

压
力
铸
造
技
术

压·力·铸·造·技·术

16249-2

国防工业出版社

〔西德〕
利奥波德·弗罗梅尔 著
古斯塔夫·利 比

776 249.2
F75

146405

压力铸造技术

〔西德〕 利奥波德·弗罗梅尔 著
古斯塔夫·利比
卢运模、许文茂 译

国防工业出版社

内 容 简 介

本书着重叙述压铸模填充理论、压铸模设计、压铸模材料、压铸模制造和压铸生产中典型的压铸模结构。

作者科学地提出了压铸模填充理论，以此为依据详细叙述了压铸模设计的原则，并举出大量典型的模具结构实例加以补充说明。此外，还相应地介绍了压铸模选材及其制造方法。

本书可供从事压铸生产的工人、技术人员和院校有关专业教师参阅。

Druckgiess-Technik
Springer-Verlag Berlin/Heidelberg/New York 1965

*

压 力 铸 造 技 术

〔西德〕 利奥波德·弗罗梅尔 著
古斯塔夫·利比
卢运模、许文茂 译

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 $1/16$ 印张 23 $5/8$ 554千字

1982年2月第一版 1982年2月第一次印刷 印数：0,001—5,000册

统一书号：15034·2274 定价：2.45元

译者的话

压力铸造（简称压铸）是一种高效率，少、无切削加工的方法，近年来发展很快，成为现代金属成形工艺之一。

对于压铸模填充理论的认识与生产实践的结果有着密切的关系。为此，国外压铸工作者极为重视压铸理论的研究，力图在压铸生产中摆脱仅凭经验解决生产问题的被动局面，做到科学地掌握在压铸理论基础上的各项原则。本书作者弗罗梅尔和利比是知名的压铸专家。他们以流体力学和热力学为基础，对于金属液在模具型腔内的流动过程进行了多年的理论研究，科学地提出了压铸模填充理论，为压铸理论的发展奠定了基础。

此外，作者以压铸理论为依据，总结了压铸模设计原则，并从生产实践中列举了大量典型的模具结构加以补充说明，这就为读者理论联系实际，理解和掌握这些原则提供了方便条件。

压铸模选材及压铸模制造方法亦是广大压铸工作者所关心的问题，对此作者做了相应的介绍。

本书由卢运模和许文茂同志翻译，由陆培德、张耕莘和卢运模同志校阅。由于译校者水平有限，错误之处请读者指正。

目 录

1. 引言	1	3.25 活动部件的润滑	112
2. 流动过程以及由此而得到的 操作方式的准则	5	3.3 压铸模设计基础	114
2.1 流入过程	5	3.31 浇道	114
2.11 压力	5	3.32 排气	157
2.12 流动过程	6	3.33 型腔的布局	169
2.13 压铸模内的压力分布	22	3.34 压铸模冷却	174
2.2 从流入过程分析得出的实际结论	25	3.35 模具结构的几个部分	180
2.21 流动参数对于压铸结果的意义	25	3.36 用于生产具有嵌件的压铸件的模具	190
2.22 确定流动参数和设计压铸机压力变化的 准则——四种方法	31	3.4 模具材料	191
2.3 其它理论基础	37	3.41 对模具材料的要求	191
2.31 压铸所用的金属材料的性能	37	3.42 常用模具钢	202
2.32 压铸时压铸模的填充	42	3.5 压铸模的应力问题	212
2.33 关于压铸过程的研究	52	3.51 对外力作用的分析	213
3. 压铸模	71	3.52 适合强度的应力	218
3.1 引言	71	3.6 制造压铸模用的工具和设备	225
3.11 压铸模的概述	75	3.61 切削加工	227
3.12 压铸模设计的基本规则	75	3.62 无屑加工	239
3.2 压铸模的组成部分	76	3.63 再处理和检验	253
3.21 模板	76	3.7 压铸模实践	256
3.22 型芯和滑块	80	3.71 基本的模具结构	256
3.23 压铸件的推出机构	100	3.72 热室压铸机用的压铸模	267
3.24 压铸模的导引	109	3.73 冷室压铸机用压铸模	284
		附录 1	307
		参考文献	353

1. 引言

压力铸造的原理是：液体金属在高的压力作用下压入精密加工的钢压铸模内，并完全填充压铸模，获得轮廓清晰的、与压铸模型腔相符的压铸件。这种方法可以连续地生产出高精度、尺寸一致和表面光洁的压铸件。压铸模型腔除收缩量外，与压铸件的尺寸相一致。除了少数情况外，孔和齿都可压铸出来，在特殊情况下，亦可压铸出螺纹。这样，压铸件一般不再需要大量的后道加工。

这种使用永久压型的铸造方法过去曾叫过“喷射铸造”(Spritzguss)，以表示液体金属以极高的速度喷入型腔。但是，对目前已经研究出的各种压铸方法，“喷射铸造”这一概念已不再适用。它只在塑料加工方面仍然留用。另外，对用冷室压铸机加工合金的方法，多使用“冲压铸造”(Pressguss)这一名词。由于与其它无切屑成形方法，如砂型铸造、金属型铸造及冷挤压相比，压铸件的材料损耗最小，最容易获得尺寸精度，除了切除直浇道和清除毛刺外，不需要再加工，因此人们将压铸法生产的产品称之为“成品铸件”。“冲压铸造”这个概念因为它错误地表示了加工过程，而且易与原来的冲压方法相混淆，所以是不适用的。“成品铸造”这个概念也有缺点，它没有表示出加工过程，只是表示了产品的性质。与此相反，“压力铸造”这一术语确切地表示出加工过程的基本特征，即金属液在压射压力的作用下进入压铸模内。

