

# Research Status of Aluminum Alloy Low Pressure Die Casting

Peng Zhang<sup>1</sup>, Jinhua Wan<sup>2</sup>, Huaqiang Li<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang Jiangsu

<sup>2</sup>Jiangsu Pomlead Forging Co., Ltd, Lianyungang Jiangsu

Email: \*lhq6729@163.com

Received: May 30<sup>th</sup>, 2017; accepted: Jun. 27<sup>th</sup>, 2017; published: Jun. 30<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

The low pressure die casting of aluminum alloy in the automotive industry has been widely used. The low pressure die casting processes of aluminum alloy are described in this paper, with focusing on summarizing and analyzing the low pressure die casting process, simulation and automation. This paper studies the problems caused by the low pressure die casting of aluminum alloy. It points out that the application of numerical simulation in aluminum alloy low pressure casting, which can provide reference for the further development of aluminum alloy low pressure casting.

## Keywords

Aluminum Alloy Wheel, Low Pressure Die Casting, Casting Defects, Numerical Simulation

---

# 铝合金低压铸造的研究现状

张 鹏<sup>1</sup>, 万金华<sup>2</sup>, 李化强<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>淮海工学院, 机械工程学院, 江苏 连云港

<sup>2</sup>江苏珀然锻造有限公司, 江苏 连云港

Email: \*lhq6729@163.com

收稿日期: 2017年5月30日; 录用日期: 2017年6月27日; 发布日期: 2017年6月30日

---

## 摘 要

铝合金低压铸造技术在汽车工业获得广泛应用。本文介绍了铝合金低压铸造的工艺流程, 对铝合金低压铸造工艺、模拟和自动化方面进行了综述和分析, 分析了铝合金低压铸造存在的问题, 指出数值模拟技

\*通讯作者。

术在铝合金低压铸造中的应用，为铝合金低压铸造的进一步发展提供参考。

## 关键词

铝合金轮毂，低压铸造，铸造缺陷，数值模拟

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

目前，铝合金由于其优异的铸造性、耐腐蚀性以及高的强度重量比而广泛应用于工业生产中。铝合金低压铸造是指铝合金溶液在较低压力下进行低压底注，使铝合金溶液沿升液管快速升液至浇口，之后再再进行恒流平稳充型。充型完成后进行保压处理以减少缩孔，再进行冷却凝固，后进行卸压，将铸件顶出[1]。低压铸造技术被认为是近净成形技术，并且非常适合于生产复杂形状和薄壁的铝合金铸件。铝合金低压铸造应用广泛，铝液充型平稳、表面平整光滑、综合力学性能和成型性较好、金属利用率高、节省成本、设备简单、容易实现自动化生产[2]。本文介绍了铝合金低压铸造的国内外研究现状，主要包括铝合金低压铸造工艺、模拟和自动化方面的研究进展和发展趋势，为铝合金低压铸造的发展提供参考。

## 2. 铝合金低压铸造工艺研究现状

H Puga 等[3]利用超声波熔体处理进行低压铸造 AlSi7Mg0.3 合金，探究充型过程和超声波脱气对合金的显微结构和力学性能的影响。H Puga 等使用计算流体动力学进行建模，加之试验分析不同充型速度的铝液流动行为和氧化膜缺陷分布。在 650℃ 和 700℃ 的脱气温度下研究超声波脱气对显微组织和力学性能的影响。结果表明，在进行超声脱气情况下，低于 0.5 m/s 的充型速度可以提高合金微观结构和力学性能。J Barbosa 等[4]以低压铸造技术为基础，在冷却时使用超声波精炼技术来铸造 AlSi7Mg 铝合金，最终发现这种将低压铸造结合超声波精炼技术有利于降低铸件孔隙率、极大减少缩松缩孔缺陷和细化显微组织，这种技术还能获得较高的抗拉强度、屈服强度和伸长率。

低压铸造技术最早由中信戴卡公司引入国内，但直到近几年，针对铝合金低压铸造的研发工作才展开。龚正鹏[2]根据现在低压铸造所用模具的实际应用情况，采用水冷设计以利于散热，采用溢流排气槽设计用来溢流排气。大尺寸 A356 铝合金轮毂在低压铸造时易产生缩松、漏气、90 度冲击试验不合格问题，针对这些问题，代颖辉[5]对铸件模具进行分析并提出改进方案，改进轮辋型腔以实现顺序凝固，并在侧模增加冷却风盒进行冷却。经工艺验证，使用改进后的模具，产品合格率获得极大的提高。针对车轮样品出现针孔缺陷，中信戴卡股份有限公司的薛喜伟等[6]对样品进行化学成分检测、力学性能检测、金相组织观察和扫描电镜试验，发现铸件中含有氢气。薛喜伟等调整模具冷却风孔位置使针孔位置进行强冷，利用汉高远红外线热成像仪检测铸造温度，发现改良后的模具温度数值比之前下降 20℃ 左右，再通过改良前后铸件对比发现，改良后铸件针孔缺陷明显得到改善。

