

含钛镁合金新能源汽车型材挤压工艺优化

魏云¹, 赵行²

(1. 宣化科技职业学院, 河北 张家口 075100; 2. 河北工业大学材料科学与工程学院, 天津 300401)

摘要: 采用不同的挤压温度、挤压速度和挤压比进行了 Mg-Al-Zn-Ti 新型含钛镁合金新能源汽车型材的挤压试验, 并进行了力学性能的测试与分析。结果表明: 随挤压温度升高(300 ℃到400 ℃)、挤压速度增快(1 m/min到5 m/min)、挤压比增大(10到26)时, 试样的抗拉强度和屈服强度均先增大后减小。与300 ℃挤压相比, 挤压温度360 ℃时试样的抗拉强度和屈服强度分别增大17%、31%; 与1 m/min挤压速度进行比较, 采用挤压速度4 m/min挤压时试样的抗拉强度增大14%、屈服强度增大23%; 与挤压比10相比, 采用挤压比22进行挤压时试样的抗拉强度增大9%、屈服强度增大14%。Mg-Al-Zn-Ti 新型含钛镁合金新能源汽车型材的挤压工艺优化参数: 挤压温度360 ℃、挤压速度4 m/min、挤压比22。

关键词: 含钛镁合金; 挤压工艺; 温度; 速度; 挤压比

中图分类号: TF822, TG376

文献标志码: A

文章编号: 1004-7638(2019)06-0155-05

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2019.06.029

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



听语音
与作者互动
聊科研

Optimization of Extrusion Process for New Energy Automotive Profiles Made from Titanium-magnesium Alloy

Wei Yun¹, Zhao Xing²

(1. Xuanhua Vocational College of Science and Technology, Zhangjiakou 075100, Hebei, China; 2. College of Materials Science and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

Abstract: The extrusion tests of Mg-Al-Zn-Ti new titanium-containing magnesium alloy for new energy automobile profiles were carried out with different extrusion temperature, extrusion speed and extrusion ratio, and the mechanical properties were tested and analyzed. The results show that the tensile strength and yield strength of the samples increase firstly and then decrease when the extrusion temperature is increased from 300 ℃ to 400 ℃, the extrusion speed is increased from 1 m/min to 5 m/min, and the extrusion ratio is increased from 10 to 26. Compared with the results from extrusion at 300 ℃, the tensile strength and yield strength of the specimen are increased by 17% and 31%, respectively, at an extrusion temperature of 360 ℃; compared with the results of extrusion speed of 1 m/min, the tensile strength and yield strength of the samples are increased by 14% and 23%, respectively when the extrusion speed is 4 m/min. Compared with the results of extrusion ratio of 10, the tensile strength and yield strength of the samples are increased by 9% and 14%, respectively, when the extrusion ratio was increased to 22. Therefore, the extrusion process optimization parameters of the new Mg-Al-Zn-Ti titanium-containing magnesium alloy for new energy automobile profiles are the extrusion temperature of 360 ℃, extrusion speed of 4 m/min, extrusion ratio of 22.

Key words: Mg-Al-Zn-Ti titanium-containing magnesium alloy, extrusion process, extrusion temperature, extrusion speed, extrusion ratio

收稿日期: 2019-06-26

基金项目: 河北省张家口市科技支撑研究项目(1112025B)。

作者简介: 魏云(1973—), 男, 汉族, 河北张家口人, 本科, 讲师, 研究方向: 物理变形、材料挤压研究, E-mail: huanlib128@163.com。

0 引言

随着汽车工业轻量化进程的推进,新能源汽车成为业界研究和发展的方向。采用轻质合金是汽车轻量化的一个有效途径。镁合金因比重小、减震降噪性能好、回收性佳等特点备受关注。挤压是镁合金产品成型的一个主要方法,但是镁合金滑移系少、成形性较差^[1]。因此关于镁合金挤压方面的研究成为了一个重要的技术课题。刘志英和王晓峰^[2]对于一种镁合金进行了挤压工艺优化研究。陈祥龙等^[3]分析了挤压态 ZK61 镁合金的热压缩变形行为,并建立了本构方程。房庆龄等^[4]研究了 AZ80 镁合金开口凸模旋转挤压过程中空洞的演化过程。任耀等^[5]研究和对比了空心坯料挤压和传统挤压 AZ80 镁合金轮毂工艺。姚怀等^[6]分析了挤压温度对 Mg-2.0Zn-0.5Zr-3.0Gd 生物降解镁合金的显微组织、力学性能和耐腐蚀性能所产生的影响。霍晓春等^[7]通过模拟和试验验证对 ECAP 及二次挤压过程中 ZK60 镁合金的变形过程进行了分析。杨裕泉等^[8]对挤压态 AZ91 镁合金进行了恒温超塑性固态焊接研究。潘玲等^[9]对基于模糊控制的挤压铸造镁合金性能进行了研究与分析。但是,合金成分不同,材料的挤压工艺及其性能也存在差异。基于前期研

