氧化铝铜电极帽在镀锌板焊接中的应用

□ 安徽江淮汽车股份有限公司/朱鸿博 田坤 王志娟

氧化铝铜出色的抗软化性、耐磨性以及优越的导电、导热性决定了其作为电极材料时优异的性能，解决了焊接镀锌板时常见的电极粘结现象。

锈蚀是汽车车身表面损坏的重要原因之一，尤其是在盐雾、严寒和湿热等恶劣环境下，汽车车身锈蚀现象更加明显，现在在汽车行业可谓是谈锈蚀色变。为解决汽车白车身锈蚀问题，目前国内外的大部分汽车生产厂家最普遍的方法就是采用抗锈蚀性能良好的镀锌板（包括热镀锌钢板和电镀锌钢板）。据研究，镀锌板的耐腐蚀时间是普通冷轧钢板的2～3倍，因此镀锌板在汽车行业的使用量逐年增大。

由于镀锌板的焊接性能相对于普通钢板来讲显著恶化，在焊接过程中经常出现电极粘结、焊点假焊或熔核过小、电极使用寿命缩短等问题，且状态不稳定，严重制约了镀锌板优越性能的发挥以及生产效率的提高。本文主要介绍氧化铝铜电极帽的特性以及在镀锌板焊接中的应用。

常见电极材料的特性

电极是一种工业消耗品，常见的电极材料有铬铜（CuCr）、铬锆铜（CuCrZr）、氧化铝铜（$CuAl_2O_3$）以及铍铜（BeCu）。铬铜主要用于焊接碳钢板、不锈钢板；铬锆铜主要用于焊接碳钢板、不锈钢板和镀层板；氧化铝铜主要用于焊接镀锌板、碳钢板、不锈钢和铝制品；铍铜主要用于焊接承受压力较大的板材零件，以及较硬的材料，也用于一些强度要求较高的电极配件，同时具有良好的弹性和导热性，很适合制造螺柱焊夹头。

由于电极帽属于大量消耗的工业品，铬锆铜（主要介质为铜，成分中包含0.25%的锆、0.1%的铬）凭借其在焊接电极四项性能指标间很好的平衡性，即较好的导电性（保证焊接过程中阻抗较小，获得优良的焊接质量）、较高的硬度和强度（保证电极帽在正常的工作压力下不易变形从而保证焊点质量）、较高的软化温度（保证电极材料在焊接时高温工作环境下的性能和寿命）和较强的耐磨性（保证电极不易磨损，有助于延长寿命、降低成本）以及相对便宜的制造成本，成为最常见的电阻焊电极材料。

氧化铝铜也叫弥散强化铜，属于粉末冶金，主要介质为铜，其中含有0.5%或1.1%的Al_2O_3。具有以下特点：

（1）软化温度高达900℃，具有非常出色的高温力学性能。

（2）硬度超过84HR，强度达到600MPa/n/mm^2，疲劳性能和耐磨性能比铬锆铜更好，使用寿命长。

（3）焊接回路阻抗小，导电率较高，达到80～85IACS%。

（4）散热性能介于钨铜和纯铜之间，约为220～390W/（m·k）。

（5）造价昂贵，目前适用范围较窄。

常见电极图片如图1所示。

高温力学性能是评价焊接电极材料一项重要的指标，氧化铝铜高达900℃的软化温度决定了其成为焊接镀锌板的最佳材料。那么氧化铝铜为何具有如此出色的高温力学性能呢？原来氧化铝铜弥散分布着氧化铝颗粒，其尺寸约为3～12nm，颗粒间距约为50～100nm，具有较强的稳定性。由于氧化铝颗粒的体积较小，所占基体的体积分数极小，且在接近铜熔点温度下仍能保持固有力度和颗粒间距，所以几乎不影响基体铜铝所固有的物理化学性质，因此造就了氧化铝铜上述的种种优良性能。

氧化铝铜电极帽应用于焊接镀锌板时的优点如下：

（1）解决镀锌板焊接时常见的电极粘结现象。镀锌板表面存在锌层且锌的熔点较低（熔点为419℃、沸点为907℃），进行点焊时钢材表面的锌层率先熔化。如果进行电阻焊时电极头所采用的材料是铬铜或铬锆铜，焊接时产生的高温使电极材料中熔化的铜将与镀锌板表面熔化的锌进行反应，生成铜与锌的合金依附在电极表面，造成电极与板件粘结现象。由于氧化铝铜的软化温度高达900℃，大于电阻焊时电极与镀锌板之间的温度（约800℃），在焊接镀锌板时能有效解决粘结现象。铬锆铜电极焊接镀锌板时板件和电极粘结图如图2和图3所示。

（2）提高焊接稳定性，保证焊点质量，降低虚焊风险。使用铬铜或铬锆铜材料进行镀锌板电阻焊时生成黄铜，因为黄铜的力学性能比电极合金的力学性能低，会导致电极帽端面直径随着焊点数的增多而不断增大成为蘑菇状（见图4），增大电阻从而使电流密度降

