

# 差压铸造控制系统的研究

马旭梁 王宏伟 曾松岩

(哈尔滨工业大学材料科学与工程学院, 哈尔滨 150001)

**摘 要** 采用高响应数字化气动元件——组合式数字阀, 研制开发差压铸造液面加压控制系统, 研究系统控制算法及控制精度影响因素。结果表明: 采用 PCM 控制算法控制数字阀的开度及开启时间提高了系统的响应速度和控制精度, 在生产中有效提高了铝合金性能。

**关键词** 差压铸造, 组合式数字阀, 控制算法

## Research on Counter-Pressure Casting Control System

Ma Xuliang Wang Hongwei Zeng Songyan

(School of Material Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

**Abstract** Based on digital pneumatic component named of combined digital valve, the counter-pressure casting control system is developed. Its control algorithm and the factors which have effects on control precision are also studied. Results show that response velocity and control precision of the system are increased by controlling the area and time of the open valve by use of pulse code modulation control algorithm, and the property of the aluminum alloy casting produced by the control system is also improved effectively.

**Key words** Counter-Pressure casting, Combined digital valve, Control algorithm

### 1 引言

在**高强高韧大型薄壁复杂铝合金铸件**的生产中,对其内在质量提出了更高的要求,利用常规生产方法已不能满足需要。差压铸造能有效减少铸件收缩,增加铸件致密度,已在生产中得到应用<sup>[1~6]</sup>。差压铸造控制系统是保证差压铸造按工艺曲线实现既定加压工艺的关键。在差压铸造控制系统中,金属液充填速度主要由气体流量来控制,因而系统中流量控制元件决定整个控制系统的响应速度和精度。在低差压铸造液面加压控制系统中目前常采用薄膜调节阀作为流量控制元件,由于其特点,阀芯位移不能跳跃而造成流量大小不能实现快速变换,延滞性严重,系统响应速度慢,从而造成充填速度转换滞后,金属液在充填铸型过程中速度不平稳,液面波

动,由此可能卷入气体、产生氧化夹杂,降低铸件产品性能。

组合式数字阀是一种新型的流量控制元件<sup>[7]</sup>,其基本单元由一个二进制的节流孔与二位二通电磁阀串联构成,组合式数字阀则由多个这样的基本单元并联而成,通过控制数字量的输出即可控制组合式数字阀的开度,从而控制气体流量。与薄膜调节阀相比具有响应速度快,控制精度高等优点,可直接接受计算机数字量的控制,为差压铸造控制系统的数字化、实时性控制提供了保证。如何确定系统控制算法,控制数字阀的开启与闭合以及开启时间是差压铸造控制系统控制精度的关键。

本系统采用组合式数字阀,利用数字化控制算法控制差压铸造的铸造生产过程,为生产优质合格

收稿日期: 2004 - 03 - 19; 修回日期: 2004 - 07 - 26

作者简介: 马旭梁, 1973 年出生, 博士研究生, 主要从事材料加工过程质量检测与控制技术的研究工作

的高强高韧铝合金铸件提供控制保证。

## 2 系统控制算法

在**高强高韧铝合金差压铸造**控制系统中,参数

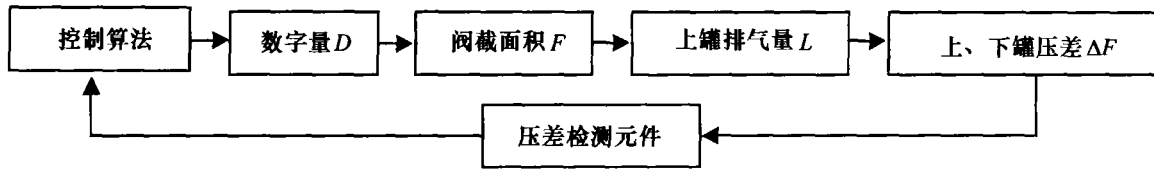


图 1 差压铸造生产过程参数传递示意图

Fig 1 Schematic diagram of relations among parameters in the counter-pressure casting control system

