

镁合金压铸真空抽气系统的设计与应用研究

陈思涛¹, 宋东福², 戚文军², 周 峰¹

(1. 佛山职业技术学院 智能制造学院, 广东佛山 528137; 2. 广东省科学院新材料研究所, 广东广州 510650)

摘要: 设计了一种含有主、副排气通道的真空抽气系统, 主排气通道较副排气通道横截面积大, 由真空阀控制其开闭, 副排气通道采用横截面较小的齿状排气通道, 在真空压铸过程中保持全程抽气。研究表明: 采用主、副排气通道的真空抽气系统, 能够获得外观完整、组织致密的镁合金真空压铸件, 气孔率比齿状排气通道压铸件减少48%, T6热处理后气泡减少60%, 铸件的抗拉强度、屈服强度和伸长率分别提高9.3%、10.2%和21.4%。

关键词: 镁合金; 抽气系统; 真空压铸; 热处理

真空压铸技术是在传统压力铸造技术的基础上辅以对型腔抽真空的技术。现行的真空压铸技术中, 抽真空的方式主要有三种: 第一种是当压射冲头越过浇口, 碰到行程开关, 型腔及压室接通真空源, 气体被抽出, 压射冲头继续前进, 快速压射前, 靠行程开关或时间继电器关闭真空阀, 停止抽气, 冲头快速压射, 完成液态金属成形, 这种方法也称半过程排气; 第二种是用“搓衣板”形冷却块, 也称“齿状排气道”进行全过程排气, 即排气通道像两个合起来的搓衣板样形状, 液态金属在充满型腔后被挤入齿状排气道缝中凝固, 终止排气; 第三种是瑞士方达瑞公司推出的双芯真空阀的真空压铸系统, 它是全过程排气, 阀门在型腔尾部, 在金属液充满型腔到达阀门时, 依靠金属液流动惯性力将真空阀关闭^[1-4]。不难看出, 第一种方式液态金属到达型腔入口停止排气, 残留一部分气体未排掉; 第二种方式排气道是弯曲的窄缝, 排气管道长, 尽管是全过程排气, 也很难把气体充分排掉; 第三种方法能全过程充分排气, 也无第二种方法所凝固在齿状排气道中的废料, 是目前比较理想的方法, 但真空阀从得到关闭阀门信号, 到阀门完全关死, 时间极短, 以毫秒计算, 阀门一次性成本高, 要定期进行维护, 维护费用也较高, 对使用人员素质要求也高, 这些因素限制了该系统在真空铸造中的广泛应用^[5]。

针对现行真空压铸中真空系统所采用的半过程排气方法存在残留气体多、齿状排气道排气能力低以及全过程排气真空阀成本高的现状提出的一种新的抽真空方法。该方法是采用主、副排气通道同时对型腔进行抽气, 即半过程排气和齿状全过程排气两者并用, 此方法克服半过程排气残留气体多和齿状排气道排气速度慢的缺点, 能够有效地提高型腔真空度, 获得组织致密的压铸件。

1 真空抽气系统

含有主、副排气通道的真空抽气系统由主排气通道、齿状副排气通道、真空罐、真空泵和模具型腔等组成, 如图1所示。该真空抽气系统的工作原理: 总阀12关闭, 真空泵4将真空罐3抽成具有一定真空度的待用状态, 电磁阀9处于开启状态, 通过浇料口将定量金属液倒入料筒, 启动压射冲头6, 当压射冲头越过浇料口5并触动感应开关时总阀12打开, 这时副排气通道11和主排气通道10同时对与压室、真空罐连成一起的型腔进行抽气, 当压射冲头推动金属液体向前运动, 触动快压射感应开关, 电磁阀9靠电磁力快速向下运动关闭主排气通道, 而副排气通道11继续对型腔进行抽气直到液态金属充满型腔并进入齿状副排气道的窄缝而冷却凝固, 最后获得真空

作者简介:

陈思涛(1987-), 男, 硕士, 主要从事材料加工成形方面的研究工作。E-mail: 352397543@qq.com

中图分类号: TG249.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2023)

04-0458-04

基金项目:

广东高校青年创新人才项目(2020KQNCX210); 广东省科技创新战略专项资金项目(pdjh2020b1220)。

收稿日期:

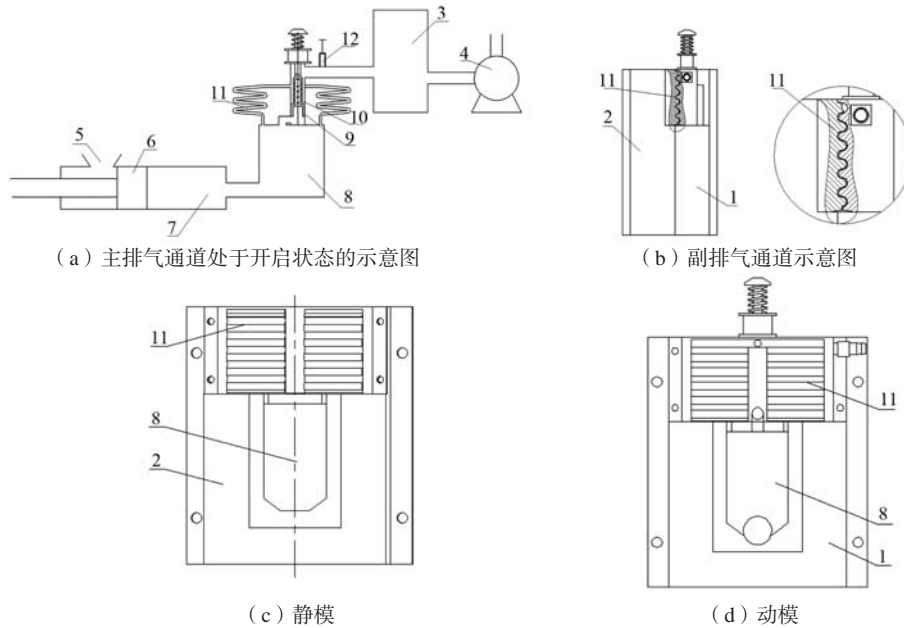
2022-05-17 收到初稿,

2022-08-24 收到修订稿。

压铸件，其结构见图1。

其中图1c、d为模具的动、静模，合模后形成的齿状副排气通道见图1b，该抽气系统发挥了半过程排气

和齿状排气道排气的优点，克服了两者的不足。与国外瑞士方达瑞公司双芯真空阀的真空压铸系统相比，避免了复杂的技术问题，同时能降低生产成本^[6-7]。



1. 静模 2. 动模 3. 真空罐 4. 真空泵 5. 浇料口 6. 冲头 7. 压室 8. 型腔 9. 电磁阀 10. 主排气通道 11. 副排气通道 12. 总阀

图1 真空抽气系统示意图

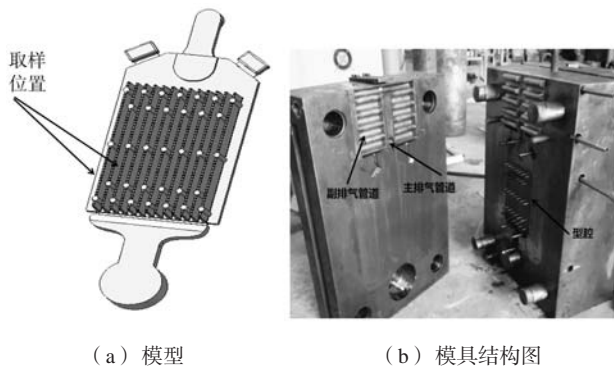
Fig. 1 Schematic diagram of the vacuum pumping system

2 散热器模型及模具结构

试验采用AZ91D镁合金，其物理参数如表1，目标产品LED散热器总长度为220 mm，总宽度为130 mm，散热片长度为170 mm，铸件厚度不均匀，最厚 8 mm，最薄1.8 mm，平均厚度为4.5 mm，其三维模型和模具结构见图2。

表1 AZ91D合金的热物理参数
Table 1 Thermal physical parameters of the AZ91D alloy

密度 /(g·cm ⁻³)	热导率 /(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	熔化潜热 /(kJ·kg ⁻¹)	比热 /(kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)
1.702	84	341.6	1.42



(a) 模型 (b) 模具结构图

图2 散热器模型与模具结构图
Fig. 2 Radiator model and die structure

3 试验验证

3.1 试验设计

根据AZ91D镁合金的特点，通过前期的试验验证，选择的压铸工艺参数^[8-9]如表2所示。本试验在400 t的压铸机上进行，试验中通过对真空电磁阀的控制从而实现主排气通道的开闭，为了保证主排气通道不被金属液堵住，根据理论计算及前期试验分析得出抽气时间应控制在0.6 s以内，副排气通道则无严格时间要求。关闭真空电磁阀则副排气通道随之关闭，只保留主排气通道（齿状排气通道），便于进行对比试验。

