

退火工艺对轧制态 Mg-Al-Ca-Mn-Zn 合金组织和力学性能影响

方德俊^{1,2} 孙有平^{1,2,3} 何江美^{1,2,3} 谢尚恒^{1,2} 朱嘉欣^{1,2}

(1.广西科技大学机械与汽车工程学院;2.广西土方机械协同创新中心;3.广西汽车零部件与整车技术重点实验室)

摘 要 采用金相显微镜(OM)、X射线衍射(XRD)、拉伸试验机 and 扫描电镜(SEM)等,研究了多道次轧制 Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 镁合金板材在不同退火工艺下的微观组织和力学性能。结果表明,轧制后板材经退火处理后晶粒明显细化,孪晶基本消失;随着退火温度上升,平均晶粒尺寸缓慢增加,并且晶粒尺寸、分布逐渐均匀,适当延长保温时间对晶粒尺寸影响有限;第二相析出物随保温时间的延长而粗化增多,但经 400 ℃ 退火后析出物明显变少;镁合金板材经退火处理后抗拉强度有所下降,但伸长率增加明显,在 400 ℃ 退火 180 min 后力学性能理想,伸长率提高至 19.86%,较轧制态提升了 314%,板材抗拉强度略有下降,为 237.2 MPa。

关键词 镁合金;退火处理;显微组织;力学性能

中图分类号 TG146.22;TG156

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.04.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Annealing Process on Microstructure and Mechanical Properties of Mg-Al-Ca-Mn-Zn Magnesium Alloy Rolled Sheet

Fang Dejun^{1,2}, Sun Youping^{1,2,3}, He Jiangmei^{1,2,3}, Xie Shangheng^{1,2}, Zhu Jiaxin^{1,2}

(1.School of Mechanical and Automotive Engineering, Guangxi University of Science and Technology;
2.Guangxi Earthmoving Machinery Collaborative Innovation Center;
3.Guangxi Key Laboratory of Automobile Components and Vehicle Technology)

Abstract: The microstructure and mechanical properties of Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn magnesium alloy rolled by multi-pass rolling under different annealing temperature and holding time were investigated by optical metallography(OM), X-ray diffraction(XRD), tensile testing machine and scanning electron microscope(SEM). The results show that after annealed treatment, the grain size and the number of twins are decreased greatly. The average grain size in the rolled alloy is increased slowly with the increase of annealing temperature, and the grain size and distribution gradually become uniform, and the effects of holding time prolong on the grain size can be ignored. The second phase is coarsened and increased with increasing in holding time, however the second phase almost disappear at 400 ℃ annealed treatment. After annealing treatment for the magnesium alloy plate at 400 ℃ for 180 min, the tensile strength of the plate is decreased slightly to 237.2 MPa and the elongation is increased significantly to 19.86%, which is 314% higher than the rolled state.

Key Words: Magnesium Alloy, Annealing Process, Microstructure, Mechanical Properties

收稿日期:2022-06-17;修改稿收到日期:2022-08-12
基金项目:广西高等学校高水平创新团队资助项目(桂教师范[2019]52号);柳州市科技计划资助项目(2021CBA0102);广西研究生教育创新计划资助项目(YCSW2021323)
第一作者简介:方德俊,男,1996年出生,硕士研究生,广西柳州(545006),E-mail:15655362631@163.com
通信作者:孙有平,男,1979年出生,教授,广西柳州(545006),E-mail:syptaiji@126.com
引用格式:方德俊,孙有平,何江美,等.退火工艺对轧制态 Mg-Al-Ca-Mn-Zn 合金组织和力学性能影响[J].特种铸造及有色合金,2023,43(4):488-493.
FANG D J, SUN Y P, HE J M, et al. Effects of annealing process on microstructure and mechanical properties of Mg-Al-Ca-Mn-Zn magnesium alloy rolled sheet[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(4):488-493.

[16] MUANGTONG P, RODCHANAROWAN A, CHAYSUWAN D, et al. The corrosion behaviour of CoCrFeNi_x (x = Cu, Al, Sn) high entropy alloy systems in chloride solution[J]. Corrosion Science, 2020, 172: 108 740.

[17] HAO X H, ZHEN J M, ZHAO X C, et al. Effect of Sn addition on the tribological behaviors of CoCrFeNi highentropy alloys[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2022, 909: 164 657.

[18] 李洪超,王军,袁睿豪,等. AlCoCrFeNi 系高熵合金的强化方法研究[J].材料导报,2021,35(17):17 010-17 018.

