

Zn、Al对Mn-Cu减振合金减振性能的影响^①

王丽萍 郭二军

(哈尔滨理工大学材料科学与工程系, 哈尔滨 150080)

葛青文

(哈尔滨市包装总公司, 哈尔滨 150010)

摘 要 研究了合金元素 Zn、Al 对新型减振降噪(高阻尼)铸造 Mn-Cu 合金 M_s 点、减振性能及力学性能的影响, 重点讨论了合金成分与减振性能 SDC 及力学性能的关系。开发了高阻尼、高强度锰铜基阻尼合金 ZMnD-1J, 最优成分为 Mn 50%、Zn 5%、Al 2%、余量 Cu。典型性能: $SDC = 44.5\%$, $\sigma_b = 678 \text{ MPa}$, $\delta = 24.1\%$ 。Mn-Cu 系新型高阻尼功能材料的减振能力很高, 同时力学性能可达 ZGD345-570 的水平, 可做结构材料使用。

关键词 减振合金 Mn-Cu 合金 合金元素 M_s 点 减振性能 SDC 力学性能

中图法分类号 TG146

具有减振降噪特性的减振合金(也称高阻尼合金), 是一类新颖的功能性工程结构材料。该类合金所具备的基本特征是能够通过合金内部的各种阻尼机制吸收振动能, 并将振动能转化成热能而耗散, 从而达到对有关机电产品的减振和降噪功效^[1, 2]; 同时应具有较高的力学性能, 可做结构材料。由于减振合金能直接从振动源或噪声源的构体制造材料本身解决减振或降噪问题的功能, 相比传统的从结构设计、提高精度、附加减振器和消声器等方法措施, 具有成本低、工艺简便、适用范围广、技术先进和减振降噪效果事半功倍等优点, 近年来受到国内外的高度重视。迄今为止, 国内外已针对军用或民用研制出多种减振合金^[3-5], 按阻尼机制, 这些高阻尼合金一般分为: 强铁磁性型(Fe-Cr-Al 等)、孪晶型(Mn-Cu 等)、位错型(Mg-Zr 等)和复相型四大类^[5]。

Mn-Cu 系减振合金属孪晶型。其阻尼机制是由于热弹性马氏体相变孪晶或母相与马氏体相界的移动吸收振动能而产生高内耗^[6]。Mn-Cu 基减振合金由于减振能力高, 综合性能良

好, 工艺简便, 具有较好的热加工、冷加工和缺口焊接性能等优点, 工业应用前景广阔。

Mn-Cu 二元合金存在一对矛盾: 含锰量高与 M_s 点低。若使合金在工作温度下具有减衰性, 必须使其能在应力作用下诱发出马氏体。应力诱发马氏体在 M_s 点以上、 M_d 点以下某一温度才可形成, 一般机器都在室温下工作, 因此一般希望 M_s 点在 20℃左右为佳。对 Mn-Cu 二元合金, 含 Mn 量在 70% 时 M_s 点才近于 0℃, 且随含 Mn 量的增加呈线性增高^[7], 含 Mn 高的合金难于加工而且成本高。为了解决这一矛盾, 应设法在降低含锰量的同时, 将 M_s 点提高到 0℃以上。合金化可以解决这一矛盾。

目前, 国际上仅限于对 Mn-Cu 系三元合金的研究^[8, 9], 发现加入 Zn 或 Al 可降低含锰量, 同时提高 M_s 点。本文设计了 L16(4^5) 正交试验, 考察了 Zn、Al 同时加入时, Mn-Cu-Zr-Al 四元合金的力学性能和减振性能, 以便更好地满足机电工业产品应用中对材料强韧性、阻尼特性等方面的要求。

① 收稿日期: 1997-06-09; 修回日期: 1997-09-25 王丽萍, 女, 35 岁, 讲师, 硕士

1 试验方法

试验采用纯度为 99.95% 的 Cu、96% 的 Mn、99.97% 的 Al 和 99.99% 的 Zn 为原材料。在电阻炉石墨坩埚中熔炼,表面加特殊保护剂防止氧化烧损。铸锭经 800℃、6h 退火后,轧制成 5mm 及 1mm 的板材。

