

Gd 含量对 Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr 合金的凝固组织及力学性能的影响

潘俊霖 陈乐平 周 全 袁源平
(南昌航空大学 航空制造工程学院)

摘 要 以 Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr 合金为对象,采用 SEM、XRD、EDS 及万能拉伸试验机等手段,研究了 0.5%~5% (质量分数)的 Gd 含量对合金凝固组织和力学性能的影响。结果表明,在 0.5%~5% 范围内,随着 Gd 含量增加,合金的晶粒尺寸呈先减小后增大、抗拉强度先增大后减小的趋势。当 Gd 含量为 2% 时,合金的晶粒尺寸和抗拉强度分别为 37.72 μm 和 276.99 MPa,相较于 Gd 含量为 0.5% 时分别减小了 42.6% 和提高了 37.5%。另外,伸长率则随 Gd 含量增加呈逐渐减小的趋势。

关键词 Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr 合金;Gd 合金化;凝固组织;力学性能

中图分类号 TG146.22;TG113.25 文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.09.019

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Gd on the Solidification Microstructure and Mechanical Properties of Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr Alloy

Pan Junlin, Chen Leping, Zhou Quan, Yuan Yuanping
(School of Aeronautical Manufacturing Engineering, Nanchang Hangkong University)

Abstract: The effects of Gd content of 0.5%~5% (mass fraction) on the solidification structure and mechanical properties of the Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr alloy were analyzed by SEM, XRD, EDS and universal tensile testing machine. The results reveal that in the range of 0.5%~5%, with the increase of Gd content, the grain size of the alloy is firstly decreased and then increased, while the tensile strength is increased firstly and then decreased. When the Gd content is 2%, the grain size and tensile strength of the alloy reach up to 37.72 μm and 276.99 MPa, respectively, which are reduced by 42.6% and increased by 37.5% compared to that with Gd content of 0.5%. The elongation of the alloy is gradually decreased with the increase of Gd content.

Key Words: Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr Alloy, Gd Alloying, Solidification Structruee, Mechanical Properties

收稿日期:2023-04-12;修改稿收到日期:2023-05-22
基金项目:江西省科技重点研发计划资助项目(20212BBE53018);南昌航空大学研究生创新专项资金资助项目(YC2023-S720)
第一作者简介:潘俊霖,男,2000 年出生,硕士研究生,南昌(330063),E-mail:1264847169@qq.com
通信作者:陈乐平,男,1964 年出生,教授,南昌(330063),E-mail:jnnclp@163.com
引用格式:潘俊霖,陈乐平,周全,等. Gd 含量对 Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr 合金的凝固组织及力学性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(9): 1 265-1 269.
PAN J L, CHEN L P, ZHOU Q, et al. Effects of Gd on the solidification microstructure and mechanical properties of Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr alloy[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(9):1 265-1 269.

[11] HSUEH H W, HUNG F Y, LUI T S, et al. Microstructure, electric flame off (EFO) characteristics and tensile properties of silver-lanthanum alloy wire[J]. Microelectronics Reliability, 2014, 54 (2): 2 564-2 569.

[12] LIA B H, YEA J T, LIAO J K, et al. Effect of pretreatments on the metal-ceramic bonding strength of a Pd-Ag alloy[J]. Journal of Dentistry, 2014, 42(3): 319-328.

[13] HUANG W H, LIN K L, LIN Y W, et al. The intermetallic compound formation for the wire bond between an Al pad and Ag-xPd alloy wire[J]. Journal of Electronic Materials, 2016, 45 (12): 6 130-6 136.

[14] CHUANG T H, CHEN C H. Mechanism of the electromigration in Ag-Pd alloy bonding wires[J]. Metallurgical and Materials Transactions, 2018, A49: 5 904-5 910.

[15] 丁雨田,胡立杰,胡勇,等.单晶铜键合丝的球键合性能研究[J].特种铸造及有色合金,2009,29(6): 582-584.

[16] DU Y H, LIU Z Q, JI H J, et al. The mechanism of Pd distribution in the process of FAB formation during Pd-coated Cu wire bonding[J].Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2018, 29: 13 774-13 781.

[17] QIN W, ANDERSON T, CHANG G. Mechanism to improve the reliability of copper wire bonding with palladium-coating of the wire [J]. Microelectronics Reliability, 2019(8): 239-244.

