

[文章编号] 1004-0609(2002)02-0353-05

离心铸造过共晶 Al-Si 合金自生梯度复合材料及其阻尼性能^①

谭银元

(武汉船舶职业技术学院 船舶工程系, 武汉 430050)

[摘 要] 通过改变离心铸造的转速, 获得了内层有较多初晶 Si, 其余部分为共晶组织或初晶 Si 由外向内偏析的 Al-16% Si 合金自生梯度复合材料。分析了复合材料的形成过程, 考察了复合材料的组织, 研究了复合材料各层的阻尼性能。结果表明: Al-16% Si 合金自生梯度复合材料内层内耗是中、外层的 1.4 倍, 为充分发挥此材料的阻尼性能, 应在频率高于 160 Hz 使用。

[关键词] 离心铸造; 过共晶 Al-Si 合金; 自生复合材料; 阻尼性能

[中图分类号] TG 146.2, TB 331

[文献标识码] A

过共晶 Al-Si 合金具有线膨胀系数小、密度小、耐磨、耐蚀以及流动性和抗热裂性好等优点, 早已引起人们关注^[1~3]。然而其组织中初晶 Si 呈粗大多角形板、块状存在, 严重降低了力学性能和切削加工性能, 一直未能得到广泛应用。如能改变过共晶 Al-Si 合金中高硬度 Si 相的分布, 使初晶 Si 富集于铸件的内层, 这样这类材料的内层耐磨, 而中、外层具有良好的塑性和韧性, 可望开辟过共晶 Al-Si 合金新的应用领域^[4]。用离心铸造的方法生产梯度功能材料, 具有设备简单、生产效率高、成本低、合成的梯度功能材料稳定以及能够制备满足生产实际需要的高致密度、大尺寸的梯度功能材料等优点, 为过共晶 Al-Si 合金梯度复合材料的制备提供了手段^[5~7]。以前的工作通过改变离心铸造热模的温度, 分别对 Al-20% Si 和 Al-30% Si 合金进行了研究, 可以获得外层和内层富集初晶 Si, 其余部分为共晶组织构成的自生表面复合材料, 并对复合材料的力学性能和耐磨性进行了大量研究^[8, 9]。随着机器的功率和速度不断增加, 不仅要求机件具有高的力学性能和耐磨性, 而且要求机件具有良好的减震降噪功能^[10~12], 因此开展这方面的研究工作具有重要的理论价值和实际意义。本文作者通过改变离心铸造的转速, 研究了 Al-16% Si 合金在不同加速场中初晶 Si 的梯度行为, 获得了内层有较多初晶 Si, 其余部分为共晶组织或初晶 Si 由外向内偏析的自生梯度复合材料。分析了复合材料的形成过程, 考察了复合材料的组织, 并对复合材料各层的固有频率、内耗和强迫响应进行了研究。

1 实验

采用卧式离心铸造机, 转速分别为 600, 1 000, 1 400 r/min, 所得铸件尺寸为外径 140 mm, 内径 70 mm, 长 50 mm。用工业纯铝和工业纯硅配制 Al-16% Si 合金, 在中频感应电炉中熔化, 金属液过热温度为 80~120 ℃, 模温为 280~300 ℃。在铸件内、中、外层用线切割方式截取尺寸为 80 mm × 4 mm × 2 mm 阻尼性能测试试样。

采用 YT2-1 型加速度传感器, BK2626 电荷放大器及 CRAS 数据采集与分析系统测试阻尼性能, 测试方法如下: 采用突然卸载测试固有频率和内耗; 给试件输入一个力信号, 测试试件输出加速度与输入力与频率的关系; 通过改变激振频率, 测试试件在不同频率时的强迫响应情况。在光学显微镜和 S-570 扫描电镜上观察材料的显微组织。

2 结果与讨论

2.1 复合材料的金相组织

图 1 所示是离心铸造 Al-16% Si 合金自生梯度复合材料的金相组织。转速为 600 r/min 时, 内层和中层有较多粗大多角块状初晶 Si, 外层只有少量粒状和杆状初晶 Si, 初晶 Si 偏析的程度小; 转速为 1 000 r/min 时, 内层和中层有较多初晶 Si, 内层初晶 Si 呈絮状, 中层初晶 Si 呈粒状和杆状, 初晶 Si 偏析的程度较大; 转速为 1 400 r/min 时, 初晶 Si 主

