

挤压铸造

齐丕骧 编著

TG249.2
14

3

挤 压 铸 造

齐丕骧 编著

0095/13

国防工业出版社



B 128174

内 容 简 介

挤压铸造是使液态金属在较高的机械压力下成形和凝固,从而获得铸件的一种工艺方法。它具有铸件质量高、机械性能可接近锻件水平、精化毛坯、节能、生产率高、对材料的适应性强等一系列优点,是当前国内外正在大力发展的一项先进技术。

本书是一部有关挤压铸造原理、工艺和设备的专著。重点讨论了金属在压力下结晶的特点、铸造过程的机理、挤压铸造合金的组织与性能;介绍了挤压铸造用设备、铸型、工艺参数和质量控制方法;列举了挤压铸造在各有关工业部门的应用实例,以及挤压铸造新技术的发展概况。本书适用于铸造、锻压专业的工程技术人员、工人,以及从事教学、科研工作的专业人员使用。

挤 压 铸 造

齐丕骥 编著

责任编辑 唐朝瑛

*

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

*

850×1168 $1/32$ 印张10 $1/2$ 268千字

1984年5月第一版 1984年5月第一次印刷 印数: 0,001—7,200册

统一书号: 15034·2629 定价: 1.30元

前 言

挤压铸造是使液态金属在较高的机械压力下成形和凝固,从而获得优质铸件的一种工艺方法。是当前国内外正在大力发展,并具有广阔应用前景的一项先进技术。

挤压铸造在国内外有多种名称,如“液态模锻”、“液态挤压”和“压力结晶铸造”等。“国际压铸学会”将此工艺定名为“Squeeze Casting”(挤压铸造),并列入“特种铸造”的范畴。为便于学术交流和国际交往,本书选用了“挤压铸造”这一名称,并对工艺的分类方法、专业术语等进行了统一(参见附录一)。

本书为挤压铸造原理、工艺及其应用方面的一本著作。为赶超世界先进科技水平和适应现代化建设的需要,针对我国正在大力发展此项工艺,并急需有关理论及工艺资料的实际情况,本书力求做到,既系统阐述该工艺理论,又全面介绍其生产实践;既要反映出国外的先进科技水平,又要突出介绍国内已做过的工作,以满足从事生产实践的工程技术人员、工人和从事这方面工作的教学、科研人员的需要。

本书稿经北京航空学院吴云书教授、王义虎副教授审阅。在编著过程中得到了兵器工业部五二研究所领导、魏兆融总工程师、第五研究室的关心和支持。李茂山、王佑招、刘达利、李振中、赵淑兰、丁光宇等同志给予了帮助。王东升绘制了全书的图稿。各兄弟单位还提供了大量的技术资料。在此一并表示衷心的感谢。

由于水平所限,书中缺点和不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

齐丕骧

一九八二年四月

目 录

第一章	挤压铸造概述	1
第一节	挤压铸造工艺方法及特点	1
第二节	挤压铸造工艺的分类	9
第二章	金属在压力下结晶的特点	16
第一节	压力对某些热物理参数的影响	16
第二节	压力对合金状态图的影响	21
第三节	压力对结晶参数的影响	27
第四节	金属与合金在压力下结晶的组织变化	37
第五节	压力对气体析出过程的影响	47
第三章	挤压铸造机理	55
第一节	挤压铸件的成形	55
第二节	挤压铸件的凝固与热传导	64
第三节	挤压铸件中的压力分布	72
第四节	挤压铸件的收缩与补缩	81
第五节	挤压铸件晶粒组织的形成	91
第四章	挤压铸造合金的组织与性能	102
第一节	铝合金	102
第二节	铜合金	116
第三节	铸铁	123
第四节	钢	132
第五节	其它材料	142
第五章	挤压铸造型	146
第一节	铸型设计的若干问题	146
第二节	柱塞挤压铸造型	163
第三节	冲头挤压铸造型	175
第四节	特殊挤压铸造型	186
第五节	铸型材料与涂料	195
第六章	挤压铸造设备	209
第一节	挤压铸造机	209

第二节	液态金属定量浇注装置	226
第七章	挤压铸件的质量控制	245
第一节	工艺参数对挤压铸件质量的影响	245
第二节	挤压铸件的缺陷	251
第三节	挤压铸件的检验	256
第八章	挤压铸造的实际应用	258
第一节	铝合金的挤压铸造	258
第二节	铜合金的挤压铸造	275
第三节	钢与铁的挤压铸造	281
第九章	挤压铸造新技术的发展	294
第一节	金属结晶时压力与振动并用	294
第二节	用数理统计法优化挤压铸造工艺	297
第三节	复合材料的挤压铸造	300
第四节	半固态挤压铸造	309
附录一	各国挤压铸造工艺的名称、分类名称对照表	321
附录二	书中工艺与物理参数符号	323
附录三	各国合金牌号和化学成分对照表	325
主要参考文献		330

