

脉冲磁场对 Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金组织及性能的影响

毛训聪 陈乐平 彭 聪 魏陈阳 辛周媛
(南昌航空大学航空制造工程学院)

摘 要 研究了不同的脉冲磁场参数对 Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金凝固组织及力学性能的影响。结果表明,经脉冲磁场处理后,合金的凝固组织和力学性能明显改善。脉冲电压在 0~300 V 或模具预热温度在 200~600 ℃内,随着脉冲电压或模具温度增加,其晶粒尺寸均逐渐减小;脉冲频率在 0~10 Hz 范围内,随着脉冲频率增加,其晶粒尺寸先减小后增大。当脉冲电压为 300 V,脉冲磁场为 5 Hz,模具预热温度为 600 ℃时,合金的力学性能最优,其抗压强度为 271.35 MPa,压缩率为 22.5%。与未经过磁场处理的合金相比,抗压强度和压缩率分别提高了 28.4%和 14.2%。

关键词 脉冲磁场;Mg-Zn-Zr-Gd 合金;凝固组织;力学性能

中图分类号 TG146.22;TG156.97 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2022.07.022 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



Effects of Pulsed Magnetic Field on Microstructure and Properties of Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd Alloy

Mao Xuncong, Chen Leping, Peng Cong, Wei Chenyang, Xin Zhouyuan
(School of Aeronautical Manufacturing Engineering, Nanchang Hangkong University)

Abstract: The effects of different pulsed magnetic field parameters on the solidification microstructure and mechanical properties of Mg-Zn-Zr-Gd alloy were investigated. The results reveal that the solidification microstructure and mechanical properties of the alloy are obviously improved under the condition of pulsed magnetic field. With the increase of pulsed voltage(0~300 V) or mould preheating temperature(200~600 ℃), the grain size in the alloy is decreased gradually. With the increase of pulsed frequency(0~10 Hz), the grain size of the alloy is decreased firstly and then increased. With the pulsed voltage of 300 V, the pulsed frequency of 5 Hz and the mould preheating temperature of 600 ℃, the mechanical properties of the alloy present desirable, where the compressive strength and the compression rate of the alloy reach 271.35 MPa and 22.5%, respectively. Compared with those of the alloy without pulsed magnetic field treatment, the compressive strength and compression rate of treated alloy are increased by 28.4% and 14.2%, respectively.

Key Words: Pulsed Magnetic Field, Mg-Zn-Zr-Gd Alloys, Solidification Microstructure, Mechanical Properties

镁合金除了具有密度低、强度高、刚性好等特点,还与与骨组织相近的弹性模量、良好的生物相容性、促成骨性及可以在人体内被降解吸收等特点,近年来在作为可降解医用合金方面,受到了越来越多的关注^[1~6]。但由于其抗拉强度不高,塑性、韧性及耐蚀性能较差,在临床应用中受到限制^[7~10]。

向镁中加入稀土元素可以有效地提升镁合金的力学性能^[11]。李建平等^[12]研究发现,向 ZK60 镁合金中加入 Gd 后,合金中的第二相发生变化,细化了合金晶粒,其中的铸态和变态晶粒明显细化。王萍等^[13]研

究发现,Gd 对 ZK60 合金晶粒具有细化作用,粗大的第二相含量降低,Gd 添加后其耐蚀性得到增强。赵兵等^[14]对 Mg-4Zn-xGd-0.4Zr 合金的耐腐蚀性能进行了研究,发现当 Gd 含量为 1%时,其耐腐蚀性能最好。CHEN J X 等^[15]发现,Gd 可以细化 Mg-Zn-Gd-Zr 合金的晶粒,当 Gd 含量为 1%时,晶粒细化效果最好,第二相分布较均匀。

镁合金在脉冲磁场处理下,能产生搅拌和振荡效果,从而细化晶粒,提高合金的力学性能,同时,脉冲磁场具有操作方便、环保、成本低等特点。胡世平等^[16]研

收稿日期:2021-12-01;修改稿收到日期:2022-01-20
基金项目:上海航天科技创新基金资助项目(SAST2019-130);江西省教育厅科技资助项目(DA202103161)
第一作者简介:毛训聪,男,1997 年出生,硕士研究生,南昌(330063),E-mail:841121915@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:毛训聪,陈乐平,彭聪,等. 脉冲磁场对 Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金组织及性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金,2022,42(7):898-903.
MAO X C, CHEN L P, PENG C, et al. Effects of pulsed magnetic field on microstructure and properties of Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd alloy[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2022, 42(7):898-903.