① [收稿日期] 2001-07-16; [修订日期] 2001-08-29

[作者简介] 谭银元(1964-), 男, 副教授, 硕士。

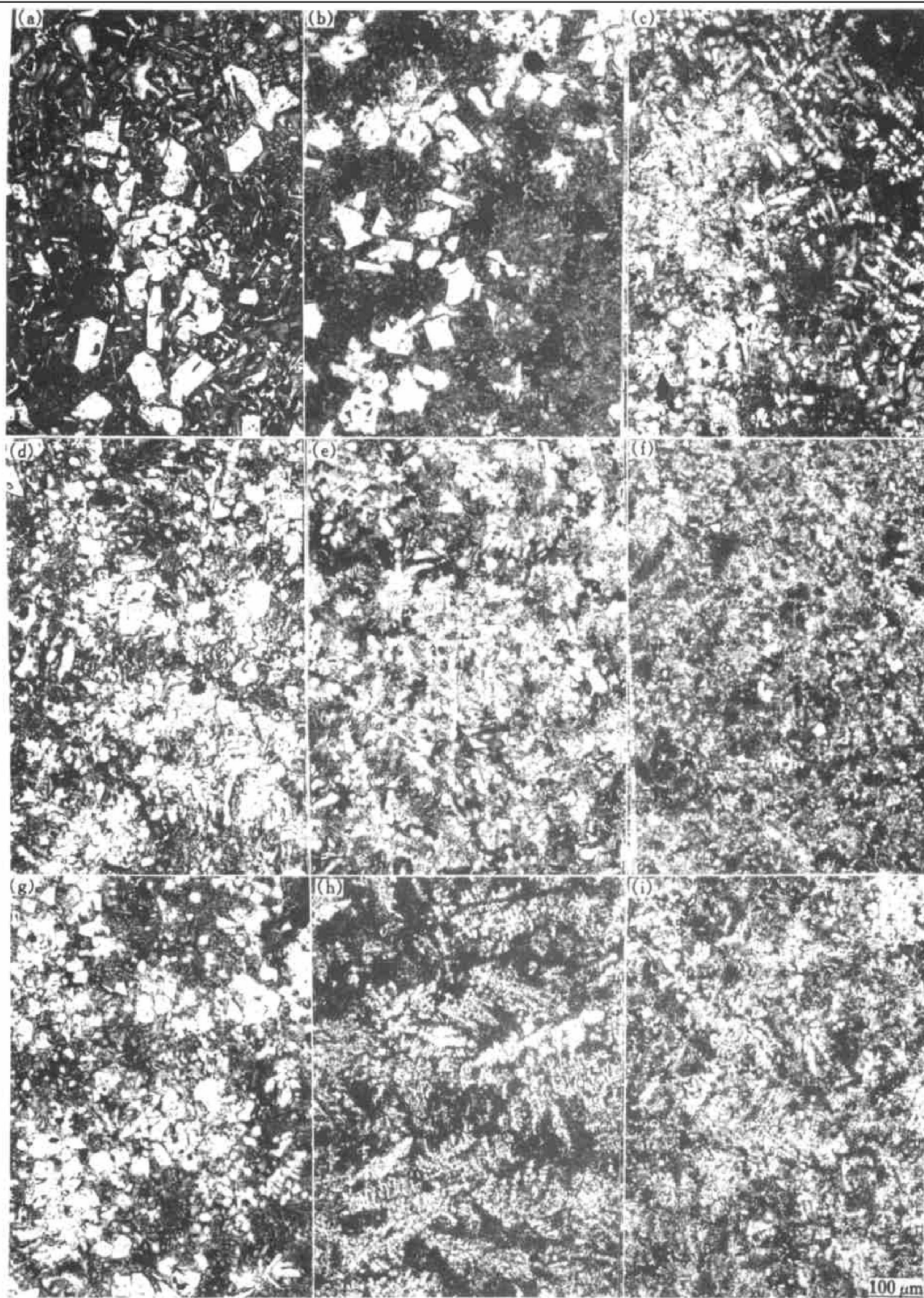


图 1 Al-16% Si 复合材料的金相组织

Fig. 1 Microstructures of Al-16% Si composites

- (a) —Inner layer, 600 r/min; (b) —Middle layer, 600 r/min; (c) —Outer layer, 600 r/min;
(d) —Inner layer, 1 000 r/min; (e) —Middle layer, 1 000 r/min; (f) —Outer layer, 1 000 r/min;
(g) —Inner layer, 1 400 r/min; (h) —Middle layer, 1 400 r/min; (i) —Outer layer, 1 400 r/min

要分布在内层, 呈颗粒状, 中层和外层主要为共晶组织, 初晶 Si 偏析的程度大。图 2 为初晶 Si 扫描电镜图, 随转速的增加, 初晶 Si 由粗大多角块状向碎小的块状转变, 并且初晶 Si 增多。

过共晶 Al-Si 合金离心铸造初晶 Si 的分布与离心力和凝固过程有关。本研究由于模温较低, 其凝固过程主要为从外向内的顺序凝固。在转速较低时, 由于初晶 Si 在固液两相区的密度与金属液的密度相差很小, 按斯托克斯评估的初晶 Si 在金属液中的沉降速度极小, 初晶 Si 的偏析很小。另外, 在转速较低时, 铸型的温度梯度小, 铸件凝固时间较长, 晶粒粗大, 此时初晶 Si 在偏析过程中破碎的程度较低。因此在转速为 600 r/min 时, 先析出的初晶 Si 偏析的程度小, 在内层初晶 Si 呈粗大多角块状。