

Z
N 1279

鋁綫變壓器焊接工藝



05

沈阳變壓器研究所

一九七四年一月

前 言

为贯彻“以铝代铜”技术政策，大力推广铝线变压器，不断扩大铝线变压器产品品种，现将变压器行业有关铝—铝及铝—铜焊接资料，进行总结汇编成册，供生产铝线变压器单位及维修部门参考使用。

在总结汇编过程中，因时间紧迫，差错难免，请读者批评指正。

沈阳变压器研究所



A 843678

目 录

前 言

- 铝—铝氩弧焊接…………… (1)
- K Y S H—550/55可控硅氩弧焊机…………… (24)
- 铝线电阻对机焊…………… (35)
- 铝—铝氧气乙炔焊接…………… (45)
- 铝—铜闪光焊机与焊接工艺…………… (60)
- 铝—铜摩擦焊接…………… (79)
- 机械顶锻低温摩擦焊机与工艺…………… (91)
- 铝—铜导线脉冲储能焊…………… (108)
- 铝—铜过渡接头冷压焊工艺试验报告…………… (120)
- 铝—铜低温摩擦焊接脆性断裂及消除方法…………… (139)
- 钎焊工艺在铝线电机、低压互感器生产中的应用… (152)
- 关于铝—铜过渡接头使用情况分析…………… (160)

铝—铝氩弧焊接

一、氩气电弧焊的应用与焊接

氩气电弧焊接（简称氩弧焊接），在生产铝线变压器过程中对于器身引线的焊接，采用氩弧焊是一种很重要的焊接方法，一般截面较大的铝线和铝排采用这种焊接方法，确能得到较好的焊接质量。氩弧焊用途比较广泛，可用于国防、化工、机械、电器等工业部门。它不仅焊接铝与铝同一金属，还可以焊接铝与铝合金类的金属，如铝、镁合金及不锈钢等多种金属的焊接。

氩弧焊接就是利用氩气经过专用的喷咀保护被焊件周围的空气不进入熔池内燃烧，用高频电压起弧，采用不熔化的钨电极与焊件之间产生电弧熔化焊件和焊条。在施焊过程中形成的弧柱区域与一般电弧焊接是不同的，采用钨极氩弧焊所形成的弧柱区域如图1所示：

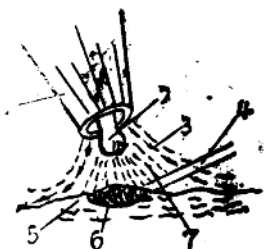


图1 加填料钨极手工氩弧焊弧柱区示意图

- 1—喷咀；
- 2—电极；
- 3—气流；
- 4—焊丝；
- 5—工件；
- 6—熔池；
- 7—弧柱。

电极在氩气的保护下，熔池不受外界因素的影响，即获得满意的焊缝。反之电弧的质量是很差的，在弧柱区域内却有大量的空气介质，熔化金属与大气中的氧和氮产生强烈的作用，而引起熔敷金属化学成份和机械性能变坏，特别是塑性和冲击韧性降低。

二、氩弧焊接的优点

1. 焊缝质量好

采用氩弧焊接主要靠氩气层流保护熔池，使焊件及焊条在熔化区内不与空气接触，这样在焊接活泼的有色金属时，可防止氧化现象。因而焊缝结晶细密，表面光滑，机械性能较高，由于焊接过程中不用焊药，故抗腐蚀性也较好。

2. 热量集中，变形小

在氩气的保护下，使熔化区域内形成严密的氩气层流，热扩散范围很小，在电弧直接的作用下，热量集中，温度较高熔透均匀，焊件翘曲和变形很小。

3. 电弧燃烧时有高度的稳定性

因为氩气是一种单原子的惰性气体，高温时不分解，电子在氩气介质中运动比在其它双原子气体介质中运动所消耗的能量较小，电弧的热能利用率高，电弧燃烧稳定性好。

4. 具有“阴极雾化”作用

在氩气介质中放电时不产生阴离子，氩气外层8个电

子，在电场的作用下，只有分解电子成为阳离子的可能性。所以在电弧中仅有数量很少的电子和数量较多的阳离子存在，大量的离子就以极高的速度撞击阴极表面，使难熔化的氧化物清除除去。这种作用就是“阴极雾化”作用。铝焊件就是利用这种特性来保证焊接的质量。

