

文章编号 :1005-2712(2010)(3-4)-0112-03

高电导率高屈服强度铝合金的研制

卢永红

(西南铝业(集团)有限责任公司,重庆 401326)

摘要:用正交试验法对比分析了纯铝合金中添加 Fe、Cu、Mg、Zn 对其电导率及屈服强度的影响程度;并由此进行成分配比,通过挤压加工试验,研制出一种高电导率高屈服强度铝合金型材,H112 状态电导率达 60% IACS 左右、屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 大于 90MPa。

关键词:正交试验;铝合金;电导率;屈服强度;挤压加工

中图分类号:TG379 **文献标识码:**A

High Strength Alloy with High Conductivity Development

LU Yong-hong

(Southwest Aluminum (Group) Co., Ltd., Chongqing 401326,China)

Abstract: Compared with the orthogonal test of pure aluminum add Fe, Cu, Mg, Zn conductivity and yield strength of its influence; and thus to the ratio between processing by extrusion test, develop and produce a kind of high conductivity with high strength aluminum alloy, H112 state about 60% IACS conductivity and yield strength $\sigma_{0.2}$ greater than 90MPa.

Key words: orthogonal; Al alloy; conductivity; yield strength; extrusion

AA1060 铝合金在使用时要求高的电导率及高的屈服强度,但生产试验表明,AA1060 铝合金电导率可达 61%IACS,但挤压 H112 型材屈服强度只有 40MPa 左右,为提高合金强度,在该合金中单独添加适量的 Fe、Mg、Zr,调整挤压工艺参数,型材屈服强度也不高于 75MPa,且随着合金元素的增加,铝合金材料电导率明显下降。AA1060 合金中添加 Fe、Mg、Zr 后挤压成品性能检测结果如表 1。

表 1 添加不同元素后挤压成品性能

添加合金元素	挤压工艺	屈服强度 / MPa	抗拉强度 / MPa	电导率 / %IACS
Fe	高温挤压	39~48	78~83	59.00~60.88
	低温挤压	57~63	79~100	60.88~61.62
Mg	高温挤压	57~65	78~79	57.02~57.12
	低温挤压	72~75	91~95	59.64~60.2
Fe+Zr	低温挤压	72~75	109~113	56.93~58.43

本研究采用正交试验法分析纯铝合金中添加元

素对导电性能和强度的影响程度,由此确定新型合金的成分配比,结合挤压加工,研制出高电导率高屈服强度的铝合金型材。

1 试验过程

1.1 合金元素的确立

纯铝合金中合金元素对导电性能的不利影响主要包括两个方面:一是固溶于铝基体中的合金元素将引起铝合金电导率的下降,如改变了能带结构等;二是异类原子引起铝基体晶格发生畸变而增加对电子散射作用。而纯铝合金强度的提高,则主要依靠形变强化和过剩相强化。

在常用的电工铝材中添加元素含量较多的是 Fe,因为 Fe 在铝基体中形成 $FeAl_3$ 化合物后,具有明显的强化作用,对电导率降低作用较小^[1]。Cu 在纯铝中有明显的固溶强化作用,当合金固溶体有序化时,

收稿日期 2010-07-27

作者简介:卢永红(1968-),女,高级工程师。

晶体的离子电场更加对称,残留电阻减小,材料电阻便降低。 Mg 、 Zn 在纯铝中具有一定的强化作用。

因此,拟定以 Fe 、 Cu 、 Mg 、 Zn 为新铝合金的主要添加元素,同时,限制 Mn 、 Zr 、 V 等元素的含量。

1.2 实验过程

采用正交 $L_9(3^4)$ 试验,在 $SG-7.5-20$ 坩埚电阻炉内熔炼所设计的 9 组成分配方;每一组合金成分配方添加元素完全溶解后,经除渣、精炼后,浇注出 2 件 $\Phi 50mm$ 测试成分和电导率的试样以及 3 件标准拉伸试样棒,其中拉伸试样棒外观无铸造缺陷。

对比正交试验各组配方抗拉强度 σ_b 和电导率值,分析添加 Fe 、 Cu 、 Mg 、 Zn 元素对电导率和力学强度的影响程度。最终确定对铝合金强度提高较多、电导率降低较小的添加元素,综合考虑后制定最终的成分配比。