究脉冲磁场处理 AZ31 合金时,发现其组织明显改善,随着脉冲电压或频率升高,其初生相由树枝晶转变成等轴晶或蔷薇状晶,其抗压强度达到 340.87 MPa,压缩率达到 33.5%。WANG B 等^[17]发现脉冲磁场可以显著细化 AZ31 合金的凝固组织,初生 α -Mg 由树枝状转变为球状并生长,同时,在凝固过程中,脉冲磁场会产生熔体对流,并在固液界面间产生过冷区,从而使成核速率增加。周全等^[18]研究了脉冲磁场对 AZ91D 镁合金凝固组织的影响,发现经过脉冲磁场处理后,AZ91D 镁合金组织明显细化,磁感应强度逐渐增强时,镁合金的晶粒尺寸逐渐减小。FU J W 等^[19]发现用低压脉冲磁场可以显著细化 Mg-Al-Zn 合金的凝固组织,提高屈服强度和抗拉强度。

目前,由于 Mg-6Zn-0.5Zr 合金的力学性能不高,并且耐腐蚀性能较差,限制了其在医学上的应用,同时脉冲磁场处理 Mg-6Zn-0.5Zr 合金的研究报道较少,前期研究发现当加 1% 的 Gd 时,Mg-Zn-Zr 合金的性能较好。因此,本课题研究了脉冲磁场中不同的脉冲电压、脉冲频率和模具预热温度对 Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金的凝固组织及力学性能的影响,旨在为其进一步应用提供参考。

1 试验材料与过程

试验材料为 Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金,Zn、Zr、Gd 的含量(质量分数)分别为 6%、0.5%、1%,其中 Zr、Gd 元素以 Mg-30Zr、Mg-30Gd 中间合金的形式添加。熔炼合金时,将按比例切割好并且机械抛光的 99.96% 的纯镁、99.99% 的纯锌、Mg-30Gd 和 Mg-30Zr 合金以及还未被使用的不锈钢坩埚放入烘箱中进行预热处理,温度为 200 ℃,之后将预热好的坩埚放入电阻炉中加热,至 660 ℃时,将纯镁加入不锈钢坩埚中,盖上防护罩并通入体积分数为 99.5% 的 CO₂ + 0.5% 的 SF₆ 混合保护气,然后升温将纯镁熔化后,加入纯 Zn、Mg-30Gd 合金并搅拌。升温到 750 ℃时加入 Mg-30Zr 合金并搅拌。再次将熔体温度加热至 750 ℃并保温 10 min,搅拌并撇去浮渣后浇注,将熔体倒入已经预热的石墨型中,立即启动脉冲装置,凝固后关闭脉冲装置。

研究了脉冲电压(0~300 V)、脉冲频率(0~10 Hz)和模具预热温度(200~600 ℃)对 Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金凝固组织及力学性能的影响,具体试验参数见表 1。采用自行研制的脉冲磁场处理装置见图 1,该装置包括脉冲电源、不锈钢筒、石墨铸型、金属熔体、磁场线圈及耐火砖底座等,可调节电压范围为 0~500 V,脉冲频率最高为 10 Hz。

表 1 脉冲磁场试验工艺参数

Tab.1 Process parameters for pulsed magnetic field			
编号	脉冲电压/V	脉冲频率/Hz	模具预热温度/℃
1	0	0	600
2	100	5	600
3	200	5	600
4	300	5	400
5	300	2.5	600
6	300	10	600
7	300	5	200
8	300	5	600

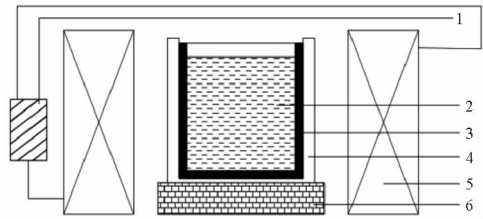


图 1 脉冲磁场处理装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of pulse magnetic field processing device

