

[文章编号] 1004- 0609(2000) 03- 0349- 04

Al-Si 合金固液混合铸造^①

陈振华

(中南工业大学 非平衡材料科学与工程研究所, 长沙 410083)

[摘 要] 提出了一种新的材料制备工艺——固液混合铸造工艺, 即在过热合金熔体中加入大量同种合金粉末或润湿性好的异种合金粉末, 强烈均匀搅拌, 然后进行铸造或各种热加工的一种材料制备工艺。通过对三种 Al-Si 合金的固液混合铸造研究, 在所实验的工艺条件下, 当粉末添加质量与合金熔体质量之比为 1 左右时, 过共晶合金析出的初晶硅平均粒径可控制在 5 μm 以下, 亚共晶合金中 α 相的平均粒径可控制在 10 μm 以下。研究表明, 该工艺具有一定的先进性和优越性, 可能存在一定的应用价值。

[关键词] 固液混合铸造; 粉末; 熔体; Al-Si 合金

[中图分类号] TG292

[文献标识码] A

近年来, 半凝固加工和喷射沉积等一系列新技术在合金和复合材料的制备中得到了广泛应用和很大的发展。简言之, 半凝固加工主要是通过对合金熔体进行机械或电磁搅拌, 使熔体产生部分固相粒子, 而后对这种悬浮态熔体进行铸造或各种热加工的一种材料制备新工艺^[1~5]。喷射沉积主要是通过对合金熔体进行气体或离心雾化, 使其产生固相和液相颗粒, 两相颗粒同时沉积形成材料或直接进行热加工的一种新工艺^[6~10]。作者考虑到这两种工艺均存在固相和液相混合的基本特点, 引发思路提出了一种新的材料制备工艺——固液混合铸造工艺。所谓固液混合铸造工艺主要是在过热的合金熔体中加入大量的同种合金粉末或润湿性好的异种合金粉末, 强烈均匀搅拌, 然后进行铸造或各种热加工的一种材料制备工艺。与半凝固加工一样, 这种铸造合金坯料也可冷凝后重新加热到半熔融状态, 进行各种后续热加工。通过对固液混合铸造的初步研究, 这种工艺具有一定的先进性和可应用性, 现将部分结果简单介绍如下。

1 实验方法

固液混合铸造的实验框图如图 1 所示。

在本实验中采用 Al-20% Si 过共晶急冷粉末, 分别加在过热度为 50~ 100 $^{\circ}\text{C}$ 的 Al-20% Si 过共晶合金、Al-11.7% Si 共晶合金和 Al-7% Si 亚共晶合金的熔体中, 粉末平均粒径为 30 μm , 粉末添

