

Zr 对 Zn-11%Al-8%Cu 合金组织及性能的影响

刘洪军, 高 辉, 钱旺盛, 曹 驰

(兰州理工大学 甘肃省有色金属新材料省部共建国家重点实验室, 甘肃 兰州 730050)

摘 要:通过金相与电子显微分析和拉伸强度、硬度测试等方法,研究了元素 Zr 对 Zn-11%Al-8%Cu-Mg 合金微观组织和性能的影响。结果表明:Zr 的加入能够细化合金组织,Zr 元素多以 Zr-Zn-Al 化合物的形式存在,分布于初生相附近;Zr 的存在能够提高合金的强度和硬度,在钕加入量为 0.4% 时合金的性能最好。

关键词:Zr; Zn-Al-Cu 合金; 微观组织; 力学性能

中图分类号: TG146.1³

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2010)20-0019-04

Effect of Zr Content on Microstructure and Properties of Zn-11%Al-8%Cu-Mg Alloy

LIU Hongjun, GAO Hui, QIAN Wangsheng, CAO Chi

(State Key Laboratory of Gansu Advanced Non-ferrous Metal Materials, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: The effects of Zr addition on microstructure and properties of Zn-11%Al-8%Cu-Mg alloy were investigated by scanning electron microscope, electron probe micro-analyser, X-ray diffraction tensile test and hardness test. The results show that Zr addition refines microstructure, the element Zr usually exists in the form of compound ZrZnAl and distributes around primary grains; the strength and hardness are enhanced after Zr addition and the properties are best when the addition of Zr is 0.4%.

Key words: Zr; Zn-Al-Cu alloy; microstructure; mechanical property

锌基合金用作模具材料具有制造周期短、模具成本低和工艺简单的优点,同时又具有优良的综合性能,可以用于吹塑模、拉伸模和注塑模等领域^[1]。常用的模具锌基合金一般成分为 4%Al、3%Cu,虽然成型性能较好,但力学性能较差,限制了其应用。通过调整元素 Al 和 Cu 的含量,可以有效改善锌基合金的性能缺点,获得高性能的锌基合金模具材料。通过对 Al 含量为 4%~15%、Cu 含量为 3%~10% 的锌基合金的力学性能和铸造成型性进行研究,结果表明 Al 含量 9%~11%、Cu 含量 7%~9% 成分范围的模具锌基合金具有优良的综合性能^[2]。

除调整 Al、Cu 等主要元素外,人们还常用硼、钛、锰、锆和稀土等微量元素对锌基合金进行变质处理^[3-5]。元素锆可以明显改善锌铝合金的性能,本文主要研究了添加微量 Zr 对 Zn-11%Al-8%Cu 合金的组织及性能的影响。

收稿日期:2010-04-01

基金项目:甘肃省科技支撑项目(0708GKCA057)

作者简介:刘洪军(1974-),男,河北景县人,副教授,博士,主要研究方向为有色金属与快速制造;电话:0931-2976572;

E-mail:liuhongjung@163.com

1 实验方法

实验研究采用的合金化学成分见表 1。

表 1 实验用 Zn-11%Al-8%Cu-Zr 合金的化学成分 (质量分数,%)

Tab.1 Chemical composition of Zn-11%Al-8%Cu-Zr alloy (wt,%)

	Zn	Al	Cu	Mg	Zr
1 [#]	81.11	10.91	7.93	0.05	0
2 [#]	80.91	10.91	7.93	0.05	0.2
3 [#]	80.81	10.91	7.93	0.05	0.3
4 [#]	80.61	11.01	7.93	0.05	0.4
5 [#]	80.58	11.04	7.93	0.05	0.5

原料采用 1[#] 锌锭、0[#] 铝锭和 1[#] 镁锭,元素铜以 AlCu50 中间合金形式、微量元素锆以 AlZr10 中间合金形式加入。用石墨坩埚在电阻炉中进行熔炼,熔化好的合金在 470~480 °C 浇铸入金属模中制成 φ15 mm 的铸造试棒。

