

高等学校教材

# 压铸工艺与模具设计

杨裕国 主编



机械工业出版社

10-419-213

1021/34

高等学校教材

# 压铸工艺与模具设计

主 编 杨裕国  
参 编 骆胡生 刁庆胜  
主 审 陈余康



机械工业出版社

# 前 言

本书是根据 1993 年 12 月第三次全国高等学校锻压专业教学指导委员会模具专门化协作组召开的教材编写研讨会所制定的编写大纲编写的。本书可作为模具设计与制造专业、铸造专业、塑性成形工艺与设备专业、金属热加工专业的本科、专科教材，也可供各大、专院校的职大、电大、函大和培训班使用，并可供有关科技人员参考。

本书从实用的角度出发，在系统地介绍压铸技术的同时，围绕着提高铸件质量和延长压铸模寿命这一主题，重点介绍压铸模的设计方法，以获得优质的铸件。全书共分十一章，内容包括：压铸原理及其理论基础、压铸合金、铸件设计、压铸工艺、压铸新工艺、压铸机、压铸模设计概述、压铸模结构设计、压铸模的技术要求、压铸模的失效形式和提高压铸模寿命的措施、压铸模结构图例等，在各章的后面还附有思考题。

本书由无锡轻工大学杨裕国主编，国营 559 厂陈余康主审。全书编写分工如下：山东工业大学刁庆胜编写第一、四、五章；南昌大学骆树生编写第八章；杨裕国编写其余各章。主审陈余康对书稿进行了全面、认真的审查，并提出了许多宝贵意见，在此谨表示深切的谢意。

由于编者水平所限，书中缺点和错误在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者

1996 年 3 月

# 目 录

## 前言

<b>第一章 概述</b> .....	1	<b>第三节 铸件结构设计的工艺性</b> .....	23
第一节 金属压铸原理与压铸过程 .....	1	一、简化模具, 延长模具使用寿命 .....	23
第二节 压铸法的特点 .....	2	二、减少抽芯部位 .....	24
一、优点 .....	2	三、方便铸件脱模和抽芯 .....	26
二、缺点 .....	3	四、防止变形 .....	26
第三节 压铸工艺的应用范围 .....	3	五、铸入嵌件 .....	27
第四节 典型的压铸填充理论 .....	4	六、由其他方法改为压铸法时, 结构 修改的注意事项 .....	28
一、金属的填充理论 .....	4	<b>思考题</b> .....	29
二、压铸过程中理想流态的获得 .....	5	<b>第四章 压铸工艺</b> .....	30
三、影响铸件气孔率的因素 .....	6	第一节 压力 .....	30
<b>思考题</b> .....	7	一、压铸过程中各阶段的压力变化和压 力峰 .....	30
<b>第二章 压铸合金</b> .....	8	二、压射力 .....	31
第一节 国产常用压铸合金的特点和 用途 .....	8	三、比压以及它对力学性能和填充 条件的影响 .....	31
第二节 压铸铝合金 .....	10	四、胀型力 .....	32
一、Al-Si 合金 .....	11	<b>第二节 速度</b> .....	33
二、Al-Mg 合金 .....	13	一、压射速度 .....	33
三、Al-Zn 合金 .....	13	二、内浇口速度 .....	33
四、特殊性能的压铸铝合金 .....	13	三、内浇口速度与压射速度和压力的 关系 .....	34
第三节 压铸合金与压铸机的选择 .....	13	<b>第三节 温度</b> .....	35
<b>思考题</b> .....	14	一、合金浇注温度 .....	35
<b>第三章 铸件设计</b> .....	15	二、内浇口速度对合金温度的影响 .....	36
第一节 铸件的精度、表面粗糙度及加工 余量 .....	15	三、模具温度和模具热平衡 .....	36
一、铸件的尺寸精度 .....	15	<b>第四节 时间</b> .....	39
二、表面形状和位置 .....	16	一、填充时间和增压建压时间 .....	39
三、表面粗糙度 .....	17	二、持压时间和留模时间 .....	40
四、加工余量 .....	17	<b>第五节 压室充满度</b> .....	41
第二节 铸件基本结构单元的设计 .....	18	<b>第六节 压铸涂料</b> .....	41
一、壁的厚度、连接形式及连接处的 圆角 .....	18	一、涂料的作用和对压铸涂料的要求 .....	41
二、铸造斜度 .....	19	二、涂料的种类和使用 .....	42
三、压铸孔和槽 .....	20	<b>第七节 铸件的整修和处理</b> .....	43
四、肋 .....	21	一、铸件的清理、整形和修补 .....	43
五、压铸齿与螺纹 .....	22	二、铸件的后处理、表面处理和	
六、凸纹、凸台、文字与图案 .....	23		