在现有的差压铸造控制系统中,常采用基于数学模型的常规控制算法,如 PD 调节算法,或稍加改进的数字 PD 调节算法<sup>[8~9]</sup>,由于差压铸造过程是一个复杂的动态过程,所建立的控制系统模型都是经过理想化或适当的假设后获得的,很难得到准确的数学模型,因而基于数学模型的常规控制自适应性差。作为差压铸造主要控制元件——组合式数字阀的应用增加了系统控制算法的灵活性,易于实现数字化直接控制,其软件功能很强,能够实现多变量和自适应控制,方便地完成大量环外处理和环内的特殊补偿任务。

当组合式数字阀开度一定时,其流量随数字阀上下端压差的变化而变化,金属液充填速度也随之变化,为了使系统气体流量或金属液充填速度稳定,在每一个工作周期的数字阀开度要在前一个采样周期的基础上增加或减少一些开度。组合式数字阀开度的控制可按脉冲码调制 (PCM) 控制法进行精确控制。差压铸造 PCM 控制中,依靠控制组合式数字阀中各个阀的开关组合来控制流量,而各个阀的开关通过计算机输出数字量控制码来实现,这样计算机按照 PCM 算法输出控制码即可控制气体流量,从而控制金属液在型腔内的充填速度。控制码的输出  $K$  由计算机按式 (1) 给出。

$$K_0 = \text{CNT} \left( \frac{2^n \cdot v_p}{v_n} \right)$$

$$K_{n+1} = K_n + K \quad (1)$$

$$K = \text{CNT} \left( \frac{2^n \cdot (v_p - v_p)}{v_n} \right)$$

式中,  $K_0$  为组合阀初始控制码,  $K_{n+1}$  为第  $n+1$  个周期内组合阀控制码,  $K_n$  为第  $n$  个周期内组合阀

的传递过程如图 1 所示。由图 1 可知,直接控制数字量的大小可直接控制金属液充填速度。

控制码,  $K$  为各周期内组合阀控制码增量,  $v_n$  为第  $n$  位阀压差速度,  $v_p$  为设定压差速度,  $v_p$  为实际压差速度,  $n$  为组合阀中开关阀数量。

由式 (1) 可见,当实际压差速度接近设定压差速度时,系统则通过组合式数字阀最小位压差速度调节阀的开启与关闭调整金属液的充填速度。

### 3 系统控制精度

在用于生产**高强高韧铝合金**的差压铸造系统上进行多次试验,结果发现影响差压铸造控制系统控制精度的因素主要有以下几方面。

#### 3.1 组合式数字阀精度

组合式数字阀精度直接影响控制系统精度,它是系统本身精度的反映,通常用位数来表征其精度,如 8 位、10 位等,8 位表示它可以对满量程的  $1/2^8 = 1/256$  的增量作出反应。即系统所能达到的最大精度为:

$$E = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{2^n} \quad (2)$$

式中,  $E$  为系统最大精度,  $A_{\max}$  为系统最大可调速度,  $A_{\min}$  为系统最小可调速度,  $n$  为组合式数字阀位数。

为满足金属液充型平稳,应保证其最小调节值越小越好,此时要以增加系统体积和系统成本为代价,因此综合考虑控制精度和系统成本,该差压铸造控制系统确定组合式数字阀位数为 7 位。

#### 3.2 控制算法

在差压控制各阶段速度调节中,按给定的控制算法进行调节时,其阀开度调节量不大,但当金属液充填发生速度转换时,其速度相差较大,则转折点调节量相应也大。此时若仍按设定增量进行调节,则

系统不能马上达到设定速度,出现滞后现象,降低系统精度,如图 2(a)所示。实践证明,系统中采用如公式(1)的 PCM 控制算法,PCM 调节可有效地防止此现象,在控制过程中,根据速度误差来相应改变增量大小,显著降低了转折点误差,提高了系统的跟踪性和精度,如图 2(b)所示。

