

Gd 含量对 ZM21 合金显微组织及性能的影响

赵春博 王小刚 刘 涛 李伟莉 李 红 马登民 崔 凯

(山西闻喜银光华盛镁业股份有限公司, 运城 043800)

摘 要 系统探究了稀土元素 Gd(0~0.8%, 质量分数, 下同)对 ZM21(Mg-2Zn-1Mn)镁合金显微组织与力学性能的影响。结果表明, Gd 添加显著细化铸态枝晶组织, 促进 Mg-Zn-Gd 三元相(I 相/W 相)析出; 挤压态合金晶粒尺寸随 Gd 含量增加持续减小(ZM21-0.8Gd 平均晶粒尺寸为 3.78 μm), 并弱化基面织构强度。另外, ZM21-0.8Gd 合金在挤压方向(ED)的屈服强度(204 MPa)、抗拉强度(339.6 MPa)及 45°方向的伸长率(35.9%)均达最优, 杯突值($I_E=4.2$ mm)较基体提升了 75%。Gd 通过细晶强化、织构弱化与第二相析出等协同作用, 显著提升了 ZM21 合金的强塑性及成形性。

关键词 Gd 含量; ZM21 合金; 显微组织; 成形性; 力学性能

中图分类号 TG146.22; TG113.25

文献标志码 A

DOI: 10.15980/j.tzzz.T20250322

Effects of Gd Content on Microstructure and Properties of ZM21 Alloy

ZHAO Chunbo, WANG Xiaogang, LIU Tao, LI Weili, LI Hong, MA Dengmin, CUI kai

(Shanxi Wenxi Yinguang Huasheng Magnesium Co., Ltd., Yuncheng 043800)

Abstract: The effects of rare earth Gd (0~0.8%) on microstructure and mechanical properties of ZM21 (Mg-2Zn-1Mn) alloy were systematically investigated. The results indicate that as-cast dendritic structure is significantly refined after Gd addition, and the precipitation of Mg-Zn-Gd I-phase/W-phase is promoted. The grain size of as-extruded alloys is continuously decreased with increasing Gd content (average grain size of ZM21-0.8Gd is 3.78 μm), accompanied by a weakening of basal texture intensity. Meanwhile, ZM21-0.8Gd alloy exhibits desirable performance with yield strength of 204 MPa, tensile strength of 339.6 MPa along extrusion direction (ED), and elongation of 35.9% at 45° direction, and Erichsen value ($I_E=4.2$ mm) is increased by 75% compared to those of matrix alloy. Through the synergistic effects of grain refinement, texture weakening, and second-phase precipitation, Gd significantly enhances the strength-ductility synergy and formability of ZM21 alloy.

Key Words: Gd Content, ZM21 Alloy, Microstructure, Formability, Mechanical Properties

镁合金作为最轻的金属结构材料,在 3C 电子与汽车轻量化领域具有重要价值。然而,其室温强韧性低、成形性差, I_E 值 <4 mm 以及显著的各向异性等缺陷,限制了其在复杂承载部件中的应用^[1-3]。传统强化手段如晶粒细化、析出强化不能解决强度和塑性同时良好的问题,难以同时满足高性能需求。

稀土微合金化被认为是突破镁合金性能极限的关键途径。Gd 在 Mg 中的最大固溶度达 23.5%,且扩散系数小,可形成长程固溶强化^[4]。此外, Gd 原子半径为 0.180 nm,与 Mg 的错配度达 10.7%,通过溶质拖拽效应显著抑制再结晶晶粒长大,并促使非基面滑移^[5]。而且, Gd 优先与 Zn 形成 I 相($\text{Mg}_3\text{Zn}_6\text{Gd}$)和 W 相($\text{Mg}_3\text{Zn}_3\text{Gd}_2$),其高热稳定性($>300^\circ\text{C}$)可有效钉扎位错,实现析出强

化^[6]。现有研究证实 Gd 在 ZK(Mg-Zn-Zr)和 WZ(Mg-Zn-Y)系合金中的效果显著,添加 0.5% 的 Gd 可使 ZK60 晶粒细化 70%^[7],而 0.8% 的 Gd 将 Mg-6Zn 的 I_E 值提升了 130%^[8]。然而,针对含 Mn 的 ZM 系合金(如 ZM21), Gd 的作用机制尚未阐明, Mn 可能通过净化基体、结合 Fe 杂质改变 Gd/Zn 的竞争析出行为。低含量 Gd($<1\%$)的协同机制中,晶粒细化(Hall-Petch 效应)与纳米析出(Orowan 强化)的定量贡献尚未厘清^[9]。因此,本研究聚焦 ZM21(Mg-2Zn-1Mn)合金,探究微量 Gd(0~0.8%)的调控机制。通过多尺度表征(OM、SEM、EBSD)与力学性能关联分析,揭示 Mn 存在下 Gd 的析出行为差异,建立细晶强化、织构弱化及析出强化的协同模型,为稀土微合金化高成形性镁合金的设

收稿日期:2025-08-20;修订日期:2025-09-03

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2021YFB3701100)

第一作者:赵春博,男,1988 年出生,工程师, E-mail: sxygmyzcb@qq.com

引用格式:赵春博,王小刚,刘涛,等. Gd 含量对 ZM21 合金显微组织及性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2026, 46(10): 1584-1589.

