

稀土对铝导线导电性的影响^①

高国忠^② 贺维勇^③ 陈继志^④

(中国科学院金属研究所)

摘 要

研究了稀土含量对高纯铝和工业纯铝导线导电性的影响。稀土使高纯铝的电阻率增加。在所研究的稀土含量 0.034—1.04%Ce 及 0.21—0.51%RE 范围内, 没有发现稀土降低电阻率的现象。结合铝导线中铁和硅的影响, 对稀土的作用及其与杂质铁、硅的综合作用进行了讨论。

关键词: 铝导线, 导电性, 电阻率, 稀土, 铈

关于稀土对导电用铝材的作用, 国内外一直在进行研究, 主要结果如下:

1 在某些导电铝合金和纯铝中, 加入稀土后, 提高了铝材的强度和耐磨性能。在一定温度内(如 150℃ 以上)使用的导电铝材中, 加入稀土可提高其热强性和抗氧化性。在某些深拉的铝线材及特细线材中, 加入稀土可获得良好的冷塑性;

2 在高纯铝中加入稀土, 没有得到有利的效果; 恰恰相反, 在高纯铝中即使加入微量稀土, 也能发现导电率下降和电阻率升高;

3 在工业纯铝(如 A₀₀, A₀ 和 A₁) 线材中加入稀土, 能否提高其导电性和节约电能, 至今没有得到完全一致的结论。

有的工作发现, 加稀土不能改善工业纯铝的导电性; 有的工作认为, 在稀土加入量很少时能提高导电性, 但提高的幅度不明显。另一些工作则指出, 当稀土加入量在 0.3—0.5% 或更少时, 能使电阻率明显下降。他们认为, 稀土与铝中杂质元素铁和硅相互作用, 能消除铁和硅对导电性的不利影响。但加入量过多时, 工业纯铝的导电性将随稀土加入量的增加而下

降。

本文主要研究在工业纯铝线材中加入稀土对其导电性的影响。应该指出, 由于所研究的稀土含量范围较窄, 电阻在小数点后 4 到 5 位上的变化精度受到一定的限制, 故对取样和测试的要求比较苛刻, 研究的难度也比较大。

1 实验方法

原料铝中的主要杂质含量为: 0.0070% Fe, 0.0024% Si 和 0.0023% Cu。稀土用金属铈和混合稀土两种。所研究的合金成分及稀土含量列入表 1。铝锭在石墨粘土坩埚电阻炉内熔炼。铝液精炼后静止 5 min, 加入稀土, 再静止 5 min 后浇入铁模。锭重 500 g。将铝锭加热到 450℃, 均热后锻成 d 15 mm 棒材, 再冷轧成边长为 6 mm 方条, 在 410℃ 退火后, 经 6 道次冷拉成 d 3 mm 线材。

铝线电阻用 UJ26 电阻仪测量。

为了减小测量误差, 测试条件为: 试样长度 2 000 mm, 名义直径 3 mm, 实际直径采用

①于 1991 年 10 月 22 日收到修正稿;

②付研究员; ③工程师; ④研究员

称重法确定。样品上的工作电流约为 330 mA，以减少通电升温对电阻值的影响。标准电阻值选取 0.01 Ω，这与试样的电阻值相近。为了复验结果的可靠性，同批试样在金属研究所测量后，再由沈阳电缆厂进行复测，其测量装置为 QJ-19 型直流电阻测试仪，测量过程按 GB3048.2 标准进行。

2 实验结果与分析

表 2 中列出了金属所在 15 ℃ 和电缆厂在 20 ℃ 时测得的电阻率。从表 2 可见,两个单位的测定结果基本一致。

对表 2 的结果进行分析后，可以初步看出以下问题。

2.1 铁和铈对电阻率的各自影响

图 1 给出了工业纯铝中加铁或铈对铝线电阻率的影响。在实验范围内，随着铈含量的增加，工业纯铝的电阻率逐渐增加；随着铁含量的增加，电阻率也增加，但增加的幅度比铈大。

2.2 同时加铁和铈对电阻率的影响

图 2 给出了单独加铁和同时加铁与铈时对铝线电阻率的影响。由图可见，同时加铁和铈的电阻率比不加铈要高，且其增量幅度与图 1 中铈含量为 0.3% 时的增值相近。这意味着，铁和铈的综合作用近似于二者的叠加，而不是铈（在 0.3% 时）减少或抵消了铁的不利作用。

