

含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 的 锻造成形工艺分析

樊瑞军, 关志伟, 孙翠香

(天津职业技术师范大学机械工程学院, 天津 300222)

摘要: 采用不同的始锻温度、终锻温度和锻造速度对汽车用含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 试样进行了锻造成型试验, 并进行了力学性能的测试与分析。结果表明: 适当地提高始锻温度、终锻温度和锻造速度有助于力学性能的提升。汽车用含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 在 440 °C 始锻温度、350 °C 终锻温度、12 mm/min 锻造速度下的抗拉强度和屈服强度最高, 试样的韧窝尺寸最小、深度最深, 且断口表现为穿晶断裂, 韧性最好, 力学性能最佳。较 380 °C 始锻锻造时各提高了 51、53 MPa; 较 290 °C 终锻锻造时各提高了 46、49 MPa; 较 4 mm/min 速度锻造时各提高了 39、37 MPa。汽车用含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 试样的锻造工艺参数优选为: 440 °C 始锻温度、350 °C 终锻温度、12 mm/min 锻造速度。

关键词: 含钛高强镁合金; 始锻温度; 终锻温度; 锻造速度; 断口形貌; 力学性能

中图分类号: TG146.22, TG316 文献标志码: A 文章编号: 1004-7638(2020)05-0171-04

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2020.05.029

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



听语音
与作者互动
聊科研

Analysis of Forging Forming Process for High Strength Magnesium Alloys Mg-8Gd-1.5Y-1M Containing Ti

Fan Ruijun, Guan Zhiwei, Sun Cuixiang

(School of Mechanical Engineering, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China)

Abstract: The forging tests of Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti high-strength magnesium alloy samples containing Ti were carried out with different initial forging temperature, final forging temperature and forging speed. The mechanical properties of obtained alloys were tested and analyzed. The results show that proper increasing of the initial forging temperature, final forging temperature and forging speed contribute to the improvement of mechanical properties. Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti magnesium alloy containing Ti has the highest tensile strength and yield strength at initial forging temperature of 440 °C, final forging temperature of 350 °C and forging speed of 12 mm/min. The tensile strength and yield strength were respectively increased by 51 MPa and 53 MPa compared with those forged at the initial forging temperature of 380 °C, increased by 46 MPa and 49 MPa respectively at final forging temperature of 290 °C, and increased by 39 MPa and 37 MPa compared with those forged at 4 mm/min. Thus it is proposed that the best forging process parameters of the Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti high-strength magnesium alloy samples containing Ti are as following: initial forging temperature of 440 °C, final forging temperature of 350 °C and forging speed of 12 mm/min.

Key words: high-strength magnesium alloy containing Ti; initial forging temperature; final forging temperature; forging speed; fracture morphologies; mechanical properties

收稿日期: 2019-11-22

基金项目: 天津市科技计划项目(17ZXRCGX00070); 天津市自然科学基金项目(16JCZDJC38200); 河北省科技计划项目(15211029)。

作者简介: 樊瑞军(1980—), 男, 山西太原人, 讲师, 博士研究生, 研究方向: 机械制造, E-mail: fanruijun1980@yeah.net。

0 引言

我国镁资源储量丰富,而且镁合金具有密度低、质轻、阻尼性能好、易回收等优点,因而在航天、船舶、机械、建筑等众多领域得到了广泛的应用^[1-3]。特别是近年来快速发展的汽车给环境和能源带来了极大的负荷,将镁合金应用于汽车,能够有效减轻车身重量、进而减少汽车尾气排量,节约石油等能源,且镁合金属于绿色轻质金属,有益于实现汽车的轻量化发展^[4]。随着人们对汽车安全性、操作性、舒适性、使用寿命等需求的增加,普通镁合金为六方体结构,难以发生滑移,强度低、变形加工难度大,已不能满足人们的需求^[5-6]。高强度镁合金因为强度、刚度均高于普通镁合金,尺寸稳定、易加工等优点而受到汽车用材料的较优选择^[7-8]。此外,很多研究表明,通过在镁合金中加入适量的Ti,极限抗拉强度、屈服强度和抗腐蚀性能都得到显著提高^[9-10]。目前大部分的汽车用镁合金均为压铸生产,难免出现缩孔、裂缝等铸造缺陷,采用锻造工艺能够有效增强合金材料密度,提升汽车用镁合金的综合性能。基于目前大部分汽车用镁合金为压铸件,为了进一步优化汽车用高强镁合金的锻造性能,扩展其发展前景,笔者研究了汽车用高强镁合金的锻造工艺。