浸渍 .....	44	二、分型面的选择 .....	76
思考题 .....	45	思考题 .....	79
<b>第五章 压铸新工艺简介 .....</b>	<b>46</b>	<b>第八章 压铸模结构设计 .....</b>	<b>80</b>
第一节 真空压铸 .....	46	第一节 浇注系统设计 .....	81
一、真空压铸的特点 .....	46	一、直浇道设计 .....	83
二、真空压铸装置及抽真空方法 .....	46	二、横浇道设计 .....	85
第二节 充氧压铸 .....	47	三、内浇口设计 .....	88
一、充氧压铸的特点 .....	48	四、典型压铸件浇注系统的设计 .....	93
二、充氧压铸装置及工艺参数 .....	48	第二节 溢流与排气系统的设计 .....	115
第三节 精速密压铸 .....	49	一、溢流槽设计 .....	115
一、精速密压铸的特点 .....	49	二、排气槽设计 .....	117
二、精速密压铸的工艺控制 .....	49	第三节 成型零件设计 .....	118
第四节 半固态压铸 .....	50	一、成型零件的结构设计 .....	118
第五节 黑色金属压铸 .....	51	二、成型零件的尺寸计算 .....	122
一、模具设计的原则 .....	51	第四节 压铸模结构零件的设计 .....	130
二、模具主要部分的设计 .....	51	一、支承与固定零件的设计 .....	130
思考题 .....	52	二、导向零件设计 .....	132
<b>第六章 压铸机 .....</b>	<b>53</b>	三、推出机构的设计 .....	134
第一节 压铸机的分类、代号和参数 .....	53	四、复位和预复位机构设计 .....	143
一、压铸机的分类 .....	53	五、推出机构的导向 .....	146
二、国产压铸机代号和压铸机参数 .....	56	第五节 抽芯机构设计 .....	147
第二节 压铸机的基本机构 .....	57	一、常用抽芯机构及其特点 .....	147
一、合模机构 .....	57	二、抽芯力和抽芯距离的确定 .....	148
二、压射机构 .....	58	三、斜销抽芯机构 .....	150
第三节 压铸自动化和压铸机参数		四、弯销抽芯机构 .....	155
测试与控制简介 .....	59	五、斜滑块抽芯机构 .....	157
第四节 压铸机的选用和有关计算 .....	61	六、齿轮齿条抽芯机构 .....	161
一、按生产规模及压铸件品种选择压		七、液压抽芯机构 .....	163
铸机 .....	61	第六节 加热与冷却系统设计 .....	161
二、按压铸件的结构参数选择压铸机 .....	61	一、模具的加热方法 .....	165
三、有关计算 .....	62	二、模具的冷却方法 .....	165
第五节 压铸机 $p-q^2$ 图的有效压力特性		三、热流体加热-冷却装置 .....	169
线 .....	63	思考题 .....	169
思考题 .....	66	<b>第九章 压铸模的技术要求 .....</b>	<b>171</b>
<b>第七章 压铸模设计概述 .....</b>	<b>67</b>	第一节 压铸模零件的公差与配合 .....	171
第一节 压铸模设计方法 .....	67	第二节 压铸模零件的形位公差和	
第二节 流体动力学理论的应用 .....	68	表面粗糙度 .....	172
第三节 压铸模 $p-q^2$ 图的需要压力		第三节 压铸模技术条件 .....	173
特性线和工作点 .....	69	一、零件技术要求 .....	173
第四节 压铸模的结构组成 .....	74	二、总装技术要求 .....	171
第五节 分型面设计 .....	75	第四节 压铸模常用材料的选择和	
一、分型面的作用和类型 .....	75	热处理要求 .....	175

思考题 .....	176	三、内斜滑块抽芯兼推出结构 .....	193
<b>第十章 压铸模的失效形式和提高</b>		四、弯斜销两次复合抽芯结构 .....	193
<b>压铸模寿命的措施</b> .....	177	五、利用开模过程拉断余料的结构 .....	193
第一节 压铸模的失效形式 .....	177	六、斜销、弯销、液压复式抽芯结构 .....	193
第二节 提高压铸模寿命的措施 .....	178	思考题 .....	193
思考题 .....	181	<b>附录</b> .....	194
<b>第十一章 压铸模结构图例</b> .....	182	附录 A 压铸模标准零件应用示例 .....	194
第一节 各种类型的压铸模结构 .....	182	附录 B 组成通用模架组合的标准零件的	
一、热压室压铸机用压铸模 .....	182	功能及应用 .....	194
二、立式冷压室压铸机用压铸模 .....	183	一、支承与固定零件 .....	194
三、卧式冷压室压铸机用压铸模 .....	184	二、成型工作零件 .....	196
四、全立式压铸机用压铸模 .....	186	三、推出与复位机构零件 .....	196
第二节 结构图例 .....	186	四、导向零件 .....	196
一、弯销设在动模内的定模抽芯结构 .....	186	<b>参考文献</b> .....	196
二、推管、卸料板两次推出结构 .....	186		

# 第一章 概 述

压铸工艺是一种高效率的少、无切削金属的成型工艺，从 19 世纪初期用铅锡合金压铸印刷机的铅字至今已有 150 多年的历史。由于压铸工艺在现代工业中用于生产各种金属零件具有独特的技术特点和显著的经济效益，因此长期以来人们围绕压铸工艺、压铸模具及压铸机进行了广泛的研究，取得了可喜的成果。现就压铸工艺的发展历史及有代表性的事件作简要的回顾。

1838 年格·勃鲁斯首先用压铸法生产铅字。

1839 年一种活塞式压铸机获得了第一个压力铸造专利。

1849 年英国人斯都奇斯 (Sturges) 取得热压室压铸机专利。

1885 年奥·默根瑟勒 (O. Mergenthaler) 在前人的基础上发明了一种铅字压铸机。

1907 年瓦格纳 (Wagner) 首先制成了气动活塞压铸机。

1920 年英国开发了冷压室压铸机，使压铸机有可能生产铝合金和镁合金等铸件。

1927 年捷克人约瑟夫·波拉克 (Josef Polak) 设计了立式冷压室压铸机。1952 年前苏联制造出了第一台立式冷压室压铸机。我国在 60 年代也制造出了此种压铸机。

1958 年真空压铸在美国获得专利。

1966 年美国 General Motors 公司提出精、速、密压铸法。

1969 年美国的爱列克斯提出充氧压铸的无气孔压铸法。

目前，压铸工艺已得到广泛的应用，成为汽车、电器仪表等领域许多零件的重要生产手段。

今后压铸生产的发展趋势是：压铸工艺要采用新技术，提高铸件质量，扩大应用范围；压铸机要实现系列化、大型化及自动化；压铸模要提高使用寿命。总之，为压铸生产开辟更广阔的前景。

