

鋁母綫的电弧焊接

王柏齡編著



机械工业出版社

內容提要 本书詳細地介紹了鋁母綫的电弧焊方法，內容包括鋁母綫的性质和不易焊好的原因，使用电弧焊的优点，鋁母綫焊前的准备工作，鋁焊条的制造方法，焊剂的制造方法，焊接时具体的操作方法以及焊后的檢查等。

本书可供三級以上的焊工参考。

編著者：王柏齡

NO. 1754

1960年1月第一版 1960年1月第一版第一次印刷

787×1092 $\frac{1}{32}$ 字数16千字 印張 $\frac{11}{16}$ 0,001—4,000册

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

北京市书刊出版业营业
許可証出字第008号

統一书号T15033·2019

定 价 (9) 0.09 元

一 鋁母綫的性质和焊接時 存在的困难

鋁是有色金屬，也是輕金屬。比重是2.6~2.7，比鉄輕三分之二。清潔的鋁曝露在空氣中時，它的表面容易和空氣中的氧化合，生成氧化鋁（ Al_2O_3 ）的薄膜。這種薄膜形成了一層保護層，所以能够使內部的金屬不再受到氧化。鋁的抗蝕性能較強（指純鋁或含雜質很少的鋁），但在氯蒸氣、硫酸和鹽类等藥物中，會很快地腐蝕掉。當鋁和其他金屬接觸，而在遇到潮氣時，鋁將由於電解作用而腐蝕。鋁的導電性能很好，僅比銅稍差一些。純鋁（99.997%）的比電阻是0.263歐毫米²/米，它由於溫度變化而引起的電阻變化為0.0039歐/°C，跟銅的0.004歐/°C比較，幾乎相等。鋁的機械強度較低，容易受到損傷。鋁的綫膨脹系數較大。鋁母綫所含的雜質不能超過0.5%（見表1）。鋁的物理性能和鋁母綫的物理及電氣性能見表2和表3。

近年來在輸電設備中為了節約銅，普遍用鋁來代替銅。用鋁來輸送電能的式是用鋁絞綫（軟母綫）和鋁母綫（硬母綫）。因為鋁母綫材料的長度有一定的限制，因此必須連接起來使用。連接的方法很多，有螺栓聯接、焊接和壓接等。焊接又可分為氣焊和電弧焊二種。

有色金屬的電弧焊接一般都是比較困難的，而其中鋁的電弧焊接更加困難，其主要原因如下：

1. 純鋁的熔點很低，只有658°C；但焊接時，鋁與空氣中的氧化合而成的氧化鋁却具有很高的熔點（2050°C）。

表 1 按苏联国家标准(ГОСТ)3549-47 规定的铝的化学成分

铝 的 成 分 %	各种杂质的含量不能超出下列范围(%)				
	硅	铁	硅和铁的 和	铜	杂质总和
99.5	0.3	0.3	0.45	0.015	0.5

表 2 铝的物理性能

色——銀白色			
比重——2.6~2.703			
熔点——658°C			
熱膨脹係數—— 2.353×10^{-5} (在0~100°C)			
熱傳導度——0.480~0.504(在常溫時)			
展性——優良			
加工性——優良			
鑄造性——優良			
	鑄 件	板 (半硬)	板(硬)
拉力(公斤/毫米 ²)	7.8	12.5~15.5	8.5~10.6
延伸率(%)	15~25	10~20	15~30

表 3 铝母线的物理和电气性能

名称	苏联标准	牌号	20°C时的比 电阻 欧毫米 ² /米	20°C时的电 阻温度系数 每°C	线膨胀系数 (20~100°C)	20°C时允许 弯曲应力 公斤/毫米 ²
软铝	OCT HKTH 5726/103	AM	0.0295	0.00403~ 0.00429	0.000024~ 0.000027	6
硬铝	ГОСТ 5414-50	AT	0.03~0.04	0.0036	0.000023	6.5
新硬铝	ГОСТ 5414-50	ATT	0.03~0.04	0.0036	0.000023	9