ZHAO C B, WANG X G, LIU T, et al. Effects of Gd content on microstructure and properties of ZM21 alloy[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2026, 46(10): 1584-1589.

计提供参考。

1 试验材料与方法

选用 ZM21 镁合金(名义成分为 Mg-2Zn-1Mn)为基体,通过添加 0、0.2%、0.5% 及 0.8% 的 Gd 获得 4 种成分的合金,分别记作 ZM21、ZM21-0.2Gd、ZM21-0.5Gd 及 ZM21-0.8Gd。熔炼原料包括高纯 Mg(99.95%)、Zn(99.9%)、Mn(99.7%)以及 Mg-30Gd 中间合金。熔炼在 CO₂、SF₆(体积比为 100:1)保护气氛下进行,熔体温度控制在 720 ℃,机械搅拌 10 min 后浇注到预热至 250 ℃的金属型中,获得 ϕ 80 mm×150 mm 的铸锭。经 400 ℃×12 h 均匀化退火并水淬,以消除枝晶偏析,车削至 ϕ 75 mm,在 350 ℃预热 1 h,采用挤压比为 18:1、挤压速度为 1 mm/s 将铸锭挤压成尺寸为 4 mm 厚的板材,空冷至室温。

试样经 SiC 砂纸打磨、抛光后,用乙酸苦味醇溶液(配比为 4.2 g 的苦味酸+10 mL 的乙酸+70 mL 的乙醇)腐蚀 5~10 s。采用 Zeiss Axio Observer 光学显微镜观察显微组织,采用 Image-Pro Plus 6.0 软件统计晶粒尺寸。使用 FEI Quanta 650 FEG 场发射扫描电镜(加速电压为 20 kV)观察第二相形貌与分布,并用附配的 EDS 对不少于 5 个视场进行成分定量的分析,取平均值。在 Bruker D8 Advance X 射线衍射仪上进行相组成

分析,Cu-K α 射线($\lambda=0.154\ 06\ \text{nm}$),扫描角度范围为 20°~90°,步长为 0.02°。试样经 AC2 电解液在 20 V、90 s 条件下电解抛光后,利用 Oxford Instruments Symmetry 探测器采集 EBSD 数据,扫描步长为 0.5 μm 。按 ASTM E8 标准,沿轧向(RD)、横向(TD)及 45°方向切割狗骨形试样(标距 25 mm×宽 6 mm),力学性能试验在 Instron 5969 万能试验机上进行,拉伸速率为 3 mm/min。测试 3 个试样并取平均值,依据 ISO 20482,采用冲头直径为 ϕ 20 mm、压边力为 10 kN、冲压速度为 5 mm/min 的条件进行 Erichsen 测试,以破裂时的冲压深度 I_E 值评价成形极限。基于拉伸所得真应力-真应变曲线,在 5%~15% 均匀变形区间内分别计算 r (塑性应变比)值与 n (应变硬化指数)值,以评估板材的成形性能。

2 试验结果与讨论

2.1 铸态合金的显微组织

图 1 为不同 Gd 含量时铸态 ZM21 合金的光学显微组织。可以看到,4 种铸态合金的组织均由枝晶、枝晶臂和枝晶间化合物组成,表现为典型的树枝状凝固组织,枝晶间有半连续网状的第二相。由于添加的 Zn、Mn、Gd 元素含量较低,沿晶界分布的第二相并不粗大。Gd 元素的高生长限制因子通过溶质偏析诱导成分过冷,促进形核的同时抑制枝晶长大,因此随 Gd 含量增加。

