

# Research on Characteristics of Copper-Aluminum Composite and Its Preparation Method

Xian Zhou

Shaanxi Institute of Technology, Xi'an, Shaanxi, 710300, China

## Abstract

Copper-aluminum composites are a new type of material that utilizes various composite techniques to achieve metallurgical bonding at the interface between copper and aluminum. Copper-aluminum composites have the advantages of copper: good electrical conductivity, good thermal conductivity, easy soldering, low contact resistance, easy plating, and beautiful appearance. At the same time, it also has the characteristics of low cost, light weight, excellent heat dissipation performance and economy. In this paper, the preparation and interface properties of its composite method have been studied.

## Keywords

copper-aluminum composite; characteristics; preparation method

## 铜铝复合材料特性及其制备方法研究

周弦

陕西国防工业职业技术学院, 中国·陕西 西安 710300

## 摘要

铜铝复合材料是利用了各种复合技术在铜界面与铝界面处实现冶金结合的一种新型材料。铜铝复合材料既具有铜的优点: 导电性、导热性良好、易焊接、接触电阻低、易电镀以及外观美观等。同时也具有铝的廉价、质轻、散热性能优良、经济等特点。本文对其复合方法的制备与界面特性进行了一定的研究。

## 关键词

铜铝复合材料; 特性; 制备方法

## 1 引言

目前, 随着社会经济的快速发展和进步, 新型技术和全新产业不断出现, 使得人们对应用于各种实际工程中的材料的性能要求越来越高。然而, 由于在自然界中单一金属材料的储量有限, 对于单一的金属材料来说, 其综合性能不足, 使得其在应用领域上受到了极大的限制, 复合材料应运而生。

## 2 铜铝复合材料特性概述

金属铜在自然界中储量不多, 且价格较高, 故促使人们在电工行业中积极的寻找替代材料。而铝的自然储量丰富, 价格低廉, 密度较低, 导电率良好, 是一种导电性能优良的导电材料。因此早在 20 世纪 60 年代时, 就已经有人提出了“以铝代铜”的想法, 但是当用铝线作为传输电能的导体时, 由于金属铝自身的强度低、受力易发生形变、易发生腐蚀, 以

及表面易形成坚固的氧化膜, 从而导致产生较大的接触电阻, 使得铝很难成为用在电工行业中的良好导电材料。并且金属铝的不易连接, 也限制了其进一步的推广。

而铜铝复合材料的出现改善了这些缺点, 使其广泛应用于通讯、电子、电器、汽车、生活用具等领域。在电力传输及电工电器设备中的很多重要零部件中, 为了减轻重量, 节约成本, 常常采用铜铝层状复合材料来制造。同样, 铜包铝式的导线也是双金属复合材料在电力电子工业领域的一个非常典型的应用。由上述可以看出铜铝复合材料克服了纯铝丝存在的接触电阻大和易蠕变等问题, 相比于全铜线来说, 可大大地减少昂贵的铜的用量。

铜铝复合的方法主要可分为固固相复合法、固液相复合法以及液液相复合法, 采用不同的复合方法及工艺参数所得的复合样品铜铝之间的结合强度、过渡层厚度等均有差异。

但各复合方法最终都是为了使铜与铝在界面处能发生反应并完成良好的扩散,最终实现冶金结合,得到具有优良性能的铜铝复合材料。

### 3 铜铝双金属材料研究进展

#### 3.1 制备方法的研究进展

近年来,铜/铝双金属复合材料的研究和开发受到了世界各个国家广泛的关注和重视,材料的制备方法也由最初的搭焊及焊接发展至目前的静液挤压、连续挤压等先进的工艺技术,随着金属复合材料制备技术的不断改善,生产成本也随之不断降低,这也为复合材料在各个领域的应用奠定了坚实的基础。

铝线镀铜法是较早应用于工业生产的一种方法。该方法是在铝芯表面电镀一层铜,以获得铜包铝结构的复合材料的方法。这种方法较为简单方便,但在铝表面所镀的铜层质量较差,结合力不佳,而且铝芯与所镀的铜层往往存在不同心的问题,并且此法会对环境造成很大的污染,故目前在中国只有部分小型企业在使用该法。其次是轧制压接法,该法是将两条铜带清洗后进行加热,然后将铜带从上下两个方向来对铝芯进行包覆,然后再利用轧辊对铜带与铝芯施加压力,使其接在一起,接着将铜带连接处的两个凸耳切除,从而使其形成线坯。最后对线坯进行拉拔处理,获得符合工艺要求的直径的线材,根据所需性能,采用相应的方式对线材进行热处理。这种方法具有成品质量高、生产效率高以及不污染环境等方面的优点,但工艺过程较为复杂,涉及的工序比较多,轧压设备耗资大,因而其生产成本较高。