在试棒上取样,打磨抛光后用 4% HCl 溶液腐蚀,在 JSM-5600LV SEM 扫描电镜上观察微观组织,在 EPMA 电子探针上进行组织的元素含量和分布分析。

将试棒加工成直径 10 mm、标称长度 50 mm 的

拉伸试样，在 100D 微机控制电子式万能试验机上测试拉伸性能和伸长率；硬度数据用 HBRV-187.5 型布洛维光学硬度计测试 5 个点，取平均值。

2 实验结果和讨论

2.1 Zn-11%Al-8%Cu 合金的组织

Zn-11%Al-8%Cu 合金的 SEM 组织如图 1 所示。合金组织主要由初生枝晶相、共晶及共析层片

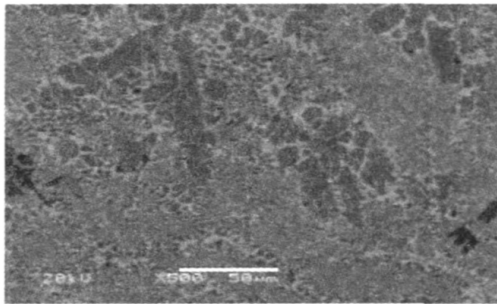


图 1 Zn-11%Al-8%Cu 合金的 SEM 组织
Fig.1 SEM image of Zn-11%Al-8%Cu alloy

状组织构成。用电子探针对合金组织进行面扫描分析元素分布，结果如图 2 所示。可以看出：Al 元素主要分布于初生枝晶和层片状组织中，表明黑色初生枝晶相为富铝 α 相，共晶及共析层片组织中黑色相也为 α 相；Cu 元素主要分布在层片状组织中的白色相中，表明共晶及共析层片组织中大部分白色相为 ϵ 相；由于 Zn 是基础元素，所以在各相中都有分布，但在初生 α 相中相对含量较少，而在初生枝晶附近以及共晶组织之间的白色组织则几乎全部都是 Zn 元素，表明该白色相为 η 相，另外层片组织中也有部分为 η 相。因此，Zn-11%Al-8%Cu 的组织由初生 α 相、共晶及共析($\alpha+\epsilon+\eta$)相和 η 相组成。

2.2 Zr 对 Zn-11%Al-8%Cu 合金组织的影响

图 3 给出了 Zr 加入量分别为 0.2%、0.3%、0.4% 和 0.5% 的显微组织图。可以看出，当锌合金中 Zr 元素的加入量较少时(0.2%)，组织中树枝晶很发达，主要的组织生长呈现长条状，具体的条状生长方向由