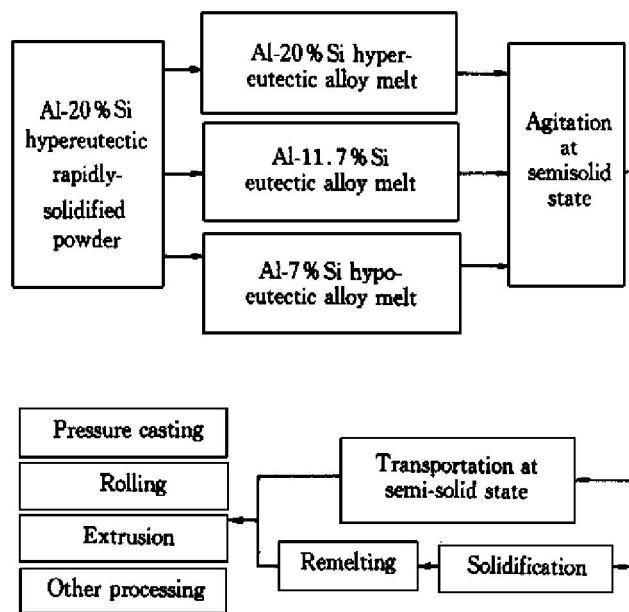


图 1 固液混合铸造的实验流程图

Fig. 1 Experimental flow chart of solid-liquid mixing casting

加质量与合金熔体质量之比分别采用 0.2~ 1 的各种比例。粉末加入后将合金熔体冷却, 迅速均匀搅拌, 搅拌均匀后可直接进行铸造, 或将半凝固液体进行各种热加工。直接铸造的坯料, 可重新加热至半熔融状态进行各种后续热加工。为防止氧化, 加热和搅拌可在氮气或其他惰性气体保护下进行。本实验是采用石墨粘土坩埚在炉内或炉外进行人工搅拌, 虽无法实现强力搅拌, 使粉末均匀分布, 但实验结果仍可在一定程度上反映该技术的优越性。

① [收稿日期] 1999- 12- 03; [修订日期] 2000- 03- 13

[作者简介] 陈振华(1946-), 男, 博士, 教授。

2 结果和讨论

2.1 粉末的融解

在固液混合铸造工艺中, 由于合金熔体存在一定的过热度, 粉末加入后会产生部分融解现象。如何使粉末均匀分布, 最大限度减少粉末融解量是固液混合铸造的关键技术。现正建立机械搅拌系统以进行强力搅拌, 实现粉末与熔体的均匀混合, 进一步进行详细系统的研究。通过对金属熔体的过热度、搅拌速度和凝固速度的控制, 可以实现粉末在均匀分布下少量融解的状态。图 2 所示为在 Al-Si 共晶合金熔体中加入 Al-Si 过共晶合金粉末的复合显微组织照片。其中 A 区为具有细小弥散初晶 Si 相的过共晶粉末团, B 区为共晶熔体, 粉末边缘已少量融解粗化, 部分区域存在孔隙。

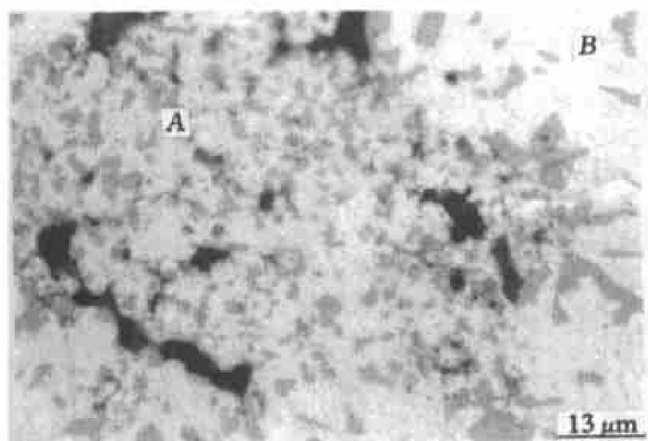


图 2 Al-Si 共晶与过共晶复合显微组织

Fig. 2 Compound microstructure of Al-Si hyper-eutectic powder in eutectic alloy

2.2 粉末的均匀分布

在固液混合铸造中, 粉末分布均匀化问题也是该工艺的关键问题之一。由于粉末添加质量和合金熔体质量的比例相当大, 单个粉末被液相完全均匀隔开是难以实现的。但从宏观角度来看, 粉末聚集区和液相区的均匀分布可以通过机械快速搅拌比较容易实现。图 3 所示为由数个粉末组成的聚团区和液相区均匀分布的固液混合铸造合金显微组织。

2.3 固液混合铸造合金的显微组织

由于粉末的加入, 在液相中的形核核心大幅度增加, 另外由于粉末的吸热和少量融解使合金产生急冷凝固, 因此伴随着粉末添加量的增加, 3 种 Al-Si 合金的初晶硅析出和结晶粒径大幅度减小, 网状树枝晶结构消失。在本实验条件下, 通过对工艺的控制, 当粉末添加质量/合金熔体质量为 1 时, 在过