在转速较高时, 初晶 Si 在金属液中的沉降速度极大, 铸型的温度梯度大, 铸件凝固时间较短, 晶粒细小, 另外, 在高转速时, 初晶 Si 极易破碎, 从图 2 观察到的初晶 Si 表面的裂纹, 也说明了这点。因此在转速增加到 1 000 r/min 和 1 400 r/min 时, 初晶 Si 由粗大多角块状向絮状和碎小的粒状转变, 初晶 Si 偏析的程度也逐渐增大。

2.2 固有频率与内耗

图 3 所示为复合材料内、中、外层试样自由衰减曲线。可见, 内层试样振幅最小, 外层最大, 因此内层衰减效果最好。按公式 $Q^{-1} = \Delta W / 2\pi W$ 计算: 内层试样内耗为 $Q^{-1} = 9.175 \times 10^{-4}$, 固有频率 120 Hz; 中层试样内耗为 $Q^{-1} = 6.730 \times 10^{-4}$,

固有频率为 130 Hz; 外层试样内耗为 $Q^{-1} = 6.370 \times 10^{-4}$, 固有频率为 132 Hz。可见, 内层试样内耗高于中层和外层, 是中层和内层的 1.4 倍。

2.3 对强迫响应的影响

图 4 所示为不同频率下复合材料内、中、外层试样振动衰减曲线。可见, 在频率高于 160 Hz 时, 内、中、外层试样对振动均出现衰减现象。在频率低于 160 Hz 时, 中层和内层对振动均出现放大现象。因此, 为发挥 Al-16% Si 合金的阻尼性能, 应在高于 160 Hz 时使用。

过共晶 Al-Si 合金属于复相型阻尼材料, 其阻尼耗能来自于相界面的非弹性流动, 当材料受到外力作用发生振动时, 其微观构造中的相界面将发生粘滞流动或变形, 吸收一部分振动能并将其转化为热能或其它能量而耗散掉。因此, 过共晶 Al-Si 合金中初晶 Si 的数量、大小及形貌是影响其阻尼能力的重要因素。由图 1 和图 2 可见, 复合材料内层初晶 Si 比中、外层多且细小并呈粒状分布, 相界面增多, 其阻碍晶界滑移的作用增加, 使内层与中、外层相比, 内层固有频率低、内耗高、对振动的衰减能力强。

