

镁合金半固态压铸触变成形技术的研究与进展

李海宏, 陈体军, 郝 远

(兰州理工大学 材料科学与工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘 要: 介绍了镁合金半固态触变成形技术中的三个关键技术: 非枝晶组织半固态浆料的制备、坯料的二次加热、半固态触变压铸成形。并综述了镁合金半固态压铸触变成形技术的研究现状和发展前景。

关键词: 镁合金; 半固态; 触变成形; 非枝晶组织

中图分类号: TG146.2; TG249.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2005)10-0059-03

Study and Development of SSP Die-casting Thixomolding of Magnesium Alloys

LI Hai-hong, CHEN Ti-jun, HAO Yuan

(School of Materials Science and Engineering, Lanzhou University and Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: This paper introduced the key technology of SSP (semi-solid process) thixomolding of magnesium alloys: the preparation of non-dendritic structure, reheating, thixomolding. The researching status and development prospects of SSP die-casting thixomolding of magnesium alloys were overviewed.

Key words: magnesium alloys; semi-solid; thixomolding; non-dendritic structure

近年来镁合金作为一种新型绿色环保合金适应了汽车结构件和 3C 产品对环保方面的要求^[1-3], 使镁合金不但在航空航天而且在计算机、通讯设备、汽车上得到了广泛的应用。镁合金产量在全球的年增长率高达 20%, 显示出了极大的应用前景^[4,5], 但与铝合金相比, 镁合金产量只有铝合金产量的 1%。制约镁合金广泛应用的主要问题是, 传统压铸成形工艺在熔炼和加工过程中, 镁合金极易氧化燃烧, 使得镁合金的生产难度较大, 反映出镁合金成形技术的不完善, 有待进一步发展。

20 世纪 70 年代初期美国麻省理工学院的 Flemings 等发明了半固态金属成形技术^[6,7]。该技术是将金属或合金在固相线与液相线温度区间进行加工, 其实是一种近净成形工艺。半固态成形技术的出现为解决镁合金成形中的氧化燃烧等问题提供了条件。他将传统压铸技术与塑料注射成形技术结合起来, 因而无需熔化设备, 并避免了镁合金熔化的危险性^[8], 可用于传统压铸技术不能解决的镁合金的应用问题。目前, 镁合金半固态成形工艺主要分为: 流变压铸、触变成形和注射成形。然而在实际工业生产中主要采用第二种工艺即触变成形工艺。该工艺是将半固态金属浆料冷却凝固成坯料后, 根据产品尺寸下料, 再重新加热到半固态温度, 然后放入模具型腔中进行压铸成形。此工艺中涉及到三个非常重要的环节: 非枝晶坯料的制备、坯料的

二次重熔加热、半固态触变成形。如图 1 所示。

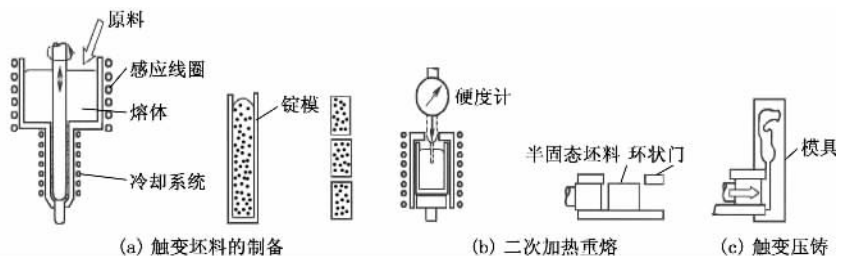


图 1 触变成形工艺流程图

1 非枝晶组织半固态浆料的制备

制备具有非枝晶组织的优质坯料是半固态成形技术的基础和关键。之所以这样讲是因为这种无枝晶组织的半固态浆料具有独特的流变学特性, 即触变性和伪塑性^[9,10]。具有这种组织的材料力学性能优异, 因而它的制备方法也是倍受关注的。

根据原材料的状态不同, 可将其制备方法分为液态法、固相法和其他方法^[11]。

液态法, 像机械搅拌和电磁搅拌等都属于液态法范围。主要是在外场的作用下对熔体进行处理, 破碎产生的固相组织使其形成球状颗粒。如电磁搅拌是利用旋转电磁场在金属液中产生感应电流, 金属液在洛仑兹力的作用下产生运动从而达到对金属液搅拌的目的^[12]。这是一种非接触式的搅拌方法。利用电磁搅拌法制备浆料可获得更加优异的组织 and 力学性能。在电磁搅拌条件下半固态 AZ91D 合金组织的固相颗粒为蔷薇状或颗粒 -Mg, 随着电磁搅拌功率的增大, 金属熔体获得更大剪切速率使蔷薇状逐渐转变为粒状或近球形。在实验范围内随着电磁搅拌对电源频率的增大,