## 第一节 金属压铸原理与压铸过程

金属压铸是压力铸造的简称。它是将熔融的液态金属注入压铸机的压室，通过压射冲头的运动，使液态金属在高压作用下，高速通过模具浇注系统填充型腔，在压力下结晶并迅速冷却凝固形成铸件。

压铸压力为几兆帕至几十兆帕（即几十到几百大气压），填充初始速度为  $0.5 \sim 70 \text{m/s}$ ，填充时间很短，一般为  $0.01 \sim 0.03 \text{s}$ 。高压和高速是压铸工艺的重要特征，也使压铸过程、铸件的结构及性能和压铸模的设计具有自己的特点。

压铸过程循环图见图 1-1，较为详尽表述压铸过程的工程图见图 1-2。各种压铸机上的压铸过程见第六章第一节压铸机的分类、代号和参数。

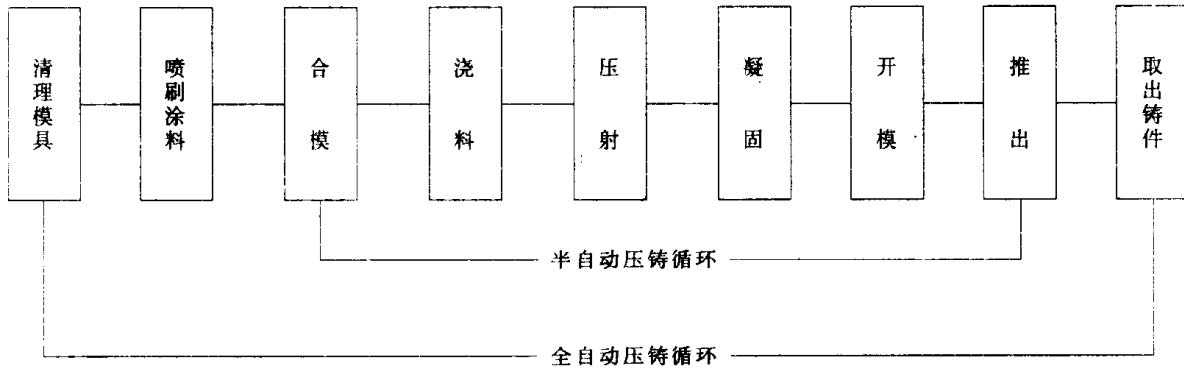


图 1-1 压铸过程循环图

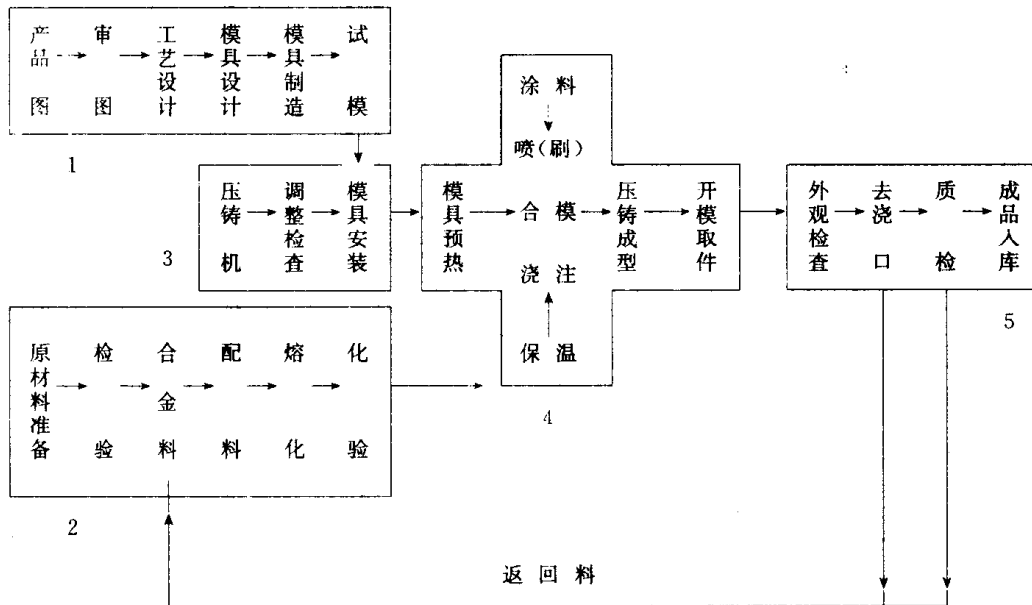


图 1-2 压铸过程工程图

1—模具制造 2—合金熔化和压铸准备 3—压铸 4—压铸 5—清理检验

## 第二节 压铸法的特点

由于压铸工艺是在极短时间内将压铸模填充完毕，且在高压、高速下成型，因此压铸法与其他成形方法相比有其自身的特点。

### 一、优点

(1) 可以制造形状复杂、轮廓清晰、薄壁深腔的金属零件。因为熔融金属在高压高速下保持高的流动性，因而能够获得其他工艺方法难以加工的金属零件。

(2) 压铸件的尺寸精度较高，可达 IT11~13 级，有时可达 IT9 级，表面粗糙度达  $R_a 0.8 \sim 3.2 \mu\text{m}$ ，有时达  $R_a 0.4 \mu\text{m}$ ，互换性好。



(3) 材料利用率高。由于压铸件的精度较高，只需经过少量机械加工即可装配使用，有的压铸件可直接装配使用。其材料利用率约为 60%~80%，毛坯利用率达 90%。

(4) 可以将其他材料的嵌件直接嵌铸在压铸件上。这样既满足了使用要求，扩大产品用途，又减少了装配工序，使制造工艺简化。

(5) 压铸件组织致密，具有较高的强度和硬度。因为液态金属是在压力下凝固的，又因充填时间很短，冷却时间极快，所以组织致密，晶粒细化，使铸件具有较高的强度和硬度，并具有良好的耐磨性和耐蚀性。