第一章 挤压铸造概述

第一节 挤压铸造工艺方法及特点

一、工 艺 方 法

挤压铸造是对浇入铸型型腔内的液态金属施加较高的机械压力，并使其成形和凝固，从而获得铸件的一种工艺方法。

挤压铸造的典型工艺程序可分为铸型准备、浇注、合型加压

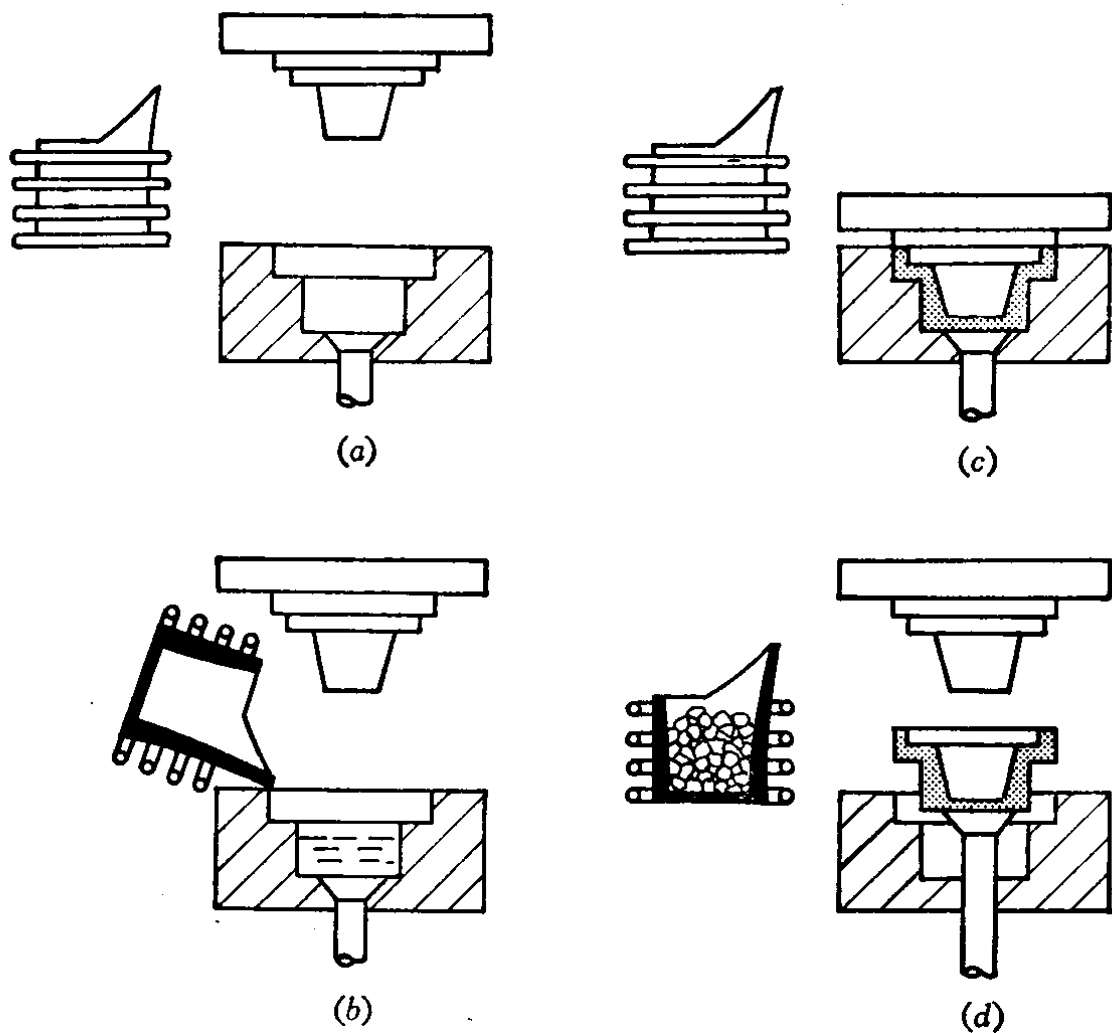


图1-1 挤压铸造工艺程序示意图

a —铸型准备； b —浇注； c —合型加压； d —开型，取出铸件。

和开型取件四个步骤(图1-1)。

(1) 铸型准备: 使上、下型处于待浇注位置, 清理型腔并喷涂涂料, 对铸型进行冷却(或加热), 将其温度控制在所需的范围内。

(2) 浇注: 以定量的液态金属浇入凹型中。

(3) 合型加压: 将上、下型闭合, 依靠冲头的压力使液态金

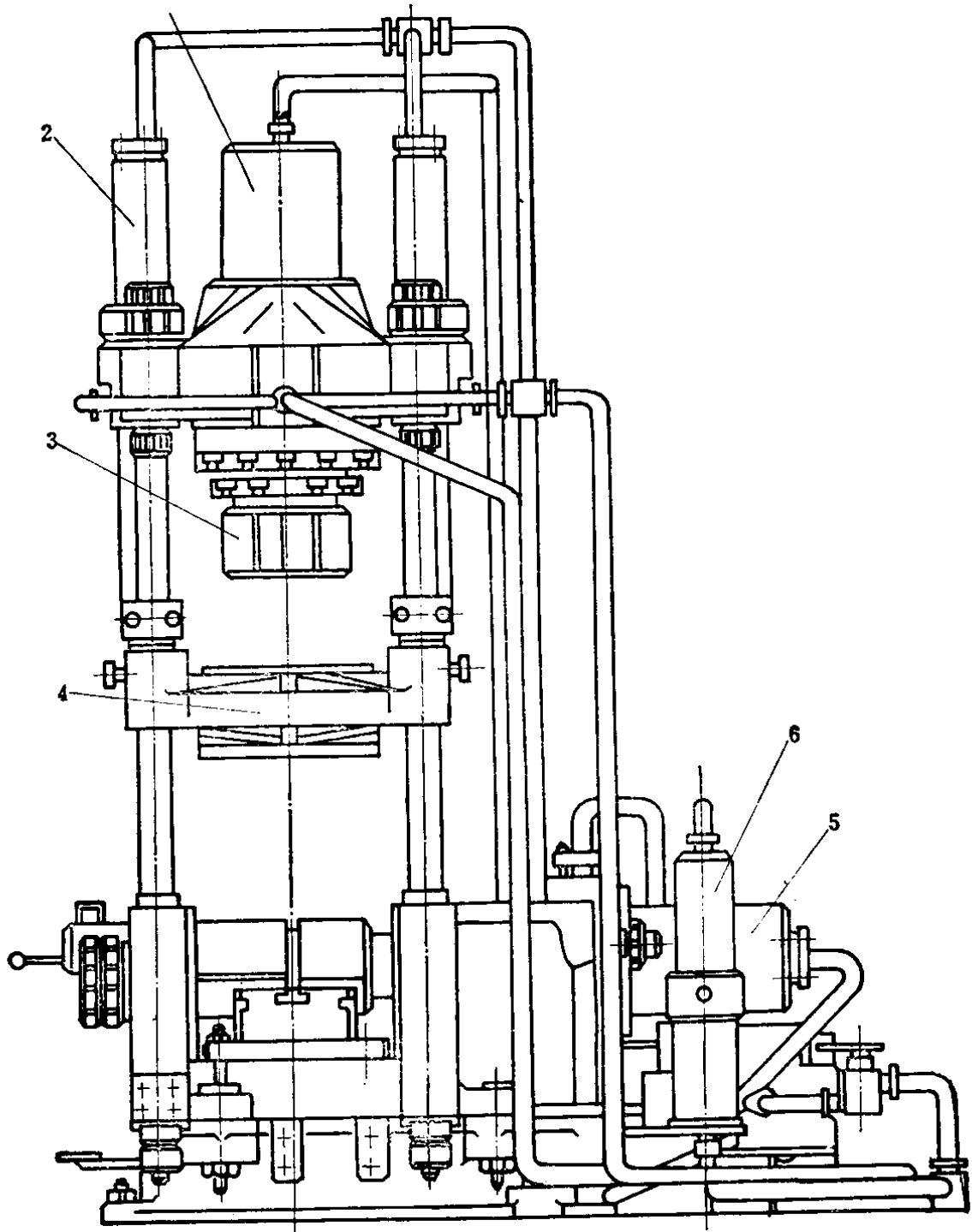


图1-2 挤压铸造设备

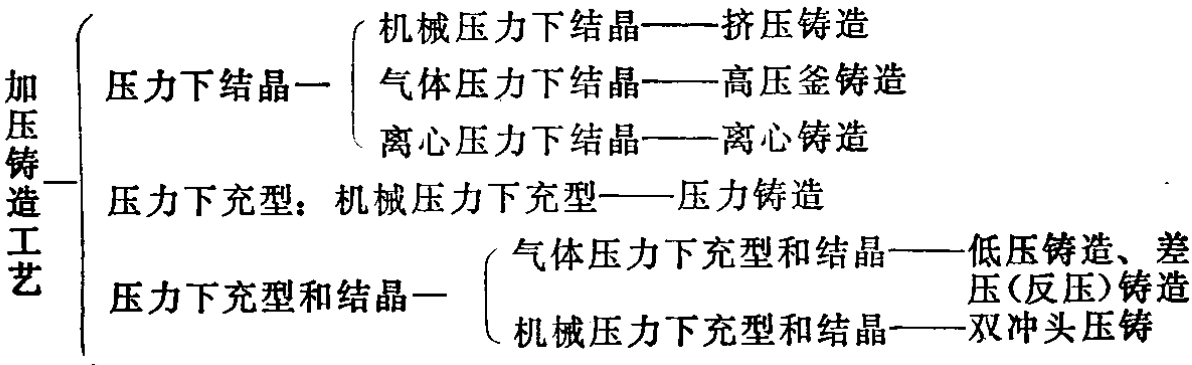
