

# 铝合金压力铸造技术的现状与展望

张洪信, 姜 勇, 张铁柱, 张纪鹏  
(青岛大学车辆电子技术研究所, 山东青岛 266071)

摘要: 论述了铝合金压力铸造技术的特点和研究现状, 介绍了几种具有代表性的铝合金压力铸造方法、工艺装备及铸造CAE技术, 并对今后的研究动向进行了展望。

关键词: 铝合金; 压力铸造; 传感器; 压铸机; 模具

中图分类号: TB31; TG21 文献标识码: A 文章编号: 1001-4977(2007)12-1247-04

## Status and Prospect of Aluminum Alloy Pressure Die Casting Technology

ZHANG Hong-xin, JIANG Yong, ZHANG Tie-zhu, ZHANG Ji-peng  
(Institute of Vehicle Electron & Technology, Qingdao University, Qingdao 266071, Shandong, China)

Abstract: Study status of aluminum alloy pressure die casting technology and its character were discussed, a few representative casting methods, processing equipment and casting CAE technologies were described, and the development trend were given also. Study status of aluminum alloy pressure die casting technology and its character were discussed, a few representative casting methods, processing equipment and casting CAE technologies were described, and the development trend were given also.

Key words: aluminum alloy; pressure die casting; sensor; die casting machine; die

近几十年来, 由于铝的冶炼方法与工艺的不断改进, 尤其是铝材料基础问题的突破, 铝工业发展速度惊人, 铝合金在交通运输、航空航天、轻工建材、通讯、电子等部门获得广泛的应用。世界各国越来越重视对铝合金材料成形技术特别是压铸技术的研究开发和推广应用。汽车工业是铝合金材料的主导消费市场, 同时汽车技术的发展更是促进了铝合金成形技术的研究。

我国的压铸工业在近半个世纪中, 从无到有, 发展成为一个新兴产业。汽车、摩托车工业始终是压铸工业最大的市场, 我国压铸工业受国内汽车、摩托车工业的跃升和拉动而进入一个新的发展时期。压铸件产量从1990年的14.9万吨到1997年的31.2万吨, 7年间翻了一番; 从1997年的31.2万吨到2002年的62.4万吨, 5年间又翻了一番; 2003年为70.8万吨, 2004年为80万吨, 年增长保持20%以上。压铸件主要是铝合金件, 2002年用于汽车、摩托车行业的铝合金压铸件达41.5万吨, 占当年全国压铸件产量的三分之二。

我们应该明确铝合金压力铸造技术研究方向, 加大投入力度, 尽快形成自主知识产权的先进共性技术, 以及其它铸造工艺, 普遍形成产业规模, 扭转我国铸造

工艺落后、能源和资源消耗高、技术含量低、铸件附加值不高、国际竞争力不强的状况。

### 1 铝合金压力铸造技术的特点

铝合金压力铸造是在压铸机的压室内, 浇入液态或半固态的铝合金, 使它在高压和高速下充填型腔, 并且在高压下成型和结晶而获得铸件的一种铸造方法。压力铸造的主要特点在于。

(1) 生产效率高。充型压力在20~200 MPa范围, 充型的初始速度为15~70 m/s, 充型时间仅为0.01~0.2 s, 铸造的生产周期短, 一次操作的循环时间约5~180 s, 适合大批量生产, 年产20万件以上将非常经济。

(2) 铸件精度高, 性能好。铸件轮廓清晰, 尺寸精度高(可达2~5级), 铸件表面粗糙度低(可达 $R_a 1.6\sim 25$ ), 无需机械加工或少量机械加工即可装配, 适合铸造薄壁铸件(最小壁厚可达0.3 mm)。铸件含气量少、组织致密、力学性能好, 其抗拉强度、塑性、疲劳寿命、导热性等许多指标都强于灰铸铁。