(6) 可以实现自动化生产。因为压铸工艺大都为机械化和自动化操作，生产周期短，效率高，可适合大批量生产。一般冷压室压铸机平均每小时可压铸 80~100 次，而热压室压铸机平均每小时可压铸 400~1000 次。

## 二、缺点

(1) 由于高速充填，快速冷却，型腔中气体来不及排出，致使压铸件常有气孔及氧化夹杂物存在，从而降低了压铸件质量。因高温时气孔内的气体膨胀会使压铸件表面鼓泡，因此，有气孔的压铸件不能进行热处理。

(2) 压铸机和压铸模费用昂贵，不适合小批量生产。

(3) 压铸件尺寸受到限制。因受到压铸机锁模力及装模尺寸的限制而不能压铸大型压铸件。

(4) 压铸合金种类受到限制。由于压铸模具受到使用温度的限制，目前主要用来压铸锌合金、铝合金、镁合金及铜合金。

## 第三节 压铸工艺的应用范围

压铸生产效率高，能压铸形状复杂、尺寸精确、轮廓清晰、表面质量及强度、硬度都较高的压铸件，故应用较广，发展较快。目前，铝合金压铸件产量最多，其次为锌合金压铸件。

压铸工艺主要用于汽车、拖拉机、电气仪表、电信器材、航天航空、医疗器械及轻工日用五金行业。生产的主要零件有发动机汽缸体、汽缸盖、变速箱体、发动机罩、仪表及照相机的壳体及支架，管接头、齿轮等。

各种合金压铸件的质量和尺寸范围见表 1-1。

表 1-1 合金压铸件质量和尺寸范围

合金	质量(g)		平均壁厚(mm)		外形尺寸(mm)		最小孔径 (mm)
	最大	最小	最大	最小	最大	最小	
锌合金	92000	0.3	10	0.3	400	2	0.7
铝合金	60000	0.14	12	0.7	1220×160×4.5	—	0.7
铜合金	12000	10	20	0.8	—	—	—

注：铜合金最大壁厚指局部尺寸。

近年来发展了真空压铸、充氧压铸、精速密压铸、半固态压铸及黑色金属压铸等。此外，可熔型芯等新工艺应用于压铸，进一步扩大了压铸工艺的应用范围。

## 第四节 典型的压铸填充理论

### 一、金属的填充理论

压铸过程中金属液的填充形态与铸件致密度、气孔率、力学性能、表面粗糙度等质量因素密切相关，在极短的填充瞬间它受到压铸件结构、填充速度、比压、温度、内浇口与压铸件断面厚度之比、合金液的粘度及表面张力、浇注系统的形状等制约。长期以来人们对它进行了广泛的研究，提出了一些论点，但这些论点都是在特定的试验条件下得到的，有一定局限性，要求人们在实际应用中具体情况具体分析，使填充理论进一步完善和深化。

金属填充理论归纳起来有如下三种：

#### (一) 喷射填充理论

它是1932年由费罗梅尔(L·Frommer)在矩形截面型腔一端开设浇口，研究锌合金压铸填充过程中得到的。费罗梅尔认为：当液流在速度、压力不变时，保持内浇口截面的形状喷射至对面型壁，称为喷射阶段；由于对面型壁的阻碍，部分金属呈涡流状态返回，部分金属向所有其他方向喷溅并沿型腔壁由四面向内浇口方向折回，称为涡流阶段。涡流中容易卷入空气及涂料燃烧产生的气体，使压铸件凝固后形成0.1~1mm的孔洞，降低了压铸件的致密度。

当内浇口截面积 $S$ 与型腔截面积 $A$ 之比 $S/A > (1/3 \sim 1/4)$ 和内浇口速度为0.5~15m/s，且撞击型腔壁或液流遇到阻碍时容易产生喷射填充。喷射填充形态见图1-3。

#### (二) 全壁厚填充理论

它是1937年由勃兰特(W·G·Brandt)用0.5~2mm厚的内浇口(且与压铸件厚度之比为0.1~0.6)研究铝合金压铸填充过程中得到的。勃兰特认为：金属液经内浇口进入型腔后，即扩展至型壁，后沿整个型壁截面向前填充，直到充满为止。如图1-4所示。

当内浇口速度低于0.3m/s，内浇口厚度 $\delta$ 与压铸件厚度 $t$ 之比 $\delta/s > (2/3 \sim 1/2)$ 时，易于产生全壁厚填充形态。该理论一般用于结晶区间较宽的合金和形状较简单的压铸件。因填充速度低，内浇口截面大，金属沿全壁厚

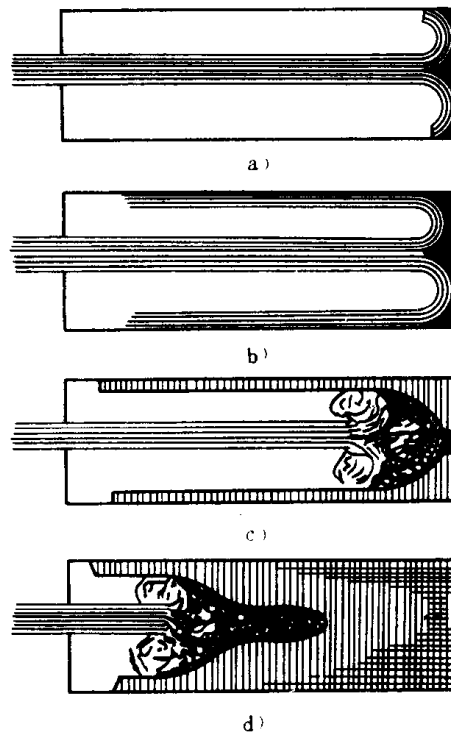


图 1-3 合金液的喷射填充形态

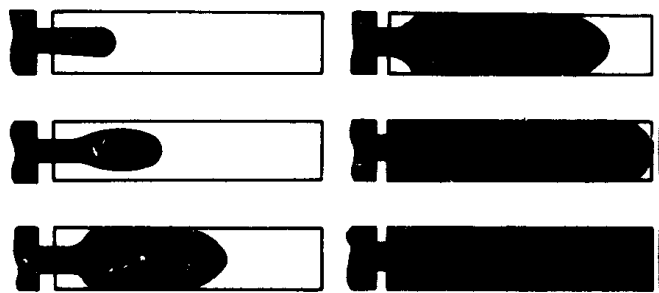


图 1-4 合金液的全壁厚填充形态

向前推进，不产生涡流，有利于气体的排出，减少了铸件的气孔与疏松，提高了铸件的致密度。

### (三) 三阶段填充理论

这种填充理论是1944~1952年由巴顿(H·K·Barton)提出来的。巴顿认为：填充过程是包含力学、热力学和流体力学因素的复合问题，大致可分为三个阶段：

**第一阶段** 受内浇口截面限制的金属射入型腔后，首先冲击对面型壁，沿型腔表面向各方向扩展，并形成铸件表面的薄壳层，在型腔转角处产生涡流。

**第二阶段** 后续金属液沉积在薄壳层内的空间里，直至填满，凝固层逐渐向内延伸，液相逐渐减少。

**第三阶段** 金属液完全充满型腔后，与浇注系统和压室构成一封闭的水力学系统，在压力作用下，补充熔融金属，压实铸件。

三阶段填充理论如图1-5所示。



图 1-5 三阶段填充形态

三阶段填充理论与喷射填充理论的实验结果基本一致，全壁厚填充理论只在特定的条件下出现，上述三种理论不是孤立的，它随铸件的形状、尺寸和工艺参数而改变。在同一铸件上，由于各部位结构尺寸的差异也会出现不同的填充形态。

当宽度较窄的内浇口直对着型腔时，开始即以喷射方式填充，流束冲击对面型壁或型芯，金属液在此聚集喷溅或转向，动能减少，然后以全壁厚推进方式充模，这两种模式往往同时存在。在设计内浇口时，可根据铸件的结构、尺寸及填充速度确定内浇口的位置和形状。

## 二、压铸过程中理想流态的获得

由铸件的缺陷分析和表面流痕观察可知，填充形态受诸多因素的影响，除内浇口的位置和截面积外，填充速度是至关重要的。按照喷射理论，铸件气孔多，致密度低，不能得到优质铸件。全壁厚填充理论可获得较理想铸件，但由于填充速度慢且受铸件结构限制，一般难以实现。理想流态应是开始以低速从一端顺序填充，排出气体，然后增加填充速度，充满型腔，压实铸件，这单靠工艺参数的改变是难以实现的，要求压铸机具有相应的功能，并进行合理的调整，适应压铸工艺的要求。

1. 三级压射对流态和铸件质量的影响 三级压射的压铸机是人们寻求改善填充形态的共识。一级压射压射冲头慢速前进，排出压室的气体，直至金属液充满压室。二级压射按铸件的结构、壁厚选择适当的压射速度，在金属液不凝固的情况下，型腔基本充满。三级压射是充满型腔的瞬间，压射冲头以高速、高压施加于金属液上，使铸件在静压力作用下凝固，以获得表面光洁、轮廓清晰、内部组织致密的铸件。

2. 模具温度对流态和铸件质量的影响 在浇注温度适宜的情况下，模具温度不同也会影响金属液的流态和铸件质量。

模温过高，金属液在型腔表面的冷却层极薄，能量损失极小，流束以原方向前进，很难流入侧向窄槽（如压铸件的加强肋），使填充不足产生缺陷。

模具温度过低，因侧向窄槽处散热面积大，金属液冷凝快使其难以充满。只有在模具温度适宜时，才能得到满意的填充效果。

由于金属的热导率高，型腔填充有先后，致使各部位温度产生差异。而每副模具的型腔形状不同，冷却系统在各部位的冷却效果不同，模具的温度场分布也极不一致。如模具局部过热，便易产生热疲劳，甚至产生应力裂纹，对铝合金压铸还会产生粘模。

3. 流体力学理论对流态和铸件质量的影响 在研究填充形态时，引用流体力学中的边界层理论、连续性原理、湍（紊）流效应及液压冲击理论等对揭示填充过程中的流态及铸件质量有重要意义。

(1) 边界层理论：压铸填充时，金属液是随温度而变化的高温粘滞流体，由于其与型腔壁的摩擦阻力和附壁效应，流体先后沿型腔出现边界层，进而由激冷层首先凝固，流速降为零，形成薄壳。由边界层向里流速逐渐增大即在流体内存在速度梯度、温度梯度和切应力的变化。由于冷凝边界层随流体所到之处顺序形成，且存在速度梯度，中心速度高的主流层在爬越冷凝边界层后有向型腔壁转向的趋势，使金属液压向型腔表面，有利于复杂压铸件的充满和成型。边界层上的流动转向趋势如图 1-6 所示。

