

等离子焊接缺陷的产生及其防范措施

强晓亮

兖矿济宁化工装备有限公司 山东济宁

【摘要】等离子弧焊能量集中，穿透力强，电弧柱刚直性好，小于等于8mm的钢板不需要开坡口，可有效进行单面焊双面成型焊接，焊接接头外观成形优良规整，且满足100%射线探伤要求，提高了焊接效率，节约了生产成本，符合环保生产要求。因此，被广泛地应用于锅炉、压力容器、桥梁建筑、车辆船舶和航空航天等领域。但在中厚板焊接应用中，等离子弧焊接的工艺参数匹配区间窄，焊接过程会出现气孔、未熔合、未焊透、咬边、焊漏、焊瘤及穿孔不稳定等缺陷。有时在焊接一条较长焊缝的过程中时，甚至会出现焊接前段稳定，后段不稳定的情况，焊接重现性差。本文通过对等离子弧焊的技术原理的研究，结合生产实践，对等离子弧焊出现的质量问题的成因进行了具体分析，提出了防范措施。

【关键词】等离子弧焊；焊接缺陷；成因分析和防范

Plasma Welding Defects and Its Preventive Measures

Xiaoliang Qiang

Yankuang Jining Chemical Equipment Co., Ltd. Jining City, Shandong

【Abstract】 the plasma arc welding energy concentration, strong penetrating power, arc column just good laymen, less than or equal to 8 mm steel plate does not need to open groove, which can effectively make one-side welding of forming welding, welding joint forming fine neat appearance, and satisfies the requirement of 100% radiographic, improve the welding efficiency, save the production cost, accord with environmental protection requirements of production. Therefore, it is widely used in boilers, pressure vessels, bridge construction, vehicles and ships and aerospace and other fields. However, in the application of medium and thick plate welding, the matching interval of process parameters of plasma arc welding is narrow, and there will be defects such as porosity, non-fusion, non-penetration, edge biting, welding leakage, welding nodulation and perforation instability in the welding process. Sometimes in the process of welding a long weld, there will even be stable welding front section, unstable back section, welding reproducibility is poor. Based on the research of the technical principle of plasma arc welding, combined with the production practice, the causes of the quality problems of plasma arc welding are analyzed, and the preventive measures are put forward.

【Keywords】 plasma arc welding; Welding defects; Cause analysis and prevention

1 等离子弧焊

1.1 等离子弧焊原理

物质有四种状态，气态、液态、固态是我们常见的三种状态，第四种状态是被高度电离的气体，由离子、电子、原子或分子组成的等离子体。等离子弧焊，是用自由TIG电弧压缩之后获得的高效的等离子电弧为热源焊接的一种先进焊接方法。在钨极与被焊件之间燃烧的自由电弧，通过拘束孔壁形成机械压缩，在径向被拘束；冷气流均匀地包围着电弧流过的气体

被冷却而不易电离，截面进一步缩小；在自身磁场作用下，受到电磁收缩的三次压缩，从而形成等离子弧。

1.2 等离子弧焊接

按焊缝成形原理，等离子弧焊有：穿透型（小孔型）离子弧焊、熔透型（熔入型）等离子弧焊和微束型等离子弧焊三种。

（1）穿透型（小孔型）

顾名思义，穿透型等离子弧焊就是利用其电弧能量大的特点，将被焊钢板完全熔透，形成穿孔，小孔

沿着焊接方向前进，熔化的金属沿熔池向后方移动，逐渐冷却凝固，形成底部也被焊透的焊缝。

(2) 熔透型（熔入型）

主要用于厚度在 0.5~2.5mm 板材的焊接，在厚板焊接中运用在第二层及以后各层的多层焊接上。

(3) 微束型

微束等离子焊更是在实际运用中显露出巨大的优势，其焊缝质量可与激光焊媲美，钨极与喷嘴之间形成的非转移等离子为维弧。

2 等离子弧焊常见焊接缺陷及原因分析

2.1 咬边

咬边，是焊接电流过大，母材被电弧熔化，熔池中的液态金属熔液有没有凝固到焊缝边缘的不规则沟槽或凹陷。咬边产生的原因主要有：

- (1) 大电流高速焊接；
- (2) 钨极与压缩喷嘴不同心；
- (3) 焊枪位置不对，倾斜；
- (4) 焊接参数不匹配，离子气流最过大，焊接电流过大；
- (5) 焊枪喷嘴轴线与焊缝的中心不在一条垂线上；
- (6) 装配错边超差，钢板边缘高低不平。