2. 氧化鋁的比重为 3.9，比純鋁大，所以熔渣不容易浮起。氧化鋁性質韌軟，焊接時包在鋁的表面，妨礙了鋁的加熱和互相接觸。

3. 鋁的導熱系數大，比鋼的導熱系數約高兩倍，所以熱量傳導得很快。電弧的熱量容易消失，不容易掌握，因而焊接鋁的熱效率要比鋼低得多。

4. 鋁的線膨脹系數比鐵約大一倍，收縮率也較大，所以容易變形。

5. 鋁沒有塑性狀態，加熱後會由固體狀態立刻變成液體狀態，所以焊接時容易流溢，很難控制。

6. 如果不預熱的話，鋁在焊接中容易吸收氣體，產生氣孔。

7. 鋁加熱到 $400\sim 450^{\circ}\text{C}$ 以後，有一熱脆點，幾乎完全喪失了強度。

以上各點事前如不設法解決，將會使焊接工作無法進行。

二 電弧焊接和氣焊的比較

用氣焊或電弧焊的方法來焊接鋁母線，各有它優缺點。但總的說來，還是用電弧焊接比較好，它的主要優點如下：

1. 電比氧氣和電石都來得便宜，用電弧焊接約為用氣焊價格的 20% 左右。目前，氧氣的供應時常發生困難，因而造成停工，使用電弧焊接就沒有這種情況。

2. 電弧的焊接速度比氣焊快。譬如在地面上焊一根 80×10 毫米的鋁母線，在剛開始學習使用氣焊時約需 20 分鐘，等到技術熟練以後，仍需 5 分鐘。使用電弧焊接時，如用電爐預熱需要 3~4 分鐘，引弧 1~2 分鐘；從表面上看好像比氣焊多了 1 分鐘，但實際上第一個接頭總共是 6 分鐘，而第二個接頭以後只要

3 分钟就够了。因为在焊接第一个接头的同时，可預热第二个接头，以下都可以照这样做，所以時間也比較省。如果用交流或直流碳精电极焊接，并用电弧加热，那么時間方面更加可以縮短。

3. 因为电弧焊接速度快，并且受热区域比气焊时小，所以电焊对鋁母綫强度和抗腐蝕性的影响也比气焊小，因而容易保証焊接的质量。

气焊比电焊有一个优点，就是能够进行立焊，不过速度較慢。用电焊进行立焊比較困难。如果接头非在高空焊接不可时（如配电站的引出母綫等），目前还以使用气焊焊接为宜。

三 鋁母綫在焊接前的准备工作

1. 母綫接縫的坡口 鋁母綫一般都采取对接焊。关于坡口的问题，一般都认为母綫厚度在 6 毫米以上时需要开坡口。試驗的結果表明从 3 毫米起到 8 毫米止都不需要作坡口。3 毫米的母綫用平接头，焊接时母綫之間不需要留間距。4~6 毫米厚的鋁母綫在母綫間要留 2 毫米的間距。8 毫米厚的母綫之間的間距要留 3 毫米。10 毫米厚的母綫在刚开始試驗时曾开 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 的 V 形坡口（见图 1），在母綫間留 1~2 毫米的間距；因为开坡口需要加工，很費時間，后来不开坡口而改为两面焊接，或者将母綫間的間距放大到 3~4 毫米，焊接的結果相当滿意。厚度在 12 毫米以上的母綫一般不常用，焊接时必须开 X 形坡口（见图 2），母綫之間留 1~2 毫米間距。如果不能两面都焊接时，可以将 X 形改为 U 形，在一面焊接。

2. 除去母綫表面的氧化物和污垢 因为鋁是容易氧化的金屬，所以在鋁母綫的表面常有一层很薄的氧化鋁薄膜包围着。焊接以前，必須在接縫处不少于 30 毫米範圍內将氧化层和其它油脂