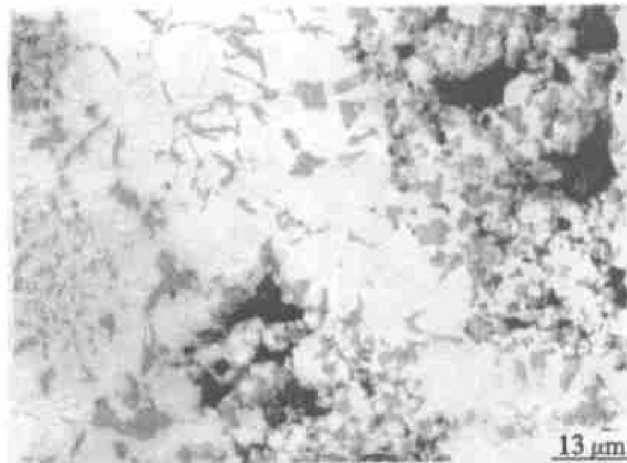


图 3 粉末聚团区与液相区均匀分布组织

Fig. 3 Well-distributed microstructure of powder aggregation and liquid regions

共晶合金中析出的初晶硅可控制在 5 μm 以下; 在亚共晶合金中, 结晶晶粒度可控制在 10 μm 以下, 基本达到了快速冷凝的效果。图 4~6 分别为三种 Al-Si 合金通过固液混合铸造得到的坯料的显微组织照片, 照片结果表明固液混合铸造组织实质上为粉末冶金组织和铸造组织的混合结构。如图 4 中大部分粉末只少量融解, 仍为球形或近球形颗粒, 与液相基体结合良好, 粉末中的初晶 Si 相呈等轴状, 细小弥散, 分布均匀。由于粉末的部分融解, 亚共晶液相中也存在着均匀分布的初晶 Si 相, 呈多边形, 粒度稍大于粉末中的初晶 Si 粒子。白色晶粒为 α 相, 呈等轴状。

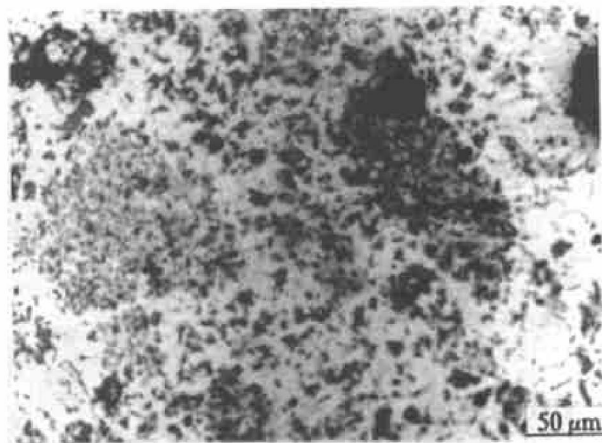


图 4 Al-Si 过共晶粉末与亚共晶熔体混合的显微组织照片

Fig. 4 Mixing cast microstructure of Al-Si hyper-eutectic powder in hypoeutectic melt