2.2 气孔

在等离子弧焊中气孔的出现是比较少见的，气孔有两种：单个气孔和连续链状气孔。

(1) 单个气孔

单个气孔，非常少见，大多在焊接起弧和收弧时处理不当才会产生，主要是焊接电流和离子气相互匹配不当造成。起弧时没有同时增加离子气量和焊接电流，收弧时没能同时递减焊接电流和离子气量。双弧后出现喷嘴烧坏（焊工俗称“打嘴子”）也容易产生焊接气孔。

(2) 链状气孔

在焊接中出现链状气孔有时会贯穿整条焊缝，在无损检测时这种现象非常普遍。在生产实践中，焊工通过焊接记录与 RT 底片对比发现：出现链状气孔的焊接部位，当时作业时送丝量大，速度过快。这种操作方式使得液态金属多，随着熔池温度的下降，易使保护气体氩气被包容在小孔杯子座上，冷却后形成气孔。

2.3 未熔合、未焊透

等离子焊接产生未熔合与未焊透现象与焊接治

金因素关联性不大，其主要原因是在焊接过程中等离子气量不足、焊接电流太小、焊接速度过快使得焊接线能量过小造成的。离子弧与板材拼接缝隙不在一条垂线上的操作失误也会造成未焊透。焊接中等离子弧离坡口过远、在不开坡口的小孔型成形加熔透型盖面焊接中，盖面焊时焊丝倾角不合适，摆动焊接时拼缝两边焊接宽度不一致，焊枪倾角不合适也会造成未熔合。另外，使用等离子弧焊接打底，使用 TIG 焊盖面焊时，在等离子弧焊不稳定的情况下也会出现未焊透。

在焊接生产中等离子弧有出现双弧的现象，只要作业人员注意观察焊接过程，就可以发现双弧。出现双弧后焊接开始变得不稳定，焊缝成形也开始变差，焊接的声响也不再连贯一致。从焊接钢板面背部观察会发现没有“尾焰”，背部出现焊缝没有透过来，背部焊缝没有成形，表面焊缝变得成形差，焊接纹路不再有规律，等离子气也发生极大的变化，弧柱不再稳定。更严重的是喷嘴由于双弧的出现，而被烧损，也就是焊工常说的“打嘴子了”。因而，等离子弧焊双弧的连续长时间出现，对焊接施工是极为不利的。

2.4 成型恶化（焊漏、背部有焊瘤）

等离子弧要把工件完全熔透，就要用小孔型焊接法，小孔效应的优点在于可以单面焊接双面成型，但一次焊透的厚度又是有限的，下表是穿透型等离子弧焊的可焊透厚度。

等离子弧要把工件完全熔透，就要用小孔型焊接法，穿孔处形成漏斗状的熔池，熔池液态金属要受到向下的等离子弧压力和液态金属自身的重力，同时液态金属还会产生上下表面张力进行收缩。只有在表面张力大于等于离子弧压力和液态金属自身的重力之和的情况下液态金属才能在熔池内部保持平衡，若离子弧压力和液态金属自身的重力之和大于液态金属表面张力的，熔池液态金属就顺着“小孔”大量下流，形成焊漏或驼峰，严重时会出现切割现象，则熔池出现焊漏形成孔洞。

离子气流和焊接电压过大，小孔型等离子焊接形成的小孔也增大，大到一定的程度上，熔池的液态金属就在离子力和液态金属本身的重力作用下，会破坏原有的液态金属的表面张力而随着向环缝背部流淌，形成不了完整的焊缝，出现“驼峰”，更严重的会出现焊漏的现象。

3.5 焊接过程重现性差

等离子焊接厚板时可调的焊接参数窄，参数稍有

变化，原有的焊接稳定性立刻发生变化，焊接接头稳定重现性变差。往往是在焊接第一条焊缝时质量很好，焊接其他焊缝时焊接质量会变差，在焊接较长焊缝时，可能出现各段有稳定和不稳定的不断变化。成因主要有：喷咀上出现了裂纹、喷咀孔被烧损变形、内缩的

