

# 深冷处理提高镀锌钢板点焊电极寿命的机理

吴志生，单平，廉金瑞，胡绳荪

(天津大学 材料科学与工程学院 天津 300072)

**摘要：**为了提高镀锌钢板点焊电极寿命，作者提出了镀锌钢板点焊电极的深冷处理方法。采用不同深冷处理工艺参数处理了点焊镀锌钢板的 Cr—Zr—Cu 合金电极，用这些电极进行了镀锌钢板点焊电极寿命试验并与未深冷处理的电极寿命进行了比较。用扫描电子显微镜对深冷处理电极进行了背散射及面扫描分析，用 X 射线衍射法观测了深冷处理前后的电极晶粒度，测试了电极在深冷处理前后的电阻率。通过对深冷电极微观结构的观测及电极性能的测试，探讨了深冷处理提高镀锌钢板点焊电极寿命的机理。研究结果表明，深冷处理提高了镀锌钢板点焊电极基体的致密性，改变了合金元素的分布，细化了电极材料的晶粒，提高了镀锌钢板点焊电极的导电、导热能力及电极抗压溃变形的能力，从而提高了镀锌钢板点焊电极的寿命。

**关键词：**深冷处理；镀锌钢板；点焊；电极寿命；机理

中图分类号：TG453 文献标识码：A 文章编号：0253—360X(2003)02—07—04



吴志生

## 0 序 言

镀锌钢板具有良好的防腐蚀性能和成形性，在轿车制造业得到了广泛的应用<sup>[1]</sup>。但镀锌钢板的点焊在目前的生产领域仍是个复杂的问题。镀锌钢板的焊接性能与低碳钢板相比有明显的特殊性，如存在着点焊过程中飞溅较大、点焊电极烧蚀较快、点焊电极寿命降低及焊接质量不稳定等问题。一对点焊电极点焊低碳钢板可焊数千个焊点，而点焊镀锌钢板只能焊几百个焊点就要更换或修理电极。因此，在大批量生产的汽车制造业，镀锌钢板点焊电极寿命问题一直是一个非常重要的问题<sup>[2 3]</sup>。

近些年来，为提高镀锌钢板点焊电极寿命及点焊质量，国内外研究者进行了多种尝试，如开发新的导电铜合金材料、点焊电极的表面改性等，但这些措施存在着设备复杂、投资大、研制周期长、制造成本高等问题，限制了其商业应用。为此，作者首次将深冷处理技术应用于提高镀锌钢板点焊电极寿命的课题研究，进行了深冷处理前后的点焊电极寿命试验，研究了深冷处理对镀锌钢板点焊电极寿命的影响；通过对深冷处理前后的电极微观结构的分析及电极的一些物理性能参数的测试，探讨了深冷处理提高镀锌钢板点焊电极寿命的机理。

## 1 镀锌钢板点焊电极寿命试验

### 1.1 电极的深冷处理

深冷处理是指在—130 °C以下对材料进行处理改变材料性能的一种方法，深冷处理以液氮（—196 °C）为制冷剂<sup>[4]</sup>。试验采用气体法加工深冷电极，将电极放入深冷装置，液氮经喷管喷出后在冷箱中直接汽化，利用液氮的汽化潜热及低温氮气吸热使冷箱降温。通过控制液氮的输入量来控制降温速度、保温温度、保温时间等实现对温度的自动调节。

该试验采用降温速率为 6 °C/min，处理温度分别为—150 °C、—170 °C，保温时间分别为 2 h 和 4 h，保温后在冷箱中缓慢升至室温。点焊电极材料为 Cr—Zr 铜合金，电极形状为锥台形，电极直径为 φ20 mm，长度为 60 mm。