[19] 卢思颖,苗军伟,卢一平.多主元高熵合金的强韧化[J].稀有金属,2021,45(5),530-540.

[20] CHUMLYAKOV Y I, KIREEVA I V, KOROTAEV A D, et al. Mechanisms of plastic deformation, hardening, and fracture in single crystals of nitrogen-containing austenitic stainless steels[J]. Russian Physics Journal, 1996, 39(3): 189-210.

(编辑:刘晨辉)

镁合金具有比强度和比刚度高、降噪减振性能好等特点,并且其可回收、对环境无污染的特点对实现“碳达峰”和“碳中和”的目标有着积极意义^[1],因此在航空航天领域和新能源领域的应用受到重视。但由于镁合金的强度较低,在实际应用方面受到许多限制。为提高镁合金的强度,通常选用合适的轧制工艺对板材进行加工,轧制变形中位错的增殖与孪生等行为可以细化晶粒并显著提高镁合金的强度^[2-3],但板材经轧制后会出现加工硬化现象,导致板材室温下塑性较差。为了改善上述现象,可以对镁合金轧制板材进行合适的退火处理以改善其力学性能,拓宽镁合金板材的应用范围。

通过对轧制态 Mg-5Li-1Al 镁合金板材进行 300 ℃ 保温 30 min 的退火处理,发现板材的伸长率和各向异性明显改善,静态再结晶首先发生在晶界附近^[4]。LI R H 等^[5]对 AZ31 板材轧制后进行 200~350 ℃ 下不同保温时间热处理,发现晶粒在退火过程经历了再结晶细化、再结晶和晶粒长大的动态再平衡和晶粒长大 3 个阶段,并且在退火后形成均匀的组织,提高了其伸长率。崔晓明等^[6]研究了 Mg-8.07Al-0.53Zn-1.36Nd 镁合金轧后退火过程中的沉淀、再结晶和织构的演变,发现退火过程中静态沉淀先于再结晶晶粒形核长大,并且基面织构弱化。虽然对稀土镁合金板材退火工艺进行了大量研究,但是由于商用镁合金种类有限且稀土属于稀缺资源,限制了其发展,因而研究具有较高的强度且价格低廉的 Mg-Al 系镁合金具有积极意义。在 Mg-Al 系镁合金中加入适量的 Ca、Mn、Zn 元素可以产生多种纳米相^[7-12],明显提升其力学性能。因此本研究以 Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 镁合金为对象,采用多道次轧制工艺将板材轧至厚为 2 mm,随后对板材进行不同工艺下的退火处理,探究退火过程中镁合金轧板微观组织和力学性能的变化,旨在为轧制态板材退火工艺提供参考。

1 试验材料与方法

试验材料为 Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 镁合金半连续铸锭,尺寸为 $\phi 300\text{ mm}\times 800\text{ mm}$,其化学成分见表 1。

表 1 Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 镁合金的化学成分

Tab.1 Chemical composition of Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn magnesium alloy %

magnesium alloy					%
w_B					
Al	Ca	Mn	Zn	Mg	
1.20	0.39	0.26	0.33	余量	

用 DK7750 型线切割机 and 铣床从铸锭中切取 70 mm $\times$ 50 mm $\times$ 10 mm 的板材试样,并将板材表面打磨

光滑。首先对铸锭板材进行 500 ℃ $\times$ 12 h 的均匀化退火处理,采用多道次轧制,轧制温度为 450 ℃,每道次压下量控制在 20%~30%,总变形量为 80%,最终获得 2 mm 厚的轧制板材。每道次轧制前,板材均需进行 450 ℃ $\times$ 15 min 保温,且轧后立即水淬。对轧后板材分别在 300、350 和 400 ℃ 进行退火处理,退火保温时间为 10~720 min,具体退火工艺见表 2。

表 2 退火温度及保温时间

Tab.2 Annealing temperatures and time

退火温度/℃		保温时间/min			
300	60	180	360	720	
350	30	60	180	360	
400	10	30	60	180	

从轧制态和退火态板材上取样进行打磨、抛光,用苦味酸试剂(0.3 g 的苦味酸+2 mL 的冰醋酸+7 mL 的无水乙醇+2 mL 的蒸馏水)对试样表面腐蚀,用 DMI3000M 型金相显微镜观察其金相显微组织;采用 Sigma 场发射扫描电镜观察显微组织及第二相分布情况;采用 Smart-Lab 型 X 射线衍射仪(XRD)对合金进行物相分析;采用 HVS-1000 Z 型维氏硬度机测量试样的硬度值,每个试样测量 8 次取平均值。再利用线切割机从板材上沿轧制方向截取拉伸试样,拉伸试样见图 1,用 ETM105D 型电子万能拉伸试验机进行室温拉伸试验,拉伸速率为 2 mm/min,每个状态取 3 个拉伸试样的平均值。