钨极被烧损等引起等离子弧的直径和形态发生变化。焊接电流、离子气流量、焊接速度等焊接参数的变动会改变等离子弧的压力场、热量场，从而造成原有的液态熔池受力的平衡和“小孔”尺寸的稳定。

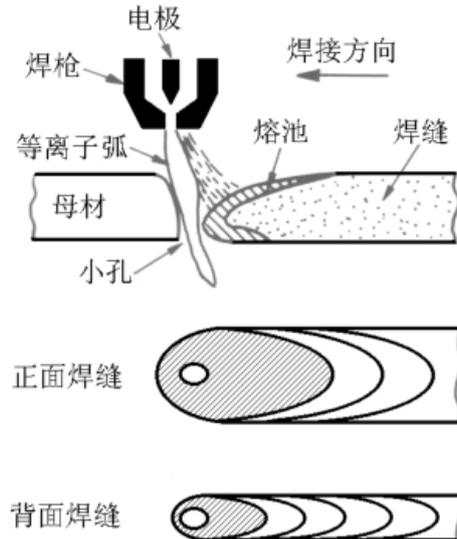


图1 等离子弧焊小孔效应

表1 各类别等离子弧焊的基本特点

类别	弧类型	焊缝成型方法	应用场合	可焊厚度范围 (mm)	电流范围 (A)
大电流	转移型	小孔法焊接技术	厚度 8mm 焊接	3~8	100~500
中电流	联合型	熔透法	薄板焊接	0.5~3	15~100
小电流 (微束)	联合型	熔透法	超薄精密焊接	0.025~0.5	0.1~15

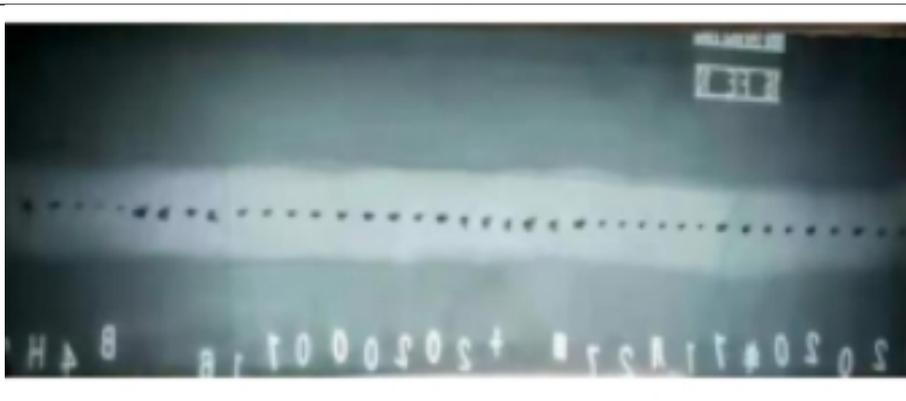


图2 X射线探底片上的链状气孔形态

表2 等离子弧焊可焊透的厚度

材料	不锈钢	钛及其合金	镍及其合金	低合金钢	低碳钢	铝合金
焊接厚度范围 (mm)	≤10	≤12	≤6	≤8	≤8	≤10

3 等离子弧焊焊接缺陷防控措施总结

在锅炉、压力容器的焊接生产中，常常是焊接一

些中厚板材，等离子弧焊焊接由于其电弧独特的特性，在进行小孔型焊接时经常出现一些不理想的状态，稳

定焊接的重现性差,甚至是严重的缺陷。焊漏、正面成型不好、背部出现驼峰及其他弧焊出现的咬边、未熔合、未焊透、气孔、及等问题在等离子焊接中也会出现。为解决这些问题,根据等离子焊接的各方面特性,为了提高焊接质量,依据等离子弧焊接自身的特性,在大量的焊接试验下,总结出如下方法。

3.1 焊接接头未熔合、未焊透

- (1) 增大等离子气的流量;
- (2) 增加焊接电流;
- (3) 降低焊接速度;
- (4) 使用收敛——扩散型的喷嘴,并保持喷嘴内壁洁净;
- (5) 注意观察焊接过程,防止双弧的情况下焊接;
- (6) 观察喷嘴的长咀孔是否有裂纹,若有及时更换;
- (7) 穿孔焊时弧柱垂线与板材拼接缝保持重合,盖面焊接时两道焊缝要重合。

