

Zn 对 5083 合金显微组织和力学性能的影响

史建超, 罗洪杰, 姚广春
(东北大学 冶金学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 研究了 5083 合金添加 1.5% ~5% Zn(质量分数)对合金显微组织和力学性能的影响. 通过 SEM 和 EDS 对铸态、均匀化处理后和轧制态合金的微观组织进行了表征并测试轧制态合金的拉伸性能. 结果表明: 铸态合金随 Zn 含量的增加偏析程度增加, 金属间化合物主要为富 Mg 和富 Zn 相. 均匀化处理后的合金具有良好的轧制性能, 均匀化处理后合金金属间化合物量明显减少, 部分未溶金属间化合物是 Mg_2Si 和 Al_3Fe 相. 轧制显著降低晶粒尺寸, 轧制试样的晶粒尺寸约 150 nm. 随着 Zn 含量增加轧制态合金的屈服强度和抗拉强度增加, 延伸率有所下降.

关 键 词: 5083 合金; 均匀化处理; 轧制; 显微组织; 机械性能
中图分类号: TG 113 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2017)07-0950-05

Effect of Zn on Microstructure and Mechanical Properties of 5083 Alloy

SHI Jian-chao, LUO Hong-jie, YAO Guang-chun
(School of Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: SHI Jian-chao, E-mail: shijianchao1984@126.com)

Abstract: When 1.5% ~5% Zn(mass fraction) element was added into 5083 alloy, the effect of Zn on microstructure and mechanical properties was investigated. The microstructures of as-cast, homogenized and rolled alloys were characterized by SEM and EDS and mechanical property of the rolled alloy was obtained in a tensile test. It was found that the segregation in as-cast alloy increased with the additive of Zn and the second phases were mainly the rich-Mg and rich-Zn phases. After homogenization treatment, the homogenized alloy could be rolled more easily, the volume fraction of the second phase decreased significantly and the unresolved second phases were Mg_2Si and Al_3Fe . The results also showed that the grain size of the rolled alloy decreased obviously to 150 nm. With the more additive of Zn, the yield and tensile strength of the rolled alloy increased, while the elongation decreased slightly.

Key words: 5083 alloy; homogenizing treatment; rolling; microstructure; mechanical property

铝及铝合金具有比强度高、耐腐蚀性能优良、热稳定性好和易加工成型等优点, 成为航天航空以及汽车的主要结构材料, 是航空航天以及汽车工业的轻量化发展方向^[1-4]. 然而低强度使铝合金使用受到限制.

铝及铝合金具有比强度高、耐腐蚀性能优良、热稳定性好和易加工成型等优点, 成为航天航空以及汽车的主要结构材料, 是航空航天以及汽车工业的轻量化发展方向^[1-4]. 然而低强度使铝合金使用受到限制.

目前国内外学者在优化铝合金成分和铝合金化方面做了大量的工作. 5083 合金是中等强度变形不可热处理强化的商业铝合金^[5]. 本文研究 5083 合金添加 Zn 元素后, 对合金的微观组织结

构和力学性能的影响.

本实验在 5083 合金中添加不同含量的 Zn 元素, 进行熔炼、均匀化处理和室温下轧制成板材, 研究元素 Zn 对 5083 合金的显微组织和力学性能的影响.

1 实验材料和实验方法

本实验采用分析纯 Zn 粒和 5083 合金为原

收稿日期: 2016-01-29
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51174060, 51301109); 辽宁省科学技术研究项目(2013223004).
作者简介: 史建超(1984-), 男, 内蒙古通辽人, 东北大学博士研究生; 罗洪杰(1965-), 男, 辽宁本溪人, 东北大学教授; 姚广春(1947-), 男, 辽宁沈阳人, 东北大学教授, 博士生导师.

料,制备名义合金成分为 5083 + $x\%$ Zn ($x = 0, 1.5, 3, 5$). 先将 5083 合金放入高纯石墨坩埚内,采用中频感应炉熔炼,加热至 750 ℃后添加锌粒,用石墨棒搅拌 1 min,静止冷却,使炉内温度降低到 720 ℃,加入 C₂Cl₆ 用石墨棒轻轻搅拌 1 ~ 2 min. 将温度升至 780 ℃,静止保温 10 min. 用钛合金板扒去表面氧化物,然后在水冷铜模系统内浇注,获得 1.5 kg 表面光亮的铸锭. 铸态合金的实际成分由全谱直读型电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP,Perkin Elmer, Plasma 400)进行测定. 如表 1 所示.