2.4 铸造坯料的再加热

半凝固铸造坯料重新加热到半熔融状态进行后续热加工是半凝固加工技术的一种重要工艺, 半凝固坯料在再加热过程中的析出物和晶粒的长大也是

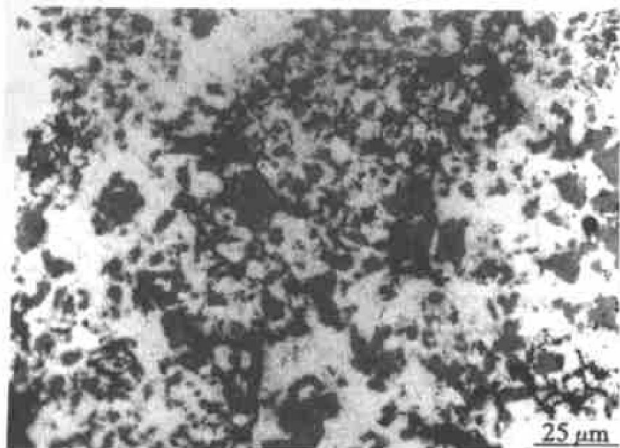


图 5 AlSi 过共晶粉末与共晶熔体混合的显微组织照片

Fig. 5 Mixing cast microstructure of AlSi hypereutectic powder in eutectic melt

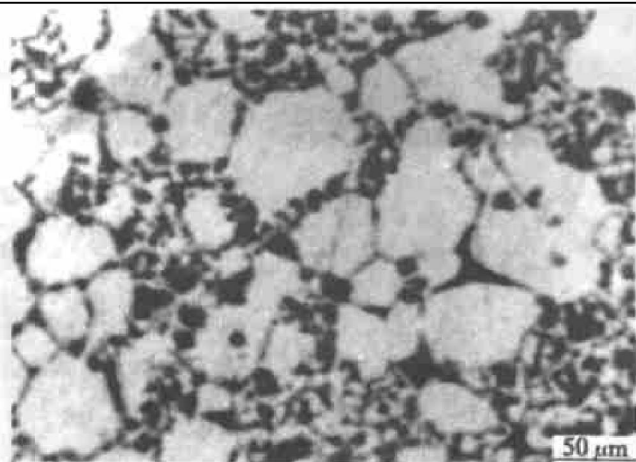


图 7 固液混合铸造材料重熔至半固态的显微组织

Fig. 7 Microstructure of solid-liquid mixing casting material reheated to semi-solid state

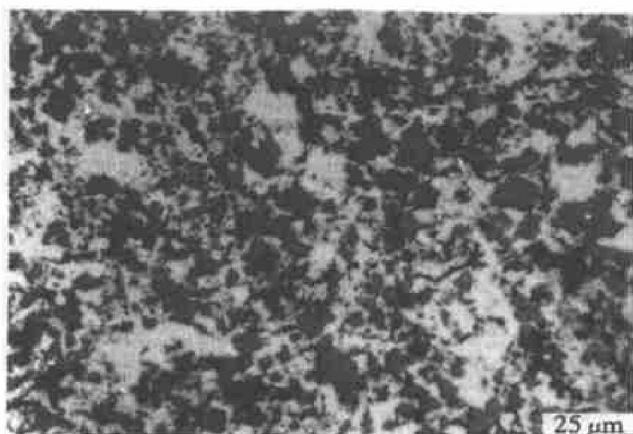


图 6 AlSi 过共晶粉末与过共晶熔体混合的显微组织照片

Fig. 6 Mixing cast microstructure of AlSi hypereutectic powder in hypereutectic melt

值得注意的问题。在固液混合铸造的坯料中,由于有大量未被融解的粉末残存其中,在加热到半熔融状态的过程中,它们将重新起着阻碍初晶析出、长大和抑制晶粒长大的作用。图 7 为固液混合铸造坯料重新加热到半熔融状态时的显微组织结构照片。

2.5 超微细结构

在固液混合铸造中,当粉末添加质量/合金熔体质量超过 0.75 时,在凝固组织中发现有很多超微细结构区域。图 8 为固液混合铸造合金超微细结构区域的显微组织照片,超微细结构区域的产生主要是由于这些区域的冷凝速度特别大而引起的。