力学性能采用 1mm 厚的板状拉伸试样进行测试。

合金的减振性能可用比阻尼 SDC (即振动一周的能量损失率) 来衡量。测试方法采用单

悬臂弯曲自由振动法——一端固定,在自由端通过加砝码起振,自由衰减信号采用加速度传感器拾取,具体的测试系统见图 1。试样尺寸为 200mm×10mm×5mm。测出自由衰减曲线(图 2)后,便可算出 SDC:

$$SDC = \frac{\Delta w}{w} = \frac{A_n^2 - A_{n+1}^2}{A_n^2} 100\%$$

其中 Δw 为每周的振动能量损失, W 为振动一周的总能量, A_n、A_{n+1} 分别表示第几次、第 n+1 次振动的振幅。

利用电阻法测定热弹性马氏体相变开始温度 M_s 点。本文采用 1mm×1mm×200mm 细

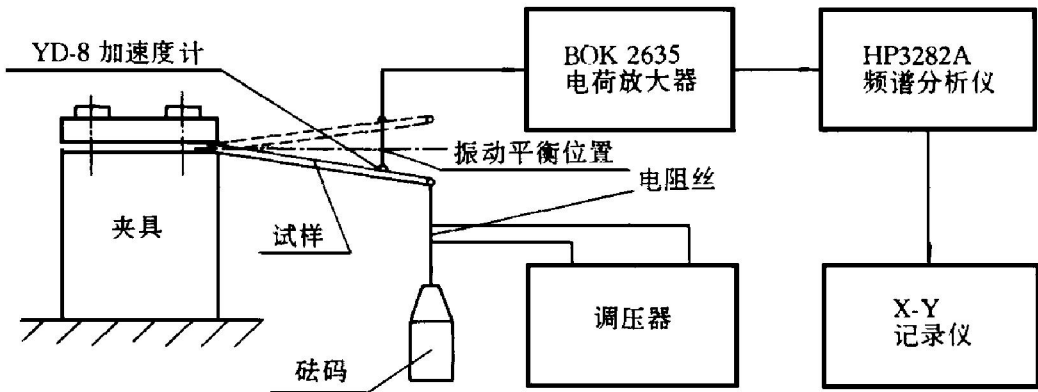


图 1 减振性能测试系统
Fig. 1 Test system of damping property

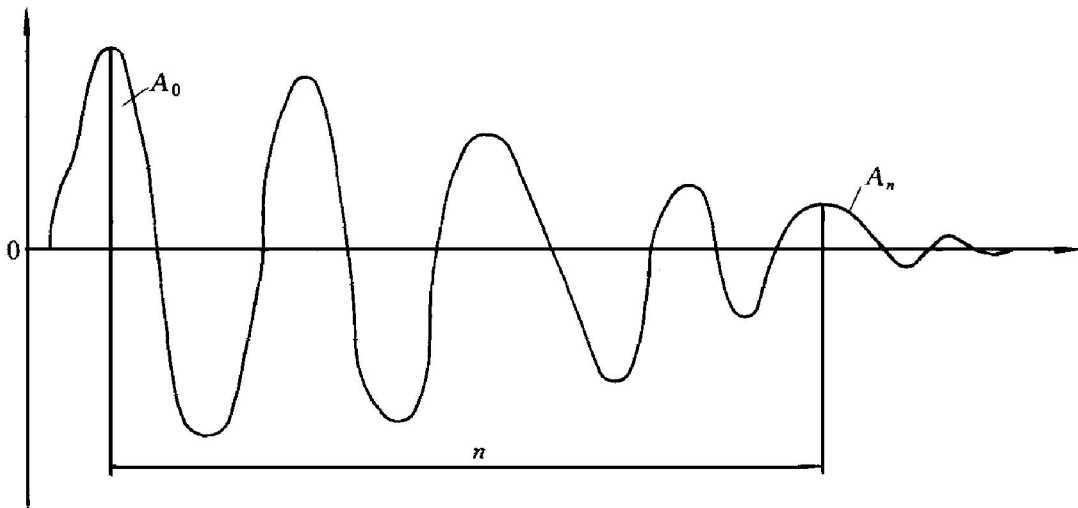


图 2 自由衰减曲线示意图
Fig. 2 Diagrammatical curve of free damping

丝,通过粗短导线与双臂电桥 X_1 、 X_2 端相联,测定连续升温及降温过程的电阻变化,以确定 M_s 点。

2 试验结果

2.1 正交设计确定合金成分

为考察 Zn、Al 同时加入对合金减振性能、力学性能的影响,设计了 L16(4^5) 试验,优选 Mn、Zn、Al 最佳配比,以比阻尼 SDC 、抗拉强度 σ_b 、延伸率 δ 作为考核指标,进行系列试验,结果见表 1 所示。从表 1 可见, I 3、II 2、II 2 组合的 15 号样本具有最佳的综合性能。选取最优成分为 Mn 50%、Zn 5%、Al 2%、余为 Cu,其性能为 $SDC = 44.5\%$, $\sigma_b = 678 \text{ MPa}$, $\delta = 24.1\%$,定名为 ZMnD-1J 合金。I 4、II 1、II 2 组合的 12 号样本的综合性能也较好, $SDC = 38.3\%$, $\sigma_b = 726 \text{ MPa}$, $\delta = 20.1\%$,定名为 ZMnD-2J 合金。两种合金的力学性能都超过了 ZGD345-570 的水平,可做结构材料使用,同时具有高阻尼性,可满足机电工业产品应用中对材料强韧性、阻尼特性的要求,是理想的减振合金。

2.2 合金元素对 M_s 点的影响

对综合性能好的 ZMnD-1J、ZMnD-2J 及含锰量最低的 13 号样本测试了 M_s 点,结果见表 2。

从表 2 可见,三种合金的 M_s 点均在 0°C 以上,说明加入 Zn、Al 后,虽然 Mn 的含量仅有 40% (13 号样本),但 M_s 点已升高到 0°C 以上,解决了 Mn 含量高与 M_s 点低的矛盾,降低了合金的含 Mn,改善了加工性能,降低了成本。

2.3 合金元素对性能的影响规律

为了找出各元素对性能指标的影响规律,采用直观分析法对正交试验结果进行数据处理,对 SDC 、 σ_b 、 δ 进行了极差分析,据极差分析数据作出直观图(见图 3),由图 3 可见:

(1) Al 量变化对各项指标的影响比 Zn 大,是主要合金元素。

(2) SDC 随 Mn 量增加而增高,这点恰说明了低 Mn 合金获得高 SDC 的困难性。 σ_b 也随 Mn 量增加而增大,只是不如 SDC 明显。随 Mn 量增加 δ 反而下降。

(3) 当 Zn 量小于 7% 时, Zn 量的变化对 SDC 影响不大,但当 Zn 量大于 7% 时, SDC 急剧下降。Zn 量的变化对 σ_b 的影响不大。