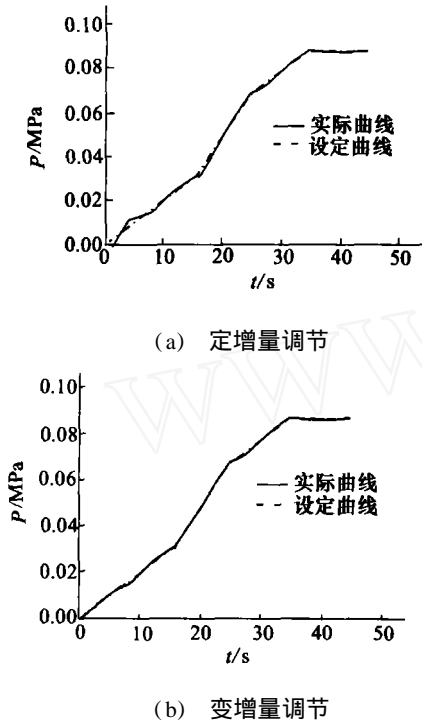


图 2 定增量调节与变增量调节工艺曲线对比  
Fig 2 Comparison of technical lines under invariable increment and change increment

### 3.3 系统采样周期

由于工控机代替了单片机,计算速度大大提高,同时数字阀的高速开启与关闭以及数模转换器的高频率转换和采样,使得系统采样周期很容易就能满足,但采样周期应与阀的开、关频率相配合,否则有可能造成组合式数字阀频繁动作,使系统出现振荡,数字阀开度在较大范围内波动(图 3),从而造成金属液面大幅度波动。其原因可解释如下,在控制过程中,假设存在速度误差,且实际速度小于设定速度时,如采样太快,则在一个周期内,系统中组合数字阀按给定的控制算法根据设定误差和设定增量进行了一次增量调节,实际速度的大小以一定速度增加,但当速度误差变化频率小于采样频率时,则在速度误差未达到设定误差范围时,系统已对组合式数字

阀进行了多次增量调节,一旦误差瞬时达到设定误差范围时,系统停止调节。但此时数字组合阀开度所对应的实际速度已超过了设定速度,系统在检测到速度误差后,按规定控制算法进行反向调节。在反向调节中,同样会出现开度超调现象,因而使得组合式数字阀的开度在一定范围内变化较大,虽然此时系统跟踪性较好,但由于数字组合阀的开关过于频繁,既影响其使用寿命,又会造成金属液面的不平稳充填,降低铸件产品质量。因而应充分协调好采样频率与数字阀控制频率之间的关系。

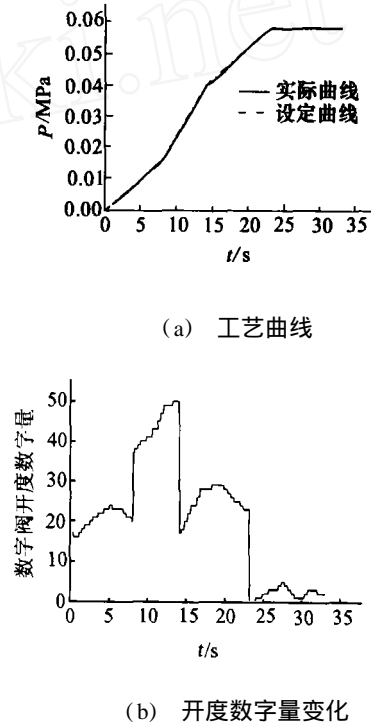


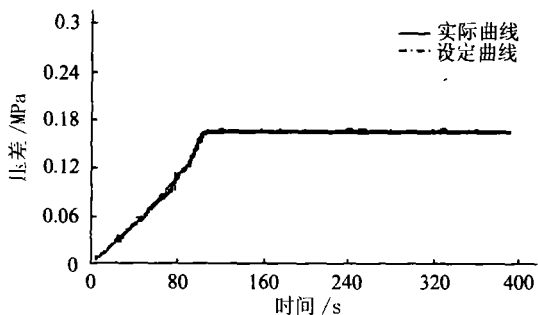
图 3 数字阀动作频率较高时工艺曲线及开度数字量变化

Fig 3 Technical line and area change of open valve under high on-off frequency of the valve