### 1.2 点焊电极寿命试验

电极寿命是电极烧损的一个量化评价指标，电极烧损越慢，电极使用寿命越长，反之电极烧损越快，则电极使用寿命越短。电极使用寿命是指一对电极在连续焊接的情况下，修磨一次能够焊出的合格焊点的个数。合格焊点，在电阻焊的相关标准中有具体规定。日本的 LWS—P7903 标准中规定，电极的使用寿命为在连续焊接的情况下，当焊点的强度下降到标准强度的 70% 时对应的焊点个数。由于点焊接头的强度与熔核的直径近似成正比关系，一般用熔核直径代替点焊接头强度作为电极寿命的评价标准。

试板材料为热镀锌钢板，厚度 0.8 mm。试验采

用的主要设备有 Panasonic YR700CM2 单相交流固定式点焊机、MIYACHI MM—326B 电流测试仪等; 点焊规范参数为焊接电流 9.3 kA, 焊接时间 8 周波, 维持时间 7 周波, 休止时间 20 周波, 预压时间 99 周波, 电极压力 3 724 N, 冷却水流量 3 L/min。

未深冷处理电极和采用不同深冷处理工艺处理的电极寿命试验曲线如图 1 所示, 点焊电极深冷处理前后所焊焊点表面状况如图 2 所示。用未深冷电极点焊镀锌钢板, 始终存在飞溅、粘电极等现象, 而用深冷电极点焊镀锌钢板时, 飞溅、粘电极等现象大大减小, 焊点表面质量明显改善。

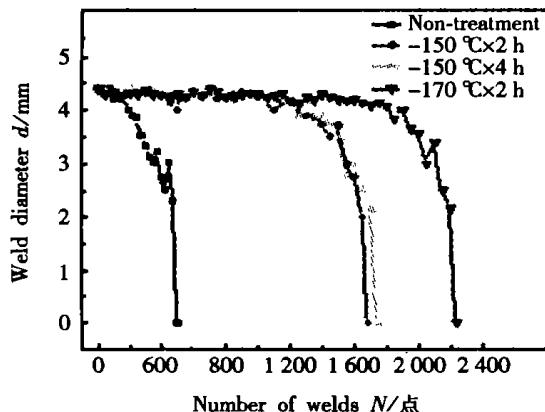
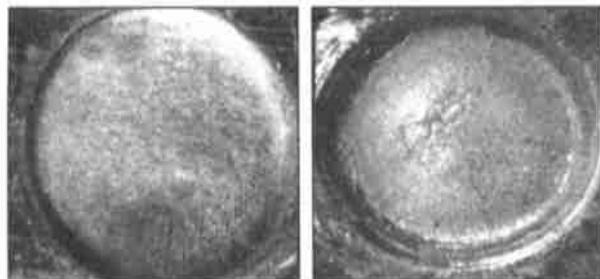


图 1 电极寿命试验曲线

Fig. 1 Influence of deep cryogenic treatment on electrode life



(a) Using cryogenic electrodes (b) Using noncryogenic electrodes  
图 2 电极深冷处理前后所焊焊点

Fig. 2 Appearance of nugget welded by noncryogenic electrodes and cryogenic electrodes

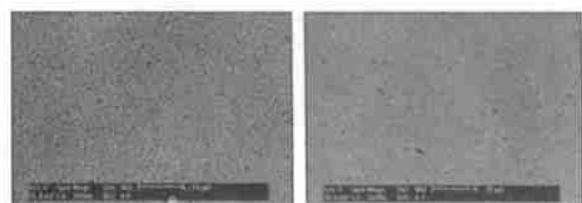
## 2 深冷前后点焊电极的微观结构

### 2.1 深冷前后点焊电极的 SEM 观测

采用扫描电镜对深冷处理前后的点焊电极进行的 SEM 背散射观测结果如图 3 所示, SEM 面扫描分析结果如图 4、图 5 所示。

### 2.2 深冷前后点焊电极 X 射线衍射试验

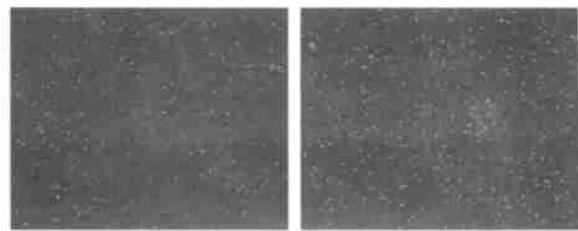
采用 X 射线法对深冷处理前后点焊电极试样的金属晶粒大小进行了测量, 其结果如图 6 所示。



