

机械工业技术革新技术改造

磁 控 焊 接

天津市焊接研究所编

机械工业出版社

机械工业技术革新技术改造选编

磁 控 焊 接

天津市焊接研究所编



机械工业出版社

内容提要 磁控焊接是在某些焊接方法中外加一个或几个磁场,利用产生磁力对熔池的搅拌等作用,达到细化晶粒、改变成形及提高质量的目的。本书除了对磁控焊接的原理、分类及冶金特点作了介绍外,重点阐述了磁控焊接在二氧化碳气体保护焊上的应用情况。

磁 控 焊 接

天津市焊接研究所编

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 2 · 字数 39 千字

1975 年 11 月北京第一版·1975 年 11 月北京第一次印刷

印数 00,001—17,000 · 定价 0.16 元

*

统一书号: 15033 · 4331

毛主席语录

社会主义革命和社会主义建设，
必须坚持群众路线，放手发动群众，
大搞群众运动。

我们必须打破常规，尽量采用先
进技术，在一个不太长的历史时期
内，把我国建设成为一个社会主义的
现代化的强国。

FRGP / 06

出版说明

在批林批孔运动的推动下，机械工业技术革新和技术改造的群众运动蓬勃开展，先进经验层出不穷。为及时总结推广这些先进经验，我们组织编写了“机械工业技术革新技术改造选编”。

“机械工业技术革新技术改造选编”将陆续出版，内容包括：铸、锻、焊、热处理、机械加工、改善劳动条件、三废处理等方面，每本讲一个专题，内容少而精，便于机械工业的广大职工阅读参考。

在组织编写过程中，得到有关领导部门和编写单位的大力支持，对此我们表示感谢。欢迎广大读者对这些书多提宝贵意见。

前 言

在各种形式的电焊过程中，目前还存在着一些难以解决的问题。例如，焊缝组织晶粒粗大，热影响区宽，硫、磷等杂质偏析严重；在刚性大的结构中焊接内应力很大，以致造成脆性破坏；如不加复杂装置就难以实现单面焊双面成型；在某些工件的焊接中严重的磁偏吹等等。

近年来在焊接过程中引入控制磁场，为解决上述问题开辟了新的途径，在许多问题上已取得显著的成果。

在学习无产阶级专政理论的推动下，在天津市第一机械工业局的领导和组织下，我们编写了这本小册子。

本书首先简要地介绍了磁控焊接应用的范围，然后着重说明电磁搅拌作用的机理及在二氧化碳保护焊中应用情况。

磁控焊接是一项新事物，许多问题有待同志们在实践中进一步研究。我们的认识也是很肤浅，我们的工作也做得很不够，书中错误之处在所难免，希望读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 磁控焊接概述.....	1
一、什么是磁控焊接	1
二、磁控焊接的特点	1
三、磁控焊接的分类	2
四、磁控焊接的应用范围	3
第二章 电磁搅拌焊接熔池的磁控焊接.....	7
一、电磁搅拌焊接熔池的机理	7
二、电磁搅拌焊接熔池的冶金特点	11
三、影响搅拌效果的几个因素	12
四、电磁搅拌的效果	16
第三章 CO ₂ 保护焊中引入磁控的实践.....	30
一、设备组成	30
二、磁头的选择	40
三、电磁搅拌的效果	42
四、CO ₂ 保护焊中引入磁场在生产上的应用	54
五、结束语	56

第一章 磁控焊接概述

一、什么是磁控焊接

在一般电焊过程中（如埋弧焊、熔化极及非熔化极氩弧焊、电渣焊、 CO_2 气体保护焊），外加一个或几个控制磁场，以便提高焊接接头质量和生产率，减小焊接变形等，这种在磁场作用下的焊接过程称作磁控焊接。

埋弧焊、氩弧焊、电渣焊及 CO_2 气体保护焊，虽然在一定条件下也能够满足生产要求，但在许多情况下还存在着难以克服的缺点。例如，在复杂的焊接结构中，电弧的磁偏吹现象；在大型结构中由于刚性很强，焊接内应力很大，往往造成脆性破坏；焊接接头由于结晶组织粗大、过热区很宽、硫、磷等杂质偏析，致使接头冲击韧性降低；焊缝成型不理想；如不加辅助装置难以实现单面焊双面成型等。