1 试验材料及方法

研究对象为汽车用含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti,具体成分如表1所示。含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 的锻造工艺流程:称量原料→坩埚内熔化精炼→除气、扒渣→预热金属模具至 230℃→合金液浇注→使用空气锤进行锻造。坯料为圆棒状,尺寸为 $\varnothing 45\text{ mm} \times 120\text{ mm}$ 。所有锻造试样进行了相同工艺的时效处理:220℃×60 h。锻造试验时,保持模具预热温度 230℃不变,改变始锻温度、终锻温度和锻造速度。含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 的锻造工艺参数见表2。

表1 含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 的化学成分
Table 1 Chemical compositions of Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti high-strength magnesium alloys containing Ti %

Gd	Y	Ti	Fe	Si	Mg
7.8~8.2	1.3~1.7	0.7~1.1	<0.01	<0.01	bal.

表2 含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 的锻造工艺参数
Table 2 Forging process parameters of Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti high-strength magnesium alloys containing Ti

试样编号	始锻温度/℃	终锻温度/℃	锻造速度/(mm·min ⁻¹)
1	380	350	12
2	400	350	12
3	420	350	12
4	440	350	12
5	460	350	12
6	440	290	4
7	440	310	8
8	440	330	16
9	440	370	20

含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 的拉伸试验在 Instron5982 拉伸试验机上进行,测试温度为室温。在每个试样上切取3组平行试块,拉伸试块直径为5 mm、棒状,力学性能测试数据取3组平行试块的平均值,试块拉伸后的表面形貌用 S-530 扫描电镜观察。

2 试验结果及讨论

2.1 不同始锻温度下的力学性能检测结果

不同始锻温度锻造出来的含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 试样的强度和断后伸长率检测结果如图1所示。始锻温度较低时,含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 试样的抗拉强度和屈服都较低,断后伸长率则相对比较高;始锻温度较高时,含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 试样的抗拉强度和屈服都较高,断后伸长率则相对比较低。经 440℃始锻温度锻造的样品的抗拉强度、屈服强度分别较 380℃始锻温度锻造时提高了 51、53 MPa,断后伸长率则仅降低了 0.8%。当始锻温度超过 440℃后,样品的强度趋于降低,力学性能变差。

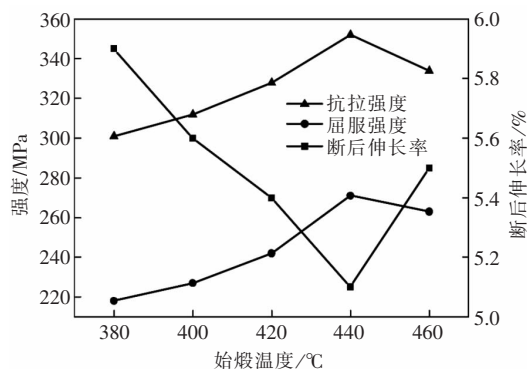


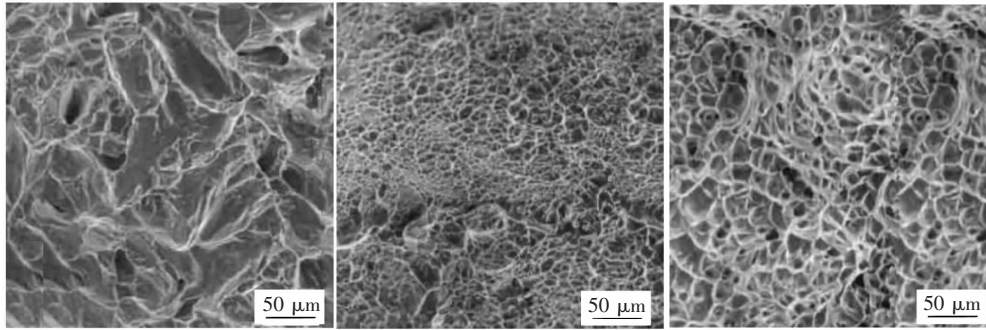
图1 始锻温度下 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 合金的力学性能检测结果

Fig. 1 Measured mechanical properties of Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti alloy at different initial forging temperatures

2.2 不同始锻温度下的拉伸断口形貌

不同始锻温度锻造出来的含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 试样的拉伸断口照片如图 2 所示。从图 2 可以看出,不同始锻温度下的样品均表现为韧窝状断口,只是存在韧窝尺寸、深浅不同。380 °C 始锻