1—主油缸; 2—辅助油缸; 3—主缸活塞; 4—辅助活动横梁; 5—侧缸; 6—增压器。

属充满型腔，升压并在预定的压力下保持一定的时间，使液态金属在较高的机械压力下凝固。

(4) 开型、取出铸件：卸压、开型，同时取出铸件。

挤压铸造型一般是安装在压力机或专用挤压铸造机（图1-2）上进行工作的。挤压铸造工艺中常用工艺参数的名称和符号见附录二。

挤压铸造与压力铸造、低压铸造、高压釜铸造、离心铸造等一样，是一种加压的铸造工艺。它们之间的关系可用下表作一比较：



挤压铸造与其它几种加压铸造工艺不同。在压力铸造（图1-3）中，压力的主要作用是推动液态金属，以高的速度流过浇道填充型腔。由于其浇道长且有窄口，此处液态金属要比铸件本身先凝固，故铸件凝固时所受的机械压力是不大的。鉴于液态金属是以高的压射速度（一般大于15米/秒）充型的，通常易卷入大量气体，使压铸件在高温下常会出现表面气泡等疵病。因而压力铸造多用于薄壁、形状复杂的铸件上，且铸件通常不能进行固溶热处理。而在挤压铸造中，加压冲头直接压在铸件金属上，没有浇冒口系统，能使液态金属平缓充型并直接在机械压力下结晶。因而组织致密，不会卷入气体。挤压铸造多用于厚壁、形状不太复杂的铸件，铸件可进行固溶热处理。