在电焊过程中引入控制磁场，为解决上述问题开辟了途径，磁控焊接正是在为克服上述缺点而斗争的过程中发展起来的。

二、磁控焊接的特点

磁控焊接是在各种电焊过程中引入控制磁场的一种工艺，因此它除具有各有关电焊方法的特点外，还有其特点：

1. 在磁控焊接中，磁场能量的输入是无触点式的，因此保证了能量输入快、无接触损耗。例如，将高频磁场通过电

磁感应无接触式地加于电弧上，在焊接熔池中引起超声波振荡，从而影响焊接过程。

2. 磁控焊接表现出来的各种有益作用都与焊接电流分不开。磁场与焊接电流相互作用在熔池中形成一个向上的电磁力，就可以抑制熔池向下渗漏，实现单面焊双面成型。因磁场加入形式不同，如果在电弧附近形成横向电磁力，就可以操纵电弧作横向摆动，从而控制焊缝的成型。如果在熔池中形成电磁力，就可以搅拌熔池，使焊缝结晶组织细化，硫、磷等杂质不致集中造成危害。

3. 外加磁场并不提供熔化焊丝及母材所需的热能，因此，外加磁场的引入并不影响焊接的熔敷速度。

4. 外加磁场的功率一般不大，电能消耗很少。

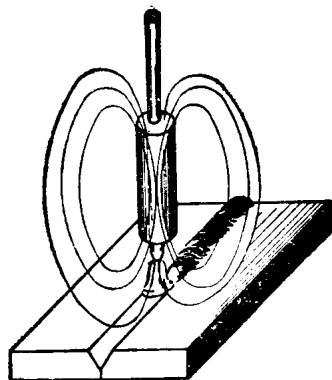
三、磁控焊接的分类

1. 根据所加磁场性质不同分类

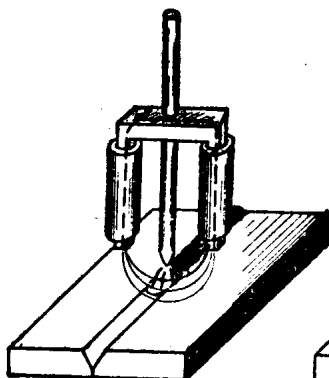
- (1) 直流控制磁场；
- (2) 正弦交流控制磁场：其中分低频、工频、高频三种；
- (3) 脉动交变控制磁场。

2. 根据磁头及其加入的形式分类（见图 1-1）

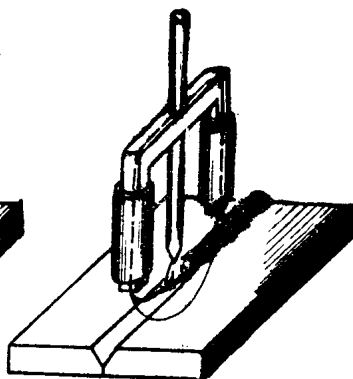
- (1) 同轴磁场：磁头为带铁芯的螺线圈，线圈通电时产生磁场，其磁力线方向与电极同向；
- (2) 横向磁场：磁头为 Π 形铁芯线圈，通电时产生磁场，其磁力线方向与焊接方向垂直；
- (3) 纵向磁场：磁头为 Π 形铁芯线圈，通电时产生磁力线方向与焊接方向一致。