(4) SDC 及 σ_b 对 Al 量的变化比较敏感,在 Al 量为 2% 时, SDC 取得最大值, σ_b 也接近于最大值。

(5) 随着 Zn、Al 含量的增加,特别是 Al 的增加, δ 急剧下降。

3 分析与讨论

从试验结果看,合金性能的改善,主要取决于合金元素 Al 及 Zn 的作用,其中 Al 是主要合

表 1 正交试验结果

Table 1 Orthogonal test result						
Sample No.	Factors			Property target		
	Manganese content	Zinc content	Aluminium content	$SDC / \%$	σ_b / MPa	$\delta / \%$
1	1	2	3	4.8	451	1.7
2	2	4	1	7.8	692	24
3	3	4	3	5.7	442	2.1
4	4	2	1	20	496	23.3
5	1	3	1	8.9	542	13.1
6	2	1	3	6.1	542	22.6
7	3	1	1	15.4	645	27.0
8	4	3	3	36.5	595	5.3
9	1	1	4	5.9	435	1.4
10	2	3	2	32.2	630	12.6
11	3	3	4	4.0	423	1.8
12	4	1	2	38.3	726	20.1
13	1	4	2	12.4	545	3.1
14	2	2	4	6.0	418	1.4
15	3	2	2	44.5	678	24.1
16	4	4	4	6.0	432	1.1

表 2 典型合金的 M_s 点

Table 2 M_s point of typic alloy	
Sample No.	M_s point/ $^\circ\text{C}$
21	12
12	13
16	15

