

# 改善铝合金导热性能途径的初探与分析

张建新<sup>1</sup>, 高爱华<sup>2</sup>

(1. 河南理工大学资源与材料工程系, 河南 焦作 454000; 2. 河南理工大学机械工程系, 河南 焦作 454000)

**摘要:**讨论晶粒细化、热处理制度、合金元素及稀土添加剂对 6063 铝合金导热性能的影响, 在分析实验数据的基础上, 阐述了各影响因素的作用机理。结果表明良好的铸态组织、适宜的时效制度、合理的合金元素配比与适量稀土处理剂均能不同程度的提高材料的导热系数。

**关键词:**6063 铝合金; 导热性能; 导热系数

**中图分类号:**TG146.2+1; TG113.22+3 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-8365(2004)09-0719-03

## Study on the Approach of Improving Heat Transfer for Aluminum

ZHANG Jian-xin<sup>1</sup>, GAO Ai-hua<sup>2</sup>

(1. Dept. of Research and Material Engineering Henan University of Technology; 2. Dept. of Machine and Engineering, Henan University of Technology, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** The paper discusses the heat conductivity of 6063 Al alloy through grain refine, heat treatment, alloying such as adding rare earth elements. The result show that fine grain, appropriate aging, reasonable alloying with rare earth elements, can improve its heat conductivity.

**Key words:** 6063 Al alloy; Heat Transfer; Heat conductivity

6063 铝合金属于 Al-Mg-Si 系合金, 由于其具有较高强度, 良好的塑性和适中的导热性能<sup>[1]</sup>, 因而常被用来挤压形状复杂的散热材料, 如电脑上用的散热片就是用 6063 铝合金开发出来的。然而随着时代的发展, 目前的电脑不仅携带方便, 而且功能强大, 对合金材料的导热性能提出了更高要求, 过去的常规合金材料已不能满足散热需要, 这就使得开发高热导率、高性能 6063 铝合金变得尤为重要。

改善铝合金导热性能的研究是一个崭新课题, 有关这方面的文献报导并不多, 我们课题组人员从分析合金材料的成分与内部组织入手, 借助实验室所得数据, 研究分析了晶粒细化、热处理制度、合金元素及稀土添加剂 4 个方面的因素对铝合金的导热性能的影响。

### 1 实验原理与方法

由于金属中热传导的载体是自由移动的电子, 所以具有较高导电能力的金属必然具有较高的导热能力。由 Wiedemann-Franz 定律可知, 在室温下, 大多数金属的导热系数与导电系数之比是一个定值<sup>[2]</sup>, 用公式可表示为:

$$\lambda/\delta = LT \quad (1)$$

式中  $\lambda$ ——导热系数;

$\delta$ ——导电系数;

$L$ ——洛伦兹常数, 对铝而言  $L = 2.2 \times 10^{-8} \text{ W}\Omega/\text{K}^2$ , 室温时温度  $T = 298\text{K}$ 。

所以, 测得导电系数的比较值, 便可推出导热系数的对应值。

实验中采用电脑散热系统常用的 6063 铝合金作为研究对象, 化学成分  $w$ : 0.45%~0.9% Mg, 0.2%~0.6% Si, <0.35% Fe, <0.1% Cu, <0.1% Mn, <0.1% Zn, <0.1% Ti, 余量 Al。配制好相应试样的合金后, 在电阻炉中用石墨坩埚熔炼, 然后浇注成  $\phi 80 \text{ mm} \times 185 \text{ mm}$  铸锭, 经 300 t 油压机挤压出  $40 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$  铝排后, 用箱式电阻炉进行热处理, 最后用 7501 涡流导电仪测量其电导率的比较值, 再由(1)式计算出相应导热系数。

### 2 实验结果与分析

#### 2.1 晶粒细化的影响

对于成分相同的 6063 铝合金熔体, 采取不同浇注方式, 得到的铸态组织如图 1 所示: a 图是普通方式得到的铸态组织, 晶粒较粗大, 而 b 图是提高过冷度后得到的铸态组织, 晶粒较细小。分别测定它们的导热系数, 数据如表 1 所示; 可以看出, 两者的导热系数存在一定差别, 晶粒细小的合金导热能力不如晶粒粗大的合金好。

