

文章编号:1671-6833(2014)02-0100-04

# 硅元素对 Zn-75Al 合金组织及性能的影响

李永刚, 赵向南, 范桂霞, 孔亚萍

(郑州大学 材料科学与工程学院, 河南 郑州 450001)

**摘 要:** 锌铝合金以其优异的铸造性能、机械性能以及耐磨减磨性能成为近年的研究热点之一。笔者通过金相显微镜、TH700 型维氏硬度计、电子万能试验机及 MMU-10G 磨损试验机研究了 Si 元素对 Zn-75Al 合金微观组织、力学性能及干摩擦性能的影响。结果表明: Zn-75Al 合金添加 Si 元素后, 试验合金微观组织中析出共晶硅相, 当 Si 含量小于 3% 时, 共晶硅均匀分布, 而硅含量大于 3% 时, 共晶硅尺寸变大, 出现微观偏析, 并析出少量形状不规则的初晶硅相; 试验合金的维氏硬度增加, 伸长率逐渐降低, 而抗拉强度先增加后降低, 当硅含量为 3% 时, 抗拉强度最大; 摩擦系数及磨损量先降低后增加, 当硅含量为 3% 时, 合金的耐磨性能最好。

**关键词:** 锌铝合金; 微观组织; 力学性能; 干滑动摩擦

**中图分类号:** TG113 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.02.023

## 0 引言

锌铝合金以其优异的铸造性能、机械性能以及耐磨减磨性能成为近年的研究热点之一, 在很多场合已代替铜合金作耐磨材料, 应用于机械、冶金、矿山等行业。锌铝合金尽管有着许多优异的性能, 但也存在一些缺陷: 在工作温度  $> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  时, 其力学性能急剧下降、摩擦系数增大及热稳定性变差等<sup>[1-2]</sup>, 限制了锌铝合金的应用。研究表明: 在锌铝合金中添加 Si 元素, 不仅可以提高合金的力学性能, 同时增加硬质点提高合金的耐磨性能, 可以有效改善合金热稳定性<sup>[3-4]</sup>。合金中铝含量的变化对合金的强度及硬度能产生较大变化, Temel Savaskan 等人通过提高合金中铝的含量, 研究了铝含量大于 50% 的锌铝二元合金, 发现 Zn-75Al 二元合金的综合力学性能最好<sup>[5]</sup>。笔者在 Zn-75Al 二元合金的基础上添加 Si 元素, 制得 Zn-75Al-(1-5)Si 合金, 研究了 Zn-75Al-(1-5)Si 合金的组织及性能, 为锌铝合金的研究提供理论依据, 扩大其应用范围。

## 1 试验方法

实验原料配制选用 0# 锌锭 (纯度  $> 99.99\%$ )、工业纯铝 (纯度  $> 99.7\%$ )、速熔硅 (纯度  $>$

95%), 试验合金中硅元素添加量质量分数分别为 0%、1%、2%、3%、4%、5%。将 Al 块放入 SG2-7.5-12 型坩埚电阻炉内, 待铝锭完全融化后, 调温至  $760\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 加入速熔硅, 保温 30 min 后, 加入 Zn, 通高纯氩气精炼, 扒渣, 浇入预热至  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  的金属模具中, 其内腔尺寸为  $150\text{ mm} \times 120\text{ mm} \times 9\text{ mm}$ , 浇铸温度为  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

显微组织及磨损表面的观察与分析用 OlympusH2-UMA 型金相显微镜。维氏硬度测试在 TH700 型维氏硬度计上进行, 室温拉伸试样按照《金属拉伸实验试样》(GB/T6397-1986) 加工试样尺寸。

干摩擦磨损试验采用止推圈摩擦副, 试样尺寸如图 1 所示。上试样为 45# 钢, 下试样为试验合金, 载荷为 200 N, 转速 100 r/min, 磨前与磨后试样分别在精度为 0.000 1 g 分析天平上称重, 然后计算出磨损失重。

## 2 结果与讨论

### 2.1 合金的显微组织及力学性能

图 2 为不同硅含量试验合金的金相组织照片。如图所示, 不加 Si 的 Zn-75Al 合金的微观组织是由富铝  $\alpha$  树枝晶、共析 ( $\alpha + \eta$ ) 相组成。加入 Si 元素后, 析出共晶硅相, 并且随着 Si 含量的增

收稿日期:2013-11-01; 修订日期:2013-12-28

作者简介:李永刚(1967-), 男, 河南漯河人, 郑州大学副教授, 硕士, 主要从事锌铝合金方面的研究, E-mail: kangda-vvuf@126.com.