三、采用氩弧焊接除上述优点外，还具有如下方面特点：

1. 电弧不易点燃及解决措施

氩气的电离势很高，所以需要借助于高频电压与焊接电压同时在电极上击穿氧化膜，点燃电弧。因为铝在空气中极易氧化，周围温度很高（如焊接时加热过程）则氧化更为迅速，生成铝的氧化膜（ Al_2O_3 ）给焊接时带来很大的困难。氧化膜的导电性能很差，（每公厘可耐压12~16伏左右）所以采用一般电弧焊接铝件是不能保证质量的要求。

氧化膜的熔点很高（可达 $2050^{\circ}C$ ）不仅超过了铝的熔点（ $658^{\circ}C$ ）而且超过了铝的沸点（ $1800^{\circ}C$ ）这样在一般电弧焊接时，其焊件内部已熔化，而表面的氧化膜尚未熔化，所熔化的焊条与焊件的熔化部份被氧化膜隔开，不能很好的熔在一起。造成焊接夹杂，质量不高。

为了能顺利引燃电弧就必须提高电弧变压器的二次空载电压，根据起弧电压与电流频率的关系（如图2）给电弧一个高频电流即并联在电弧两端一个高频振荡器（如图3）使电弧两端有一个高频高压，即电弧中有一个高频电流就保证了起弧容易，而且完全避免了电弧的中断现象从而提高了电

弧的稳定性。

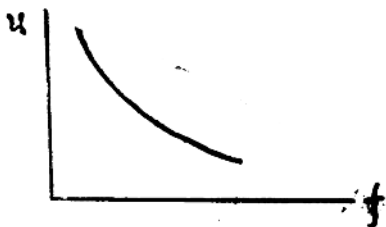


图 2

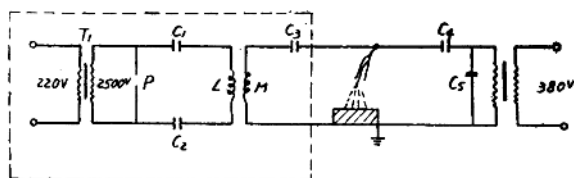


图3 高频振荡器

高频振荡器的工作原理

(1) 振荡回路

当 T_1 变压器接通电源（220伏工频交流电）时，二次线端的两端将会感应出一个2500伏的工频交流电（同样按正弦变化）随着电压的不断升高电容器 C_1 C_2 充电，充电到A点时（见图4）电压升到 U_A ，此时足以能够使火花放电间隙P的空气电离产生电弧，则开始放电，放电有两个回路：一个电源变压器的二次直接对P放电，此时电压不再升高，且立即下降到零。另一个 $C_1 \sim P$ 、 $C_2 \sim L$ 放电，电容器两端的电压急速下降到零，但此时电容器所储存的电场能已全部转化为电感线卷的磁场能（如果回路中没有电阻消耗能量）

而电感线圈又反向给电容器充电，充电完了又对电感线圈放电，这样不断地充放电，就在回路 $L-C_1$ 、 $P-C_2$ 中出现了高频电流，耦合到 M 线圈两端有一个高频电压。其波形如图 4 所示。

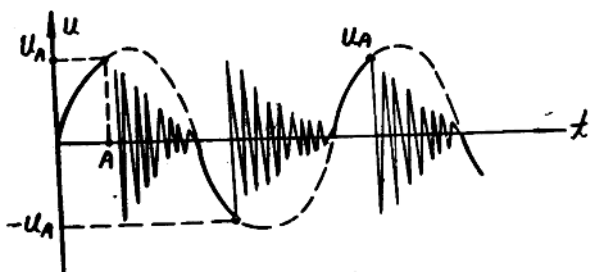


图 4

但由于放电回路中有电阻消耗能量，所以振荡呈现出减幅的衰减振荡。可能很快下降到零，但由于 T_1 的二次是 2500 伏 50 周波的正弦电压加在火花放电器两端，如果工频到零时高频振荡同时衰减到零，则此时电源变压器二次电压反向给 C_2 、 C_1 充电，充电到 $-U_A$ 时又开始重复上述放电现象，又开始了振荡如果电源变压器一次不切断电源，振荡是不行止的。