包覆焊接法是目前在工业生产中人们使用较为广泛的方法。吴云忠等人采用包覆焊接法使外层铜和铝芯线之间达到了良好的冶金结合,并对影响固相结合的因素以及其结合机理进行了研究。结果表明,在正常范围内,变形前后的线材横截面积变化率越大,则固相之间结合的就越牢固。

在其他国家,有学者将铝液浇注到铜管内,将两者进行复合从而形成复合线坯,然后再对复合线坯进行热挤压工艺过程,得到成品。另一种成熟的制备工艺方法为静液挤压法,静液挤压是挤压方式的一种,是通过压力的传递使金属在凹模内成型,胡捷等人采用静液挤压的方法,成功的制备了铜包铝复合线材,同时并对工艺参数对复合质量的影响进行了

研究,结果表明,采用静液挤压法制得的铜包铝复合线材实现了双金属之间良好的冶金结合,其电学性能及力学性能都能很好的满足美国 ASTM 电缆线标准。

宋克兴等人在加压的条件下,采用固液相复合法制备了铜铝复合材料,并对铝液的浇注温度对复合界面的影响进行了研究,结果表明,在铜板表面预热温度为 400℃,压力为 1000MPa 等其他工艺参数一致的情况下,铝液浇注温度为 720℃时,所制备出的铜铝复合抗拉强度最高,约为 40.07MPa。

杨永顺等人采用热挤压成型法成功的制备了铜铝复合材料,并对其复合界面性能及导电率进行了研究。结果表明,热挤压法生产的铜铝复合板具有良好的导电性能,其电导率可达到 92%IACS,在铜铝结合的界面处可观察到原子扩散效果显著,焊接结果优良。

#### 3.2 性能改善的研究进展

万於辉等人以板厚度不同的 LY12 铝合金和 T2 紫铜板为实验对象,进行了搅拌摩擦搭接焊试验,研究了在不同的工艺参数下,焊缝形貌的变化规律。研究结果表明:当铜铝板较厚时,采用搅拌摩擦搭接焊的方法很难获得成型效果优良的焊缝,而当铜铝板较薄时,则可以获得成型效果优良的焊缝,将铝板放在铜之上,搅拌转头的转速控制为 750r/min、焊接的速度控制为 60mm/min 和 90mm/min 时,两薄板搭焊接头成型效果良好,没有明显的缺陷。

王征等人采用浇铸法制备了铜铝双金属复合材料,并研究了铜铝复合材料的组织形貌、界面处结合情况以及导电性的优良。结果表明:在不断提高铝液浇铸温度的前提条件下,发现了铜铝复合材料结合强度表现出先升高后降低的规律;而复合材料导电性则是表现出先慢慢下降后快速下降的规律。在浇铸温度为 720℃时,所制得的铜铝复合材料结合强度较好组织分布均匀,导电性良好。

王利华等人采用挤压铸造制备了铜铝复合材料,并研究了退火处理对扩散层组织结构及其性能的影响。结果表明,铜铝复合材料过渡层的厚度随退火温度的升高而发生明显的增加。当温度达到 400℃时,过渡层的厚度会随之达到 20 μm 左右。在同样的退火温度下,铜铝复合界面处结合强度会随着保温时间的增加先升高后降低,退火工艺以温度为 350℃保温 1h 为宜,在此退火工艺下铜铝复合材料过渡层的硬度会

发生明显的降低,且对增加界面结合强度及改善加工性能均起到有利的作用。

袁武华等人利用异步轧制的方法制备了铜铝复合材料,并研究了扩散退火温度的变化对铜铝复合板界面结合性能、裂纹位置、组织性能的影响。结果表明,当退火温度在 350℃ 之上时,铜铝复合界面处会出现脆性过渡层并伴随着金属间化合物的形成。温度等于 350℃ 时,所形成的过渡层厚度为 7.31μm;温度等于 500℃ 时,形成厚 15.53μm 过渡层;铜铝复合板剥离断口的位置处在过渡层中的富铝区处,该处的金属间化合物主要为 CuAl 和 CuAl<sub>2</sub>。当退火温度等于 250℃ 时复合材料表现为韧性剥离,而当温度高于 350℃ 时则表现为脆性剥离;脆性金属间化合物 CuAl 和 CuAl<sub>2</sub> 对复合板界面处的结合强度等性能起主要的影响作用。

