

外加间歇交变纵向磁场对 TIG 焊缝成形的影响*

Effect of Longitudinal Intermittent Alternative Magnetic Field on Weld Formation in Tungsten Inert-Gas Arc Welding

上海交通大学 罗 健

西安交通大学

王雅生 殷咸青 贾昌申

宁先进 李海刚 薛 锦

[摘要] 研究了间歇交变纵向磁场 TIG 焊接不同材料(低碳钢、不锈钢和铝合金等)的焊缝成形。通过大量的工艺试验及对焊缝宏观参数的测量,分析了该外加磁场对 TIG 焊缝成形的影响规律。试验还表明,外加磁场 TIG 焊接速度和焊接电流对焊缝成形也有影响。

关键词: TIG 焊 纵向磁场 焊缝成形

[ABSTRACT] This article introduces weld formation of low carbon steel, stainless steel and Al alloy by TIG welding in longitudinal intermittent alternative magnetic field. Through large number of technological experiments and measurements of macroscopic weld parameters, rules of the effect of applied magnetic field on the weld formation in TIG welding have been discovered. The experiments show that welding velocity and welding current of TIG welding in applied magnetic field also effect weld formation.

Keywords: TIG welding Longitudinal magnetic field Weld formation

近年来,磁控焊接技术不断发展,大量实践表明,采用合适的外加间歇交变纵向磁场(与电弧中心线同轴)TIG 焊可以全面提高焊接质量^[1-3],在航空、航天、船舶、核能等领域得到了日益广泛的应用。

1 试验过程

1.1 焊接材料

试验用材料为 Q235 钢、1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢(美国牌号为 AISI321)和 LD10CS 铝合金(美国牌号为 2014-T6)板材,板厚 $\delta=4$ mm。

其化学成分分别为 LD10CS 3.9%~4.8% Cu, 0.4%~0.8% Mg, 0.4%~1.0% Mn, 0.6%~1.2%

Si, Al; 1Cr18Ni9Ti $\leq 0.8\%$ Si, $>0.8\%$ Ti, $\leq 0.03\%$ S, $\leq 0.035\%$ P; Q235 0.14%~0.22% C, 0.12%~0.30% Si, 0.40%~0.65% Mn。

1.2 焊接装置

本试验采用一种以一定频率间歇交变的纵向磁场进行 TIG 焊接。基于工程实际的需要,该磁场由安装在工件背面与焊接电弧中心线同轴的单个激磁线圈产生,其激磁电流为双向脉冲电流,由专用电源供给,所产生的磁力线方向大体上与电弧轴线平行,并以电弧轴线为中心形成轴对称的略为发散的分布状态。

使用焊接夹具固定板材,工件不运动,焊枪与线圈通过一刚性支架连接成一个整体,被电机牵引着在轨道上平稳运动,如图 1 所示^[1]。

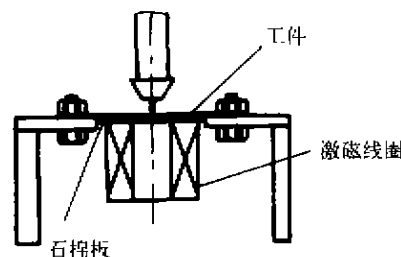


图 1 焊接装置示意图

Fig.1 Sketch of welding equipment

1.3 焊接工艺

本课题的试验方法是:针对不同材料,分别采用与其相适应的焊接方法,即 LD10CS 铝合金采用直流正极性(DCSP)不填丝钨极氩弧焊;Q235 钢和 1Cr18Ni9Ti 不锈钢采用直流正极性不填丝钨极氩弧焊。表面堆焊这 3 种板材,其 TIG 焊接的工艺规范:钨极直径 $D=3.2$ mm,弧长 $L=1.0\sim 2.0$ mm,焊接电流 $I=90\sim 180$ A,焊接速度 $v=100\sim 500$ mm/min,气体流量 $q_v=6\sim 10$ L/min(Ar), $q_v=10\sim 18$ L/min(He)。板材尺寸为 $140\text{ mm}\times 100\text{ mm}\times 4\text{ mm}$ 。外加纵向磁场的磁感应强度 $B=0\sim 80$ mT,频率 $f=0\sim 15$ Hz。

* 国家自然科学基金资助项目和中国博士后科学基金资助项目。

1.4 试验测量及腐蚀方法

采用 CT-3 型高斯计和示波器系统,测量和记录 TIG 焊外加磁场的强度,其霍尔传感器尺寸为 $5\text{ mm} \times 2\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$,可以测量时变场。在测量显微镜下测量焊缝的熔深、熔宽等参数,并近距离拍摄焊缝照片。