图1 常见电阻焊焊接电极

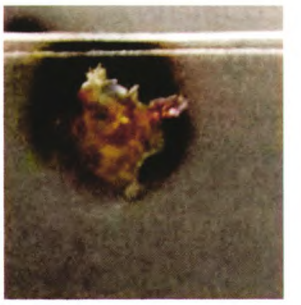

图2 焊接板件粘铜

图3 电极帽粘锌

氧化铝铜、铬锆铜电极帽焊接镀锌板

电极帽	焊机	板厚/mm	焊接电流/A	焊接时间/t	电极压力/N	假焊出现点	电极寿命
氧化铝铜	工频	0.8×0.8	I_1=5 000 I_2=10 500	t_1=5 t_2=12	2 940	约280个焊点	约2 000个焊点
铬锆铜	工频	0.8×0.8	I_1=5 000 I_2=10 500	t_1=5 t_2=12	2 940	约20个焊点	约600个焊点

低，影响焊点的质量和性能，易出现假焊、焊点熔核小等质量问题。由于氧化铝铜电极帽成分中不含铬元素，且软化温度高，焊接镀锌板时不易生成铜锌化合物，能够提高焊接稳定性，保证焊点质量，极大地降低了出现不合格焊点的风险。

图4 焊接镀锌板产生的蘑菇状电极

2013年，江淮汽车瑞风和畅车型开始大量使用镀锌板，部分工位焊接设备为工频焊机，适用的焊接参数范围较小，使用铬锆铜电极帽，焊接状态始终不稳定，在15～20个焊点就开始出现假焊现象。在调整焊接参数（焊接电流、焊接时间、电极压力）没有明显的效果后，采用氧化铝铜电极头进行调试，经过一系列的试验后得出下列数据，详细情况见附表。

从上述表格数据可以看出，在同样的工作环境以及最合适的焊接参数下，焊接镀锌板时氧化铝铜电极帽稳定性远超铬锆铜电极帽，极大降低了出现假焊焊点的风险，有利于保证焊点质量。

（3）点焊次数高、延长电极寿命；修磨频次少，提高生产效率。由前文可知，使用铬锆铜焊接镀锌板过程中生成的黄铜依附在电极表面会导致电极帽导热性能降低，如果不及时修磨，存在焊点开裂风险。

根据某实验室数据及实际使用情况，铬锆铜电极帽焊接镀锌板时，修磨电极帽的频次由焊接普板时的300个焊点一次增加到20个焊点一次，导致某些工位出现焊接一台白车身就需要修磨电极帽的情况，生产效率急剧降低。且电极帽使用寿命由焊接普板的6 000个焊点降低至550～600个焊点，需要频繁更换电极帽，不但降低生产效率，而且增加成本。

在上述相同的实验条件下，使用氧化铝铜电极帽进行实验。结果发现，电极帽的修磨频次可以维持在250～300个焊点之间，电极帽寿命达到2 000个焊点，是铬锆铜寿命的3倍以上，同时保证了生产效率。

（4）使用氧化铝铜电极帽进行焊接时，焊接火花很小或无火花产生，且焊点美观，无焊点部位发黑、发黄现象。

制约氧化铝铜电极帽广泛使用的因素

氧化铝铜属于粉末冶金，生产工艺较复杂，生产工艺流程长，回收利用较困难，导致氧化铝铜电极材料造价昂贵。目前市场上普通的铬锆铜电极帽单价约为5元/个，氧化铝铜电极帽价格约为15元/个。

电极帽属于工业消费品，且消耗量巨大，所以成本成为生产厂家必须考虑的一个很重要的因素。现今环境下，中频焊机的普遍使用在一定程度上降低了对焊接电极材料的要求，普遍使用的铬锆铜能够满足普通板材的焊接要求，因此，大部分生产厂家只有在焊接镀锌板时才会选择使用氧化铝铜电极帽。

综合上述几种原因，导致目前氧化铝铜电极帽的使用还没有得到普遍推广。

结语

氧化铝铜出色的抗软化性、耐磨性以及优越的导电、导热性决定了其作为电极材料时优异的性能，尤其是在对镀锌板进行电阻焊时优势巨大。它解决了焊接镀锌板时常见的电极粘结现象；能有效保持焊接的稳定性，降低镀锌板焊接的虚焊风险，工作环境好，焊接火花小，电极使用寿命长，减少修磨、更换电极帽的时间，对于提高生产效率具有一定的作用。随着镀锌板在汽车车身防腐性上发挥着越来越重要的作用，氧化铝铜电极材料在焊接生产中的应用会越来越广泛。AME

朱鸿博
焊接工艺工程师，2011年至今在安徽江淮汽车股份有限公司乘用车制造公司工作。