

压铸手册

DIE CASTING HANDBOOK

上海市压铸技术协会

出版说明

我会组织了一批会员，把美国压铸工程师协会于1982年出版的这本手册译成中文，作为我国从事压铸的科技人员参考阅读，以便了解当前的压铸国际水平。SDCE是美国于1954年成立的国际性压铸学术组织，它和1928年成立的美国压铸协会(ADCI)，实际上是一套人员两个机构。前者活动较为广泛，除每两年召开一次国际性学术会议外，还出版了多套技术培训资料，本手册就是其中之一。

本手册原有十章，以活页方式装订成册，后因故第二章未能出版，实际上只有九章，因而中文版，第六章就相当于原文版的第七章，以此类推。因原书也由集体分工执笔，我们发现总目录与正文的内容不尽相符，这次中译时，对总目录作了一下调整，并在正文中加上了必要的章节名称，便于读者查阅。在翻译过程中还发现多处编排及印刷上的错误，均予改正，不再另作说明。

本手册的第二章，理论性较强，讨论重点是模具的热分析，使读者对铸件的凝固过程有一个基本的了解，便于设计模具时对热流的分析有一全面估计。该章作者试图在某些何实下，以有限分析法计算热量的分布概貌，所得结果与实际情况比较接近，但不能说以很完美。希望读者加以分析，然后进行再创造，使理论与实际更加接近。

第三章是常用压铸合金牌号的介绍，及熔化炉燃料消耗的估算，对节约能源有一定的积极作用。

第四章是该协会提供的若干标准化建议，从生产角度来看，对备品备件的构置，模具在各种机器上的通用性等，都和降低生产成本和加速生产周转起到积极作用。

第五章列出了模具设计中的点滴经验，以及美国常用模具钢的热处理方法，可供读者借鉴。

第六章略书设计切边模的基本要求，它的经济价值主要取决于铸件产量和压铸生产的自动化程度。高度自动化的生产机构，需要从自动匀料、自动取件、自动切浇口浇冒口回炉等成为一条龙，使生产面貌与常规方法完全改观。

第七章是成本核算简述，该章中的一些表格，对如何跟上现代化生产管理以及给厂领导提供决策资料，是有一定意义的。

第八章的重点放在安全生产，其中有不少条文，对我国如何制订安全生产条例有一定价值，同时对生产压铸机的单位也提供了新的要求，促使压铸机的性能更趋完善，对出口创汇也起到推动作用。本章还对安全生产中某些术语下了定义，在制订文件时很有帮助。

第九章是压铸名词术语小词典，很有参考价值，特别对从事压铸的专业技术人员，在阅读国外英文资料时，能准确理解术语的含义，可以说是案头必备的工具书。对该章的译文细节，可见章首的说明。

本书的出版对美籍华人余哲民先生的热心支持是分不开的，由他特赠原版书，在此表示我们的谢意。

为赶上我会第四届年会的召开，以及解决印刷上的困难，准备出版的时间比较仓促，文中错误在所难免，特别是术语中的中文名称，尚待广大读者提出意见，便于再版时更正。

本译文由赵玮若、王益志、骆玉鼎等同志主译。 主编：赵玮若 校对：赵士忠
上海市压铸技术协会

一九八六年十月

目 录

出版说明

第一章 概述

- A. 模铸法
- B. 支援工业
- C. 压铸工业简介
- D. 发展史

第二章 压铸原理及其理论基础

- A. 模铸法概述
 - 1. 金属型铸造
 - a. 金属型铸造的优点
 - b. 金属型铸造的缺点
 - 2. 低压铸造
 - a. 低压铸造的优点
 - b. 低压铸造的缺点
 - 3. 高压铸造
 - a. 高压铸造的优点
 - b. 高压铸造的造点
- B. 热流理论
 - 1. 热量与温度
 - 2. 熔化潜热
 - 3. 液态金属的热容量
 - 4. 热传递
 - a. 导热
 - b. 辐射
 - c. 对流
 - 5. 合金的热容量
- C. 压射时的热流
 - 1. 热流举例
 - a. 进入型腔表面的热流
- D. 压射后的热流
 - 2. 热流举例
 - a. 通过模具的热流
- E. 热流通道
- F. 热流的控制
 - 1. 模具材料
 - 2. 浇道和溢流槽
 - 3. 用热流来控制缩孔
- G. 凝固及其热流通道

H. 总的热流通道

I. 脱模剂

第三章 合金、熔炼及其管理

A. 合金成份及其性能

1. 铝合金

2. 镁合金及锌合金

3. 铜合金

B. 用于炉子计算的代号及常用值

C. 压铸合金中的杂质

D. 燃料需要量

E. 保温炉温度与冷料关系曲线

F. 保温炉尺寸

第四章 压铸机推荐标准

一、模板标准

二、压室、冲头杆、冲头尺寸

三、标准安全标牌及其在压铸机上的位置

四、锁模力标准

五、有关名词术语

第五章 压铸模设计

A. 符号或代号

1. 热流计算符号

2. 用于浇口设计的符号及其量纲

3. 内浇口计算公式

B. 压铸模设计一般原则

1. 锁模力

2. 热变形

3. 活动件的配合

4. 图纸上的一般注意事项

C. 模具材料

D. 模具钢的热处理

E. 型腔表面光洁度

F. 模架上若干特征

1. 浇道中心线

2. 导柱尺寸及压板槽尺寸

G. 推出系统的若干特征

1. 推杆的配合

2. 推杆板尺寸

3. 自动推出系统

H. 活动型芯

1. 斜销及其传动机构

2. 弯销及其传动机构

3. 液压抽芯机构

4. 齿杆齿条抽芯机构

5. 活动型芯锁紧力

6. 圆锥剪断销直径
7. 齿轮剪断直径
8. 叶形杠杆凸轮的齿杆传动

第六章 切边模

1. 切边模座架
2. 下落斜式和复合式切边模
3. 切边模的设计准则
4. 切边模的选料

第七章 成本核算

1. 成本核算概述
2. 涉及范围及摘要内容
3. 加工明细表
4. 技术分析表
5. 投产前准备工作进度
6. 成本核算计算表

第八章 操作和控制

- A. 压铸机的安全问题——ANSI 标准 B 152.1
- B. 冷却水线路图及其用法
- C. 压铸模安装调试单

第九章 术语小词典

1. 原著序言
2. 译者几点说明
3. 词典正文

第一章 概 况

压力铸造是金属熔化后在按零件设计要求所制成的型腔内凝固，所以压铸法是一种真正的金属铸造方法。在用型砂或石膏做铸型的铸造方法中，铸型被熔融金属的热量或在铸型中取出铸件时而破坏。在压铸法中，利用淬硬的制成铸型，它能承受铸件的热量，并由活动零部件构成，使已凝固的铸件易于取出。因此，这些铸型可以重复使用，能生产数千甚至百万个铸件。这些称为模具的铸型是永久性的，能承受较大的外力或压力，还具有许多机械机构。

