

文章编号:1000-6893(2007)03-0735-04

# 冲击载荷作用下新型阻尼铝合金的 阻尼及力学性能

姚俊臣, 文丽芳, 韩寿波, 马岳, 韩海军

(北京航空航天大学 材料科学与工程学院, 北京 100083)

## Damping and Mechanical Properties of a New Kind of Damping Aluminum Alloy Under Impact Load

YAO Jun-chen, WEN Li-fang, HAN Shou-bo, MA Yue, HAN Hai-jun

(School of Materials Science and Engineering, Beijing University of

Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

**摘要:** 采用冲击实验装置研究了新型阻尼铝合金材料在冲击载荷作用下的动态力学性能及表征方法。研究表明:采用冲击实验的冲击功及能量参数能够科学合理地表征铝合金材料的力学及阻尼性能。新型阻尼铝合金材料的抗冲击载荷能力和阻尼性能均高于普通铸造铝合金材料 86% 及 37% 左右,且内部组织致密、均匀细小,具有优良的综合性能。

**关键词:** 铝合金; 力学性能; 阻尼; 冲击载荷

**中图分类号:** TG146.2 **文献标识码:** A

**Abstract:** Impact experiment equipment was used to study the dynamic mechanical properties and characterization method of a new kind of damping aluminum alloy under impact load. Results show that the material's mechanical and damping properties can be characterized scientifically and appropriately by the impact work and energy parameters obtained by the impact experiments. The shock resistance ability of the new kind damping aluminum alloy is higher than that of the general cast aluminum alloy by 86%, while the damping property is higher by 37%. And the damping aluminum alloy exhibits excellent combination property with compacted, uniform and fine texture.

**Key words:** aluminum alloy; mechanical property; damping; impact load

采用快速凝固/粉末冶金方法制成的金属/金属复合的铝合金材料是近年来发展起来的新型材料,它不仅密度低、强度和韧性好,同时还具有高的阻尼性能。其阻尼性能远高于传统制造工艺制成铝合金材料,是当前航空航天领域极具发展潜力的一种结构功能一体化的新型高阻尼金属材料。

航空用新型阻尼铝合金材料长期服役在复杂变化载荷的恶劣环境中,研究其高速、冲击载荷下的动态力学性能比静态条件下的性能更为重要<sup>[1]</sup>。国内对铝合金材料静态载荷作用下性能研究得较多,如东南大学借助材料试验机,在接近静态或 2 mm/min 加载的速率下,开展了相关泡沫铝合金压缩载荷下的吸能性能。国内对复杂动态载荷作用下性能的研究较少,现有的数据结果难

以为本材料的设计和应用提供技术支撑。本文借助自制的材料冲击试验机,通过高速加载冲击实验,研究新型阻尼铝合金在接近服役环境条件下的吸能性能及动态力学特性,为新型阻尼铝合金材料在航空航天领域的应用奠定理论基础。

## 1 实验材料及设备

### 1.1 测试样品的制备

实验所用材料为北京航空材料研究院提供的新型阻尼铝合金棒材。线切割加工成尺寸为 50 mm×8 mm×4 mm 的试样见图 1,试样的尺寸公差为-0.1 mm。

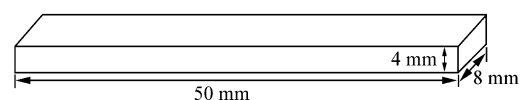


图 1 新型阻尼铝合金冲击试样

Fig. 1 Impact sample of damping aluminum alloy

收稿日期:2006-03-21; 修订日期:2007-02-07

基金项目:“十五”预研

通讯作者:马岳 E-mail:mayue@buaa.edu.cn

## 1.2 测试方法及设备

采用自制的 JCSJ30-1 型数字化多用途冲击试验机(简图见图 2)进行材料的冲击和动态力学性能实验,根据冲击实验获得的冲击总功、吸收功,测出吸能效率  $E$  及最大冲击力,分析探讨新型阻尼铝合金材料的吸能性能和抗冲击性能。

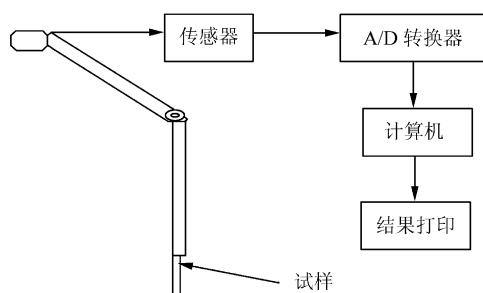


图2 JCSJ30-1型数字化多用途冲击试验机原理图

Fig.2 Principle of JCSJ30-1 digital impact test system

## 2 实验方法

### 2.1 冲击实验方法研究

冲击实验是研究材料抵抗动载荷能力的一种实验,和静载荷作用不同,由于加载速度快,材料内的应力骤然提高,影响了材料的组织特性,所以在冲击载荷作用下,材料所具有的性能与静载荷有很大的不同。通常在静荷作用下具有很好塑性的材料,在冲击载荷下会呈现出脆性性质<sup>[2]</sup>。

另外,在冲击实验中,试样夹持在两支座中间,由于试样较小,无需开缺口。在摆锤冲击的过程中,试样产生形变,沿纵向一端承受拉应力另一端承受压应力。测定材料断裂过程中载荷和变形的瞬时值,分析试样受冲击过程中的特征曲线及特征值。从而研究新型阻尼铝合金材料在冲击载荷作用下的组织结构特征和力学行为特性,揭示其服役环境因素(如加载速度、受力状态以及热处理等)的影响规律,对承受高速加载服役环境条件的新材料研制及结构设计研究都具有一定的意义。

### 2.2 冲击动态力学性能表征

在实验中能够得到冲击破坏的最大载荷、冲击总功、吸收功、剩余功等参量,哪个参数能够更好地反映材料的冲击性能特性值得探讨。

通过分析材料在冲击实验过程中的受力和变形情况,遵守能量守恒定律,以吸收功(冲击总功—剩余功)反映材料的吸能本领<sup>[3-5]</sup>即内耗,提出以无量纲参数吸能效率  $\eta$  表征材料的阻尼能力,

以对其他表征金属材料阻尼性能的方法作一个补充。

吸能效率定义为单位做功条件下,材料吸收动能的效率;即材料在高速冲击加载的条件下,材料能够吸收动能的效率。用此参数表征阻尼铝合金的动态阻尼性能或称高速加载下的减振性能。计算公式为

$$\eta = (E_z - E_s) / E_z \times 100\%$$

式中: $E_z$  为冲击总功; $E_s$  为剩余功。以材料冲击破坏的最大载荷表征阻尼铝合金的抗冲击性能。

根据吸能效率公式,分别求得阻尼铝合金的吸能效率: $\eta_1 = (1.15 - 0.23) / 1.15 \times 100\% = 80\%$ , $\eta_2 = (0.51 - 0.16) / 0.51 \times 100\% = 68.6\%$ ; ZL101A 铝合金的吸能效率: $\eta_3 = 49.8\%$ , $\eta_4 = 59.3\%$ 。

## 3 实验结果与讨论

### 3.1 铝合金的抗冲击及阻尼性能

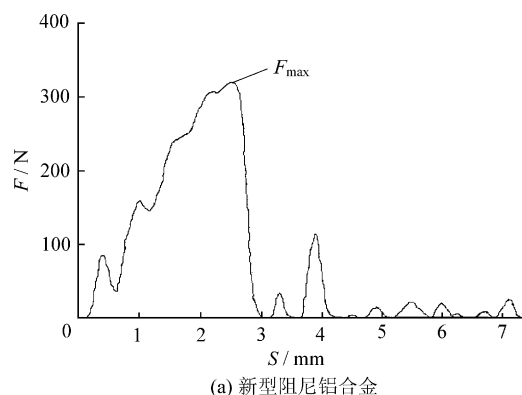
表1为铝合金材料的抗冲击性能及阻尼性能。由表1可知,新型阻尼铝合金的抗冲击能力高于普通铸造铝合金41.7%左右;新型阻尼合金的吸能效率平均为74.3%,普通铸造铝合金的吸能效率为54.6%左右,反映高强阻尼合金的阻尼性能明显优于普通铸铝合金。

表1 材料的抗冲击性能及阻尼性能

Table 1 Impact and damping properties of aluminum alloy

材 料	最大载荷 /N	位移 /mm	总功 /J	剩余功 /J	吸能效率 /%
新型阻尼 铝合金	321.9	2.5	0.8	0.2	74.3
ZL101A 普通 铝合金	227.1	2.1	0.7	0.3	54.6

图3为新型阻尼铝合金和ZL101A普通铝合金的冲击曲线。



(a) 新型阻尼铝合金

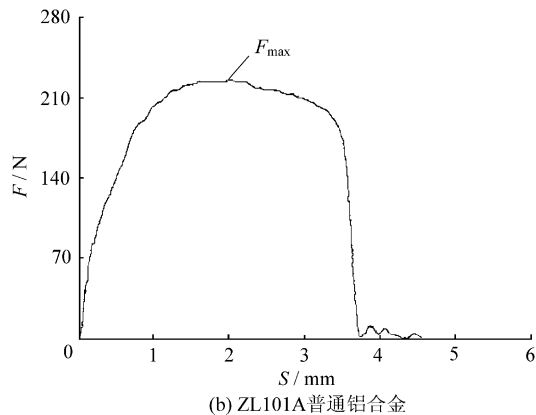


图3 新型阻尼铝合金和ZL101A普通铝合金的冲击(载荷-位移)曲线

Fig. 3 Impact curves (load-displacement) of damping aluminum alloy and ZL101A aluminum alloy

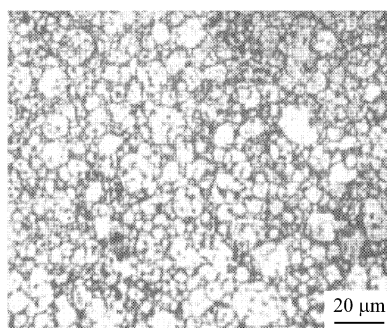
从图3可知,新型阻尼铝合金和普通铸造铝合金冲击过程中力的变化历程明显不同。新型阻尼铝合金经历:弹性变形→出现第1个屈服点→出现第2个屈服点→最后材料出现最大受力点;普通铸造铝合金的冲击曲线与一般材料基本相同,经历:弹性变形→出现屈服点→塑性变形→出现最大受力点。和普通阻尼铝合金比较,新型阻尼铝合金在冲击变形过程中经历多次微小的屈服变形,吸收能量较多。因而新型阻尼铝合金的阻尼性能明显优于普通铸造铝合金。

### 3.2 铝合金的微观组织形貌

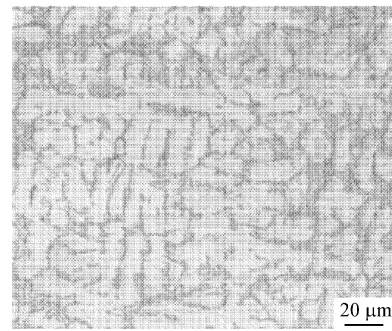
图4为铝合金的微观组织。由图4可知,ZL101A普通铸造铝合金与新型阻尼铝合金的组织有很大的差异。新型阻尼铝合金组织致密、均匀细小、存在大量的颗粒界面。

图5为铝合金的冲击断口组织形貌。由图5可知,两种材料均为沿晶断裂形式。

由此可知,材料的阻尼性能主要是由它内部的组织决定的<sup>[1,6-8]</sup>。新型阻尼铝合金内部组织致密、均匀细小且存在大量的界面,能够经历多段



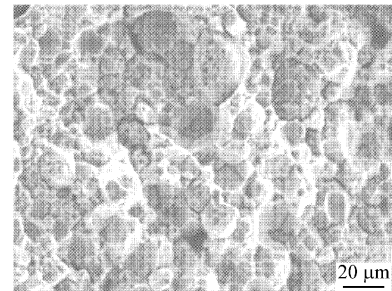
(a) 新型阻尼铝合金



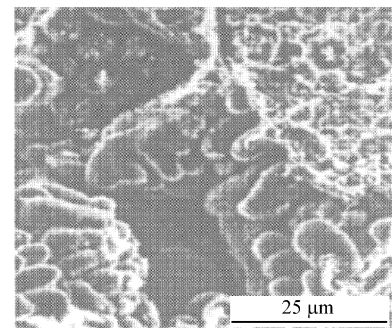
(b) ZL101A普通铸造铝合金

图4 两种铝合金的微观组织

Fig. 4 Microstructures of two kinds of aluminum alloy



(a) 新型阻尼铝合金



(b) ZL101A普通铸造铝合金

图5 两种铝合金的冲击断口组织

Fig. 5 Impact rupture structures of two kinds of aluminum alloy

弹性变形后到达最大受力点,材料在承受力的作用过程中,吸收更多的能量;普通铸造铝合金的组织较粗大,经历弹性变形后迅速到达最大受力点。因而高强度阻尼铝合金的阻尼性能优于普通铸造铝合金。

## 4 结论

(1) 采用冲击实验的冲击功及吸能效率能够科学合理地表征铝合金材料的力学及阻尼性能。

(2) 新型阻尼铝合金的抗冲击能力明显高于普通铸造铝合金41.7%左右;新型阻尼铝合金的吸能效率为74.3%,普通铸造铝合金的吸能效率为54.6%,新型阻尼铝合金的阻尼性能明显优于

普通铸造铝合金 37.0%左右。

(3) 新型阻尼铝合金内部组织致密、均匀细小并且存在大量的界面,使其具有优良的综合性能。

### 致 谢

北京航空材料研究院 2 室李沛勇博士为本文提供了实验材料及试样,北京航空航天大学材料学院唐振庭老师在实验中给予很大的帮助,特此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] 张学斌,凤仪,郑海务,等. 泡沫铝的动态力学性能研究[J]. 合肥工业大学学报,2002,25(2):291-292.  
Zhang X B, Feng Y, Zheng H W, et al. Study on the dynamics mechanical properties of spumous aluminum alloy [J]. Journal of Hefei University of Technology, 2002, 25 (2):291-292. (in Chinese)
- [2] 姜伟之,赵时熙. 工程材料的力学性能[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1998:103-106.  
Jiang W Z, Zhao S X. Mechanical properties of engineering material[M]. Beijing: Press of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 1998:103-106. (in Chinese)
- [3] McIntyre A, Anderton G E. Fracture properties of a rigid polyurethane foam over a range of densities[J]. Polymer, 1979,20:247-253.
- [4] Davies G J, Zheng S. Metallic foams: their production, properties and applications[J]. Journal of Materials Science, 1983,18:1899-1911.
- [5] Miltz J, Gruenbaum G. Evaluation of cushioning properties of plastic foams from compressive measurements[J]. Polym Eng Sci, 1981,21:1010-1014.
- [6] 王祝堂. 泡沫铝材的生产工艺、组织性能及应用市场[J]. 轻合金加工技术,1999,27(10):5-11.  
Wang Z T. The processing, microstructure, properties and application market in spumous aluminum material [J]. Light Alloy Fabrication Technology, 1999, 27 (10): 5-11. (in Chinese)
- [7] 朱震刚. 泡沫金属材料研究[J]. 物理,1999,28(2):84-88.  
Zhu Z G. Study on spumous metal material[J]. Physics, 1999,28(2):84-88. (in Chinese)
- [8] 赵海涛. 粉末冶金工艺制备阻尼铝合金的稳定性和阻尼性机理研究[D]. 北京:北京航空航天大学,2005.  
Zhao H T. Research on the stability and damping mechanism of aluminum alloy prepared with powder metallurgy process[D]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2005.

### 作者简介:



姚俊臣(1964—) 男,高级工程师,博士研究生。主要研究方向:铝合金阻尼性能。  
Tel:010-65666326  
E-mail:yaojunchen@sohu.com



马岳(1962—) 女,副教授,博士后。主要研究方向:铝合金阻尼性能、热障涂层及高温结构材料。  
Tel:010-82338392  
E-mail:mayue@buaa.edu.cn

(责任编辑:蔡 斐)