- 1.脉冲电源 2.金属熔体 3.石墨铸型 4.不锈钢筒
5.磁场线圈 6.耐火砖底座

待 Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金完全凝固后,从铸锭中切取 $\phi 8\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 的试样,用镶嵌机镶嵌,依次打磨、抛光后用苦味酸腐蚀(其配比为 6 g 的苦味酸+10 mL 的冰乙酸+10 mL 的蒸馏水+70 mL 的无水乙醇)。用滴管吸取配置好的苦味酸滴在试样抛光后的表面,腐蚀 15 s,随后用水冲洗并使用酒精擦拭。用 XJP-6A 型金相显微镜观察合金的显微组织;用 S-Viewer 软件测量合金中的晶粒尺寸;使用 WDW-50 万能试验机测试试样的力学性能;利用 SU1510 型钨灯丝 SEM 进一步对显微组织观察;同时借助扫描电镜附带的能谱仪来分析合金及第二相的化学成分。

2 试验结果与分析

2.1 脉冲磁场参数对合金凝固组织的影响

2.1.1 脉冲电压对合金凝固组织的影响

图 2 和图 3 为不同脉冲电压下 Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金的微观组织和晶粒尺寸。由图 2 可知,在 0~300 V 内,随着脉冲电压升高,合金的晶粒不断细化。未经过脉冲磁场处理时,合金的晶粒为尺寸较大的块状等轴晶,分布在晶界内部的颗粒状组织为第二相;脉冲电压升到 100 V 后,晶粒出现破碎迹象,大块状等轴晶开始出现细化,但晶粒尺寸变化不大,细化效果不明显;当脉冲电压为 200 V 时,初生相晶粒内出现微小的亚晶界以及第二相,晶粒细化更明显;当脉冲电压为 300 V 时,凝固组织的细化效果最好,平均晶粒尺寸由未处理的

911.71 μm 细化至 513.28 μm 。脉冲磁场处理合金熔体会产生搅拌和振荡的效果,在脉冲磁场处理的前期,由于电压不高,脉冲磁场对金属熔体的振动作用不强,晶

粒的细化效果不明显,合金的晶粒尺寸变化不大;当电压大于 200 V 时,脉冲磁场的作用效果能得到更好的发挥,晶粒尺寸明显减小,晶粒细化效果开始明显增加^[16]。

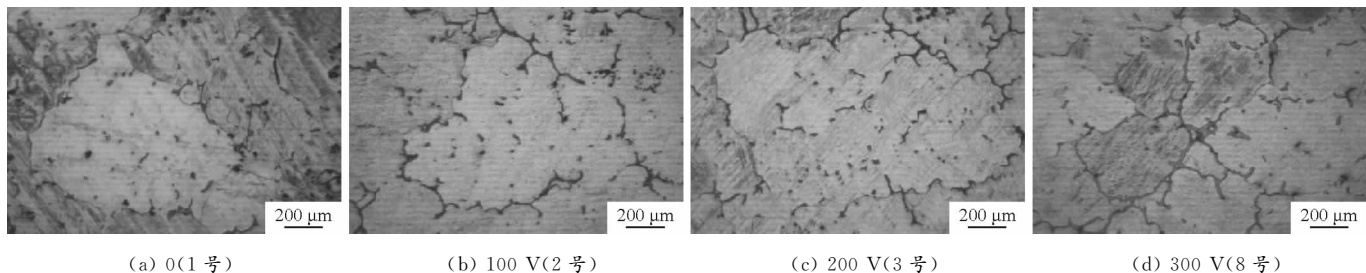


图 2 不同脉冲电压下 Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金的微观组织

Fig.2 The microstructure of the Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd alloy under different pulse voltages

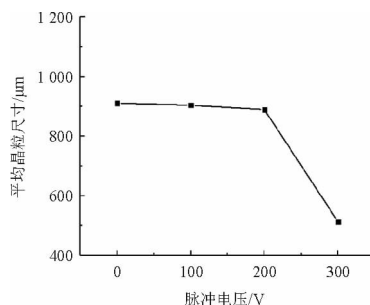


图 3 不同脉冲电压下 Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金的晶粒尺寸

Fig.3 The grain size in the Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd alloy under different pulse voltages

2.1.2 脉冲频率对合金凝固组织的影响

图 4 和图 5 为不同脉冲频率条件下, Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金的微观组织和晶粒尺寸。可以看出,未经脉冲磁场处理时,初生相为尺寸较大且轮廓清晰的块状等轴晶,同时基体中散布着少量的颗粒状第二相;当脉冲频率增加到 2.5 Hz 时,初生相形貌开始由较大的块状变为尺寸较小的块状,初生相中的第二相的形貌由分散的颗粒状开始变为不连续的网状;当脉冲频率增加到 5 Hz 时,初生相的尺寸最小,细化效果最显著,此时的初生相中出现了明显的连续网状第二相;当脉冲频率