铸态合金锭经 450 ℃ × 10 h + 480 ℃ × 30 h + 490 ℃ × 10 h 均匀化处理. 然后用电火花线切割成 100 mm × 30 mm × 5.0 mm 的试样,试样放入

盛有酒精的烧杯中,然后放入超声波清洗机中超声清洗 30 min,除去表面的油脂. 然后试样在室温条件下进行轧制,每道次下压量约为 10%,总下压量约为 85%. 轧制后的试样最终厚度为 0.8 mm 左右.

通过 SEM 对合金的显微组织特征及形貌进行观察,并结合能谱仪(EDS)对表面微区成分进行分析. 通过 TEM 观察轧制试样的晶粒大小.

轧制后试样采用电火花线切割出拉伸试样. 试样表面用抛光布涂抹 1.0#金刚石抛光膏抛光. 采用 CMT5105 – SANS 电子万能试验机进行拉伸,拉伸速率为 0.5 mm/s. 每组实验至少准备 3 个试样,拉伸数据取 3 次实验数据的平均值.

表 1 5083 + $x\%$ Zn 合金成分表(质量分数)
Table 1 Chemical compositions of 5083 + $x\%$ Zn alloys

合金	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
5083	0.400	0.270	0.100	0.57	4.310	0.16	0.19	0.16	余量
5083 + 1.5% Zn	0.467	0.187	0.092	0.59	4.430	0.14	1.74	0.18	余量
5083 + 3% Zn	0.510	0.189	0.090	0.57	4.100	0.12	3.27	0.13	余量
5083 + 5% Zn	0.427	0.180	0.087	0.61	4.120	0.17	5.45	0.15	余量

2 结果与讨论

2.1 铸态组织

图 1 为 5083 合金及添加不同含量 Zn 元素 5083 合金铸态显微组织扫描电镜(SEM)图片. 由图 1a 可知,合金是由灰色初生的 α – Al (fcc) 相和白色的金属间化合物组成. 结合 EDS 分析,可知 5083 合金中白色金属间化合物组成元素为 Al 和 Mg,如图 1e 所示. 通过文献中透射电镜衍射斑分析可知金属间化合物为 β – (Mg₂Al₃) 相^[6]. 由图 1b 可知,添加质量分数 1.5% Zn 后,白色金属间化合物的形貌没有明显变化,通过 EDS 分析,图中白色金属间化合物组成元素为 Al, Mg 和 Zn,如图 1f 所示. 添加质量分数 3% Zn 后,白色金属间化合物形貌开始发生明显粗化,如图 1c 所示. 添加质量分数 5% Zn 后,白色金属间化合物明显变得粗大. 结合 EDS 分析可知,白色金属间化合物组成元素为 Al, Mg 和 Zn,如图 1h 所示. 由图 1 可知添加不同含量 Zn 元素的 5083 合金,金属间化合物的形貌逐渐改变,随着 Zn 元素的增加,合金中金属间化合物粗化. 说明随着 Zn 元素添加量的增加,合金铸造组织中 Zn 和 Mg 元素的偏析程度增加.

2.2 均匀化显微组织

均匀化处理能减少宏观偏析,使晶界和枝晶网络间形成 Mg 和 Zn 元素的低熔点共晶组织和其他金属间化合物均匀分布到晶粒内部,提高力学性能. 均匀化处理是轧制过程顺利进行的一道重要工序,它保证了合金获得足够的变形能力,并对合金的力学性能组织结构有着重要的影响. 因此,合金轧制之前的均匀化处理十分重要. 图 2 是 5083 合金及添加不同含量 Zn 元素的 5083 合金的均匀化处理显微组织扫描电镜(SEM)照片. 图 2a 是 5083 合金的均匀化处理照片,灰色基体为 α – Al,未溶解的不连续金属间化合物,通过 EDS 打点分析可知,这部分未溶的金属间化合物主要由 Al 和 Fe 元素组成.

图 2b ~ 图 2d 是 5083 合金分别添加质量分数 1.5%、3% 和 5% Zn 元素的合金. 可以看出,经过均匀化处理后合金的金属间化合物未发生变化,通过 EDS 分析,未溶解部分由 Al, Mg, Fe, Mn 和 Si 等元素组成. 由上述分析可知,由于合金浇铸时冷却速度过快导致 Zn 和 Mg 元素在晶界偏析,经过均匀化处理后 Zn 和 Mg 元素在晶内和晶界得到充分扩散溶解,消除合金中 Zn 和 Mg 元素的偏析,剩余未溶解金属间化合物为 Mg₂Si 和 Al₃Fe 相^[7-9].

