  和弧根直径  $DR$ ，其示意图和测量过程如图 1-4 所示。



a) 电弧形态示意图

b) 测量过程

图 1-4 电弧形态尺寸参数

## 2. 熔滴过渡

为了获得不同焊接规范下的熔滴过渡形式分布，首先需要在一定的焊接条件下进行大量的焊接电流-焊接电压组合试验，然后根据试验现象确定每个参数下的熔滴过渡类型，最后进行整体分布图的绘制。

为了和常规 GMAW 焊接的熔滴过渡规范区间进行对比，在同一个焊道上进行普通 GMAW 焊接和超声-GMAW 复合焊接之间的对比试验。试验方法为平板堆焊，焊接母材和填充焊丝分别为铝合金和铝合金。试验过程中，保护气成分、保护气流量、焊接速度、导电嘴距工件距离、喷嘴高度等主要的焊接条件保持不变，如表 2-1 所示。主要调节焊接**电流和电压**，如表 2-2 所示。选定 9 组不同的送丝速度，使焊接电流能够涵盖常用的焊接电流区间；在每个固定的送丝速度下以 2V/次的增幅连续调节焊接电压，满足熔滴过渡形式从不稳定的固体短路过渡到弧长过高的不稳定自由过渡的电压变化需求。超声设备工作参数的选择应使声场处于谐振声场状态，具体参数为：发射端高度  $H=20\text{mm}$ ，发射端直径  $D=40\text{mm}$ 。

表 2-1 规范区间分布研究焊接条件

保护气成分	保护气流量	焊接速度	导电嘴距工件距离	喷嘴高度
	(L/min)	(m/min)	(mm)	(mm)
Ar	20	1.5	15	20

表2-2 规范区间分布研究焊接参数

试验组别	送丝速度m/min	焊接电压V
1	6	28
2	7	
3	8	
4	9	
5	7	28
6		29
7		30
8		31

根据 IIW 对熔滴过渡类型的分类,常见的熔滴过渡形式主要有短路过渡、滴状过渡和喷射过渡三种,其电弧形态、熔滴尺寸、焊接电信号都存在显著的差异。为了确定不同焊接送丝速度-焊接电压组合下的熔滴过渡类型,利用电信号分析系统对试验过程中焊接电流和电压信号进行了实时采集和存储,采集频率为 11.5kHz。对采集的电信号进行离线分析,根据电信号变化特征判断熔滴过渡类型。

### 3.焊缝成型

将使用传统 GMAW 焊得到的铝合金板与使用脉冲超声波辅助 GMAW 焊得到的铝合金板的焊道进行切割取样,对得到的焊缝断面进行硬度实验、拉伸实验。使用金相显微镜测量焊缝宽度与熔深。比较两者各项数据,得出结论。

#### (三) 进度安排

- 1.项目规划及撰写开题报告。
- 2.了解并学习焊接相关基础知识。
- 3.进行电弧、熔滴过渡观察实验。
- 4.进行焊接试板实验。
- 5.测定焊缝成形数据及焊接接头性能。
- 6.总结规律、得出结论
- 7.撰写结题报告

#### (四) 中期及结题预期目标

- 1.项目中期目标: 完成焊接相关知识的学习,并完成电弧、熔滴过渡观察实验。
- 2.项目结题目标: 完成脉冲超声辅助 GMAW 焊各项实验,获得相应试验规律及结果。

## （五）经费使用计划

- 1.购买书籍：200 元
- 2.纯氩保护气 100 元/瓶：四瓶
- 3.交通费：200 元
- 4.其余经费由指导老师科研经费承担

## （六）主要参考文献

- [1] 杨春利, 林三宝. 电弧焊基础[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2003: 1-45.
- [2] J. F. Lancaster. The physics of welding[M]. New York: Pergamon Press, 1984: 210-239.
- [3] 殷树言. 气体保护焊工艺基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 281-341.
- [4] S. Ueguri, K. Hara, H. Komura. Study of metal transfer in pulsed GMA welding[J]. Welding Journal, 1985, 64 (8) : 242-250.
- [5] B. E. Paton. Controlling the arc welding process by programming the electrode wire feed rate[J]. Automatic Welding, 1977, 30 (1) : 1-4.
- [6] N. M. Tarasov. Power calculation of the process of separation of an electrode metal droplet under the effect of an external electromagnetic field pulse[J]. Automatic Welding, 1984, 37 (6) : 23-26.
- [7] 应崇福. 超声学[M]. 北京: 科学出版社. 1990: 456-527.
- [8] 解文军, 魏炳波. 声悬浮研究新进展[J]. 物理, 2002, 31 (9) : 563-566.
- [9] G. I. Eskin. Principles of ultrasonic treatment application for light alloys melts[J]. Adv Perform Mater, 1997, 4: 223-227.
- [10] W. J. Xie, B. B. Wei. Parametric study of single-axis acoustic levitation[J]. Applied Physics Letters, 2001, 79: 881-883.
- [11] Wen-Long Dai. Effects of high-intensity ultrasonic-wave emission on the weldability of aluminum alloy 7075-T6[J]. Materials Letters, 2003, 57: 2447~2454.
- [12] 孙清洁, 杨春利, 林三宝, 等. 超声钨极氩弧复合焊金属熔化行为分析[J]. 焊接学报, 2010, 31 (3) : 41-44.