(编辑:刘晨辉)

镁合金是最轻的金属结构材料之一,具有比强度和比刚度、密度低等特点,在工业中拥有巨大应用前景。WE 系(Mg-Y-Nd)商用高强耐热稀土镁合金,因其优异的室温力学性能、高温抗蠕变性能和耐腐蚀性能,在航空航天和汽车交通等领域得到广泛应用^[1-7]。

目前镁合金常用的晶粒细化方法主要有合金化法、机械搅拌法、外加物理场等。其中稀土元素合金化不但可以有效地提高镁合金的力学性能,还能在一定程度上改善镁合金的韧性、耐腐蚀性、铸造性^[8],其中 Gd 在镁合金中具有优异的强化效果^[9-11]。HU Y B 等^[12]研究发现,当 Gd 的添加量为 6% 时,Mg-Gd-Zr 合金的抗拉强度达到 237 MPa,比 Gd 的添加量为 2% 时提高了 14.5%。李志涛等^[13]研究发现,当 Gd 的添加量为 1% 时,Mg-4Y-2Sm-0.5Zr 合金的抗拉强度和伸长率分别达到 203 MPa、12.68%,比未处理的合金分别提高了 32.7%、8.46%。许美贤等^[14]研究发现,当 Gd 的添加量为 1% 时,Mg-4Al-1Si 合金的抗拉强度、伸长率分别达到 119.7 MPa、5.5%,比未处理的合金分别提高了 11.1%、120%。钟罗喜等^[15]研究发现,当 Gd 的添加量为 10.5% 时,Mg-1Y-1Zn-0.5Zr 合金具有理想的力学性能,其抗拉强度、伸长率分别达到 200 MPa、5.8%。潘喆等^[16]研究发现,当 Gd 的添加量为 1% 时,AZ91D 镁合金的抗拉强度、伸长率、硬度(HV)分别达到 268.4 MPa、6.20%、100.9,比未处理的合金分别提高了 3.8%、77%、24.7%。任静等^[17]研究发现,当 Gd 的添加量为 12.7% 时,Mg-Gd-Y 合金的平均晶粒尺寸由 112 μm 减小至 54 μm ,其抗拉强度达到 221.2 MPa,比未处理的合金提高了 40.4%。

综上所述,加入 Gd 在镁合金中取得了良好的试验结果。目前,Mg-4Y-2.5Nd-0.5Gd-0.5Zr 合金(WE43 镁合金)铸态组织较为粗大且强度不高,限制了该合金体系的应用,加入 Gd 是一种强化镁合金的有效方式,但加入不同含量的 Gd 对 Mg-4Y-2.5Nd-0.5Gd-0.5Zr 合金影响的相关研究报道较少,故本研究通过对 Mg-4Y-2.5Nd- x Gd-0.5Zr 合金加入不同 Gd 含量,探究其凝

固组织和力学性能的变化,为该合金的进一步开发和应用提供参考。

1 试验材料与方法

试验用 99.96% (质量分数) 的纯镁、Mg-30Y、Mg-30Nd、Mg-30Gd、Mg-30Zr 中间合金制备 Mg-4Y-2.5Nd- x Gd-0.5Zr($x=0.5, 1, 2, 3, 4, 5, \%$, 质量分数)合金试样。使用坩埚电阻炉对原材料进行熔炼,在熔炼和浇注的全过程中通入体积分数为 99.5% 的 CO_2 和 0.5% 的 SF_6 混合气体对熔体进行保护。待熔体温度降到 720 $^{\circ}\text{C}$ 后,将其浇注到温度为 200 $^{\circ}\text{C}$ 的石墨铸型中,待其冷却后将铸件取出并取样进行凝固组织分析和力学性能测试。

采用 3% 的柠檬酸水溶液对金相试样进行腐蚀后,再用 XJP-6A 光学金相显微镜对试样的初生相形貌进行观察,采用 S-Viewer 软件对试样的晶粒尺寸进行测量;采用 D8ADVANCE-A25 X 射线衍射仪对试样的相组成进行定性分析,采用 SU1510 扫描电镜对试样的第二相形貌和分布情况及断口形貌进行观察;采用 WH-5000 微机控制电子万能试验机来测试试样的拉伸性能,拉伸速率为 1 mm/min;拉伸试样按 GB6397-86 制备,尺寸示意图见图 1。

