

# 锻造工艺参数对汽车用石墨烯增强 铝基复合材料的影响

朱晓波

(郴州职业技术学院, 湖南 郴州 423000)

**摘要:**采用不同的锻造工艺参数对新型铝基复合材料进行了锻造试验,并对冲击、磨损性能进行了测试与分析。结果表明:随始锻温度、终锻温度和锻造比的增加,试样的冲击吸收功先增大后减小、磨损体积先减小后增大;在470℃始锻与350℃终锻时,锻造比12的试样的冲击吸收功最大,磨损体积最小。汽车用新型铝基复合材料的锻造工艺参数优选为:470℃始锻温度、350℃终锻温度、锻造比12。

**关键词:**铝合金;石墨烯;始锻温度;终锻温度;锻造比;冲击性能;磨损性能

**DOI:** 10.14158/j.cnki.1001-3814.20190006

中图分类号: TG301; TG146.21

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2020)23-0080-04

## Influence of Forging Process Parameters on Graphene Reinforced Aluminum Matrix Composites for Automobile

ZHU Xiaobo

(Chenzhou Vocational Technical College, Chenzhou 423000, China)

**Abstract:** The forging test of a new type of aluminum matrix composites was carried out by using different forging process parameters. The impact and wear properties were tested and analyzed. The results show that with the increase of the initial forging temperature, the final forging temperature and the forging ratio, the impact absorption work of the samples increases first and then decreases, and the wear volume decreases first and then increases. The impact absorbing work of the samples with the forging ratio of 12 is the largest and the wear volume is the smallest at initial forging temperature of 470℃ and the final forging of 350℃. The optimum forging process parameters of new aluminum matrix composites for automobile are initial forging temperature of 470℃, final forging temperature of 350℃ and forging ratio of 12.

**Key words:** aluminum alloy; graphene; initial forging temperature; final forging temperature; forging ratio; impact property; wear resistance

这些年来,我国的汽车行业发展良好<sup>[1]</sup>。铝合金因质轻、易加工、力学性能和耐腐蚀性能佳等优点而受到汽车行业的青睐,但是它强度和硬度低、耐磨损性能差等不足,进而限制了铝合金的进一步发展<sup>[2-4]</sup>。为了适应时代对高性能铝的需求,新型铝基复合材料应运而生,它的基体和增强相能够很好地复合,易于二次加工。它能增强铝合金的强度和硬度,综合性能表现佳,在汽车等领域应用前景广阔<sup>[5-6]</sup>。在生产工艺的选择上,锻造能够制备出精密的汽车零件,并改善内部的组织,提升力学、耐磨损等性能,

适用于铝基复合材料的生产加工<sup>[7]</sup>。由于目前锻造用于铝基复合材料的研究并不多见。因此,本文以一种新型铝基复合材料为研究对象,采用不同的锻造工艺参数对新型铝基复合材料进行了分析。

## 1 试验材料和方法

### 1.1 试样材料

研究对象为电渣重熔制备的汽车用新型铝基复合材料坯料,用线切割法切割成坯料试块,尺寸为120mm×100mm×100mm,成分为:6061铝合金中添加10%石墨烯,具体化学成分见表1。首先将坯料置于电阻炉内,待加热至460℃后,对其方截面进行倒角和轻锻,并再次加热;接着取出坯料,按照表2所示锻造工艺参数,使用500kg空气锤对坯料进行锻造试验,锻件为方形,尺寸为480mm×方50.0mm,958mm×方35.4mm,1202mm×方31.6mm,1440

收稿日期:2019-01-01

基金项目:湖南省教育厅科学研究项目(17C0215)

作者简介:朱晓波(1973-),男,湖南汝城人,工程师,硕士,研究方向:机械与汽车设计制造、汽车运用与维修;电话:13975531782;

E-mail: 1301822893@qq.com

表1 复合材料的化学成分(质量分数,%)  
Tab.1 Chemical composition of composites (wt%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	石墨烯	Al
0.6	0.7	0.25	0.15	1	0.25	0.25	0.15	10	余量

表2 锻造工艺参数  
Tab.2 Forging process parameters

试样编号	始锻温度/℃	终锻温度/℃	锻造比
1	420	350	12
2	440	350	12
3	460	350	12
4	470	350	12
5	480	350	12
6	500	350	12
7	470	300	12
8	470	320	12
9	470	340	12
10	470	360	12
11	470	350	4
12	470	350	8
13	470	350	16
14	470	350	20

mm×方 28.87 mm, 1920 mm×方 25.0 mm, 2392 mm×方 22.4 mm。锻后所有试样均进行了 120℃×6h 的相同工艺热处理。

## 1.2 试验方法

**冲击试验：**在锻件的边部沿长度方向采用线切割方法切取 3 组标准 V 型冲击平行试样, 尺寸为 55 mm×25 mm×5 mm。试验设备为 JK-KC 型冲击试验机, 试验温度为室温, 记录试样的冲击吸收功。

**磨损试验：**采用线切割法切取 3 组大小为 20 mm×20 mm×20 mm 的磨损平行试块, 磨损试验在 TRM500 型摩擦试验机上进行, 工作载荷为 90N, 磨轮转速 320 r/min, 测试温度为室温, 相对滑动速度为 100 mm/min, 磨损时间 15 min, 记录 3 组平行试块的磨损实验结果, 最终试验数据为磨损体积的算术平均值。磨损后试样的磨损形貌通过电镜观察。

## 2 试验结果及讨论

### 2.1 不同始锻温度对试样性能的影响

图 1 是不同始锻温度下试样的冲击性能测试结果。从图 1 可以看出, 随始锻温度从 420℃ 提高至 500℃, 汽车用新型铝基复合材料试样的冲击吸收功先增大后减小, 在 7.6~12.8J 之间变化。在始锻温度为 420℃ 时, 试样的冲击吸收功最小, 为 7.6J, 此时的冲击性能最差; 试样的冲击吸收功随着始锻温度的升高继续增大, 当始锻温度达到 470℃ 时, 试样

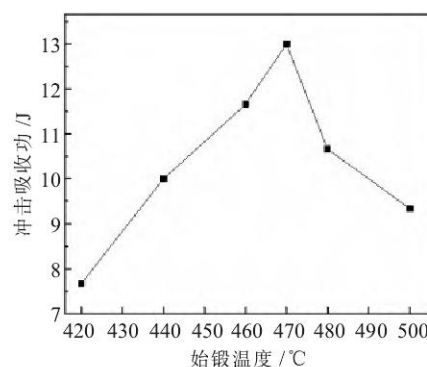


图1 不同始锻温度下试样的冲击性能测试结果  
Fig.1 Test results of impact properties of specimens at different initial forging temperatures

的冲击吸收功达到最大值 12.8J 时, 较 420℃ 始锻锻造时增大了 68.4%; 但当始锻温度达到 480、500℃ 时, 试样的冲击吸收功分别为 10.6、9.4J, 虽较 420℃ 始锻锻造时增大了 39.5%、23.7%, 但较 470℃ 始锻锻造时有所减小。

图 2 为经不同始锻温度锻造的试样磨损性能测试结果。从图 2 可以看出, 随始锻温度从 420℃ 提高至 500℃, 汽车用新型铝基复合材料试样的磨损体积先减小后增大, 在  $28 \times 10^{-3} \sim 13 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$  之间变化。当始锻温度增大到 480、500℃ 时, 试样的磨损体积分别为  $18 \times 10^{-3}$ 、 $22 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ , 虽较 420℃ 始锻锻造时减小了 35.7%、21.4%, 但较 470℃ 始锻时增大了一些。

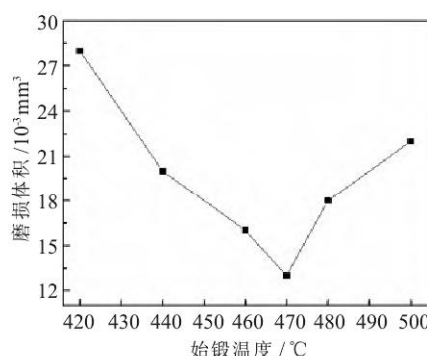


图2 不同始锻温度下试样的磨损性能测试结果  
Fig.2 Test results of wear properties of specimens at different initial forging temperatures

### 2.2 不同终锻温度对试样性能的影响

图 3 是不同终锻温度下试样的冲击性能测试结果。从图 3 可以看出, 随终锻温度提高, 试样的冲击吸收功先增大后减小, 在 8.2~12.8J 之间变化。在终锻温度为 300℃ 时, 试样的冲击吸收功最小, 为 8.2J, 此时的冲击性能最差; 试样的冲击吸收功随着终锻温度的升高继续增大, 当终锻温度达到 350℃



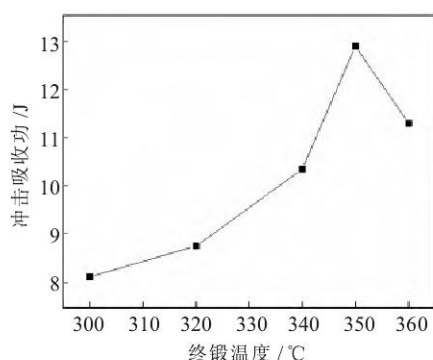


图3 不同终锻温度下试样的冲击性能测试结果  
Fig.3 Test results of impact properties of specimens at different final forging temperatures

时, 试样的冲击吸收功达到最大值 12.8J 时, 较 300°C 终锻锻造时增大了 56.1%, 当终锻温度达到 360°C 时, 试样的冲击吸收功为 11.3J, 虽较 300°C 终锻锻造时增大了 37.8%, 但较 350°C 终锻锻造时有所减小。

终锻温度为 350°C (试样 4)、300°C (试样 7) 时试样的冲击断口形貌图片如图 4 所示。根据图 4 可获悉, 与 300°C 终锻相比, 当 350°C 终锻时试样表现出更佳的冲击性能。基于优化新型铝基复合材料试样的冲击性能的目的, 优选 470°C 始锻、350°C 终锻、12 锻造比。

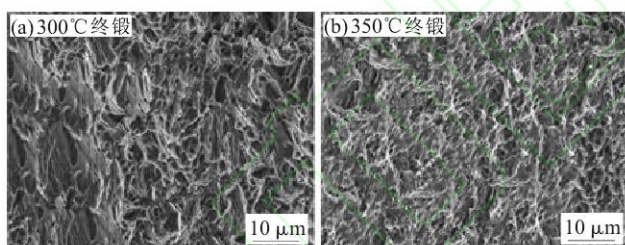


图4 470°C 始锻变形比 12 不同终锻温度锻造时试样的冲击断口

Fig.4 Impact fracture of specimen with forging deformation ratio of 12 and initial forging of 470 °C and different final forging temperatures

图 5 是不同终锻温度下试块的磨损性能测试结果。随终锻温度提高, 试块的耐磨损性能先提升后变差。300°C 终锻温度下, 试样的磨损体积最大, 为  $26 \times 10^{-3} \text{mm}^3$ ; 当终锻温度达到 350°C 时, 试样的磨损体积达到最小值  $13 \times 10^{-3} \text{mm}^3$ , 较 300°C 终锻锻造时减小了 50%, 此时试样的耐磨损性能最佳。但当终锻温度继续增大到 360°C 时, 试样的磨损体积为  $17 \times 10^{-3} \text{mm}^3$ , 虽较 300°C 终锻锻造时减小了 34.6%, 但较 350°C 终锻锻造时有所增大, 耐磨损性能略有下降。

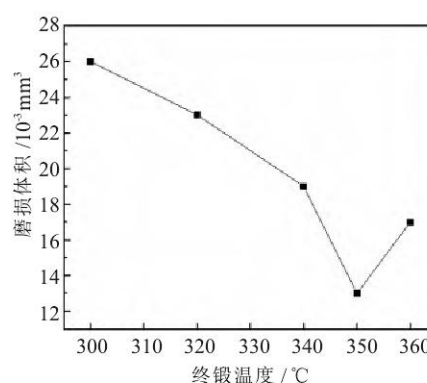


图5 不同终锻温度下试样的磨损体积测试结果  
Fig.5 Test results of wear volume of specimens at different final forging temperatures

图 6 是终锻温度为 350°C (试样 4)、300°C (试样 7) 时试样的表面磨损形貌图片。从图中可获悉, 经过磨损, 试样 4 的磨损非常轻微, 仅有少许细浅的磨痕, 几乎无蚀坑产生; 而试样 7 的表面磨损程度更为严重, 有较大的蚀坑、起皮和粗大、深长的磨痕。综合之前的磨损性能测试结果可知, 当终锻温度为 350°C 时, 试样的磨损性能最佳。

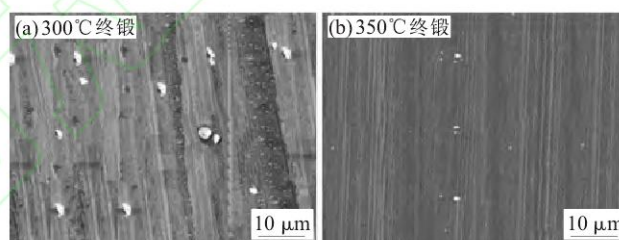


图6 470°C 始锻不同终锻温度锻造变形比 12 时试样的磨损形貌

Fig.6 Wear morphologies with forging deformation ratio of 12 at Initial forging of 470 °C and different final forging temperatures

### 2.3 不同锻造比对试样性能的影响

图 7 是不同锻造比下试样的冲击性能测试结果。随锻造比提高, 试样的冲击性能先提升后下降。在锻造比为 4 时, 试样的冲击吸收功最小, 为 9.4J, 此时的冲击性能最差; 当锻造比达到 12 时, 试样的冲击吸收功达到峰值 12.8J, 较锻造比 4 锻造时增大了 36.2%, 此时试样的冲击性能最佳; 当锻造比达到 16、20 时, 试样的冲击吸收功分别为 10.6、9.1J, 较锻造比 12 锻造时有所减小。

图 8 是不同锻造比下试样的磨损性能测试结果。锻造比对试样的磨损体积影响显著, 在  $20 \times 10^{-3} \sim 13 \times 10^{-3} \text{mm}^3$  之间变化, 耐磨损性能先提升后下降。在锻造比为 4 时, 试样的磨损体积, 为  $20 \times 10^{-3} \text{mm}^3$ ; 当锻造比达到 12 时, 磨损体积处于最低值

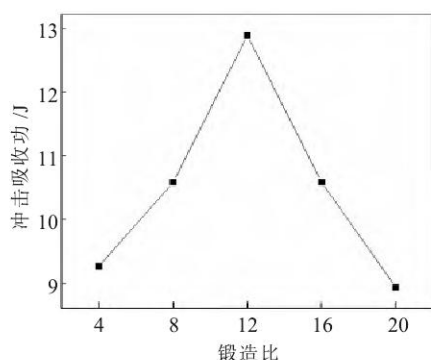


图7 不同锻造比下试样的冲击性能测试结果  
Fig.7 Test results of impact properties of specimens with different forging ratios

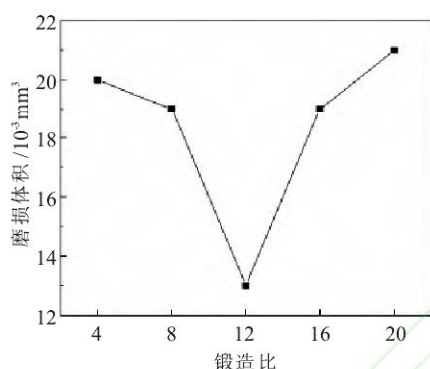


图8 不同锻造比下试样的磨损性能测试结果  
Fig.8 Test results for wear performance of specimens at different forging ratios

$13 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ ,较锻造比4时减小35%,此时其磨损性能是最好的。随着锻造比继续增大,磨损体积反而开始增大,当锻造比达到20时,试样的磨损体积达到最大值  $21 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ ,较锻造比12锻造时增大了61.5%。