表 1 晶粒细化对导热系数的影响

Tab. 1 Effect of the grain refinement on the heat conductivity

序号	浇铸方式	铸态组织	导电系数	导热系数/(W/m·K)
a	普通冷却	晶粒粗大	29.8	0.000 195
b	强制冷却	晶粒细小	28.4	0.000 186

说明: 用 7501 涡流导电仪测定的导电系数是比较值, 没有主单位。

收稿日期: 2004-05-24; 修订日期: 2004-06-08

作者简介: 张建新(1971-), 河南夏邑人, 硕士, 研究方向: 材料科学的教学与研究工作。

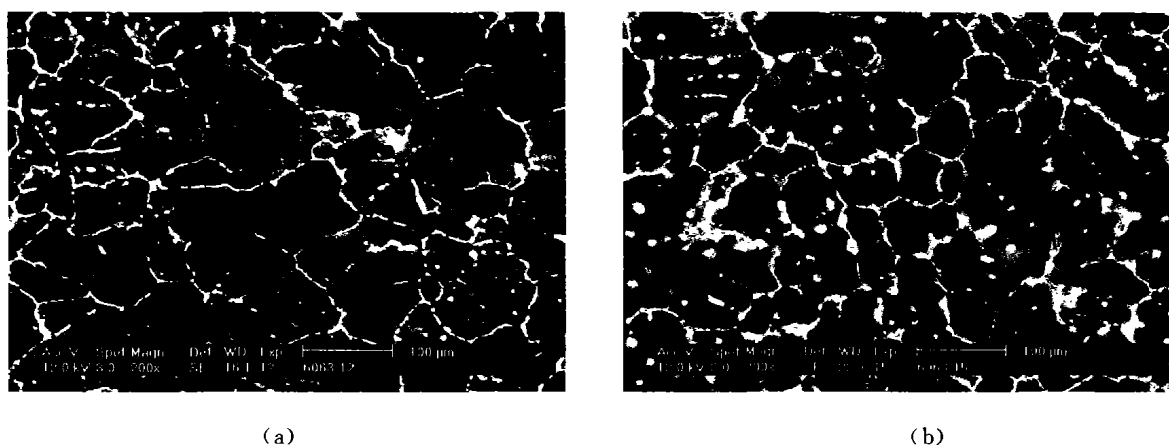


图1 不同浇注方式得到的铸态组织

Fig. 1 As-cast structure by different pouring means

分析表1数据知道,晶粒细化对合金导热系数存在4%~5%的影响,试样(a)的导热性能明显优于试样(b)。晶粒细化对改善合金强度有一定的积极作用<sup>[2]</sup>,但是无助于合金导热系数的提高,因为晶界是一种面缺陷,对自由电子的运动有明显阻碍作用,致使热传导载体的有效速率下降,从而延缓了合金材料的热量交换速度<sup>[3]</sup>。从合金组织的电镜扫描照片分析,试样(a)的晶粒粗大、晶界少,对金属热交换的阻碍不如试样(b)强烈,所以前者的导热效果优于后者。

## 2.2 热处理制度的影响

化学成分相同的铝合金,采用不同的时效温度,它们的导热系数有很大差别,图2是时效制度与合金导热系数的关系曲线。从图中可以分析出以下几点结论:①3种时效制度相比,经200℃热处理后合金导热能力较高;②升高时效温度有助于导热系数峰值的回升,但随后的热处理中又出现下降趋势;③当时效温度较低时(低于人工时效温度175℃),合金达到导热系数峰值的时间较长,而且导热能力不佳。

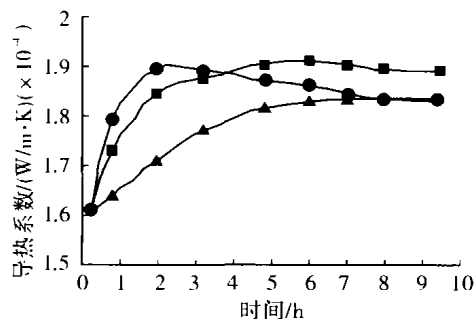


图2 时效制度对合金导热系数的影响

Fig. 2 Aging effect to heat conductivity

从以下几个方面分析热处理制度对铝合金导热性能的影响机理:①在时效温度较高时,由于原子扩散容易,合金组织中的缺陷(如空位、位错等)修复速度较快,所以合金导热系数的上升幅度较大,达到峰值的时