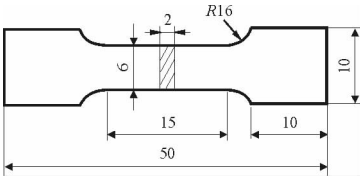


图 1 拉伸试样

Fig.1 Shape and size of tensile specimens

2 试验结果与分析

2.1 微观组织

图 2 为轧制态 Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 合金板材的微观组织。可以看出,轧制后的晶粒呈不均匀分布状,大小晶粒共存,其中孪晶数量较多,这主要由于镁和镁合金以基面滑移为主要滑移系,而在基面中只有 2 个独立的滑移系,无法满足多晶体均匀变形时所需要的 5 个独立的条件^[13],因此发生塑性变形时需要其他变形机制如孪生变形和非基面滑移等来协助其进行。但是在室温下,孪晶的临界剪切应力较低,远低于非基面滑移。

图 3 和图 4 分别为不同退火处理状态的 Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 轧制态镁合金板材的显微组

织和平均晶粒尺寸变化。从图 3a 中可以看出,在 300 ℃ 经 60 min 退火处理后,可以明显观察到在一些大晶粒晶界附近形成一定数量的细小再结晶晶粒,且组织中仍存在部分孪晶,说明在此退火条件下主要以动态回复为主。平均晶粒尺寸由轧制态的 23.33 μm 细化为 12.01 μm,这主要是由于新生成的细小晶粒减小了平均晶粒尺寸。随着保温时间延长(见图 3b、图 3c),平均晶

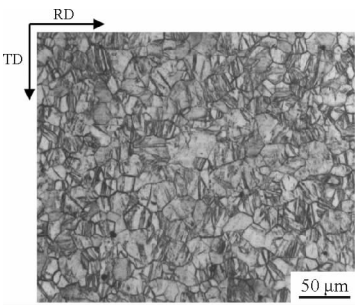


图 2 轧制态 Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 镁合金板材的显微组织

Fig.2 Microstructure of rolled Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn magnesium alloy sheet

粒尺寸没有明显变化,这说明在较低温度下镁合金轧板的再结晶过程进行缓慢,当继续延长保温时间至 720 min 时,见图 2d,晶粒发生异常长大,在此温度下板材的组织稳定性较差。当退火温度升至 350 ℃ 时,保温 30 min(见图 2e)就已出现较为明显的再结晶现象,但由于保温时间较短,仍有一定数量的粗大晶粒,此时平均晶粒尺寸为 13.94 μm。随着保温时间延长,平均晶粒尺寸呈先上升后下降的趋势,晶粒分布也逐渐变得均匀,并且有一定数量的晶粒晶界呈现平直状态,在保温 180 min 后平均晶粒尺寸为 12.63 μm。这是由于随着退火时间延长,具有小角度晶界的亚晶粒可能成为再结晶晶核,从而发生静态再结晶并趋于完全,使得平均晶粒尺寸减小。当退火温度升至 400 ℃ 时,仅保温 10 min(见图 3i)就已经完成较高度度的静态再结晶,且组织中已有一定数量的等轴晶,说明较高温下组织静态再结晶主要集中在退火初期。这是因为高温有利于原子激活进行迁移,加快了再结晶的形核与长大,原子迁移的能量大小直接影响了静态再结晶。此时平均晶粒