2.3 稀土对不同杂质含量铝线电阻率的影响

导电铝线最常见的杂质是铁和硅，在一般

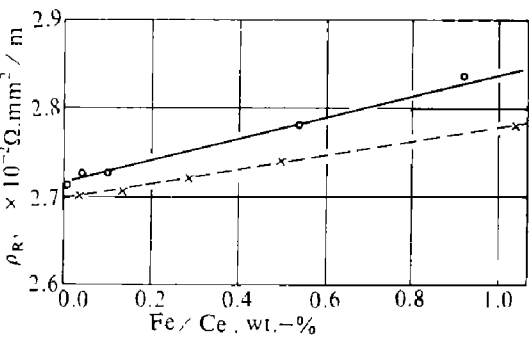


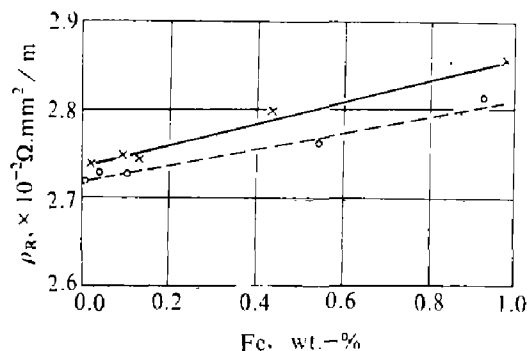
图 1 铁和铈对工业纯铝电阻率的影响
(o-加 Fe; X-加 Ce)

表 1 合金的化学成分 (wt.-%)

样号	Fe	Si	Fe+Si	RE	样号	Fe	Si	Fe+Si	RE
Ce1	—	—	—	Ce 0.034	FS8	0.05	0.42	0.47	0
Ce2	—	—	—	Ce 0.14	FS9	0.57	1.03	1.60	0
Ce3	—	—	—	Ce 0.29	FSC1	0.006 7	0.007 9	0.015	Ce 0.30
Ce4	—	—	—	Ce 0.50	FSC2	0.081	0.052	0.133	Ce 0.25
Ce5	—	—	—	Ce 1.04	FSC3	0.30	0.18	0.48	Ce 0.29
Fe1	0.04	—	—	0	FSC4	0.32	0.20	0.52	Ce 0.27
Fe2	0.1	—	—	0	FSC5	0.52	0.49	1.01	Ce 0.27
Fe3	0.53	—	—	0	FSC6	1.09	1.00	2.09	Ce 0.31
Fe4	0.92	—	—	0	FSC7	0.13	0.22	0.35	Ce 0.35
Fe5	0.02	—	—	Ce 0.33	FSC8	0.16	0.42	0.58	Ce 0.31
Fe6	0.1	—	—	Ce 0.28	FSC9	0.61	1.10	1.71	Ce 0.25
Fe7	0.43	—	—	Ce 0.29	FSR1	0.007 5	0.006 7	0.014 2	RE 0.21
Fe8	0.97	—	—	Ce 0.28	FSR2	0.17	0.10	0.27	RE 0.30
Fe50	0.11	—	—	Ce 0.22	FSR3	0.23	0.14	0.37	RE 0.25
FS1	0.006 2	0.004 2	0.010 4	0	FSR4	0.33	0.21	0.54	RE 0.43
FS2	0.056	0.07	0.126	0	FSR5	0.53	0.43	0.96	RE 0.23
FS3	0.1	0.11	0.21	0	FSR6	1.05	1.08	2.13	RE 0.30
FS4	0.25	0.22	0.47	0	FSR7	0.12	0.24	0.56	RE 0.51
FS5	0.51	0.50	1.01	0	RSR8	0.19	0.41	0.60	RE 0.30
FS6	1.08	1.25	2.33	0	RSR9	0.58	1.07	1.65	RE 0.30
FS7	0.08	0.23	0.31	0					

表2 试验铝线的电阻率 ρ_R

样号	电阻率, ρ_R , $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$		样号	电阻率, ρ_R , $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$	
	沈阳电缆厂测	金属研究所测		沈阳电缆厂测	金属研究所测
Ce1	0.027 100	0.026 915	FS8	0.027 895	0.027 726
Ce2	0.027 107	0.027 094	FS9	0.028 570	0.028 530
Ce3	0.027 174	0.027 118	FSC1	0.027 330	0.027 120
Ce4	0.027 474	0.027 349	FSC2	0.027 862	0.027 617
Ce5	0.027 819	0.027 685	FSC3	0.028 085	0.027 838
Fe1	0.027 271	0.026 935	FSC4	0.028 176	0.028 211
Fe2	0.027 247	0.026 974	FSC5	0.028 555	0.028 357
Fe3	0.027 764	0.027 587	FSC6	0.029 068	0.028 770
Fe4	0.028 332	0.027 987	FSC7	0.028 060	0.027 902
Fe5	0.027 383	0.027 221	FSC8	0.028 186	0.028 261
Fe6	0.027 429	0.027 363	FSC9	0.028 752	0.028 533
Fe7	0.027 966	0.027 727	FSR1	0.027 234	0.027 161
Fe8	0.028 510	0.028 581	FSR2	0.027 822	0.027 497
Fe50	0.027 389	0.027 209	FSR3	0.027 927	0.027 721
FS1	0.027 944	0.027 728	FSR4	0.028 248	0.028 022
FS2	0.027 944	0.027 728	FSR5	0.028 430	0.028 392
FS3	0.028 165	0.027 860	FSR6	0.029 052	0.029 076
FS4	0.028 114	0.028 118	FSR7	0.027 878	0.027 893
FS5	0.028 250	0.028 066	FSR8	0.028 053	0.028 094
FS6	0.029 072	0.028 938	FSR9	0.028 697	0.028 484
FS7	0.028 213	0.028 022			