(3) 铸造采用镶铸法可以省去装配工序并简化制造工艺。镶铸的材料可为钢、铸铁、铜、绝缘材料等, 制备出有特殊要求的铸件。

(4) 由于充型速度快, 空气难以排出, 容易被压碎为细密的气泡残留在铸件内, 气泡过大则铸件不能热处理, 甚至报废。

## 2 铝合金压力铸造技术现状分析

### 2.1 应用方面

铝合金压力铸造技术是压铸行业的重要依托技术。我国压铸企业有1 000多家, 其中60%以上从事铝合金铸件压铸生产, 铝合金压铸占有重要地位(表1是2005年中国有色金属压铸件产量比例情况)。

表1 2005年中国有色金属压铸件产量比例情况

Table 1 Proportion of nonferrous metal die castings output of China in 2005

压铸合金	铝压铸件	锌压铸件	镁压铸件	铜压铸件
产量/万吨	63.07	21.85	0.89	0.61
所占比例 (%)	73.00	25.20	1.00	0.80

铝合金压力铸造技术已经在航空航天、轻工建材、通讯、电子、汽车等领域得到广泛应用。在西方发达国家, 汽油机的大部分缸盖及半数缸体都采用铝合金压铸件, 柴油机铝合金缸盖、缸体的比例也与日俱增。近年来, 这一趋势在我国表现的也非常明显。广州东风本田发动机有限公司率先引进技术生产大批压铸轿车铝合金缸体。随后, 重庆长安汽车集团、长安铃木汽车公司、哈尔滨东安汽车动力公司等均于2002年先后引进全自动生产线, 压铸汽车发动机铝合金缸体。上海乾通汽车附件公司引进3 550 t全自动压铸生产线, 致力于更大的铝合金压铸件开发与生产。最近, 长春一汽集团引进2 700 t全自动压铸生产线, 宜兴江旭铸造公司引进3 200 t全自动压铸生产线, 2004年9月广东鸿图科技股份有限公司引进的3 000 t自动压铸机生产线正式投产, 为生产、开发大型铝压铸件创造了条件。技术的引进既花费了国家大量外汇, 又增加了铸件成本, 同时还使国内相关企业丧失了一大部分市场<sup>[1-3]</sup>。

国内市场亟待拥有自己的铝合金高压铸造技术, 依此形成产业规模, 尽快扭转被动局面。

### 2.2 工艺方法

铝合金压铸件最容易出现的缺陷是内部气孔和疏松, 这对其性能和扩大其应用范围都有不利的影 响。为了解决这个问题, 近年来国内外采用了一些新的工艺措施, 以下4种是比较有代表性的。

(1) 真空压铸。真空压铸是利用辅助设备将压铸型腔内的空气抽出, 在形成真空状态下, 将金属液压铸成形的方 法。真空压铸的特点是: 可消除或减少压铸件内部的气孔, 提高铸件的力学性能和表面质量;

真空压铸时大大地减少了型腔的反压力, 可使用较低的比压甚至可用小机器压铸较大和较薄的铸件;

可使用铸造性能较差的合金。

(2) 加氧压铸。加氧压铸是在铝合金液充填型腔前, 用氧气充填压室和型腔而取代其中的空气。充填时, 氧气一方面通过排气槽排出; 另一方面由喷射的铝液与没有排出的氧气发生化学反应而产生氧化铝微粒, 分散在压铸件内部, 使压铸件内不产生气孔。加氧压铸的特点: 消除或减少气孔, 提高铸件质量, 其中提高机械强度达10%、伸长率为1.5~2倍, 因压铸件内无气孔, 可经热处理从而使强度进一步提高, 屈服极限增加, 冲击性能也显著提高; 压铸件可在290~300 的环境中工作; 加氧压铸与真空压铸相比, 结构简单, 操作方便, 投资少。