间较温度低时短,但在后续热处理中,合金中过剩的Si(铝镁硅系合金中一般存在过量Si)固溶于合金组织中,减少了游离态Si元素的数量,因此出现了导热能力下降的趋势;②在时效温度较低时,由于原子扩散较慢,合金组织中的缺陷不易修复,即使时很长时间,组织中的缺陷也只能部分得到修复,且过剩的游离Si元素溶解量很少,所以合金导热系数达到峰值的时间长、数值低;实验中发现,针对6063铝合金使用200℃、6h时效制度较为适宜。另外,需要指出的是:冷却方式对合金导热能力也有重要影响,随炉冷却的合金导热能力明显优于空气冷却<sup>[5,6]</sup>。

## 2.3 合金元素的影响

铝合金中的合金元素是影响其导热性能的主要因素之一,合金元素对铝合金导热性能的影响取决于元素的加入量和其存在形式<sup>[7]</sup>。由6063铝合金的化学成分知道,其主要合金元素是Mg和Si,是为了改善合金强度而加入的,当镁硅质量比等于1.73时恰好生成强化相 $Mg_2Si$ ,但在实际配制该合金时,为了合理改善力学性能,一般有少量过剩硅存在。实验中根据不同的镁硅比熔炼相应试样,测得的实验数据见表3,可以看出Mg、Si质量比略小于1.73时,合金具有较高的导热能力。

表2 合金元素对导热系数的影响

Tab. 2 Effect of the alloy element on the heat conductivity

序号	镁硅比值	铁含量(%)	导电系数	导热系数/(W/m·K)
1	1.56	0.20	28.0	0.000 183
2	1.66	0.15	29.3	0.000 192
3	1.73	0.20	29.1	0.000 190
4	1.78	0.15	27.5	0.000 180
5	1.83	0.20	26.0	0.000 171

一般来说,合金元素影响基体组织的均匀性和纯净度,均不利于导热。因此,除了由于合金元素的加入

产生第二相作用外,几乎所有的合金元素都降低合金的热导率。镁是工业铝合金中最常见的强化元素,通常镁含量较低时,合金的热导率较高而强度稍低,实验中也证实了这一点。当镁硅比值较大时,过剩的镁不仅削弱  $Mg_2Si$  的强化机制,还增加了自身在铝基体中的固溶度,所以合金的导热性能下降显著;另外,研究表明,固溶态元素引起热导率的下降远大于析出态的元素。当镁硅比值为 1.66 时,铝合金中过剩的微量 Si 刚好与 Fe 弥散分布于铝基体中,二者形成  $\beta$  ( $Al_3Fe_2Si_2$ ) 粗大相的几率很小,所以合金的导热能力良好;当硅过剩量较多时,过剩的硅不仅固溶于铝基体中,并且与铁比值适当时,极易向化合态的  $\beta$  相转化,因此导热能力有所下降。

#### 2.4 稀土添加剂的影响

稀土在铝合金熔体处理方面应用广泛,具有合理改善组织性能的作用,本次实验在分析前人文献的基础上,着重研究了稀土含量对 6063 铝合金导热性能的影响。研究表明,当稀土的含量小于 0.1% 时,它对合金导热性能的影响不明显,稀土的作用是局部的,合金的整体导热能力处于较低水平;当稀土添加剂含量达到 0.15% 以上时,其改善组织性能的作用明显上升,继续向铝合金熔体中增加稀土的含量,可以发现,当加入量达到 0.30% 时效果最佳,通过观察其铸态金相组织,发现晶粒均匀、晶界偏析与夹杂数量少,组织较致密;当加入量超过 0.30% 后,稀土的作用效果开始下降,通过扫描电镜观察到晶粒与晶界处均有偏析存在。