为提高铝合金的强度和硬度而不降低其塑性，研发人员设计多种时效工艺，卢雅琳等[7]基于 A356 铝合金轮毂，研究 T616 双级时效对低压铸造铝合金铸件组织和力学性能的影响。卢雅琳等将双级时效对比传统固溶时效热处理，发现对 A356 铝合金进行 3 小时 120℃ 加上 1 小时 180℃ 的双级时效工艺后，组

织均匀分布于晶界处，而用固溶处理法需进行 5 小时 538℃ 热处理才能达到此效果，但是这时双级时效热处理铸件的力学性能相对于传统热处理获得很大的提高，抗拉强度达到 289MPa，伸长率为 10%，硬度达到 91HB。毕建峰等[8]将低压铸造与 V 法造型[9]结合，将 V 法低压铸造技术应用于 GIS 铝合金罐体生产中。毕建峰等提出一系列大批量生产时的优化措施，选择直线布置为工位布置，经过多次试验来优化浇铸参数和补偿压力，最终获得合格铸件。

### 3. 铝合金低压铸造模拟研究现状

Dashan Sui [10]等利用 Magma 对铝合金轮毂的冷却和保温进行数值模拟。分析铸件各个位置的凝固时间，优化冷却凝固时间，在铸件壁厚位置延长冷却时间以优化工艺参数，减少缩孔、缩松。为消除 A356 铝合金进气歧管在低压铸造时的缩松、缩孔，Jiang Wenming 等[11]用 ProCAST 模拟低压铸造 A356 铝合金充型和凝固过程，根据模拟结果优化铸件的浇注系统。结果表明，当浇注系统仅有一个浇口时，铝液充型不稳定，非顺序凝固，出现较大孔隙率。通过增加一个浇道，两个浇口，并在铸件热点增加冒口和冷却来改进浇注系统，极大减少缩松、缩孔缺陷，获得致密的铸件。

在低压铸造铝合金轮毂时，下模具会在热态时产生热变形，周鹏等[12]用 ANSYS 软件对热态下模热变形进行模拟分析，根据分析结果以及实际生产情况提出改进方案，周鹏等打破了热态下模是向上热变形的传统观点，通过模拟分析以及实际验证，证明热态下模是向下热变形的。改进后的下模变形小，铸件尺寸精度获得极大提高。

卢永祥等[13]对实际生产中盘类铝合金铸件的表面缺陷进行机理分析、工艺方案分析后，用 ProCAST 模拟分析铸件的充型过程，验证最初分析结果，并提出工艺改进，再次利用 ProCAST 软件模拟分析改进后的工艺方案，最终进行生产验证确定工艺方案有效正确。白亚江[14]基于现有的轮毂盖结构，在保证可靠性情况下去轻量化设计轮毂，先后完成对轮辐的初始化设计和拓扑优化。白亚江将弯曲疲劳试验结合 HyperMesh 建立有限元模型分析验证结果一致性；将 13 度冲击载荷试验结合仿真模型瞬态分析进行验证；将径向疲劳试验与仿真结果结合验证一致性，最终得到优化后的拓扑造型，再对此结构进行重新分析得出应力分布，后进行三维实体造型，再经过冲击弯曲径向试验验证台架试验可靠性。应用这种方法可以降低轮毂设计成本，节省了研发周期。赵岩等[15][16]针对铝合金轮毂铸件质量不高提出利用数值模拟分析结果优化工艺参数的方法。赵岩等利用 ProCAST 模拟分析铝液充型后铸件凝固时各个部位的温度曲线，得出各部位的冷却速度，发现铸件从上向下依次冷却，铸件并无缩孔、缩松现象，再对轮毂性能进行试验分析，发现国内轮毂的力学性能与国外相比差距很大。针对模拟和试验结果，赵岩等优化模具水冷工艺确保铸件顺序冷却，消除孤立熔池，同时铸件还具有良好力学性能。针对 ZL114A 铝合金油路壳体铸件的质量以及微观结构，黄粒等[17]提出采用高纯合金原料进行铝合金成分优化，用 Al-5Ti-1B 丝细化晶粒，用 Al-4Sb 优化共晶 Si 结构，对铝液进行净化处理以减少夹杂物。黄粒等使用 ProCAST 模拟计算充型和凝固过程，在厚大热节位置布置缝隙浇口，完成工艺优化。辽宁工程技术大学的田晓生等[18]选用 A356 铝合金为轮毂铸件的材料，用 ProE 完成轮毂设计，利用 VE 划分体网络，边界条件选择空冷条件。再使用 ProCAST 模拟低压铸造充型、凝固过程，采用新山判据法[19]预测缩孔和缩松。最终通过合理设计水冷管道来减少缩孔和缩松。大型铝合金产品由于体积过大，浇铸时易产生缩松、缩孔等缺陷。赵有伟等[20]通过 ProCAST 模拟分析铝合金罐体低压铸造时的流场和温度场，判断铸造缺陷，通过分析结果优化铸造工艺。赵有伟等将冷铁安放于铸件两端及加强筋处，这极大地减少缩孔、缩松等缺陷，提高了铸件质量。