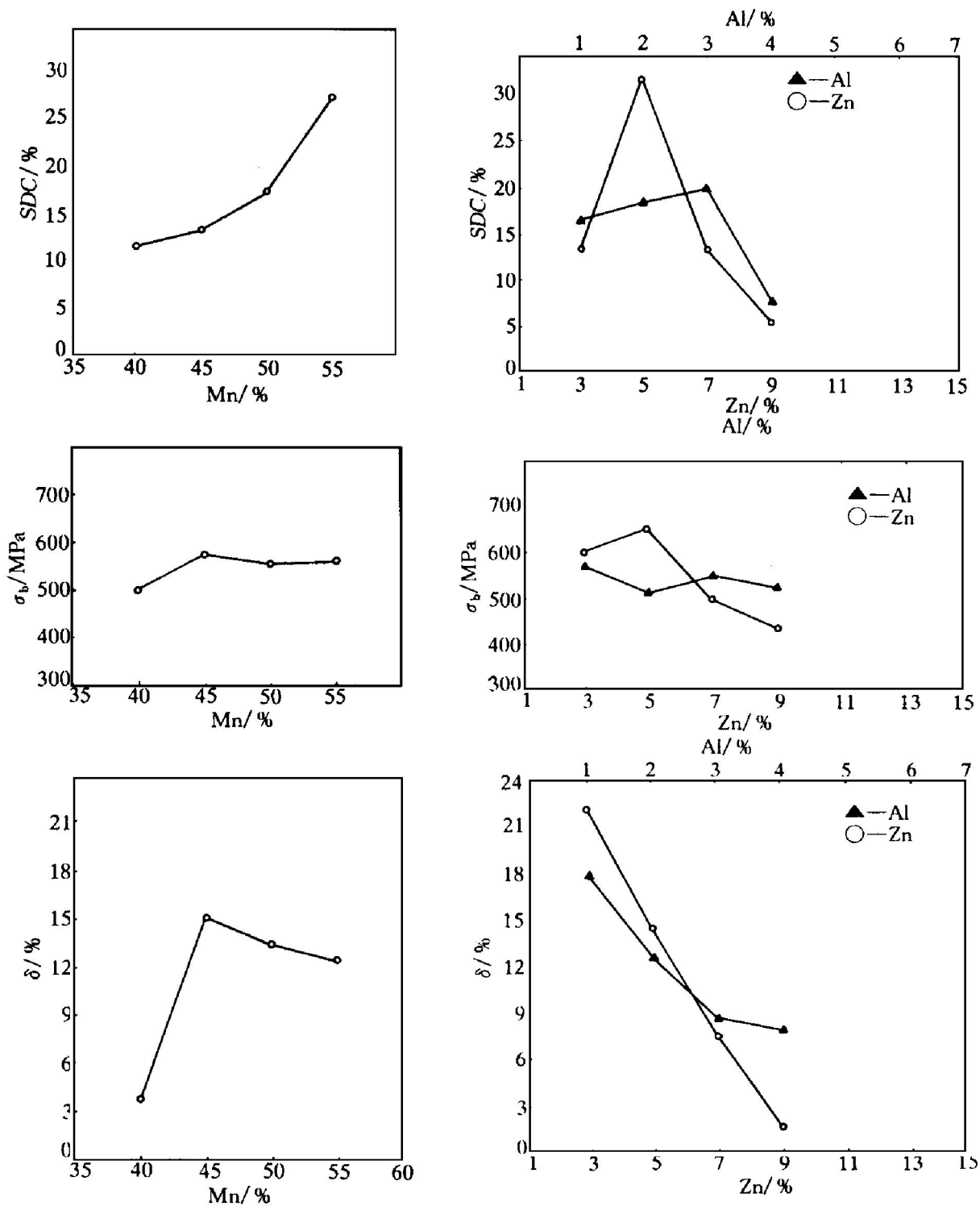


图 3 Mn-Cu 减振合金中 Mn、Zn、Al 含量对各项指标的影响

Fig. 3 Effect of Mn, Zn, Al contents on several indexes in Mn-Cu damping alloy

金元素。

性能是由组织决定的，Mn-Cu 系合金的组织则是固溶淬火和随后时效的综合结果。现以 ZMnD-1J 合金为例，从 Al、Zn 对微观组织的影响加以讨论。

图 4 为 ZMnD-1J 合金在 850 ℃固溶淬火后的透射显微组织。经 X 射线分析，组织为单一固溶体，具有面心立方晶格。可以认为：淬火所形成的面心立方固溶体，是由 Mn、Zn 及适量 Al 固溶到 Cu 的面心立方晶格中，再经过

冷所致。由于 Cu 的晶格常数为 $3.706 \text{ \AA}$ 而 ZMnD-1J 合金经淬火后晶格常数增大到 $3.76 \text{ \AA}$ 。可见, 合金元素的固溶使晶格膨胀, 产生晶格畸变, 造成高密度位错, 使合金强度增高。

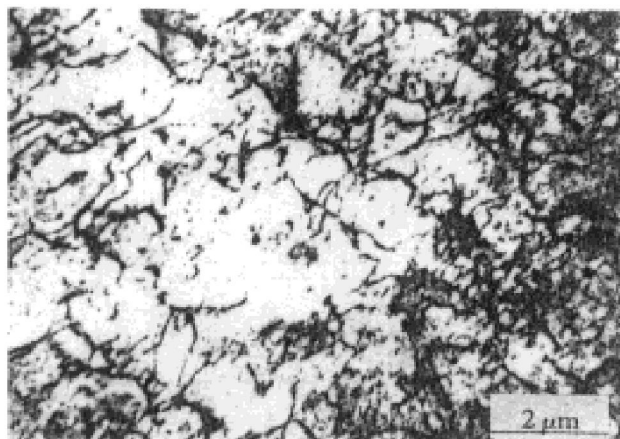


图 4 固溶态透射组织