a) 同轴磁场



b) 横向磁场



c) 纵向磁场

图1-1 引入磁场的形式

四、磁控焊接的应用范围

磁控焊接是一门新技术、新工艺，许多国家都在进行试验、研究和试生产。因此它的应用范围也在逐步扩大。据目前所知，它可用于如下几种电焊方法：

- (1) 钨极（非熔化极）氩弧焊；
- (2) 熔化极氩弧焊；
- (3) 埋弧焊；
- (4) 电渣焊；
- (5) CO_2 气体保护焊。

但根据磁控焊的特点看，其应用范围是不会限于上述五种焊接方法的。

从磁场所起的有益作用来看，磁控焊接可用于以下几个方面：

1. 单面焊双面成型

单面焊双面成型的焊接是一种多、快、好、省的焊接方法。生产中在焊缝背面不便施焊的场合下，这种工艺方法突出地表现了它的优越性。

对于引入控制磁场焊接过程的研究证明：在一定形式的外加磁场作用下，焊接熔池金属内的焊接电流便产生一个垂直向上的作用力，对熔池的下坠有抑制作用，见图 1-2。只要

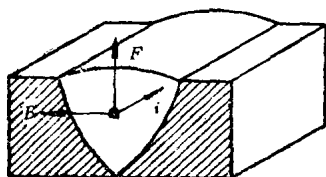


图1-2 电磁力垂直向上的原理示意图

选择适当的磁场，并且将磁感强度调节到合适的程度，就可以获得既保证焊缝焊透而又不烧穿，工件正反两面都有良好成型的焊缝。

2. 克服电弧磁偏吹

在焊接过程中，电弧的稳定性是影响焊接质量的一个重要因素。焊接生产实践说明，电弧对任何外界磁场都非常敏感，特别是在复杂结构的焊接生产过程中，电弧周围杂散的

磁场的影响，往往使电弧产生偏吹。外加一个预先选定的、有利于稳定电弧的磁场，通过自动控制，使这一磁场环境不受电弧周围杂散磁场干扰的影响，而保持恒定不变，从而克服了电弧偏吹现象。同时使电弧总是对准焊缝中心，以一定的角度进行焊接，这样焊接过程稳定，不仅保证了焊接质量，而且也提高了焊接生产率。

3. 改善焊缝成型

采用焊接结构时，往往对焊缝成型提出一定的要求。这是因为如熔深太大、熔宽太窄、加强高过高时，焊缝的结晶方向几乎平行于焊缝表面，容易造成夹渣、成型不美观以及应力集中等现象。熔宽及加强高过大还容易产生过大的焊接变形，同时费工时和材料。

在焊条不摆动的焊接过程中，外加一个磁场，用来控制焊接电弧进行横向摆动。弧柱摆动的幅度与外加磁场的磁感应强度成正比，而与磁场频率成反比。电弧摆动的振幅越大则焊缝的熔宽就越大，熔深越小。一般说来，选择适当的外加控制磁场的参数，就可以达到控制焊缝宽度和熔深的目的，从而获得满意的焊缝成型。

4. 电磁搅拌焊接熔池

焊缝金属组织的晶粒度在很大程度上影响焊接接头的机械性能。即晶粒越细化，其机械性能也越好，尤其是能明显地提高焊接接头的冲击韧性。

借助外加磁场的磁力线穿过焊接熔池，对熔池施加一定的搅拌作用，就会改善熔池的脱气效果，利于氧化物的析出，使熔池内的杂质趋于均匀分布，更重要的是可以使焊缝晶粒细化。这些结果会大大提高焊缝的塑性和韧性，增加焊缝的抗裂能力，从而获得优质焊缝。

5. 降低焊接内应力

焊接接头的内应力是引起焊缝裂纹，造成焊接结构变形的原因。因此，焊接结构中出现过大的内应力是非常有害的。

为了消除焊接内应力，工业上大都采取热处理的方法。热处理工序往往需要大型的設備，占用许多工时，使得生产率降低，成本提高。而在外加磁场作用下，由于焊接过程的热膨胀与金属的磁致伸缩，两种作用有互相抵消的倾向，因此可能减弱由于焊接过程热膨胀引起的内应力。这一减小内应力的过程是与焊接工艺过程同时完成的，不需增加其他工序及设备。

磁控焊接除了以上介绍的应用外，尚有许多其他的应用。例如，焊缝在外加控制磁场作用下，由于磁热阻的作用，可以阻止高温熔池的大量热向母材传导，因此可降低焊缝热影响区各部分的温度，使得过热区宽度变窄，改善了热影响区的质量等等。