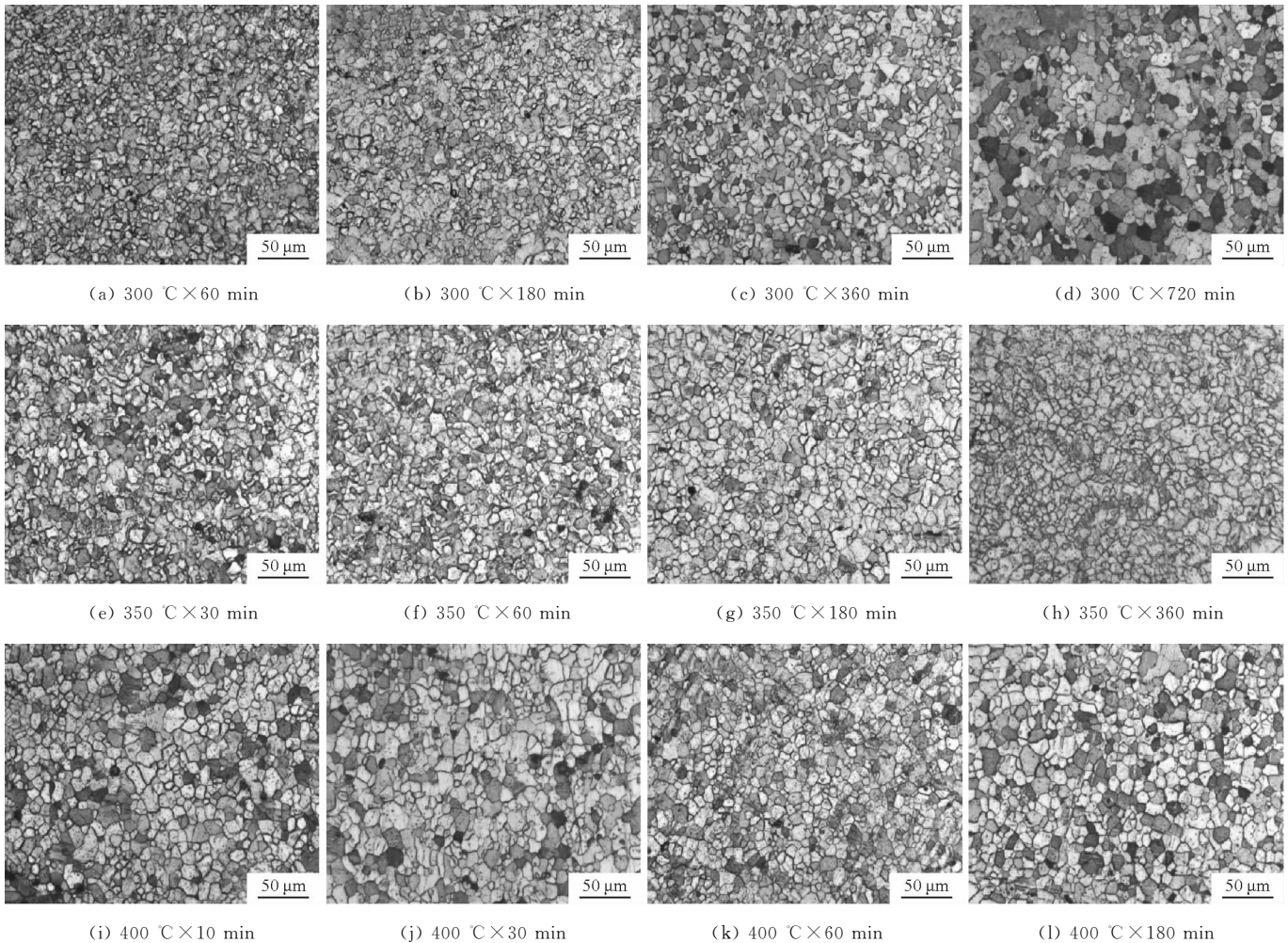


图 3 不同退火工艺处理后 Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 镁合金板材的显微组织

Fig.3 Microstructure of Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn magnesium alloy sheet after different annealing processes

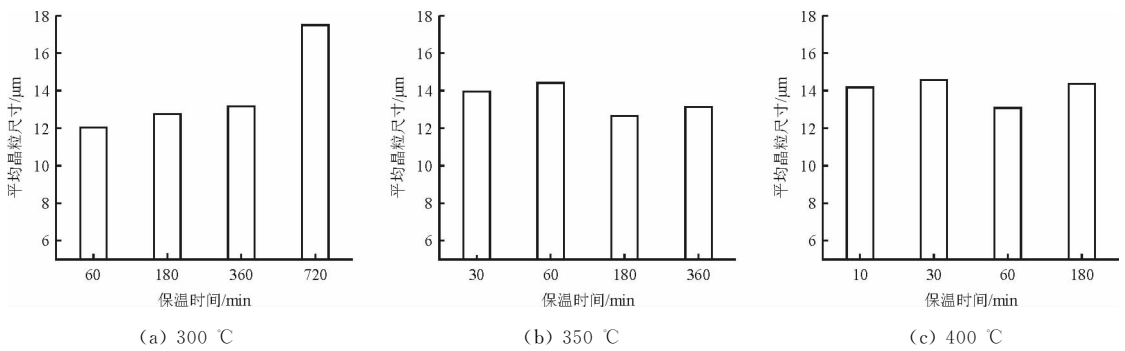


图4 不同退火工艺处理后的 Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 镁合金板材的平均晶粒尺寸变化