压铸法的起源和最早的用途是铅字铸造术。在这里，第一次向铸造方法提出了要生产出大量清晰的、光洁的和可互换的铸件的任务，并要求这些铸件必须以极高精度与压铸模相符合。当时所用的铸造设备与图1 a和b所示的“手动铸造泵”基本上一样，但其达到的精度是当时其他铸造方法所达不到的。铸造材料是常用的铅字合金，如铅、锡和锑的合金。

这种加工方法很快从铅字铸造业扩大到其它制造业。当时作为铸造的材料是锡基巴比合金。这种锡合金由于铸造温度低并具有特殊的物理和化学性能，所以易于铸造，而且特别适用于制造精密的小零件。因此，压铸法又很快地扩大到精密仪器制造业上。但是，在只能压铸铅和锡合金的这一段时间内，此方法只限于制造不承受较大机械负荷又不在较高温度下使用的零件。然而，由于它在生产上的优点，以及随着生产量的增长和对于互换件的需要，促使采用压铸法来生产具有较高熔点和更高强度的合金。当时遇到了一些技术上的困难，这些困难只有通过完善和改变压铸设备、积累压铸模制造经验和压铸技术经验，才能加以克服。每次压铸合金范围的扩大都需要解决一些新的问题，并且和完成一定的任务相联系；压铸法发展的历史，就是一部逐步克服由于它扩大到熔点愈来愈高、铸造性能愈来愈坏的合金上，而引起的困难的历史。

目前，压铸法所用的铸造合金根据主要成分可以分为三类。

1. 低熔点合金：铝合金、锡合金和锌合金；
2. 高熔点轻合金：铝合金和镁合金；

3. 高熔点重合金：铜合金、银合金和铁合金。

对于各种零件来说，可根据它们的用途以及所要求的物理、化学性能选择铸造材料。

压铸件的精度和互换性与一般机械加工在大批生产时所能达到的水平相比，有时是一样的，而对锡合金压铸件讲所达到的精度要高些。在压铸锡合金小零件时，额定尺寸的偏差可以保持在 ± 0.01 毫米范围内，有时甚至还要小一些。相同形状的锌合金压铸件的平均公差约为锡合金的2倍，而相同形状的铝压铸件则约为锡合金的4倍。

如上所述，压铸产品特别适用于大量生产。但从经济上分析，压铸法也只适于大批生产。压铸模的费用很高，中等大小的零件所用的压铸模的费用为3000马克和8000马克，而大型零件和形状复杂的零件所需的压铸模费用则更高。因此，在任何情况下，定货的零件数量都必须很大，至少要达到使昂贵的压铸模制造费用认为是合算的程度。对于压铸模来说，零件数量多少才合算，这个问题在任何情况下都取决于待压铸件的种类。待压铸件在批量愈小，用其它方法制造的费用愈高时，压铸法可节省加工费用，而压铸模的制造费用由此而得到补偿。当零件数量小于1000件时，只有在特殊的情况下，使用压铸法才是合算的。

就零件大小及零件重量而言，压铸法适用的范围是很大的。一般压铸件的尺寸（以最大截面尺寸计算）在 5×5 毫米²和 1000×500 毫米²之间。压铸件的重量对低熔点合金为0.5克和20公斤之间，铝合金为1克和10公斤之间，镁合金到15公斤，铜合金（特别是黄铜）为5克到5公斤之间。但是更大尺寸和更大重量的零件压铸法也可制造。

压铸法的生产率，根据所用设备的类型和在相同压铸机上所压铸零件种类的不同而有很大的差别。一般情况下，生产率为每小时压射600次（自动化的设备压铸小而简单的零件）和30次（手工操作生产大型零件）。但在许多情况下，效率有高有低（在压铸带有侧凹腔和几次操作才能制成压铸件的情况下，效率是低的）。

在图1a和b中通过特别简单的设备——一台手动的活塞式压铸机来表示压铸法。图中的J表示从外部用气体加热的金属坩埚，它的内部有一个压室N，压室的入口C由活塞P加以控制，当活塞提起时（图1b），它使压室与金属熔池相连通。通道S从压室的底部通向喷嘴M。在这种结构上，活塞P以最简单的方式由手柄v操纵。整个金属坩埚放在壳体g₀内，壳体的内部装有隔热衬套i，壳体又装在机架g₁上。在同一个机器上，压铸模支架d₀可在滑轨上运动。在图示的这种结构上，压铸模的支架运动（下文称为压铸模的总运动）和压铸模的开合运动（下文简称为“压铸模关闭运动”），均由偏心轮v₀控制，偏心轮由手杆v'操纵。

在图1a中，压铸模由处于死点位置的偏心轮闭合，并压紧喷嘴M。堵塞压室入口C的活塞向下运动，使金属经过通道S和喷嘴M压入压铸模。在压铸模填充后，作用在金属上的压力一直保持到直浇道E内的金属凝固为止。随后活塞P重新回到图1b所示的位置上，此时金属由坩埚J通过入口C流入压室。整个压铸模支承滑轨通过偏心轮v₀反时针地转动离开喷嘴M，直到它撞着挡块u为止。偏心轮继续转动使支承动模的滑轨d₂（在压铸模支承滑轨上可移动）继续返回，从而打开压铸模。然后，通过肘杆v_k的动作，将在铸件内形成盲孔的活动型芯K₁从压铸件内抽出。随后通过偏心轮的继续转动，动模向后移动，直到顶杆a₀撞着横向挡板u₁（它牢靠地固定在机架上）使压铸件G从压铸模中顶出为止。