究基础,在本试验中,进行了新型 Mg-Al-Zn-Ti 含钛镁合金新能源汽车型材的挤压工艺优化。

1 材料及试验方法

1.1 试验材料

以 Mg-Al-Zn-Ti 含钛镁合金新能源汽车型材为研究对象,合金具体化学成分如表 1 所示。研究发现,在镁合金中添加合金元素钛的作用主要表现在:细化镁基体晶粒、抑制铝扩散、减少离异共晶的数量等^[10]。与不添加钛元素的镁合金相比,含钛镁合金的力学性能和耐热性能得到提高^[11]。Mg-Al-Zn-Ti 含钛镁合金挤压坯料为圆棒状,尺寸为 $\varnothing 300 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$ 。挤压试验前,先将坯料置于工业热处理炉中进行了 $400^\circ\text{C} \times 8 \text{ h}$ 均匀化处理。型材试样的挤压试验在 3 000 t 挤压机上进行。由于挤压温度、挤压速度和挤压比是镁合金挤压过程中最重要的三个工艺参数。为此,本试验保持模具预热温度 280°C ,改变型材试样的挤压温度、挤压速度和挤压比。挤压比是指挤压筒腔横断面面积与挤压型材总横断面面积之比。各型材试样的挤压工艺参数如表 2 所示。型材截面为长度 1 200 mm、厚度 5 mm,截面为 T 型、截面尺寸如图 1 所示。

表 1 试样化学成分

Table 1 Chemical compositions of the samples

%

Al	Zn	Ti	Mn	Si	Fe	Mg
7.5~8.5	0.4~0.8	0.8~1.0	0.2~0.4	<0.01	<0.01	Bal.

表 2 各试样具体的挤压工艺参数

Table 2 Extruding process parameters of the samples

试样编号	挤压温度/ $^\circ\text{C}$	挤压速度/ $(\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$	挤压比
1	300	4	22
2	320	4	22
3	340	4	22
4	360	4	22
5	380	4	22
6	400	4	22
7	360	1	22
8	360	2	22
9	360	3	22
10	360	5	22
11	360	4	10
12	360	4	14
13	360	4	18
14	360	4	26

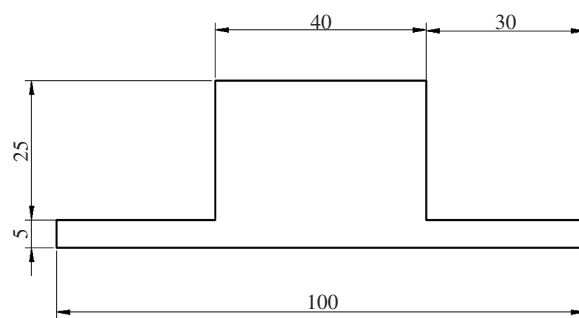


图 1 型材试样截面形状及尺寸

Fig.1 Section shape and dimension of profile samples

1.2 试验方法

力学性能: 在型材底部的两端和中间位置分别截取一个拉伸试验用的试件(截面为 $10 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 矩形,平行度长度为 50 mm),一共是 3 个平行试件,

用3个平行试件测试值通过求算术平均值得出试样各力学性能指标的实际测试值。试验采用的是商用万能拉伸试验机,试验温度选择在室温,拉伸速度设置为1 mm/min,拉伸试验完成后将断口用超声波清洗后吹干再在EVO18型扫描电镜下观断口形貌。

2 试验结果及分析

2.1 挤压温度优化

当保持挤压速度4 m/min、挤压比22恒定,挤压温度不同的情况下,Mg-Al-Zn-Ti含钛镁合金新能源汽车型材试样力学性能各指标的测试情况见图2。从图2可以看出,随挤压温度升高,试样的强度(包括抗拉强度和屈服强度)呈现出明显的先增大后减小变化趋势,断后伸长率变化幅度不大。挤压温度300℃时,试样的抗拉强度、屈服强度和断后伸长率均最低;当挤压温度为360℃时,试样的抗拉强度和屈服强度达到最大值,断后伸长率处于较高水平,与300℃进行比较,试样的抗拉强度增大17%、屈服强度增大31%、断后伸长率增大34%。