加,共晶硅的数量增多、尺寸增大.当 Si 添加量低于 3% 时,共晶硅大多均匀分布在晶界处,而 Si 添加量超过 3% 时,合金中共晶硅相呈不均匀分布,出现微观偏析.并且当 Si 添加量超过 3% 时,析出不规则形状初晶硅.

图 3 为不同硅含量试验合金的维氏硬度、抗拉强度及伸长率变化曲线.如图 3 所示,随着 Si 元素含量的增加,试验合金的维氏硬度逐渐增加,当 Si 含量为 5% 时,合金的维氏硬度最大,为 147 HV.伸长率随 Si 含量的增加而逐渐降低,当 Si 含量为 5% 时,合金的伸长率最低,为 3.25%,抗拉强度随 Si 含量的增加先增加后降低,当 Si 含量为 3% 时,合金抗拉强度最大为 315.3 MPa.如图 2 所示,试验合金的金相组织中硅以硬质点的形式单独存在,随着 Si 添加量的增加,合金的共晶硅数目增多,均匀分布于晶界处,合金的硬度增加,抗拉强度增加,然而 Si 添加量大于 3% 时,合金中共晶硅尺寸变大,且分布极不均匀,并出现不规则

形状初晶硅,割裂了基体,并且由于硅颗粒的脆性随其尺寸的增加而增大,粗大共晶硅及初晶硅增加了合金产生微裂纹倾向的几率<sup>[6-7]</sup>,故合金抗拉强度降低.