Fig. 4 Solid Solution transmission structure

一般说来, 在同一金属中加入不同类型的溶质原子, 则溶质与基体金属的原子尺寸相差越大, 强化作用效果也越大^[10]。Cu 原子半径小于 Al 原子半径, 大约是 Al 原子半径的 87%, 两者原子半径差较大, 因而合金元素 Al 的固溶强化作用较突出; Zn 与 Cu 的原子半径差较小, 但固溶量大, Zn 也有一定的强化作用, 二者作用之和使 ZMnD-1J 合金的强度较 Mr-Cu 二元合金有较大幅度的提高。

强度提高的另一因素是时效强化。由于在时效初期, 发生了调幅分解, 形成了如图 5 的相当弥散的、细小且没有明显界面的调幅组织, 使得材料具有高强度和高延伸率的结合。

作为强化材料的合金元素, 尤其是 Al, 其加入量要合适, 否则不但不能起到强化作用, 反而使材料的脆性增大。从图 3 可见, 随着 Al 量的增加 δ 急剧下降, σ_b 在 Al 量超过 2% 时也骤然降低。图 6 是含 Al 3%、脆性较大的材料的金相组织, 可见组织中有密集的点状物呈带状分布。由电子探针的结果可知, 它们是 Al 的质点。由于这些 Al 质点的强度很低, 它们的形状多是长方多角状(图 7 示), 这种形状与基体的结合不牢固, 它们在轧制时易呈带状分