以上各有益作用，常常是几种同时存在的。当然在给定的磁场形式、工艺参数条件下，只能适合某一种有益作用的发挥。

据国内外磁控焊接应用的材料看，范围是相当广泛的。如碳素钢、合金钢、铝及铝合金、钛及钛合金等。这些材料可根据其物理性质分为磁性和非磁性两大类。它们由于导磁率的差异很大，引入磁场后的表现也是有很大差异。

第二章 电磁搅拌焊接熔池的磁控焊接

一、电磁搅拌焊接熔池的机理

电磁搅拌焊接熔池的主要理论根据是电磁感应原理。以图 2-1 所示的直流电弧焊过程为例,可以看到焊接时,熔池金属是带电导体,在外加磁场作用下,熔池金属自然会受到电磁力的作用。若熔池液态金属的单位质量上所承受的电磁力为 F , 这个力的大小及方向决定于流过该单位质量液态金属的焊接电流密度 i 与外加磁场的磁感强度 B , 如图 2-1。电

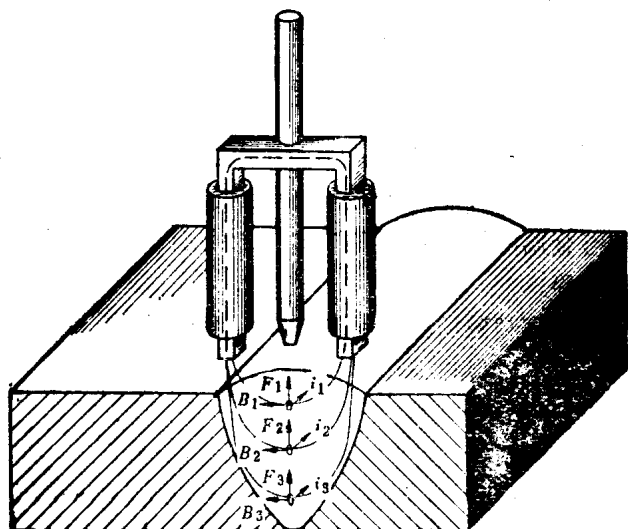


图2-1 电磁搅拌力产生原理示意图

磁力 F 、焊接电流密度 i 与磁感强度 B 之间的关系，可写成下列向量积的形式：

$$\vec{F} = \vec{i} \cdot \vec{B} \quad (1)$$

不同的电流密度 i 以及磁感强度 B 可以得到大小及方向不同的电磁力 F ，从而得到不同的焊接熔池的搅拌作用及效果。

流过焊接熔池单位质量液态金属的焊接电流密度 i ，不仅决定于总的焊接电流 I 的大小，而且还与电源在焊件上的引线位置有关。

从向量式 (1) 看出，电磁搅拌力决定于焊接电流以及磁场两个因素。但在实际对电磁搅拌的控制中，一般是依靠磁场的强弱和方向的调节。焊接电流取决于工件材料、厚度、焊缝尺寸，它很难作为调节电磁搅拌的手段。

实践证明，只需使用简单的感应装置——磁头，消耗相当小的功率，就可以保证电磁力有足够大的变化范围。

电磁搅拌焊接熔池就是往焊接熔池的液态金属里给以动力作用，其明显的效果之一是细化焊缝一次组织，提高焊接接头的性能。电磁搅拌细化焊缝晶粒的途径有两个：一个是熔池液态金属内晶核的增多，一个是熔池内正在生长的晶粒不断被破碎。

下面就高频磁场、低频磁场及直流同轴磁场三种不同情况说明一下电磁搅拌细化焊缝晶粒的机理。

1. 高频磁场

据有关资料介绍，将高频磁场利用电磁感应的方式加在不断燃烧的电弧上，就可以在焊接熔池中引起超声波振荡。当不含有固相的液态金属施加高频振动时，局部压力急剧升高，并产生局部的过冷区域。这个过冷区域就可形