表2 压铸工艺参数
Table 2 Technological parameter of the die casting process

快压射速度 /(m·s ⁻¹)	慢压射速度 /(m·s ⁻¹)	慢压射 距离/mm	压射 比压/MPa	浇注 温度/°C
4	0.2	120	84	680

根据试验目的分别设计了两组试验：试验L1采用主、副排气通道同时抽气的新型真空抽气系统进行压铸试验；试验L2只采用主排气通道（齿状排气通道）进行压铸试验。

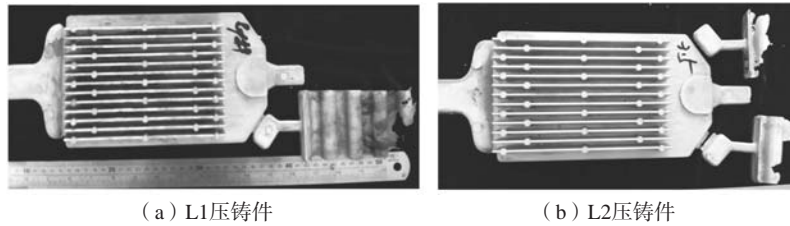
3.2 真空压铸件组织性能分析

在相同工艺条件下，由试验L1、L2获得了真空压铸件，其宏观照片如图3所示。对比两图可知，试验

L1、L2获得的压铸件外形都较为完整，试验L2的压铸件约填充了2个齿形槽，而试验L1的压铸件则填充了5.5个齿形槽，说明金属液的充型能力得到明显改善。对试验L1、L2获得的散热器压铸件采用电火花线切割机制取金相试样和拉伸试样，金相试样和拉伸试样的取样位置为散热器的散热片，见图3，制得的拉伸试样见图4。

采用GP-TS2000A力学试验机对试验L1、L2的两组

压铸件进行力学性能测试。每组试验取6个有效拉伸数据，所获得的数据标准差在2.5以内，试验结果表明，试验L1采用新型真空抽气系统制得的压铸件其各项力学性能指标比试验L2只采用齿状排气系统制得的压铸件均得到了显著提高，其中抗拉强度达到223 MPa，较齿状排气压铸件提高了9.3%，屈服强度和伸长率也分别提高了10.2%和21.4%，如表3。

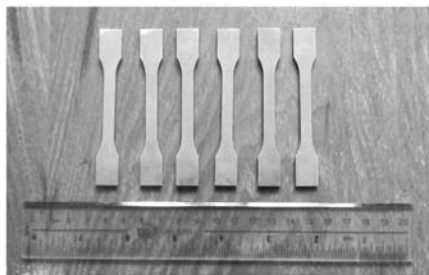


(a) L1压铸件

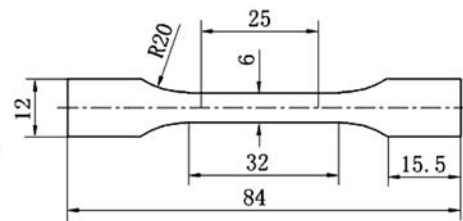
(b) L2压铸件

图3 压铸件宏观照片

Fig. 3 Macro photos of the die castings



(a) 拉伸试样



(b) 尺寸图

图4 拉伸试样

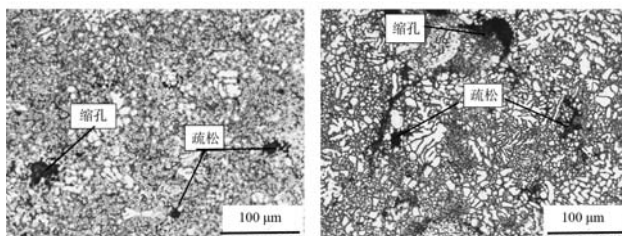
Fig. 4 Tensile specimens

表3 压铸件力学性能

Table 3 Mechanical properties of the die castings

试验L1压铸件			试验L2压铸件		
σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ /%	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ /%
223	216	5.1	204	196	4.2

由试验L1、L2制取的散热片金相试样经粗磨、细磨、抛光，用3%的硝酸酒精水溶液腐蚀后，在光学显微镜下观察与分析其显微组织^[10]，见图5。由图5分析可知，两种压铸条件下制得的散热器压铸件都存在不同程度的缩孔、疏松缺陷。与试验L2压铸件相比，试



(a) L1压铸件

(b) L2压铸件

图5 铸件金相组织图

Fig. 5 Microstructures of the castings

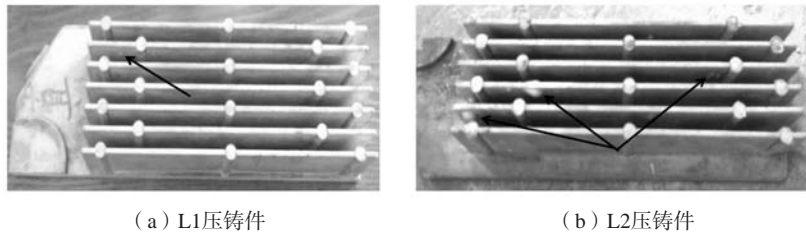
验L1压铸件的气孔尺寸和气孔数量都大幅度降低，氧化夹杂缺陷得到明显改善，按面积算，其缩孔、疏松量降低48%以上，铸件偏析程度减小，金属液充型阻力明显减少，易获得组织较为致密的成品。