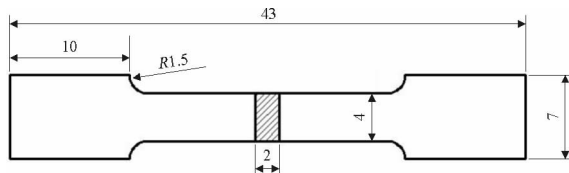


图 1 室温拉伸试样尺寸示意图

Fig.1 The dimensional diagram of tensile specimen at room temperature

2 试验结果与分析

2.1 显微组织

图 2 和图 3 分别为不同 Gd 含量下 Mg-4Y-2.5Nd- x Gd-0.5Zr 合金的初生相形貌和晶粒尺寸。从图 2 中

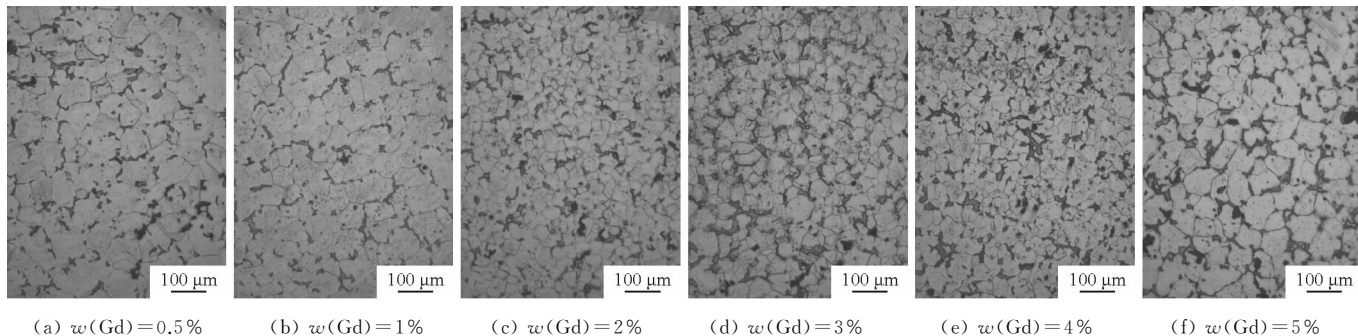


图 2 不同 Gd 含量下 Mg-4Y-2.5Nd- x Gd-0.5Zr 合金的初生相形貌

Fig.2 Primary phase morphologies in Mg-4Y-2.5Nd- x Gd-0.5Zr alloy with different Gd contents

可以看出,随着 Gd 含量增多,合金的初生相形貌未发生明显变化,均为等轴晶。从图 3 可以看出,合金的晶粒尺寸随着 Gd 含量的增加呈先减小后增大的趋势;当 Gd 含量为 2% 时,合金的晶粒尺寸最小为 37.72 μm ,相较于 Gd 含量为 0.5% 时的 65.69 μm ,降低了 42.6%。

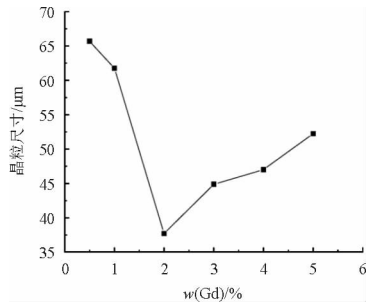


图 3 不同 Gd 含量下 Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr 合金的晶粒尺寸
Fig.3 Grain size in Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr alloy with different Gd contents

图 4 为不同 Gd 含量下 Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr 合金的 XRD 图谱。可以看出,随着 Gd 含量增加,合金的相组成未发生变化,仍为 α -Mg、 Mg_{12}Nd 、 Mg_{24}Y_5 和 Mg_5Gd 相。

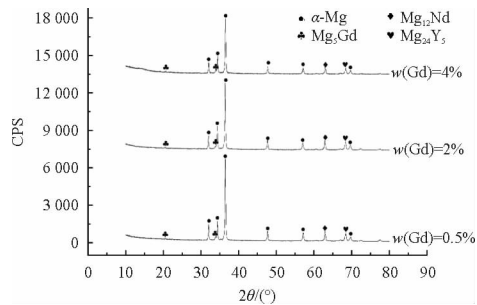


图 4 不同 Gd 含量下 Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr 合金的 XRD 图
Fig.4 XRD patterns of Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr alloy with different Gd contents