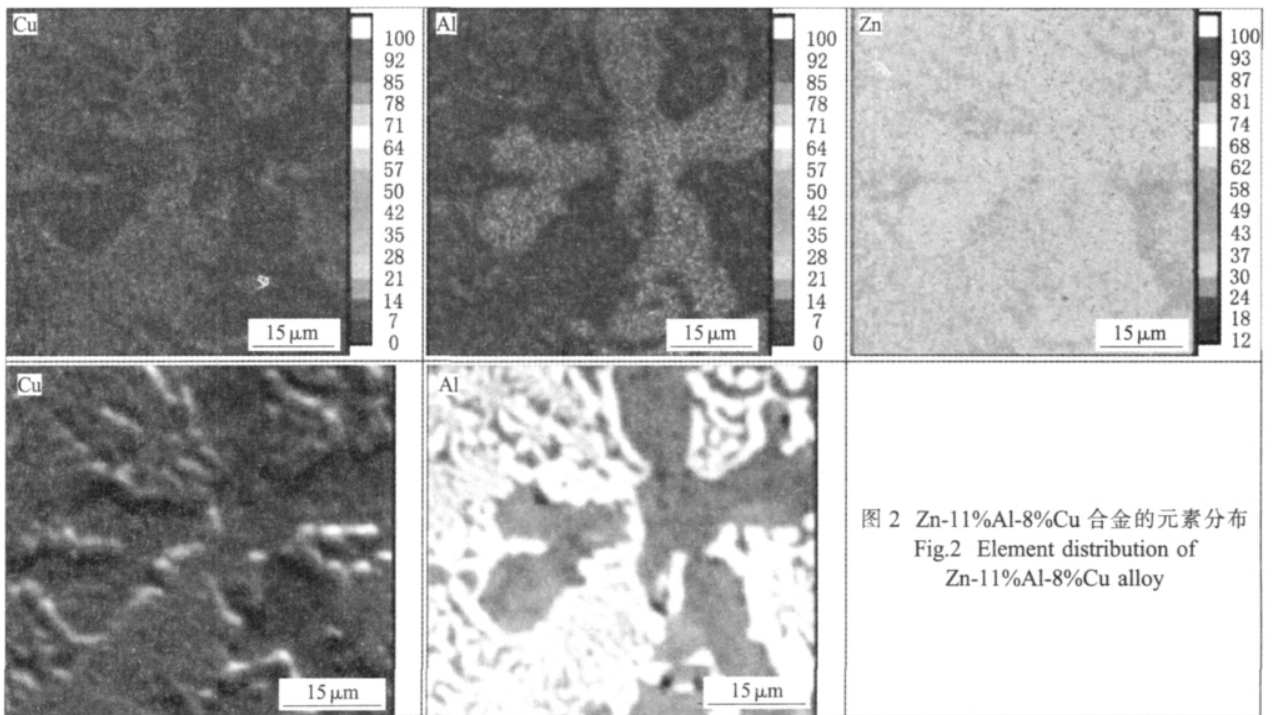


图 2 Zn-11%Al-8%Cu 合金的元素分布
Fig.2 Element distribution of Zn-11%Al-8%Cu alloy

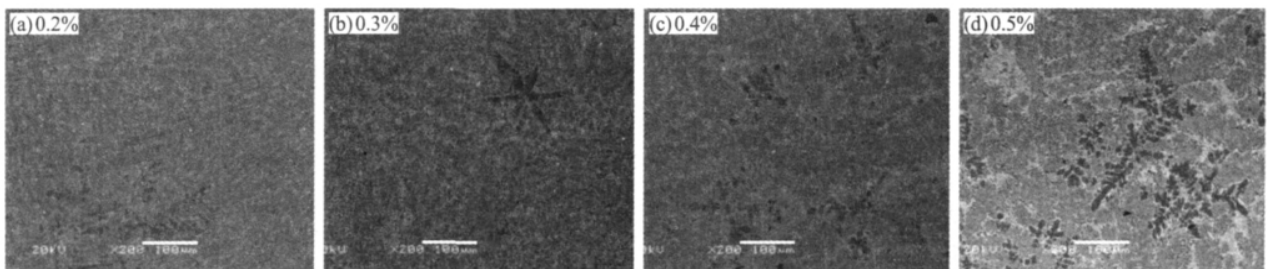


图 3 不同 Zr 加入量时的合金组织
Fig.3 Microstructure of the alloys with different Zr content

局部的凝固传热条件和晶体形核生长情况决定,而初生 α 相的组织特征很明显,生长为方向性很强的雪花状,一次枝晶沿规则的六个方向延伸。随着 Zr 的加入量增加,长条状的共晶(共析)组织逐渐开始变成团聚状,一次枝晶臂由细长变得短粗且圆整,生长的方向性也弱化,当 Zr 含量达到 0.4% 时,已经观察不到明显的枝晶方向性,组织的形态分布变得均匀。初生 α 相的枝晶生长虽然仍呈现明显的方向性,但是晶粒变小,而且一次和二次枝晶尖端变得圆整,初生相在合金组织中显得更细小分散。观察 Zr 加入量 0.4% 和 0.5% 的组织,发现二者的组织差别并不明显,表明 Zr 加入量的继续增加对组织的改善作用已经不大。