根据最终的成分配比,用 300kg 熔炼炉经精炼除气、过滤等工序后铸成 $\Phi 250mm$ 铸棒。

考虑到型材强度要求,在 2500t 油压机中挤压加工时,尽量降低挤压温度和挤压速度,使材料组织更均匀,材料变形程度增大。

挤压型材成品取哑铃型标准拉伸试样检测材料的屈服强度;取规格 $6mm \times 6mm$ 试样检测电导率指标,并对成品材料进行金相组织检测。

2 试验结果及分析

表 2 为合金成分配方正交试验表,抗拉强度 σ_b 和电导率为各组配方平均值。

2.1 新合金成分配比试验结果极差分析

由表 2 可知,合金中 Fe 含量 $0.46\% \sim 0.86\%$,

Cu $0.10\% \sim 0.34\%$, Mg $0.05\% \sim 0.30\%$, Zn $0.08\% \sim 0.40\%$ 范围, $Fe_1Cu_2Zn_2Mg_2$ (下标为该因素的水平号)电导率最高 58.92% IACS, $Fe_1Cu_1Zn_1Mg_1$ 抗拉强度最高 107MPa。极差分析,材料抗拉强度第一列位级 1 之和为 310,第二列位级 3 之和为 298,第三列位级 1 之和为 302,第四列位级 2 之和为 288,可能高强度水平配合成分为 $0.85\% Fe$, $0.32\% Cu$, $0.30\% Mg$, $0.24\% Zn$ 。

另一方面,电导率第一列位级 1 之和为 170.59,第二列位级 1 之和为 171.79,第三列位级 2 之和为 174.85,第四列位级 2 之和为 170.23,最好的导电水平配方为 $0.85\% Fe$, $0.10\% Cu$, $0.05\% Mg$, $0.24\% Zn$ 。

由极差(R_j)大小可知,利于提高强度依次排列为 $Fe \rightarrow Mg \rightarrow Cu \rightarrow Zn$,降低材料电导率水平依次排列为 $Mg \rightarrow Cu \rightarrow Fe \rightarrow Zn$ 。

Fe 在纯铝中随添加量的增加,强度明显提高,而电导率变化不大; Cu 对合金强度的提高比 Zn 的作用大,降低电导率水平比 Mg 小。 Mg 原子半径与铝相差较大, Mg 在铝固溶体中含量越多,引起晶格畸变越严重^[2], Mg 含量增加到 0.30% 后,强度提高而电导率明显下降; Zn 原子半径与铝接近,锌含量对铝晶格畸变影响不大,所以 Zn 含量增加对合金强度的提高和电导率的降低作用较小。

因此,最终选用在纯铝合金中主要添加 $0.80\% Fe$ 和 $0.30\% Cu$ 作为感应板型材合金成分。

2.2 新合金挤压型材成品性能

为提高合金强度,采用了高、低温挤压两种工艺,挤压成品电导率及强度见表 3。

2.3 新合金型材组织分析

为避免材料电导率下降过大,控制杂质元素含

表 2 成分配比正交试验表

因素序列号	Fe /%	Cu /%	Mg /%	Zn /%	σ_b /MPa	%IACS
	1	2	3	4		
1	1(0.86)	1(0.10)	1(0.30)	1(0.08)	107	56.23
2	1(0.85)	2(0.18)	2(0.05)	2(0.24)	100	58.92
3	1(0.84)	3(0.32)	3(0.15)	3(0.40)	103	55.44
4	2(0.62)	1(0.12)	2(0.04)	3(0.38)	87	58.20
5	2(0.63)	2(0.18)	3(0.16)	1(0.12)	81	55.82
6	2(0.69)	3(0.29)	1(0.29)	2(0.22)	104	53.95
7	3(0.45)	1(0.11)	3(0.12)	2(0.25)	84	57.36
8	3(0.40)	2(0.19)	1(0.30)	3(0.38)	91	54.64
9	3(0.43)	3(0.30)	2(0.06)	1(0.11)	91	57.73
j	310/170.59	278/171.79	302/164.82	279/169.78		
j	272/167.97	272/169.38	278/174.85	288/170.23		
j	266/169.73	298/167.12	268/168.62	281/168.28		$j=1,2,3,$
极差(R_j)	44/2.62	26/4.67	34 /10.03	9 /1.95		