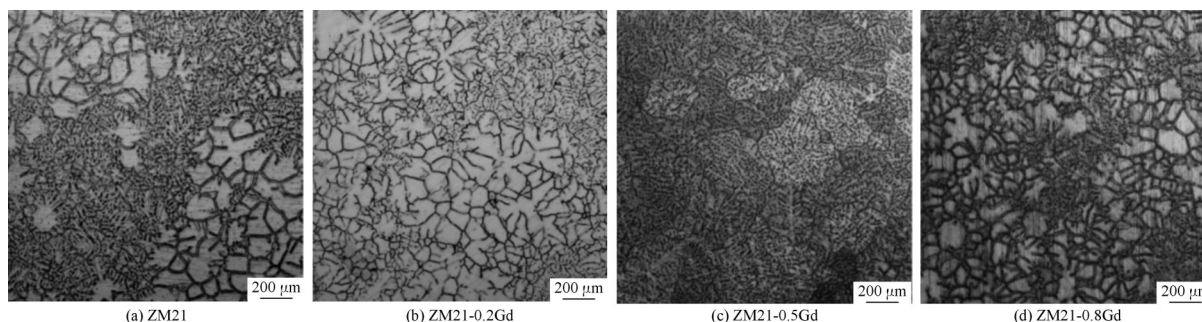


图 1 不同 Gd 含量铸态 ZM21 合金的光学显微组织

Fig.1 OM images of as-cast ZM21 alloys with different Gd contents

不同 Gd 含量时 ZM21 铸态合金的 SEM 形貌见图 2。可以看出,所有合金组织均主要由 α -Mg 基体和树枝晶状的共晶化合物组成。ZM21 合金中的第二相是由不连续的共晶化合物、少量的针状、短杆状第二相组成,数量最少。ZM21-0.2Gd、ZM21-0.5Gd、ZM21-0.8Gd 合金中的第二相沿晶界呈网状分布,少数球状的第二相分布在晶粒内部。表 1 为相应的 EDS 结果。从图 2 和表 1 可知,A 点和 D 点 Mg、Zn 摩尔分数分别为 79.70%、19.41% 和 80.10%、17.00%,E 点中 Mg、Zn 摩尔分数为 75.92%、19.23%, $x(\text{Mg})/x(\text{Zn})$ 接近 7:3,推测 ZM21、

ZM21-0.2Gd、ZM21-0.5Gd 中不连续的共晶化合物有 Mg₇Zn₃ 相;B 点、C 点的针状和短杆状的第二相中 Mg、Zn、Gd 的摩尔分数分别为 81.16%、14.54%、3.68% 和 86.98%、9.87%、2.57%,由此可知短杆状的第二相为 Mg-Zn-Gd 三元相。

在此基础上,对 4 种成分的合金试样进行了 X 射线衍射分析,结果见图 3。可以看出,ZM21 合金的成分以 α -Mg、Mg₇Zn₃ 和 Mn 元素为主。当 Gd 加入后,ZM21-0.2Gd、ZM21-0.5Gd、ZM21-0.8Gd 的衍射峰增强,并在 ZM21-0.8Gd 中观测到了新的衍射峰。未发现

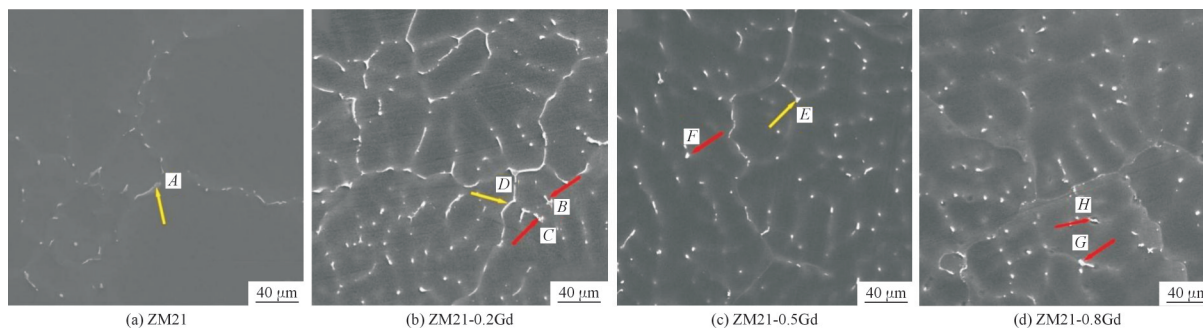


图 2 不同 Gd 含量铸态 ZM21 合金的扫描组织分析

Fig.2 SEM images of as-cast ZM21 alloys with different Gd contents

表 1 图 2 中铸态合金能谱分析结果

Tab.1 EDS results of as-cast alloys in Fig.2

点	$x_B/\%$				相
	Mg	Mn	Zn	Gd	
A	79.70	0.89	19.41	—	Mg_7Zn_3
B	81.16	0.62	14.54	3.68	Mg-Zn-Gd
C	86.98	0.58	9.87	2.57	Mg-Zn-Gd
D	80.10	0.73	17.00	2.17	Mg_7Zn_3
E	75.92	7.39	19.23	—	Mg-Zn
F	93.64	0.38	4.28	1.71	Mg-Zn
G	76.04	2.79	20.07	1.10	Mg-Zn
H	80.05	0.50	13.20	6.25	Mg-Zn-Gd