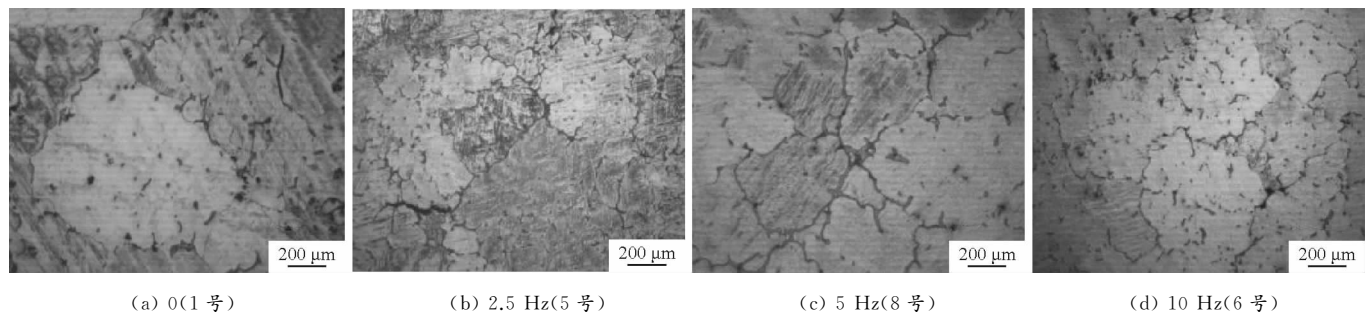


图 4 不同脉冲频率下 Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金的组织形貌

Fig.4 The microstructure of the Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd alloy at different pulse frequencies

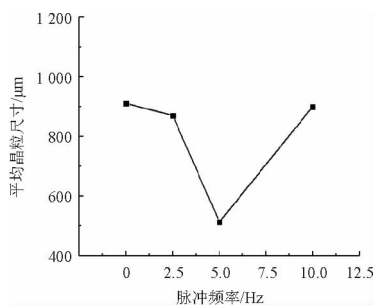


图 5 不同脉冲频率下 Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金的晶粒尺寸

Fig.5 The grain size in the Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd alloy at different pulse frequencies

达到 10 Hz 时,初生相尺寸增大,平均晶粒尺寸相比于 5 Hz 时增加了 386.67 μm ,细化效果明显降低,网状的第二相组织变成颗粒状,第二相的数量相比于未处理时

增加。由图 5 可知,随着脉冲频率在 0~5 Hz 内增加,晶粒尺寸开始逐渐减小。由于电磁振动和电磁搅拌作用相比于焦耳热效应更大,使得凝固组织细化,且在 5 Hz 时,细化效果最好;而当脉冲频率为 10 Hz 时,焦耳热效应开始起主导作用,使合金液的过冷度降低,导致了初生相和第二相都出现了粗化倾向。

2.1.3 模具预热温度对合金凝固组织的影响

图 6 为不同模具预热温度下, Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金的微观组织和晶粒尺寸。由图 6a 可知,模具预热温度为 200 $^{\circ}\text{C}$ 时,合金晶粒呈规则的块状等轴晶,同时初生相中有较多的颗粒状第二相; 400 $^{\circ}\text{C}$ 时,初生相的晶粒尺寸变化不大,细化效果不明显,同时颗粒状的第二相数量也有一定程度减少,颜色由深变浅,第二相出

现细窄且不连续的网状;在 600 ℃时,合金晶粒尺寸达到最小,细化效果最好,在基体中基本没有颗粒状的第二相,此时的基体主要由粗大网状 Mg-Zn 相构成。从图 6d 可以看出,200 ℃时,晶粒尺寸为 871.17 μm;400 ℃时,晶粒尺寸为 846.75 μm;600 ℃时,晶粒尺寸为 513.28 μm,晶粒细化效果明显。模具预热温度在200~400 ℃时,由于前期模具温度不高,冷却速度过快,合金熔体的凝固时间减短,导致合金先凝固结晶,无法发挥

晶粒游离的作用,且脉冲磁场作用于合金熔体所产生的搅拌和振荡效果不明显,同时脉冲磁场作用于熔体所产生的焦耳热无法正常散发,从而使晶粒细化不明显。当模具预热温度提高到 600 ℃时,脉冲磁场作用于熔体所产生的焦耳热增加,合金的过冷度降低,延缓了熔体冷却过程,延长了凝固时间,熔体内部热量较均匀地散发出来,在过冷度及电磁力的双重作用下,提高了合金的形核率,型壁内的树枝晶完全被破碎,使合金凝固组织