近年来新发展起来的双冲头压铸法（图1-4），是在原压铸的基础上，加大内浇道截面积，以减慢液态金属的充型速度，并便于实现铸件的顺序凝固；它采用套筒双活塞进行压力充型，再用内活

塞进行压力补缩，因而也适用于厚壁且需固溶热处理的铸件。此种工艺是介于压力铸造和挤压铸造之间的一种工艺。有的也把它划归挤压铸造工艺的一种特殊形式。

在低压铸造、高压釜铸造和差压铸造中，液态金属在气体压力下凝固。其中，低压铸造的附加压力小于 1 个大气压；差压铸

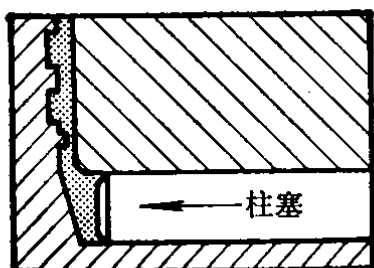
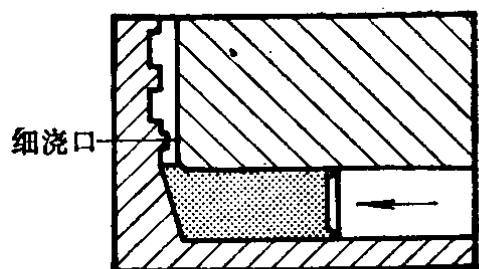


图1-3 压铸示意图

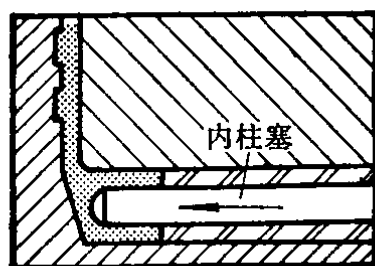
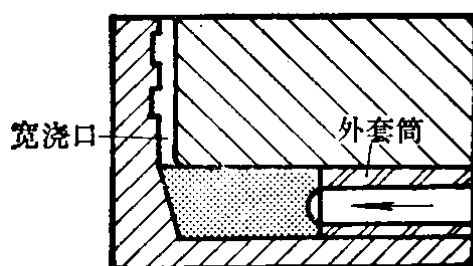