(2) 封锁电容器 C_3 的作用

① 阻止低频焊接电流通过振荡器而毁坏互感线圈与自感线圈。

该电容器对低频焊接电流来说是一个大电阻，而互感线圈 M 对低低频则电阻很小如果没有 C_3 ，则电焊变压器空载时几乎被短路。

② 电容器 C_3 对高频电流来说而电阻很小，一旦 C_1 、 C_2

被击穿，则加到焊枪两端的电压就是工频高压，这对人身很不安全，在振荡回路中用两只 0.01MF 串联就比用一只 0.005MF 好一些。

(3) 高频振荡器的设计参数：

①电源变压器：容量可选为 $130\sim 150$ 伏安；一次电压可选 220 伏， 380 伏或选电焊变压器的空载电压为 65 伏， 80 伏等；二次电压 2500 伏频率按 50 周波计算，阻抗电压按 100% 计算。

②火花放电器（火花间隙保持 $0.5\sim 1.5$ 毫米之间，用云母环来调节）

③振荡频率的选择在 $200\sim 250$ 千周

选用的振荡电容为 $0.005\mu\text{F}$ ，（用两只 0.01MF 2500V AC型云母介质电容器串联在振荡电路中，

$$\text{根据 } f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 200\sim 250 \text{ 千周}$$

确定 $L = 0.125\sim 0.0812$ 毫亨之间

选 0.1 毫亨为依据计算电感线圈

空心螺线管的电感为

$$L = \frac{\mu_0}{4\pi} \omega^2 d \phi \quad (\text{亨})$$

式中 μ_0 —空气的感应系数 ($\omega_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 亨/米)

ω —螺线管的匝数 (选为 52 匝)

d —螺线管的直径 (选为 $\phi 70$ 毫米 = $\phi 0.07$ 米)

ϕ —随比值 $\alpha = \frac{\alpha}{d}$ 而变化的量

α —螺线管的轴线长度

用 $\phi 1.0$ 的高强度漆包线均匀的绕成长为 100 毫米的电

木管上

2. 电弧的局部整流作用

氩气电弧焊采用交流电源时，电弧的局部整流是由于两个电极（一个为钨，一个为铝）这两个电极的物理性能（熔点，沸点，导热性等）相差很大，并且两电极尺寸相差也十分大的缘故。当钨为正极，铝为负极时，由于铝导热性好，同时尺寸大，容易散热，阴极压降大，电子流小；与此相反，当钨极为负极，铝为正极时，钨的沸点高，传热小，直径小，热量集中，阴极压降小，电子流大。故用钨极交流氩弧焊接有色金属时，在交流的两半波中，电弧电压、电流是不对称的。就出现了局部整流现象，如图5所示。

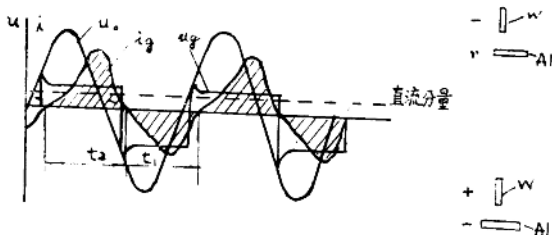


图5 纯钨极手工氩弧焊产生的直流分量曲线图

这种局部整流现象就缩减了焊件处于阴极的时间（即图5中 $t_1 < t_2$ ），这样也就大大减弱了“阴极雾化”作用。这对铝的焊接极不利，应予以清除。同时局部整流造成电弧正负半波功率不一样，导致焊缝的成形不平整，影响焊缝美观。

在手工纯钨极交流氩弧焊接铝时，即然交流电源会造成

“局部整流”减弱“阴极雾化”作用，为何不采用直流反接性电源呢？

用交流电源来焊接铝主要是当工件为负半波时，可以靠氩气的正离子冲击工件表面产生辉点游离而破除氧化膜；另一方面，当工件为正半波时，工件的受热量比负半波时多一倍，而使被焊件熔深熔透。