成结晶中心。由于结晶中心即晶核的增多，因此焊缝晶粒得到细化。

2. 低频磁场

在低频外加磁场（几赫至几十赫频率）作用下，电磁搅拌焊接熔池也能细化焊缝晶粒。电磁力使液体金属按照一定的频率在熔池里往返运动着，在结晶体前沿往返运动的液体，就会使生长着的晶体受到冲刷而破碎，这样不仅仅阻碍了生长着的结晶体长大，而且被冲破的碎块也将变成新的结晶中心。结果焊缝一次组织被细化。

在低频外加磁场作用下，进行电磁搅拌时，磁场的频率要适当。频率过低或过高都会影响搅拌效果。这是因为在磁场频率过低时，晶粒生长过程中，受电磁力 F 作用的时间间隔较长，在两次冲刷作用之间，晶粒仍有足够的生长机会，特别是在磁场较弱时，晶粒长大的倾向更明显，即焊缝晶粒细化的效果降低。当频率过高时，电磁力 F 的方向变化太快，具有一定机械惯性的液态金属在迅速交变的电磁力 F 的作用下来不及产生足够幅度的冲刷作用，因而也使晶粒细化的效果降低。

3. 直流同轴磁场

由直流磁场对焊接熔池进行电磁搅拌时，也能使焊缝一次组织细化。当外加磁场与焊枪同方向时，由于焊接电流的水平分量在熔池内向四周分散流动，在同轴磁场作用下，就产生了沿圆周切线方向的电磁力 F 见图 2-2。电磁力 F 推动熔池内的液体金属做不规则的圆周运动。在熔池凝固时，柱状结晶是以熔融界面上母材侧的晶粒作为晶核生长起来的。由于被搅拌的熔池金属沿着固-液相界面流动，固相侧又不是平滑的界面，所以液态金属临近乱流。这样就使得局部热流

的方向不一定，交界面也不稳定。在熔池凝固过程中，因为柱状结晶是沿着温度梯度最大的方向，所以热流方向的变化必然引起晶粒成长方向的变化。同时，由于熔化金属的强迫流动，成长着的晶粒可能受到冲刷、剪切而破碎，碎块就形成新的晶核附着在固相侧，结果造成焊缝晶粒细化。

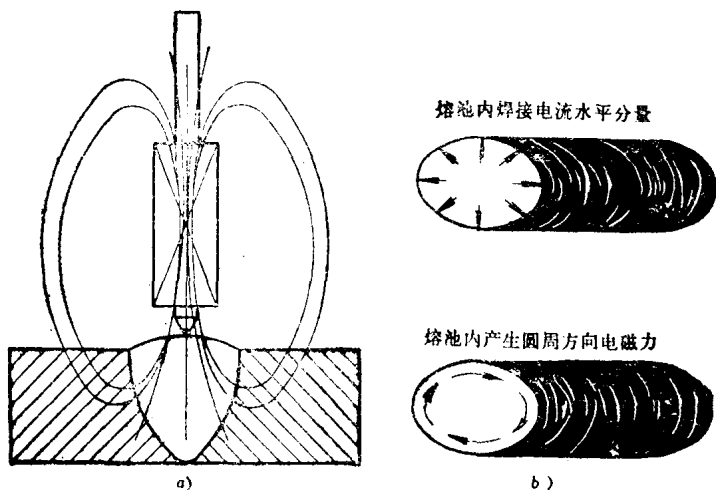


图2-2 直流磁场搅拌熔池的原理

熔池深度不同，其细化情况不同，这是因为在不同深度有不同的搅拌电磁力所致。

应当明确，无论铁磁材料，还是非磁材料焊接时，焊接熔池在外加磁场作用下都呈非磁性，其导磁能力很差。在熔池深的地方，焊接电流及其水平分量较小；在熔池浅的地方，焊接电流及其水平分量较大。焊接非磁材料时，因为母材及熔池皆属非磁性物质，其导磁性能相差不大，磁力线能够比较均匀地横穿熔池（参见图 2-1），故在熔池浅处电 磁