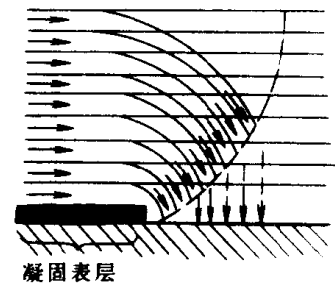


图 1-6 边界层上的流动转向趋势

(2) 连续性原理：压铸过程中，金属液遵循连续性原理，即压铸机压室截面积与压射冲头速度的乘积等于内浇口截面积与内浇口速度的乘积。金属液进入型腔后，截面突然增大，由于型芯、凹槽及各截面不等的影 响，使金属液处于不同流速、不同填充形态的复杂填充过程，这即是同一压铸件存在不同流态的基本原因，但从内浇口处均可获得连续 的金属液补给，使填充过程仍具有连续性。

(3) 湍（紊）流效应：金属液如同粘性流体一样，可用雷诺数  $Re$  判定流动形态。当  $Re \leq 2300$ ，即低流速时产生层流，金属液粘度增加流动性下降，延长了填充时间，压铸件难以成型。当  $Re > 2300$  处于紊流状态，耗散的能量增加并卷入大量气体，这即是压铸件产生气孔的根本原因。如若避免紊流，必须降低流速，在充模时间不变的情况下，则必须加大内浇口截面积，这又会导致液流前端过冷，难以充满型腔。压铸过程中就是有目的地调整这一对基本矛盾，合理地设计浇口的位置和截面积，选择适当的流速，使之既不过量冷凝，又不致于卷入过多的气体。

(4) 液压冲击：当金属液经内浇口或型腔中的狭窄通道受到阻碍时，产生瞬时的金属积聚，压力升高，形成瞬时压力冲击。当突破阻力后，冲击现象消失，金属液呈波动形前进，直至充满为止。在填充过程中，描述压力、速度-位移曲线上的压力跳动即是液压冲击现象的有力证明（见第四章图 4-1）。

### 三、影响压铸件气孔率的因素

由前述知，填充过程中涡流包卷气体是压铸件产生气孔的主要原因，且难以避免。型腔中的空气、模具涂料和冲头润滑剂燃烧或挥发产生的气体是其主要来源。至于金属液本身，由于在熔炼、保温过程中进行了除气，影响甚少。

对轿车上的离合器罩及变速箱外壳铝合金压铸件的含气量进行实际测定发现，普通压铸

件的含气量大致为金属型铸件的10~20倍,砂型铸件的5倍,且气体多分布于溢料槽和余料块中,因此合理的设计溢料槽,尽量减少型腔和压室内气体的卷入,也是减少压铸件气孔的重要途径。

压铸生产中除合理确定内浇口的位置和截面积外,还应注意以下因素的影响:

1. 填充速度的影响 填充速度在40~60m/s,气孔率相对稳定,填充速度超过60m/s后,卷入气体大量增加。

2. 压室充满度的影响 压室充满度为100%时,含气量最小,随充满度的下降,含气量上升。

3. 涂料的影响 使用水基涂料远比使用油基涂料的压铸件含气量少。

4. 润滑剂的影响 压室应使用经改进的水基润滑剂。油基润滑剂可涂在冲头上,如用于压室应控制在最小范围内。

近年来,应用先进的测量技术、计算机模拟技术和高速摄影技术,对型腔压力、模具温度和压射冲头速度进行测定,并对填充过程中的流态进行观察,取得了许多有益的资料,进一步丰富和完善了压铸理论。相信随着压铸机四级压射系统、无级变速压射一系统、伺服压射系统、模具温度自动控制系统及其他新工艺、新技术的应用和发展,压铸的应用范围必将进一步扩大,压铸件的质量必将大大提高。

### 思 考 题

1. 何谓压铸?金属压铸有何特点?
2. 压铸工艺主要应用于那些场合?
3. 研究金属填充理论对指导压铸生产有何意义?

## 第二章 压铸合金

压铸合金是压铸生产的要素之一，要生产优良的压铸件，除了要有合理的零件结构、设计完善的压铸模和工艺性能优越的压铸机外，还需要有性能良好的合金。

压铸件的断面厚度取决于它承受的应力和合金材料本身的强度，具有较高强度是压铸合金的优点之一。选用压铸合金时，应充分考虑其使用性能、工艺性能、使用场合、生产条件和经济性等多种因素。压铸合金的使用性能和工艺性能见表 2-1。

表 2-1 压铸合金的使用性能和工艺性能

性能类别	项 目	内 容
使用性能	力学性能	抗拉强度、高温强度、伸长率、硬度
	物理性能	密度、液相线温度、固相线温度、线膨胀率、体膨胀率、比热容、热导率
	化学性能	耐热性、耐腐蚀性
工艺性能	铸造工艺性	流动性、抗热裂性、模具粘附性
	切削加工性	
	焊接性能	
	电镀性能	
	热处理性能	

根据压铸工艺的特点，对压铸合金应有如下基本要求：

- (1) 过热温度不高时具有较好的流动性，便于填充复杂型腔，以获得表面质量良好的压铸件。
- (2) 线收缩率和裂纹倾向性小，以免压铸件产生裂纹，使压铸件有较高的尺寸精度。
- (3) 结晶温度范围小，防止压铸件产生过多的缩孔和缩松。
- (4) 具有一定的高温强度，以防止推出压铸件时产生变形或碎裂。
- (5) 在常温下具有较高的强度，以适应大型薄壁复杂压铸件生产的需要。
- (6) 与型壁间产生物理-化学作用的倾向性小，以减少粘模和相互合金化。
- (7) 具有良好的加工性能和一定的抗蚀性。

作为压铸用的非铁合金有：铅、锡、锌、铝、镁和铜合金以及黑色金属。以铅锡为主的低熔点合金适用于压铸复杂而精密的小压铸件，但由于铅锡的强度很低，以及锡的价格昂贵而又不易取得，所以在机器制造中用得很少。高熔点的黑色金属和结晶温度范围宽的有色金属压铸虽已试验成功，但国内用于生产的尚少。熔点较低的锌、铝、镁和铜合金为常用的压铸合金。