焊接材料的腐蚀方法是:Q235 钢用 5% 的硝酸酒精溶液;1Cr18Ni9Ti 不锈钢用 10% 的草酸溶液电解腐蚀;LD10CS 铝合金用硝酸-氯化铁水溶液腐蚀。

2 试验结果与分析

本课题进行了大量的焊接工艺试验和数据测量工作,每个数据均为 3 个或 3 个以上试验测量值的平均值,以力求减少各种因素所带来的误差和干扰。

2.1 对焊缝外观成形的影响

图 2(a)为外加间歇交变纵向磁场 TIG 焊标准焊缝外观成形照片。从焊缝图中可见,焊缝表面平整,边缘整齐,纹理均匀,成形良好。

当焊接工艺参数不合适地变化时(如增大焊接速度、降低外磁场频率等),焊缝成形变差,边缘不平整,波纹间距增大,椭圆形的纹理尖端出现明显的周期性指向,表现为“Z”字形,如图 2(b)所示,普通 TIG 焊缝不出现这种现象。波浪式“Z”字形焊缝降低了焊缝均



(a)标准焊道

Q235; $v = 150\text{ mm/min}$, $I = 140\text{ A}$, $f = 1.5\text{ Hz}$, $B = 0.01\text{ T}$ 。



(b)“Z”字形焊道

1Cr18Ni9Ti; $v = 400\text{ mm/min}$,
 $I = 140\text{ A}$, $f = 0.5\text{ Hz}$, $B = 0.01\text{ T}$ 。



(c)起皱焊道

LD10CS; $v = 500\text{ mm/min}$,
 $I = 260\text{ A}$, $f = 1.0\text{ Hz}$, $B = 0.01\text{ T}$ 。

图 2 焊缝的外观成形

Fig.2 Weld face formation

匀受力的能力。

当焊接参数选择不当时,焊缝成形极差^[4],甚至出现起皱焊道,特别是在 LD10CS 铝合金焊接时尤为明显,如图 2(c)所示。研究表明,无论是铁磁材料(如 Q235 钢)还是非铁磁材料(如 1Cr18Ni9Ti 不锈钢, LD10CS 铝合金),当焊接工艺参数在最优与一般参数之间选择时,焊缝成形也在标准焊道和波纹焊道之间变化。

研究发现,在选择了其他合适的工艺参数条件下,磁感应强度和磁场交变频率两者之间必须有一个恰当的配合,才能获得最佳的焊缝成形效果^[1]。一般说来,当所选用的磁场交变频率较高时,磁感应强度应适当加大,反之亦然。理所当然,磁场参数还必须与所采用的焊接规范参数相适应。由此可知,外加间歇交变纵向磁场将对 TIG 焊缝成形产生影响。

2.2 磁感应强度(B)与磁场频率(f)对焊缝熔深、熔宽的影响

图 3,4 为焊缝熔宽、熔深与外加间歇交变纵向磁场强度的关系曲线。

在其他合适的焊接工艺参数不变的条件下,随着外加磁场磁感应强度的增大,焊缝熔宽有增大的趋势,当熔宽增大到一定程度时,会随着磁感应强度的增大而减小,见图 3;而熔深则与之相反,表现出减小的趋势,当熔深减小到一定程度后,也会随着磁感应强度的增大而增大,见图 4。熔深和熔宽的变化与磁场强度

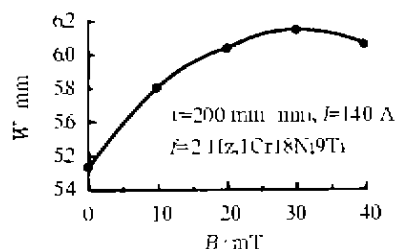


图 3 熔宽 W 与磁感应强度 B 的关系

Fig.3 Relationship between weld width W and magnetic induction intensity B

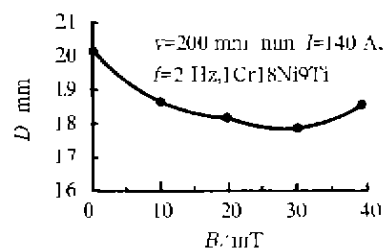


图 4 熔深 D 与磁感应强度 B 的关系

Fig.4 Relationship between weld depth D and magnetic induction intensity B

不成比例,但熔深和熔宽的变化相对应,即当熔宽最大时,该磁场强度下熔深是最小的。熔宽的平均变化率(16%)比熔深的平均变化率(11%)稍大。这说明外加间歇交变纵向磁场的磁场强度对熔宽的影响较大。