图 5 为不同 Gd 含量下 Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr 合金的 SEM 图。当 Gd 含量为 0.5% 时,晶界第二相数量较少,且呈断续网状结构并沿晶界分布,同时晶内存在部分第二相;当 Gd 含量为 2% 时,晶界第二相数量增加,晶界及晶内第二相形貌与 Gd 含量为 0.5% 时相似但晶界第二相的分布变得均匀;当 Gd 含量为 4% 时,数量增加,晶界第二相形貌由断续网状结构转变为层片状结构,且仍存在晶内第二相。

为进一步确定合金中第二相的化学成分,对图 5 中

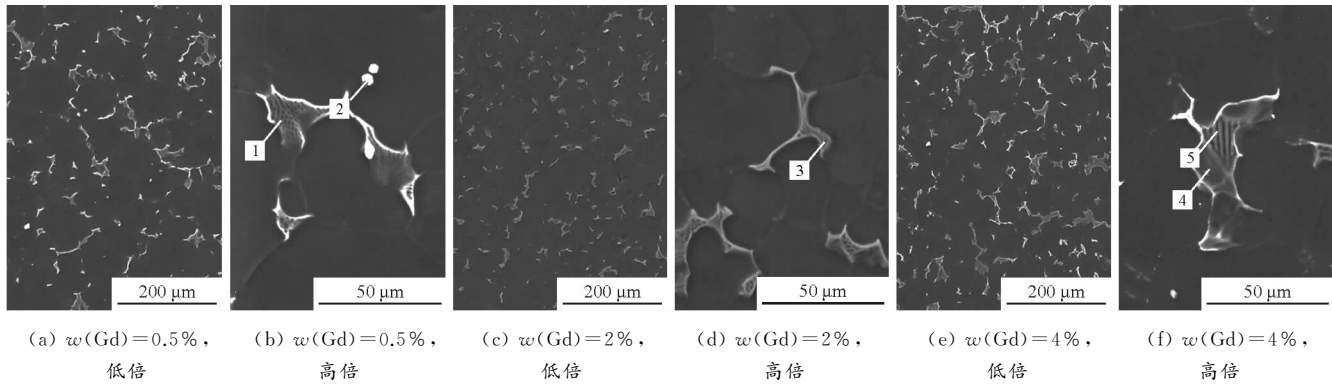


图 5 不同 Gd 含量下 Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr 合金的 SEM 图
Fig.5 SEM images of Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr alloy with different Gd contents

的典型第二相进行 EDS 点扫描,元素分析结果见表 1。结合 XRD 和 EDS 结果,可知点 1 处的 Nd、Y、Gd 含量较高,可能为 Mg_{12}Nd 、 Mg_{24}Y_5 和 Mg_5Gd 相的混合共晶相;点 2 处的 Y、Gd 含量较高,Nd 含量较低,可能为 Mg_{24}Y_5 、 Mg_5Gd 和少量的 Mg_{12}Nd 相的混合共晶相。点 5 处出现了层片状结构,其中的 Nd、Y、Gd 含量较高,可能为 Mg_{12}Nd 、 Mg_{24}Y_5 和 Mg_5Gd 相的混合共晶

表 1 图 5 中各点的 EDS 分析结果

位置	x _B				
	Y	Nd	Gd	Zr	Mg
1	4.14	5.16	0.42	0.18	90.90
2	4.60	0.56	0.47	0.42	93.95
3	2.06	2.41	0.81	—	94.71
4	1.86	2.61	1.73	—	93.80
5	3.35	3.60	2.56	0.13	90.36

相。

2.2 力学性能

图 6 为不同 Gd 含量下 Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr 合金的力学性能。可以看出,合金的抗拉强度随着 Gd

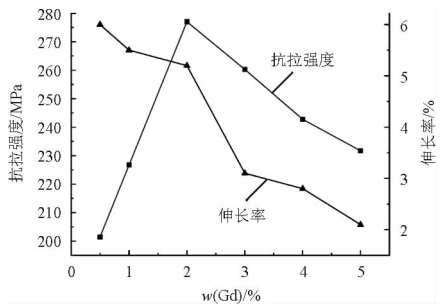


图 6 不同 Gd 含量下 Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr 合金的力学性能
Fig.6 Mechanical properties of Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr alloy under different Gd contents

含量的增加呈先增大后减小的趋势;当 Gd 含量为 2% 时,合金的抗拉强度最高为 276.99 MPa,相较于 Gd 含量为 0.5% 时的 201.49 MPa,提高了 37.5%。合金的伸长率则随着 Gd 含量的增加呈逐渐减小的趋势。