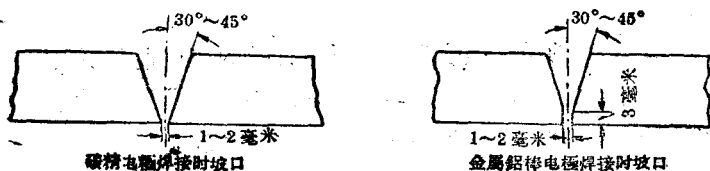


图 1 V形坡口。

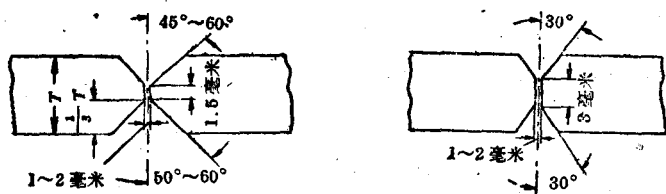


图 2 X形坡口。

等污垢除去。除去的方法很多，一般都用机械或化学的方法。机械的方法可以使用锉刀或钢丝刷，但用钢丝刷较好，由于铝很软，不能使用喷砂。化学的方法，可以用碱质的化学品，如10%的固体苛性钠水溶液，涂在铝母线的表面上，使其腐蚀。当铝母线表面的氧化物和污垢除去后，最好立刻就焊接，至多不要超过3~4小时，因为时间太长铝又与空气中的氧化合成为氧化铝了。为了防止加工好的铝母线再氧化，可用白凡士林（质量要好的，不是普通机器轴承上用的黄油），薄薄地涂上一层，使铝母线表面与空气隔离，并在凡士林外面用纸包好，等到要焊接时再将纸撕掉。

3. 预热 有关的技术资料对预热问题是不一致的，有的说需要预热，有的说不需要。不过在实际上不预热而进行焊接是很困难的。需要预热有以下几个原因：

(1) 避免母线焊接后在凝结时因冷缩的关系而使母线接合

处附近发生裂縫。

(2) 鋁的熔化速度很快，所以焊接的速度也必須很快。这时，鋁的凝固很快，这样就会阻碍填充金屬中的气体逸出，产生很小的气孔，在焊縫和母綫之間的可能性特別大。气孔会减低母綫的机械强度和导电性能。如果預热就可以减低它的冷却速度，使气体有足够的时间逸出。

(3) 母綫不預热就进行焊接，無論在使用碳精电极或金屬电极时，都会发生以下的情况，就是作为电极或填充棒的鋁条熔化得很快，而鋁母綫本身則熔化得很慢，甚至于不熔化，使二者之間接合得很不好。預热就能避免以上的缺点。在实际的焊接过程中也完全証明預热是很需要的。

預热的溫度不应当太低，太低的話就不起作用；但是也不能太高，否則会使鋁母綫本身熔化。通常在 $250\sim 350^{\circ}\text{C}$ 的範圍內最合适。測量溫度的方法很多，以下几种方法都可以使用：

(1) 热电偶法 用热电偶来測量溫度是最准确的。

(2) 測声法 用金屬片敲打的方法来測定。在未加热前，敲打鋁母綫时所发出的声音很輕脆悅耳，当加热到 200°C 以上时，再敲打鋁母綫，則发出沉悶的声音，而失去原来的鋁金屬声。这种方法不很准确，主要依靠敲打人的經驗来决定。

(3) 变色法 这种方法是最好的，既不費錢，又容易掌握。只要用普通的紅鉛筆在要加热的鋁母綫表面上划上几条紅綫，当溫度升高到 300°C 左右时，紅鉛筆所划的紅綫就会自动消失，那时就可进行焊接。