含有 Gd 的金属间化合物存在,这是因为加入的 Gd 含量相对较低,且 Gd 在镁合金中具有较高的固溶度。当 Gd 的质量分数由 0.2% 增至 0.8% 时,试样的衍射峰强度增大。研究表明,在 Mg-Zn-Gd 系中, $w(Zn)/w(Gd)$ 为 1.5~40.0 时,易产生准晶;当 $w(Zn)/w(Gd)$ 为 0.25~6.00 时, $W(Mg_3Zn_3Gd_2)$ 易于生成;当 $w(Zn)/w(Gd)$ 在 I 相和 W 相生成区域时,将同时产生 I 相和 W 相^[11]。ZM21-0.2Gd、ZM21-0.5Gd、ZM21-0.8Gd 的 $w(Zn)/w(Gd)$ 分别为 19、6.9、4.2,因此,在 ZM21-0.2Gd 和 ZM21-0.5Gd 系中,将会有 I 和 W 相出现,这与 X 射线衍射结果一致。在此过程中,随 Gd 含量的增大, Mg_7Zn_3 相的衍射峰值强度逐渐减小。

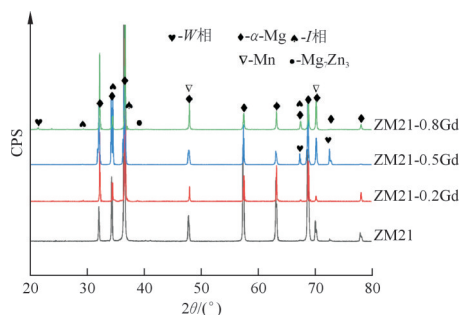


图 3 不同 Gd 含量铸态 ZM21 合金的 XRD 图谱

Fig.3 XRD patterns of as-cast ZM21 alloys with different Gd contents

2.2 挤压态合金的显微组织

图 4 为挤压态 ZM21 基体合金和不同 Gd 含量合金的 OM 组织。可以看出,随 Gd 含量增加,合金的晶粒尺寸逐渐减小。纯 ZM21 合金的平均晶粒尺寸为 16.17 μm ,而 ZM21-0.2Gd、ZM21-0.5Gd 和 ZM21-0.8Gd 合金的平均晶粒尺寸分别为 8.53、4.36 和 3.78 μm 。这一现象主要归因于 Gd 元素的溶质拖拽效应和析出相强化作用,Gd 的加入显著提高了合金的再结晶温度,抑制了晶粒长大过程,从而实现晶粒细化。其细化效应可能源于 Gd 在合金中的溶解度有限,导致第二相在晶界处析出,抑制了晶粒的长大和再结晶的进行,从而提高材料的强度和延展性^[12]。

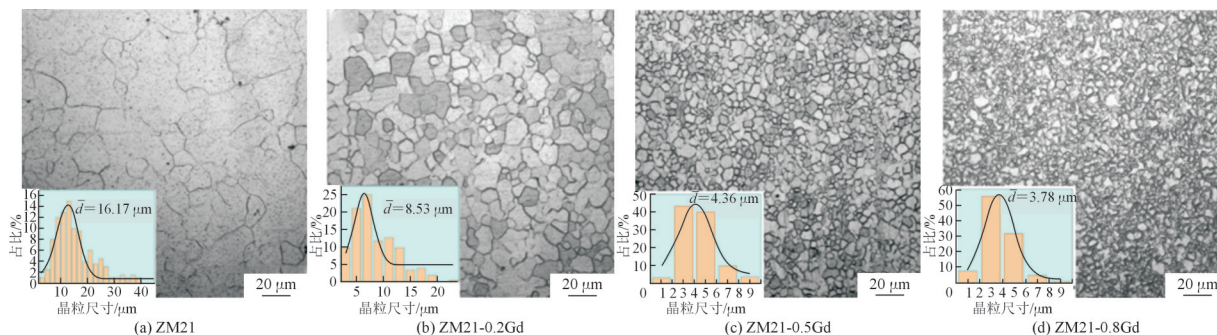


图 4 不同 Gd 含量挤压态 ZM21 合金的光学显微组织

Fig.4 OM images of as-extruded ZM21-xGd alloys

图 5 为 ZM21 合金及不同 Gd 含量合金的 SEM 组织。可以看出,基体中存在不同形态和分布的第二相

颗粒。随 Gd 含量增加,第二相颗粒逐渐增多并细化,特别是在 ZM21-0.5Gd 和 ZM21-0.8Gd 合金中,观察到

大量均匀分布的纳米级析出相。

能谱分析(EDS)结果见表 2,可见这些第二相颗粒主要由 Mg、Zn 和 Gd 组成,推测为 $\text{Mg}_3\text{Zn}_6\text{Gd}$ 等富 Gd 化合物。Gd 元素在基体中的析出相增强了晶界的