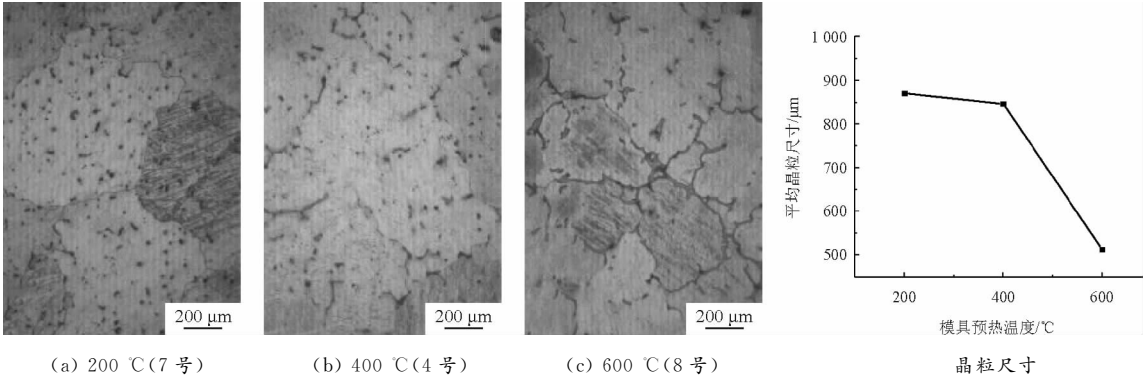


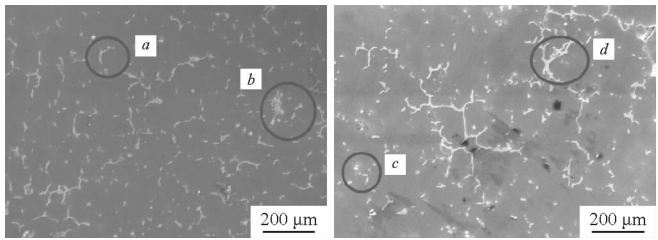
图 6 不同模具预热温度下 Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金的组织形貌及晶粒尺寸
Fig.6 Microstructure of Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd alloy at different mould preheating temperatures and its grain size

得到了充分的细化^[20]。

2.1.4 脉冲磁场对合金中第二相的影响

图 7 是模具预热温度为 600 ℃施加脉冲磁场前后 Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金的第二相形貌。可以看出,未施加脉冲磁场时,在基体中分布着大量的细条状和颗粒状第二相,第二相的体积分数为 2.75%,相宽为 8.83 μm。经过 300 V 脉冲电压、5 Hz 脉冲频率处理后,第二相的数量增加,此时第二相呈断续的网状、分散的颗粒状组成,在基体中的网状第二相分布较为集中且网络比未处理时的网状更加粗壮,第二相相宽为10.07 μm,相比于未处理时增加了 1.24 μm,同时体积分数增大,达到 5.7%,相比于未处理时增加了 100% 以上。经过脉冲磁场处理后,第二相的体积分数上升,由不连续的细小条状转变为粗大的半连续网状,同时第二相强化作用比未处理时明显加强。基体中含稀土元素的第二相对组织中位错的移动具有阻碍作用,从而起到强化合金

力学性能的作用。



(a) 未施加脉冲处理 (b) 脉冲电压为 300 V、频率为 5 Hz
图 7 不同处理方法下 Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金中第二相形貌
Fig.7 The morphologies of the second phase in the Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd alloy under different treatments

图 8 为图 7 中未处理与处理合金的第二相局部放大 SEM 形貌。表 2 为选定点的 EDS 分析。可以看出,未处理合金的基体主要是 Mg 和 Zn 元素,其中第二相主要包含 Mg-Zn 相和 Mg-Gd 相,Mg-Gd 相为颗粒状,Mg-Zn 相为网状,Mg-Zn 相的相宽为3.89 μm,Mg-Gd

图 8 为图 7 中未处理与处理合金的第二相局部放大 SEM 形貌。表 2 为选定点的 EDS 分析。可以看出,未处理合金的基体主要是 Mg 和 Zn 元素,其中第二相主要包含 Mg-Zn 相和 Mg-Gd 相,Mg-Gd 相为颗粒状,Mg-Zn 相为网状,Mg-Zn 相的相宽为3.89 μm,Mg-Gd