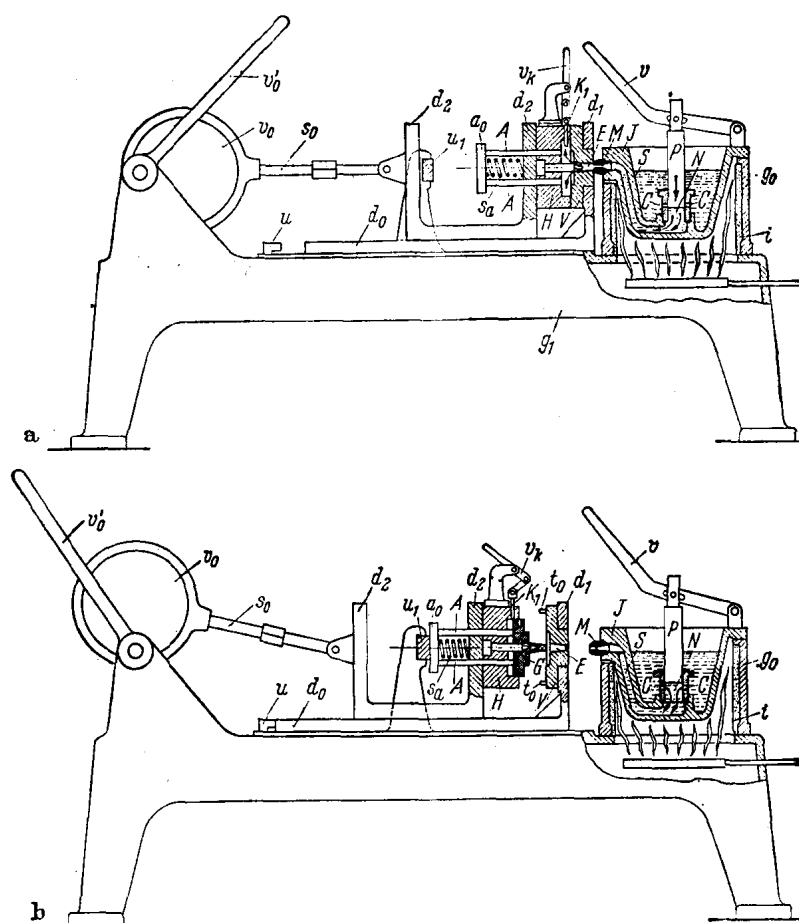


图1 手动活塞式压铸机（老式结构）

a—压铸位置；b—开始顶铸件。

压铸模清理后，重新闭合，再回到图1a所示的位置上，并压紧喷嘴。与此同时，型芯 K_1 回到准备压铸的位置上；顶杆 A 通过弹簧 s_a 自动退回。由此又开始新的工作循环。

在这种结构最简单的压铸机上，可以了解到上述各个部分，即：

1. 压铸模；
2. 压铸机；
3. 压铸模支架；
4. 压铸金属。

首先根据德国铸工协会压铸委员会的分类和命名法，通过图2，表示最常用的压铸机基本工作原理。从这些图中可以看出，压铸机主要分为两类：

1. 热室压铸机；
2. 冷室压铸机。

各类压铸机具有如下特点：

热室压铸机 主要特点是压室大都直接放在金属熔池内。在热室压铸机上，压室至少要保持压铸金属的压铸温度。被熔合的合金必须完全是液体的。

在活塞式压铸机上，其压力是由压室内的活塞产生的，而压室的填充是通过鹅颈实现

的。当活塞处于起始位置时，鹅颈畅开。

在压缩空气式压铸机上，其压力是由直接作用在金属上的压缩空气形成的。带有浇壶的压缩空气式压铸机，压室的填充是通过活动机构完成的，带有阀门的压缩空气式压铸机是通过一个带有活动锥形阀的金属入口完成的，而熔池上升的压缩空气式压铸机则是通过挤压器完成的。