图 7 为不同 Gd 含量下 Mg-4Y-2.5Nd- x Gd-0.5Zr 合金的拉伸断口形貌。可以看出,当 Gd 含量为 0.5% 时,断口存在着解理台阶和解理面,以及大量撕裂棱,合

金断裂方式为脆性断裂;当 Gd 含量为 2% 时,解理台阶和解理面增加,存在河流状纹路,相比于 Gd 含量为 0.5% 时的撕裂棱减少,合金断裂方式为脆性断裂,其伸长率略微下降;当 Gd 含量为 4% 时,相比于 Gd 含量为 0.5% 和 2% 时的解理台阶和解理面增加,撕裂棱减少,具有更明显的河流状纹路,合金的断裂方式为脆性断裂,其伸长率明显下降。

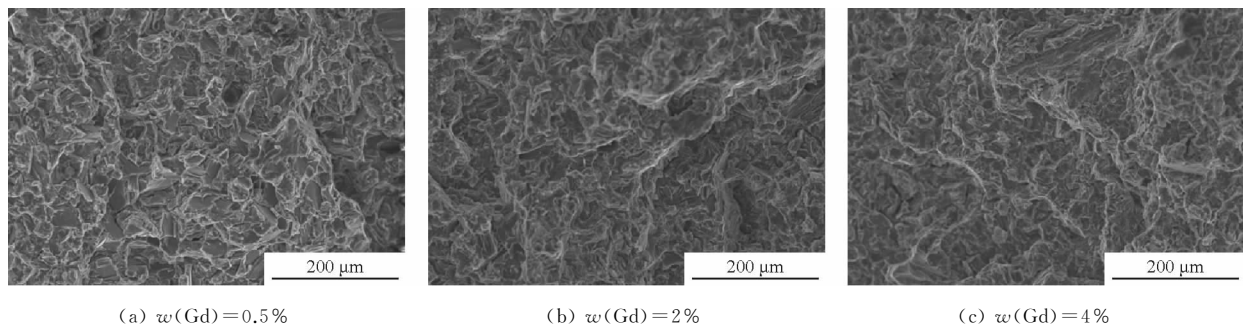


图 7 不同 Gd 含量下 Mg-4Y-2.5Nd- x Gd-0.5Zr 合金的拉伸断口形貌

Fig.7 Tensile fracture morphologies of Mg-4Y-2.5Nd- x Gd-0.5Zr alloy under different Gd contents

2.3 分析与讨论

2.3.1 不同 Gd 含量对合金凝固组织的影响

合金的初生相发生的变化主要来源于两个方面的影响,一方面 Gd 的原子半径($r_{\text{Gd}}=0.18\text{ nm}$)及晶格常数($a_{\text{Gd}}=0.363\text{ nm}$, $c_{\text{Gd}}=0.576\text{ nm}$)与 Mg 的原子半径($r_{\text{Mg}}=0.16\text{ nm}$)及晶格常数($a_{\text{Mg}}=0.323\text{ nm}$, $c_{\text{Mg}}=0.520\text{ nm}$)接近,错配度为 $12.4\% < 15\%$,根据晶面共格对应理论,Gd 原子可以成为 α -Mg 的异质形核核心。与此同时,相变温度较高的含 Gd 析出相先于 α -Mg 结晶形成,其析出相中的细小颗粒也可作为 α -Mg 基体的异质形核核心^[18-20];另一方面,在凝固过程中,随着 Gd 含量增加,Gd 更易富集在固液界面前沿,从而增加了成分过冷。同时,在凝固结束前 Gd 与 Mg 发生共晶反应,生成的 Mg_5Gd 相阻碍了晶界迁移,从而限制了晶粒的进一步长大。综上,添加一定含量的 Gd 会使得合金晶粒发生细化,但随着过量 Gd 加入,共晶反应形成的 Mg_5Gd 相引起偏聚,造成成分偏析和成分过冷^[17,21],增加了合金的黏度,不利于组织细化。

合金的第二相数量、分布、形貌发生上述变化是由于在 350 ℃ 下 Gd 在 Mg 中的溶解度为 4%,在 Gd 含量低时,共晶反应所生成的 Mg_5Gd 相数量较少;随着 Gd 含量增加,Gd 和 Mg 更易发生共晶反应,从而使得 Mg_5Gd 相数量增加,且由于初生相的细化,使得晶界处第二相分布变得更为均匀;随着 Gd 含量进一步增加,Gd 在晶界处富集,从而导致第二相的断续网状结构转变为层片状结构。