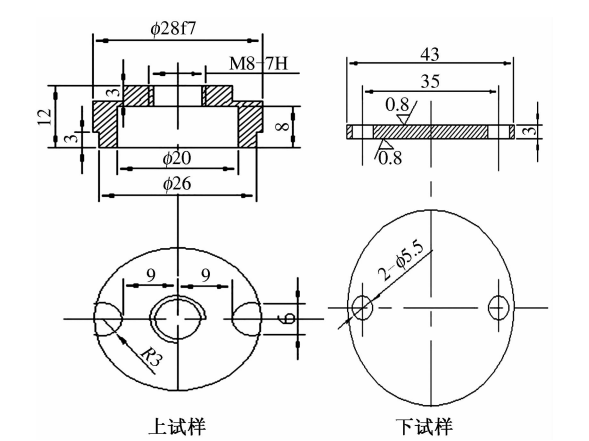


图 1 摩擦磨损试样  
Fig. 1 The shape and size of friction and wear tested specimen

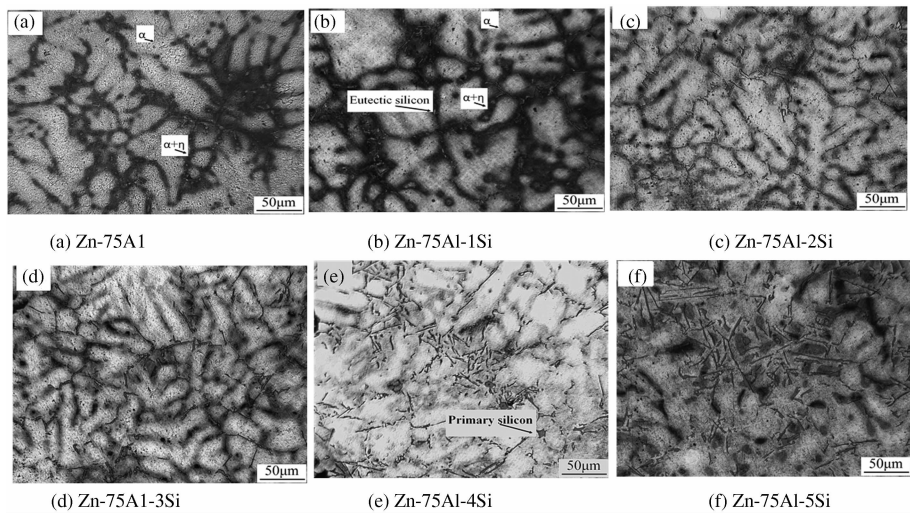


图 2 各试验合金金相组织  
Fig. 2 Microstructures of alloys

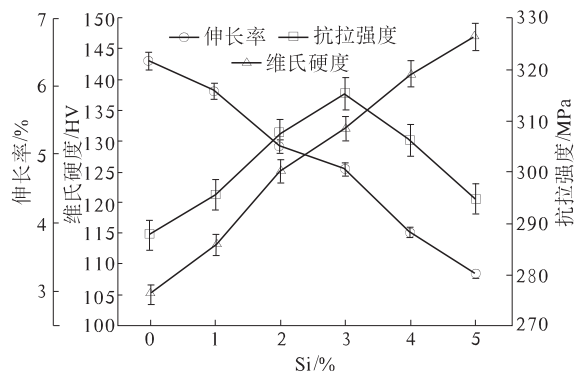


图 3 各试验合金的维氏硬度、抗拉强度及伸长率  
Fig. 3 The change in hardness, tensile and percentage elongation to fracture of the alloys with silicon content

2.2 摩擦磨损性能

图 4 为不同硅含量试验合金的摩擦系数及磨损量对比曲线.如图所示,随着硅添加量的增加,合金摩擦系数及磨损量先降低后增大,当 Si 质量分数为 3% 时,合金摩擦系数为 0.054,磨损量为 61 mg.

合金在一定载荷下磨损时,合金的耐磨性能与第二相的大小、分布、形貌及与基体的结合有关<sup>[8-9]</sup>.如图 2 所示,在锌铝合金中,硅几乎不与锌、铝形成化合物,而以共晶硅相或初晶硅相析出,并且随着硅含量的增加,合金中共晶硅尺寸增大.当硅含量大于 3% 时,共晶硅相出现微观偏

析,无规律的富集在基体的某一区域,并出现不规则形状初晶硅,易与基体产生应力<sup>[9]</sup>,在载荷相同的情况下,剥落的几率增大,并且随着硅添加量的增加,共晶硅尺寸增大,摩擦副的受力面积增大.因此,合金的摩擦系数随着硅含量的增加而逐渐增大.

图 5 分别为不同硅含量试验合金的磨损表面.如图所示,Zn-75Al 合金的表面有较深的犁沟,随着硅元素的添加,磨损表面的犁沟变浅,表现为典型的磨粒磨损机理.由 Archard 方程<sup>[10]</sup>可知,磨损量与合金的强度及硬度有关,强度及硬度越大,其磨损量越小,图 4 中合金磨损量变化曲线也证明了这一点,Zn-75Al-3Si 合金的抗拉强度最大,其磨损量最小.然而当硅含量大于 3% 时,出现不规则形状初晶硅,与基体的结合力减小,使合金产生微裂纹的几率增大<sup>[6-7]</sup>,导致合金的强度降低,并且不规则形状初晶硅的脆性增大,

易于剥落,剥落后的颗粒形成新的磨粒,从而加剧合金的磨损,磨损量随之增大.

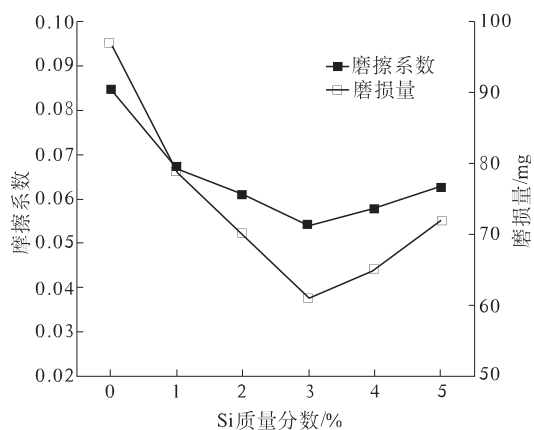


图 4 不同硅含量试验合金的摩擦系数及磨损量对比曲线

Fig. 4 The change of the friction coefficient and wear volume of the alloys as a function of silicon content