冷室压铸机 主要特点是压室不加热。有可能使用粘稠状的压铸金属。通过高的压力作用，使金属在内浇口处液化，并以适当的速度流入型腔。压室与熔化坩埚或保温坩埚完全隔开。

从图2可看出，位于压铸模外边的卧式压室和立式压室的结构。后一种压室结构，要求用下活塞切断金属余料。

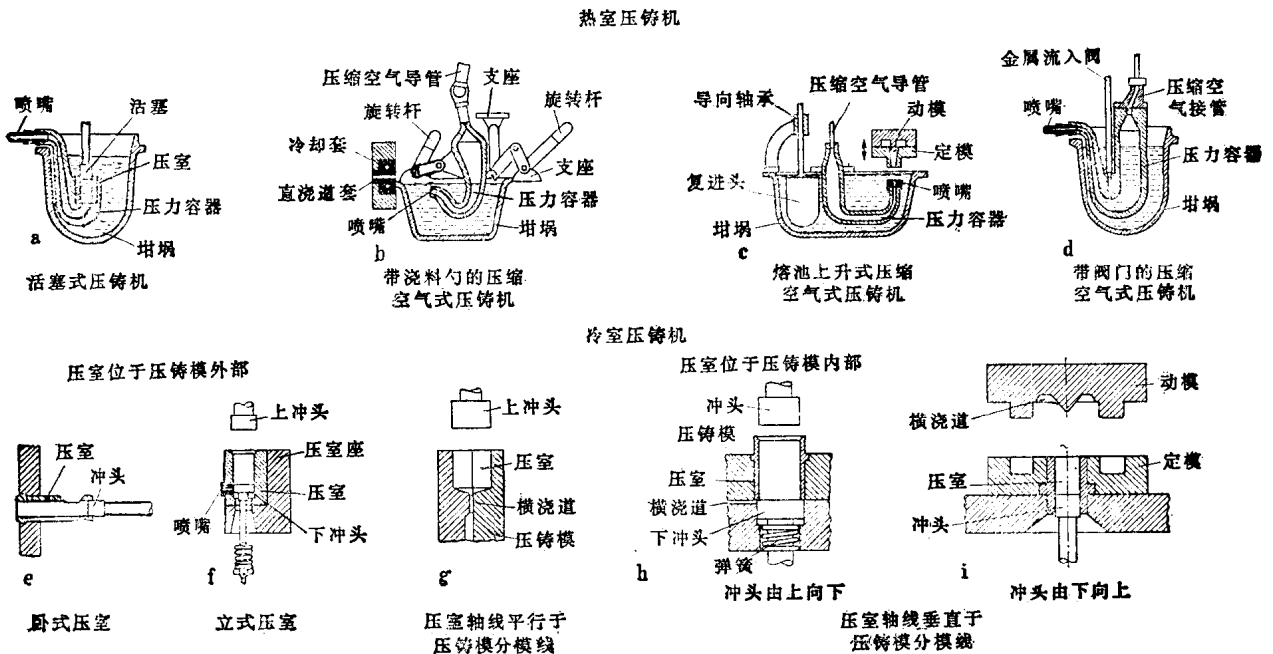


图2 压铸机部件和名称

压室按压铸模内的结构，分为压室轴线平行压铸模分模面和压室轴线垂直于压铸模分模面两类。

从原理图可直接看出这些压铸机的工作方式。在冷室压铸机上，压室是通过舀勺（用舀勺手工浇料或机械浇料）或通过汲入（使用低压或真空）喂料的。压铸委员会建议，各个部件应使用通用的名称。

2. 流动过程以及由此而得到的操作方式的准则

2.1 流入过程

2.11 压力

2.111 工作压力的任务

压铸法的明显特点是可大批量生产精密的可互换的铸件，并要求使用钢压铸模。这种压铸模的热传导能力大大地高于砂型，因此在一般情况下，压铸模的填充必须在极短的时间内完成。

同时要求铸件具有清晰的棱边。因此在壁厚很小的情况下，必须完全准确地填充型腔的所有轮廓。

为此提出了迫使金属完全填充型腔的任务。但是由于型腔的棱边、薄壁性、复杂性及压铸模材料高的热传导性，使型腔的填充遇到很大的阻力。

为了完成这项任务，在多数铸件生产时，金属必须以很高的速度流入压铸模，以致在流过型腔时模具的热传导性虽然很高，而金属液却不会很快冷却，结果“流动压力”（由型腔内金属撞击而形成）促使压铸金属紧压在型壁上，并使所有以不同方式流进型腔的金属汇合时完全熔合在一起。

压铸时为了补缩正在凝固的金属，由于不可能在压铸模内铸件危险部位设置液体金属的“冒口”，即砂型铸造的冒口，因此金属的补缩只能由直浇道通过整个铸件来实现。为了克服糊状金属的流动阻力，有时要求补缩压力必须很大。

所以，与其它的铸造方法相比，压铸过程的特点是：需要高的流动速度和高的作用在压铸模内金属上的压力。当然，这两个参数根据压铸金属和铸件的种类，以及压铸方法的不同，可在较大的范围内变化。只是为了表示它们的数量才给出如下数据。在热室压铸机上，流动速度一般在 $50 \sim 150$ 米/秒，作用在压室内金属上的压力在 $50 \sim 250$ 公斤/厘米² 之间。在冷室压铸机上，使用更高的压力（ $300 \sim 3000$ 公斤/厘米²）。在冷室压铸机上，通过调整冲头速度可以在很大范围内调整流动速度。

此外，当压铸一般尺寸的铸件时，在热室压铸机上填充型腔所要求的时间，一般在百分之一秒到十分之几秒之间。这里应明确指出，在此范围内，当压铸体积相同的各种铸件时，根据铸件和压铸金属的种类，压铸模内浇口的形状（特别是流入截面积的大小）以及压铸方法的不同，填充时间可能有很大差别。

从上述数据可得出如下结论：所需的这样高的压铸速度和压力，只有在特殊的压力介质的作用下才能获得。这种压力介质必须在金属流动的整个过程中和流动结束直至直浇道凝固为止，始终作用在压室内的金属上。下文应将动力源为压射施加在压室内压力介质上的静工作比压（与压室的液面截面积有关）称之为“传动压力”，并用 p_0 表示；而压室内

压铸金属的流体静压力称之为“工作压力”，并用 p 表示^①。在多数情况下，工作压力与传动压力没有明显差别^②。在压铸模填充时间 τ_g 范围内起作用的传动压力应称之为“压射比压”，并用 P_g 表示。在压铸填充结束后起着补压作用的传动压力应称之为“最终压力”，用 P_n 表示。上述这些压力（ P 、 P_b 、 P_g 和 P_n ）始终都理解为计算压力。

如上所述，压力作用在压铸金属上似乎是单一过程，而实际上是完成多种任务：第一、在金属流入型腔时，避免过度冷却损失，使金属具有所要求的“流动速度”；第二、使型腔内的金属具有压紧型壁和补偿所需的“填充压力”和“补缩压力”。但这里按作用功能对压力的划分，不应与按作用时间划分所表示的“压射压力”和“最终压力”相混淆。

2.112 压铸模内金属的流体压力

流体压力以两种完全不同的形式加在压铸模内的金属上：第一种形式是，在流动过程中的流体动压力（流动压力 P_n ）；第二种形式是，压铸模填充结束后的补压力 P_n ，它以静压力的形式通过直浇道和内浇口作用于铸件上。

如下文详述那样，在压铸模内各流动过程中，凡是金属流受阻或者突然地被折回时，它的部分流动能量便转换成压力能量。由此而形成的流体动压力在填充的整个过程中，^③用在所有处于静止（但还未凝固的），并与受阻金属液相连的金属上。如果选用足够高的压射压力或冲头速度和流入速度，则流体动压力在压铸模填充过程中可起填充压力和最终压力的作用。

另一方面，在压铸模填充结束后，最终压力^④可以以流体静压力的形式一直作用在还处于液态的铸件上，直到内浇口的金属凝固，不能再传递流体静压力为止。

因此，在每次压射过程中，这两种形式的压力相继出现在铸模内；但是在许多情况下，根据铸件的形状，两种压力中只有一种压力起主要作用。

实际上，压铸可以各种方式进行，根据这些不同的方式，“最终压力”主要来自于金属的流动速度或最终静压力或相继来自于两者。下面的章节将说明，根据所提出的压铸任务，在各种情况下按哪些观点来选择不同的方法。