A. 模 铸 法

模铸法(美国称为模铸法——译者)实际上有三个分支：(1)金属型铸造(有时称为重力模铸)；(2)低压模铸。(3)高压模铸。虽然该技术包含以上三种方法，但在北美模铸这一术语即指高压铸造。三种方法的主要差别在于将熔融金属压入模具时所用的压力大小不同。这三种方法均采用可重复使用的淬硬钢制模具作为铸型。在金属型铸造中，熔融金属注入后仅在重力作用下流动。低压铸造法是用小于 1.5 MPa (兆帕) (200 磅/平方英寸) 的压力使熔融金属进入模具。高压铸造(即压铸)法则使模具内的液体金属受到 7.0—140 MPa (1000~20000 磅/平方英寸) 的压力。随着压力增加，熔融金属充填模具所需的时间相应减少。

增加熔融金属的压射压力，要求机器提供相应递增的锁紧力，以使两半模具紧密合拢。金属内部的液压压力可以很高，因此压铸机的锁紧力也要很大。较大的压铸机锁紧模具的力大于 25 MN (3000 吨)。为施加这样高的压射压力，熔融金属浇入压室后是由液压驱动的冲头将金属液压入模具中的。

压铸机按动作次序进行自动循环，循环过程包括：(1)合模，(2)锁紧模具，(3)舀入熔融金属，(4)将熔融金属压入模具，(5)待金属在模具内凝固，(6)开模，(7)从模具中推出铸件。模具从铸件中吸收凝固潜热，这一热量需通过模具在铸出下一个铸件之前从型腔部分散发掉。穿过模具的热流的设计和控制在压铸过程中最为关键和复杂的一个方面。这种加工工艺同砂型铸造法毫无共同之处。

压铸工业体系

压铸是一种一次就能把原材料转变为成品的生产方法。金属原材料来自金属矿或金属废料。

锌、镁压铸合金直接取自矿砂。采矿或熔炼公司将矿砂精炼成高纯度的铸锭并以原生金属出售。较大的压铸公司购买这种高纯度的金属锭并加入其它成份制成专用的合金。绝大部分较小的压铸公司则同熔炼公司或从独立的合金公司购买预制合金，这些公司都是些专门从事购入纯金属并制成压铸合金的。锌矿公司资助的国际铅锌研究组织 (ILZRO)，其研究目的是开发这些金属的新用途或更有效地使用它。这些公司还资助称为铝业学会 (ZI) 的第二个组织，这个组织从事促进锌的应用并帮助开发这一金属的新市场。压铸公司可以从这些组织中得到技术上的帮助。独立的锌合金公司资助了称为“独立锌合金协会”的商业组织。

大多数铝基，铜基压铸合金是废金属精炼而得的再生合金。废品可从其它生产过程中收集而来，如来自冲压的废次品或切加工后的切屑，但是这些废品大部分来自经过长期使用的报废产品。再生熔炼公司购入这些废品，经过分类并精炼成压铸合金。为使合金成分正确，在精炼过程中可加入一些新的金属。熔炼商将合金铸成锭子出售给压铸公司。很多铝合金是在熔融状态由特制的送料卡东直接送到压铸公司的，这种方法可使压铸公司节省昂贵的重熔费用。再生铝合金熔炼公司资助一个称为铝件回收协会 (SRA) 的商业组织。铜矿公司资助一个从事商业、市场开发及标准化的组织，称为铜业开发协会 (CDS)。这一协会资助了以促进研究为目标的扩大铜应用的“国际铜研究协会”(INCRA)。

压铸时，每一铸件都带有必须去除的多余金属。如直浇道(余料)、横浇道、溢流槽及飞边。这些多余的金属通常在压力机上用切边模从铸件上切除，切下的边角料由压铸公司作为废料加以利用。

有些压铸公司将已切边的铸件，出售给需要这种铸件的产品生产公司。有些压铸公司给用户发货前，将铸件进行加工或表面处理(为：磨光、抛光、电镀、油漆、机加工等等)，这样，用户只需把经过精加工的铸件

装配到产品上即可。

压铸工序常设在成品生产厂，如家用器材，汽车、五金零件等产品生产厂。

B. 支援工业

压铸是一个高度专业化的产业。与压铸有关的工业有：机床、工模具，公用事业、建筑、银行、销售、交通运输等。其中某些工业已发展成为专为压铸工业服务的专门行业。例如：机床、工模具、脱模剂和工业炉等工业。这些公司研制了许多压铸业赖以生存的先进技术，而这些公司的命运也与压铸业休戚相关。

专业协会

大多数上述支援工业与压铸公司都被接纳入压铸组织。有些协会已如前述，但另有两个值得一提：

压铸工程师协会(SDCE)：

SDCE 成立于1954年，由北美25个分会组成。这是一个国际技术与从事教育的协会，有来自美国、加拿大、墨西哥及世界各地的压铸公司，供应厂商，用户等3500名个人会员组成。

SDCE的首要目标是增加压铸知识的积累，促进教育计划，鼓励研制新产品，通过教育及研究推动压铸工业的发展。

美国压铸学会(ADCI)：

ADCI 成立于1928年，成员遍及世界。会员以公司名义为主，包括那些以生产或出售压铸件的公司以及提供原材料，为压铸业服务的公司。学会的任务是领导和表达美美国压铸业在市场、经营、生产、研究等方面的设想。对政府的联络和各界关系也是如此。

C. 压铸工业简介

在北美约有1200多家压铸厂。许多是独立的从事压铸生产的专业公司，这些公司根据每项任务通过投标来获得业务。这些专业压铸厂的大小从仅有三、四台小型压铸机到拥有大量大型压铸机的联合公司。

某些压铸公司已发展成为专卖产品的生产线，且其生产能力处于压倒优势。这些公司可能是专业压铸公司，也可能由于压铸是生产其产品的最佳方法而兼营压铸的。当压铸在一家公司内作为辅助性生产活动时，压铸生产被认为是从属性生产。（相当于我国某些大厂内的压铸车间——译者注）。在北美约有半数的压铸厂属于这种类型。

汽车、小型发动机、操舟机以及建筑五金工业均拥

有大型的压铸车间，有些拥有一百台以上的压铸机，其中有锁紧力大于27(300吨)的压铸机。同样，分马力感应电机的制造商也拥有这种从属性质的压铸车间。

很多其它金属加工公司也拥有压铸设备，在拥有大量的生产装配中，可能只有一台小型的压铸机，但 these 公司在压铸生产中，化去不少精力。

由于压铸工作需要专业技术和训练有素的工人以维护设备，因此在压铸厂中至少要拥有12台中型压铸机，才是经济上合算的。对于较小的压铸生产单位，要配备一定的后勤人员及设备是不合理的。如果铸造生产中的压铸机锁紧力限定在1.0MN(100吨)以内，则经济上却有很大的差别。这时一个合算的压铸生产单元可以小到仅拥有3~4台压铸机。