(3) 半固态压铸。半固态压铸是在液态金属凝固前, 进行强烈搅拌, 在一定的冷却速率下获得约50%甚至更高的固体组分的浆料。用这种浆料进行压铸, 通常有流变铸造法和搅溶铸造法2种。在近30年的时间内, 半固态成形技术由于具有独特的技术优势和广阔的应用前景倍受人们的关注并且发展迅速, 与液态压铸相比有如下优点: 由于半固态金属在搅拌时已有50%的熔化潜热散失掉, 所以降低了浇注温度, 大大减少了对压室、压铸型腔和压铸机的热冲击, 因而可以提高压铸模的使用寿命; 半固态金属粘度比液态金属大, 内浇道处流速低, 因而充填时少喷溅, 无湍流, 卷入的空气少; 由于半固态金属收缩小, 所以铸件不易出现疏松、缩孔, 铸件质量高; 半固态金属像软固体一样输送到压室, 操作简单方便<sup>[5-8]</sup>。

(4) 先进模式的液态高压铸造。为了获得高质量的高压铸件以及缩短模具的设计过程和降低制造成本, 最有效的办法是利用CAE(计算机辅助工程, computer aided engineering) 技术进行优化设计。但是由于高压铸造的压力高、充型时间短, 目前在国际上对诸如模具变形、模具刚度、流动时间、压缩空气的压力以及真空的泄漏等因素的预测精度还比较低(仅有30%至60%的准确率)。特别是由于边界条件难于把握, 是制约提高预测精度的关键。所以应该先从边界条件入手, 对实际高压铸造过程的各个因素进行测定, 得到精确的CAE边界条件, 以提高预测精度, 优化铸造过程与模具结构, 监控铸造过程并使其可视化, 这是先进模式的液态高压铸造工艺。目前国际上几个顶尖的汽车制造企业如日本Toyota公司、德国Daimler-Chrysler公司等, 正在斥之巨资不遗余力地深化这方面研究, 使其走向实用。我国这方面研究基本上还是空白。

无论是真空压铸还是加氧压铸都增加了设备与工艺的复杂性, 增加了铸造成本。半固态压铸比液态压铸节省能源, 但工艺复杂、效率较低, 另外半固态压铸主要用来铸造性能优良的小型零件(目前国际上已铸出7 kg的零件), 不适合铝合金发动机气缸盖、气缸

体等大而复杂的零部件铸造。对先进模式的液态高压铸造，是生产优质、精密、大型铝合金铸件的最有竞争力的铸造工艺，也是我们今后的研究重点<sup>[9-10]</sup>。

### 2.3 工艺装备

早在40多年前，国际上就已经有生产铝合金发动机气缸体的压铸机了。目前监测技术与计算机控制技术在压铸生产中得到较好应用，工业发达国家所生产的压铸机大都实现了CNC化，能检测压力室温度、推杆位移和速度，并实现铸造过程的伺服控制。我国相对比较落后，检测仪器、控制系统及模具制造等方面有许多关键技术还是空白<sup>[11]</sup>。

国内压力铸造模具的质量及设计工艺也存在很多不足，主要表现在以下方面：压铸模使用寿命短，以大、中型铝合金压铸模为例，国产模具的使用寿命一般在3~8万件之间，平均6万件，而国外生产的同类模具的使用寿命可以达到10~15万件；模具可靠性较差；我国在压铸模的设计和制造方面，目前仍主要依靠设计人员的经验，CAE技术尚未有效应用<sup>[12-13]</sup>。

### 2.4 压力铸造CAE技术

压力铸造CAE主要包括计算机辅助铸造过程模拟、工艺设计、应力分析及缺陷预测等内容，其中铸造过程模拟是基础和核心。

目前，铸造过程模拟已发展为铸造过程最具潜力的模拟预测工具，并在某些方面已经进入工业化应用阶段，成为铸造行业发展不可缺少的环节。

铸造过程模拟研究主要集中在以下4个方面。充型凝固模拟。其发展趋势是辅助设计浇注系统。缩孔缩松预测。这方面钢铸件的研究已较为成熟。凝固过程应力模拟。主要针对铸件残余应力和残余变形进行模拟，而液固共存时应力场数值模拟是应力模拟的核心，也是整个铸造过程模拟的难点，主要借助有限元分析技术。国内外不少数值模拟软件已经具有应力分析的功能。凝固过程微观组织模拟。微观组织模拟是一个复杂的过程，比凝固和充型过程模拟具有更大的困难。近年来各种微观组织模拟方法纷纷出现，已成为材料科学的研究热点之一。目前主要的模拟方法有确定性模拟、随机性模拟、相场方法、介观尺度模拟方法等。