然而，在对此作出详细叙述之前，首先必须对压铸模内的流动过程予以准确的研究。

为使这些分析不致混乱，以形状最简单的物体作为此项研究的基础。这里应指出，这些分析的有效范围当然不限于这种铸件，所获得的结果适用于所有形状近似于“板状物体”的零件。

2.12 流动过程

在许多铸件上，压铸金属首先到达型壁，并以这种方式在型腔内部填充前形成铸件的外表皮。这一经常观察到的事实，过去曾导致对流动过程理解为，金属流进入型腔后以任意方式分开，并沿着型壁流动，而不是按内浇口决定的方向继续快速流动。图3是这种通常被人们想像的流动过程的示意图，该示意图取自于杂志“机械”（Machinery）（29卷

-
- ① 传动压力与工作压力区别是由与压室截面积有关的摩擦力、运动物质的重量和惯性力形成的（其中通过相应的分力代替重量和摩擦力，用显著减少的质量代替质量来考虑变换比）。
 - ② 不考虑在压铸过程开始和结束时，有时是非常大的惯性力，它也是“工作压力”的一部分。
 - ③ 以压室驱动压力的足够作用时间为前提。

9 期 1923 年)的一篇文章。这篇文章单独地提出了各种形式的流动。但是, 该文没有明确说明, 为什么在没有外力作用在金属流的情况下, 能到处形成第 3 节所述那种形式的涡流运动, 使金属流进入压铸模时, 违背所有已知的物理规律而改变其流动方向。

下面试图与今天对流体动力学领域认识相符的形式, 来探索压铸模内的流动过程。当然, 这里有时采取一些假定也是必要的, 因为流动过程, 特别是复杂压铸模内的流动过程有时是非常复杂的, 以致我们的理论知识目前不能非常确切地对其加以解释。此外, 如果必须采取一些假定, 则应采用至少与物理知识水平不相矛盾的假定, 其结论可由工厂的正确经验加以验证。

在叙述压铸模内的流动过程之前, 首先应该简要地阐述一下关于无摩擦的理论流体的流动过程原理, 而对于在摩擦损失和涡流损失影响下实际流动时的变化, 将在后面叙述。

因此, 在下一节内只要没有指出其它条件, 均以无损失的理想流动为前提。

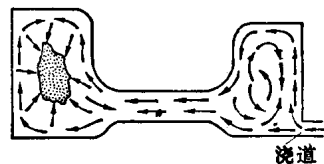


图 3 不符合实际情况的型腔内流动损失的示意图

对于流动过程已进行了各种实际研究。使用高速摄影机拍照了几种形式的型腔填充情况的电影。关于由此获得的认识, 巴顿 (Barton) 提出了众所周知的理论 (他还考虑了在不同流动速度下的温度变化) 以及压铸的其它理论基础, 这些将在下面叙述。

2.121 流体动力概念

a) 稳定流动过程和准稳定流动过程

在时间上完全是稳定的流动过程, 即流动场各点的压力和速度在时间上完全是一致的流动过程称为“稳定流动”。稳定流动过程可最简单地使用附录 I 中所示的伯努理 (Bernoulli) 方程式进行计算。当然, 这种流动过程实际上是很罕见的, 而且在压铸过程中是从不会出现的。但是, 人们通常也将适用于稳定流动的分析方法及计算公式, 用于随时间变化的流动过程。只要在压力随时间变化极慢, 致使流动速度的相应变化 (在与压力发生明显变化的时间相比为很小的时间内) 跟随着压力变化时, 上述情况才是合理的。这方面的一个简单例子, 在图 5 b 的示意图 (不按比例) 示出。为了统一起见, 下文将这些流动过程称为“准稳定”。通常也将这样一些流动过程视为“准稳定的”并相应地使用附录公式 (1/2) 计算, 例如在极短时间内, 金属在压铸模内的流动, 并在这段时间内出现流动图的明显变化, 该变化就其严格的含义而言, 与准稳的流动过程图似乎相差很远。但是应注意到, 流动过程变化的“迅速性”或“慢速性”在这里始终与流动时间的长短有关。在这段流动时间内, 流动过程的变化跟随着压力比的变化。根据这种见解, 有时也将由开始到结束只有十分之几秒或百分之几秒的流动过程在其流程的各瞬间视为“准稳定”。

b) 从压力容器中流出 (流出公式、流动时间和流束形状)

现在应该分析液体从壶状压力容器中 (图 4) 流出的流动过程; 压力容器的压室截面积 f_0 与它的流出截面积 f 相比很大。在这里以及下面所有的计算和流动图中都以流出口不考虑流束形状缩小为前提。

首先应讨论均匀的计算压力 p 在一定的时间内作用在压力容器内处于静止状态的液体上的情况 (见示意图 5)。当压力开始作用时, 液体首先做加速运动, 此时流出速度 w 从零提高到出现“稳定”的流动状态后所达到最大值 w_0 。假定在理想的流动条件下, 在计