3 结论

1) 改变离心铸造的转速, 获得了内层有较多

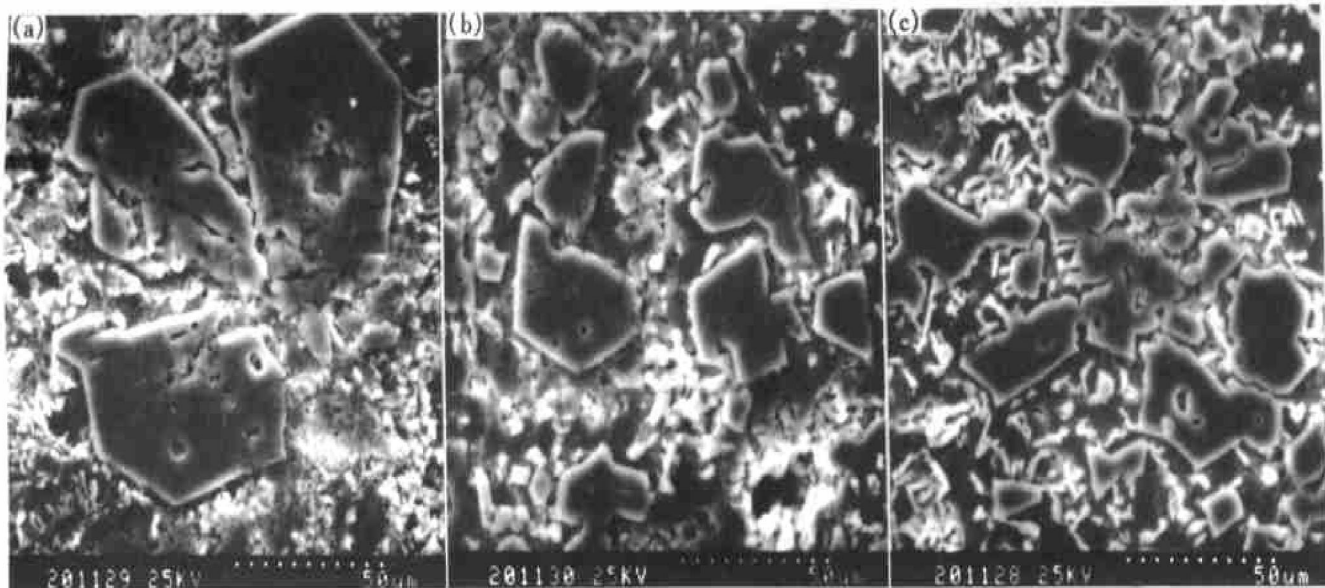


图 2 不同转速时初晶 Si 的扫描电镜图(内层)

Fig. 2 SEM photos of primary silicon in different rotation rates(inner layer)