张章等[21]使用 Magma 软件模拟优化 ARH380A 箱盖金属型低压铸造工艺，分析铸件凝固过程。张章等发现模具温度在 250℃ 以上时能减少铸件缩松现象；在不影响排气情况下，充型时间短可以消除铸

件法兰的缩松; 浇铸温度选择为 730℃~740℃时, 缩松现象有所减少。为降低研发成本、缩短开发周期, 樊利国[22]基于 OptiStruct 结构优化软件, 通过 Brakingprofile 和 Curbstone 设计 18×7.5 低压铸造铝合金轮毂, 再结合 HyperMesh、弯曲疲劳试验、13° 冲击载荷试验和径向疲劳载荷试验完成轮毂造型拓扑优化, 最终产品经过 FEA 验证合格。中国中车有限公司的陈红圣等[23]对高速动车组铝合金齿轮箱的低压铸造工艺进行了研究, 分析判定缩松、缩孔、针孔、气孔等铸造缺陷, 通过 Magma 模拟凝固过程优化铸造工艺。陈红圣等优化冷铁、冒口设计以减少缩松缩孔现象, 同时采用旋转除气法[24]减少氧化物和氢含量以减少针孔, 再采用外模开排气孔、掏空泥芯等方式减少气孔缺陷。

#### 4. 铝合金低压铸造自动化研究现状

低压铸造铝合金铸件质量的好坏很大程度取决于模具温度与铸造压力的控制。董龙虎[25]用 PLC 相关技术, 选择西门子 S7.300PLC 为核心的自动控制系统, 然后利用数据采集卡准确检测液面压力, 再利用数字组合法实现液面压力的调节。陈晨基[26]采用 S7-200PLC 技术, 选择 QBE9000-P16 压力传感器和 PT100 温度传感器, 采用 S7-SCL 语言编程完成新的控制系统, 实现了铝合金低压铸造自动化生产。经实践生产证明, 采用自动化生产的低压铸造铝合金的稳定性和精确性获得提高。

刘宁等[27]对薄壁铝合金低压铸造过程分析后发现不同时间的液面压力不同。刘宁等采用的单片机控制器为 C8051F340, 使用 PTB203S 压力传感器采集压力数据, 同时将数据导入 PID 算法, 优化 PID 算法, 以 PID 算法为核心实现压力控制系统, 再用 MATLAB7.10 对压力控制系统进行仿真模拟, 并对比文献[28]中所采用的 PLC 压力控制方法, 发现单片机压力控制方法比 PLC 压力控制方法更稳定。

#### 5. 展望

近年来, 各个国家都视节能减排为奋斗目标, 故包括汽车工业等都正朝着轻量化合金的应用方向发展。铝合金低压铸造法已被深入的研究, 并且获得广泛应用。数值模拟技术对优化铝合金低压铸造工艺起着重要作用。近年来, 为限制铸件缺陷, 广泛使用过程模拟。在交互式模拟环境中进行多相铸造过程模拟(多物理域的热流体模拟)及铸造材料和力学性能模拟[29]。利用计算机数值模拟技术可以模拟出铝合金低压铸造充型过程、冷却凝固过程, 提前发现铝合金低压铸造缺陷, 优化工艺参数, 提高铸件质量。以计算机数值模拟技术为基础的铝合金铸造工艺模拟优化将成为铝合金低压铸造的一个发展趋势。

#### 基金项目

江苏省重点研发计划 - 产业前瞻与共性关键技术项目(BE2015100)。

#### 参考文献 (References)

- [1] 王昕. 铝合金汽车轮毂的生产方法[J]. 轻合金加工技术, 2001, 29(4): 38-42.
- [2] 龚正鹏. 新型铝合金轮毂低压铸造模具设计与工艺[J]. 世界有色金属, 2017(1): 19-21.
- [3] Puga, H., Barbosa, J., Azevedo, T., et al. (2016) Low Pressure Sand Casting of Ultrasonically Degassed AlSi7Mg0.3 Alloy: Modelling and Experimental Validation of Mould Filling. *Materials & Design*, **94**, 384-391.
- [4] Barbosa, J. and Puga, H. (2017) Ultrasonic Melt Processing in the Low Pressure Investment Casting of Al Alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, **244**, 150-156.
- [5] 代颖辉. 大直径、宽轮辋低压铸造 A356 铝合金车轮轮辋缺陷及性能的改进[J]. 铸造, 2016, 65(9): 920-923.
- [6] 薛喜伟, 王贵. A356.2 低压铸造铝合金车轮表面针孔原因分析[J]. 铝加工, 2016(4): 31-35.
- [7] 卢雅琳, 于小健, 李兴成, 等. 双级时效对低压铸造铝合金组织和力学性能的影响[J]. 热加工工艺, 2016, 45(8): 190-192.
- [8] 毕建峰, 鞠立彬, 许力, 等. V 法低压铸造技术在 GIS 铝合金罐体生产中的应用[J]. 中国铸造装备与技术,