布。Al 质点的存在影响基体的连续性, 结果必然导致 σ_b 减小, δ 急剧下降。

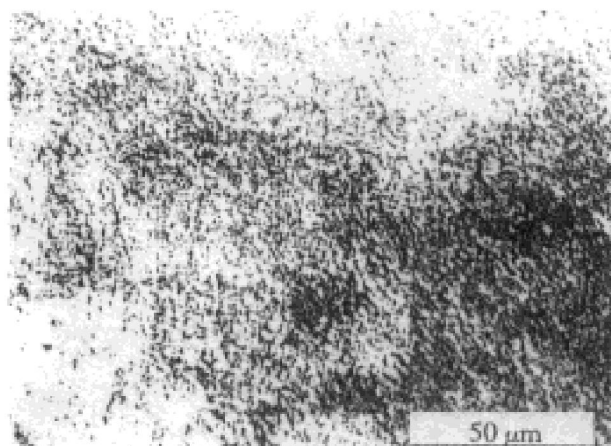


图 5 时效初期的调幅组织

Fig. 5 Amplitude modulation Structure at preliminary aging stage

由以上分析可见, Al 对 Mr-Cu 合金的强化作用很大, 但对 Al 量的控制要严格, 太少起不到固溶强化作用, 太多又固溶不了, 恶化性能。

Mr-Cu 合金的减振性主要取决于组织中马氏体的转变量及孪晶的移动。合金元素 Al、Zn 以固溶态存在的结果改变了新旧两相的自由能差, 而使相变热力学条件发生变化, 从而