3.3 真空压铸件热处理性能分析

压铸件通过T6处理后的宏观形貌，见图6。试验L2压铸件散热片表面出现了7~8个大小不一的气泡，其中较大的2个直径达到6 mm，其余直径为0.4~3 mm。而试验L1压铸件散热片表面只有1片出现了直径为1.5 mm的气泡。由图分析可知，试验L1采用主、副排气管道的新型真空抽气系统能够有效地减少铸件内部的气体，减少缩松、缩孔等缺陷，从而提高铸件的致密度，提高铸件整体的力学性能。

4 结论

(1) 介绍一种含有主、副排气通道的真空抽气系统。该抽气系统采用主、副两条排气通道，主排气通道在短时间内快速抽出型腔内的大部分气体，副排气通道在压铸过程保持全程抽气，持续把型腔内的气体



(a) L1铸件

(b) L2铸件

图6 铸件T6热处理后形貌

Fig. 6 Morphologies of the castings after T6-treating

抽出。该真空抽气系统充分发挥了半过程排气和齿状排气的优点，又克服了两者的不足，抽气效果显著。

(2) 采用该真空抽气系统进行了镁合金压铸件试制，所得铸件外形完整，充型能力得到显著提高，从力学性能分析可知，其抗拉强度、屈服强度和伸长率

较齿状排气压铸件分别提高9.3%、10.2%和21.4%。

(3) 采用该新型真空抽气系统制得的真空压铸件与齿状排气压铸件相比，其气孔率减少约48%，T6热处理后的气泡减少约60%，这有利于提高压铸件后续的热处理性能。

参考文献:

- [1] 干雪梅. 高压铸造快速抽真空方法研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
- [2] 朱秀娟, 陈思涛. 真空压铸技术研究现状及关键技术探析 [J]. 铸造技术, 2015, 36 (8): 2077-2080.
- [3] JIN C K, KANG C G. Fabrication process analysis and experimental verification for aluminum bipolar plates in fuel cells by vacuum die-casting [J]. Power Source, 2011, 196: 8241-8249.
- [4] 戚文军, 宋东福, 蔡畅, 等. 镁合金散热器真空压铸的抽真空技术研究 [J]. 铸造, 2014, 63 (4): 328-329.
- [5] 贺琴, 潘建寿. 基于PLC的真空压力铸造智能控制 [J]. 热加工工艺, 2019, 48 (9): 82-86.
- [6] 万里, 林海, 刘后尧, 等. 真空压铸用真空阀及真空控制装置的开发 [J]. 特种铸造及有色合金, 2011, 31 (3): 222-224.
- [7] 万里, 林海, 何伟, 等. 压铸用高真空控制系统的开发与应用 [J]. 特种铸造及有色合金, 2010 (7): 633-635.
- [8] 宋东福, 蔡畅, 戚文军, 等. 真空压铸辅助系统的研制与试验验证 [C]//广东铸造·压铸新技术年会, 2013.
- [9] 吴耀荣, 岑伟明, 邓宇斌, 等. 基于FLOW-3D的减震塔真空压铸工艺设计与优化 [J]. 特种铸造及有色合金, 2019, 36 (9): 618-621.
- [10] 宋东福, 戚文军, 王海艳, 等. LED用镁合金散热器压铸工艺的研究 [J]. 铸造, 2015, 63 (5): 403-408.

Design and Application of Vacuum Pumping System for Magnesium Alloy Die Casting

CHEN Si-tao¹, SONG Dong-fu², QI Wen-jun², ZHOU Feng¹

(1. Intelligent Manufacturing College, Foshan Polytechnic, Foshan 528137, Guangdong, China; 2. Institute of New Materials, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510650, Guangdong, China)

Abstract:

A vacuum pumping system with main and auxiliary exhaust channels was designed. The main exhaust channel had a larger cross section than the auxiliary exhaust channel, and its opening and closing was controlled by a vacuum valve. The auxiliary exhaust channel adopted a toothed exhaust channel with a smaller cross section, which kept the whole pumping process during vacuum die casting. The results showed that magnesium alloy vacuum die castings with complete appearance and compact structure were obtained by using the vacuum pumping system with main and auxiliary exhaust channels. The porosity of the castings with the dentate exhaust channel was reduced by 48%, the bubbles were reduced by 60% after T6 heat treatment, and the tensile strength, yield strength and elongation of the castings increased by 9.3%, 10.2% and 21.4% respectively.

Key words:

magnesium alloy; pumping system; vacuum die casting; heat treatment