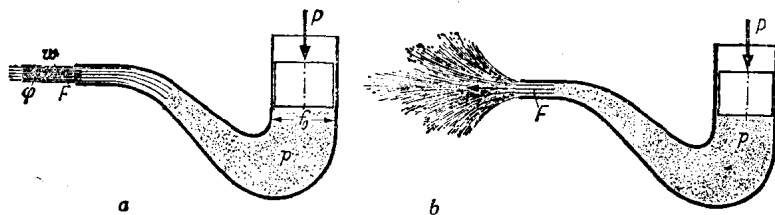


图4 从压力容器流出时流束形状

a—在不变的计算压力 p 和稳定流动情况下，流束平行流出；

b—在计算压力随时间有很大变化的情况下，流束分散。

算压力 p 作用下这种“稳定”的流出速度可从伯努理方程式中近似地算出（见附录 I）：

$$w_s = \sqrt{2g \frac{p}{\gamma}} \quad (1)$$

式中 g ——重力加速度；

γ ——液体的比重。

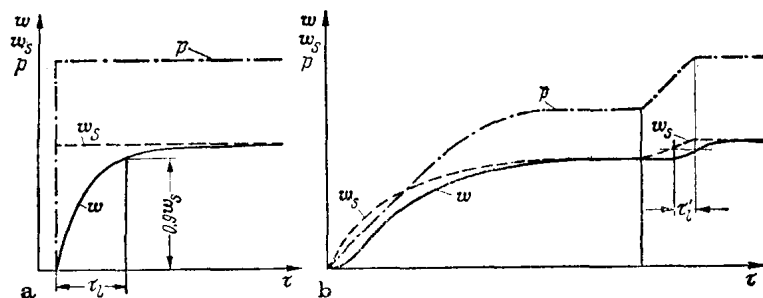


图5 从压力容器流出时的时间—流动过程

a—在不变的计算压力 p 作用下；b—在随时间变化的计算压力 p 的作用下。

从理论上讲，实际的流出速度 w 只是在无限长的时间之后才达到这个“稳定”值 w_s 。此外，当 w 和 w_s 之间的差别实际上可以忽略不计时，在极短的时间内 w 接近 w_s 值。下文将流出速度 w 从零提高到稳定流出速度 w_s 的 90 % 的这段时间称之为“流动时间”，并用 τ_L 表示。这种流动时间在极简单情况下根据附录 I 近似的假定条件进行计算。如计算所证，在上述情况下，流动时间 τ_L 的大小主要取决于计示压力 p 的高低，并与下列比例有关：

$$\frac{\text{压室截面积 } f_0}{\text{流出截面积 } F}$$

也就是说， $\frac{f_0}{F}$ 愈大， τ_L 则愈小。

此外，还应讨论施加于液体上的压力没有达到最高值又不是恒定的而是随时间变化的流动情况。图 5 b 简略地表示这种情况，图中绘出与时间 τ 有关的下列因素（任意选择的）：压力变化（点划线 p 曲线），与这种压力变化相适应的实际流出速度的变化（实线 w 曲线）和“稳定”的流出速度的变化（破断线 w_s 曲线），其中 w_s 表示各瞬间的流出速度，根据公式 (1)，该流出速度在稳定流动时与各个 p 相适合。考虑到压力变化，假定压力 p

从零逐渐提高到一个数值, 压力 p 在该值上停留很短时间, 然后又上升, 直到它达到恒定的最高值为止。示意图表明, 在 p 显著上升的这段时间内 (即在流动被加速时), 流出速度 w 小于 w_s ; 在 p 恒定不变后, w 曲线随即与 w_s 曲线重合。人们可以用不准确的近似法将这些参数的相互关系表示为在每次压力变化时, w 曲线向 w_s 曲线“推移”一定的平均时间间隔 τ_L' , 这段时间间隔也可称之为“流动时间”, 或者换句话说, 流出速度的变化平均“滞后”于压力变化-时间间隔 τ_L' 。在计算时, 该流动时间 τ_L' 的大小通常与压力 p 的大小, 单位时间压力升高的梯度和 $\frac{f_0}{F}$ 比有关。

压铸时, 流动时间通常是非常短的, 在主要的压铸过程中将压铸模的流入截面积 f 视作“流出截面积”, 将压室的截面积 f_0 视作加压截面积。因此, 下文通常将流动时间完全忽略不计, 并且相应地认为在流出时间 w 直接等于“稳定”值 w_s (根据上述公式(1)取决于计算压力 p), 如果不用其他方法表示的话。

外流流束的形状直接取决于压力和流动的时间变化。如果计算压力不变, 流动是稳定的, 则流束从图 4 所示形状的压力容器颈部平行流出 (图 4 a)。这就是说, 所有的流线在用平行壁喷嘴表示的方向上是平行的, 而且流束的截面积 Φ 等于流出截面积 F 。

流出时, 如果工作压力 p 和流出速度 w 增加 (图 4 b), 则在压力增加的整个时间间隔内, 各个从喷嘴截面流出的液滴比在其面流出的液滴具有更大的速度。如果加速该液滴, 则引起撞击过程, 工作压力 p 增加得愈快和愈高, 则撞击过程愈剧烈。此时不仅被撞击的液滴变形, 而且撞击的液滴也变形, 结果在压力突然增高时, 流束不是直线的继续急速前进, 而是直接在流出截面积处向所有方向上分散。图 4 b 是这种现象的示意图。

如果液体压力 p 减弱, 则压力容器内的液体运动减缓, 不会出现流束分散现象。为了避免各液滴的分散, 依靠液体的聚合力, 流束只是减少其截面积。流束在减缓时间内, 在一定程度上在纵向上被拉长。

c) 稳定的自由流束碰撞在垂直壁上

当稳定的自由流束碰撞在与其轴线相垂直的光滑壁上时 (图 6 a ~ c 所示的 W'), 则连续流动过程分成两个周期:

1. 碰撞周期;
2. 稳定流出周期。

“碰撞周期”: 在刚从流出截面 F 流出的液滴碰撞到壁 W' 上的瞬间, 由于壁压的作用流束会突然碰撞阻滞。在很短的时间内, 壁附近的流动是不稳定的, 流线每时每刻都改变其形状, 而且有一部分液体喷离模壁。

“沿着壁的稳定流动周期”: “碰撞周期”实际上●只持续一段很短的时间, 在碰撞后不久流束就变形, 直到在碰撞部位 0 附近, 流线不再改变形状和在那里以稳定方式继续流动为止 (图 6 a ~ c)。