挤压速度4 m/min、挤压比22保持不变时,挤压温度不同情况下,Mg-Al-Zn-Ti含钛镁合金新能源

汽车型材试样在拉伸断裂后的断口形貌见图3。从图3可以看出,挤压温度不同,试样的拉伸断口形貌不同。300℃时,试样的拉伸断口中存在较多的解离台阶,表现出较为明显的解离断裂特征;当挤压温度升高到360℃时,试样的拉伸断口中几乎没有解离台阶,布满了较多的韧窝和撕裂棱,表现出较为明显的韧性断裂特征,呈现出更好的拉伸性能。

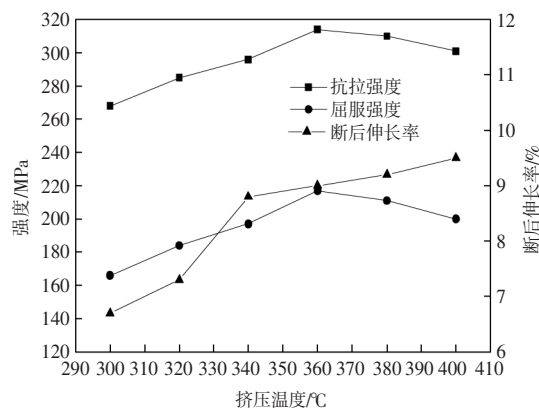
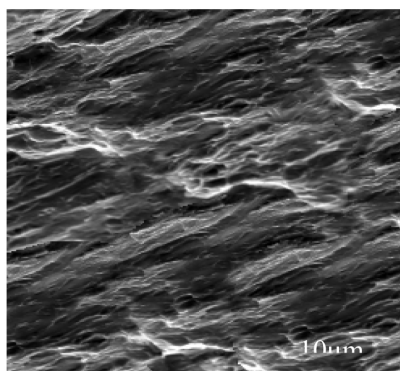
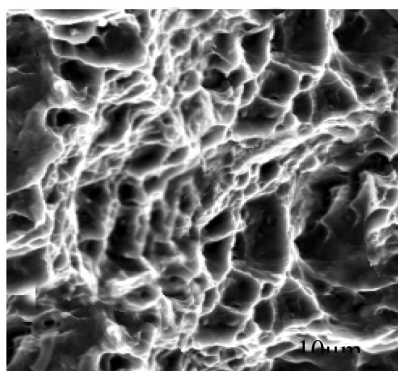


图2 挤压温度对试样力学性能的影响

Fig.2 Effects of extruding temperature on the mechanical properties of the samples



(a)300℃挤压



(b)360℃挤压

图3 不同挤压温度试样的拉伸断口形貌

Fig.3 Tensile fracture morphology of samples with different extruding temperatures

综上所述,挤压温度对Mg-Al-Zn-Ti含钛镁合金新能源汽车型材的力学性能产生重要影响。挤压温度偏低时,金属抗力比较大,内部均匀性较差,且界面结合强度低^[4],从而难以获得较佳力学性能的型材;适当提高挤压温度有助于减小变形抗力,改善内部均匀性,提高界面结合强度,从而改善型材的力学性能;但是挤压温度过高,金属内部组织不稳定^[6-7],且界面结合强度低,导致型材的力学性能非

但不能进一步提高反而有所下降。所以,选用合适的挤压温度是提高Mg-Al-Zn-Ti含钛镁合金新能源汽车型材性能的有效途径。根据上述试验结果,优选挤压温度为360℃。

2.2 挤压速度优化

当保持挤压温度360℃、挤压比22恒定,挤压速度不同的情况下,Mg-Al-Zn-Ti含钛镁合金新能源汽车型材试样力学性能各指标的测试情况见图4。

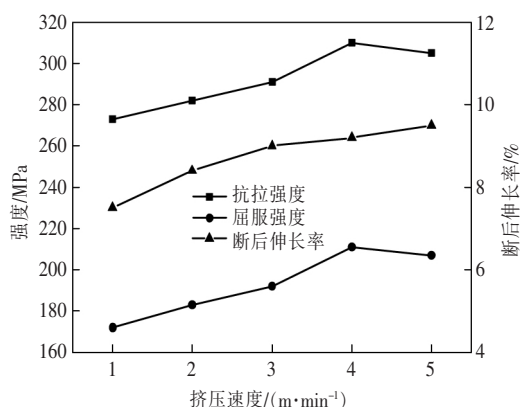


图4 挤压速度对试样力学性能的影响

Fig.4 Effects of extruding speed on the mechanical properties of the samples

从图4可以看出,随挤压速度加快,试样的强度(包括抗拉强度和屈服强度)呈现出明显的先增大后减小变化趋势,断后伸长率则表现为先急剧增大后基本不变的变化趋势。当挤压速度为1 m/min时,试样的抗拉强度、屈服强度和断后伸长率均最小;当挤压速度为4 m/min时,试样的抗拉强度和屈服强度达到最大值,断后伸长率处于较高水平。与1 m/min挤压速度相比,试样的抗拉强度增大14%、屈服强度增大23%,断后伸长率增大23%。