温度锻造时试样的韧窝粗大、浅,韧性不好,韧窝中杂物多,力学性能最差;440 °C 始锻温度锻造时试样的韧窝尺寸最小、深度最深,且断口表现为穿晶断裂,韧性最好,力学性能最佳;随始锻温度升高到 460 °C,样品的韧窝尺寸变大,力学性能次于 440 °C 始锻锻造。



a-试样 1 (380 °C 始锻); b-试样 4 (440 °C 始锻); c-试样 5 (460 °C 始锻)

图 2 始锻温度下 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 合金的拉伸断口形貌

Fig. 2 Tensile fracture morphology of Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti alloy at different initial forging temperatures

2.3 不同终锻温度下的力学性能检测结果

不同终锻温度锻造出来的含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 试样的强度和断后伸长率检测结果如图 3 所示。

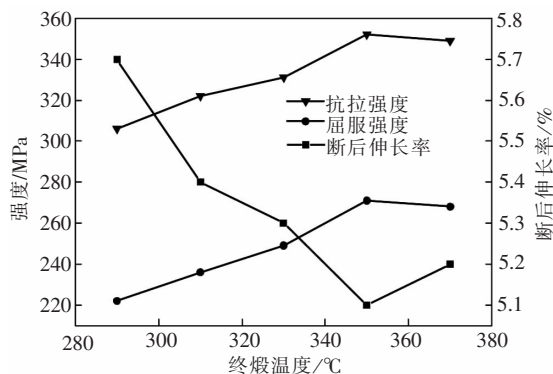


图 3 终锻温度下 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 合金的力学性能检测结果

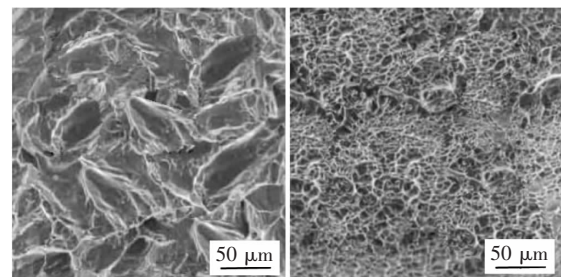
Fig. 3 Mechanical properties of Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti alloy at different final forging temperatures

终锻温度较低时,含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 试样的抗拉强度和屈服都较低,断后伸长率则相对比较高;终锻温度较高时,试样的抗拉强度和屈服都较高,断后伸长率则相对比较低。经 350 °C 终锻温度锻造的样品的抗拉强度、屈服强度分别较 290 °C 终锻温度锻造时提高了 46、49 MPa,

断后伸长率则仅降低了 0.6 %。当终锻温度超过 350 °C 后,样品的强度趋于降低,力学性能变差。

2.4 不同终锻温度下的拉伸断口形貌

290 °C 和 350 °C 终锻温度锻造出来的含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 试样的拉伸断口照片,如图 4 所示。从图 4 可以看出,290 °C 终锻温度锻造的样品韧窝粗大、浅,韧性不好,韧窝中杂物多,力学性能最差;350 °C 终锻温度锻造时试样的韧窝尺寸最小、深度深,无杂质,韧性好,力学性能最佳。



a-试样 6 (290 °C 终锻); b-试样 4 (350 °C 终锻)

图 4 不同终锻温度下 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 合金的拉伸断口照片

Fig. 4 Tensile fracture morphology of Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti alloy at different final forging temperatures

2.5 不同锻造速度下的力学性能检测结果

不同锻造速度锻造出来的汽车用含钛高强镁合

金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 试样的强度和断后伸长率检测结果见图 5。

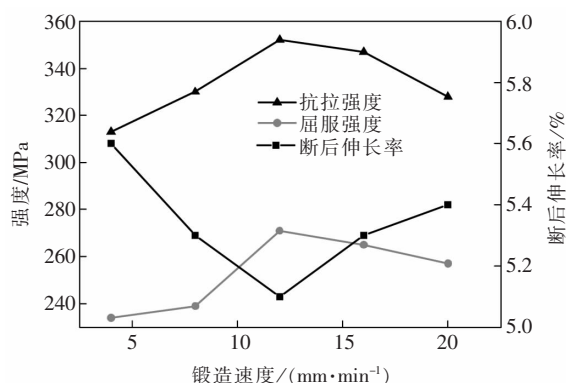


图 5 锻造速度下 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 合金的力学性能检测结果

Fig. 5 Measured mechanical properties of Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti alloy at different forging speeds

锻造速度较慢时,含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 试样的抗拉强度和屈服都较低,断后伸长率则相对较高;锻造速度较快时,含钛高强镁合