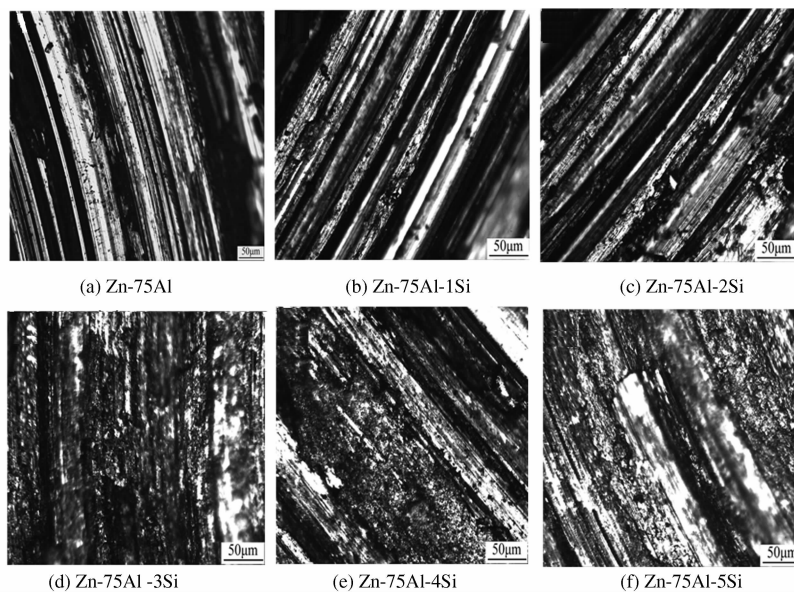


图 5 试验合金磨损表面

Fig. 5 Wear surfaces of alloys

### 3 结论

(1) Zn-75Al 合金添加 Si 元素后,试验合金微观组织中出现共晶硅相,且随着 Si 含量的增加数目增多,尺寸变大.当 Si 添加量超过 3% 时,合金中共晶硅相出现微观偏析,并析出少量形状不规则的初晶硅相;

(2) 随着 Si 元素的添加,合金的维氏硬度增加,伸长率逐渐降低,而抗拉强度先增加后降低,当硅含量为 3% 时,抗拉强度最大;

(3) 在所研究的合金范围内,Zn-75Al-3Si

合金的耐磨性能最好.

### 参考文献:

- [1] 高伦. 锌与锌合金及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2011.
- [2] 纪刚,孙静,王吉岱. 高铝锌基合金的研究进展及应用[J]. 材料热处理技术,2011,40(8):52-54.
- [3] Yasin Alemdag, T. Sava skan. Effects of silicon content on the mechanical properties and lubricated wear behaviour of Al-40Zn-3Cu-(0-5)Si alloys[J]. Tribol Lett,2008,29(1):221-227.
- [4] 王瑾. 硅对 Zn-40Al-2.5Cu 合金性能的影响[J].

热加工工艺,2013,42(3):20-22.

[5] TEMEL S, OSMAN B, YASIN A. Developing aluminum-zinc-based a new alloy for tribological applications [J]. J Mater Sci,2009,44(1):1969-1976.

[6] TEMEL S, ALEV A. Effects of silicon content on the mechanical and tribological properties of monotectoid-based zinc-aluminium-silicon alloys[J]. Wear,2004,257(1):142-151.

[7] PRASAD B K. Tensile properties of some zinc-based alloys comprising 27.5% Al: effects of alloy micro-structure, composition and test conditions[J]. Mater. Sci. Eng,1998,245(2):257-266.

[8] TEMEL S, YASIN A. Effect of nickel additions on the mechanical and sliding wear properties of Al-40Zn-3Cu alloy [J]. Wear,2010,268(3-4):565-570.

[9] PRASAD B K. Effects of silicon addition and parameters on sliding wear characteristics of zinc-based alloys containing 37.5% aluminium Mater[J]. Trans. JIM, 1997,38(8):701-706.

[10] B. 布尚. 摩擦学导论[M]. 北京:机械工业出版社, 2006,182-186.

Effect of Silicon on Structure and Property of Zn-75Al Alloy

LI Yong-gang, ZHAO Xiang-nan, FAN Gui-xia, KONG Ya-ping

(School of Materials Science and Engineering, Zhengzhou Universty, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** In recent years, ZA alloy, as a result of its excellent casting performance, mechanical properties and wear resistance, has become one of the hot spot on ally study. This paper deals with the effect of Silicon on the microstructure, mechanism property and dry sliding wear of Zn-75Al Alloy by using OM, TH700 Vickers hardness tester, electronic universal testing machine and MMU-10G wear test instrument. The results show that addition of silicon to Zn-75Al resulted in the formation of eutectic silicon phase. It is evenly distributed when silicon content in alloy is less than 3%. However, It becomes larger, exhibits a kind of micro-segregation, and precipitates a small amount of irregularly shaped primary silicon phase when silicon content in alloy is more than 3%. With the increase of silicon content, the Vickers hardness of the alloys increases, the elongation decreases, while the tensile strength of the alloys increases firstly and then decreases, and it is maximum when silicon content is 3%; the coefficient of friction and volume loss of alloy decreases firstly and then increases, and the wear resistance of alloy is best when silicon content is 3%.

**Key words:** Zn-Al alloy, microstructure, mechanical performance, dry sliding friction