2.6 应用讨论

固液混合铸造工艺类似半凝固加工工艺,比喷射沉积技术简单得多,但其显微组织结构比后者更为微细,通过工艺的改良它有望发展成为微晶

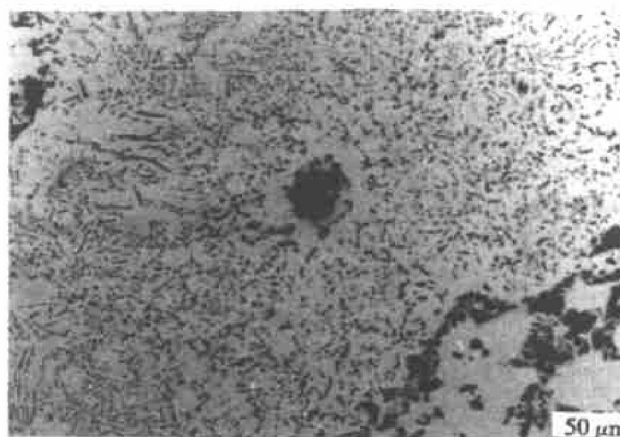


图 8 固液混合铸造材料中的超微细组织结构

Fig. 8 Ultrafine microstructure of solid-liquid mixing casting material

合金的铸造方法。在制备复相合金、复相钢及其他类型的复合材料过程中,固液混合铸造也可能是一种有前途的复合材料制备方法。另外,也可以考虑将废铸铁屑、废金属屑等通过简易粉碎和还原处理用于固液混合铸造中。综上所述,固液混合铸造工艺具有一定的先进性和优越性,可能存在一定的应用价值。

3 结论

1) 通过对 3 种 AlSi 合金的固液混合铸造研究,在本实验条件下,通过对工艺的控制,当粉末添加质量与合金熔体质量之比为 1 左右时,过共晶合金析出的初晶硅平均粒径可控制在 5 μm 以下,亚共晶合金中 α 相的平均粒径可控制在 10 μm 以下。

2) 固液混合铸造工艺的研究表明,该工艺具

有一定的先进性和优越性,可能存在一定的应用价值。

[REFERENCES]

- [1] Flemings M C. Behavior of metal alloys in the semisolid state [J]. Metall Trans, 1991, 22A: 957– 978.
- [2] Flemings M C, Rlek R G and Young K P. Rheocasting [J]. Mater Sci Eng, 1976, 25: 103– 117.
- [3] Kirkwood D H. Semisolid metal processing [J]. Inter Mater Rev, 1994, 39(5): 173– 189.
- [4] KANG Zhirao(康智涛), ZHANG Hao(张 豪) and CHEN Zhenhua(陈振华). 6066/SiC 喷射共沉复合材料的半固态加工 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1998, 8(4): 595– 599.
- [5] ZHANG Hao(张 豪), CHEN Zhenhua(陈振华), KANG Zhirao(康智涛), et al. 多层喷射沉积 6066 铝合金半固态挤压 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1998, 8(2): 191– 196.
- [6] Singer A R E. Recent developments in the spray forming of metals [J]. Inter J of Powder Metall and Powder Tech, 1985, 21(3): 219– 222.
- [7] Leatham A G, et al. Osprey preform process and its application to light alloys and composites [A]. Proceedings of the P/M in Aerospace and Defense Technologies Symposium [C], 1991. 235– 242.
- [8] Mathur P, Annavarapu S, Apelian D, et al. Spray casting: an integral model for process understanding and control [J]. Mater Sci and Eng, 1991, A142: 261.
- [9] CHEN Zhenhua(陈振华), ZHANG Hao(张 豪), YANG Fuliang(杨伏良), et al. A novel multi layer spray deposition technology [A]. Word J V. Proc 3rd Int Conf On Spray Forming [C]. Cardiff, UK: Woodhead Pub Ltd, 1996. 329– 336.
- [10] ZHANG Hao(张 豪). 多层喷射沉积过程及其材料的研究 [D]. Changsha: Central South University of Technology, 1998.

Solid-liquid mixing casting of Al-Si alloy

CHEN Zhenhua

(*Non-equilibrium Material Research Institute,
Central South University of Technology, Changsha 410083, P. R. China*)

[Abstract] A novel material preparation technology —solid-liquid mixing casting technology was presented. Using this technology, a large amount of homogeneous alloy powder or heterogenous powder with perfect wettability were added into the superheated melt, then strongly agitated, cast or hot processed. By solid-liquid mixing casting, three kinds of Al-Si alloy were investigated. Experimental results show that, when the proportion of powder accession quantity to alloy melt is about 1, the mean size of primary Si in hyper-eutectic alloy is under $5\mu\text{m}$, and the mean grain size of α phase in hypoeutectic alloy is under $10\mu\text{m}$; this technology has its advantages, and may be practicable and valuable.

[Key words] solid-liquid mixing casting; powders; melt; Al-Si alloy

(编辑 袁赛前)