金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 试样的抗拉强度和屈服都较高,断后伸长率则相对较低。经 12 mm/min 速度锻造的样品的抗拉强度、屈服强度分别较 4 mm/min 速度锻造时提高了 39、37 MPa,断后伸长率则仅降低了 0.5%。当锻造速度超过 12 mm/min 后,样品的强度趋于降低,力学性能变差。

3 结论

1) 汽车用含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 在 440 °C 始锻温度、350 °C 终锻温度、12 mm/min 锻造速度下的抗拉强度和屈服强度最高,试样的韧窝尺寸最小、深度最深,且断口表现为穿晶断裂,韧性最好,力学性能最佳,因此其工艺性能最佳,较 380 °C 始锻锻造时各提高了 51、53 MPa;较 290 °C 终锻锻造时各提高了 46、49 MPa;较 4 mm/min 速度锻造时各提高了 39、37 MPa。

2) 汽车用含钛高强镁合金 Mg-8Gd-1.5Y-0.8Ti 试样的锻造工艺参数优选为: 440 °C 始锻温度、350 °C 终锻温度、12 mm/min 锻造速度。

参考文献

- [1] Tong Yilin. Microstructure and properties of magnesium alloy for titanium-containing mechanical shell forged at high strain rate [J]. Iron Steel Vanadium Titanium 2019 40(2): 66-70 78.
(董伊琳. 高应变速率锻造含钛机械壳体镁合金的组织与性能[J]. 钢铁钒钛 2019 40(2): 66-70 78.)
- [2] Liu Yanfeng, Hu Zhongju, Bi Rengui, et al. Development of composite forming technology for Mg alloys sheet research [J]. Ordnance Material Science and Engineering 2019 42(4): 135-141.
(刘雁峰, 胡忠举, 毕仁贵, 等. 镁合金板材复合成形技术研究进展[J]. 兵器材料科学与工程 2019 42(4): 135-141.)
- [3] Li Shizeng, Li Anmin. Extrusion process optimization of novel automobile radiator with magnesium alloy containing titanium [J]. Iron Steel Vanadium Titanium 2017 38(6): 64-68.
(黎仕增, 李安敏. 新型含钛镁合金汽车散热器的挤压工艺优化[J]. 钢铁钒钛 2017 38(6): 64-68.)
- [4] Wang Xinsong, Wang Shouren, Zhang Yongliang, et al. Magnesium alloy tube internal high pressure forming mechanism and finite element simulation analysis [J]. Machine Tool & Hydraulics 2018 46(15): 155-158.
(王鑫松, 王守仁, 张永良, 等. 镁合金管件的內高压成形机制与有限元模拟分析[J]. 机床与液压 2018 46(15): 155-158.)
- [5] Wu Yuanzhi, Yan Hongge, Liu Xianlan, et al. Investigation of the high-strain-rate forging of ZK60 magnesium alloy [J]. Journal of Harbin Engineering University 2017 38(3): 478-483.
(吴远志, 严红革, 刘先兰, 等. ZK60 镁合金高应变速率锻造成形[J]. 哈尔滨工程大学学报 2017 38(3): 478-483.)
- [6] Fu Lili, Qiu Keqiang, Ren Yinglei, et al. Research progress of long period stacking ordered structure [J]. Materials Reports, 2016 30(17): 152-157.
(付丽丽, 邱克强, 任英磊, 等. 长周期结构增强镁合金的研究进展[J]. 材料导报 2016 30(17): 152-157.)
- [7] Fu Yun, Zhang Xia, Lin Jun, et al. Die forging process of lightweight and high strength magnesium alloy casing with separable female die [J]. Journal of Netshape Forming Engineering 2017 9(5): 166-170.
(符韵, 张霞, 林军, 等. 轻质高强镁合金机匣可分凹模模锻工艺[J]. 精密成形工程 2017 9(5): 166-170.)
- [8] Qiu Ranfeng, Shen Zhongbao, Li Qingzhe, et al. Performance of spot welding joint for high strength magnesium alloy [J]. Transactions of The China Welding Institution 2016 37(7): 5-8.
(邱然锋, 申中宝, 李青哲, 等. 高强镁合金点焊接头性能[J]. 焊接学报 2016 37(7): 5-8.)
- [9] Candan S, Unal M, Koc E, et al. Effects of titanium addition on mechanical and corrosion behaviours of AZ91 magnesium alloy [J]. Journal of Alloys and Compounds 2011 509(5): 1960-1963.
- [10] Song G L, Xu Z. Effect of microstructure evolution on corrosion of different crystal surfaces of AZ31 Mg alloy in a chloride containing solution [J]. Corrosion Science 2012 54: 100-105.

编辑 邓淑惠