收稿日期: 2005-04-29

作者简介: 李海宏(1979-), 女, 吉林长春人, 硕士研究生;

电话: 13038745105; E-mail: piaoxuehh@mail2.lut.cn

AZ91D 镁合金组织中固相颗粒形态越来越圆整^[13]。袁晓光等人^[14]研究了电磁搅拌对 AZ91D 镁合金中的 -Mg 枝晶相具有球化和细化作用; 同时能使 -Mg₁₇Al₁₂ 相和共晶组织数量明显增多, 并能显著降低 Zn 元素在 -Mg₁₇Al₁₂ 中的偏聚倾向。有利于 Zn 元素在合金中均匀分布。挤压成形后的合金极限抗拉强度高 285MPa, 比压铸合金提高了 30%; 伸长率为 12%, 是压铸合金的 2 倍多。

固相法, 主要是采用粉末冶金法和喷射沉积法制备出具有等轴晶粒组织的合金锭坯, 将其加热到半固态温度区间, 以获得具有球状固体悬浮于液相中的半固态浆料。目前被广泛采用的是应力诱发激活法 (Strain-induced Melt Activation 简称 SIMA), 该法由 Young 于 1987 年发明^[15]。他是将常规铸锭利用挤压、锻造、轧制等手段进行预变形, 然后加热到再结晶温度以上使之再结晶, 获得细小的晶粒组织, 然后再将坯料加热到两相线之间的温度, 形成半固态浆料。SIMA 的效果主要取决于较低温度的热加工和重熔两个阶段。此方法避免了合金的熔化过程, 工艺操作性强。

其他方法主要是近年来随着科学技术不断创新研发的许多新的非枝晶浆料的制备方法。像控制浇铸温度法、超声波处理法、剪切-冷却-滚动法等。我国东北大学和澳大利亚墨尔本大学共同研究成功了近液相铸造法^[16]。Flemings 等人研究成功了新的 MIT 法^[17]等。新的制备半固态浆料方法的不断出现, 为半固态成形技术的应用拓展了空间, 使得半固态成形技术得到了不断完善。

2 坯料的二次加热

用于触变成形的坯料必须经二次加热重熔处理, 才可进行压铸。应根据加工零件的大小, 切取相应质量或体积具有非枝晶组织的坯料, 再加热到半固态温度进行成形加工, 其目的就是为了获得不同工艺所需要的固相体积分数, 使剧烈搅拌时获得的细小枝晶碎片逐渐长大并转化为球状结构, 为触变成形创造有利条件。二次加热方式有电磁感应加热、电阻炉加热、盐浴炉加热等。但这些加热方式由于加热时间过长且温度控制不精确容易使显微组织粗大, 坯料表皮氧化加重。为了解决这些问题, AEG 公司研发了能量测试法, Buhler 和 EFU 公司开发了感应线圈涡电流法等。由此可见, 开发合理的镁合金坯料二次加热重熔方式是得到最终半固态球状颗粒的基础。

3 镁合金半固态触变压铸成形

由于镁合金熔点低, 熔融状态下易燃烧, 铸件

大多有气孔, 造成后期的热处理和表面处理困难等缺点, 限制了镁合金更广泛的应用。新兴的半固态成型技术不但具有压铸的优点, 而且最大限度地弥补了镁压铸的缺陷, 具有组织致密, 力学性能好, 近终型和生产自动化程度高等优点。最适于有轻量化要求的汽车结构件成形, 目前广为应用的半固态成型技术主要是触变成形技术。其优点是: (1) 非枝晶镁合金坯料不需完全熔化, 节省能源; (2) 充型时不易产生飞边, 铸件尺寸精度高; (3) 铸件致密, 缩松少; (4) 金属浆料温度低, 铸型寿命长; (5) 不需要用 SF₆ 作为保护气体, 环境污染小; (6) 生产过程安全性高^[18]。与其他铸件相比, 半固态镁合金产品组织细小、尺寸精度和性能高、表面质量好、内部疏松少、残余应力和变形引起的误差小、抗腐蚀能力强、力学性能优于或等同模锻件, 其最小壁厚可达 0.5mm。