图2 同时加铁和铈对铝线电阻率 ρ_R 的影响

(O—未加稀土; X—加 0.3%Ce)

标准中对二者的单量和含量都有严格要求。从表1可见, 在我们所研究的试样中铁和硅的含量变动较大, 其中包含了 A_{00} 、 A_0 和 A_1 等铝导线的杂质含量范围。图3给出了稀土对不同杂质含量铝导线电阻率的影响。图中用三条竖直线分别标明 A_{00} 、 A_0 和 A_1 铝导线中按标准规定的杂质含量, 并用 IEC 线标出国际电工委员会规定的铝导线的电阻率。由图3可见,

随着 (Fe+Si) 含量的增加, 电阻率增加; 当 (Fe+Si) 含量 $> 1\%$ 时, 电阻率将超过 IEC 标准值。此时, 稀土对电阻率没有明显影响。在 (Fe+Si) 处于导电铝的规定范围时, 三种试验铝线的电阻率都在 IEC 标准以下波动。在本实验条件下, 含 0.3% 铈与不含稀土铝线的电阻率值都有波动, 但相互间没有明显的差异, 即看不出稀土有明显降低铝导线电阻率的作用。

3 讨论

有三个问题值得讨论: (1) 我们在实验过程中, 多次发现加入稀土的回收率波动较明显。所以, 在不能消除这种波动以前, 用稀土含量而不用加入量来说明稀土的作用比较合理; (2) 不久前, 文献^[6]曾报导用含铁较高的 8xxx 铝导线取代 EC 或 1350 铝导线以提高其塑性的研究。新材料的含铁量为 0.25–1.0%。所列 5 种材料的导电率都在 61% IACS 以上, 是否

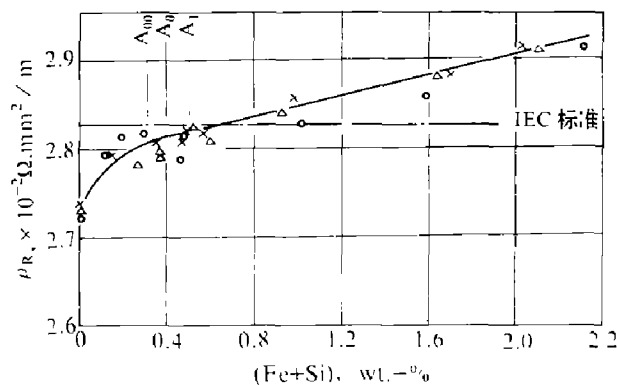


图3 稀土对不同杂质含量的铝线电阻率的影响

O—未加稀土; X—加 0.3% 铈;

Δ —加 0.3% 混合稀土

在这些材料中铁对铝材的导电性并无明显的不利影响? (3)稀土对高纯铝的导电性不利, 这是已被公认的事实。但在工业纯铝中, 不论稀土能否抵消一部分铁和硅的不利影响, 稀土本身的不利影响是否还和高纯铝一样仍然存在? 这是至今没有阐明的问題。它只能通过更深入

的研究才可能弄清。

4 结论

实验表明, 在所研究的高纯铝中或在含有较多杂质 Fe 和 Si 的工业纯铝导线中, 铈及混合稀土都没有降低其电阻率的作用。在高纯铝中、稀土和铁都使电阻率增加, 但稀土的影响比铁的小。

参考文献

- 1 Venkatesan P S *et al.* Met. Trans., 1970, 1; 2683
- 2 Hirschhorn I S. J. Metals, 1970, 22 (10) : 40
- 3 Raman A. Z. fur Metalls, 1977, 68 (3) : 163
- 4 Kovacs C E. Magy. Alum., 1977, 14 (6) : 191 (Met. Abstr, 7805, 710228)
- 5 Iencin M *et al.* Cercat. Metal, 1977, 18; 537 (Met. Abstr, 7912, 313060)
- 6 Harry E. Metal Progress, 1984, 125 (7) : 21