預热的方法很多，大概有以下几种：

(1) 用木炭炉加热 可以自己制造一只木炭炉，用木炭做燃料。炉子的构造見图 3。預热母綫时須用專門的鉄板夹具将母

线夹起来。铁板夹具的构造见图4。这种方法的缺点较多，使用时要生炉子很麻烦，而且又不清洁，所以最好不用。

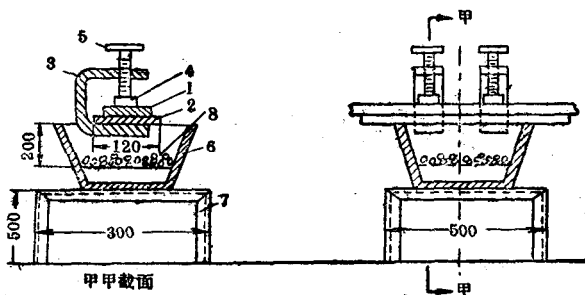


图3 木炭炉子的构造:

1—被焊接的铝母线；2—钢板 500×120×10 毫米；3—夹具；4—夹具垫板与夹具一起；5—夹具螺栓，直径=16毫米；6—木炭炉；7—三角铁50×5架子；8—木炭。

(2) 用喷灯加热 这种加热的方法比用木炭炉加热是好一些，但是也有缺点。喷灯要烧汽油或火油，目前汽油或火油比较缺乏，而且价钱也较贵。每一公斤汽油只能预热 80×100 毫米的铝母线接头 5 个到 7 个，预热所费的时间也较长（每个接头要 6~7 分钟），所以就不太适用。

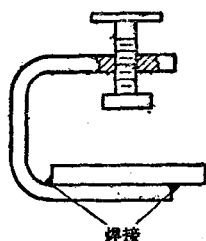


图4 铁板夹具。

(3) 用电炉加热 这种方法是比较好的，因为它可以在任何地点使用，而且没有灰尘。此外，电价非常便宜，加热时间也可以根据需要在设计电炉时加以确定。一台 4 仟瓦的电炉，只要在 2~3 分钟即可达到需要的温度 (300°C)。电炉的构造很简单，可参看图 5。电炉丝是采用一般的镍铬电阻丝，可根据表 4 来选择。

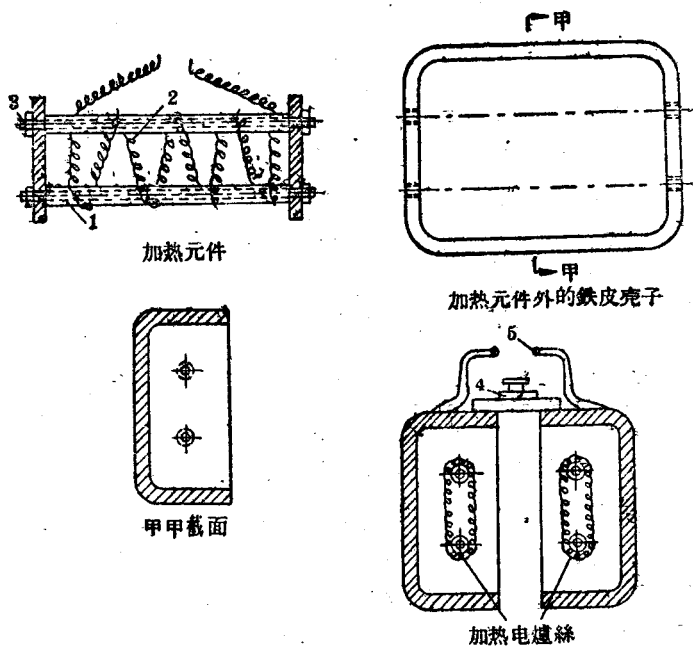


图 5 电炉的构造:

- 1—瓷管 $\left(1\frac{1}{2}\frac{1}{2}\right)$; 2—镍铬电阻丝; 3—螺丝; 4—闸刀开关;
5—握手柄。

表 4 鎳鉻电阻絲的性能

鎳鉻电阻 絲 号	直徑 (毫米)	允許电流 (安)	500°C时每米电阻 (欧)	电源(每100伏电压 所需长度) (米)	每米重量 (克)
11	2.305	29.1	0.287	12.00	34.20
12	2.053	24.8	0.363	11.10	26.70
13	1.828	21.1	0.458	10.40	21.20
14	1.628	17.9	0.580	9.62	16.80
15	1.450	15.3	0.732	8.93	13.70
16	1.291	13.1	0.916	8.33	10.70
17	1.150	11.2	1.170	7.62	8.32
18	1.021	9.5	1.490	7.05	6.56
19	0.9116	8.2	1.840	6.63	5.32
20	0.8118	7.0	2.330	6.14	4.20
21	0.7230	6.0	2.930	5.70	3.33
22	0.6438	5.1	3.700	5.30	2.63

(4) 其他加热的方法还很多, 如用碳精电极电弧加热; 或者用短路电流加热和用热灰加热都可以。

焊接时使用的工具 从鋁的特性中知道, 鋁由固体状态变为液体状态时不经过塑胶状态, 所以当引燃电弧以后, 鋁熔化很快, 流动性很大, 不大容易控制。假使电焊工人的經驗不很丰富的話, 就不容易得到平坦而又美觀的表面, 尤其是在母綫两边, 都会形成斜坡: 它們非但不好看, 而且能影响焊接的质量。为了消除这个缺点, 可以做一个专用的工具。图 6 是用工字鉄等做成的夹具示意图, 它的大小可根据需要焊接的母綫寬度来定。图 7 是用石墨做的专门工具示意图。主要都是在母綫的两旁和接縫的底下用紫銅板、石墨或防火泥等擋住, 这样就可以使鋁不致乱流, 因而得到很圓滿的結果。

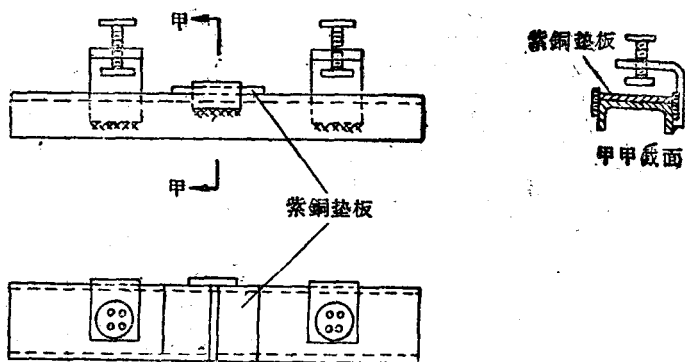


图 6 夹具。

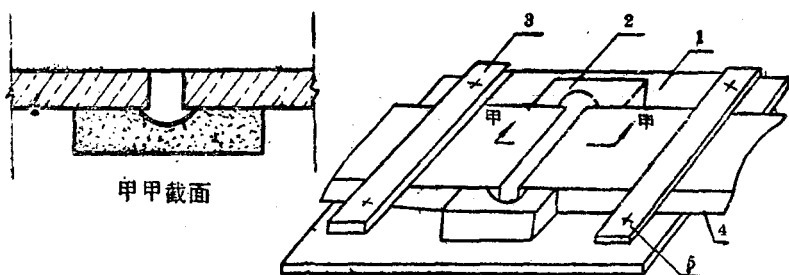


图 7 用石墨做的专用工具：

1—焊接工作台；2—石墨擋板；3—卡板；4—焊件；5—卡板螺栓。

四 鋁焊條的制造方法

焊条通常采用和基本金屬一样的金屬棒，因为母綫都是純鋁的，所以焊条也要用純鋁制成。焊条內不能含有銅的成分，要用10%的氫氧化鈉溶液来試驗一下。將焊条浸入該溶液中一分鐘后，看它的顏色是否变成黑色或灰色。如果仍旧是銀白色的話，則表示沒有銅，如果变色，則表示焊条內含有銅。