4 存在问题及发展前景^[13,19]


镁的工业应用已有半个多世纪的历史, 压铸工艺发展的局限性也限制了其应用, 触变铸造特别是 Thixomolding 工艺的研究与发展, 为镁合金应用提供了技术基础, 但与传统的钢、铝、塑料等材料相比, 规模相对不大, 技术应用经验与成熟度仍远远不及, 各项配合仍未达最佳经济规模, 触变铸造成形则受设备数量和镁合金预成形材料的限制。一方面是设备的短缺, 1998 年 10 月, 全世界有 82 台夹紧力为 75~1 600t 的机器投入使用。90% 在亚洲, 主要集中在日本, 大约在 70 台左右, 生产的镁零件质量在 23.5g~5kg 区间。到 1998 年底, 已有超过 100 台机器投入运转^[19], 但仍满足不了需要。另一方面是材料和工艺的局限性。触变成形工艺材料的选择性较小, 常用的只有 AZ91D、AM50A、AM60B 等几种^[19], 而目前最成功的是 AZ91D, 故如何改进工艺与设备, 获得最优工艺参数, 拓宽适合于触变成形的镁合金范围, 成为半固态成形技术发展的方向之一。

面对 21 世纪, 科研人员必须加强半固态预成形材料及设备的研究与应用工作, 推进镁合金工业的发展。当然, 随着半固态加工技术研究的不断深入, 镁合金触变成形技术也会不断的日益完善。与低固相率镁合金相比, 高固相率镁合金的触变成形研究的还不够充分。因此对高固相率镁合金的触变成形的研究将更具有良好的发展前景。其优势如下: (1) 低的成形温度, 低的保温时间, 更少的热疲劳, 对模具的热腐蚀也少; (2) 节省能耗; (3) 可以避免高温时镁合金的腐蚀和燃烧; (4) 由于较少的液体固化, 因此限制了其收缩孔隙; (5) 生产周期更短。我们相信通过科研工作者对半固态镁合金

成形工艺的改善、组织细化以及组织形态改变,都可以使镁合金的各种性能有较大的提高,使镁合金在 21 世纪的应用会越来越广泛。

参考文献:

- [1] 刘正,王越,王中光,等. 镁基轻质材料的研究与应用[J]. 材料研究导报,2000,14(5):449-456.
- [2] Polmear I J. Magnesium Alloys and Application [J]. Materials Science and Technology, 1994, 10(1):1-16.
- [3] Aghion E, Bronfin B. Magnesium Alloys Development Towards the 21st Century [J]. Materials Science Forum, 2000, (350):19-218.
- [4] Diem W. Magnesium in Different Applications [J]. Auto Technology, 2001, 1:40-41.
- [5] Kamado S, Koike J, Kondon K, et al. Magnesium Research Trend in Japan [J]. Materials Science Forum, 2003, (419-422):21-34.
- [6] Flemings M C, Rieck R G. Rheocasting [J]. Materials Science and Engineering, 1976, 25:103-117.
- [7] 谢水生,黄声宏. 半固态金属加工及其应用[M]. 北京:冶金工业出版社,1999.
- [8] "Ed Nussbaum A I [J]. Light Metal Age, 1996, 54(5-6):6-22.
- [9] Shin D S, Lee J I, Yoon E P, et al. Generation of Dislocation and Subgrains in Semi-solid Al-2 wt.%Si Alloy [J]. Metals and Materials, 1997, 3(3):159.