3.2 出现气孔

- (1) 预热起弧,设置电流与气流同时递增递减,电流增速要大于气流增加速度,防止起弧的气孔;
- (2) 收弧焊接要同时递减焊接电流与离子气流量,气流减速要大于电流减少速度,防止收弧的气孔;
- (3) 减少焊接金属的熔化量,减小装配间隙量,适当降低焊接速度,使用较细的焊丝,适当提高气流量合焊接电流并使用收敛——扩散型的喷嘴,保持小孔直径大于等于1mm,防止链状气孔;

3.3 焊漏

- (1) 适当使用弱压缩参数,在焊接中防止产生双弧;
- (2) 使用收敛——扩散型的喷嘴,喷嘴要保持洁净;减小电流,控制焊接电流的波动,焊接速度调节显示的电压表电压要恒定,减弱离子气的流量;
- (3) 工装机架调速要与焊接速度稳定配合,并减小背面排泄槽的宽度,2mm为宜。

3.4 咬边

- (1) 单侧咬边的防范:保证聚焦孔气流通畅,调整喷嘴或转动等离子焊枪,调整等离子弧对中拼缝,偏差要小于0.5mm,板拼接错边量要小于0.3—0.5mm;
- (2) 双侧咬边的防范:使用收敛——扩散型的喷嘴,使用聚焦孔直径在1—1.2mm的聚焦孔,降低

焊接速度,减少钨极内缩量 and 喷嘴咀道长度。

3.5 焊接中小孔直径不稳定

- (1) 使用恒定电源保持电流稳定;
- (2) 离子气流使用稳压阀来保证流量的稳定;
- (3) 保证喷嘴内部洁净;保证焊接速度的稳定;
- (4) 焊接焊丝直径不要过粗,在0.8—1.0为宜。

3.6 焊接凹陷

- (1) 使用收敛——扩散型的喷嘴;
- (2) 减小装配间隙,防止间隙过大;
- (3) 适当的增加送丝量;
- (4) 提高焊接速度,降低焊接电流以减弱等离子弧的刚直性和小孔过大并且注意同时减弱离子气流量。

3.7 焊缝不良、发黑

- (1) 加聚焦网,使保护气流均匀;
- (2) 提高保护气流量;
- (3) 喷咀端面至焊接工件的距离不能过大,要保证在5—8mm;
- (4) 焊接不锈钢发黑,要在Ar气中加入5—7% H₂;
- (5) 熔池长,脱离保护区,增加使用尾罩通Ar保护。

3.8 背部焊缝氧化严重

焊接区背部使用工装,通Ar气进行保护,纵缝用带有弹性密封条的槽形,环缝用弧形。

3.9 焊瘤

- (1) 防止电弧不对中调整等离子弧对中拼缝,偏差要小于0.5mm;
- 控制组对错边量,板拼接错边量要小于0.3—0.5mm。

参考文献

- [1] 李亚江,王娟.特种焊接技术及应用第5版.[M].北京:化学工业出版社,2018.03.
- [2] 郭莹莹.浅谈建筑钢结构焊接技术在我国的发展.[J].中华传奇,2019.
- [3] 陶鑫,曹威,李先富,等.浅谈等离子弧焊在压力容器生产过程中的应用.[J].金属加工·热加工,
- [4] 孔庆勇.高效深熔弧焊系统特点研究及应用①.[J].科技资讯,2019.
- [5] 刘林.钢结构焊接方案分析.[J].低碳世界,2019.

- [6] 许辉, 李颖, 赵慧慧, 等. 1Cr21Ni5Ti 锁底结构光纤激光焊接工艺特性. [J]. 电焊机, 2019

收稿日期: 2021 年 7 月 9 日

出刊日期: 2022 年 10 月 12 日

引用本文: 强晓亮, 等离子焊接缺陷的产生及其防范措施[J]. 国际机械工程, 2022, 1(3): 17-21

DOI: 10.12208/j. ijme.20220026

检索信息: 中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS