

文章编号:1007-1180(2010)08-0032-04

Mn-Cu 系阻尼合金 在遥感器结构设计中的应用

袁 涛, 何 欣

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘 要: Mn-Cu 系阻尼合金具有优良的综合机械性能, 作为工程材料在许多领域得到了应用。本文介绍了 Mn-Cu 系阻尼合金的国内外发展状况, 说明了 Mn-Cu 系阻尼合金的阻尼机制, 简述了 Mn-Cu 系阻尼合金的阻尼特性、力学性能和热处理方法。在分析遥感器结构设计中材料要求的基础上, 对 Mn-Cu 系阻尼合金在遥感器结构设计中应用的可行性进行了分析论述。结果表明, Mn-Cu 系阻尼合金作为结构减振材料, 在遥感器结构设计中可以得到应用。

关键词: 阻尼合金; 遥感器; 结构设计

中图分类号: TG145; TH703

文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI 20102708.0032

Application of Mn-Cu based Damping Alloy to Mechanical Design of Remote Sensors

YUAN Tao, HE Xin

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Because of excellent mechanical properties, Mn-Cu based damping alloy has been used in a lot of fields as engineering material. Development status abroad and inland of Mn-Cu based damping alloy was introduced. Damping mechanism of Mn-Cu based damping alloy was explained. Damping properties, mechanical property and thermal treatment were described. On the base of analysis of material requirement in mechanical design of remote sensor, the feasibility of application of Mn-Cu based damping alloy was analyzed and discussed. The results showed that Mn-Cu based damping alloy could be applied in mechanical design of remote sensor.

Keywords: damping alloy; remote sensors; mechanical design

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No.60538020)

1 引言

阻尼合金的合理应用已经成为解决航海、航空、汽车、机械、军事等领域振动、冲击和噪声问题的主要技术手段之一。

早在1948年, Zener^[1]就对Mn-Cu合金进行了研究, 并发现合金在室温附近具有高阻尼性能。由美国国际铜研究联合公司开发的Incrumute (45Mn-53Cu-2Al) 合金, 由英国Stone Manganese Marine公司开发、美国海军和加拿大海军进一步发展的Sonoston (Mn-37Cu-4.25Al-3Fe-1.5Ni) 铸造合金, 均已实现了商业化^[2-3]。苏联于1975年研制的ABPOPA合金 (Mn-Cu-Al-Fe-Ni-Zn), 已实现了标准化^[4]。日本的M2052合金 (Mn-20Cu-5Ni-2Fe)^[5], 在阻尼能力、强度和可加工性之间取得了平衡, 具有很高的强度和阻尼性能。

我国虽然在阻尼合金的研究方面起步较晚, 但也取得了一些成果。在“六五”规划期间, 上海交通大学研制成功Mn-Cu系的高阻尼MC-77合金^[6]。方正春、哈学基^[4]研制了螺旋桨用2310高阻尼合金, 并完成了实艇试验, 试验结果表明, 2310高阻尼合金减振降噪效果明显。王碧文、刘丽娟^[7]研制了实用型50Mn40Cu3.5Al3Fe1.5Ni合金, 并确定了其最佳热处理制度和时效制度, 该合金具有良好的机械性能、工艺性能和阻尼性能。高阻尼GZ50合金 (Mn-Cu-Al-Fe-Ni)^[3,8]具有较高的阻尼特性, 同时还具有较好的力学性能、耐蚀性和焊接性。

王墨斋^[9]介绍了粘弹橡胶阻尼材料在航天设备中的应用设计和应用实例。王曼霞^[10]介绍了北京材料工艺研究所以丁基橡胶为基体的系列阻尼材料的特性和在航天工业上的应用情况。丁爱康^[11]认为, 在设计航天器中的各种构件时, 应选用合理的减振结构; 并对减振合金在航天器中的应用提出了参考。

本文在对传感器结构设计中材料要求分析的基础上, 对Mn-Cu系阻尼合金在传感器结构设计中的应用进行了可行性研究。

2 Mn-Cu系阻尼合金的阻尼机制

Mn-Cu系阻尼合金是孪晶型阻尼合金的典型代表之一。

Mn-Cu合金具有调幅分解, 可以在适当的热处理后, 形成贫Mn相和富Mn相^[7]。

由于富Mn区的形成, 产生了显微不均匀性, 富Mn区在室温下发生反铁磁转变和马氏体相变。

由反铁磁转变和马氏体相变造成的晶格畸变度达到5%以上时, 将促使合金形成大量孪晶结构。孪晶的形成使得反铁磁转变和马氏体相变产生的内应力得到释放。

在周期应力作用下, 大量孪晶界面将发生重新排列, 并产生非弹性应变, 从而耗散外界振动能^[12]。

因此, Mn-Cu合金的高阻尼来源于反铁磁马氏体显微孪晶在外力作用下的弛豫运动及再取向^[13]。

3 Mn-Cu系阻尼合金的性能

Mn-Cu系阻尼合金阻尼能力较大, 强度较高, 受应变振幅的影响小, 耐磨损性和耐腐蚀性都较好^[14]。另外, 其韧性、可切削性及延展性能都很好, 可用铸造、粉末冶金法制造, 容易生产^[15]。

Mn-Cu系阻尼合金通常温度特性差, 衰减特性只能维持到100℃左右, 其使用温度低于80℃^[16]。此外, 其抗海水腐蚀性差, 选择性脱溶及应力腐蚀开裂, 作为潜艇螺旋桨使用时需加阳极保护^[13]。

Mn-Cu系阻尼合金在室温存放或时效时, 其阻尼性能随时效时间的增加而降低, 这是由孪晶马氏体晶界被间隙固溶原子钉扎所致^[17]。在合金中添加微量的Er^[18], 可避免钉扎的形成, 减小阻尼性能, 降低这一缺陷。

Mn-Cu系阻尼合金的典型热处理制度为: 首先, 在g相区 (700~800℃) 进行固溶处理; 其次, 水淬; 然后, 在400℃进行时效, 时效时间控制在8~16h; 最后, 冷却至室温。例如, 对50Mn40Cu3.5Al3Fe1.5Ni合金的时效制度研究表明, 通过850℃、1.5h淬火,

400 ℃、12 h 时效后, 在 80 ℃以下使用, 合金能获得最佳的机械性能和阻尼性能^[7]。表 1^[2,4,19]列出了几种典型 Mn-Cu 系阻尼合金的机械性能。其中: σ_s 表示屈服强度; σ_b 为抗拉强度; E 是弹性模量; μ 表示泊

松比; ρ 为密度; $S.D.C.$ 表示固有阻尼能力; a 为线胀系数, 适用温度范围 20~100 ℃。 $S.D.C.$ 与内耗因子 Q^{-1} 按式 (1) 进行转换^[14]:

$$S.D.C. = 2\pi Q^{-1} \quad (1)$$

表1 典型Mn-Cu系阻尼合金的力、热性能

名称	σ_s (MPa)	σ_b (MPa)	E (GPa)	μ	ρ (g/cm ³)	$S.D.C.$ (%)	a ($\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)
2310	235~304	539~608	84.634	0.42	7.2	20~37	19.24
M2052	300	540	66.97	0.301	—	39.6	—
Incramate	294	568.4	—	—	7.5	40.2	—
Sonoston	250~279	539~588	75.53~83.36	—	7.1	39.6	16.7
ABPOPA	245	490	78.46	—	7.4	—	20.9

4 遥感器结构设计的要求

在遥感器的结构设计中, 对于结构材料的选择, 应从以下几个方面进行考虑:

1. 材料强度要满足设计需要, 使遥感器在装配、起吊、运输、试验等环境下不会被破坏, 并保证遥感器结构具有较高的安全系数;

2. 材料刚度要满足设计需要, 使遥感器在试验、发射等环境下不发生变形或变形尽量小;

3. 尽量选择密度小^[20]的材料, 因为质量是遥感器的重要设计指标之一。而且在质量一定的情况下, 往往可以通过适当增加体积以及合理的设计来提高

结构刚度;

4. 优选线胀系数小的材料, 因为在遥感器的设计中要保证光学镜头的相对位置。在结构设计参数相同的情况下, 线胀系数小的材料制成的结构件, 在一定的温度变化区间可使光学镜头的相对位置的相对变化较小;

5. 需要指出的是, 在遥感器的结构设计中, 通常所用的结构材料, 其阻尼能力都很低。通过选用高阻尼性能的结构材料, 可以减小结构动态响应, 从而提高遥感器的结构动态可靠性。

表 2^[17,21-22]中列出了在遥感器结构设计中常用结构材料的力、热性能。

表2 遥感器结构材料的力、热性能

名称	σ_b (MPa)	E (GPa)	μ	ρ (g/cm ³)	$S.D.C.$ (%)	a ($\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)
TC4	890	109	0.34	4.44	<0.2	9.1
MB15	335	43	0.34	1.80	0.2	20.9
2A12	460	71	0.31	2.8	0.3	22.7
碳纤维	—	140	0.3	1.56	—	0.1
4J32	510	141	0.25	8.1	—	1.0

5 可行性讨论

Mn-Cu 系阻尼合金的屈服强度优于 Q235, 抗拉强度超过 2A12, 可以作为工程材料使用。

Mn-Cu 系阻尼合金的密度虽然较高, 但可以作为小型结构件材料广泛使用, 通过适当的设计及轻量化处理, 不排除作为大型结构件材料的可能。

Mn-Cu 系阻尼合金的线胀系数普遍较高, 不适合与低膨胀光学材料直接配合使用。

Mn-Cu 系阻尼合金的优越性在于其既具有优良的综合机械性能, 又具有较高的比阻尼能力, 能够直接作为结构件使用, 尤其是振源中的结构件; 也可以作为振动传递中的减振环节, 比如调整垫片、螺钉等。