图5、图6为焊缝熔深、熔宽与外加间歇交变纵向磁场频率的关系曲线。

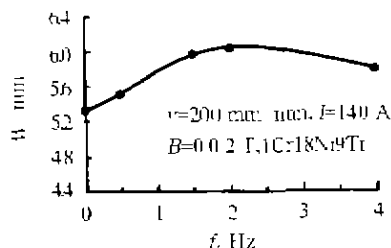


图5 熔宽 W 与磁场频率 f 的关系

Fig.5 Relationship between weld width W and magnetic field frequency f

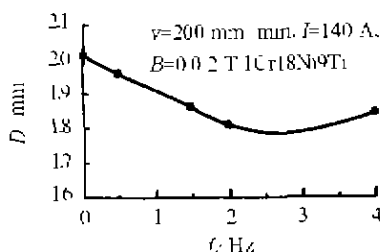


图6 熔深 D 与磁场频率 f 的关系

Fig.6 Relationship between weld depth D and magnetic field frequency f

焊缝熔宽随着外加磁场频率的增大有增大的趋势,见图5;而熔深表现出减小的趋势,见图6。当熔宽最大时,该磁场频率下的熔深最小。与外加磁场强度相比,频率对焊缝熔宽和熔深的影响不如磁场强度大。

在本试验条件下,研究发现,Q235钢和LD10CS铝合金焊缝的熔深和熔宽均表现出与1Cr18Ni9Ti不锈钢相类似的规律。

2.3 焊接速度与电流对焊缝熔深、熔宽的影响

图7、8为焊缝熔深、熔宽与焊接速度的关系曲线。

如图所示,无论是否施加纵向磁场,焊缝熔宽和熔深都随着焊接速度的加快而减小。在焊接速度影响的条件下,施加磁场时焊缝的熔宽比不加磁场时要宽;施加磁场时焊缝的熔深比不加磁场时要浅。但是,当焊接速度较快时(>400 mm/min),这种差别逐渐减小,说明此时焊接速度对熔深的影响超过了外加纵向磁场的作用,占据了主导地位。