(a) Before cryogenic treatment (b) After cryogenic treatment

图 3 深冷处理前后铬锆铜合金组织 SEM 背散射

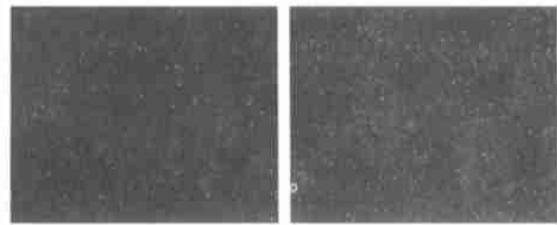
Fig. 3 Microstructure of CrZr—Cu alloy before and after cryogenic treatment



(a) Before cryogenic treatment (b) After cryogenic treatment

图 4 深冷处理前后铬锆铜合金中元素 Cr 分布

Fig. 4 Cr distribution of CrZrCu alloy before and after cryogenic treatment



(a) Before cryogenic treatment (b) After cryogenic treatment

图 5 深冷处理前后铬锆铜合金中元素 Zr 分布

Fig. 5 Zr distribution of CrZrCu alloy before and after cryogenic treatment

深冷处理前后铬锆铜合金晶粒尺寸变化情况如表 1 所示。

表 1 X 射线衍射的晶粒尺寸分析结果

Table 1 Analysis result of grain size by x-ray diffraction

Testing parameter	Spot welding electrode before cryogenic treatment	Spot welding electrode after cryogenic treatment
Testing sample half-wave width(cm)	4.0	4.5
Testing sample $2\theta$ (°)	43.28	43.36
Standard sample half-wave width(cm)	3.0	3.0
Standard sample $2\theta$ (°)	26.6	26.6
Average grain size of 111-crystalface	159.7	82.9

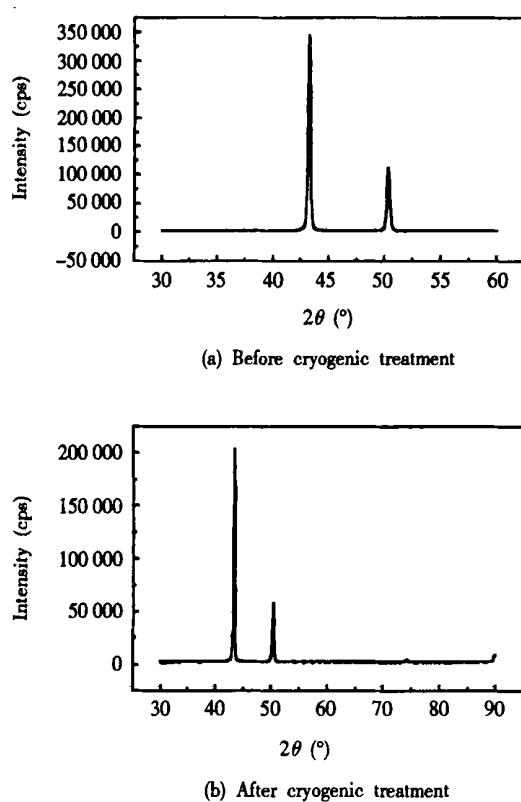


图 6 深冷处理前后铬锆铜合金 X 射线衍射普线

Fig. 6 X-ray diffraction spectra of CrZrCu alloy before and after cryogenic treatment

### 3 深冷前后点焊电极电阻率的测定

用直流双臂电桥测量的试验结果如表 2 所示。

表 2 电极电阻率测试结果

Table 2 Testing result of resistivity of electrode

Treatment process	Resistivity ( $\Omega \text{mm}^2/\text{m}$ )
Non-treatment	1. 801 063
-150 °C × 2 h	1. 425 138
-150 °C × 4 h	1. 362 078
-170 °C × 2 h	1. 049 448
-170 °C × 4 h	0. 976 894

