

耐热导电铝合金耐热性能改善的研究

赵立洋 贾伟 张桓 张佳辉 乔恒 段妍彤
(江苏亨通电力特种导线有限公司)

摘要 主要研究耐热导电铝合金耐热性能不达标的补救方案,通过分别研究单丝及铝杆热处理的试验,发现对单丝进行 190 ℃×7 h 的热处理,可以将单丝的耐热性提高 5%~7%,单丝耐热性能达到 95%~97%,但后续绞线因单丝表面缺乏油膜容易出现擦伤;对耐热铝杆进行 290 ℃×7 h 热处理,拉拔后的单丝耐热性能可以提高 1.5%~3%,耐热性能达到 90%~93%,且单丝表面不存在质量问题。
关键词 热处理;耐热铝合金;耐热性能
中图分类号 TG146.21;TG113.23⁺3;TG113.22⁺4 **文献标志码** A
DOI:10.15980/j.tzzz.2021.10.010 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



Improvement of Heat Resistance of Heat Conductive Aluminum Alloy

Zhao Liyang, Jia Wei, Zhang Huan, Zhang Jiahui, Qiao Heng, Duan Yantong
(Jiangsu Hengtong Electric Power Special Wire Co., Ltd.)

Abstract: The remedial program for substandard heat-resistant performance of the heat-resistant conductive aluminum alloy was mainly carried out. Through the monofilament and aluminum rod heat treatment, the experimental results demonstrate that heat treatment of heat-resistant monofilament at 190 ℃ for 7 h can improve the heat resistance of the monofilament by 5%~7%, which is generally in the range of 95%~97%. However, the subsequent strand is prone to bruise due to the lack of oil film on the surface of the monofilament. Heat treatment of heat-resistant aluminum rod at 290 ℃ for 7 h can improve the heat-resistance of monofilament by 1.5%~3% after drawing, which is generally in the range of 90%~93% with absence of surface quality defects.
Key Words: Heat Treatment, Heat-resistant Aluminum Alloy, Heat Resistance

随着我国经济的发展,对电能的需求日益增大,电力传输系统面临着巨大的挑战^[1]。一方面启用特种导线,提升电力供给能力,一方面增加线路的架设,但对于一些特殊场景仅满足设计特殊导线类型,而耐热铝合金导线可以在原有线路不变的情况下,提升 1.5 倍的载流量^[2],致使耐热合金导线的应用不断扩大,需求量也逐渐增加。

目前国内具备生产加工耐热型导线的企业均存在质量不稳定的现象。为了满足国内外电网公司对于产品质量的迫切需求,研究了不同的热处理方案,旨在为行业耐热导线质量提升提供参考。

1 原材料调查及分析

在加工 JNRLH60-G1A-500-45 钢芯耐热铝合金导线时,分别选用了山东某公司的耐热铝合金圆杆和我公司自产的耐热铝合金杆,其成分和性能见表 1。可以看出,不同厂家生产的耐热铝合金圆杆在成分、力学性能

以及电性能方面差异不大,都添加了 0.04%~0.05% 的 Zr,且均对微量元素和轧制工艺进行适当控制,以达到要求的抗拉强度和电阻率。但在加工耐热铝合金导线时,发现其耐热性能都出现了不合格的问题,见图 1。

表 1 耐热合金杆合金元素含量及性能
Tab.1 Alloying element content and properties of heat-resistant alloy rod

材料来源	$w_B/\%$					抗拉强度/MPa	伸长率/%	电阻率/(nΩ·m)
	Si	Fe	Zr	B	Cr+Mn+V+Ti			
自产	0.03	0.14	0.040	0.001	0.004	余量	111.6	16.5
外购	0.04	0.11	0.043	0.000	0.008	余量	110.8	18.4

耐热性是指单丝经过 230 ℃×1 h 热处理后抗拉强度的残存率;普通耐热导线要求耐热性在 90% 以上^[3],从图 1 可以看出,两家铝杆所拉单丝的耐热性不合格率均很高,分别为 9.81%(自产)和 12.14%(外购)。耐热性能不合格为公司带来了很大的损失,且严重影响了车间的运转效率。针对这一问题,通过大量的试验,总结了两种有效的解决措施,并在导线车间批量实施。

收稿日期:2021-03-03;修改稿收到日期:2021-05-07
第一作者简介:赵立洋,男,1995 年出生,助理工程师,江苏苏州(215234),E-mail:zhaoliy@htgd.com.cn
引用格式:赵立洋,贾伟,张桓,等. 耐热导电铝合金耐热性能改善的研究[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(10):1 232-1 234.
ZHAO L Y, JIA W, ZHANG H, et al. Improvement of heat resistance quality of heat conductive aluminum alloy material[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(10):1 232-1 234.