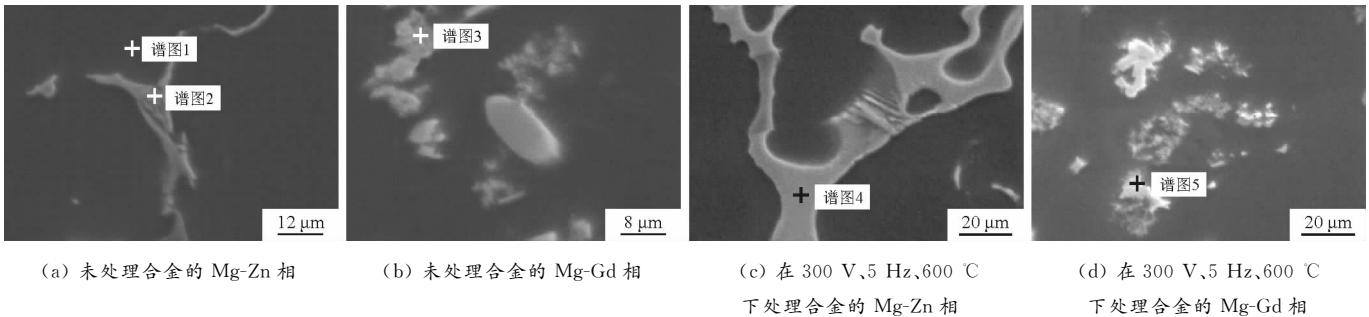


图 8 图 7 中未处理与处理 Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金中的第二相局部放大 SEM 形貌

Fig.8 Locally enlarged SEM morphologies of the second phase of untreated and treated Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd alloys in Fig.7

相的相宽为 4.48 μm 。脉冲处理合金的基体与未处理合金的基体一样。由表 2 可知,脉冲处理后,Mg-Zn 相中 Zn 含量下降,Zn 聚集在晶界并析出,形成更加粗大的网状 Mg-Zn 相,此时 Mg-Zn 相的晶粒宽度为 11.35 μm ,相比于未处理时粗化了 7.46 μm ,Mg-Gd 相平均晶粒尺寸为 8.79 μm ,相比于未处理时粗化了 4.31 μm 。处理后的合金第二相中 Gd 含量略微减少,Mg-Gd 第二相的体积分数提升。经过脉冲处理后,沿晶界析出更加粗壮的网状第二相,使得合金的力学性能得到强化,合金的力学性能提高。

表 2 图 8 中选定点的化学成分

谱图	w _B			
	Mg	Zn	Zr	Gd
1	96.88	3.12	—	—
2	63.34	36.66	—	—
3	69.16	1.288	0.82	28.75
4	75.48	24.52	—	—
5	68.06	4.01	2.29	25.64

2.2 脉冲磁场对合金力学性能的影响

图 9 为不同的处理方式对 Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金力学性能的影响。可以看出,未处理时,其抗压强度最低。经脉冲磁场后,其抗压强度与压缩率得到改善,在 0~300 V 或 200~600 $^{\circ}\text{C}$ 范围内,随着脉冲电压或模具温度提高,其力学性能均改善不明显,200 V 或 400 $^{\circ}\text{C}$ 以后,随着脉冲电压或模具预热温度提高,其抗压强度均得到明显改善。在脉冲电压为 300 V、脉冲频率为 5 Hz 和模具预热温度为 600 $^{\circ}\text{C}$ 时抗压强度为 271.35 MPa,压缩率为 22.5%,未处理时抗压强度为 211.3 MPa,压缩率为 19.7%。处理后的合金抗压强度相比于未施加处理的合金提高了 28.4%,压缩率提高了 14.2%。其他的脉冲磁场处理下合金的抗压强度和压缩率与未处理时相差不大。在脉冲电压为 300 V、模具预热温度为 600 $^{\circ}\text{C}$ 和脉冲频率为 5 Hz 处理后的合金晶粒得到细化,第二相的体积分数增加,因此脉冲磁场处理对合金具有细化晶粒强化和第二相强化的作用。

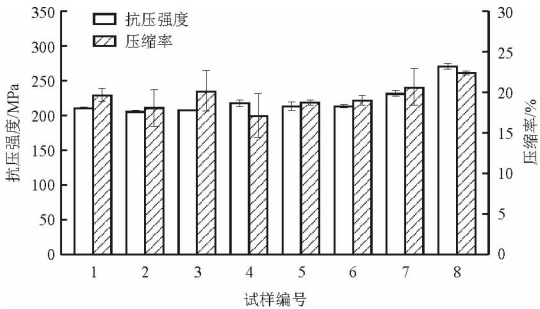


图 9 不同处理方式下 Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金的力学性能
Fig.9 Mechanical properties of Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd alloys under different treatments