图9、10为焊接熔宽、熔深与焊接电流的关系曲

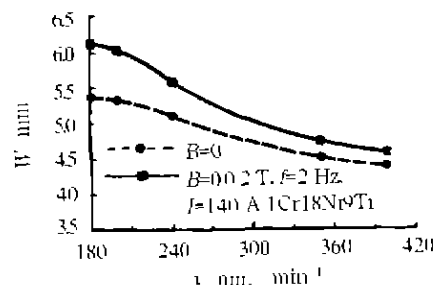


图7 熔宽 W 与焊接速度 v 的关系

Fig.7 Relationship between weld width W and welding velocity v

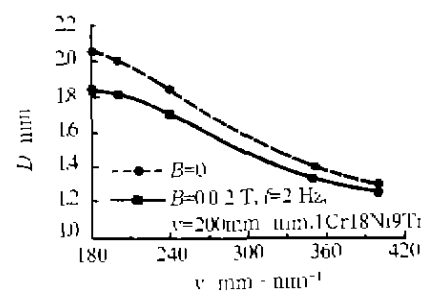


图8 熔深 D 与焊接速度 v 的关系

Fig.8 Relationship between weld depth D and welding velocity v

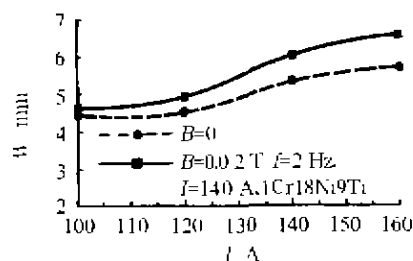


图9 熔宽 W 与焊接电流 I 的关系

Fig.9 Relationship between weld width W and welding current I

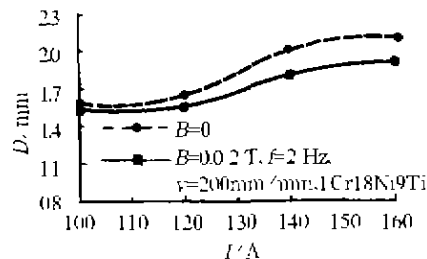


图10 熔深 D 与焊接电流 I 的关系

Fig.10 Relationship between weld depth D and welding current I

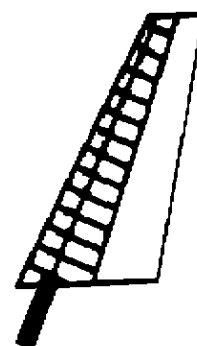
线。如图所示,不管是否施加纵向磁场,TIG 焊缝熔宽、熔深都随着焊接电流的增加而增大。而且,焊缝熔宽、熔深在施加磁场与不施加磁场之间的对应差值也随着焊接电流的增大而增加,说明无论是否施加磁场,焊接电流对 TIG 焊接过程影响明显。在焊接电流增大的条件下,外加纵向磁场 TIG 焊缝熔宽的变化程度大于焊缝熔深的变化程度。

以上说明外加间歇交变纵向磁场对铁磁性材料和非铁磁性材料的 TIG 焊缝成形均产生明显的影响。

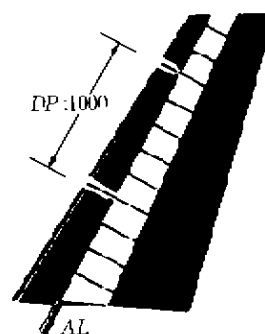
参 考 文 献

- 1 殷咸青,李海刚,罗键.用电磁搅拌抑制 LD10CS 铝合金焊缝热裂纹的研究.西安交通大学学报,1998,32(5):91~96
- 2 贾昌中,肖克民,张三保.用电磁搅拌提高 20g 钢埋弧自动焊焊缝质量.电焊机,1987,71(4):14~18
- 3 Malinowski M, Ouden G D, Vink W J P. Effect of electromagnetic string on GTA welds in austenitic stainless steel. Welding Research Supplement, 1990,32(2):52~59
- 4 阿勃拉洛夫 M A, 阿勃杜拉赫曼诺夫 P Y. 电磁作用焊接技术.韦福水,路登平译.北京:机械工业出版社,1988

(责编 银山)



(a) 总体设计模型



(b) 装配设计模型

图 4 方向舵总体设计模型和装配设计模型

Fig.4 Overall design model and assembly design model of the rudder

(上接第 28 页)

2.5.2 方向舵虚拟装配技术应用

以某型飞机方向舵的虚拟装配技术应用作为工程实例,对虚拟装配技术的应用思想、方法、具体实施途径作了进一步的研究,以便为下一阶段全机的应用提供基本的理论支持。

(1) 总体设计阶段。在本阶段, IPT 根据飞机总体设计要求以及基本的总体设计参数建立方向舵主模型空间,并进行初步的总体布局。这是初步的结构、系统设计阶段,参见图 4(a)。

(2) 装配设计阶段。在本阶段完成方向舵结构、系统零件形状的基本设计,这是飞机结构、系统设计的重要阶段,但更详细的细节设计还没有进行。本阶段主要包括以下 3 个重要环节:部件模型空间分配;应力控制;具体模型定义。参见图 4(b)。在图 4(b)中,“AL”表示共轴,“DP:1000”表示两个基准平面之间的约束关系。

(3) 详细设计阶段。本阶段完成方向舵所有零件的设计工作,保证方向舵所有零件干涉自由,见图 2。

3 结束语

关于面向并行产品设计的虚拟装配技术在飞机研制中的应用,虽然国内主机厂所才刚刚起步,但人们已航空制造技术

经逐渐认识到虚拟装配技术所能发挥的巨大作用和发展潜力。我们在虚拟装配技术的应用研究中逐渐体会到,改变产品研制人员的研制习惯和观念、采用合理的虚拟装配应用方法、建立一定的组织机构是实现虚拟装配的关键;产品数据在研制中的有效管理和流动是实现虚拟装配的基础。

参 考 文 献

- 1 李海龙,董金祥.基于约束的装配体技术.计算机辅助设计与图形学学报,1997,9(3):249~255
- 2 洪熙伟,张申生,步丰林,等.基于 Pro/E 的产品装配建模系统.计算机辅助工程,1997,6(2):16~22
- 3 肖田元,韩向利,杨刚,等.虚拟制造技术.见:中国系统仿真学会学术年会论文集(上),1997,10
- 4 陈禹六,谢斌.计算机集成制造(CIM)系统设计和实施方法论.北京:清华大学出版社,1996
- 5 赵继云,高剑峰,黄山禾,等.支持概念及装配建模的智能变型设计系统框架.计算机辅助设计与图形学学报,1999,9(5):430~432

(责编 文 涛)