Fig.4 The average grain size variation of Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn magnesium alloy sheet after different annealing processes

尺寸为 14.17 μm , 最小晶粒尺寸为 4.15 μm , 最大晶粒尺寸为 42.59 μm 。保温时间延长至 180 min 时出现大量等轴晶, 晶粒大小和分布也变得均匀, 说明此状态下再结晶较充分, 此时平均晶粒尺寸为 14.37 μm , 与保温初期晶粒尺寸变化不大, 晶粒组织趋于均匀稳定。

图 5 为不同退火温度下保温 180 min 的 Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 轧制态镁合金板材的 XRD 分析。可以看出, 镁合金板材主要由 Mg_2Ca 和 Al-Mn 两种二元共晶相组成, 经轧制和退火处理后板材的析出相类型不变。通过对比第二相峰的强度变化的情况, 而相峰面积可以反应出合金中相含量^[14], 可以看出, 板材经退火后 Mg_2Ca 和 Al-Mn 相的峰强较轧制态有明显提高, 说明其含量也有所增加。

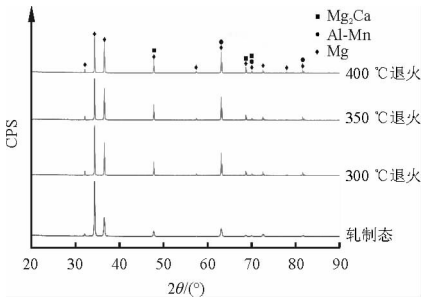


图5 不同退火温度保温 180 min 后

Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 镁合金板材的 XRD

Fig.5 XRD diagrams of Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn magnesium alloy sheet after different annealing process for 180 min

图 6 为不同退火工艺下 Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 轧制态镁合金板材的 SEM 形貌。由图 6a 可以看出, 轧制态板材组织内已有明显的第二相分布。经过 300 $^{\circ}\text{C}$ 和 350 $^{\circ}\text{C}$ 退火处理以后, 第二相含量明显增多, 这是因为镁合金板材在轧制过程中产生的位错组织和亚晶界在退火过程中有利于第二相成核, 促进了第二相弥散析出^[15]。通过观察 300 $^{\circ}\text{C}$ 和 350 $^{\circ}\text{C}$ 下的组织图 (见图 6b~图 6f), 可见随着保温时间延长, 第二相颗粒数量逐渐增加, 同时第二相颗粒呈逐渐粗化趋势, 并且

主要分布在晶界处。保温 180 min 时, 经 350 $^{\circ}\text{C}$ 退火处理后第二相颗粒要明显粗于在 300 $^{\circ}\text{C}$ 后退火处理的, 说明较高的温度也能使第二相颗粒发生粗化。当退火温度升至 400 $^{\circ}\text{C}$ 时, 第二相含量明显减少, 这是由于在较高的温度下, 位错和亚结晶等亚结构消失^[16], 极大地限制了第二相的析出, 同时较低的第二相含量也降低了对位错运动的阻碍, 从而在一定程度上改善了板材的塑性。