### 3.3 组织结构方面的研究进展

在双金属复合材料中的铜铝组元之间,由于两者存在较大的物理、化学性能方面的差异,并且在复合时极易在界面处形成中间相,因此铜铝复合时,其结合面处的组织性能成为了目前研究者们关注的焦点。

路王珂研究了铸轧工艺制备中铜铝复合板在不同热处理温度下扩散层的影响规律,并分析了热处理过程中金属间化合物生长规律。结果表明,在铸轧过程中铜铝复合板界面发生扩散反应,形成一定的扩散层,且随着复合板厚度增加,扩散层厚度增加,复合板的抗拉强度和延伸率随之增加,结合强度也随之升高,但板厚达到 14mm 时,结合强度增加不再明显。扩散层中生成的 CuAl<sub>2</sub>、Cu<sub>9</sub>Al<sub>4</sub> 等金属间化合物形成扩散层,这可以使铜铝发生冶金结合,但是金属间化合物作为硬脆相,大量聚集也会削弱结合强度。

刘峰等人使用真空淬火炉采用搭接的形式焊接铜与铝,并研究了保温时间、加热温度、施加载荷等工艺参数对铜铝扩散焊接接头组织性能的影响。结果表明,在铜铝接头的过渡区与基体铜的一侧,产生的是以 CuAl<sub>2</sub> 为主的金属间化合物,而 α (Al) + CuAl<sub>2</sub> 共晶体则在与基体铝的一侧产生,上述物质的形成说明了铜与铝在过渡区实现了良好的冶金结合。若加热温度过高保温时间过长,在界面结合处则会容易形成过多的金属间化合物 CuAl<sub>2</sub> 以及过多的共晶体 α (Al) + CuAl<sub>2</sub> 从而使过渡层变厚,使得界面结合强度降低。

沈黎通过冷轧复合制备了铜铝双金属材料,并研究了铜铝复合材料经过不同加热温度等工艺条件的扩散热处理后,连接界面处的组织变化情况和生成的金属间化合物的情况。研究表明,在较低的温度下时,中间相 CuAl<sub>2</sub> 首先在靠近铝侧处形成,随着扩散的进行接着形成 Cu<sub>9</sub>Al<sub>4</sub> 相和 CuAl 相;在较高的温度下时,则是首先生成 Cu<sub>9</sub>Al<sub>4</sub> 相,然后才生成 CuAl<sub>2</sub> 相。

顾文桂等人采用冷轧固相复合烧结制备铜铝复合材料,并利用金相观察、X 射线衍射、TEM 等方法对扩散区的形貌及其组成结构进行了研究。结果表明,在铜铝互扩散区存在 Cu<sub>9</sub>Al<sub>4</sub>、Cu<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>、Cu<sub>4</sub>Al<sub>3</sub>、CuAl<sub>2</sub>、CuAl 等 5 种金属间化合物,其对应的原子尺寸大小分别在 10<sup>-4</sup>、10<sup>-5</sup>、10<sup>-7</sup> 和 10<sup>-9</sup> mm<sup>2</sup> 量级<sup>[1-3]</sup>。

## 4 目前仍存在的问题

金属 Al 的密度低、热导和电导率高以及良好的加工性能使其成为世界上第二大应用材料。虽然 Cu 及 Cu 合金的耐腐蚀、延展性、导热、导电性能可加工成形性能也很优异,但是, Cu 的价格较高,属于稀缺金属和战略物资,因此,开展“以铝节铜”已成为工业界和众多学者研究的热点。正如黄崇祺院士在中国铜加工技术与应用论坛上指出的,“以铝节铜”已是大势所趋。但是铝的致命弱点是强度低,容易蠕变,耐蚀性差,表面极易形成坚固的氧化膜,致使接触部分产生较大的接触电阻,难以牢固连接,从而限制了以铝代铜的进一步推广。因而,采用铜铝复合的方法从理论上能有效解决此问题。

但目前铜铝材料在复合时工艺复杂、难以控制,且成品率较低,更为严重的是在变形加工时,两者在结合界面往往会开裂,本研究的目的在于寻找一个较为理想的铜铝复合技术,使复合后的材料在力学性能和导电性能上均能达到较好的效果。

### 参考文献

- [1] 周弦. 铜铝复合材料研究进展 [J]. 南方农机, 2018(10).
- [2] 王征, 刘平, 刘新宽. 浇铸法制备铜铝复合材料及其性能研究 [J]. 上海有色金属, 2015, 35(02): 61-64.
- [3] 宋克兴, 张亚, 张彦敏, 国秀花. 铜 / 铝固 - 液复合研究 [J]. 铸造, 2014, 63(07): 655-658.