D. 发展历史

类似于压铸的作为“铅壶”的生产印刷铅字的机器在1849年由Sturgiss提出并得到专利(见图1-1)。

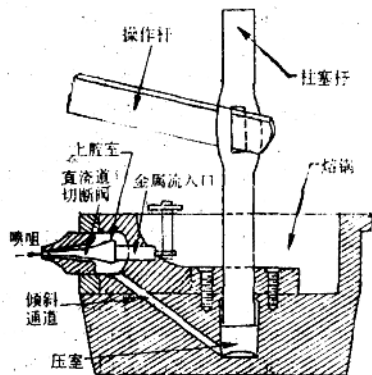


图1-1 1849年由sturgiss申请专利的铅壶在 这一早期手工操作的压铸机中，将铅浇注成铅字。

压铸的应用始于1868年，一个名叫 Charles Babbage 的英国发明人研制了生产机械式计算机(为当代计算机的先驱者)的精密零件的压铸方法。其中一个零件是一非常薄的、直径为6.5英寸、80牙的齿轮(见图1-2)。在1877年，美国的 Dusembery 制造了一台手工操作、生产火车头上轴承套的机器(见图1-3)

随着诸如爱迪生的留声机等消费品的出现，大规模生产有了发展。留声机部件早在1892年就压铸生产。与此同时，诸如现金出纳机商业用机开辟了压铸的另一市场。当1904年H.H. Franklin 公司开始生产用于汽车工业的连杆轴承时，压铸工艺得到了进一步发展。

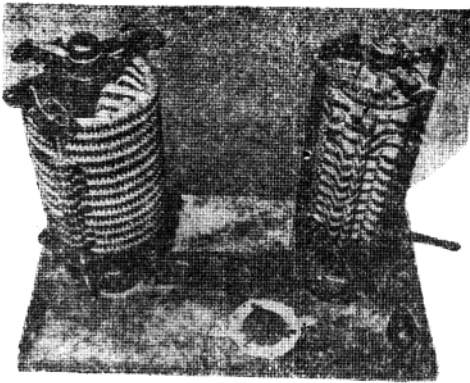


图 1-2 由 Charles Babbage 制成的用于机械式计算机压铸件试验性装配件。

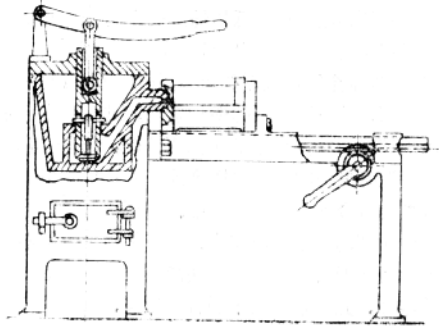


图 1-3 1877 年 Dusenbury 具有手工操作的压铸机。由水平分型，侧向浇注的模具，生产出火车头的轴承套。

当 1922 年新泽西锌公司解决了早期锌合金存在的问题后，压铸才得到了大发展。

约于 1914 年，利用空气压力将熔融金属压入模具

的压铸机(见图 1-4)，首次压铸了铝合金。直到三十年代初，冷室法出现为止，铝的高熔点和铝与铁的化学反应推迟了这类合金的广泛应用。冷室法减少了铝与机器铁质部件之间的接触时间，这样大大降低了铝与铁的化学反应。

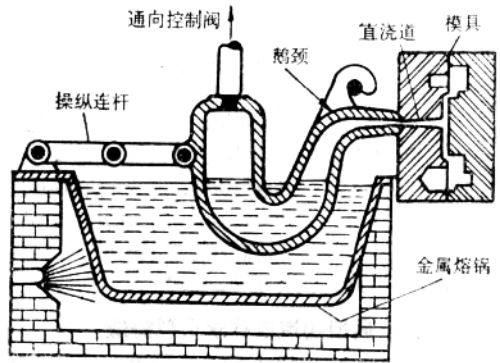


图 1-4 早期的鹅颈式压铸机。可移动的鹅颈浸在用于浇注的熔融金属内。

在三十年代，一系列的其它进展是目前现代压铸工业的开端。这一系列的进展时：(1)黄铜的首次压铸。(2)可以获得高纯度的锌。(3)自动化压铸的出现。(4)市售压铸机在锁模力及先进程度上都有了明显的提高。(5)二氧化硫保护熔料装置使镁合金压铸成为可能。

压铸工业最大的发展时期是在五十年代至六十年代初期，有大量的汽车零件及仪表零件需要压铸。其目标为找到更有效，更经济的生产方法的大规模研究，导致了这一工业进入七十年代的先进时代。研究的成果正在生产设施中实现。八十年代将是压铸工业由一种试探性的艺术彻底进入严格的科学时代。

第二章 压铸原理及其理论基础

A. 模铸法概述

在 Casting 一字前面的 die 是指将液态金属注入一永久模型(模具)内,并保持到液态金属凝固。然后打开两半片的模具,并取出铸件。压铸方法的种类很多,且没有单一的铸造方法能适合所有的铸造产品或所有的生产场合。这些铸造方法通常根据施加于液态金属的压力不同主要分成三点。

1. 金属型铸造或称永久型铸造

这一过程所用的方法类似于传统的铸造,唯一的差别是用金属永久型腔代替常用的砂型。这一方法在有色合金的铸造生产中广泛使用,当需要生产多于数百件铸件时是经济合算的。

用于重力铸造的模具通常结构简单,具有垂直通过模具型腔接合的两部分组成,通常一边铰接以便于模具的开模、合模。浇道、浇口、通气槽与砂型相似,型芯可用金属或砂制造(图2-1)。为延长冷却以便液态金属能均匀地充满型腔,型腔涂以耐火涂层。

基本的操作包括:浇注液态金属、短暂的冷却期、铸件出模、清模或上涂料,安放活动型芯、合模等。然后进行下一步循环。

a. 金属型铸造的优点:

这一铸造方法的主要优点是经济且质量好。生产速度通常远高于砂型铸造。铸件具有较细小的晶粒结构及更好的强度性能,因此铸件壁厚可以设计得更薄。此外,表面比砂型铸件更光洁,又能保证较精确的尺寸公差,故需要的机加工少。金属型铸造的铸件疏松远小于砂型铸造,具有良好的气密性。金属型的寿命一般为 10000~25000 件。

b. 金属型的缺点:

对于小批量生产,由于模具成本较高是不经济的。对小件或超过 20 磅的大件,与其它铸造方法相比,也是不经济的。对需要特殊内在质量和高机械性能的铸件,金属型铸造也是不能满足要求的。对大批量生产高压铸造方法更能满足要求。

2. 低压铸造

为使液态金属进入型腔的过程自动化,研制了一

种不用手工浇注的技术。

在低压铸造机中,液态金属盛于密封的绝热坩埚或炉内。一根管子垂直插入炉内,其下端浸在液态金属中,上端法兰与炉盖密封。模具安装在炉子上部的机器上,并与升液管上端密封。当在炉中施加空气压力时,液态金属从管内排出并进入型腔(图2-2)。

冷却过程首先在模具的末端开始并移向升液管出口。铸件凝固时通过空气卸压使多余的金属液返回炉内。开模后取出铸件,如此重复循环铸造。

a. 低压铸造的优点:

与高压铸造相比,低压铸造最大的优点就是大大减小了缩松,特别是在壁厚处。由于没有浇道、冒口、浇口,仅少量金属切边需要重熔,铸件的金属利用率为 90~95%,节省了可观的燃料费用。其模具寿命高于金属型铸造,模具成本低于高压铸造。低压铸造比高压铸造有更多的合金选择余地,并且可使用能进行热处理的合金而改善机械性能。低压铸造机开办费及机器维护费均低于高压铸造。允许使用可除型芯(有时亦称可溶型芯),这使该方法能浇注高压铸造不能生产的零件。此法也可用于镁合金压铸。

b. 低压铸造的缺点:

这一方法比高压铸造的生产率低,不宜生产小件。

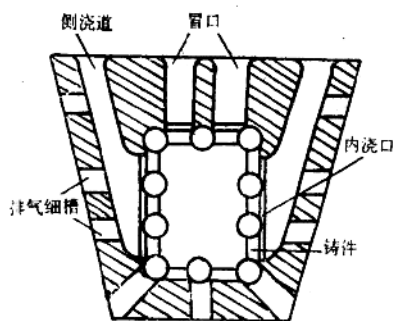


图 2-1 金属型(永久型)

译者注:这里所谓分成主要三类,我国常称为金属型铸造、低压铸造和压力铸造(简称压铸)。金属型铸造在美国常称为永久型铸造,而在英国常称为重力铸造。本文中所谓高压铸造实际就是我国常称的压力铸造。为了避免误解,特解释如上。

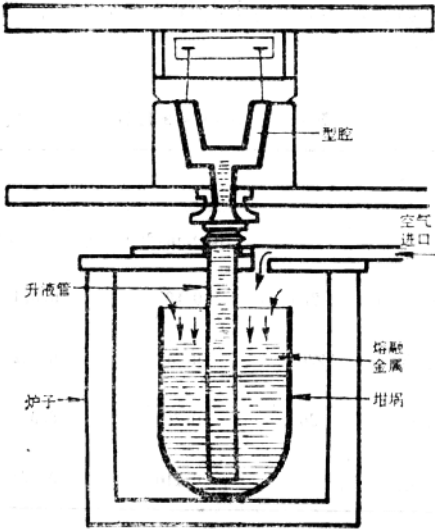


图 2-2 低压铸造

表面光洁度和尺寸精度难以控制。不宜浇注薄壁件，其最小壁厚比压铸为厚。模具寿命低于高压铸造，模具成本也大于金属型铸造。

3. 高压铸造

这是在压力铸造中最为广泛使用的方法。在北

美，压铸这一术语通常即指高压铸造。

在压铸中，液态金属被压入钢模内，高压保证了在几分之一秒的时间内液态金属完全充满型腔。当液态金属在模具中时，热流从金属液进入模具内，金属进行凝固。完全凝固后，打开模具，取走已凝固的压铸件。

有两种类型的压机使液态金属压射入模具。“冷室”压铸机用于压铸熔点较高的金属，如铝、黄铜、镁。用于冷室压铸的方法有两种压射系统：1) 卧式压射(图2~3)，2) 立式压射(图2~4)。热室法用于压铸熔点较低金属，如锌、铅，(见图2~5)。

压铸的简略定义可概述如下，压铸是液态金属在压力作用下射入紧锁的模具型腔内，并保压直至凝固的过程。当金属凝固后，模具卸压、开模、推出铸件。当取出铸件后，模具合上，再次锁紧继续下一循环。

在冷室压铸过程中，利用手工或自动装置，将熔融金属注入冷室进口，由液压驱动的冲头前进时封住这一进口，迫使液态金属以高速、高压浇入模具。当铸件凝固后，冲头退回，打开模具，推出铸件，并准备下一个压铸循环。

热室压铸机的压室浸在熔化炉的熔融金属液池中，当压室冲头移动时，它迫使金属通过喷嘴进入模具。在这一系统中所用的压力低于冷室压铸法。由于浇注时所需的时间较短，热室压铸机的生产率高于冷室压铸机。

a. 高压压铸的优点：

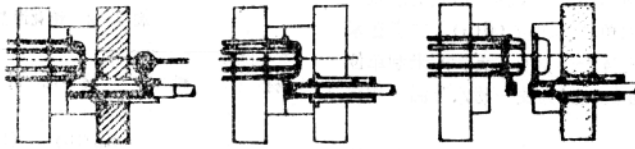


图 2-3 卧式冷室压射系统

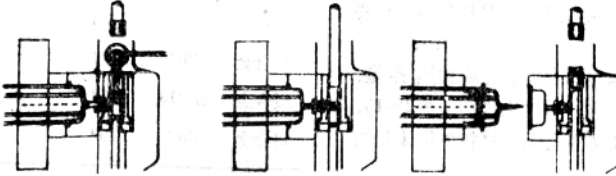


图 2-4 立式冷室压射系统

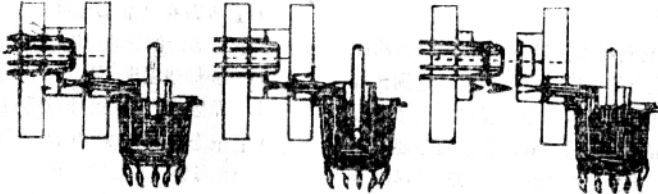


图 2-5 热室压射系统

高压压铸的生产率远高于金属型铸造及低压铸造。能够生产尺寸精确的铸件，大大减少了机械加工。压铸件具有良好的表面光洁度，这是电镀的主要要求。可能压铸更薄的壁厚，以减少整个铸件的重量。模具寿命长，降低了单位部件的成本。在压铸时，可生产更为复杂的铸件，由此减少了零件装配的数量。可铸出内外螺纹及把金属嵌件浇在铸件中。

b. 高压压铸的缺点：

高的模具成本使小批量生产不经济。压铸件内部易产生缩松，使得生产耐压致密件有一定难度。适合压铸的合金极为有限，这限制了所压铸件的热处理和焊接。黑色合金通常不易压铸。压铸受铸件大小壁厚的限制，使某些零件不易压铸。压铸机和保养成本高于其它铸造方法。

B. 热流理论

压铸件由金属液凝固而得。在凝固前，模具作为容器保持熔融金属处于所要求的形状。在凝固并经过预定的冷却时间后，模具的机械部分开始动作，从而取出凝固的铸件。虽然型腔及顶出机构是重要的，应予考虑，但是铸件实际是由热量从熔融金属中被带走而形成固态金属零件。

1. 热量与温度

热量是能量的一种形式，且像其它形式的能量一样容易测出。热的基本单位热单位 (Btu)，或者在米制单位中为卡路里。代替卡路里的、更新的米制单位 (SI单位) 为焦耳。Btu 的定义为使一磅水升温一华氏度 (°F) 所需的热量。

热量的流入 (使温度升高) 和流出 (使温度下降) 某材料的概念对于了解压铸模的热工状况是非常重要的。材料起着贮热的作用。

每一种材料都有其本身的吸热能力或称热容量。材料的热容量最好由比热这一特性来说明 (表 2~1)。从表 2~1 可以看出，普通铸件及模具材料单位体积的热容量大致相等。

2. 熔化潜热

对材料加热 (即材料吸收热量) 时温度按材料的比热大小而改变温度上升的速度。但是，当材料达到其熔化温度，或到达其沸腾温度时，热量与温度的关系有所改变。材料到达其熔化温度后，其熔化过程需要一定的热量。在加入熔化热量 (称为熔化潜热) 时材料的温度并不改变。一旦所有的材料都熔化后，热量与温度

的关系与低于熔化温度时相类似 (见图 2~6)。普通压铸合金的熔化潜热对铸件凝固具有重大的影响。当用水基脱模剂时，水的汽化潜热也导致了模具的冷却 (表 2~2)。

表 2-1 不同材料的比热值

金 属		比 热	
		(Btu/lb·°F)	(Btu/in ³ ·°F)
锌合金	903	0.10	0.024
镁合金	AZ91B	0.34	0.022
铝合金	360	0.26	0.025
钢		0.116	0.027

3. 液态金属的热容量

熔化金属并使之升到浇注温度所需的总热量如表 2~3 所示。在表 2~4 的最后一栏中列出了不同材料在推荐的浇注温度 t 时的热容量。这是铸造过程中每一磅铸件必须释放的热量。此热容量也能用于下列公式计算：

$$H_1 = C_1(t_1 - 76) + L + C_L(t - t_L)$$

表 2-2 熔化潜热值

材 料	熔 化 潜 热		汽化潜热
	(Btu/lb)	(Btu/in ³)	
水	144	冰	970
锌合金 903	43	10.5	---
镁合金 AZ91B	158	10.2	---
铝合金 360	169	17.0	---

这里：

H_1 所需的热量 Btu/l

C_1 固态时的比热 Btu/lb·°F

t_1 固相线温度 °F

L 从固态到液态的相变所需的熔化潜热 Btu/lb

C_L 液态时的比热 Btu/lb·°F

t 液态金属的温度 °F

t_L 液相线温度 °F

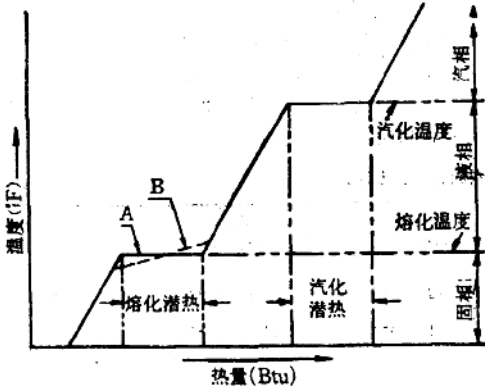
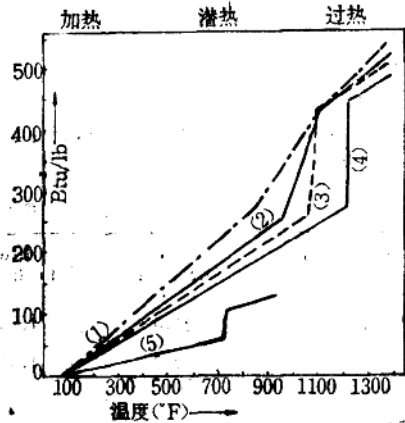


图 2-6 当材料从固态或从液态转变成到液态变到气态时,材料所吸收的热量并不正比于温度而改变。直线 A 表明了水、纯金属、共晶合金的稳态的转变温度情况。大部分具有熔化温度范围的非共晶金属必须同时考虑比热与熔化潜热,由虚线 B 所示。

表 2-3 普通压铸合金的凝固潜热



- (1) AZ91B 镁合金温度上升 230°F (875°~1105°F), 耗用 160Btu/lb
- (2) 380 号铝合金, 温度上升 130°F (970°~1100°F), 耗用 169Btu/lb
- (3) 13 号铝合金, 温度上升 15°F (1065°~1080°F), 耗用 169Btu/lb
- (4) 纯铜在潜热区温升高为零, 但耗用 169Btu/lb
- (5) 3 号锌合金, 温度上升 311°F (711°~722°F), 耗用 34Btu/lb

表 2-4 普通压铸金属及合金的热性能

	液 态 密 度 lb/in ³	平 均 比 热		熔 化 潜 热 L Btu/lb	液 相 温 度 t _l °F	汽 化 温 度 t _v °F	从 76°F 至 t _v 的 总 热 量 Btu/lb
		固 态 C _p Btu/lb·°F	液 态 C _p Btu/lb·°F				
Al	0.09	0.25	0.26	173	1220	1350	493
Zn	0.24	0.12	0.11	44	787	900	142
Mg	0.06	0.26	0.32	148	1204	1350	510
Pb	0.37	0.03	0.039	11	621	725	31
Cu	0.30	0.10	0.09	87	1961	2150	320
Sn	0.25	0.058	0.06	26	349	600	57
3 号 锌 合 金		0.10		43		780	113
360 号 铝 合 金		0.23		169		1250	475
AZ91B 镁 合 金		0.25		160		1250	558
60/40 黄 铜		0.09		72		1700	247

4. 热传递

热量通过三种不同的机理来传递, 导热、辐射、对流。由于在压铸过程中三种传热同时存在, 因此必须

了解它们的有关理论。

a. 导热

导热是热通过直接与热源接触的材料分子进行传递的, 当铸件在模具中散热并通过模具向外散发时,

导热起了主要作用。

由导热所传递的热由下式计算：

$$Q_k = kA(T_1 - T_2)/L$$

式中：

Q_k 每小时从材料散发的热量 Btu/hr

k 材料的导热系数 Btu/hr.in.².°F

A 热流通过的截面积 in²

L 经过材料的传热距离 in

T_1 热流通道初始点的材料温度 °F

T_2 热流通道终点处的材料温度 °F

该方程所确定的条件如图 2~7。表 2~5 给出了

k 的相应的值

表 2-5 各种不同模具材料的典型导热系数 k

材 料	Btu hr-ft. ² .°F	Btu hr-in. ² .°F	Btu S-in. ² .°F	Watts mm ² .°C	比 值
H-13	15.0	1.25	0.348×10^{-3}	26.0×10^{-3}	1.00
P-20	19.2	1.60	0.444×10^{-3}	33.2×10^{-3}	1.16
Ti (6%A14%V)	6.5	0.54	0.150×10^{-3}	11.2×10^{-3}	0.39
W	46.0	3.83	1.065×10^{-3}	79.6×10^{-3}	2.78
AZ91B 镁合金	30	2.50	0.694×10^{-3}	51.8×10^{-3}	4.35
铍 铜	62.0	5.17	1.435×10^{-3}	107.3×10^{-3}	3.75
空 气	0.0154	1.28×10^{-3}	0.35×10^{-6}	26.2×10^{-3}	0.00

