

压铸冶金学

**Die Casting
Metallurgy**

[英] A. 凯也 A. 斯特里特 合著

机械工业出版社

B M M

B M M

B M M

M M

压铸冶金学

〔英〕 A. 凯也 合著
A. 斯特里特

黄杏蓉
梁梅芬 合译
唐庆恒
曹文龙 校审



机械工业出版社

内 容 简 介

本书着重从材料冶金学的观点全面地论述了压铸合金及压型用钢的冶金学问题,包括各种压铸合金(铝合金、锌合金、低熔点合金、镁合金、黄铜、黑色金属等)的化学成分、组织性能、熔铸工艺,与材质有关的铸造缺陷、典型压铸件的熔铸工艺特点、压型的热疲劳失效、压型用钢及其热处理以及压铸技术、润滑、清理等方面的最新发展。

本书原著是英国 Butterworth 科学出版社编辑出版的一套权威性的材料科学专著之一。

该书题材新颖,内容丰富,是材料学科与压铸工艺综合的专著,具有一定的参考价值。不但可供高校及高专学校铸造专业的教学参考,而对于从事压铸工作的科技人员也是很有价值的参考书籍。

Die Casting Metallurgy

[英] A. Kaye
A. Street

Butterworth Scientific

1982

* * *

压 铸 冶 金 学

[英] A. 凯也 A. 斯特里特 合著

黄杏蓉 梁梅芬 唐庆恒 合译

曹文龙 校

*

责任编辑:丁孝模 朱兴华

封面设计:郭景

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

河北省永清县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16·印张 14³/₄·字数 353千字

1987年10月北京第一版·1987年10月北京第一次印刷

印数 00,001—2 850·定价:3.85元

*

统一书号:15033·7004

译 者 的 话

英国巴特沃斯 (Butterworth) 科学出版社编辑出版一套关于材料学方面的权威性的专著, 其内容涉及到介于材料科学学术性研究与生产技术经验之间的某些边缘学科。各专著的作者均为国际上公认的该学科权威人士。伦敦弗莱 (Fry) 压铸有限公司总冶金师凯也 (A. Kaye) 与斯特里特 (A. Street) 博士合著的“压铸冶金学”一书, 即为该丛书的专著之一。

以往有关压铸的书籍和论文多侧重于压铸工艺、压铸型及铸件的设计与制造, 而对于压铸合金及压铸生产过程中的冶金学问题重视不够。该书的特点是较全面地从技术、经济和管理等多方面论述了压铸合金及压铸生产过程中的冶金学问题, 包括各种压铸合金 (主要是钴合金和锌合金, 其次是低熔点合金, 镁合金、黄铜、黑色金属等) 中金属的冶炼、合金的化学成分、组织与性能的控制、熔铸工艺、熔炉与材质的选用对产生铸造缺陷的影响。此外还论述了典型铸件所用合金的压铸工艺特点、检测装置、压铸模具、压铸型的热疲劳失效, 压型用钢及其热处理, 以及润滑、精整和压铸技术等 in 欧美各国的最新发展。这是一本内容丰富、题材新颖、实用性强、阐述问题较深入、参考价值很高的学术专著。该书不仅可供高等工业学校铸造专业师生、研究人员、从事压铸工作的科技人员和实业家参考, 也是从事压铸合金方面的冶炼工作者很有价值的参考资料。希望该书的译出能有助我国压铸及其有关冶金技术和管理的发展。

书中层次及部分标题是由译者添加的。本书序言、第2~12章、第14~17章、第19、20、23、24章及附录均由黄杏蓉、唐庆恒合译; 第1、13、18、21、22、25~29章由梁梅芬翻译。全书由曹文龙教授校审。