### 4 深冷处理提高电极寿命机理分析

#### 4.1 电极寿命试验结果

如图 1、图 2 所示, 用未深冷处理电极点焊镀锌钢板时, 前 200 焊点的熔核直径变化不大, 300 焊点后熔核直径产生较大变化, 而且很快减小, 电极寿命只有 550 点。用深冷电极点焊的前 1 500 点的熔核

直径较稳定, 波动较小。-150 °C 保温 2 h 与保温 4 h 的深冷电极寿命分别为 1 687 点与 1 743 点, 可以认为寿命相同。-170 °C 保温 2 h 的深冷电极的点焊过程更为稳定, 在 1 800 点范围内熔核直径没有较大波动, 该电极平均寿命达到 2 234 点, 寿命进一步提高。此外, 用未深冷处理电极点焊镀锌钢板时, 粘电极现象严重, 并有飞溅, 焊点表面颜色为黄铜色, 而用深冷处理电极点焊镀锌钢板时, 焊接过程飞溅现象较小, 焊点表面黄铜色极浅, 表明铜锌合金化倾向小。

#### 4.2 电极显微结构观察结果

对深冷处理前后的电极铜合金试样在扫描电镜 (SEM) 下进行观察分析, 如图 3 所示。可以看出, 深冷处理前的铜基体致密性较差, 存在较多的显微孔洞, 这些孔洞的存在使材料点阵结构的完整性与材料连续性遭到破坏。深冷处理后材料中的显微孔洞数量比未深冷处理的明显减少, 基体致密程度明显提高。

由图 4、图 5 发现, 处理后试样的铬、锆元素分布有明显变化。与深冷前相比, 由于深冷处理导致 Cr/Zr 在铜中的溶解度急剧减小, 过饱和的 Cr/Zr 析出, 铜基体上出现了大量弥散分布的 Cr/Zr 颗粒。

用 X 射线衍射法, 通过测量衍射线宽化的程度, 可以测定晶粒度大小的变化。如表 1 所示, 深冷处理前平均晶粒大小为 159.7 nm, 经深冷处理后平均晶粒大小为 82.9 nm, 铜晶粒明显细化。显然, 深冷处理可以使材料的均匀性与致密性得到明显改善, 材料的晶粒得到细化, 组织的细化可使材料的性能发生变化。

#### 4.3 电极电阻率测试结果

由表 2 可以看出, 电阻率发生明显变化, 随深冷处理温度降低和保温时间延长, 电极的电阻率下降, 导电能力大幅度提高。

#### 4.4 深冷处理提高电极寿命的机理

金属施加外电场后, 自由电子获得加速度, 便沿外电场方向发生定向迁移而形成电流。自由电子在定向迁移过程中, 不断与正离子发生碰撞, 使电子迁移受阻, 从而产生电阻。若金属中含有少量杂质而形成固溶体时导电率降低, 电阻率增高。原因是由于其杂质原子使金属正常的结构发生畸变, 引起电子额外的散射。当溶质和溶剂原子在微观区域分布不均匀时形成不均匀固溶体, 即固溶体中存在原子的偏聚区域, 其成分与固溶体的平均成分不同, 或者固溶体中存在着短程有序区域。这些情况都能强烈地散射电子, 而使不均匀固溶体具有高的电阻值。

热传导过程是材料内部的能量传输过程。固溶

体中溶质(杂质)原子引起的弹性畸变、位错和点阵缺陷等都会引起电子的散射而使导热系数下降。当固溶体合金出现有序结构时,由于点阵的周期性增强,使传导电子的平均自由程增大,因而其导热系数将比无序时明显增大。此外,由于气体是热的不良载体,倘若金属周围有气体包围或内部有弥散分布的孔洞时,材料的导热系数将受其影响而降低。