现在使用的铸造过程模拟软件主要有芬兰的CastCAE4.0，美国的PAM-Cast、OpticCast and Flowcast，英国的Mavls Software，瑞典的Nova Flow & Solid和德国的Magmasoft等，各有特点，各有侧重，但基本都可以完成充型模拟、凝固分析、残余应力和变形分析，有的也能对铸件缺陷和性能预测等内容进行分析，对铸件的显微组织分析。以上软件只要边界条件准确，分析精度基本能够达到要求。

目前，国内有关低压铸造（铸造压力为0.03 MPa）

## 3 展望

液态压铸有许多课题和项目尚待深入研究，也存在一些难点需要解决，诸如填充理论中流动形态的分析和实现，型腔中各种参数的动态即时测定以规范参数值并智能化，热交换理论中温度场分布以确定控温效果，模具热平衡理论的温度参数的确定，实时压射技术中“真正实时”的实施方法，高能充型中最佳能量值的确定等等。今后应先从以下几方面展开工作。

(1) 开发铝合金液态压铸的专用传感器和探测器，如高温用涡流传感器、高温铝合金接触传感器、铝液接触式温度传感器、高温超声波传感器、高温铝液压力传感器、X射线晶粒探测器等，对压射位移、压力、速度等工艺参数进行监控，并对压铸件的性能、组织、表面与内部质量及含气量等进行检测，获得对铸件质量有影响的数据，了解工艺参数与压铸件质量的关系，并用于铸造过程及模具设计的CAE技术，最终达到提高压铸件质量的目的<sup>[17]</sup>。

(2) 应用高新技术特别是伺服控制技术，以提高压铸过程的实时控制精度。压铸件的质量在很大程度上取决于压铸机压射性能的优劣。现代化的压铸机在压射控制方面对冲头速度和压力曲线能够做到精确编程，但是每一次压射过程都会与事先所设定的曲线产生无法避免的偏差，如何在压射过程中及时修正偏差，纠正压射中的相应数据，并在工艺要求允许的范围内将其转换成修正后的数据，并回到原来所设定的最小偏差范围之内，这就是实时压射控制。要精确地检测掌握压射中参数变化的规律，通过对压铸机的伺服控制使铸造过程始终处于最合理状态<sup>[18]</sup>。

(3) 压力铸造过程的CAE技术。通过传感器检测出压铸过程的有关信号后，应进一步模拟研究充填过程，使整个压铸过程可视化，从而分析出注射速度、射出速度、高速切换位置、注射压力、模具温度、铸造温度等因素的影响，这些研究结论对压铸生产过程控制、模具设计具有一定的指导意义<sup>[16-20-21]</sup>。

(4) 高性能压力铸造模具设计技术。设计不合理将使模具使用寿命降低，直接导致生产效率下降和产品成本提高。随着车辆和电机等产品向轻量化发展，使用压铸模的比例将不断提高，对压铸模的寿命和复杂程度也将提出越来越高的要求。通过对压力铸造过程的深入把握及CAE技术的应用，设计出高性能的模具<sup>[22-23]</sup>。

参考文献：

- [1] 吴浚郊. 轿车发动机铝合金缸体和缸盖的铸造技术[J]. 铸造技术, 2002, 23(5): 273-275.
- [2] 钱人一. 轿车发动机机体的轻量化技术[J]. 汽车工艺与材料, 2006(6): 1-5.