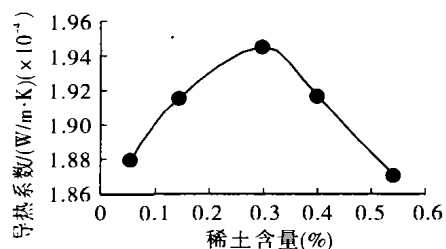


图 3 稀土对导热系数的影响

Fig. 3 Effect of rare earth on the heat conductivity

适量稀土添加剂对 6063 导热性能的改善作用可以从以下几个方面得到解释:①稀土可作为铝合金的精炼剂,对熔体具有除气作用,大大减少了组织中的针孔率;②稀土的加入明显降低了铝合金的杂质含量,加强了合金化的程度,组织较致密;③稀土对铸态组织具有变质作用,有效的控制了过剩元素的固溶度(稀土添加到铝合金熔体中,能与 Fe、Si 等合金元素生成过渡性化合物  $REFe_2$ 、 $RESi$ ),为合金的热处理准备了条件<sup>[8]</sup>。

#### 3 结论

(1)晶粒大小对合金导热系数有一定影响,细小晶

粒并不利于 6063 铝合金导热性能的发挥。

(2)合理的热处理制度对改善合金导热性能有积极作用,一般 200 °C × 6 h 时效处理较为合适。

(3)合金元素的加入量与存在方式对铝合金的导热性能有重要影响,取合金元素下限配制成分有助于材料导热。

(4)适量稀土添加剂对 6063 铝合金熔体具有变质作用,能有效提高铝合金材料的导热能力。

#### 参考文献

- [1] 武 恭,姚良均,李震夏,等编著. 铝及铝合金材料手册 [M]. 北京:科学出版社. 1994.
- [2] 赵乃勤,姚家鑫,杨贤金,等. 稀土对 6063 铝合金组织性能的影响[J]. 天津大学学报, 1995(3):376-378.
- [3] 潭 真,郭广文. 工程合金热物性[M]. 北京:冶金工业出版社. 1994
- [4] 杨涤心,夏 青,杨留栓,等. 铸造铝-硅合金的电导率与化学成分[J]. 特种铸造及有色合金, 2002(4):59-60.
- [5] 王学书,聂 波,谢延翠,等. 热处理制度对 7075 铝合金电导率的影响[J]. 轻合金加工技术, 2001(7):41-42.
- [6] 刘顺华,毕国权,李长茂,等. 退火改善铝导体的组织与性能[J]. 机械工程材料, 2000(3):41-42.
- [7] 王宗和,周光永. 根据工艺和材料用途控制 6063 铝合金的成分[J]. 轻合金加工技术, 2000(12):31-32.
- [8] 饶 克,钟建华,傅群强,等. 稀土对 6063 铝合金导电、导热性能的影响[J]. 铝加工, 2002(6):23-24.

#### 铸造技术资料

资料名称	邮购价
铸件均衡凝固技术及其应用(机械工业出版社)	62 元
铸件浇注系统当冒口补缩设计方法(西安理工大学)	44 元
型砂(第 2 版)(上海科技出版社)	70 元
合金元素在铸铁中的应用(西安交通大学出版社)	15 元
《铸造技术》2000 年、2001 年合订本(6 册)	68 元
《铸造技术》2003 年合订本(6 册)	78 元
铸造手册(第 6 卷)特种铸造(第 2 版)	82 元
铸造手册(第 5 卷)铸造工艺(第 2 版)	98 元
铸造手册(第 4 卷)造型材料(第 2 版)	48 元
铸造手册(第 3 卷)铸造非铁合金(第 2 版)	78 元
铸造手册(第 2 卷)铸钢(第 2 版)	74 元
铸造手册(第 1 卷)铸铁(第 2 版)	88 元

(铸造手册一套 6 册 468 元)

邮局汇款:710048 西安理工大学 608# 邓宏运

银行汇款户名:西安市铸造学会

帐号:3700 0235 0908 9312 711

开户行:西安工行互助路分理处

电话:(029) 82312292 87732117

传真:(029) 83297496 83282430

Email:zzjs@263. net. cn