3 结 论

(1)Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金在 0~300 V 脉冲电压下,随着脉冲电压增加,晶粒细化效果越来越明显,合金的晶粒尺寸越来越小,组织中网状的 Mg-Zn 相和颗粒状的 Mg-Gd 第二相尺寸逐渐增大。在 300 V 时,初生相晶粒细化效果最明显,为 513.28 μm ,相比于未处理时减小了 43.76%。

(2)Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金在 0~10 Hz 脉冲频率下,随着脉冲频率增加,晶粒尺寸先减小后增大。脉冲频率为 5 Hz 时,晶粒细化效果最好,同时第二相逐渐由细条状变成不连续的粗网络状。当大于 5 Hz 后,随着脉冲频率上升,晶粒尺寸增大,第二相晶粒由网络状变成细条状。

(3)Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金经电压为 300 V,频率为 5 Hz 脉冲处理,在模具预热温度为 200~600 $^{\circ}\text{C}$ 时,随着温度升高,晶粒尺寸逐渐细化,第二相形貌由细条状变成网络状。温度为 600 $^{\circ}\text{C}$ 时,晶粒的细化效果最明显减小了 43.76%。

(4)经过脉冲磁场处理后,Mg-6Zn-0.5Zr-1Gd 合金的力学性能得到明显的提高。经 300 V、5 Hz 处理后,在模具预热温度为 600 $^{\circ}\text{C}$ 时,合金的力学性能最好,抗压强度为 271.35 MPa,压缩率为 22.5%,相比于未处理时合金的抗压强度和压缩率分别提高了 28.4% 和 14.2%。

参 考 文 献

[1] 王波,李名尧,吴华春.镁合金成形技术的研究及应用趋势[J].铸造技术, 2011, 32(11): 1 590-1 593.

[2] PAN F S, YANG M B, CHEN X H. A review on casting magnesium alloys: modification of commercial alloys and development of new alloys[J]. Journal of Materials Science & Technology, 2016, 32(12): 1 211-1 221.

[3] KIM J K, SANDLOBES S, RAABE D. On the room temperature deformation mechanisms of a Mg-Y-Zn alloy with long-period-stacking-ordered structures[J]. Acta Materialia, 2015, 82: 414-423.

[4] YIN S, DUAN W, LIU W, et al. Influence of specific second phases on corrosion behaviors of Mg-Zn-Gd-Zr alloys[J]. Corrosion Science, 2019, 166: 108 419.

[5] 袁明华,姜炳春,唐联耀. 镁合金在生物医学上的应用与发展[J]. 南方农机, 2017(23): 109-111.

[6] 屈伟平,高崧.镁合金的特点及应用现状[J].金属世界, 2011(2): 10-14.

[7] 唐联耀.镁合金的性能特点及应用[J].南方农机, 2017, 48(24): 22.

[8] 张映春.镁合金材料的应用及研发现状分析[J].科技传播, 2012 (10): 62-100.

[9] 陈克难,郭传滨.可降解医用镁基金属生物材料的研究进展[J].国际口腔医学杂志, 2021, 48(3): 322-328.

合金化 ZG40Cr25Ni20 钢固溶组织及性能的研究

路王珂 周文倩 孙玉福 于根杰
(中原科技学院机电工程学院)

摘 要 对含质量分数为 5% 的 Al、0.6% 的 Ti、0.6% 的 W 的 ZG40Cr25Ni20 钢固溶态组织及性能进行研究。结果表明,合金元素的加入使得 ZG40Cr25Ni20 室温抗拉强度有所升高,伸长率下降至未加入时的 11% 左右,表现为脆性断裂,但是高温伸长率显著提高,拉伸断口存在较多的韧窝及撕裂棱等,表现出较好的高温韧性。随着 Al、Ti 和 W 元素加入,经 1 200 ℃×5 h 油冷后,由于高硬度及高稳定性的 Ni₃Al 相及 TiC、WC 微粒的形成,硬度进一步增大,室温及 600 ℃下干摩擦的耐磨性均有所提高。