当 Gd 含量为 0.5% 时,由于 Gd 含量较低,对合金

的过冷度影响较小,形成的 Mg_5Gd 相较少,成为形核核心的 Gd 较少,合金中第二相主要呈网状结构,其晶粒细化不明显;当 Gd 含量增加至 2% 时,更多 Gd 在 α -Mg 中成为形核核心,且更多的 Gd 富集在固液界面前沿,从而使得过冷度增加。与此同时,Gd 的含量增加,使得 Mg_5Gd 相数量增加,阻碍晶界移动的能力更强,故合金晶粒发生明显细化,且合金中第二相分布由于晶粒细化而更加均匀;当 Gd 含量增加至 4% 时,Gd 在晶界中发生偏聚,造成成分偏析和成分过冷,增加了合金的粘度,导致晶粒长大,且 Mg_5Gd 相由断续网状结构转变为层片状结构。

2.3.2 不同 Gd 含量对合金力学性能的影响

Gd 含量的提高使得合金晶粒发生细化,由细晶强化可知,晶粒尺寸越小,晶界数量越多,变形也会分散在更多晶粒中进行,使得合金的强度得到提升。此外,由于 Gd 与 Mg 的原子半径差值超过了 12%,稀土 Gd 添加到 α -Mg 中,引起 Gd 元素原子周围的点阵膨胀,点阵常数增大, α -Mg 的晶格发生畸变,形成弹性应变场,与位错应变场交互作用,阻碍了位错运动,增加了滑移变形的阻力,从而起到固溶强化作用^[22],使合金的性能提高。但是由于 Gd 元素较多,促进了 Y 和 Nd 元素析出,使晶界处的 Mg_5Gd 、 Mg_{12}Nd 、 Mg_{24}Y_5 相增多,由网状结构转变为层状结构,割裂合金基体,损害合金的力学性能,同时 Mg_5Gd 、 Mg_{12}Nd 、 Mg_{24}Y_5 相等稀土第二相都是硬脆相,抵消了细晶强化和固溶强化的作用,导致合金的抗拉强度下降。

当 Gd 含量为 0.5% 时, α -Mg 相中形核核心较少,生成的 Mg_5Gd 相较少,晶粒细化不明显,合金的强度

不高,塑性较差;当 Gd 含量增加至 2%时, α -Mg 中的形核核心增多,生成的 Mg_5Gd 相变多,晶粒发生明显细化,在细晶强化和固溶强化共同作用下,合金的强度得到提高,但合金塑性下降;当 Gd 含量增加至 4%时,过量的 Gd 促使 Mg_5Gd 、 $Mg_{12}Nd$ 、 $Mg_{24}Y_5$ 相增多,割裂基体同时阻碍了晶粒细化,使得合金的抗拉强度下降,塑性进一步降低。

3 结 论

(1) Gd 含量的调整能有效改善 Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr 合金的凝固组织并提高其力学性能,同时促进 Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr 合金的 Mg_5Gd 相形成,随着 Gd 含量增加, Mg_5Gd 相的体积分数逐渐增大。

(2) Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr 合金的晶粒尺寸会随着 Gd 含量的增加先减小后增大,当 Gd 含量为 2%时,晶粒尺寸由 Gd 含量为 0.5%时的 65.69 μm 减小至 37.72 μm ,降低了 42.6%。

(3) Mg-4Y-2.5Nd-xGd-0.5Zr 合金的抗拉强度随着 Gd 含量的增加先增加后减小,在 Gd 含量为 2%时达到峰值,为 276.99 MPa,相比于 Gd 含量为 0.5%时提高了 37.5%;合金的伸长率随着 Gd 含量的增加呈逐渐减小趋势。

参 考 文 献

[1] 郑 隼,吴国华,侯正全,等.GW103K 合金熔剂净化的研究[J].特种铸造及有色合金,2009,29(12): 1 147-1 150.

[2] 王其龙,吴国华,侯正全,等.Mg-Gd-Y-Zr 合金的高温时效行为研究[J].特种铸造及有色合金,2009,29(11): 1 053-1 057.