在本书翻译过程中, 曾得到舒震同志和郭晓俐同志的热情帮助, 在此谨表示衷心感谢。由于译者水平所限, 书中可能还有错误和不妥之处, 谨请读者给予批评指正。

一九八五年四月

序 言

压铸加工法至今已有一百多年的历史，它经历了好几个发展阶段。起初，它是作为印刷业的一个分支而开始的，此后，其应用范围却随着从铅到锌、铝、镁、铜，最后到铁合金，它们的熔点的不断增高而扩大。在已往的大部分时间里，压铸法的发展是由设计师和工程师们所支配的。因此，压型和压铸件的设计与制造较之压型用钢及压铸合金的冶金学更为人们所重视。

金属的价值一直是压铸成本的一个主要部分，它是最大的单项消耗材料。甚至在三十年代中期，原材料的价值就占平均压铸件成本的一半。当时锌合金压铸件的售价为每磅7旧便士（约合3新便士或6美分），而在现在这是不可思议的。尽管如此，还只是到了七十年代，金属成分对生产成本的影响，金属损耗的重要性及改进熔炼设备效率的可能性，才得到人们足够的重视。但是直到现在，人们对金属损耗的认识，也没有象对待生产速度那样深。

设计师和工程师们取得了很大的成绩，这些成绩令人瞩目并被广为宣传。他们的成绩使人们生产出了象汽缸体这样大而复杂的压铸件。但压铸型用钢冶金学则较少地引起注意。近十几年来，在压型热处理工艺方面取得了一些进展，但在压型寿命方面所取得的进展却远远不能令人满意。热疲劳所导致的压型损坏的理论是非常复杂的，而且超出了用数学计算的范围。

在其它种种技术方面，经营管理要求人们具有预测未来将要发生的事情，并作出相应计划的能力。管理人员需要知道用于压铸的金属材料及压型钢所用合金元素的供应情况，所有这些都可能取决于政治形势。例如非洲所发生的某种危机就必然影响铜，而且也影响铬、锰、钒、硼等金属的价格和供应。没有这些金属，压铸业就很难制造出令人满意的压型。

大量的推测表明：在不久的将来，几种主要金属的矿石储藏量将不能满足人类的需要。所以本书简要介绍了压铸用的几种主要有色金属的矿石分布，冶炼方法及能源需求。关于黑色金属的发展问题，因为它不用担心金属供应的情况，而只要考虑它的可行性，这一点将在第十七章中进行讨论。

据预料，压铸生产今后是否能增长的一个主要因素将取决于铝在汽车工业中的广泛应用，所以掌握冶炼能力和再生合金制造方面的发展是非常重要的。由于回收金属废料比冶炼原生金属所需的能量要少得多，而且金属废料的有效再循环将有助于改善冶金合金的供应，所以我们在出现再生金属的有关章节中对再生金属的精炼问题进行了讨论。由于硅是大部分铝铸造合金中的一个重要组成元素，但却极少为人们所注意，故我们也用了篇幅不大的一章来讨论它的生产问题。

有时难于将合金的有关性能的数据相互联系起来，因为世界上不同地区采用不同的技术要求和计量单位。例如，许多压铸厂商用每平方英寸多少吨力或多少磅力来表示合金的强度，而另一些厂商则使用米制单位或国际单位。尽管欧洲共同市场正在努力拟订一套统一的合金规格，但大部分压铸厂商还是使用他们本国所熟悉的合金名称。所以我们试图概述了一些相当合金的规格，以及与之有关的硬度、强度和其它性能的单位。

压铸文献, 包括少量书籍和成千的技术论文, 对设计、制造和测量, 给予了比对冶金学多得多的阐述。我们认为, 撰写一本有关压铸冶金学方面的书籍, 并讨论这方面的最新发展, 将是有用的。在选择列于各章后面的参考书目时, 浏览了很多出版物, 注意到有些参考资料本身就给我们提供了有价值、内容广泛的参考资料目录。我们从提交给压铸工程师协会 (Society of Die Casting Engineers) 年会的论文中获得了大量资料, 在此谨对这些工程师们的合作表示感谢。美国压铸协会 (American Die Casting Institute) 曾给予我们许多鼓励和帮助, 我们从他们 1980 年的技术资料讨论会的报告中获得了很多信息, 在此也表示衷心的感谢。