对 Zr 加入量 0.4% 的锌合金组织进一步分析,对比母合金,发现合金中出现了新相,如图 4 所示。新相呈现块状,一般都伴随着初生 α 相出现,从组织的形态来看,该相比初生 α 相更早出现于组织

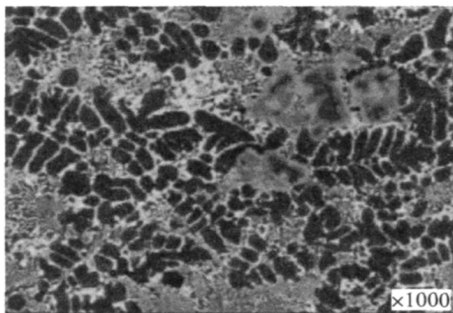


图 4 加入 Zr 元素后合金组织中的新相
Fig.4 New phase in the alloy after Zr addition

中。对该相进行电子探针分析,其成分为:Zr: 45.1wt%、Zn: 30.7wt%、Al: 22.4wt%、Cu: 1.8wt%, 各元素的摩尔含量为:Zr: 27.1%、Zn: 25.8%、Al: 45.6%、Cu: 1.5%, 由于新相为块状,考虑到铜含量极少及实验仪器测试的误差,因此可以认为该相为 Zr-Al-Zn 的化合物,仅从分析结果得出其元素比大致为:Zr₃Zn₅Al₉。对 Zr 加入量 0.4% 的锌合金组织进行面扫描分析元素分布,如图 5 所示。结果表明 Zr 元素主要分布在新相内。

虽然元素分析结果没有发现明显的 Zr 元素分布于除新相外的合金组织中,但是结合加入 Zr 后合金组织的变化和相关的研究文献^[6-7]来看,我们仍然相信应该是有微量的 Zr 元素影响了初生 α 相的形核和枝晶的生长,改变了合金的凝固过程,阻止了条状共晶枝晶的延伸,只是由于所使用仪器的精度不能检测到此极少的含量。而且还认为,开始凝固后的合金液中的微量 Zr 元素和先析出的 Zr-Al-Zn 的化合物存在一定的平衡关系,随着 Zr 加入量的增多,Zr-Al-Zn 的化合物析出得越多,合金液中的 Zr 元素也越多,从而对随后的 α 相和共晶相的凝固过程影响越大,从而使组织发生了相应的变化,但是当 Zr 元素达到足够的含量后,进一步增加 Zr 将不会对组织再产生明显的改善。