交流电弧焊在氩气保护下形成两个极性在焊接交变的过程中反极性焊接时热量分布如图6所示，工件为负极性，起弧电压较高，在氧化膜击穿的情况下，需18~20伏，电流比正极性时小，工件约受到电弧总热量的 $\frac{1}{3}$ ，熔池浅而宽，但可破除氧化膜。在正极性焊接时热量分布如图7，工件为正极性，起弧电低压，约4~13伏，电流大，此时工件上受热量约达电弧总热量的 $\frac{2}{3}$ ，熔池狭而深，对焊接有利。反极性直流电源钨极氩弧焊虽可破除氧化膜，但热效低，钨电极受热反比工件大，易使钨电极熔化，造成渗钨，在铝表面上呈灰兰色，不易得到光亮的铝表面和良好的焊缝。

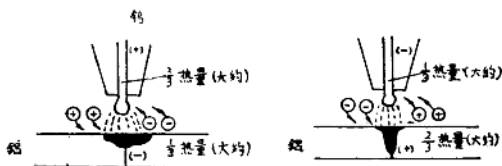


图6反极性时热量分布示意图 图7正极性时热量分布示意图

要克服这种缺点，只能使用较小的焊接电流，但这又限制了焊机功率。同时直流焊接丁字接头和角焊缝还会产生强烈的电弧偏吹。为了既能“阴极雾化”作用，又能使工件有较

高的热效能，在钨极手工氩弧焊中采用交流电源的道理就在于此。

由于铝焊接比较困难，采用钨极氩弧焊又有上述燃烧特性，因此，在变压器行业中有些单位自制了简易的氩弧焊机这种氩弧焊机必须满足如下几点要求。

- (1) 保证电弧能迅速建立；
- (2) 保证电弧在焊接过程中能稳定燃烧；
- (3) 保证焊接时氩气有效地保护焊区，并在焊接时，提前输通氩气，焊后延时断气；
- (4) 均匀的调节焊接电流；
- (5) 有效的消除直流分量。

四、氩弧焊机和电气原理

氩弧焊所采用的设备和主要材料包括：开关板、高频振荡器、焊把、氩气、电磁阀、脉冲稳弧器、隔离电容器和钨棒、焊条等附件组成。其电气线路原理如图8所示。

此设备利用变压器 T_3 ，电容器 c_1 至 c_3 ，电感线圈 L ，火花放电器 P 组成高频振荡线路，以保证电弧的迅速引燃和稳定燃烧。（其频率按 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$ 而定在225千周左右）由气体中间继电器 P_1 、 P_2 、 P_3 和按钮 $K_1/4$ 、 $K_1/5$ 及电磁阀 K_B 组成了控制线路。利用焊接变压器 T_C 来调节焊接电流大小，电流调整范围在80~300安培。在电焊变压器的二次侧串联一台300A电流互感器，控制焊接电流。同时并联一只 $0.01\mu F$ 的电容器 C_4 ，它对高频来说相当短路，但对

焊把如图 9 所示。

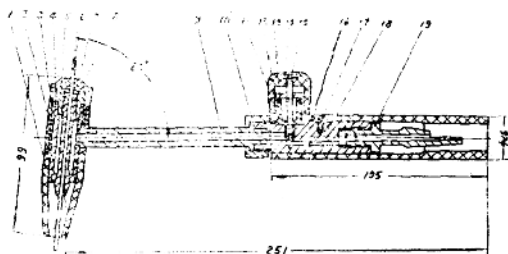


图 9 焊枪剖面图

- 1—喷咀；2—套；3—石棉绳；4—枪头；5—螺帽；
6—钨棒；7—帽；8—夹头；9—焊枪杆；10—螺帽；
11—盖；12—螺帽；13—封套；14—螺帽；15—活
塞；16—本体；17—螺钉；18—外套；19—咀子。

焊把的选用，应考虑使氩气的保护尽量达到均匀，因焊时要完全防止空气进入焊区是很困难的，所以焊把上的喷咀形状特别重要，需选择适当。电流约在100安以下的一般可不用水冷却使焊把可轻些，操作方便，但需有必要的散热翼片把钨棒上的热散去。钨棒可用纯钨99.7%的，也可用含有影响不大的放射性材料1~2%钍的。一般钨棒以 $\varnothing 2 \sim 9$ 为宜，电弧长度一般短的较好，即约5毫米左右。钨棒电流不宜超过太大，过大使焊缝中夹钨发黑，电流亦不可过小，过小电弧不稳定。钨棒平均电流和相应的喷咀直径列如表1所示。