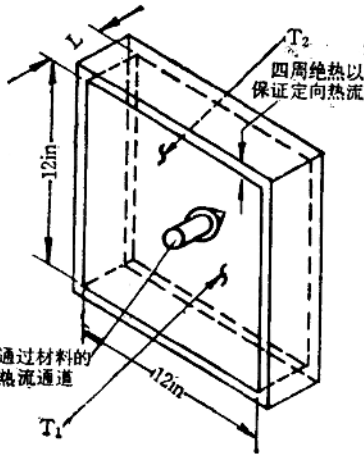


图 2-7 如图示，假想模具四周作适当的绝热，而二个外露表面具有均匀但不同的温度。通过材料的热量可以上述方程得出。

b. 辐射：

部分热量通过辐射散发。辐射能使电磁波形式的一种能量，它类似于光波，但肉眼不可见。辐射仅发生在暴露于空气的模具表面，见图 2~8。从表面辐射的热量由下式计算：

$$Q_r = rA(R_s^4 - R_a^4)$$

式中：

Q_r 通过辐射散热的速率 Btu/hr

$r = 1.14 \times 10^{-11} \text{ Btu/hr.in}^2 \cdot \text{R}$ 压铸模具的辐射常数。

R_s 表面温度 兰氏温度 $R = 460 + \text{°F}$

R_a 表面四周的空气温度(兰氏温度)

A 辐射表面积 in²

解这一方程所得的值由图 2~9 图示给出。

C. 对流：

当一种介质(如空气)在一个热的表面上(如压铸模)运动，空气的热表面吸收热量并把它带走。从模具将热传给空气称为对流。图 2~10 表示了以温度为 T 的空气流过温度较高但却稳定的表面温度为 T_s 的表面时发生对流的情形。靠近模具的空气较热并向上运动，从而使空气经过模具表面运动造成对流传热。从模具表面传给空气的传热率为：

$$Q_c = CA(T_s - T_a)$$

式中：

Q_c 传热速率 Btu/hr

A 表面积 in²

T_s 表面温度 °F

T_a 表面周围的空气温度 °F

C 对流放热系数 Btu/hr.in².°F

对流放热系数 C 值与表面尺寸及其状态(如垂直放置、水平放置放热面朝上或朝下等有关)。按不同条件， C 的实际值通过 C_1, C_2, C_3, C_4 的公式来确定。

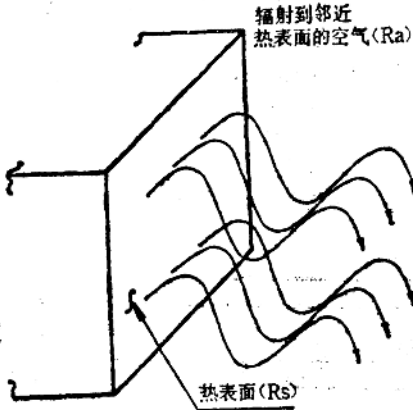


图 2-8 当表面温度 R_s 比四周温度 R_a 高时, 热量以辐射形式从表面散发, 如图箭头所示。

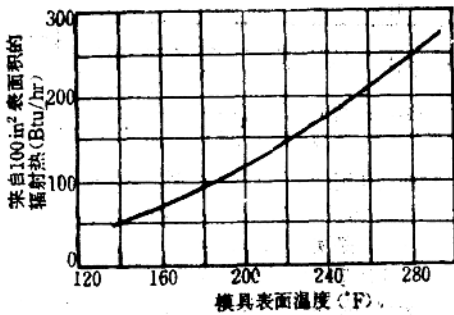


图 2-9 通过辐射散失的热量是模具表面温度的函数。图中给出了环境温度为 80°F 时, 在模具表面较大温度范围内公式(2)的解。

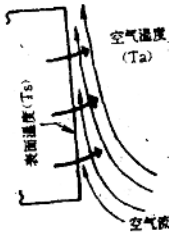


图 2-10 当空气流经热的表面(细箭头)时热从表面传给外空气(粗箭头)。每当空气与热表面接触时由于抽风效应将引起空气的运动。

$C_1 = 0.29 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{0.25}$ 适于高度小于 24 in 的垂直表面的对流传热系数

$C_2 = 0.19 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{0.33}$ 适于高度大于 24 in 的垂直表面的对流传热系数

$C_3 = 0.27 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{0.25}$ 表面朝上的水平表面的对流传热系数。

$C_4 = 0.12 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{0.25}$ 适于表面朝下的水平表面的对流传热系数。

其中:

L 为表面长度, (ft)

图 2-11 图示给出了模温范围内 $C_1 \sim C_4$ 的关系曲线。如果模具表面温度已知, 由对流所损失的热量近似可由图表求得。

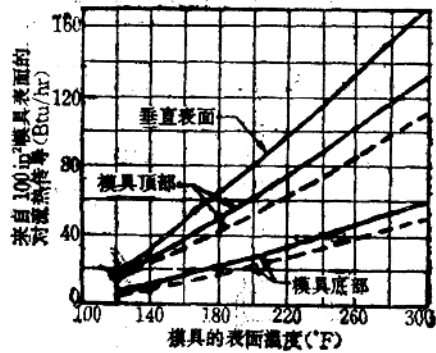


图 2-11 从压铸模具的外露表面因对流传热所带走的近似热量。实线表示 24 in 宽的模具在顶部与底部的值, 虚线为 48 in 宽的模具在顶部与底部的值。

5. 合金的热容量

压铸过程中必须控制铸造金属在液态、半液态、固态三种状态时的散热速率。

合金的热容量可由表 2-3、表 2-4 确定。对 360 号铝合金的热容量与温度关系如 2-12 所示。由于合金中存在不同的元素, 描述输入潜热的实际线并不正好是水平的。固相温度线是合金开始熔化的温度点。液相温度线为一临界温度, 高于此温度时, 所有金属即为液相, 而低于此温度时, 至少有一部分金属是固态。压铸机与模具的典型工能热工作负荷如图 2-13 所示。

当金属散热时, 温度按照合金热量与温度的关系下降。第一个散热阶段出现在勺子和在压室中(指采用冷室压铸机而言)。由于足够的过热即金属温度高于液相线, 即使勺子和压室的散热影响, 金属中仍有足够的液相热容量。

射入金属出现第二个散热阶段。当合金进入模具热从液态金属中流出而进入模具。某些研究者认为在射阶段, 相当部分的半液态热量(潜热)传入模具。另一些研究者则认为机器压射系统的机械能转变成热能

引起已凝固的金属重熔。虽然上述争论似乎是纯理论性的，但从实际工作的工程师必须知道模具的每一部分必须完成多少热功。例如当在浇道和浇口区域吸收了大部分热量时，冷却水道的布置即成为关键问题。