稳定性,阻碍了晶界的滑移和位错运动,提高了合金的强度。Gd 的添加促进了这些相的析出,并通过抑制基体晶粒长大和位错运动,提高了合金的强度和硬度^[12]。

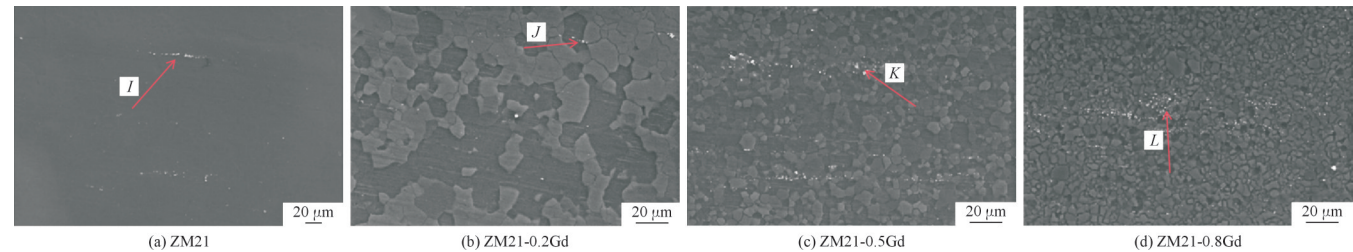


图 5 不同 Gd 含量挤压态 ZM21 合金的 SEM 组织

Fig.5 SEM microstructure of as-extruded ZM21 alloys with various Gd contents

表 2 图 5 中挤压态合金能谱分析结果
Tab.2 EDS results of as-extruded alloys in Fig.5

编号	$x_B/\%$				相
	Mg	Mn	Zn	Gd	
I	81.51	7.39	11.10	—	Mg-Zn
J	93.64	0.38	4.28	1.71	Mg-Zn
K	76.04	2.79	20.07	1.10	Mg-Zn
L	80.05	0.50	13.20	6.25	Mg-Zn-Gd

图 6 为不同 Gd 含量挤压态 ZM21 合金的 IPF 图。可以看出,挤压态合金形成基面组织,Gd 元素的添加降低了织构强度。IPF 图通过微观组织与晶体取向的关联分析,揭示了镁合金加工过程中织构演变与组织调控的联系^[17]。对比 4 个试样,可见所有试样均呈现典型的基面织构特征,{0001}极图中心取向密度最大值在 6~18.76 mrd 之间波动,其中最大值为 18.76 mrd 的试样显示出强烈的基面织构,表明在 TD 方向(横向)存在显著的晶粒择优取向,这与镁合金轧制过程中基面滑移系优先启动的变形机制相符,见图 6a。微观组织中

的晶粒尺寸差异显著,最大取向密度为 11.56 mrd 的试样对应更均匀的等轴晶结构(平均尺寸约为 15 μm),此试样出现沿 ED 方向(挤压方向)延伸的带状组织,说明加工工艺参数差异导致动态再结晶程度不同,见图 6c; (01 $\bar{1}$ 0)极图的非对称分布特征表明存在棱柱面 $\langle a \rangle$ 滑移激活,特别是在含 Mn 试样,这种非基面滑移使晶粒取向发生 15°~30°偏转,有利于提升材料塑性。50 μm 尺度下的组织观测显示第二相粒子(亮白色)沿晶界分布,与(0001)极图的高密度区存在空间相关性,证实析出相钉扎效应可稳定特定取向晶粒的生长。因此,通过调控轧制变形量(30%~70%)与退火工艺(300~400 $^{\circ}\text{C}$),可实现基面织构强度与晶粒形态的协同优化。当取向密度控制在 12~15 mrd 范围时,材料可获得最佳强塑性匹配(抗拉强度为 280~320 MPa,伸长率为 10%~15%)。含 Mn 试样的特殊取向分布为弱化镁合金各向异性提供了新途径,其非基面滑移激活机制可使板材极限拉深比提升 20% 以上。该分析为