表1 电极钨棒的平均电流和喷嘴直径

钨棒直径 (毫米)	1.5	2	3	4	5	6
平均电流 (安)	50	80	140	190	240	290
喷嘴直径 (毫米)	6	6~8	8~10	8~12	10~12	10~12

氩气保护对焊缝质量很重要，氩气一般要纯（99.6%以上），实际上供应的纯度均在99.95%以上，一般工件小的纯度可低些。氩气中含氮多（>0.1%）含氧多（>0.005%）常使电弧不稳，焊缝表面粗糙。

六、焊接工艺及焊接形式

例举沈阳变压器厂生产铝线变压器，对于高、低压线圈引线与铝排及铝线采用氩弧焊接工艺实例，

1. 焊接前的准备：

- (1) A. 纯铝线 $\phi 3.5 \sim \phi 5.5$
- (2) 钨丝 $\phi 2 \sim \phi 4$
- (3) 苛性钠溶液（5%）水温60~70°C
- (4) 氩气瓶装，纯度99.97%以上
- (5) 热水及自来水

2. 设备：

- (1) GA—300（或GA—500）型交流手工氩弧焊机一台
- (2) 氩弧焊枪，付焊咀，规格 $\phi 9 \sim \phi 13$
- (3) 流量计，压力表

(4) 盛酸碱水溶液及水槽各一个

3. 工具:

钳子、剪子、电工刀、锉刀、钢丝刷、砂布、石棉绳、石棉板、苫布。

4. 劳动保护用品:

耐压胶鞋, 白工作服, 绝缘手套, 面罩, 口罩。

5. 根据接头的焊接形式, 去掉铝导线焊接部份的绝缘, 漆膜, 脏物等。

6. 采用机械或化学清理的方法, 清除掉铝排, 铝导线, 铝铜接头及焊丝表面的氧化膜, 污物和油腻等。

(1) 线圈高低压出头及带绝缘引线焊头处用钢丝刷或用砂纸砂等机械方法去氧化膜使于焊接处露出金属光泽。

(2) 铝排、铝焊条, 铝铜接头表面用化学方法去膜, 过磷铝件先用甲苯去污然后

a. 在 65°C 的5%苛性钠溶液中脱脂2~3分钟

b. 在30~35% HNO_3 中光化2~3分钟, 用水清洗后, 并用净布擦干或烘干。

7. 被焊件清理后至焊接时间不得超过8~10小时, 否则需重新清洗。

8. 焊区附近绝缘及铝铜接头处应用浸水石棉绳缠好, 同时器身应用围布围好。

9. 接头的焊接形式如图10~图19所示。

(1) 铝排与铝排的搭接形式

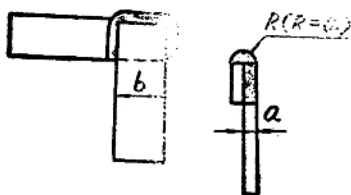


图 10

(2) 铝排与铝导线的搭接形式

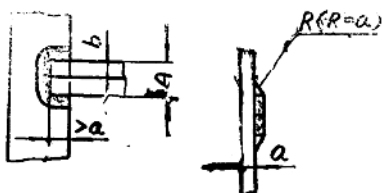


图 11

(3) 多层导线根数不相等搭接形式

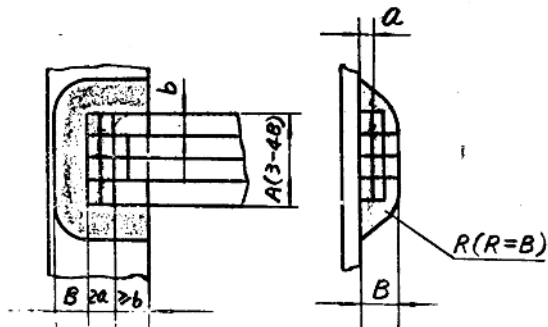


图 12