由此可以看出,挤压速度也对Mg-Al-Zn-Ti含钛镁合金新能源汽车型材的力学性能产生重要影响。挤压速度偏快时,金属抗力比较大,内部均匀性较差^[3],导致挤压型材的力学性能不够理想;适当减慢挤压速度有助于减小变形抗力,改善内部均匀性,提高界面结合强度,从而提高挤压型材力学性能;但是挤压速度过慢,金属内部组织稳定性变差^[4],且界面结合强度降低,导致型材的力学性能不理想。所以,选用合适的挤压速度是提高Mg-Al-Zn-Ti含钛镁合金新能源汽车型材性能的有效途径。根据上述试验结果,优选挤压速度为4 m/min。

2.3 挤压比优化

当保持挤压温度360℃、挤压速度4 m/min恒定,挤压比采用不同数值情况下,Mg-Al-Zn-Ti含钛镁合金新能源汽车型材试样力学性能各指标的测试情况见图5。从图5可以看出,随挤压比增大,试样的强度(包括抗拉强度和屈服强度)呈现出明显的先增大后减小变化趋势,断后伸长率则表现为在较小范围内缓慢增大。挤压比为10的情况下,试样强度(包括抗拉强度和屈服强度)最小;当挤压比为22

时,试样的抗拉强度和屈服强度达到最大值,与挤压比10相比,试样的抗拉强度和屈服强度分别增大9%、14%。

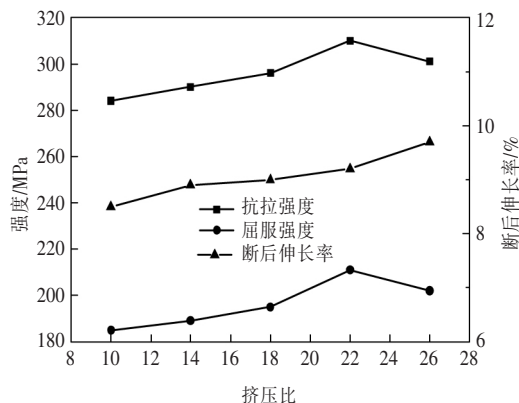


图5 挤压比对试样力学性能的影响

Fig.5 Effects of extruding rate on the mechanical properties of the samples

可以看出挤压比也对Mg-Al-Zn-Ti含钛镁合金新能源汽车型材的力学性能产生重要影响。挤压比过小时,金属内部均匀性较差^[5],导致挤压型材的力学性能不够理想;适当增大挤压比有助于改善型材内部均匀性,从而提高挤压型材力学性能;但是挤压比过大,使内外部金属流动速度差增大,变形不均匀,金属内部组织稳定性变差^[6],导致型材的力学性能不理想。所以,选用合适的挤压比是提高Mg-Al-Zn-Ti含钛镁合金新能源汽车型材性能的有效途径。根据上述试验结果,优选挤压比22。

3 结论

1) 随挤压温度从300℃增至400℃时,挤压而成的Mg-Al-Zn-Ti含钛镁合金新能源汽车型材试样的强度(包括抗拉强度和屈服强度)先增大后减小、断后伸长率先急剧增大后基本不变再缓慢增大。与300℃挤压进行比较,挤压温度升高后360℃时试样的抗拉强度增大17%、屈服强度增大31%。试样的挤压温度优选360℃。

2) 随挤压速度从1 m/min增至5 m/min时,Mg-Al-Zn-Ti含钛镁合金新能源汽车型材试样的强度(包括抗拉强度和屈服强度)先增大后减小、断后伸长率则表现为先急剧增大后基本不变。与1 m/min挤压速度进行比较,挤压速度加快到4 m/min时试样的抗拉强度增大14%、屈服强度增大23%。试样的挤压速度优选4 m/min。