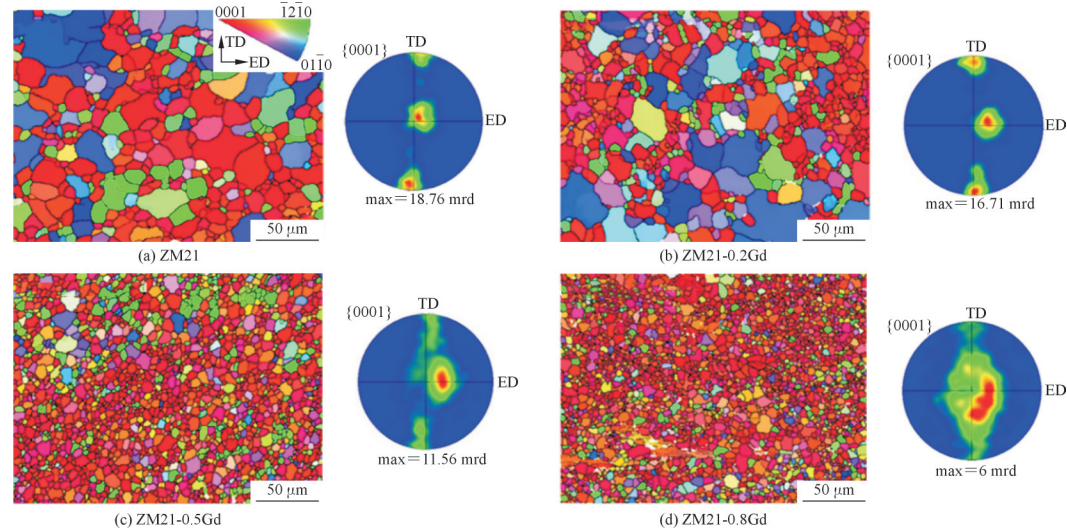


图 6 不同 Gd 含量时挤压态 ZM21 合金的 IPF 图

Fig.6 IPF images of as-extruded ZM21 alloys with various Gd contents

Mg-Zn-Al 系合金的组织工程提供了直接试验证据^[13-16]。

2.3 挤压态合金的力学性能

图 7 为在室温下 4 种轧制退火态板材不同方向的工程应力-应变曲线,表 3 为退火态合金板材的力学性能

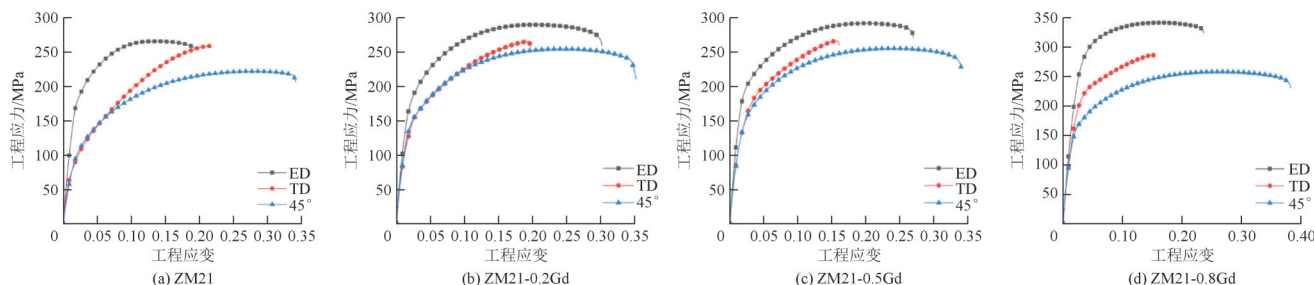


图 7 挤压态板材在室温下的工程应力-工程应变曲线

Fig.7 Engineering stress-strain curves of as-extruded sheet along RD, 45°, and TD directions

表 3 挤压态合金板材力学性能

Tab.3 Mechanical properties of as-extruded alloys

合金	屈服强度/MPa			抗拉强度/MPa			伸长率/%		
	0°	45°	90°	0°	45°	90°	0°	45°	90°
ZM21	163	89.2	67.8	266.2	222.3	258.9	17.5	32.6	20.7
ZM21-0.2Gd	170	138.5	104.0	290.9	255.4	265.3	27.5	32.4	18.2
ZM21-0.5Gd	161	115.4	111.8	297.6	254.1	264.4	25.8	32.7	14.5
ZM21-0.8Gd	204	128.0	125.0	339.6	256.2	284.3	21.3	35.9	13.5

2.4 挤压态合金的成形性能

4 种合金板材在室温下杯突成形的测试结果见图 8。可以看出,4 种板材 I_E 值分别为 2.4、2.6、3.5 和 4.2 mm,添加 Gd 元素的板材 I_E 值均大于不添加 Gd 的,且逐渐提高,表明 Gd 元素可以改善杯突成形性^[18]。表 4 为挤压态板材的 n 值和 r 值,强的基面织构导致较高的 r 值,而 r 值越高,则表示镁合金板材在厚度方向不易变形,导致 I_E 值较低;细小晶粒试样中 $\{10\bar{1}2\}$ 拉伸孪晶不易激活,不利于塑性成形^[19]。