2.3 Zr 对 Zn-11%Al-8%Cu 合金力学性能的影响

图 6 表明 Zn-11%Al-8%Cu 合金的强度、伸长率和硬度均随 Zr 含量的加入而提高,在 0.4%Zr 时

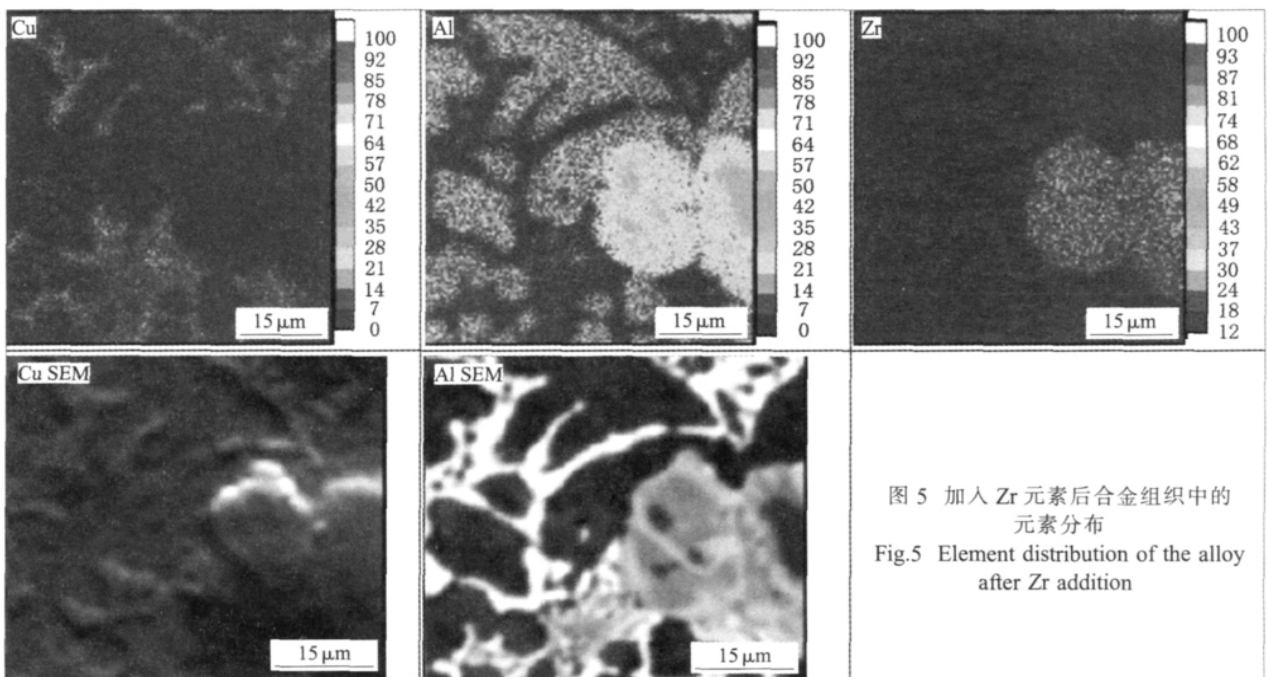


图 5 加入 Zr 元素后合金组织中的元素分布
Fig.5 Element distribution of the alloy after Zr addition

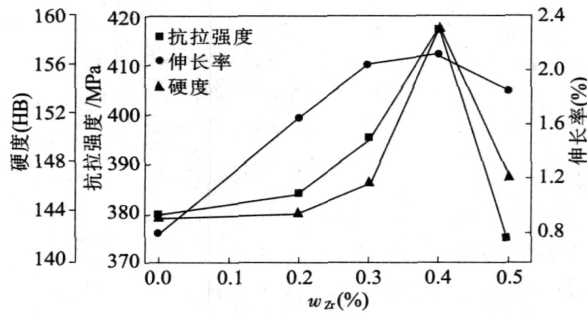


图 6 Zr 元素加入量对 Zn-11%Al-8%Cu 合金性能的影响
Fig.6 Effects of Zr content on the properties of Zn-11%Al-8%Cu alloy

达到最高值,随后出现下降的趋势。在实验范围内,0.4%Zr 时合金性能最好,抗拉强度提高了 37 MPa,硬度也提高到 159 HB。

锌合金强度和硬度的提高是因为组织的细化和新相的生成。对组织的分析可知,Zr 元素的加入改变了母合金组织中的发达枝晶,初生 α 相和共晶相均得到了细化,晶粒增多,组织更加均匀,从而强化了合金。另外,部分 Zr 元素在凝固过程中形成的新相弥散分布在组织中,其作用类似于颗粒强化,也可以有效提高强度和硬度。但是当 Zr 元素加入量达到过多(0.5%)时,基体合金组织不能得到进一步改善,而形成的新相颗粒过多过大,反而在加载时产生割裂组织整体性的效果,使性能反而下降。因此在实验范围内,Zn-11%Al-8%Cu 合金的 Zr 元素最佳加入量是 0.4wt%。