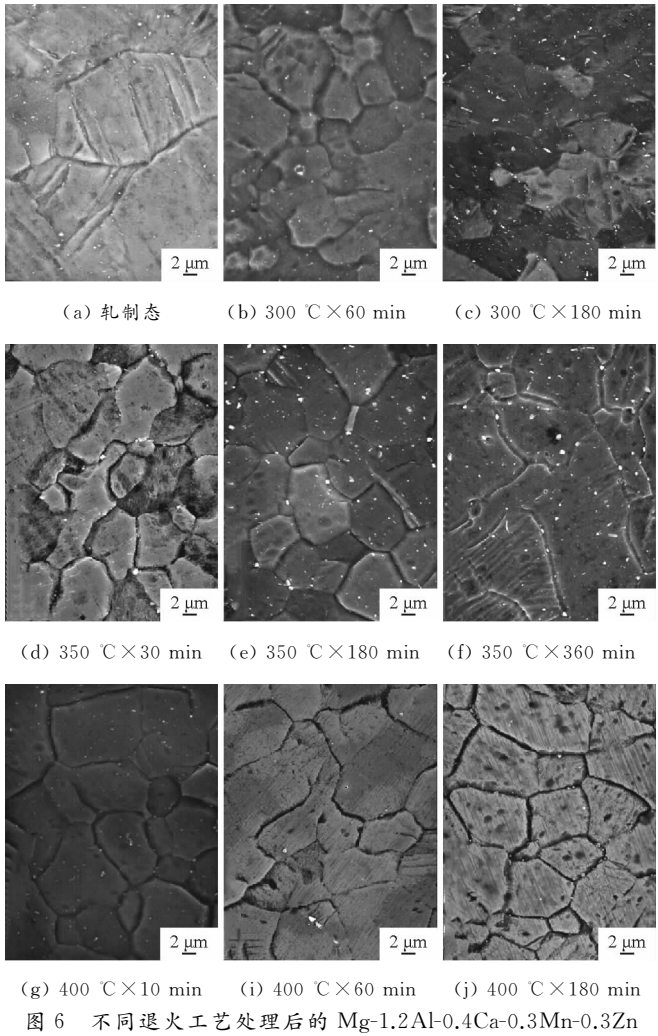


图6 不同退火工艺处理后的 Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 镁合金板材的 SEM 形貌

Fig.6 SEM images of Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn magnesium alloy sheet after different annealing processes

2.2 力学性能

2.2.1 退火工艺对合金硬度的影响

不同退火工艺对板材显微硬度的影响见图 7。未进行退火的轧制态板显微硬度(HV)为 83.4,经过退火处理后硬度明显降低,主要是材料经退火处理后孪晶几乎消失、位错密度减小、变形储能释放和残余应力降低等原因导致的。经过退火处理后板材硬度总体呈现出随着退火温度和时间增加而下降的趋势。硬度在保温初期下降比较明显,如板材经 300 ℃×360 min、350 ℃×180 min 以及 400 ℃×30 min 退火后硬度几乎没有变化。这是由于在退火初期孪晶就已经大面积消失,并且残余应力也基本消失,所以退火初期对合金硬度影响最大。而当保温时间到达临界值,继续延长后合金硬度保持稳定,但不同退火温度下材料显微硬度逐渐趋于稳定的退火时间不同。

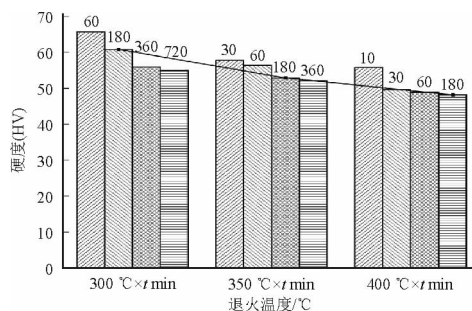


图 7 不同退火工艺对 Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 合金板材显微硬度的影响

Fig.7 Effect of different annealing processes on the micro hardness of Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn magnesium alloy

2.2.2 退火工艺对拉伸性能影响

图 8 为轧制态及不同退火工艺下 Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 镁合金板材的应力-应变曲线。可以看出,轧制态镁合金的抗拉强度较高,为 277.88 MPa,但

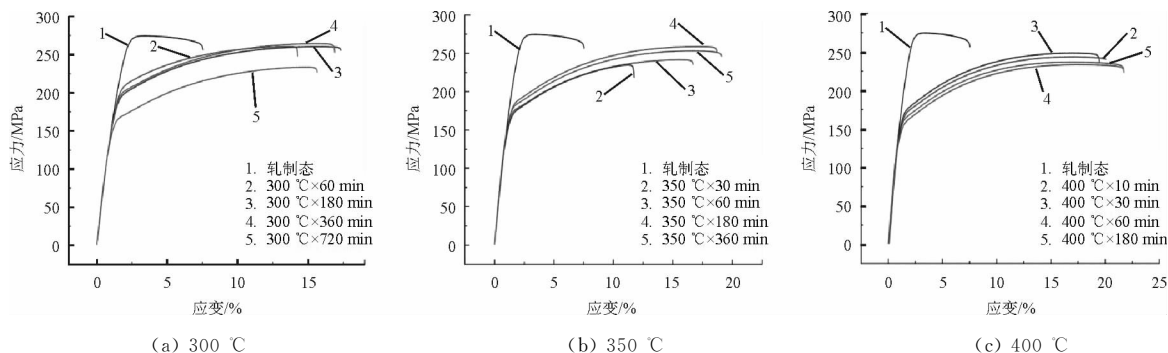


图 8 轧制态及不同退火工艺下 Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 镁合金板材的应力-应变曲线