(a) —600 r/min; (b) —1 000 r/min; (c) —1 400 r/min

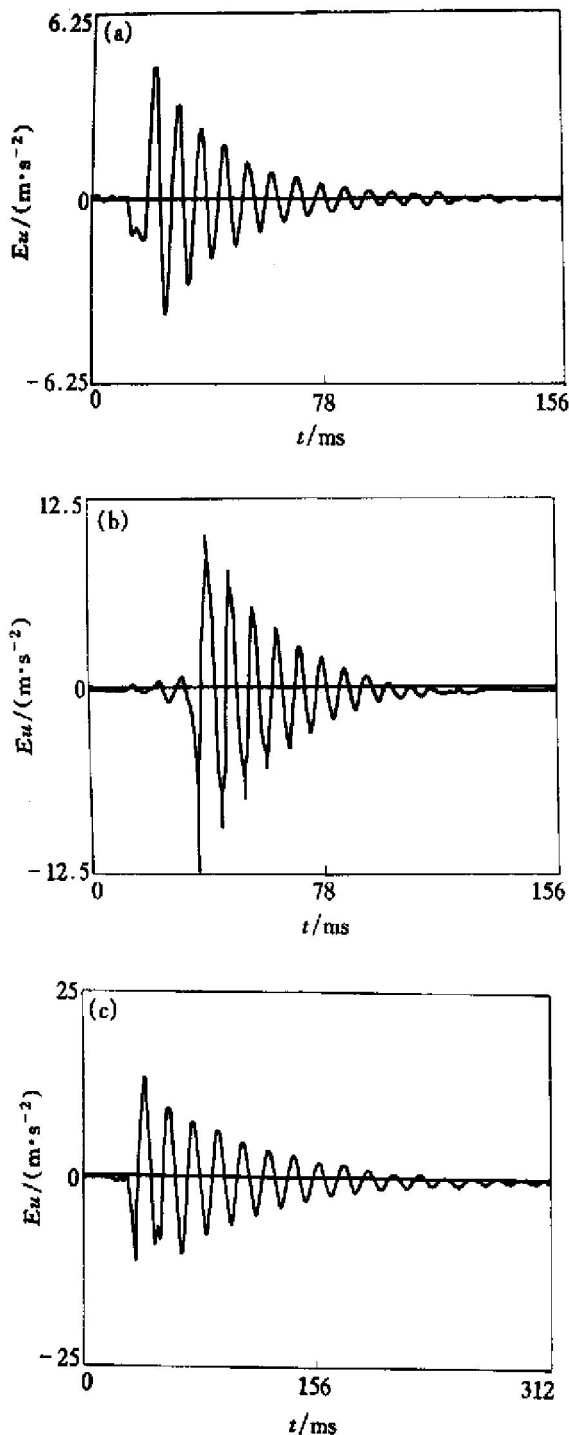


图3 自由衰减曲线(1400 r/min)

Fig. 3 Curves of free attenuation (1400 r/min)

(a) —Inner layer; (b) —Middle layer; (c) —Outer layer

初晶 Si, 其余部分为共晶组织或初晶 Si 由外向内偏析的 Al-16% Si 合金自生梯度复合材料。

2) 随转速增加, 初晶 Si 由粗大多角块状向絮状和碎小的粒状转变, 并且初晶 Si 偏析的程度也逐渐增大。

3) Al-16% Si 合金自生梯度复合材料内层内耗高于中、外层, 是中、外层的 1.4 倍。

4) 为发挥 Al-16% Si 合金阻尼性能, 应在频率

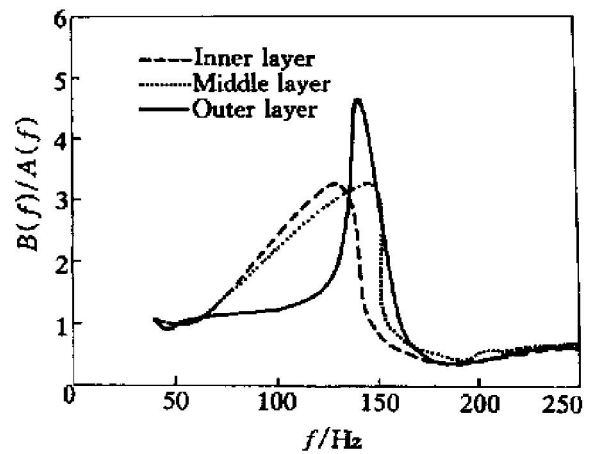


图4 振动衰减曲线(1400 r/min)

Fig. 4 Curves of vibration attenuation (1400 r/min)

高于 160 Hz 时使用。

[REFERENCES]

- [1] WANG Zhifu, GUO Feng, CAO Chong-de, et al. Rapid solidification of Al-18% Si hypereutectic alloy in drop tube [J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2000, 10(6): 769-771.
- [2] LIU Chang-ming, HE Nai-jun, LI Hua-ji. Semi-solid characteristics and thixoforming of hypereutectic Al-Si alloy [J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2000, 10(3): 309-313.
- [3] 王 艳, 边秀房, 徐昌业, 等. 直流磁场作用下 Al-18Si 合金的凝固行为 [J]. 金属学报, 2000, 36(2): 159-161.
WANG Yan, BIAN Xiufang, XU Changye, et al. Solidification behavior of Al-18Si alloy under direct magnetic field [J]. Acta Metallurgica Sinica, 2000, 36(2): 159-161.
- [4] 甄子胜, 赵爱民, 毛卫民, 等. 喷射沉积高硅合金显微组织及形成机理 [J]. 中国有色金属学报, 2000, 10(6): 815-818.
ZHEN Zisheng, ZHAO Aimin, MAO Weimin, et al. Microstructures and formation mechanism of spray deposited hypereutectic Al-Si alloys [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2000, 10(6): 815-818.
- [5] 于思荣, 任露泉, 庞宇平. 离心加速条件下金属液中粒子的相互作用 [J]. 中国有色金属学报, 2001, 11(1): 63-67.
YU Sirong, REN Luquan, PANG Yuping. Interaction of particles in metal melt in centrifugal field [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2001, 11(1): 63-67.