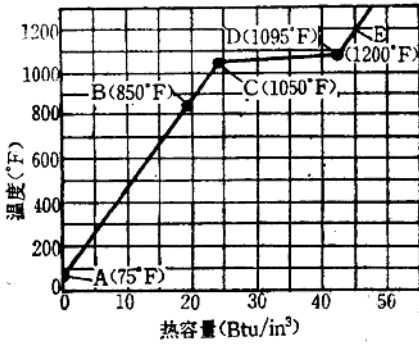


图 2-12 360号压铸铝合金温度与热容量的关系。A 表示室温，点 B 表示铸件出模时的近似温度，C 为固相点，D 为液相点，E 为熔融金属压入模具的近似温度。C 与 D 之间直线的斜率反映了熔化潜热的作用。

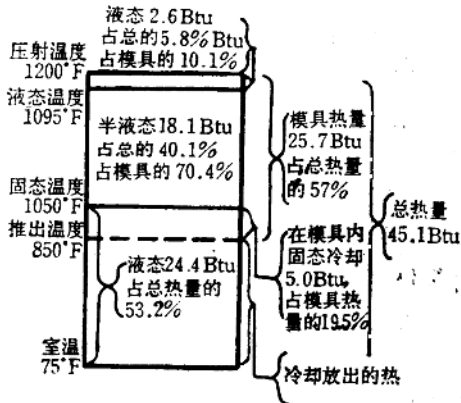


图 2-13 半液相状态的热容量占模具热工作负荷的大部分状态。铸件中相当大的一部分热量在铸件顶出模具后由急冷介质吸收。

C. 压射时的热流

在典型的压铸条件下，充型时间为 0.007~0.150 秒。即使在这一短暂的充型时间内，仍有一部分热量从合金流入模具。图 2-14 表明了固相前沿的充型概念。最近的研究指出，固相前沿充型实际上并未发生。但这一概念易于理解，且在某种程度上，热流状况类似于填充型腔时的状况。

图 2-14 的上端图解表明 $t = 0.001$ 秒时，金属的第一单元通过模具的第一区域。当金属经过这一区域

时，一定数量的热量从该单元的金属传入相应的模具。在 $t = 0.003$ 秒时，金属单元 1 已流到区域 3 且将热量传入该区域。与此同时，新的金属单元进入，由于早期的金属已流过区域 1 而具有更高温度。这一过程继续进行直到模具被充满，如图 2-14 的最下部所示，此时 $t = 0.007$ 秒。这时金属单元 7 恰好进入区域 1。由于单元 7 尚未传热给模具，因此具有更高的热量。

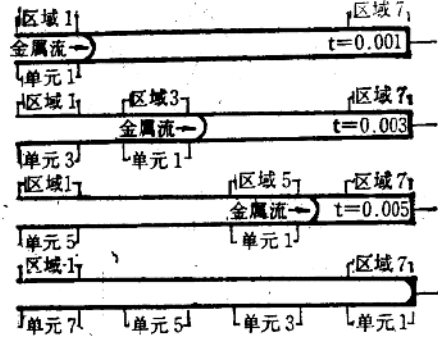


图 2-14 压射时，当金属的第一单元通过模具时，热量流入模具表面。因而作用在区域 1 的传热率与区域 7 不同。

当单元 1 到达区域 7 时，已将热量传给流经模具的其它各区域，因此它传给模具末端区域 7 的热量较少。该区域，是模具最冷的部位。所以在区域 7 处的金属单元 1 冷却较快，出模时温度相对最低。

如果型腔能瞬时充满，则上述描述的传热情况就不存在。反之，如果充型时间较长，热流将会大到以致在型腔完全充满以前已发凝固。

简而言之，在压射过程中，从液态金属实际散发的热量与金属的流速以及金属流的流动路程有关。

1. 热流的例子

如图 2-15 所示，一个假定为 $0.06 \times 4 \times 15$ 英寸的型腔，给本例确定热流提供了简单的依据。例中推荐的充型时间为 0.015 秒（即每英寸需时 0.001 秒）。由于热量从模具两个半片散发，因此仅考虑型腔中心型腔表面之间的 0.03 英寸的液态金属见图(2-16)。

表 2-6 给出的换热系数是从压铸镁合金 AZ91B 界面的实验所得。因这些界面系数可供利用，为此采用 AZ91B 合金为例。同时在本例中，还假定镁合金的浇注温度为 1250°F ，压射前模具温度为 500°F

第一步确定近似从合金单元 1 传给每一区域的热量。当时间间隔较小时，这一热量可由下述公式给出：

$$Q = h_1 A (T_m - T_d) t$$

式中：

h_1 液相界面的换热系数²

T_m 熔融金属温度 °F

T_d 模具表面温度 °F

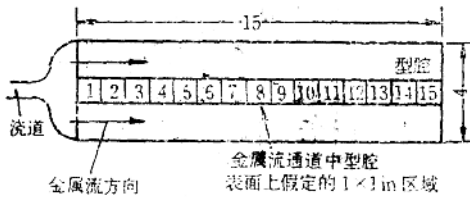


图 2-15 具有厚度为 0.06 英寸的假想的型腔。浇口安排如图。推荐的充型时间为 0.015 秒。(按照每英寸需时 0.001 秒的流速确定)。金属流过型腔表面的区域依次为 1、2、3、...、15。

A 界面面积 in^2

t 时间 Sec

将例中已知值代入方程得：

$$Q = 0.0221 \left(\frac{\text{Btu}}{\text{sec} \cdot \text{in}^2 \cdot ^\circ\text{F}} \right) \times 1 (\text{in}^2) \times$$

$$(1250 - 500) ^\circ\text{F} \times 0.001 (\text{sec})$$

$$Q = 0.0166 (\text{Btu})$$

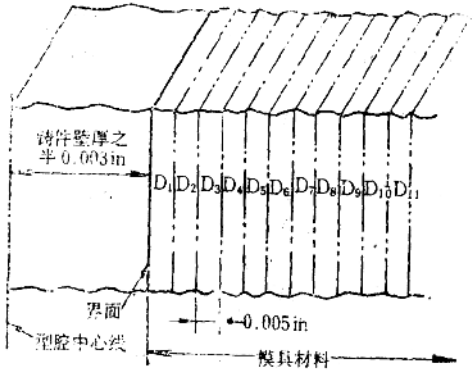


图 2-16 流入模具的热量使模具表面 D_2 温度上升。随即产生热阻阻止液态金属放出更多的热量。然后热量以一定的速率通过后面各层 (D_2, D_3 等) 从模具表面传出。

表 2-6 型腔与镁合金界面处的传热系数

液相	$h_1 = 0.0221$	$\text{Btu}/\text{sec} \cdot \text{in}^2 \cdot ^\circ\text{F}$
半液相	$h_{s1} = 0.0216$	$\text{Btu}/\text{sec} \cdot \text{in}^2 \cdot ^\circ\text{F}$
固相	$h_s = 0.0066$	$\text{Btu}/\text{sec} \cdot \text{in}^2 \cdot ^\circ\text{F}$