图1-4 双冲头压铸示意图

造和高压釜铸造的附加压力一般不超过 6 个大气压，压力都不大，只起增加冒口的补缩和消除铸件针孔的作用。而挤压铸造采用的机械压力，可从几个大气压直至几千个大气压，不仅可使液态金属充型、进行压力补缩和消除铸件气孔，而且还可压实铸件，使铸件产生少量的塑性变形(约 3%)。

挤压铸造的工艺方法很象模锻和热挤压工艺。但前者是使液态金属在压力下充型和凝固，少量的塑性变形是在凝固过程中发生的，所获铸件为铸态组织。而模锻和热挤压工艺是使固态金属坯料通过塑性变形而成形，因而所需的变形功比挤压铸造高得多，所获毛坯件为变形组织。

二、工 艺 特 点

由于挤压铸造是使液态金属在高的机械压力下进行结晶，因而此工艺具有如下的特点：

(1) 挤压铸造可以消除铸件内部的气孔、缩孔和疏松等缺陷，产生局部的塑性变形，使铸件组织致密。加之，在压力下结晶，还有明显的细化晶粒、加快凝固速度和使组织均匀化的作用。因而，挤压铸件的机械性能一般要高于其它普通铸件，而接近甚至达到同种合金的锻件的水平，同时它没有锻件中通常存在的各向异性。所以，挤压铸造是目前用以提供高质量、高机械性能铸件的一种重要工艺方法。

(2) 液态金属在压力下成形和凝固，使铸件与型腔壁贴合紧密。因而挤压铸件有较高的表面光洁度和尺寸精度，其级别能达到压铸件的水平。

(3) 挤压铸件在凝固过程中，各部位处于压应力状态，有利于铸件的补缩和防止铸造裂纹的产生。因而，挤压铸造工艺的适用性较强，使用的合金不受铸造性能好坏的限制。它不仅适用于铸造性能好的铸造合金，而且也适用于铸造性能不好的变形合金。既可用于铝、铜、镁、锌等有色合金，又可用于铁、钢等黑色金属，还可用于镍、钴等高温合金，甚至可用于复合材料和铸石等方面。

(4) 挤压铸造是在压力机或挤压铸造机上进行的。和压力铸造一样，便于实现机械化、自动化，可大大减轻工人的劳动强度，改善铸造车间劳动条件。加之，挤压铸造通常没有浇冒口，毛坯精化，铸件尺寸精度高，因而金属材料的利用率高。可以减少切削加工量。所有这些，均有利于降低成本，达到较高的生产率。与重力铸造相比，它可以提高铸件质量，减少废品率。与锻造相比，它可以大大减少零件的“变形功”，减小压力机设备的额定吨位，切屑废料可自身回收。这些，均有利于得到多方面的经济效益。

表1-1 各种铸造方法

技术经济指标	挤压铸造	砂型铸造 (重力浇注)	金属型铸造 (重力浇注)	低 压	
				砂	型
铸件材料	各种铸造合金 和变形合金	各种铸造合金	部份铸造合金	各种铸造合金	
铸件大小	中、小	大、中、小	较大、中、小	中、小	
铸件复杂程度	不太复杂	复杂	较复杂	较复杂	
最小壁厚(毫米)	2~5	≥ 3	2	2~3	
尺寸精度	ZJ4~ZJ2	ZJ7~ZJ6	ZJ5~ZJ4	ZJ7~ZJ6	
表面光洁度	$\nabla 5 \sim \nabla 6$	$\sim \nabla 3$	$\nabla 3 \sim \nabla 5$	$\sim \nabla 3$	
金属利用系数(%)	80~90	60	80	90	
铸件内部质量	组织致密, 机械性能接 近锻件水平, 气密性好, 晶粒细	凝固慢, 晶粒粗, 组 织疏松, 铸 造缺陷多, 机械性能 低	凝固快, 晶粒细, 组 织致密, 机 械性能较 高, 气密性 好	组织较致 密, 机械性 能较高	
生产批量	成批、大量	单件、小批	小批、成批	小批、成批	
生 产 率	高	低	高	较高	
生产准备周期	较长	短	较长	短	
设备费用	高	低	中	中	
工装费用	中	低	中	低	
造型、造芯材料费用	不需	中	低	中	
对铸造工人的技术要求	低	高	低	高	