Fig.8 The stress-true strain curves of Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn magnesium alloy sheet after different annealing processes

伸长率降低,在轧制过程中所引起的加工硬化和组织变形致使其具有较高的抗拉强度^[17],同时,从图 2 中观察到的大量孪晶也使镁合金板材的强度有所提高;另一方面,由于镁合金轧制板材具有较强的基面织构,各向异性也比较严重,故而在轧制方向上的伸长率较低^[18-19]。经过退火处理以后,板材的抗拉强度略微下降,这是因为随着退火时间和温度增加,板材内部储存能呈下降趋势,拉伸需要克服的阻力减小,从而导致抗拉强度降低;经退火处理后晶粒的等轴化使晶粒之间的晶界滑移更容易开动和协调,变形阻力减小,塑性提高^[20]。

在 300 ℃保温 60~360 min,板材的力学性能变化不明显,这是由于此温度较低,只能在局部发生再结晶。保温 720 min 时,抗拉强度下降至 233.33 MPa,这是因为保温时间过长,生成了许多异常长大的晶粒,导致合金抗拉强度降低。随着温度升至 350 ℃,晶粒大小和分布的均匀性也得到了提升,伸长率得以改善,其中 350 ℃保温 180 min 时抗拉强度为 259.07 MPa,伸长率为 17%。当退火温度为 400 ℃时,随着保温时间延长,抗拉强度下降,伸长率增加,主要是由于晶粒发生了一

定程度的长大,尺寸较大并且均匀的晶粒其低位错储存能力较高,使其在室温下塑性有所提升,由 Hall-Petch 公式^[21]可知晶粒的长大大会使合金抗拉强度下降;另一方面,在图 6g~图 6i 中可以看到,在此温度下第二相粒子析出量很少,对晶界的连续性有所改善,故而对合金伸长率的增长也有所贡献。其中 400 ℃下保温 180 min 时抗拉强度为 237.2 MPa,伸长率为 19.86%。

3 结 论

(1)Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 轧制态镁合金板材在退火后孪晶基本消失,且与轧制态显微组织相比晶粒细化明显,在 300 ℃退火后只有局部发生再结晶;镁合金板材经 350 ℃和 400 ℃退火处理后,晶粒尺寸无明显变化,其中在 400 ℃保温 180 min 时再结晶最为完全,组织中大多数晶粒为等轴晶。

(2)Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 轧制态镁合金板材在退火后第二相的类型没有变化,在 300 ℃和 350 ℃下退火第二相析出会随着保温时间的延长而增加,并且

在晶界处聚集变粗;退火温度上升至 400 ℃时第二相析出显著减少。

(3)Mg-1.2Al-0.4Ca-0.3Mn-0.3Zn 板材抗拉强度随着退火温度的升高呈现逐渐降低的趋势,在同一退火温度下适当延长保温时间对其影响有限;伸长率随着温度和保温时间的增加而增加,轧制板材经 400 ℃保温 180 min 后抗拉强度为 237.2 MPa,伸长率为 19.86%,较轧制态伸长率提升了 314%。