### 第一节 国产常用压铸合金的特点和用途

国产常用压铸合金化学成分和力学性能，请查阅有关手册，其特点和用途见表 2-2。

表 2-2 国产常用压铸合金的特点和用途

合金牌号	合金代号	特 点	用 途	
YZZnAl4	YX040	熔点低,熔化和保温方便,模具寿命长;铸造工艺性好,可压铸特别复杂的薄壁件;和铁亲和力小,不易粘模;具有良好的常温性能;焊接和电镀性良好;密度大;抗蚀性差,易产生晶间腐蚀,进而发生老化;锌对有害杂质的作用极为敏感,为了确保铸件质量,必须采用纯度高的原材料进行熔制,并对合金严格管理	尺寸稳定的合金,用于高精度零件	
YZZnAl4Cu1	YX041		中强度合金,用于镀铬及不镀铬的各种零件	
YZZnAl4Cu0.5	YX040.5		压铸各种小型薄壁零件	
YZZnAl4Cu3	YX043		高强度合金,用于不镀铬的各种小型薄壁零件	
ZAlSi7Mg	ZL101	铸造性能好;密度小比强度高;耐蚀性、耐磨性、导热性和导电性好;Al-Si 系合金有粘模倾向,切削性能尚好;对金属垢腐腐蚀严重;体收缩率大,易产生缩孔	用于形状复杂的承受中等负荷的飞机、发动机和仪器零件、抽水机壳体、气化器等,铸件工作温度不超过 200℃	
YZAlSi12	Y102		广泛用于力学性能要求不高的飞机附件和仪表壳体等铸件,或用于高气密性或形状复杂的薄壁零件。工作温度不超过 200℃	
103 号铸铝	ZL103		用于工作温度低于 275℃、承受负荷不大的飞机和发动机的各种小型零件,如液压泵壳体、仪器外壳等	
YZAlSi10Mg	Y104		用于在 200℃以下工作的、承受高负荷的大型飞机和发动机零件,如传动机匣、压缩机匣和汽缸体等	
ZAlSi5Cu1Mg	ZL105		用于在 250℃以下工作的、承受大负荷的大型飞机和发动机零件,如汽缸头、发动机机匣、增压器壳体和液压泵壳体等	
ZAlMg10	ZL301		用于在 80℃以下工作的、承受高负荷和耐蚀性要求高、以及承受大振动负荷的飞机零件	
YZAlMg5Si1	Y302		用于在 150℃以下工作的、承受中等负荷、耐蚀性要求高和在严寒大气中使用的飞机零件、海轮配件、零件和各种壳体	
YZAlZn11Si7	Y401		用于制造 400℃高温以下工作的承受气压、液压的飞机和发动机零件,如分配器壳体等	
YZMgAl9Zn	YM5		密度小,相当于铸铁的 25%左右;比强度大;具有良好的刚度和减振性;尺寸稳定;和铁亲和力小,不易粘模;切削加工性优良;高温脆性和热裂倾向大;耐蚀性差	用于飞机、发动机、仪表及其他结构的高负荷、受强烈颠簸及受振动载荷的零件。如飞机舱连接隔框、舱内隔框、纵向承受梁、电机壳体、刹车机轮轮毂、轮缘和增压机匣等零件
YZCuZn17Si3	Y803		导电性、导热性好;力学性能高,切削性能好;耐磨性好,摩擦系数小;耐蚀性好;密度大;熔点高;模具寿命低;价格高	压铸齿轮、承受海水作用的管配件、阀体、船舶零件以及较复杂的各种零件
YZCuZn40Pb1	Y591	滚珠轴承套筒		
ZHMn55-3-1	—	形状不复杂的重要零件,温度低于 300℃工作的耐海水腐蚀的零件		

## 第二节 压铸铝合金

压铸铝合金的良好使用性能和工艺性能优越于其他合金,使其在目前的压铸生产中占有极其重要的地位,用量远远高于其他合金。除在表 2-2 对国产常用压铸铝合金的特点和用途作了介绍之外,本节还将对压铸铝合金作进一步介绍。压铸铝合金的代号、化学成分、力学性能、以及工艺性能和使用性能分别见表 2-3、表 2-4 和表 2-5。

表 2-3 常用压铸铝合金的化学成分

类别	代号	主要成分 $w_B(\%)$						杂质含量 $w_B$ (不大于,%)									
		硅	铜	镁	锰	锌	铝	铁	硅	铜	镁	锰	锌	钛	锡	铅	杂质总和
铝硅合金	ZL101	6.0 ~8.0	—	0.2 ~0.4	—	—	其余	1.0 ~1.5	—	0.2	—	0.5	0.3	—	0.01	0.05	1.6
	Y102	10.0 ~13.0	—	—	—	—	其余	1.0 ~1.5	—	0.6	0.05	0.6	0.3	—	—	—	2.3
	ZL103	4.5 ~6.0	1.5 ~3.0	0.3 ~0.7	0.3 ~0.7	—	其余	1.0 ~1.5	—	—	—	—	0.3	—	0.01	0.05	1.8
	Y104	8.0 ~10.5	—	0.17 ~0.3	0.2 ~0.5	—	其余	1.0 ~1.5	—	0.3	—	—	0.3	—	0.01	0.05	1.5
	ZL105	4.5 ~5.5	1.0 ~1.5	0.35 ~0.6	—	—	其余	1.0 ~1.5	—	—	—	0.5	0.3	—	0.01	0.05	1.4
铝镁合金	ZL301	—	—	9.5 ~11.5	—	—	其余	—	0.3	0.1	—	0.1	0.1	0.07	—	0.05	1.2
	Y302	0.8 ~1.3	—	4.5 ~5.5	—	—	其余	—	—	0.1	—	—	0.2	0.2	—	—	1.2
铝锌合金	Y401	6.0 ~8.0	—	0.1 ~0.3	—	9.0 ~13.0	其余	1.0 ~1.5	—	0.6	—	0.5	—	—	—	—	2.0