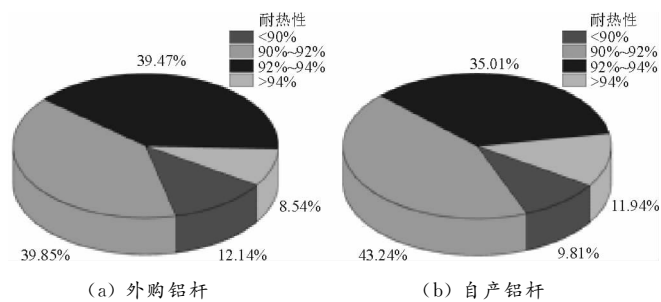


图 1 自产与外购铝杆耐热性分布图

Fig.1 Heat resistance distribution diagram of homemade and purchased aluminum rod

2 改进方案

2.1 单丝热处理

Zr 含量为 0.04%~0.05% 的耐热铝合金属于固溶型耐热铝合金,其加工硬化产生的位错缺陷会降低其耐热性能。通过适当的热处理可以降低位错密度,促使少部分的 Al₃Zr 相析出,起到钉扎位错的作用,减少合金在高温运行下强度的损失^[4,5],从而提高耐热铝合金导线的耐热性能。

选用 φ3.6 mm 的耐热单丝分别在 180、190、200、210 ℃下保温 7 h,然后检测热处理后单丝的力学性能、导电性能以及其耐热性,见表 2。

表 2 不同热处理工艺下的单丝性能指标

Tab.2 Performance index of monofilament under different heat treatment processes

热处理工艺	电阻率/(nΩ·m)	伸长率/%	抗拉强度/MPa	耐热性/%
未处理	28.381	1.8	178.5	89.3
180 ℃×7 h	28.219	2.0	172.2	93.3
190 ℃×7 h	28.107	2.0	170.4	96.9
200 ℃×7 h	28.103	2.0	165.7	97.8
210 ℃×7 h	28.091	2.2	162.5	98.5

通过表 2 可知,随着热处理温度提高,单丝的耐热性逐渐提高,但是抗拉强度逐渐降低,规格为 3.60 mm 的耐热单丝强度要求为 ≥162 MPa,热处理温度达到 200 ℃以后,单丝抗拉强度已经接近强度下限。综合考量选用 190 ℃的热处理工艺,图2为在 190 ℃×7 h 工

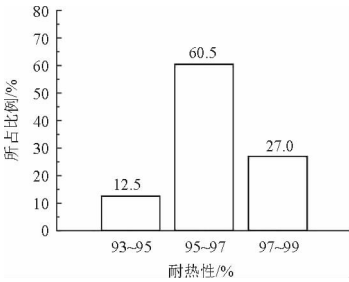


图 2 单丝热处理后耐热性分布图

Fig.2 Heat resistance distribution diagram of monofilament after heat treatment

艺下批量热处理后的 200 盘单丝的耐热性分布。从图 2 可知,耐热单丝经过 190 ℃×7 h 热处理后,耐热性可以提高 5%~7%,且耐热性普遍在 95%~97%之间,合格率达到了 100%。

2.2 铝杆热处理

通过对铝杆进行合适的热处理,使其组织中 Zr 元素由固溶态析出为性能更为优越的初生 Al₃Zr 相, Al₃Zr 相呈细小颗粒状弥散分布在铝基体中,具有抑制组织再结晶的效果^[5],并且 Zr 的析出态较固溶态对电导率的影响小^[6],所以通过对铝杆热处理可以很好地提升铝合金的耐热性及导电性。

分别对试拉后单丝耐热性不合格的同批次铝杆进行 280、290、300、310 ℃保温 7 h 的热处理,结果见表 3。

表 3 铝杆热处理试验
Tab.3 Heat treatment of aluminum rod

热处理工艺	电阻率/(nΩ·m)	抗拉强度/MPa	伸长率/%
未处理	28.211	110.7	20.0
280 ℃×7 h	28.110	107.3	20.0
290 ℃×7 h	28.037	105.4	21.5
300 ℃×7 h	28.001	101.6	23.5
310 ℃×7 h	27.983	99.7	25.0

由表 3 可知,铝杆热处理后电阻率和抗拉强度会随着温度的升高而降低,伸长率随着温度的升高而上升,但是温度过高强度下降太多,综合考虑最终选择 290 ℃×7 h 的热处理,图 3 为铝杆在 290 ℃×7 h 的热处理后 200 盘单丝的耐热性能。从图 3 可知,耐热单丝经过 290 ℃×7 h 热处理后,耐热性提高了 1.5%~3%,普遍在 90%~93%之间,产品合格率达到了 100%。

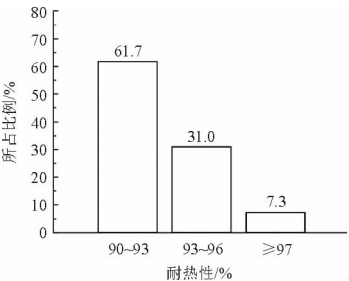


图 3 铝杆热处理后耐热性分布图

Fig.3 Heat resistance distribution diagram of aluminum rod after heat treatment

3 结 论

(1)通过对耐热单丝进行热处理可以提升 7%~9% 的耐热性,热处理后单丝耐热性普遍在 95%~97% 之间,但在生产中,热处理后的单丝表面拉丝油膜遭到破坏,后续绞线易出现擦伤情况。