[3] 徐明, 徐佩芬. 铸造行业节能技术应用及发展建议 [J]. 现代铸铁, 2006 (4): 42-46.

[4] HE dwig Lismont, Volkmar Gibietz. Multi-step vacuum process optimizes die casting [J]. Casting Plant and Technology International, 2006 (2): 28-33.

[5] 杨卯生, 毛卫民, 钟雪友. 半固态合金成型的技术现状与展望 [J]. 包头钢铁学院学报, 2001, 20 (2): 187-194.

[6] 邹茂华, 刘昌明, 左宏志, 等. ZL112Y半固态压铸摩托车零件的组织性能研究 [J]. 特种铸造及有色合金, 2005, 25 (1): 42-44.

[7] 左宏志, 刘昌明, 邹茂华, 等. ZL112Y压铸铝合金摩托车零件的半固态高压铸造成形 [J]. 中国有色金属学报, 2003, 13 (4): 949-955.

[8] SEO P K, PARK K J, KANG C G. Semi-solid die casting process with three steps die system [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 153-154 (10): 442-449.

[9] JOHN L Jorstad. Future technology in die casting [J]. Die Casting Engineer, 2006, 50 (5): 18-22, 24-25.

[10] JORSTAD J.L. The aluminum foundry: today, the Next horizon and the future [J]. Transactions of the American Foundry Society, 2006, 114: 1091-1097.

[11] 孙伟英, 赵继印, 盖爽, 等. 压铸工艺参数在线检测及远距离数据通讯系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2003 (11): 36-38.

[12] 田国春, 敦敦如. 从铝合金特种铸造看我国压铸工业的发展 [J]. 铸造设备研究, 2006 (1): 48-49.

[13] 宋才飞. 中国压铸产业的发展特征与规律 [J]. 世界有色金属, 2006 (7): 59-64.

[14] 曹洪吉, 宋延沛, 王文焱. 铸造过程计算机模拟研究应用现状与发展 [J]. 河南科技大学学报 (自然科学版), 2006, 27 (1): 5-9.

[15] FLENDER Erwin, HARTMANN Gotz, FRANKE Jan. Modeling and simulation in high pressure die casting [J]. Metal Casting Technologies, 2006, 52 (1): 27-38.

[16] HAN Qing-you, XU Han-bing. Fluidity of alloys under high pressure die casting conditions [J]. Scripta Materialia, 2005, 53 (1): 7-10.

[17] 陈冷, 毛卫民, 杨平, 等. 基于X射线二维衍射图像的晶粒尺寸在线检测方法 [J]. 中国体视学与图像分析, 2004, 9 (3): 163-168.

[18] RIED Peter, JOHN J Moore, JIAN Lin, et al. Design methodology for optimized die coatings used in aluminum pressure diecasting [J]. Die Casting Engineer, 2005, 49 (5): 40-46, 49-55.

[19] CHEN Z W. Formation and progression of die soldering during high pressure die casting [J]. Materials Science and Engineering. A, Structural Materials, 2005, 397 (1-2): 356-369.

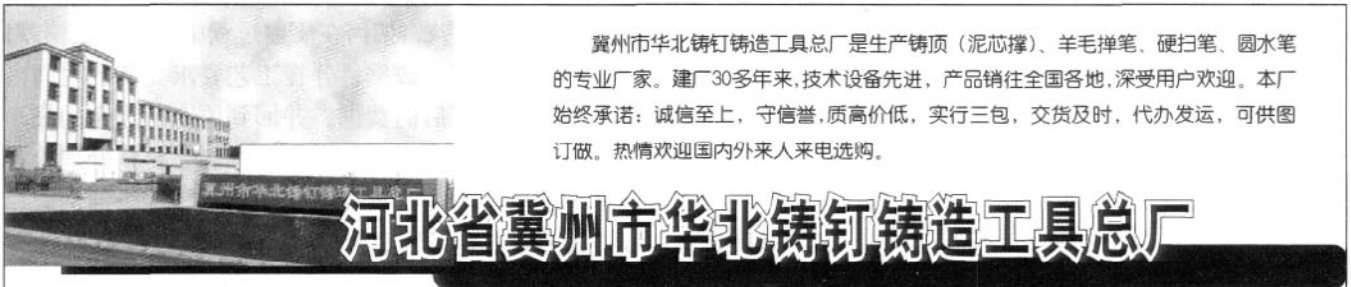
[20] 苏鸿英. 半固态铸造技术的进展 [J]. 有色金属, 2004 (10): 39-42.