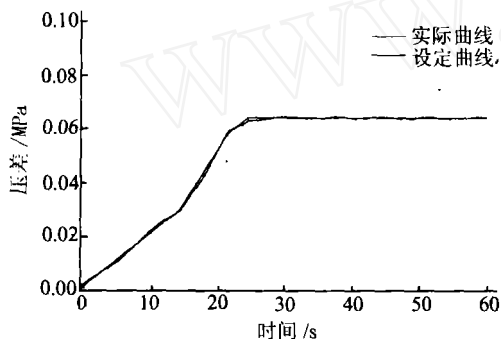
## 4 系统应用

图 4 为系统分别采用气动薄膜调节阀 [图 4(a)] 和组合式数字阀 [图 4(b)] 作为流量控制元件时控制系统的运行结果。气动薄膜调节阀低差压铸造控制系统已在洛阳某厂运行,系统跟踪最大绝对误差为 5 kPa,最大相对误差为 2.5%,保压压力波动小于 2 kPa。组合式数字阀低差压铸造控制系统已在西安某单位运行,系统的跟踪最大绝对误差为 0.12%,最大相对误差为 0.6%,保压压力波动小于

1 kPa。由此可见,用组合式数字阀组建低差压铸造控制系统理论与实际中均可行,且精度较薄膜阀大幅提高。



(a) 气动薄膜调节阀低差压铸造控制系统



(b) 组合式数字阀低差压铸造控制系统

图 4 不同控制系统运行结果

Fig 4 Different results between two control systems

(1)以组合式数字阀为基础,研制了差压铸造控制系统,提高了系统的响应速度,为保证系统控制精度提供了保证。

(2)组合式数字阀的应用为数字化控制提供了基础,研究了差压铸造控制系统 PCM 控制算法,并分析了 PCM 控制算法中影响系统控制精度的因素。

(3)该系统响应速度快,控制精度高,在实际生产中能有效保证工艺曲线的跟踪精度。

### 参考文献

- 赵恺瑞,任天庆. 真空差压铸造模糊控制系统. 中国铸机, 1992; (1): 8 ~ 11
- 任天庆,林海峰,曹文君. 差压铸造液面加压控制系统. 中国铸机, 1988; (1): 32 ~ 36
- Morimoto S. Development of a low pressure die casting process for improved soundness of aluminum casting AFS transaction, 1987; 95: 22 ~ 28
- 董秀琦,孙宝纯,金蕴林等. CLP - 3型低压铸造液面加压控制系统的研制及应用. 特种铸造及有色合金, 1993; (3): 10 ~ 16
- 董秀琦,王冬,王承志等. 低压及差压铸造理论与实践. 北京:兵器工业出版社, 1995
- 段庆文,董秀琦,刘海军等. CLP - 5型低压铸造液面加压控制系统的研制及应用. 铸造, 1995; (11): 13 ~ 17
- SMC(中国)有限公司现代实用气动技术. 北京:机械工业出版社, 1998
- 姚锡凡,陈统坚. 差压铸造的参数自调整模糊控制研究. 华南理工大学学报, 1998; 26(1): 120 ~ 124
- 盖玉先,刘会英. 低压铸造的模糊控制. 航天工艺, 2000; (6): 5 ~ 7

(编辑 任涛)

## 5 结论

# 特种胶黏剂

本成果研制出高温耐油胶黏剂和导热绝缘胶黏剂。高温耐油胶黏剂是为伺服机构转速传感器中磁芯与转盘的粘接组装而研制的。导热绝缘胶黏剂是为表面热敏电阻温度传感器的粘接安装而研制的。

高温耐油胶黏剂可用于航空液压油中工作的转速传感器组件的粘接,亦可用于耐压耐油密封,该胶黏剂达到国内先进水平。

导热绝缘胶黏剂,能常温固化,最高使用温度达 250℃,是导热绝缘连接、灌封的理想材料,广泛用于温度传感器的安装、电子元器件的灌封,散热器与发热元件之间的连接等。该胶黏剂达国内先进水平。本成果曾获部科技进步奖。

(航天材料及工艺研究所,北京 9200信箱 73分箱 100076)

·李连清·