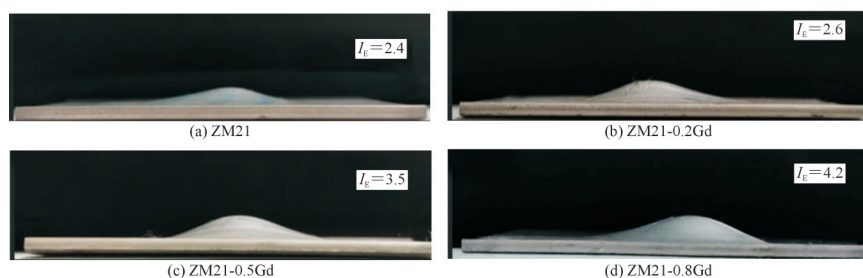


图 8 室温下的杯突成形性能测试结果

Fig.8 Erichsen test results at room temperature

表 4 挤压态板材的 n 值和 r 值

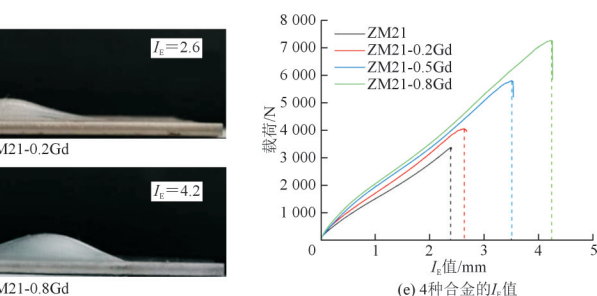
Tab.4 Formability parameters of as-extruded sheets

合金	r			n			$\bar{r}$	$\bar{n}$	Δr
	0°	45°	90°	0°	45°	90°			
ZM21	0.05	2.73	0.14	0.34	0.57	0.66	1.41	0.54	-2.64
ZM21-0.2Gd	0.23	1.26	0.12	0.43	0.50	0.50	0.71	0.48	-1.08
ZM21-0.5Gd	0.22	1.57	0.05	0.4	0.48	0.45	0.85	0.45	-1.43
ZM21-0.8Gd	0.26	1.50	0.04	0.32	0.49	0.35	0.85	0.41	-1.35

注: $\bar{n}$ 为应变硬化指数 3 个方向的平均值; $\bar{r}$ 为塑性应变比 3 个方向的平均值。

3 结 论

(1)Gd 添加显著细化铸态枝晶组织,促进 Mg-Zn-



Gd 三元相(I 相/ W 相)析出,挤压态晶粒尺寸随 Gd 含量增加持续减小,ZM21-0.8Gd 平均晶粒尺寸为 $3.78\text{ }\mu\text{m}$,归因于溶质拖曳与析出相钉扎晶界的共同作用。

(2)Gd 弱化基面织构强度,缓解各向异性,使 ZM21-0.8Gd 合金在 ED 方向实现最优性能,屈服强度为 204 MPa,抗拉强度为 339.6 MPa,45°方向伸长率最高,为 35.9%,杯突值提升至 4.2 mm,增幅达 75%。