关键词 ZG40Cr25Ni20;合金化;固溶处理;硬度;耐磨性
中图分类号 TG142.71;TG146.2 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2022.07.023

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Microstructure and Properties of Alloying ZG40Cr25Ni20 Steel after Solution Treatment

Lu Wangke, Zhou Wenqian, Sun Yufu, Yu Genjie

(School of Electro-mechanical Engineering, Zhongyuan Institute of Science and Technology)

Abstract: The microstructure and properties of ZG40Cr25Ni20 steel with 5% Al, 0.6% Ti and 0.6% W after solution treatment were investigated. The results indicate that the tensile strength of ZG40Cr25Ni20 is increased with the addition of alloying elements, and the elongation is decreased to about 11% of the ones before addition, which presents brittle fracture. However, the high temperature elongation is increased significantly with many dimples and tearing edges existing on the tensile fracture surface, and high toughness at high temperature is presented. With the addition of Al, Ti and W elements, after 1 200 ℃×5 h oil cooled, the hardness is increased further due to the formation of Ni₃Al phase and TiC and WC particles with high hardness and high stability, where the wear-resistance at room temperature and 600 ℃ dry friction condition are improved.

Key Words: ZG40Cr25Ni20, Alloying, Solution Treatment Microstructures, Hardness, Wear-resistance

ZG40Cr25Ni20 合金钢广泛用于建材、电力、冶金等行业。在高温氧化性气氛及磨料磨损条件下工作的零部件,要求较高的高温强度和良好的抗氧化性及一定的耐磨性,以满足使用性能要求^[1]。ZG40Cr25Ni20 合

收稿日期:2021-12-07;修改稿收到日期:2022-02-09
基金项目:河南省科技攻关项目(172102210122)
第一作者简介:路王珂,女,1988 年出生,硕士研究生,郑州(450000),E-mail:454481824@qq.com
通信作者:孙玉福,男,1958 年出生,教授,郑州(450000),E-mail:yufusun@22u.edu.cn
引用格式:路王珂,周文倩,孙玉福,等. 合金化 ZG40Cr25Ni20 钢固溶组织及性能的研究[J]. 特种铸造及有色合金,2022,42(7):903-906.
LU W K, ZHOU W Q, SUN Y F, et al. Microstructure and properties of alloying ZG40Cr25Ni20 steel after solution treatment[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2022, 42(7):903-906.

[10] 李欢,文九巴,贺俊光,等. Mg-Zn-Zr 系生物镁合金研究现状及展望[J].材料热处理学报,2019,40(7):1-9.

[11] 李华伟,毛萍莉. 具有长周期有序堆垛结构的稀土镁合金研究进展[A].第十六届沈阳科学学术年会[C]. 沈阳,2019.

[12] 李建平,曾昭文,杨忠,等. Gd 对 ZK60 镁合金显微组织的影响[J].西安工业大学学报,2007(4):142-147.

[13] 王萍,李建平,马群. Gd 对 ZK60 铸造镁合金组织和耐蚀性能的影响[J].稀有金属材料与工程,2008(6):1 056-1 059.

[14] 赵兵,韩少兵,贾长健,等.Gd 对心血管支架用 Mg-Zn-Gd-Zr 合金的腐蚀性能的影响[J].中国铸造装备与技术,2017(4):7-10.

[15] CHEN J X, TAN L L, YU X M, et al. Effect of minor content of Gd on the mechanical and degradable properties of as-cast Mg-2Zn-xGd-0.5Zr alloys[J]. Journal of Materials Science & Technology, 2019, 35(4): 503-511.

[16] 胡世平,陈乐平,周全,等.脉冲磁场对 AZ31 镁合金组织及压缩性能的影响[J].特种铸造及有色合金,2018,38(5):556-559.

[17] WANG B, YANG Y S, SUN M L. Microstructure refinement of AZ31 alloy solidified with pulsed magnetic field[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2010, 20(9): 1 685-1 690.

[18] 周全,杨院生,马建超. 脉冲磁场对 AZ91D 镁合金凝固组织的影响[J].铸造,2007,56(2):148-151.

[19] FU J W, YANG Y S. Microstructure and mechanical properties of Mg-Al-Zn alloy under a low-voltage pulsed magnetic field[J]. Materials Letters, 2012, 67(1): 252-255.

[20] 付浩,周全,谭水淋. 机械振动对 AZ91D-3Ca 镁合金凝固组织的影响[J]. 特种铸造及有色合金,2013,33(6):565-569.

(编辑:张正贺)