参 考 文 献

- [1] 徐玉磊,张奎,李兴刚,等.热处理对压铸 AZ91D 合金组织及硬度的影响[J]. 材料热处理学报, 2012, 33(11): 63-67.
- [2] XU X, CHEN X, DU W, et al. Effect of Nd on microstructure and mechanical properties of as-extruded Mg-Y-Zr-Nd alloy[J]. Journal of Materials Science & Technology, 2017, 33(9): 926-934.
- [3] GUAN K, YANG Q, BU F, et al. Microstructures and mechanical properties of a high-strength Mg-3.5Sm-0.6Zn-0.5Zr alloy[J]. Materials Science and Engineering, 2017, A703: 97-107.
- [4] OH-ISHI K, WATANABE R, MENDIS C L, et al. Age-hardening response of Mg-0.3Ca alloys with different Zn contents[J]. Materials Science and Engineering, 2009, A526(1-2): 177-184.
- [5] LI R H, CUI Z J, JIANG B, et al. Microstructure and mechanical property development in a hot-rolled and annealed Mg-5Li-1Al alloy sheet[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2018, 47(12): 3 640-3 644.
- [6] 崔晓明,王争光,于智磊,等.Mg-8.07Al-0.53Zn-1.36Nd 轧制镁合金退火过程中的静态沉淀、再结晶及织构演变[J].稀有金属材料与工程, 2022, 51(4): 1 413-1 419.
- [7] LI J, ZHANG A, PAN H, et al. Effect of extrusion speed on microstructure and mechanical properties of the Mg-Ca binary alloy[J]. Journal of Magnesium and Alloys, 2021, 9(4): 1 297-1 303.
- [8] ZHANG B, WANG Y, GENG L, et al. Effects of calcium on texture and mechanical properties of hot-extruded Mg-Zn-Ca alloys[J]. Materials Science and Engineering, 2012, A539: 56-60.
- [9] PAN H, QIN G, HUANG Y, et al. Development of low-alloyed and rare-earth-free magnesium alloys having ultra-high strength[J]. Acta Materialia, 2018, 149: 350-363.
- [10] 戴庆伟.镁合金轧制变形及边裂机制研究[D].重庆:重庆大学, 2011.
- [11] KIM J H, KANG N E, YIM C D, et al. Effect of calcium content on the microstructural evolution and mechanical properties of wrought Mg-3Al-1Zn alloy[J]. Materials Science and Engineering, 2009, A525: 18-29.
- [12] NAKATA T, XU C, MATSUMOTO Y, et al. Optimization of Mn content for high strengths in high-speed extruded Mg-0.3Al-0.3Ca dilute alloy[J]. Materials Science and Engineering, 2016, A673: 443-449.
- [13] MISES R V, ANGEW Z. Mechanics of plastic deformation in crystals[J]. Journal of Applied Mathematics and Mechanics, 1928(8): 161-185.
- [14] 詹美燕,李元元,陈维平,等. AZ31 镁合金轧制板材在退火处理中的组织性能演变[J]. 金属热处理, 2007(7): 8-12.
- [15] 冯旭辉,孙有平,何江美.铸态 Mg-xSn-1Mn 合金的显微组织和阻尼性能[J].金属热处理, 2020, 45(5): 29-34.
- [16] 何运斌,潘清林,覃银江.热处理工艺对变形 ZK60 镁合金组织与性能的影响[J].金属热处理, 2011, 36(1): 52-56.
- [17] 刘先兰,刘楚明,张文玉,等.热处理对挤压 Mg-5.5Zn-1.7Nd-0.7Cd-0.5Zr 镁合金组织和性能的影响[J].特种铸造及有色合金, 2010, 30(12): 1 099-1 101.
- [18] JÄGER A, LUKÁČ P, GÄRTNEROVÁ V, et al. Influence of annealing on the microstructure of commercial Mg alloy AZ31 after mechanical forming[J]. Materials Science and Engineering, 2006, A432(1-2): 20-25.
- [19] CHRISTIAN J W, MAHAJAN S. Deformation twinning[J]. Materials Science and Engineering, 1995, A39: 1-157.
- [20] JIANG S, LIU T, LU L, et al. Atomic motion in Mg-3Al-1Zn during twinning deformation[J]. Scripta Materialia, 2010, 62(8): 556-559.
- [21] 何柏林,张志军.镁合金晶粒细化研究进展[J].兵器材料科学与工程, 2015, 38(5): 116-120.

(编辑:张正贺)

中国汽车零部件生产商纷纷投资墨西哥市场

2022 全年,我国汽车产销分别完成 2 702.1 万辆和 2 686.4 万辆,同比分别增长 3.4% 和 2.1%,延续了去年的增长态势。其中,新能源汽车持续爆发式增长,产销分别完成 705.8 万辆和 688.7 万辆,同比分别增长 96.9% 和 93.4%,市场占有率达 25.6%,逐步进入全面市场化拓展期,迎来新的发展和增长阶段。

近年来在政策面利好持续提振下,新能源汽车市场产销两旺,这为国内新能源车企及上下游产业链提供了发展良机,使得中国汽车零部件企业不断崛起,走出国门创造了良好的条件。有分析指出,在全球新能源车渗透率加速提升,众多优质中国供应商有望进入全球供应链,并逐步成长为细分行业全球龙头。

在产业链体系,中国已非常完善,拥有成熟的供应链和技术支持。而拓展海外市场,作为制造业型企业,首要考虑的也是当地有相对完善的产业链。墨西哥是北美重要汽车生产地,已成为全球第 7 大汽车生产地,第 5 大零部件生产国,不管在配套设施还是供应链上,选择在此布局建厂的零部件企业将具有天然优势。基于这种优势,中国汽车零部件企业纷纷布局墨西哥市场,其中包括文灿集团、拓普集团、爱柯迪、嵘泰股份、伯特利、立中集团等国内知名铸造零部件企业。

(摘自压铸周刊)