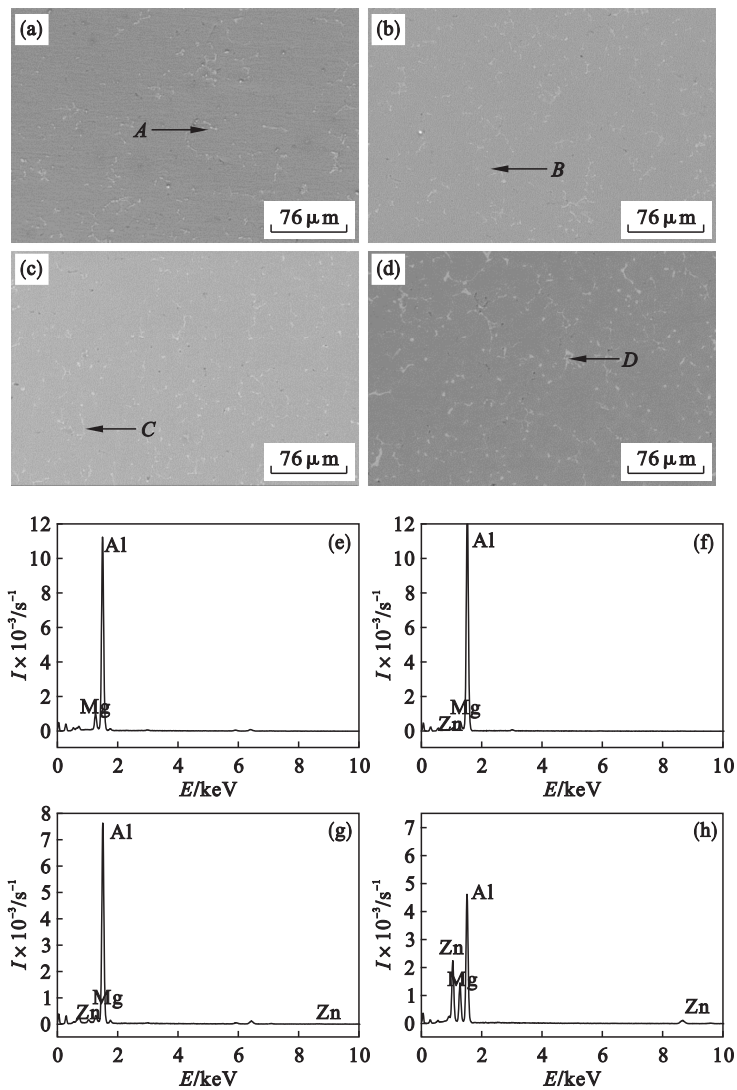


图 1 铸态 5083 + x% Zn 合金扫描电镜图片及能谱分析
Fig. 1 SEM and EDS analysis of as-cast 5083 + x% Zn alloys

(a)— $x=0$; (b)— $x=1.5$; (c)— $x=3$; (d)— $x=5$; (e), (f), (g), (h)—分别为 A, B, C, D 处的 EDS 分析.

2.3 合金轧制显微组织

图 3 为垂直于轧制方向的添加不同质量分数 Zn 的 5083 合金 TEM 图片. 由图可知, 经过冷轧变形的合金晶粒为纤维状晶粒. 纤维状晶粒的平均宽度约为 150 nm. 在轧制过程中随下压量的增加, 晶粒内部出现小角度晶界, 然后小角度晶界转化大角度晶界, 晶粒得以细化. 从图 3 可以看出, 晶粒内部明亮, 位错密度低, 晶粒内部位错源较少, 位错在晶粒内部平均运动距离较短. 此时, 晶界即是位错源也是位错阱, 在晶粒内部产生和晶界发射的位错, 在镜像力作用下很快被其他晶界吸收, 导致位错在晶粒内部难以增值, 位错密度难以升高. 位错在晶界附近缠结, 晶界内的位错密度增加.

2.4 室温轧制合金的拉伸性能

合金经过轧制变形后的力学性能如图 4 所示.