虽然 Mn-Cu 系阻尼合金的一些热特性还需要研究,有些力学性能数据还需要进一步完善,但 Mn-Cu 系阻尼合金作为结构阻尼材料可以在传感器结构设计中获得应用。

6 结 论

通过对 Mn-Cu 系阻尼合金的阻尼机制的研究、

及对传感器结构设计中材料特性需求的分析,在比较国内外 Mn-Cu 系阻尼合金与常用传感器结构材料的力学和阻尼性能的基础上,对 Mn-Cu 系阻尼合金在传感器结构设计中应用的可行性进行了分析。结果表明,在传感器结构设计中应用 Mn-Cu 系阻尼合金设计部分结构,将有益于传感器的减振降噪。

参考文献

- [1] Zener C. *Elasticity and Anelasticity in Metals*[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1948: 61-154.
- [2] 高光慧, 顾敏, 贾禄坤. 减振合金种类, 特性及其应用[J]. 国外金属材料, 1989(1): 12-18.
- [3] 王政红. 高阻尼合金在工程上的应用[J]. 材料开发与应用, 1996(6): 43-46.
- [4] 方正春, 哈学基. 舰船螺旋桨用 2301 高阻尼合金的研究[J]. 材料开发与应用, 1989(1): 14-25.
- [5] Yin Y X. Damping behavior characterization of the M2052 alloy aimed for practical application [J]. *Acta Metallurgica Sinica*, 2003, 39(11): 1139-1144.
- [6] 王海龙, 吕秀芬, 刘和法, 等. 螺旋桨用高阻尼合金降噪效果试验研究[J]. 华东船舶工业学院学报, 1997, 11(2): 15-19.
- [7] 王碧文, 刘丽娟. 锰铜阻尼合金的研究[J]. 有色金属(冶炼部分), 1995 (6): 46-49.
- [8] 张亚军, 雷竹芳, 梁健, 等. 高阻尼 GZ50 铜合金盐雾腐蚀旋转弯曲疲劳试验研究[J]. 理化检验 (物理分册), 2006, 42(1): 5-7.
- [9] 王墨斋. 粘弹橡胶阻尼材料在航天设备中的应用[J]. 宇航材料工艺, 1990(4): 69-71.
- [10] 王曼霞. 阻尼材料和技术及其在航天工业上的应用[J]. 中国航天, 1992(7): 37-40.
- [11] 丁爱康. 减振合金在航天器上的应用[J]. 宇航材料工艺, 1993(4): 89-90.
- [12] 王敬丰, 魏文文, 潘复生, 等. 金属阻尼材料研究的新进展及发展方向[J]. 材料导报, 2009, 23(7): 15-19.
- [13] 邓华铭, 陈树川. 锰基高阻尼合金的研究进展[J]. 金属功能材料, 2000, 7(2): 1-6.
- [14] 方前锋, 朱震刚, 葛庭燧. 高阻尼材料的阻尼机理及性能评估[J]. 物理, 2000, 29(9): 541-545.
- [15] 李和文, 李宁, 文玉华, 等. 阻尼合金及应用[J]. 机械, 2002, 29(4): 66-68.
- [16] 李长龙, 李国彬, 吴玉会. 阻尼减振合金的研究现状[J]. 金属功能材料, 2003, 10(4): 32-34.
- [17] 刘定胜. 高阻尼合金在兵器上的潜在应用[J]. 兵器材料科学与工程, 1994, 17(3): 63-70.
- [18] Ross B A, Van Aken D C. Damping behavior of incramute modified by the addition of erbium to eliminate room temperature aging[J]. *Scripta Metallurgica*, 1989, 23(12): 2085-2090.
- [19] 杨桂荣. 减振合金的研究近况[J]. 机械工程材料, 1989(6): 1-5.
- [20] 任建岳, 陈长征, 何斌, 等. SiC 和 SiC/Al 在 TMA 空间传感器中的应用[J]. 光学 精密工程, 2008, 16(12): 2537-2543.
- [21] 方昆凡. 工程材料手册: 有色金属材料卷[M]. 北京: 北京出版社, 2002: 472-487.
- [22] 《中国航空材料手册》编辑委员会编. 中国航空材料手册: 第 3 册[M]. 2 版. 北京: 中国标准出版社, 2001: 483-492.

作者简介: 袁涛 (1980-), 男, 汉族, 安徽阜阳人, 博士, 助理研究员, 2007年于吉林大学获得博士学位, 主要从事航天传感器结构设计和动力学减振研究。E-mail: yt.icepoint@yahoo.com.cn