- [6] 于思荣, 张新平, 何镇明. 离心法制备梯度功能材料中内生颗粒的分布 [J]. 中国有色金属学报, 2001, 11(2): 216–220.
- YU Si-rong, ZHANG Xin-ping, HE Zhen-ming. Forecast of endogenetic particle distribution in FGM prepared by centrifugal casting based on ANN [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2001, 11(2): 216–220.
- [7] 李荣德, 徐玉桥, 马冰, 等. 离心铸造 AlFe 合金凝固过程中的固相迁移运动 [J]. 中国有色金属学报, 2000, 10(3): 353–357.
- LI Rong-de, XU Yu-qiao, MA Bing, et al. Migration of solid phase during solidification process of AlFe alloy under centrifugal casting [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2000, 10(3): 353–357.
- [8] 王渠东, 丁文江, 金俊泽. 离心铸造过共晶 AlSi 合金自生表面复合材料 [J]. 复合材料学报, 1998, 15(3): 7–10.
- WANG Qiu-dong, DING Wen-jiang, JIN Jun-ze. In situ surface composites fabricated by centrifugally casting hypereutectic AlSi alloy [J]. Acta Materialiae Compositae Sinica, 1998, 15(3): 7–10.
- [9] 魏朋义, 傅恒志. 熔体搅拌对铝硅共晶合金的变质作用 [J]. 中国有色金属学报, 1996, 6(1): 98–102.
- WEI Peng-yi, FU Heng-zhi. Modifier effect of melt stirring on AlSi eutectic alloy [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 1996, 6(1): 98–102.
- [10] ZHANG Ying-yuan. Internal friction peak and damping mechanism in high damping aluminium alloy laminate [J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2001, 11(1): 123–127.
- [11] 徐东辉, 张忠明, 王锦程, 等. Al/SiC 复合材料室温下阻尼特性的数值模拟 [J]. 中国有色金属学报, 1999, 9(2): 335–338.
- XU Dong-hui, ZHANG Zhong-ming, WANG Jin-cheng, et al. Numerical simulation for damping property of composite Al/SiC at room temperature [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 1999, 9(2): 335–338.
- [12] 罗兵辉, 谢佑卿. 铁含量对 AlSiFe 合金微观组织及内耗性能的影响 [J]. 中国有色金属学报, 2001, 11(1): 51–54.
- LUO Bing-hui, XIE You-qing. Effect of Fe on microstructures and internal friction property of AlSiFe alloy [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2001, 11(1): 51–54.

In situ gradient composite of hypereutectic Al-Si alloy by centrifugal casting and its damping property

TAN Yinyuan

(Wuhan Shipbuilding Polytechnic College, Wuhan 430050, China)

[Abstract] In situ gradient composite of Al-16% Si alloy, which possesses the microstructures of accumulated primary silicon in inner and eutectic in the rest layer or accumulated primary silicon from outer layer to inner layer, was achieved by changing the rotation rate of centrifugal casting. The formation process and the microstructure of the composite were analyzed, and the damping properties of the composite every layer were also investigated. The results show that the internal friction of inner layer of in situ gradient composite of Al-16% Si alloy is 1.4 times that of middle layer and outer layer, in situ gradient composite of Al-16% Si alloy has good damping property, when the frequency is higher than 160 Hz.

[Key words] centrifugal casting; hypereutectic Al-Si alloy; in situ composites; damping property

(编辑 袁赛前)