由图可知, 经过轧制的 5083 合金具有较高的屈服强度、抗拉强度和延伸率. 添加质量分数 1.5% Zn 的 5083 合金 $R_m = 496$ MPa, $R_{0.2} = 460$ MPa, $\varepsilon = 4.9\%$, 随着添加 Zn 量的增加, 抗拉强度和屈服强度进一步增加, 延伸率有所下降. 其中添加质量分数 5% Zn 的 5083 合金 $R_m = 595$ MPa, $R_{0.2} = 550$ MPa, 延伸率降低到 3.6%. 随着添加 Zn 元素的增加, 强度增加而延伸率降低. 随着添加 Zn 元素的增加, 合金的固溶强化作用增强^[10], 进而提高了合金板材的强度. 但是由于 Zn 元素的增加降低材料的加工硬化能力, 致使材料塑性降低.

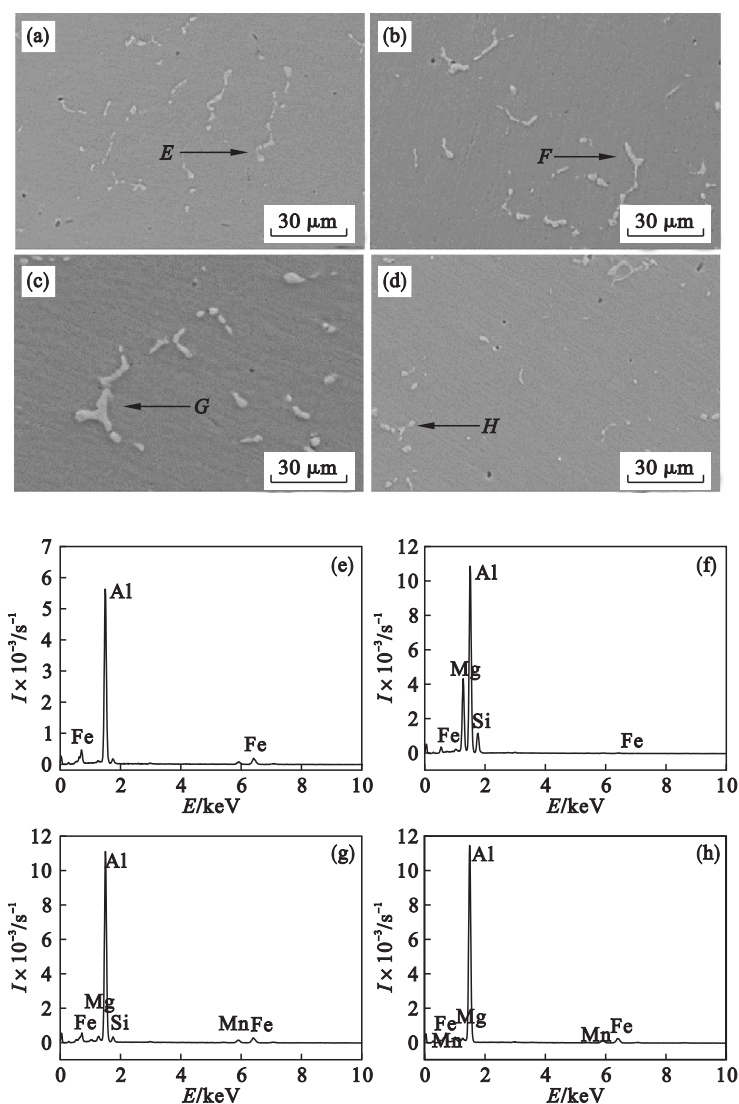


图 2 均匀化处理 5083 + $x\%$ Zn 合金扫描电镜及能谱分析

Fig. 2 SEM and EDS analysis of homogenized 5083 + $x\%$ Zn alloys

(a)— $x=0$; (b)— $x=1.5$; (c)— $x=3$; (d)— $x=5$; (e), (f), (g), (h)—分别为 E, F, G, H 处的 EDS 分析.

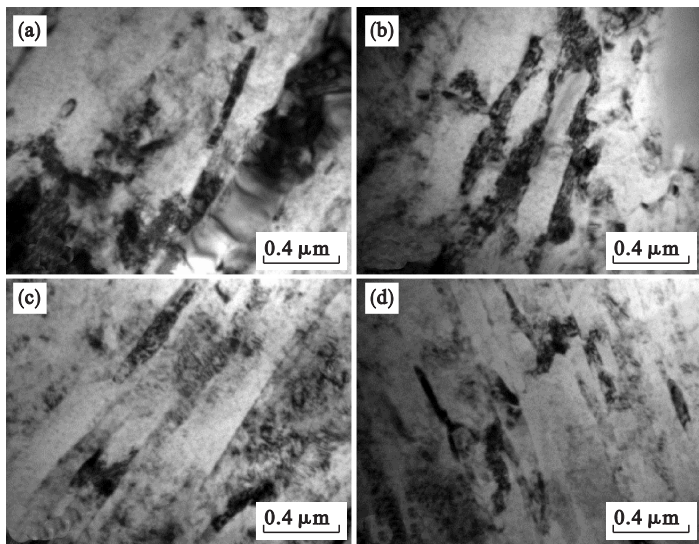


图 3 轧制态 5083 + $x\%$ Zn 合金的 TEM 照片 (垂直于轧制方向)