(上接第79页)

和最大值基本一致。

## 4 结论

(1) 不同成形时间下钢轨的温度、塑性应变分布存在差异,其最大值基本一致;等效应力分布及最大值基本一致;随着辊锻时间增加,径向载荷呈现先增加后基本保持不变再减小的趋势。

(2) 不同辊锻成形时,辊轮形状不同,使用辊轮数量也存在差异;不同辊锻成形工艺下钢轨的温度分布及最大值不同,但是等效应力分布和最大值基本一致。

### 参考文献:

[1] 蒋兴雷,曾黎明. 热压成形复合材料钢轨接头夹板模具设计[J]. 纤维复合材料,2015,32(3):29-31.

## 3 结论

(1) 随始锻温度、终锻温度、锻造比的升高,试样的冲击吸收功先增大后减小,磨损体积则先减小后增大,冲击、磨损性能均先提升后变差。

(2) 和  $420^\circ\text{C}$  始锻进行比较, $470^\circ\text{C}$  始锻时试样的冲击吸收功增大了68.4%,磨损体积减小了53.6%;与  $300^\circ\text{C}$  终锻相比, $350^\circ\text{C}$  终锻时试样的冲击吸收功增大了56.1%,磨损体积减小了50%;与锻造比4相比,锻造比12锻造时试样的冲击吸收功增大了36.2%,磨损体积减小了35%。

(3) 为了优化汽车用新型铝基复合材料的冲击、磨损性能,始锻温度优选为  $470^\circ\text{C}$ 、终锻温度优选为  $350^\circ\text{C}$ 、锻造比优选为12。

### 参考文献:

[1] 田俊,宫蓝波. 车辆铝基合金的轻量化的研究进展[J]. 科技风,2017(11):22-23.  
[2] 杨兴,冯强,孙赞朋,等. 6061 铝合金在多向锻造过程中显微组织与拉伸性能的演变[J]. 机械工程材料,2018,42(7):73-77.  
[3] 吴孟武,华林,周建新,等. 导热铝合金及铝基复合材料的研究进展[J]. 材料导报,2018,32(9):1486-1495.  
[4] 李岩,赵业青,陈修梵,等. 铝合金锻造生产技术的发展[J]. 轻合金加工技术,2015,43(8):20-27.  
[5] 王祝堂. 汽车铝基复合材料的制备与性能[J]. 轻合金加工技术,2012,40(1):1-11.  
[6] 廉振红. 汽车用铝基复合材料的制备工艺优化[J]. 轻合金加工技术,2018,46(1):49-52.  
[7] 吴渝玲. 锻造对建筑铝基复合材料性能的影响[J]. 轻合金加工技术,2017,45(9):50-53. [1]

[2] 周宇,刁迪峰,郑晓峰,等. 基于三维重构的钢轨滚动接触疲劳裂纹扩展预测[J]. 机械工程学报,2018,54(4):158-166.

[3] 丁军君,李东宇,王军平,等. 钢轨磨耗对轮轨滚动接触关系的影响研究[J]. 机械工程学报,2018,54(4):142-149.

[4] 吴胜超,刘华,刘百宣,等. 旋耕刀辊锻成形工艺的数值模拟与试验验证[J]. 锻压技术,2018,43(1):9-13.

[5] 吕霄,刘艳雄,王孝文. 汽车前轴第1道次辊锻成形工艺有限元模拟与实验[J]. 锻压技术,2017,42(2):5-11.

[6] 袁裕光. 汽车前轴辊锻工艺及特点探究[J]. 南方农机,2017,48(16):184-185.

[7] 王峰,鲁亚云. 轻卡转向节辊锻工艺研究[J]. 铸造技术,2016(3):546-548.

[8] 陶善虎. 前轴精密辊锻-整体模锻成形工艺改进[J]. 精密成形工程,2016,8(3):61-64.

[9] 余世浩,尚帅. 基于数值模拟和正交试验的卡车前轴辊锻工艺优化[J]. 锻压装备与制造技术,2016,51(4):93-97. [1]