[21] 路贵民, 赵大志, 崔建中. 半固态金属成型过程的数值模拟技术概况 [J]. 铸造, 2006, 55 (12): 1221-1226.

[22] 罗蓬, 胡侨丹, 杨屹, 等. 压力铸造工艺及模具技术的现代设计理论方法研究 [J]. 铸造技术, 2004, 25 (1): 55-57.

[23] 陈光明. 压铸模CAD/CAE/CAM的研究现状与发展 [J]. 铸造技术, 2004, 25 (2): 148-149.

(编辑: 刘冬梅, ldm@foundryworld.com)



冀州市华北铸钉铸造工具总厂是生产铸顶(泥芯撑)、羊毛掸笔、硬扫笔、圆水笔的专业厂家。建厂30多年来, 技术设备先进, 产品销往全国各地, 深受用户欢迎。本厂始终承诺: 诚信至上, 守信誉, 质高价低, 实行三包, 交货及时, 代办发运, 可供图订做。热情欢迎国内外来人来电选购。

## 河北省冀州市华北铸钉铸造工具总厂

一、常用修造工具规格 (材质为不锈钢或弹簧钢)

/mm

名称	型号	规格	名称	型号	规格	名称	型号	规格	名称	型号	规格
刮刀	2#	160×45	秋叶	1#	180×30	三角光子	2#	50×30	东北压钩	1#	270×50
尖刮刀	3#	140×35	单头钢批	2#	240×22	蛋圆光子	1#	75×50	圆型钩	2#	200×30
提钩	2#	350×15	单头钢批	3#	210×20	压钩	1#	270×50	长把压钩	1#	220×30
提钩	4#	300×10	法兰钩	1#	270×14	压钩	2#	240×45	柳叶钩	1#	240×40
钢批钩	1#	280×16	榔头铲	1#	240×24	单齐压钩	2#	240×45	单开提钩	2#	320×12

二、掸笔、硬扫笔: 20~120 mm 10个品种; 圆水笔: 12~17 mm 3个品种;

三、铸顶(芯撑)有圆、方、长方形、单、双、多柱、异形铸顶等各种铸铁、铸钢用铸顶材质为A3或A3F, 表面镀锌、镀锡等;

四、过滤网、木型工具、皮风箱、铸尺、百叶轮、角磨片、树脂油、固化剂、粘剂、木型锤等。



图中从左至右依次为: 1.刮刀 2.尖刮刀 3.压勾 4.单齐压勾 5.提钩 6.单头钢批 7.秋叶 8.单开提钩 9.法兰钩

### 诚征各地代理商

厂址: 河北省冀州市城南白庄工业区 (053200) 联系人: 白英韩 13831863803 白其水 13582484193 (中国农行金穗卡, 户名: 白英韩 卡号: 955998213032490310)  
 电话/传真: 0318-8682135 网址: www.hbzhs.com E-mail: hbbyh@hbzhz.com  
 银行汇款: 冀州市华北铸钉铸造工具总厂 开户行: 市中行 账号: 14310908091001

经销处

哈尔滨市铸材门市部 13831863803 包头市铸材经销处 13633184318  
 杭州市中亚铸材有限公司 13932860882 贵阳市忠信铸材公司 13831888322  
 长沙市铸材办事处 13831823340 西宁市铸材办事处 13931810511  
 上海市铸材办事处 13932894585 南宁市铸材办事处 0771-8994686