此时, 在离碰撞部位 0 足够远的距离 e 内, 各液滴又达到一种实际上几乎完全等于喷嘴速度 w 的流动速度, 并以这种速度沿着壁流动。图 6 a 和图 6 c 表示“二维”自由流束

● 严格地讲, 只有在无限长的时间后, 流动才会过渡到稳定状态。

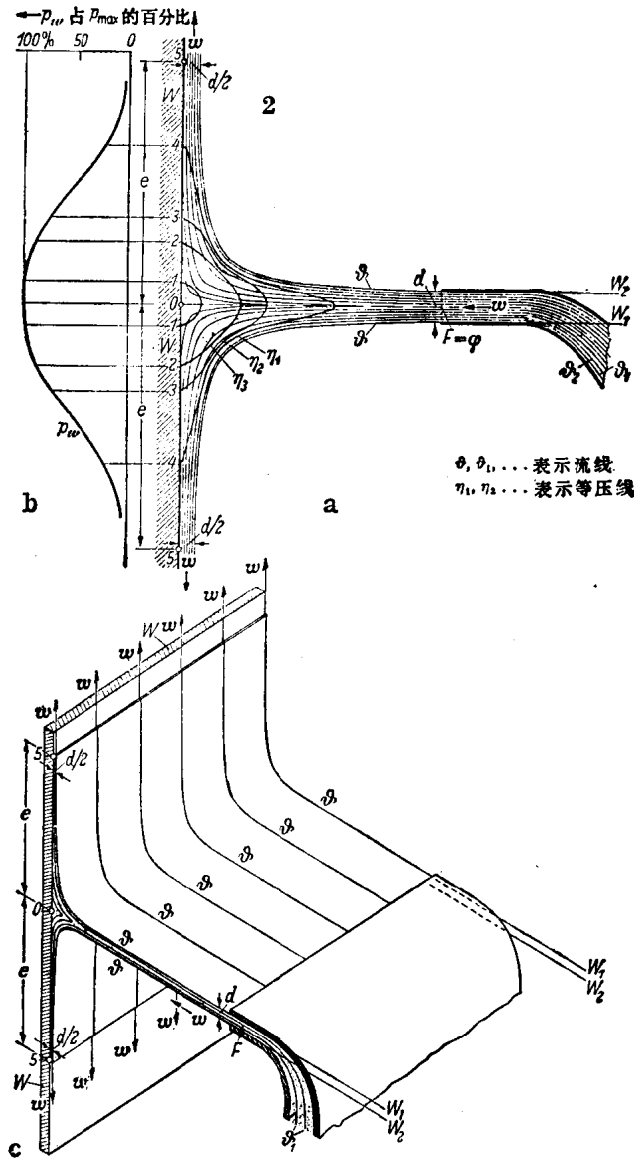


图6 在两维流动时，一个理想的自由流束沿着壁的稳定流出
a—流动图；b—壁压曲线；c—流束透视图。

(无限宽)在垂直(无摩擦和无损失的流动)面上稳定流动时的流动过程，其中图6a是一个流动图，也就是在“流线平面”上的流束截面积，而图6c表示取自透视流束图[●]的一个截面。图6b表示碰撞到壁 W 上液体产生的压力 p_w 的空间分布。

实际流动时，由于在整个流动时间内当超过一定速度时，在碰撞处出现流束部分分散(见图7)。所以当自由流束碰撞到壁上时，流动图发生明显的变化。此时，一部分液体以不可计算的喷溅和喷射点的形式向各个方向散开。

这部分液体的速度有多大，或者说在一定流束速度时有多少液体以这种方式喷离壁 W ，取决于液体的聚合力，弹性和粘度，并与它在壁上的粘附和流束的密度 d 有关。

● 在该流动图内，点5处的流动速度用 w 表示，而就其严格含义而言，返回的流束只是在离点0无限远的距离内，在所有流束内具有相同的速度 w 。

d) 在矩形型腔内流束在两维返回时的流动过程

如果一个稳定的自由流束流入一个截面积为 F_1 的矩形型腔 (图 8), 则根据流束截面积 φ 与型腔截面积 F_1 之比区别出两种情况:

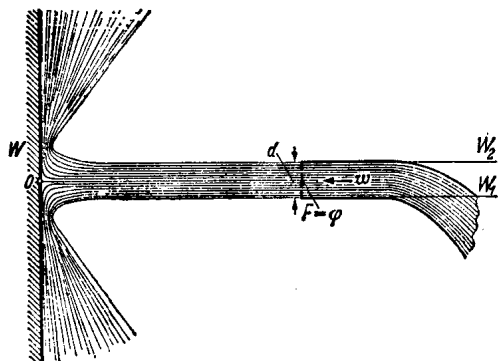


图 7 连续流动时由于速度很高使壁上的自由流束散射

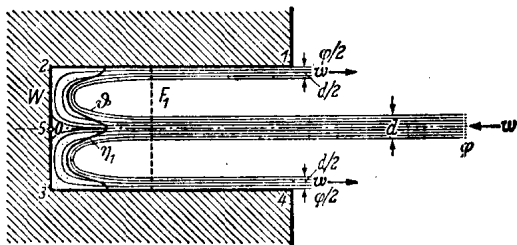


图 8 在两维流动时, 理想的流束从型腔稳定地流出

$$\left(\frac{\varphi}{F_1} < \frac{1}{4}\right)$$

(a) 当 $\frac{\varphi}{F_1} > \frac{1}{4}$ 时, 则如同易于证实那样●, 根据图 8 所示, 有可能在型腔内没有稳定的流动。在无损耗流动的情况下, 在碰撞周期内, 型腔由后向前地填充 (相对于流入的流束的流动方向)。在碰撞阶段出现很大的不规则性的实际流动情况下, 型腔的填充是以液体剧烈地向四周喷溅和向四周涡旋的方式进行的。流束速度愈高和 $\frac{\varphi}{F_1}$ 愈大, 则这种现象愈剧烈。