表 2-4 常用压铸铝合金的力学性能

代 号		ZL101	Y102	ZL103	Y104	ZL105	ZL301	Y302	Y401
力学性能 (不低于)	抗拉强度 (GPa)	0.16	0.16	0.17	0.15	0.16	0.28	0.15	0.25
	伸长率 (%)	2	2	0.5	2	2	9	1	1.5
	布氏硬度 HBS	50	50	65	50	65	60	55	90

压铸铝合金中添加成分与杂质的影响:

1. 硅 可显著改善合金的流动性,抑止高温脆性,因此几乎为全部铝合金的主要元素。当 Al-Si 合金含硅量超过共晶成分,而铜、铁等杂质又多时,即会出现游离硅的硬质点。硅含量愈高,游离硅愈多,因而增加了切削加工的困难。在不含硅的铝镁锰合金中也添加少量硅,以防止热裂和改善压铸性能。

2. 铜 增加含铜量可以提高流动性、抗拉强度和硬度,改善切削性能和减少粘模的倾向,但降低了合金的伸长率和耐蚀性,热裂倾向增大。通常压铸不采用 Al-Cu 合金,而用 Al-Si-Cu 合金。



表 2-5 常用压铸铝合金的工艺性能和使用性能

合金代号	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	线收缩率 (%)	体收缩率 (%)	气密性	抗缩松 倾向	流动性	耐腐 蚀性	切削加 工性	焊接性	抗热裂 倾向	液相线 温度 (°C)	固相线 温度 (°C)	浇注温度 (°C)
ZL101	2.66	0.9~1.2	3.7~4.1	5	4	5	4	3	4	5	620	577	630~630
Y102	2.65	0.8~1.1	3.0~3.5	3	5	5	4	1	4	5	600	577	610~650
ZL103	2.7	1.1~1.35	4.0~4.2	4	4	4	2	3	4	4	616	577	630~690
Y104	2.65	0.9~1.1	3.2~3.5	4	4	5	3	4	3	4	600	575	610~650
ZL105	2.68	0.9~1.2	4.5~4.9	4	4	5	3	4	4	4	622	570	630~700
ZL301	2.55	1.0~1.35	4.8~6.9	2	1	3	5	5	3	3	630	449	640~690
Y302	2.5	1.2~1.25	4.5~4.7	3	3	4	4	5	3	4	650	550	660~700
Y401	2.8	1.2	—	4	4	4	3	4	4	5	575	545	590~650

注：表中所列工艺性能的级数含义如下：5—优；4—良好；3—中等；2—较差；1—很差。

3. 镁 Al-Mg 合金的流动性随含镁量增加而增加，粘模倾向随之减少，但收缩却变大。高硅铝合金中加入少量的镁，可以提高强度极限、弹性极限、疲劳极限及硬度，而其塑性降低不多。对于 Al-Si-Cu 合金，Mg<sub>2</sub>Si 虽有硬化效果，但会产生有害的低温脆性，所以镁量应限制。

4. 锌 锌可以提高合金的流动性。对于含铜和硅的铝合金，添加质量分数少于 3.0% 的锌，还有助于改善力学性能。含锌很高的 Al-Zn 合金具有较好的铸造性能和力学性能，而且切削性能也比较好。

5. 铁 铁能减少粘模倾向，易于压铸，所以在一般情况下加入质量分数为 1.0%~1.5% 的铁是有益的。但是，含铁量太多时，铁则以 FeAl<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>Al<sub>7</sub> 和 Al-Si-Fe 的片状或针状组织存在于合金中，使合金铸造性能变坏，降低力学性能，特别是冲击韧度和塑性，且使切削性能和耐蚀性能变坏。特别是合金中含硅量多时，铁会增加形成硬质点的倾向。

6. 锰 锰虽是增加耐蚀性和提高强度的有效成分，但添加量过多时会产生硬化与脆性。在含锰量少的情况下，有害的针状和片状 Fe-Al 会转变成细密的 Fe-Mn-Al，并且还可减少粘模倾向。所以，几乎在所有的压铸铝合金中，都含有一定的锰。

7. 镍 添加适量的镍会增加合金的强度和硬度，减少含铁量多时所造成的不良影响，提高高温强度的主要方法，往往是添加足够数量的镍，但这对耐蚀性能是有害的。

8. 锡 锡虽可改善切削性能，但会降低强度和耐蚀性，助长高温脆性。

9. 其他 铅虽可改善切削性能，但会使耐蚀性能变坏。铬可改善耐蚀性。添加少量铍，可防止合金液氧化，并改善力学性能。钛可以使结晶细化，改善力学性能。

### 一、Al-Si 合金

由于 Al-Si 合金具有结晶温度间隔小、合金中硅相有很大的凝固潜热和较大的比热容、其线收缩系数也比较小等特点，因此其铸造性能一般要比其他铝合金为好，其充型能力也较好，热裂、缩松倾向也都比较小。Al-Si 共晶体中所含的脆性相（硅相）数量最少，质量分数仅为 10% 左右，因而其塑性比其他铝合金的共晶体好，仅存的脆性相还可通过变质处理来进一步提高塑性。试验还表明：Al-Si 共晶体在其凝固点附近温度仍保持良好的塑性，这是其他铝合金所没有的。

铸造合金组织中常要有相当数量的共晶体，以保证其良好的铸造性能；共晶体数量的增