鋁焊條可分為二大類，即塗藥的和塗藥的。現在分別介紹如下：

1. 不塗藥的鋁焊條

(1) 作為填充棒的鋁條 當使用碳精電極焊接時，對於作為填充棒的鋁條要求不高，任何形狀都可以，粗細最好能照第18頁中表10的規範，如有困難，則不按規範也可，影響不大。製造鋁條最簡單的方法是將鋁的碎塊（利用從鋁母綫上切割下來的料頭）放在生鐵鍋內，用磚搭成一爐灶，將鍋放在爐灶上，並在下面燒木炭。待鋁熔化以後，用鐵杓將鋁澆在模子里（模子為一條任意尺寸的三角鐵，澆鋁時即澆在三角鐵的凹心內）。要粗要細，在傾倒時控制一下就可以了。必須注意的是一定要用生鐵鍋，因為熟鐵鍋很容易破裂。如果把母綫料頭在剪床上剪出需要的寬度也可以。

(2) 作為金屬電極的鋁焊條 這種鋁條的製造要求高一些，因為除了將鋁條作為填充棒以外，還把它作為電極。它的粗細與焊接電流的大小，和被焊接的鋁母綫厚度都有關係（詳細規範見第16頁）。在製作時，截面積一定要符合要求。其形狀與電弧的穩定有關，應該是圓的。這種焊條也可以用母綫斷料頭來熔化澆制，不過不是澆在角鐵內，而是澆在砂箱內。砂箱與翻砂時所用的一樣，在砂箱內做好幾十個直徑大小符合需要的孔洞，將鋁澆進去，等冷卻之後就可以使用了。

2. 塗藥的鋁焊條 鋁芯仍是與母綫一樣的純鋁，但是鋁芯外面塗有焊藥。焊藥的成分與焊劑一樣（見第五節）。主要的問題是如何將焊藥粘合起來，並把它塗到鋁芯上去，這是比較困難的。含有氯化物的焊藥不能用水玻璃來作粘合劑，因為水玻璃能與氯化物的鹽類很快起作用，在未塗到鋁芯上去以前就已經硬化了。

用淀粉可以代替水玻璃作为粘合剂，一般采用玉蜀黍粉。調制时，淀粉不可用得太多，要調得很稀。但是这种粘合剂的粘合力不强，焊药塗到鋁芯上去以后，很容易掉下来。此外也可以用树胶作为粘合剂。試驗証明桃胶并不能令人滿意。而松香（要质量較好，透明的）溶解在酒精中的溶液是比較好的，它的粘合力很强，不容易掉下来（松香与酒精的重量配合比例是1：2）。

焊条的具体制造方法是这样：将經過仔細研磨并用1200孔/厘米²的銅絲网篩过后成为很細粉状的焊药，慢慢倒入放有粘合剂溶液的玻璃或陶磁器皿中，用木棒或玻璃棒緩緩攪动，一直到調成薄浆状为止。然后将要塗焊药的鋁条在焊药的浆状溶液里蘸一次，拿出来放在空气中干燥（約半小时至1小时，視空气的潮湿度而定）。以后再在焊药的溶液里蘸一次，再在空气中干燥，一直反复塗到需要的厚度为止。塗药的厚度以1.5毫米到2毫米为宜。塗在鋁芯上的焊药厚度要均匀，否則对电弧的稳定有影响。此后将已在空气中干燥过的塗药鋁焊条放在140~160℃溫度的烘箱內烘半小时，至此，鋁焊条就算制造完毕了。鋁焊条一定要經過烘箱烘干的过程，否則过几天以后鋁焊条就会吸收空气中的水分而变湿。如果没有烘箱，将焊条放在預热母綫的电炉上烘干也可以，不过要当心不要过热。已制好的鋁焊条要保藏在干燥的地方。

各类鋁条的長度以使用方便为宜，一般为500~800毫米。

五 焊剂(焊药)的成分和 配制的方法

1. 焊剂和焊药的一般要求和成分 焊鋁时，为了除掉母綫表面上的氧化物薄膜，使之溶解和造成易溶的熔渣，并减少其表面張力，使电弧稳定，必須采用不同成分的焊剂和焊药。电弧焊接