(b) 当 $\frac{\varphi}{F_1} < \frac{1}{4}$ 时, 则在短阶段后, 在型腔内也出现一种稳定的流动状态, 进入的流束分成两股半流束返回, 而且各流束以相似的方式和相同的规律返回到转角 2 和 3, 正如图 6 a 所表示的那样。图 8 表示两维●流动 (即无限宽的流束, 相当于图 6 a ~ c 所示的流束) 的流动过程略图。在型腔底部形成一定的液体积聚面● $\frac{\varphi}{F_1}$ 愈小, 积聚面愈扁平。在该液体积聚面内, 流动速度显著地降低, 而且任何地方均没有增高●。液体沿着侧壁 2-1 和 3-4 分成两股半流束从积聚面中流出, 每半个流束距离点 2 或点 3 的几段距离内具有截面积 $\frac{\varphi}{2}$ (厚度 $\frac{d}{2}$) 和流动速度 w 。由于液体从积聚面流出量等于流入量, 因此流束不会变大。在无摩擦的理想流动和可以忽略重力影响的流束下, 型腔根本不会被填满, 不论它在空间占据什么位置。当然, 在实际规定的状态下, 这种流动过程要发生明显的变化 (即由于摩擦和涡流引起), 关于这种变化下文予以详述。

2.122 金属流入压铸模

a) 直浇道、内浇口和排气槽

根据上述观点现在应详细分析金属流入压铸模内的情况。在压铸过程中 (见图 1 和图 2),

● 论证列在附录 I 第 3 节。

● 在叁维流动时, 在这里和下文都不叙述基本相同的状况 (只有流束厚度有变化)。

● 积聚应理解为被堆积的流体量。

● 积聚点 2、3 和 5 例外。

来自压室 N 的金属经过喷嘴 M 和压铸模的直浇道(图10中直浇道 E , 横浇道 E_s 和内浇口 E_a)流入铸件的型腔内。关于浇注系统的形状下文将予以详述。这所进行的流动过程试验, 局限在带状内浇口的情况内, 这种内浇口广泛地用于压铸生产。

以形状最简单的铸件为例, 图9表示铸件的正视、剖面图和投影图。图10表示该铸件压铸模的垂直剖面图和水平剖面图。图9中的 G 表示实际的铸件, G_a 表示内浇口金属, G_s 表示横浇道, G_e 表示直浇道。

如图所示, 压铸模内浇口 E_a 的形状是一个非常短的扁平槽, 其深度为十分之几毫米, 它的宽度 e_a 几乎延伸到整个型腔宽度 e_s 上, 这样内浇口的金属便成为一个非常狭长的和厚度 d 很薄的带状。内浇口两个平行的壁面 α 和 β (见图11和图12)在下文称之为“内浇口的主平面”^①。

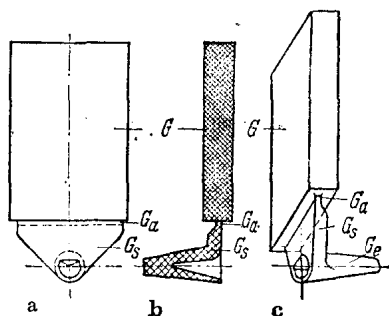


图9 带浇注系统(直浇道、横浇道和内浇口)的铸件。
铸件用密划影线表示, 浇注系统用宽划影线表示

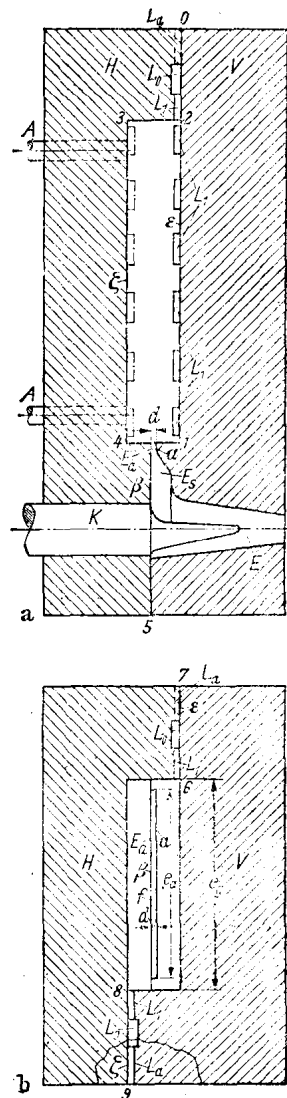


图10 为表示图9所示压铸件的直浇道、分型面和排气槽而绘制的压铸模示意图
 a —垂直剖面图; b —水平剖面图。

在继续研究时, 应分析这种铸件的压铸过程, 即图10所示型腔填充时的流动过程。

此时, 假定压铸生产如所常见那样, 在整个流入压铸金属的时间内, 气体以型腔内经排气槽逸出。关于排气槽在压铸模内的位置和形状的一般规则, 将在下文叙述。图10示意地表示出这里所研究的压铸模的排气槽位置, 排气槽的位置在分型面(平面 ϵ 和 ζ)上加工出来, 并由排气槽 L_1 、集气槽 L_0 和接通大气的排气槽 L_a 组成(排气通道即排气槽 L_1 , 为了清楚起见明显地绘出^②)。

- 有时在“薄带状”内浇口上, 将 α 和 β 之间的小距离 d (与压铸模轮廓尺寸相比)简称为“主要平面”。
- 实际上, 排气槽 L_1 的厚度在十分之几毫米和百分之几毫米之间。在本书多数的压铸模图纸上, 根本不标出排气槽, 它们却是如图10所示的那种形式位于分型面上。