- 2016(1): 49-51.
- [9] 庞胜仑, 徐通生, 赵松庆, 等. 用 V 法造型铸造 ZL101A-T6 铝合金耐压罐体的工艺试验研究[J]. 铸造技术, 2009, 30(10): 1246-1248.
- [10] Sui, D., Cui, Z., Wang, R., *et al.* (2016) Effect of Cooling Process on Porosity in the Aluminum Alloy Automotive Wheel During Low-Pressure Die Casting. *International Journal of Metal Casting*, **10**, 32-42.
- [11] Jiang, W. and Fan, Z. (2014) Gating System Optimization of Low Pressure Casting A356 Aluminum Alloy Intake Manifold Based on Numerical Simulation. *China Foundry*, **11**, 119-124.
- [12] 周鹏, 薛喜伟, 李鸿标, 等. 低压铸造铝车轮模具下模热变形补偿技术研究[J]. 铝加工, 2016(6): 27-30.
- [13] 卢永祥, 李龙. 盘类铝合金铸件低压铸造工艺优化[J]. 铸造技术, 2016(12): 2759-2762.
- [14] 白亚江. 基于轮毂盖的低压铸造铝合金轮毂轻量化设计[J]. 汽车零部件, 2016(9): 17-22.
- [15] 赵岩, 李秀荣, 臧勇, 等. 低压铸造大型铝合金轮毂数值模拟及工艺优化[J]. 特种铸造及有色合金, 2016, 36(10): 1063-1066.
- [16] 赵岩, 王玲娟, 李秀荣, 等. 低压铸造大尺寸铝合金轮毂的数值模拟及模具优化[J]. 特种铸造及有色合金, 2016, 36(6): 612-616.
- [17] 黄粒, 杜旭初, 罗传彪, 等. ZL114A 铝合金油路壳体低压铸造工艺研究[J]. 特种铸造及有色合金, 2016, 36(8): 826-829.
- [18] 田晓生, 邓梦洁, 于慧, 等. 汽车轮毂用 Al-Si 合金低压铸造数值模拟[J]. 热加工工艺, 2016, 45(7): 89-91.
- [19] Niyama, E., Uhida, T., Morikawa, M., *et al.* (1982) A Method of Shrinkage Prediction and Its Application to Steel Casting Practice. *The Journal of Japanese Foundry Engineering Society*, **54**, 507-517.
- [20] 赵有伟, 赵毅红, 郑志伟, 等. 铝合金罐体低压铸造工艺研究与分析[J]. 特种铸造及有色合金, 2016, 36(11): 1160-1162.
- [21] 张章, 王知鸷, 王沛培, 等. CRH380A 箱盖低压金属型铸造工艺研究[J]. 铸造设备与工艺, 2016(2): 11-13.
- [22] 樊利国. 18X7.5 低压铸造铝合金轮毂的轻量化设计[J]. 机械研究与应用, 2016, 29(5): 130-132.
- [23] 陈红圣, 徐贵宝, 董雯, 等. 高速动车铝合金齿轮箱体低压铸造工艺的研究[J]. 铸造, 2017, 66(1): 6-10.
- [24] 左玉波, 蔺玥, 康铁瑶, 等. 转子转速和气体流量对 2524 铝合金除气效果的影响[J]. 东北大学学报自然科学版, 2016, 37(5): 653-657.
- [25] 董龙虎. PLC 技术下低压铸造控制系统的设计与实现[J]. 信息通信, 2016(11): 274-275.
- [26] 陈晨. 基于 S7-200PLC 技术实现铝合金压铸件自动化生产[J]. 世界有色金属, 2016(12): 118-120.
- [27] 刘宁, 俞宗佐, 苗立伟. 基于单片机的薄壁铝合金低压铸造充型压力控制研究[J]. 铸造技术, 2016(12): 2724-2726.
- [28] 李文森. 低压铸造机械 PLC 控制系统研究[J]. 铸造技术, 2013(7): 909-911.
- [29] Horr, A.M., Angermeier, C. and Harrison, A. (2014) Full through Process Simulation for Low Pressure Die Casting—From Casting to Design. *Materials Science Forum*, **794-796**, 118-123.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.794-796.118>