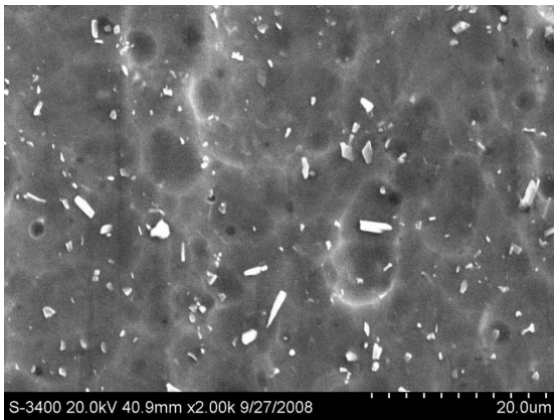
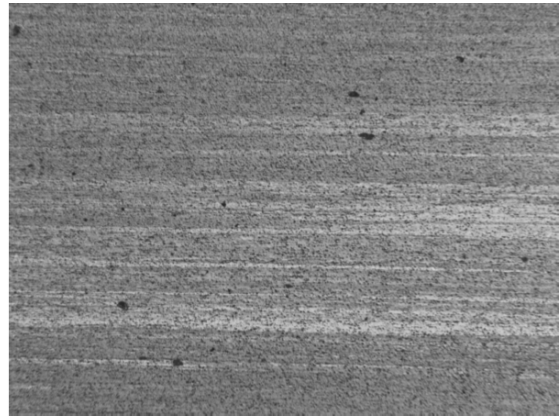
表3 合金挤压型材成品性能

编号	挤压工艺	元素组分 /%			铸态电导率 / %IACS	挤压型材		
		Si	Fe	Cu		电导率 /%IACS	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa
6-683-1	高温挤压	0.10	0.80	0.30	58.40	60.06~60.42	56~61	86~121
6-683-2	低温挤压	0.10	0.80	0.30	58.40	60.75~61.49	98~106	124~127

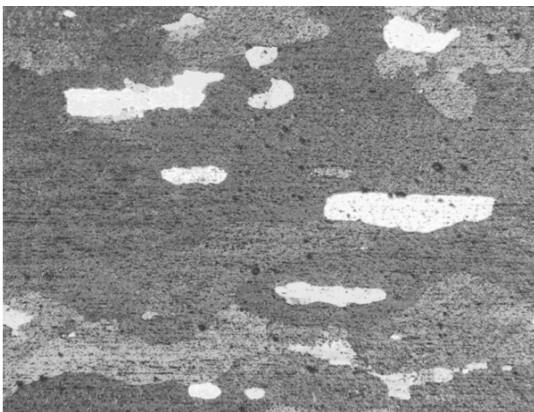
量,型材成品组织中Fe与Al形成片状、针状 $FeAl_3$ 和与Cu形成块状 $AlFeCu$ 相化合物,有助于提高合金强度,同时对电导率的降低较小,组织见图1。

挤压过程中,为提高材料的强度,降低了挤压温度,增大挤压力,使金属抗变形力增加,组织变形量增大,金属内部的晶粒、杂质和第二相及各种缺陷沿最大延伸主变形方向被拉长、拉细,

晶间化合物破碎程度加大,分布弥散、均匀;同时,降低挤压速度,金属流动更均匀,金属温升小,热平衡好,制品结晶生长及再结晶速度减慢,材料内部呈较细的热变形纤维组织,材料强度明显提高。晶间物质的破坏使晶粒直接接触,晶粒位向有序化,电阻随变形程度的增加而减少,热变形纤维组织见图2。

图1 低温挤压成品化合物SEM形貌($\times 2000$)图2 热变形纤维组织($\times 100$)

铸棒采用高挤压温度,晶粒生长及再结晶速度加快,挤压制品为热变形完全再结晶组织,材料强度明显降低,热变形再结晶组织见图3。

图3 热变形再结晶组织($\times 100$)

3 结论

(1) 铝合金电导率与合金元素密切相关,降低铝合金电导率水平的合金元素依次排列为 $Mg \rightarrow Cu \rightarrow Fe \rightarrow Zn$ 。

(2) 高电导率高屈服强度铝合金型材采用0.80% Fe、0.30% Cu成分配方,经挤压加工后,型材电导率为60% IACS左右,屈服强度达90MPa以上。

参考文献:

- [1] 肖亚庆, 谢水生. 铝加工技术实用手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005.
- [2] 宋禹田. 中强可焊铝锌镁合金挤压工艺试验[J]. 铝加工技术, 1990, (2): 15-19.