技术经济指标的比较

铸 造	差 压 铸 造		压力铸造	熔模铸造
	砂 型	金 属 型		
部份铸造合金	各种铸造合金	部份铸造合金	部份铸造合金	各种铸造合金
中、小	中、小	中、小	中、小	中、小
较复杂	复杂	较复杂	较复杂	较复杂
1.5~2	2~3	1~1.5	0.5	1
ZJ5~ZJ4	ZJ7~ZJ6	ZJ5~ZJ3	ZJ2~ZJ1	ZJ3
▽3~▽5	~▽3	▽3~▽5	▽6~▽7	▽6~▽7
95	90	95	95	80
组 织 致密，机械性能高，气密性好	组织致密，机械性能高，气密性好	组织致密，机械性能高，气密性好	晶粒细，易产生气孔、疏松，不能热处理，机械性能较高	和砂型铸造相仿，但凝固更慢
成批、大量	小批、成批	成批	成批、大量	小批、成批
高	低	较高	最高	较低
较长	较长	长	长	较长
中	较高	较高	高	较高
中	低	中	高	较高
低	中	低	不需	高
中	高	中	中	中

(5) 挤压铸造是通过压力进行补缩的。对于薄壁和复杂零件, 因为铸件冷凝速度快, 有时来不及加压就凝固了, 因而此工艺的应用会受到某些限制。另外, 挤压铸造型中通常无浇冒口系统, 浇注的金属全部成形为铸件。因此, 铸件的高度是由浇入金属的量决定的。即其高度方向的尺寸精度取决于定量浇注的精确程度, 故定量浇注在此工艺中有重要的意义。

表1-1是各种铸造方法技术经济指标的比较。

三、挤压铸造工艺的发展历史

在国外, 从1937年起就开始对挤压铸造工艺进行了研究, 四十年代初已用于铜合金轴承等零件的生产。到了六十年代, 苏联已有150家工厂, 约200多种产品用于生产。目前, 国外生产的挤压铸件, 轻者只几十克, 重者达320公斤。最大投影截面积的直径为 $\phi 762$ 毫米。使用的压力达千吨以上。涉及的材料有: 铝、铜、锌、镁、钴等合金和钢、铁。并且还有多种规格的挤压铸造机出售。

在我国, 从1957年开始进行挤压铸造工艺的研究。六十年代中, 已用于铝合金仪表零件和引信等的生产, 七十年代初, 一些高等院校和科研单位相继开展了挤压铸造工艺基础理论的研究工作。近五、六年来, 此工艺得到了较快的发展。其中, 以上海地区、南京地区、西安地区, 以及活塞行业和铸锅行业发展得尤为迅速。

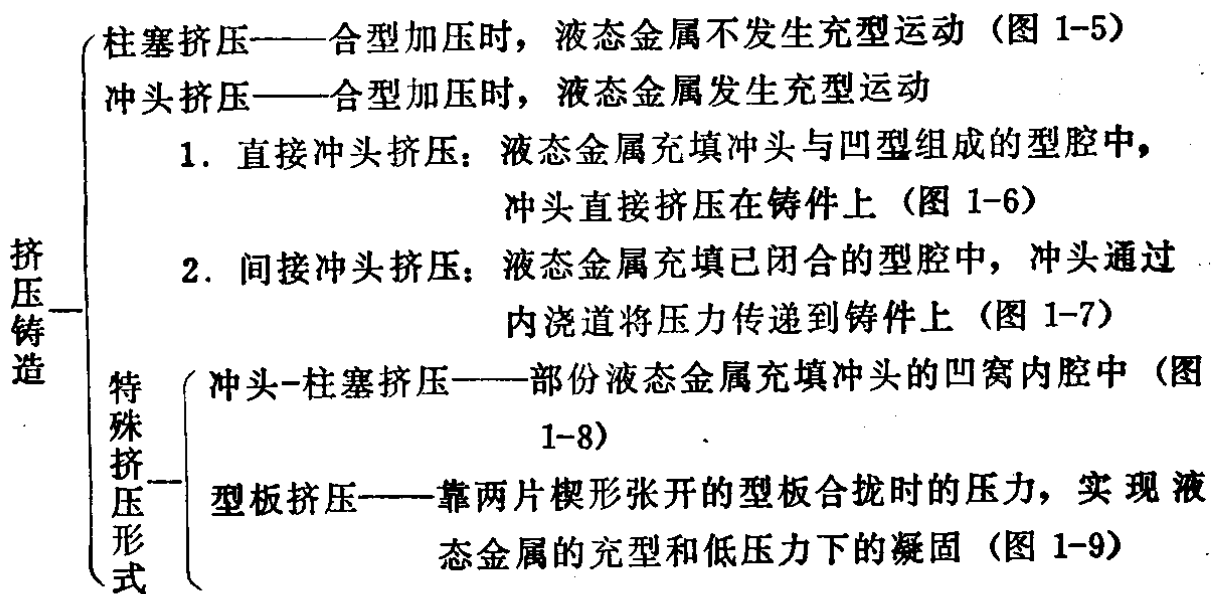
据不完全统计, 目前我国稳定地进行生产的单位约有几十家, 涉及的产品有: 铝合金的气动仪表零件、炮弹引信、汽车活塞、餐具; 铜合金的光学镜架、高压阀体、蜗轮和柱塞轴流泵体; 铸铁锅、耙片和刹车鼓; 碳钢电机端盖和法兰盘等。铸件的品种规格达70余种。目前正进行研究试制并已接近投产的单位还有近百家。产品涉及到军工、民用的各个领域。并且对材料、设备、工装、铸型设计、铸造机理等工艺基础问题也开展了一定的研究工作。其中, 解放牌汽车活塞有的已初步实现了挤压铸造