(3)Gd 通过细晶强化、织构弱化与第二相析出强化的协同作用,显著提升 ZM21 合金的强塑性与成形性,为高成形性镁合金设计提供参考。

参 考 文 献

- [1] 丁文江, 靳丽, 吴文祥, 等. 变形镁合金中的组织及其优化设计[J]. 中国有色金属学报, 2011, 21(10): 2 371-2 381.
- [2] 王晶晶, 陈雄飞, 郝雪龙, 等. 镁及镁合金产业标准体系研究及建设建议[J]. 中国材料进展, 2024, 43(12): 1 092-1 098, 1 063.
- [3] 苏阳, 郝亮, 李扬欣, 等. 航空航天用高性能镁合金的研究进展[J]. 空天防御, 2024, 7(6): 1-11.
- [4] 丁文江, 曾小勤. 中国 Mg 材料研发与应用[J]. 金属学报, 2010, 46(11): 1 450-1 457.
- [5] 李昉昊. 镁合金材料的应用现状及发展趋势研究[J]. 世界有色金属, 2019 (12): 149-150.
- [6] 陈军. 镁合金在汽车工业中的应用分析[J]. 材料研究与应用, 2010, 4(2): 81-84.
- [7] 丁文江, 付彭怀, 彭立明, 等. 先进镁合金材料及其在航空航天领域中的应用[J]. 航天器环境工程, 2011, 28(2): 103-109.
- [8] YAN H, CHEN R S, HAN E H. Room-temperature ductility and anisotropy of two rolled Mg-Zn-Gd alloys[J]. Materials Science and Engineering, 2010, A527(15): 3 317-3 322.
- [9] YANG Z, MA A, XU B, et al. Development of a high-strength Mg-11Gd-2Ag alloy sheet with extra-low anisotropy[J]. Materials Science and Engineering, 2021, A811: 141 084.
- [10] CHINO Y, SASSA K, KAMIYA A, et al. Enhanced formability at elevated temperature of a cross-rolled magnesium alloy sheet[J]. Materials Science and Engineering, 2006, A441(1-2): 349-356.
- [11] KIM W J, LEE J B, KIM W Y, et al. Microstructure and mechanical properties of Mg-Al-Zn alloy sheets severely deformed by asymmetrical rolling[J]. Scripta Materialia, 2007, 56(4): 309-312.
- [12] WANG Y, PENG J, ZHONG L. On the microstructure and mechanical property of as-extruded Mg-Sn-Zn alloy with Cu addition[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2018, 744: 234-242.
- [13] WANG Q, SHEN Y, JIANG B, et al. A micro-alloyed Mg-Sn-Y alloy with high ductility at room temperature[J]. Materials Science and Engineering, 2018, A735: 131-144.
- [14] CHINO Y, IWASAKI H, MABUCHI M. Stretch formability of AZ31 Mg alloy sheets at different testing temperatures[J]. Materials Science and Engineering, 2007, A466(1-2): 90-95.
- [15] HUANG X, SUZUKI K, CHINO Y. Influences of initial texture on microstructure and stretch formability of Mg-3Al-1Zn alloy sheet obtained by a combination of high temperature and subsequent warm rolling[J]. Scripta Materialia, 2010, 63(4): 395-398.
- [16] DULEY P, SANYAL S, BANDYOPADHYAY T K, et al. Implications of annealing treatments on microstructure, texture, and tensile properties of hard plate hot forged Mg-Zn-Ca-Mn alloy[J]. Materials Characterization, 2021, 172: 110 885.
- [17] PEREZ-PRADO M T, RUANO O A. Texture evolution during annealing of magnesium AZ31 alloy[J]. Scripta Materialia, 2002, 46(2): 149-155.
- [18] 邵瑞, 张效华. 轧制工艺参数对稀土镁合金组织和性能的影响[J]. 热加工工艺, 2018, 47(19): 166-169.
- [19] 宋锴, 彭鹏, 宋泽, 等. Al, Zn 对挤压 Mg-1Mn 合金晶粒组织和塑性变形机制的影响[J]. 精密成形工程, 2021, 13(4): 109-114.

(编辑: 张正贺)

《特种铸造及有色合金》征订启事

《特种铸造及有色合金》杂志是中国科学技术协会主管、中国机械工程学会铸造分会和武汉机械工艺研究所共同主办的全国性科技期刊, 是对国内外公开发行的中文核心期刊, 中国科技论文统计与分析用刊, INSPEC、CA、MA、AJ、JST、Scopus 等国内外权威数据库及检索系统收录期刊, 并获得全国优秀科技期刊一等奖、国家期刊奖、新中国 60 年有影响力的期刊、湖北省十大有影响力的自然学术期刊等。

本刊主要报道各种(黑色和有色合金)特种铸造方法、各种有色合金及复合材料成形的理论、工艺、设备、材料、测试与控制、计算机应用等方面的科技成果、生产技术和现场经验, 并报道各相关学科和交叉学科, 如挤压铸造(液态模锻)、半固态加工、电子封装、高熵合金、非晶合金(金属玻璃)、焊合、粉末冶金、合金化、热处理、表面处理等方面的学术研究和科技信息以及上述内容的国内外发展动向、行业活动、学术会议、消息动态等。

本刊诚征国内外广告, 业务范围: 铸造及有色合金材料、辅助材料、铸造及相关设备、铸造生产线、测控与控制设备、仪器仪表、计算机应用软件、铸造展会等。

本刊为月刊, 标准(大)16 开, 邮发代号 38-109。邮发订价每期 20 元, 全年 240 元。全国各地邮局均可订阅, 也可直接向本刊编辑部邮购, 本刊还提供过刊、压铸宝典和年会专刊邮购服务。

特种铸造及有色合金杂志社(武汉)有限公司

地址: 武汉市江岸区建设大道融玺 1001 大厦 11 楼

邮编: 430019

电话: 027-85358206, 85486024, 85358127

投稿网址: www.special-cast.com

邮箱: tzzz@special-cast.com