3 结论

(1) Zr 的加入使 Zn-11%Al-8%Cu 合金组织中的初生 α 相和共晶相的一次枝晶变得短小圆整,晶粒得到细化。

(2) Zr 在 Zn-11%Al-8%Cu 中主要以 Zr-Al-Zn 化合物的形式在初生 α 相附近弥散分布。

(3) 微量的 Zr 能够明显提高 Zn-11%Al-8%Cu 合金的性能,在加入 0.4%Zr 时,合金的性能最佳。

参考文献:

- [1] 刘洪军,樊自田,黄乃瑜. 塑料用锌基合金的特点与展望[J]. 特种铸造及有色合金,2001,(1):38-40.
- [2] 刘洪军,李亚敏,郝远. Al、Cu 含量对 Zn-Al-Cu-Mg 合金性能的影响[J]. 铸造技术,2007,28(6):823-826.
- [3] 舒震,刘金水. Ti 对高 Al-Zn 合金组织性能的影响[J]. 金属学报,1993,A29(11):487-490.
- [4] 刘贵立,李荣德. Modification mechanism of rare earth elements in ZA27 casting alloys[J]. Journal of Rare Earths,2003,21(6):660-663.
- [5] 于文斌,何洪,黎雪莲,等. Ti 和 Zr 的复合变质与热处理对 ZA27 合金显微组织的影响[J]. 金属热处理,2008,33(4):39-44.
- [6] 倪锋,张柯柯,侯平均,等. 钛、锆变质处理对高铝锌合金凝固特性的影响[J]. 热加工工艺,2001,(4):6-8.
- [7] 侯平均,倪锋,龙锐,等. 高铝锌合金的钛和锆变质机理研究[J]. 铸造设备研究,2003,(1):12-15. □

(上接第 18 页)

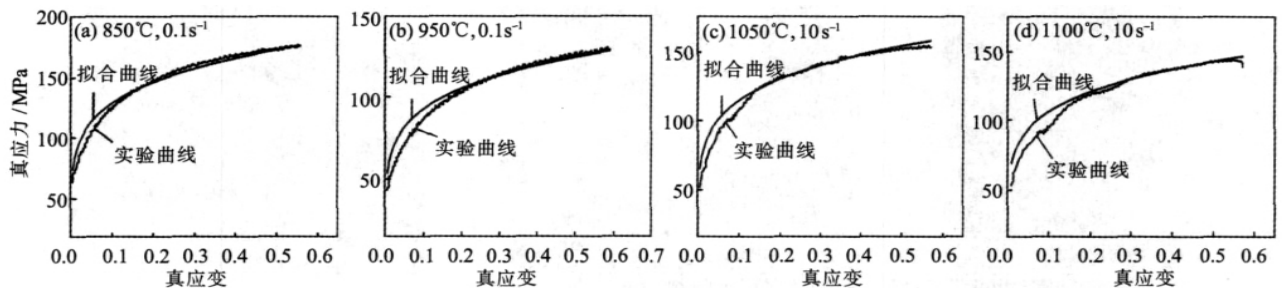


图 4 拟合曲线与实验数据曲线比较
Fig.4 Comparison of fitting curve and experimental data curve

的增加而增加。

(2) 建立了 F550 船板钢的变形抗力数学模型。结果表明,实测数据与回归模型计算值之间具有良好的拟合特性,预报精度较好。

参考文献:

- [1] 李治华,吴迪,赵宪明,等. 低碳钢热变形奥氏体的再结晶行

为[J]. 钢铁研究学报,2004,18(5):46-49.

- [2] 衣海龙,杜林秀,王国栋,等. 奥氏体变形对镍基合金钢贝氏体相变的影响[J]. 材料科学与工艺,2008,16(3):442-444.
- [3] 周纪华,管克智. 金属塑性变形抗力[M]. 北京:机械工业出版社,1989. 222-223.
- [4] 戴铁军,刘占英,刘相华,等. 30MnSi 钢金属塑性变形抗力的数学模型[J]. 塑性工程学报,2001,8(3):17-20. □