(2)对耐热铝杆进行热处理可以提升 1.5%~3% 的耐热性,单丝耐热性普遍在 90%~93% 之间,改善效果

电磁搅拌对 Cu-Fe 合金铸锭凝固组织和性能的影响

董彦非¹ 石磊² 刘力铭²

(1.洛阳市质量计量检测中心; 2.洛阳理工学院材料科学与工程学院)

摘 要 研究了电磁搅拌对 Cu-10Fe 合金铸锭的晶粒度、Fe 枝晶、宏观偏析和性能的影响。结果表明,电磁搅拌可以进一步细化 Cu-10Fe 合金的晶粒度,并降低了其凝固时的过冷度,使合金在进入亚稳液态组元不混溶温度区域前形核生长成树枝晶 Fe 相,有效避免了球团状 Fe 相的生成;在搅拌电流为 300 A 时,枝晶 Fe 相被打碎,先凝固的 Fe 相在剧烈旋转搅拌的离心力作用下向铸锭的边部移动,造成显著的宏观偏析;电磁搅拌对 Cu-10Fe 合金铸锭的电导率没有显著的影响,但由于电磁搅拌对铸态 Fe 枝晶的破碎细化作用,对其力学性能有着显著的强化作用。但电磁搅拌电流不宜过大,在 150 A 时就可达到提高铸锭品质的目的。

关键词 电磁搅拌;Cu-Fe 合金;凝固组织;Fe 枝晶相;导电性能

中图分类号 TG146.1⁺1;TG391 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.10.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Electromagnetic Stirring on the Solidification Microstructure and Properties of the Cu-Fe Alloy Ingot

Dong Yanfei¹, Shi Lei², Liu Liming²

(1.Test Center of Luoyang Bureau of Quality and Technology Supervision;

2.School of Materials Science and Engineering, Luoyang Institute of Science and Technology)

Abstract: Effects of the electromagnetic stirring (EMS) on the solidification microstructure and properties of the Cu-10Fe alloy were investigated. The results indicate that the EMS can effectively refine the grain in Cu-10Fe alloy and reduce the supercooling degree of melted alloy, resulting in the formation of dendritic Fe phase instead of spherical Fe phase before the alloy enters the immiscible temperature region of the metastable liquid components. When the EMS current is 300 A, the Fe dendrites are broken and the Fe phases solidified firstly are separated to ingot surface by centrifugal force of violent rotating and stirring, resulting in the significant macrosegregation. Moreover, EMS has little influence on the conductivity of Cu-Fe ingot in the range of 21.46~22.04 MS/m. However, the fragmentation and refinement of electromagnetic stirring is contributed to the strengthening of the mechanical properties of Cu-10Fe alloy during drawing. In conclusion, the electromagnetic stirring current of Cu-10Fe alloy should not be too large, and 150 A is a reasonable parameter to improve the Cu-10Fe ingot quality.

Key Words: Electromagnetic Stirring, Cu-Fe Alloy, Solidification Microstructure, Fe Dendrites, Conductivity

收稿日期:2021-03-02;修改稿收到日期:2021-03-27

基金项目:河南省高等学校重点科研项目(21B430011)

第一作者简介:董彦非,男,1983 年出生,工程师,河南洛阳(471000),E-mail:277891200@qq.com

引用格式:董彦非,石磊,刘力铭. 电磁搅拌对 Cu-Fe 合金铸锭凝固组织和性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(10):1 234-1 237.

DONG Y F, SHI L, LIU L M. Effects of electromagnetic stirring on the solidification microstructure and properties of the Cu-Fe alloy ingot [J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(10):1 234-1 237.

没有热处理单丝效果明显,但是通过对铝杆热处理,不会造成单丝表面油膜破坏,同时对电阻率有很大的提升。

(3)可以根据实际情况,建议当耐热性≤88.5%时,选择对单丝热处理;当 88.5%≤耐热性≤90%时,选择对铝杆热处理;当耐热性≥90%时可以直接批量使用。

参 考 文 献

[1] 尤传永. 耐热铝合金导线的耐热机理及其在输电线路中的应用 [A]. 输配技术国际会议[C]. 中国电力企业联合会, 2003.

[2] 王明, 杨玉群, 王新, 等. 运用新型耐热导线提高线路输送容量 [J]. 陕西电力, 2009, 37(3): 19-22.
[3] 刘东雨, 李文杰, 韩钰, 等. 高电导率耐热铝合金导体材料的合金设计[J]. 材料热处理学报, 2014, 35(S1): 17-21.
[4] 赖存明. Zr,B,Er 对耐热导电铝合金微观组织及性能影响的研究 [D]. 郑州:郑州大学, 2018.
[5] 高兆和. Al-Zr-Yb(Er)合金的组织性能研究[D]. 长沙:中南大学, 2014.
[6] 张俊杰. 耐热铝合金电工圆杆组织与性能研究[D]. 贵阳:贵州大学, 2017.

(编辑:栗万仲)