生产的机械化和半自动化。

目前，挤压铸造这一新工艺在我国还不够成熟。例如，迄今还没有生产出一种完善而经济的挤压铸造机，各类零件的工艺、铸型设计等参数还不成熟和完整，特别是对于挤压铸造的理论研究工作还很不完全。这些都是有待解决的问题。即使如此，从该工艺具备的特点和国内外的发展趋势来看，可以预见，挤压铸造工艺是有着广阔地发展前景的。

第二节 挤压铸造工艺的分类

挤压铸造工艺的分类，多数是依据液态金属在铸型中充型的特征和结晶时所受压力的状况而定的。但各国的划分方法不同，名称也不一致。这里我们按国内多数的分类方法，并参考国外的一般做法，作如下分类：



下面分别说明各类挤压铸造方法的主要工艺特点。

一、柱塞挤压铸造法

图 1-5 为柱塞挤压铸造法的示意图。它用柱塞作加压冲头，封闭凹型的开口处，并施压于正在凝固的液态金属自由表面，保压，直至它完全凝固为止。此类挤压铸造方法的特点是，铸件的成形完全是在向凹型中浇注液态金属时实现的。冲头加压时，液

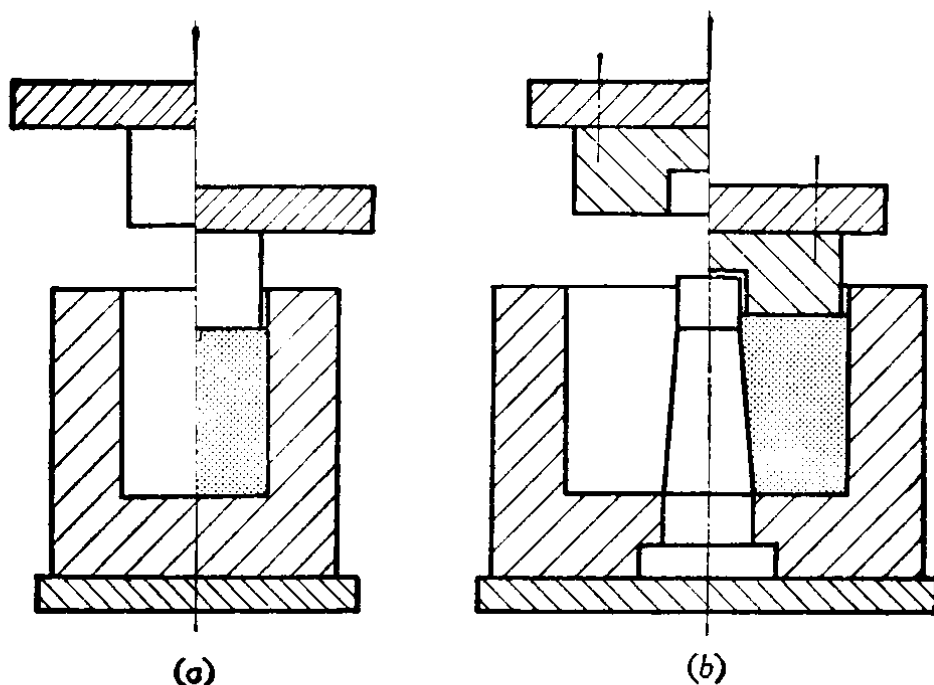


图1-5 柱塞挤压铸造

a—实心铸锭；b—通孔铸件。

态金属基本上不进行充型运动（因铸件的补缩而产生的位移除外）。

柱塞挤压铸造适用于制造各种金属和合金的铸锭、实心铸件、供压力加工用的毛坯件、通孔或形状不太复杂的杯形厚壁（ > 5 毫米）零件。

柱塞挤压没有浇道系统，冲头直接压在铸件金属上，加压效果良好。但铸件的高度取决于浇入的金属量，因而定量浇注具有重要意义。

二、直接冲头挤压铸造法

图 1-6 为直接冲头挤压铸造示意图。此种方法是利用成形的冲头，在合型时把它插入液态金属中，将部分液态金属向上反挤，以充填由凹型和冲头形成的封闭型腔，继续升压和保压直至铸件完全凝固。此工艺的特点是，在液态金属浇入凹型后，靠冲头加压进行铸件的成形，在成形过程中液态金属要进行充型运动。