因此，当金属单元 1 流过具区域 1 时，0.0166 Btu 的热量从金属传入模具内，这一热量损失降低了这一金属单元的温度，此温度由下式计算得：

式中：

Q 上述方程中金属单元失去的热量，

S·h 合金的比热

V 合金单元的体积

T_0 合金在失热前的温度

T_1 失去热量之后合金的温度。

解这一方程，求出损失 0.0166 Btu 热量后的金属温度：

$$T_1 = 1250 - \frac{0.0166 \text{ Btu}}{0.022 \text{ Btu}/\text{in}^2 \cdot ^\circ\text{F} \times 0.03 \text{ in}^2}$$

$$= (1250 - 25) ^\circ\text{F}$$

$$= 1225 ^\circ\text{F}$$

因此当金属单元 1 流过模具区域 2 时，金属的温度将降低到 1225 °F。上述温度将 T_1 用来计算新的 Q 值，并用于确定金属单元 1 经过所有模具区域时的温度，其结果见表 2-7 中。在表 2-7 中，当温度低于 1150 °F 时，比热系数的值取为 0.504 (Btu/in²·°F)，此时温度大致在凝固范围。从表 2-7 中图 2-17 中可以看出金属迅速失去过热。15 毫秒后，金属失去

表 2-7 从合金单元 1 经过模具型腔表面的热流

时 间 (秒)	经过其间的 热流 (Btu)	从时间=0.000 失去的总热量 (Btu)	熔融材料的 单元温度 (°F)
0.000			1.250
0.001	0.0166	0.0166	1.225
0.002	0.0160	0.0326	1.201
0.003	0.0155	0.0471	1.179
0.004	0.150	0.0622	1.157
0.005	0.0145	0.0766	1.135
0.006	0.0140	0.0906	1.114
0.007	0.0136	0.1042	1.100
0.008	0.0133	0.1175	1.092
0.009	0.0101	0.1306	1.084
0.010	0.0129	0.1435	1.076
0.011	0.0127	0.1562	1.068
0.012	0.0126	0.1688	1.061
0.013	0.0124	0.1812	1.063
0.014	0.0122	0.1934	1.045
0.015	0.0125	0.2054	1.038

去了大部分的熔化潜热。图中虚线表示金属单元 5 在模具区 10 处停止流动。其原因是此时金属充满了型腔，不能继续流动。由于金属单元 1 加热了模具表

面,后继的金属单元热量损失较少,如图 2-18、2-19 所示。

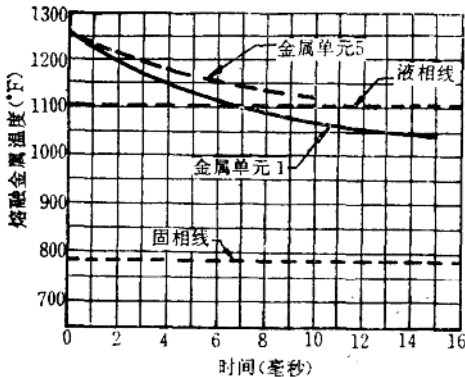


图 2-17 流经模具的金属单元 1 迅速失去热量。但由于金属单元释放的热量加热了模具表面,故虚线所表示的后继金属单元所损失的热量的速度减慢。

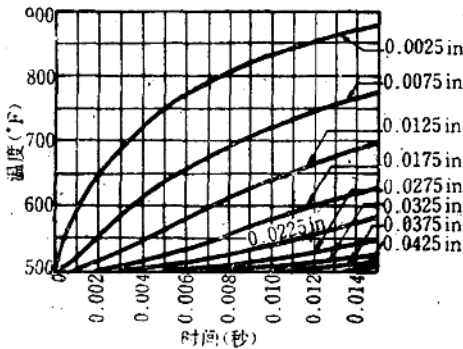


图 2-18 图中每一曲线分别表示模具每一层 0.005 英寸厚的中心部位的理论温度。最接近型腔表面的模具材料温度(如 0.0025 英寸处的曲线)在压射的初始几个毫秒内迅速增加,而当型腔表面温度接近射入的液态合金温度时,温度上升速度减慢。在距型腔表面 0.006~0.008 英寸范围内的模具材料温度变化很小。本图内的曲线由表 2-7 数据得出。

a. 进入型腔表面的热流

读者必须理解下列分析仅仅试图表明热量是怎样进入并通过模具的。为此作以下一些假设以简化热流的分析,

- 1) 利用上述例子中的基本数据
- 2) 液态金属的流动为湍流,而不考虑金属中的本身的热流。
- 3) 当时间增量及距离增量足够小时,动态的热流条件可用稳态条件来分析。
- 4) 流过每一模具型腔表作区域的液态金属可看是温度均匀的热源。

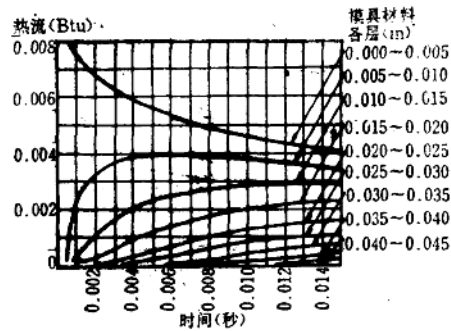


图 2-19 由表 2-7 数据所得的曲线表示了每 0.005 英寸厚的一层模具材料流入相邻模具层的热量。任何两个曲线之间的面积,表示了该层模具材料所含的热容量。由图可明显看出表面的第一层迅速吸收大量的热。而离模具型腔表面 0.050 英寸处的模具材料在压射阶段几乎不受影响。

热将由表 2-6 所示的型腔内型面传热系数所确定的速度从热的液态金属进入模具。热流量 Q 在每一极短的时间间隔内,将例中的值, $t = 0.0005$ 秒, $A = .01 \text{ in}^2$, $h_1 = 0.0221 \text{ Btu/in}^2 \cdot \text{°F}$, 代入方程可计算热流量 Q ,

$$Q = h_1 A (T_m - T_b) t$$

$$= 0.0221 \times 1 \times (1250 - 500) \times 0.0005$$

$$= 0.00829 \text{ Btu}$$

0.005 英寸模具材料层中,在 0.0005 秒后吸收了 10.00829 Btu 的热量后新的温度可由下式算出:

$$T = T_0 + \frac{Q}{s \cdot h \cdot V}$$

式中:

- Q 由模具材料层所吸收的热量 (Btu)
- T 吸收了热量 Q 后的模具层温度 (°F)
- T_0 吸收热量 Q 前的模具层温度 (°F)
- $s \cdot h$ 模具材料的比热 (Btu/in³·°F)
- V 模具层体积 (in³)

由表 2-1 得, $s \cdot h = 0.027 \text{ Btu/in}^3 \cdot \text{°F}$

$$T_0 = 500 \text{ °F}, \quad V = 0.005 \text{ in}^3$$

$$T = 500 + \frac{0.00829}{0.027 \times 0.005}$$

$$= 562 \text{ °F}$$

上述计算假定在整个 0.005 秒的间隔内,模具温度是 500°F,因此实际上将 0.005 秒的时间间隔内的温度取平均值 531°F 是合理的。

同时还假定没有热流从模具的第一层 D_1 中流入第二层 D_2 。这一缺点可由估算模具平均温度,加以克服并重新计算 Q 、 T 值。将此值与原始 T 值作比较,如