时所用焊剂或焊药的成分大致都有差不多的特性，它們要符合下列的要求：

(1) 焊剂(焊药)的熔点不得高于鋁的熔点。

(2) 焊剂(焊药)所生成的熔渣，其比重要小于鋁。因为熔渣和金屬之間的比重相差愈大，熔渣愈容易浮出。

(3) 焊剂(焊药)成为液体状态的时间要短，否則就会流散开来。

总的來說，焊剂和焊药通常都含有氯化物和氟化物。可以应用鉀、鈉、鋰等鹼土金屬的氯化盐和氟化盐作为焊剂和焊药的原料。其中氯化鋰是特別有效的氧化薄膜溶解剂。而冰晶石是焊剂和焊药的基础，它能产生必需成分的熔渣，同时也能很好地溶解氧化铝。

焊剂和焊药的配方很多，如表5、表6、表7所示。在各种配合比例中，以50%氯化鈉和50%冰晶石所合成的成分較好，無論作为焊剂或焊药，在用碳精电极或金屬电极焊接时，都能得到良好的結果。含鋰焊剂或焊药，因为氯化鋰价格較高，最好不要采用。

表5 用金屬鋁条焊鋁时焊剂(焊药)的成分

含量(%) 焊剂组成成分的名称		焊剂号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
冰晶石	氯化鋁		35%	50%						45.5%	55%
氯化鈉	氟化鋁		50%		50%	64%	63.5%	20%	24.75%		
氟化鈉	氟化鋁		15%	50%	35.5%	6%	6.5%		13.45%	27.2%	45%
磷酸鈉	磷酸鋁				1.5%			17%	9%		
磷酸鉀	磷酸鋁				3.0%			39%	11.25%		
氯化鋰	氯化鋁				10.0%	30%	30%	24%	33.7%	18.2%	
氯化鎂	氯化鋁								7.85%		
氟化鈉	氟化鋁									9.1%	

表 6 用碳精电极焊铝时焊剂(焊药)的成分

焊剂组成成分的名称	含量(%)		焊剂号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
					45	61.5	45	50															
氯化钾		15	27.3	15				35	79	63.5	48~52	43.8	45	50	37~42	65	65	15					
氯化锂		30	7.6	30				50	30	16	6.5	20				15	5.5		9~12	27	27		
氯化钠		7			50											7	3		12~16				
氟化钾		3											4.4										
氟化锂					3.5																		
氟化钠					3.5			10				12~16				1.5	15						
硫酸钡钾					3.0				5												8		
次晶石								50	10									20			45	55	
溴化钾																							
氯化铝																	20						
硼砂													48.2										
硫酸钡钠														3.6	3								

表 7 焊鋁用的无鋰焊劑 (焊藥)

含量(%) 焊劑組成 成分名稱	1	2	3	4	5	6
氯化鈉	25	12.5	19	19	33	15
氯化鉀	25	50	29	28	45	50
氯化鋇			48	46		
氯化鋅					15	
氟化鎂				3		
氟化鈣			4	4		
氯化鉀					7	
冰晶石		35				35
硼砂	50					
酸性硫酸鈉或木屑		2.5				

焊劑和焊藥都是粉劑，很容易吸收空氣中的水分和氧化而減低效率，所以調配時應注意。調好的焊劑要藏在密閉的玻璃或陶磁器皿內，每次使用後要將蓋擰緊。

2. 焊劑和焊藥的製造 焊劑和焊藥先按照上面各表內的藥劑選擇妥當後，再將其研白內磨細，用篩子（1200孔/厘米²的銅絲網）把雜物去掉，然後按照一定的分量配合，並且要徹底攪拌，混合均勻。調配焊劑要在陶磁或玻璃器皿中進行，不要在鐵皮器皿內調制。

在使用時，可以直接將粉狀焊劑洒在預熱後的母線上，也可以用蒸餾水將焊劑調成漿狀（不要用自來水或井水）。用酒精調制比蒸餾水好，因為在焊接時酒精很快就蒸發了。