电极铜合金的SEM分析表明,未深冷处理电极基体中存在较多显微孔洞,这样的组织结构使定向移动的电子受到剧烈的散射作用,导致材料的导电性及导热性下降。深冷处理后,材料中的显微孔洞数量比未处理前大为减少,基体致密程度得到明显提高,因此改善了电极的导电、导热与抗变形能力;由于铬、锆这两种组元在铜基体中含量很少,电极材料属于低浓度固溶体,低浓度下固溶体的电阻服从马提森(Matthissen)定则<sup>[5]</sup>,电极铜合金中固溶的铬、锆经深冷处理从基体中析出降低了基体中溶质原子的浓度,提高铜基体的纯度,从而降低了溶质元素产生的附加电阻,改善了电极铜合金的导电、导热能力<sup>[6,7]</sup>。试验证明,金属材料的屈服强度与晶粒直径平方根的倒数呈线性关系,晶界越多,即晶粒越细小,则强化作用越强<sup>[8]</sup>。深冷处理后,铜合金的晶粒由159.7 nm减小为82.9 nm,比未处理前几乎减小了一倍,所以深冷处理可使电极的强度提高。深冷处理后Cr、Zr在铜基体上出现了大量弥散分布的Cr、Zr颗粒,从而提高合金的抗变形能力。

显然,深冷处理使镀锌钢板点焊电极内部微观结构发生了一系列变化,改善了电极的热物理性能、导电性能及力学性能,从而显著提高了镀锌钢板点焊电极的寿命。

[上接第3页]

## 参考文献:

- [1] 邢文训, 谢金星. 现代优化计算方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999. 53~191.
- [2] Nirwan Ansari, Edwin Hou. 用于最优化的计算智能[M]. 李军, 边肇祺译. 北京: 清华大学出版社, 1999.

## 5 结 论

深冷处理提高了电极基体致密性,改变了合金元素分布,提高了电极的导电、导热能力,使电极产热减少,导热能力加强,避免了铜合金电极与镀锌板的合金化倾向。深冷处理也细化了电极材料的晶粒,提高了电极抗压溃变形的能力,使得点焊镀锌钢板的深冷电极寿命显著提高。

## 参考文献:

- [1] 谭善银, 张垒, 龚志坚. 镀锌薄板在轿车上的应用[J]. 汽车技术, 1993, (12): 22~30.
- [2] 程轩挺, 王敏, 王宸煜. 镀层厚度对镀锌板点焊质量的影响[J]. 电焊机, 2001, (1): 28~30.
- [3] 谢坚, 聂淦生. 电阻点焊研究进展(上)[J]. 电焊机, 1994, (1): 3~5.
- [4] 陈鼎, 黄培云, 黎文献. 金属材料深冷处理发展概况[J]. 热加工工艺, 2001, (4): 57~59.
- [5] 徐京娟, 邓志煜, 张同俊. 金属物理性能分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1988. 98~102.
- [6] 邱光普. 提高金属制件耐磨损及其他特性的干式制冷新方法[A]. 低温冷冻工艺应用文集[C]. 上海: 上海交通大学出版社, 1993. 121~122.
- [7] 王毅, 丛吉远. CuCr真空触头材料电特性的改善[J]. 低压电器, 1999, (3): 6~8.
- [8] 崔忠圻. 金属学与热处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989. 260~262.

**作者简介:** 吴志生,男,1963年10月出生,副教授,博士研究生。研究方向为焊接工艺自动化,发表论文10余篇。

**Email:** wuzs@eyou.com

- [3] 康立山, 谢云. 非数值并行算法(第一册)—模拟退火算法[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

**作者简介:** 殷树言,男,1937年出生,教授,博导。主要研究领域为焊接电弧物理、焊接工艺与设备等。获省部级科技进步奖8项,获黑龙江省振兴经济一等奖2项。出版著作8部,发表学术论文近100篇。

**Email:** sys@solaris.bjpu.cn