[3] 肖 旅,侯正全,吴国华,等.高强韧稀土镁合金大型复杂铸件制造技术研究现状及展望[J].特种铸造及有色合金,2021,41(7): 793-801.

[4] 黄晓峰,梁艳,谢锐,等.新型镁合金研究进展[J].热处理技术与装备,2009,30(3): 3-8.

[5] LIU Z J, WU G H, LIU W C, et al. Effect of heat treatment on microstructures and mechanical properties of sand-cast Mg-4Y-2Nd-1Gd-0.4Zr magnesium alloy[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2012, 22(8): 1 540-1 548.

[6] 戚方舟,张小龙,吴国华,等.镁稀土合金疲劳性能的研究进展[J].特种铸造及有色合金,2021,41(5): 629-637.

[7] 刘文才,温璐,孟德浩,等.Y 和 Gd 含量对 Mg-Gd-Y-Zn-Zr 合金组织与性能的影响[J].特种铸造及有色合金,2021,41(4): 397-401.

[8] WANG X Z, WANG Y Q, NI C B, et al. Effect of Gd content on

microstructure and dynamic mechanical properties of solution-treated Mg-xGd-3Y-0.5Zr alloy[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2022, 32(10): 2 177-2 189.

[9] YANG Z, DUAN H B, WANG Z H, et al. Effect of natural ageing on microstructure and mechanical properties of Mg-10Gd-2Y-0.8Zr alloy[J]. Materials Science& Engineering, 2015, A648: 140-145.

[10] 李鹏,周全,陈炯,等.Zr 和脉冲磁场对 Mg-Y-Zn-Ca 合金组织及压缩性能的影响[J].特种铸造及有色合金,2020,40(4): 431-435.

[12] HU Y B, DENG J, ZHAO C, et al. Microstructure and mechanical properties of Mg-Gd-Zr alloys with low gadolinium contents[J]. Journal of Materials Science, 2011, 46: 5 838-5 846.

[13] 李志涛,李全安,陈晓亚.Gd 对铸态 Mg-4Y-2Sm-0.5Zr 合金组织与性能的影响[J].金属热处理,2019,44(6): 69-74.

[14] 许美贤,高建中,张增耀,等.Gd 元素添加对铸态 AS41 合金组织和性能的影响[J].铸造,2020,69(11): 1 167-1 171.

[15] 钟罗喜,袁淑,张奇,等.Gd 含量对 Mg-xGd-1.0Y-1.0Zn-0.5Zr 镁合金微观组织和力学性能的影响[J].铸造,2019,68(7): 699-704.

[16] 潘 喆,杨俊杰,陈俊波.Gd 对 AZ91D 合金铸态组织及性能的影响[J].金属功能材料,2021,28(2): 83-86.

[17] 任静,庞松,刘辰,等.Gd 含量对砂型铸造 Mg-Gd-Y 合金组织与性能的影响[J].特种铸造及有色合金,2018,38(8): 825-829.

[18] 陈志,李全安,刘文健,等.Gd 在耐热镁合金中的应用及研究进展[J].铸造,2013,62(1): 33-36.

[19] 赵忠,罗强,樊自田,等.Gd 对 Mg9AlZnY 镁合金消失模组织和性能的影响[J].稀有金属材料与工程,2011,40(9): 1 594-1 599.

[20] 余琨,黎文献,张世军.Ce 对镁及镁合金中晶粒的细化机理[J].稀有金属材料与工程,2005(7): 1 013-1 016.

[21] 高岩. Mg-Y-Gd-Zn-Zr 镁合金组织、性能及其蠕变行为研究[D].上海:上海交通大学,2009.

[22] 付三玲,李全安,井晓天,等.Gd 含量对 Mg-Gd-Sm-Zr 合金组织和性能影响[J].材料热处理学报,2016,37(8): 41-46.

(编辑:张正贺)

上半年我国工业机器人产量 22.2 万套

从 2023 世界机器人大会新闻发布会上获悉,今年上半年,我国机器人产业总体保持稳定增长态势,工业机器人产量达 22.2 万套,同比增长 5.4%,服务机器人产量达 353 万套,同比增长 9.6%。

当前,我国机器人产业前沿技术加速突破,创新产品不断涌现,应用场景更加丰富。2022 年我国机器人全行业营业收入超 1 700 亿元,工业机器人产量达 44.3 万套,服务机器人产量达 645.8 万台,产业运行稳定向好。

(摘自压铸周刊)