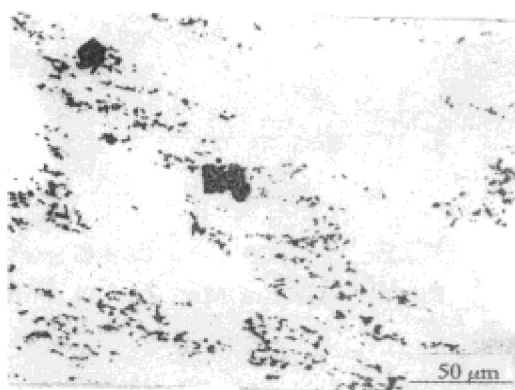


图 6 含 3% Al 试样中呈带状分布的 Al 质点

Fig. 6 Band distributing Al points in 3% Al sample

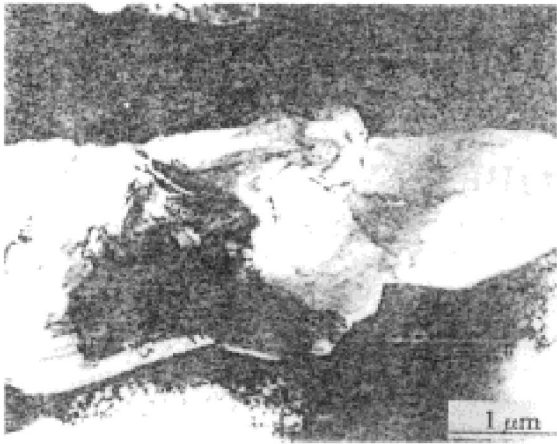


图7 高倍 Al 质点的形貌

Fig. 7 Morphology of high power Al point

影响着 M_s 点。从表 2 可见, Al、Zn 的加入使合金的 M_s 点提高到 20 °C 左右, 导致应力诱发马氏体在 M_s 点左右大量出现, 合金的 SDC 增大。合金元素 Al、Zn 对相变过程的另一影响是加速了时效过程。Mn-Cu 合金时效初期, 首先产生 γ 相的分解, 合金元素特别是 Al 能够降低 γ 相的稳定性, 使它易转变成赋予此材料以减振性能的组织——微孪晶; 同时, 合金元素又使得 γ 相在微观上易不均匀, 也可加速时效过程。Hedley 的研究表明^[11]: 对 57% Mn-Cu 合金来说, 在时效 9 h 时, 微孪晶密度才达最大值; 而对 ZMnD-1J 合金的实验证明, 在时效 2h 时, 微孪晶的密度已近最大值, 此时减振性能也最大。但加入过多的合金元素, 在组织中出现未溶的 Al 质点, 阻碍孪晶的移动, SDC 值反而降低。时效是低锰合金获得高减振性能的必要途径, 有关 ZMnD-1J 合金时效时的相变与组织变化及减振机理将另文介绍。

4 结论

(1) ZMnD-1J 新型 Mn-Cu 铸造减振合金

的力学性能优良、阻尼能力高, 是一种新颖的功能性工程结构材料, 适用于机电产品的某些结构部件, 具有减振或降噪的功用。

(2) 适量的合金元素对 Mn-Cu 高阻尼合金的力学性能和减振性能均有改善。Al 是 Mn-Cu 合金的主要合金元素, 为了获得良好的综合性能, 必须严格控制 Al 的含量。

(3) 合金元素 Zn、Al 的加入, 使 Mn-Cu 合金的含 Mn 量降低到 50%, 改善了合金的加工性能, 降低了合金成本。

REFERENCES

- 1 Sato Yukio(佐藤行夫). Industrial Materials(工业材料), 1987, 35(2): 56- 61.
- 2 Gu Min(顾敏) and Gao Guanghui(高光慧). Special Casting & Nonferrous Alloys(特种铸造及有色合金), 1992, 3: 1- 3.
- 3 Huang Liangyu(黄良余), Ye Qin(叶青) *et al.* Special Casting & Nonferrous Alloys(特种铸造及有色合金), 1992, 5: 15- 17.
- 4 Masumoto Hakari(增本量). Japan Patent Gazette(日本特许公报), 1981, 7(21): №31348.
- 5 Gao Guanghui(高光慧) and Gu Min(顾敏). Foreign Metallic Materials(国外金属材料), 1989, 1: 12- 18.
- 6 Shimizu K, Okamura Y and Kubo H. Trans Jap Inst Metals, 1982, 23 (2): 53- 59.
- 7 Sugimoto K and Mizutani K. J Jap Inst Metal, 1975, 39(5): 505- 511.
- 8 Hedley J A. Met and Mater Technol, 1980, 12(9): 497- 500.
- 9 Holman J L and Neumeier L A. Modern Development in Powder Metallurgy, 1976, 10: 259- 283.
- 10 Liu Guoxun(刘国勋). Metallography Principle(金属学原理). Beijing: Metallurgical Industry Press, 1980: 88- 90.
- 11 Hedley J A. J Met Sci, 1968, 2: 129- 137.

INFLUENCES OF Zn AND Al CONTENT OF Mn-Cu DAMPING CASTING ALLOY ON DAMPING PROPERTY

Wang Liping and Guo Erjun

Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, P. R. China

Ge Qingwen

Harbin Packing General Company, Harbin 150010, P. R. China

ABSTRACT The effects of the elements of zinc and aluminium on M_s point damping and mechanical property of Mn-Cu alloy were studied. The relations between the alloy components with damping property and mechanical property were also discussed. So a kind of high damping, high strength Mn-Cu matrix alloy (ZMnD-1J) was exploited, whose best constituent is Mn 50%, Zn 5%, Al 2%, and Cu the balance. The typical properties $SDC = 44.5\%$, $\sigma_b = 678 \text{ MPa}$, $\delta = 24.1\%$. The damping capacity of Mn-Cu high damping material is high, meanwhile its mechanical properties are comparable with that of ZGD345-570. It can be used as structural material.

Key words damping alloy Mn-Cu alloy alloy elements M_s point damping property mechanical property

(编辑 朱忠国)