3) 随挤压比从 10 变为 26 的过程中, Mg-Al-Zn-Ti 含钛镁合金新能源汽车型材试样的强度(包括抗拉强度和屈服强度)先增大后减小、断后伸长率则

在较小范围内向缓慢增大。与挤压比 10 相比, 挤压比增大到 22 时试样的抗拉强度和屈服强度分别增大 9%、14%。试样的挤压比优选为 22。

参考文献

- [1] Lu Liwei, Sheng Kun, Wu Xianpeng, *et al.* Research progress of extrusion process for magnesium alloy [J]. *Forging & Stamping Technology*, 2019, 44(1): 1-9.
(卢立伟, 盛坤, 伍贤鹏, 等. 镁合金挤压变形工艺的研究进展 [J]. *锻压技术*, 2019, 44(1): 1-9.)
- [2] Liu Zhiying, Wang Xiaofeng. Extrusion process optimization of magnesium alloy containing titanium [J]. *Iron Steel Vanadium Titanium*, 2018, 39(6): 88-92.
(刘志英, 王晓峰. 含钛镁合金材料的挤压工艺优化 [J]. *钢铁钒钛*, 2018, 39(6): 88-92.)
- [3] Chen Xianglong, Xu Chunguo, Qin Sixiao, *et al.* Hot compression deformation behavior of extruded ZK61 M magnesium alloy and establishment of constitutive equation [J]. *Forging & Stamping Technology*, 2019, 44(5): 147-153.
(陈祥龙, 徐春国, 秦思晓, 等. 挤压态 ZK61 M 镁合金热压缩变形行为与本构方程建立 [J]. *锻压技术*, 2019, 44(5): 147-153.)
- [4] Fang Qingling, Wang Qiang, Zhang Zhiming, *et al.* Study on void evolution in open punch rotary extrusion process of AZ80 magnesium alloy [J]. *Journal of Plasticity Engineering*, 2019, 26(2): 162-169.
(房庆龄, 王强, 张治民, 等. AZ80 镁合金开口凸模旋转挤压过程中的空洞演化研究 [J]. *塑性工程学报*, 2019, 26(2): 162-169.)
- [5] Ren Yao, Wang Qiang, Zhang Zhiming, *et al.* Comparative study on AZ80 magnesium alloy hub wall by hollow billet extrusion and traditional extrusion [J]. *Light Alloy Fabrication Technology*, 2018, 46(11): 50-54, 60.
(任耀, 王强, 张治民, 等. 空心坯料挤压和传统挤压 AZ80 镁合金轮毂工艺对比研究 [J]. *轻合金加工技术*, 2018, 46(11): 50-54, 60.)
- [6] Yao Huai, Wen Jiuba, Xiong Yi, *et al.* Effect of extrusion temperature on microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of biodegradable Mg-2.0Zn-0.5Zr-3.0Gd magnesium alloy [J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2018, 28(12): 2422-2432.
(姚怀, 文九巴, 熊毅, 等. 挤压温度对 Mg-2.0Zn-0.5Zr-3.0Gd 生物降解镁合金组织、力学性能及耐腐蚀性能的影响 [J]. *中国有色金属学报*, 2018, 28(12): 2422-2432.)
- [7] Huo Xiaochun, Yu Yandong, Ning Huiyan. Simulation and experiment of deformation process for ZK60 magnesium alloy by ECAP deformation and secondary extrusion [J]. *Special Casting & Nonferrous Alloys*, 2018, 38(11): 1215-1218.
(霍晓春, 于彦东, 宁慧燕. ECAP 及二次挤压对 ZK60 镁合金变形过程的模拟与验证 [J]. *特种铸造及有色合金*, 2018, 38(11): 1215-1218.)
- [8] Yang Yuquan, Lin Fei, Yang Ruihong, *et al.* Isothermal superplastic solid-state welding of extruded AZ91 magnesium alloy [J]. *Light Alloy Fabrication Technology*, 2018, 46(10): 70-73.
(杨裕泉, 林飞, 杨蕊鸿, 等. 挤压态的 AZ91 镁合金恒温超塑性固态焊接 [J]. *轻合金加工技术*, 2018, 46(10): 70-73.)
- [9] Pan Ling, Wang Dong. Study on properties of squeeze casting magnesium alloy based on fuzzy control [J]. *Hot Working Technology*, 2018, 47(13): 91-93.
(潘玲, 王东. 基于模糊控制的挤压铸造镁合金性能研究 [J]. *热加工工艺*, 2018, 47(13): 91-93.)
- [10] Wang Xiaoming, Zou Lihua, Luo Yumei, *et al.* Effects of calcium and titanium on microstructure and properties of Mg-12Al-2Sr-0.3Mn magnesium alloy [J]. *Materials for Mechanical Engineering*, 2016, 40(2): 71-75.
(王小明, 邹丽华, 罗玉梅, 等. 添加钙和钛对 Mg-12Al-2Sr-0.3Mn 镁合金组织与性能的影响 [J]. *机械工程材料*, 2016, 40(2): 71-75.)