直接冲头挤压铸造没有浇道系统，冲头直接加压于铸件的上

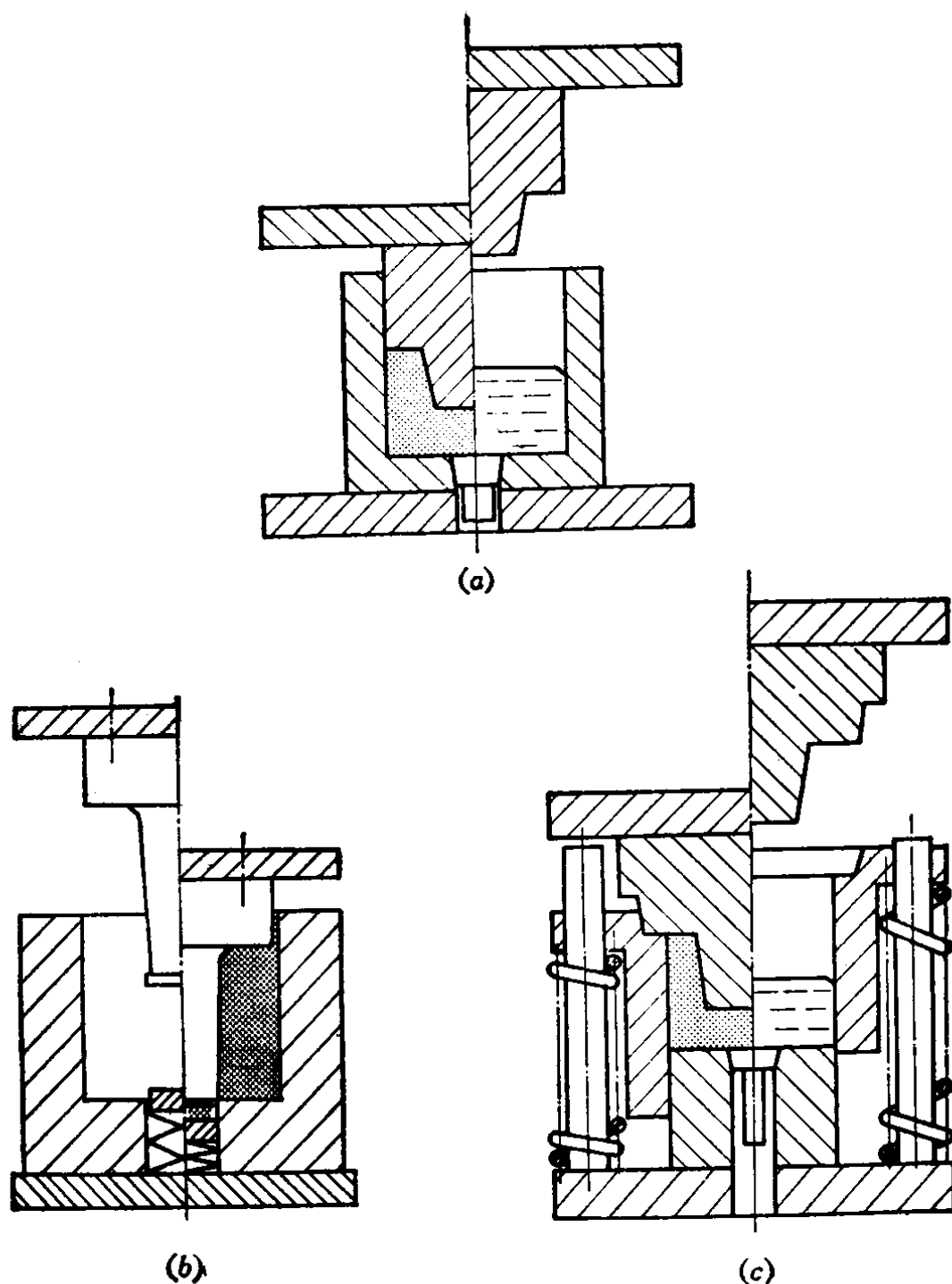


图1-6 直接冲头挤压铸造

a—杯形铸件(固定凹型); *b*—通孔筒形铸件(可动底板);
c—杯形铸件(动凹型或称底板反压式)。

端面和内表面, 加压效果好。由于浇入的液态金属全部形成为铸件, 若无溢流措施, 其铸件的高度也是由浇入金属量决定的。因此定量浇注同样具有重要意义。另外, 当冲头迫使部分液态金属向上流动时, 原浇注的金属表面与反挤上升的液态金属在型壁的