- [10] Fan S H Z, Bevis M J. Semisolid Processing of Engineering Alloys by a Twin-screw Rheomoulding Process [J]. Material Science Engineering, 2001, A229:210-217.
- [11] 陈振华, 严红革, 陈吉华, 等. 镁合金[M]. 北京:化学工业出版社, 2004.
- [12] 谢水生, 潘洪平, 丁志勇. 半固态金属加工技术研究现状与应用[J]. 塑性工程报, 2002, 9(2):1-11.
- [13] 张发云, 闫洪, 揭晓平, 等. 半固态镁合金触变成形技术[J]. 南昌大学学报·工科版, 2004, 26(2):14-18.
- [14] 袁晓光, 刘正, 许沂. 电磁铸造对 AZ91D 合金组织及力学性能的影响[J]. 中国有色金属学报, 2002, 12(4):784-790.
- [15] 杨晓婵. 半固态金属成形技术在国外的研究与应用 [J]. 矿冶, 2000, 9(1):65-68.
- [16] 崔建忠, 路贵民, 乐启焱, 等. 液相线半连续铸造-高效, 经济的半固态制浆方法[A]. 首届中国国际轻金属冶炼加工与装备会议文集[C]. 2002.16-20.
- [17] Flemings M C, Materials R, Figueredo A M, et al. Efficient Formation of Structures Suitable for Semi-solid Forming [A]. The 21st International Die Casting Congress [C]. Cincinnati, OH, 2001.
- [18] 王渠东, 丁文江. 镁合金及其成形技术的国内外动态与发展[J]. 材料科学, 2004, 26(3):39-46.
- [19] 倪红军, 王渠东, 丁文江. 镁合金半固态铸造成形技术(SSP)的研究与应用[J]. 铸造技术, 2000(5):6-39. 


(责编/责校:张妍)

(上接第 54 页)

参考文献:

- [1] Kajiwara S. Characteristic feature of shape memory effect and related transformation behavior in Fe-based alloys [J]. Materials Science and Engineering A, 1999, 273-275:67-68.
- [2] Duering T W. Application of shape memory [J]. Materials Science Forum, 1990, 156-158:679-692.
- [3] Tsuzaki T, Natsume Y, Tomota Y, et al. Effect of solution hardening on the shape memory effect of Fe-Mn base alloys [J]. Scripta Metall and

Mater, 1995, 33(7):1087-1092.

- [4] Cengiz T, Fahrettin Y. The effect of pressure on transformation temperatures and some physical parameters of Fe-32Mn-6Si-3Cr shape memory alloy [J]. Thermochemica Acta, 2005(430):129-133.
- [5] 周丽花, 戴品强, 吴紫丹, 等. 淬火温度对 Fe-Mn-Si-Cr-Ni 记忆合金形状记忆效应的影响[J]. 金属功能材料, 2003, 10(6):5-9.
- [6] 徐京娟, 邓志煜, 张同俊. 金属物理性能[M]. 上海:上海科技出版社, 1988.101-105.
- [7] 杨德庄. 位错与金属强化机制[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 1990.12:191-192. 

(责编/责校:张洁)


(上接第 56 页) 复合材料, 并验证了热处理对 VC_p/Fe 复合材料的力学性能有较大的影响, 通过不同的热处理工艺可以达到不同的强韧性配合, 因此可以根据使用要求采取相应的热处理方案, 满足不同场合下对复合材料的使用要求。

(2) 热处理可以改变 VC_p/Fe 复合材料的基体组织, 通过不同的工艺方案, 可以得到珠光体、索氏体、马氏体、回火马氏体等不同的基体组织。同种热处理工艺, 材料的性能随保温时间的不同有相应变化。正火处理得到最佳的强韧性配合, 在保持较高硬度的同时, 明显改善材料的冲击韧度。

(3) 热处理对于初生 VC 颗粒的形貌、分布、大小等影响不大, 但通过热处理可以使固溶于 -Fe 中的 V 元素以及其它 V 的化合物在热处理保温过程中与 C 元素结合成细小的二次 VC 颗粒, 均匀弥散地分布于

基体中, 进一步起到细化晶粒、提高复合材料强韧性的作用。

参考文献:

- [1] 熊容廷, 段汉桥, 严有为, 等. 原位合成 VC/Fe 复合材料的微观组织及性能[J]. 现代铸造, 2004, (6):16-19.
- [2] 熊容廷, 段汉桥, 严有为, 等. 原位合成颗粒增强铁基复合材料的研究进展[J]. 现代铸造, 2004, (3):22-26.
- [3] Jiang W H, Fei J, Han X L, et al. In situ synthesis of (TiW)/Fe composites [J]. Materials Letters, 2000, 46:222-224.
- [4] 卢德宏, 许世忠, 蒋业华, 等. 自生 TiC 颗粒增强低合金钢基复合材料的组织[J]. 铸造技术, 2004, 25(5):325-327.
- [5] 王一三, 丁义超, 程风军, 等. 固相反应生成 VC 颗粒增强铁基复合材料[J]. 热加工工艺, 2004, (9):9-11.
- [6] 钟元龙. 原位自生 TiC_p-Fe 复合材料的制备工艺及其性能研究[D]. 广西:广西大学硕士学位论文, 2003. 

(责编/责校:张洁)