Fig. 3 TEM image of rolled 5083 + $x\%$ Zn alloys (perpendicular to the rolling direction)

(a)— $x=0$; (b)— $x=1.5$; (c)— $x=3$; (d)— $x=5$.

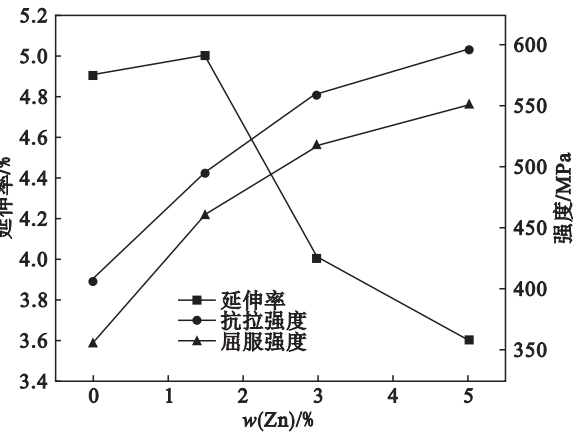


图 4 板材拉伸性能

Fig. 4 Tensile properties of the rolled alloy sheets

3 结 论

- 1) 5083 合金与添加 Zn 元素的 5083 合金经过总下压量 85% 室温轧制,可以形成超细晶.
- 2) 对铸态合金 450 ℃ × 10 h + 480 ℃ × 30 h + 490 ℃ × 10 h 均匀化处理,消除 Mg 和 Zn 元素的偏析.
- 3) 经过室温轧制的 5083 合金,随着 Zn 元素的增加,拉伸强度增加,而延伸率降低. 当 Zn 质量分数为 5% 时, $R_m = 595\text{ MPa}$, $R_{0.2} = 550\text{ MPa}$,延伸率降低到 3.6% .

参考文献:

[1] Lin S P, Nie Z R, Huang H, et al. Annealing behavior of a modified 5083 aluminum alloy [J]. *Materials and Design*, 2010, 31 (3) : 1607 – 1612.

[2] Apps P J, Bowen J R, Prangnell P B. The effect of coarse second-phase particles on the rate of grain tenement during severe deformation processing [J]. *Acta Materialia*, 2003, 51 (10) : 2811 – 2822.

[3] Pirgazia H, Akbarzadeh A, Petrov R, et al. Microstructure evolution and mechanical properties of AA1100 aluminum sheet processed by accumulative roll bonding [J]. *Materials Science and Engineering: A*, 2008, 497 (12) : 132 – 138.

[4] Su L H, Lu C, Li H J, et al. Investigation of ultrafine grained AA1050 fabricated by accumulative roll bonding [J]. *Materials Science & Engineering: A*, 2014, 614 (22) : 148 – 155.

[5] Zhao Y L, Yang Z Q, Zhang Z, et al. Double-peak age strengthening of cold-worked 2024 aluminum alloy [J]. *Acta Materialia*, 2013, 61 (5) : 1624 – 1638.

[6] Zhu Y K, Cullen D A, Kar S, et al. Evaluation of Al_3Mg_2 precipitates and Mn-rich phase in aluminum-magnesium alloy based on scanning transmission electron microscopy imaging [J]. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 2012, 43 (13) : 4933 – 4939.

[7] Wu X L, Yang M X, Yuan F P, et al. Heterogeneous lamella structure unites ultrafine-grain strength with coarse-grain ductility [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, 112 (47) : 14501 – 14505.

[8] Meng C Y, Zhang D, Cui H, et al. Mechanical properties, intergranular corrosion behavior and microstructure of Zn modified Al-Mg alloys [J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2014, 617 (25) : 925 – 932.

[9] Chen K H, Liu H W, Zhang Z, et al. The improvement of constituent dissolution and mechanical properties of 7055 aluminum alloy by stepped heat treatments [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, 142 (1) : 190 – 196.