对于英国、美国、欧洲及日本压铸界的许多朋友们, 以及其它供应、服务行业和研究开发机构在此书编写的准备过程中所提供的慷慨帮助, 我们一一表示衷心感谢。

A. K.

A. C. S.

目 录

译者的话

序言

第一章 早期的压铸技术 1

§ 1-1 从永久型铸造到压铸 1

§ 1-2 压铸技术的发展 2

第二章 压铸金属与合金 8

§ 2-1 压铸合金凝固特点 8

§ 2-2 合金的选择 10

第三章 铝及其合金的生产 13

§ 3-1 铝的储藏及其提炼 13

§ 3-2 废料回收 14

§ 3-3 再生铝合金的生产 15

第四章 铝合金压铸 18

§ 4-1 铝-硅合金相图 18

§ 4-2 变质处理和激冷的影响 18

§ 4-3 铝-硅-铜合金 22

§ 4-4 铝-硅合金中铜的作用 23

§ 4-5 其它元素的影响 24

§ 4-6 发动机汽缸体的压铸 25

§ 4-7 过共晶铝-硅合金 27

§ 4-8 铝-镁合金 27

§ 4-9 其它铝合金 28

§ 4-10 铝铸件 29

§ 4-11 压铸转子 30

第五章 铝代替铸铁 34

§ 5-1 铝代替铸铁的必要性与可能性 34

§ 5-2 铝代替铸铁与节能的关系 35

第六章 硅 37

§ 6-1 硅的特性 37

§ 6-2 硅的冶炼 37

第七章 铝合金的熔化设备 39

§ 7-1 熔化的能耗和金属的损耗 39

§ 7-2 金属液的输送 40

§ 7-3 大批量的金属熔化 41

§ 7-4 反射炉 41

§ 7-5 双能源反射炉 43

§ 7-6 浸入式坩埚大批量熔化炉 43

§ 7-7 辐射炉 44

§ 7-8 倾转式坩埚炉 45

§ 7-9 感应电炉 46

§ 7-10 无芯感应炉 46

§ 7-11 无芯活动式感应炉 48

§ 7-12 液态金属到压铸机的运送 48

§ 7-13 熔化-保温炉 49

§ 7-14 炉子的效率 49

§ 7-15 保温炉 50

§ 7-16 电阻保温炉 51

§ 7-17 电辐射保温炉 51

§ 7-18 炉子的绝热 52

第八章 铝合金中的夹杂物和硬点 53

§ 8-1 夹杂物的来源与分类 53

§ 8-2 氧化铝 53

§ 8-3 金属间化合物 54

§ 8-4 防止氧化物和金属间化合物偏析 56

§ 8-5 自动化的问题 57

§ 8-6 夹杂物产生的其它原因 58

第九章 锌和锌合金 60

§ 9-1 概述 60

§ 9-2 热冶炼方法 60

§ 9-3 压铸锌合金的发展 61

第十章 锌合金的冶金学 65

§ 10-1 锌合金的结晶 65

§ 10-2 锌铝合金中添加铜的作用 66

§ 10-3 镁 66

§ 10-4 铁的影响 67

§ 10-5 杂质的影响 67

§ 10-6 正常时效期间的收缩 68

§ 10-7 锌合金压铸件质量标准设计 69

§ 10-8 锌合金压铸厂的冶金控制 69

§ 10-9 压铸厂生产锌合金 70

§ 10-10 锌合金的物理性能 71

§ 10-11 机械性能 71

§ 10-12 低温性能 72

§ 10-13 腐蚀性条件下的锌合金压铸件 73

第十一章 锌合金压铸件	74	§ 17-2 压铸型材料的发展	122
§ 11-1 概述	74	§ 17-3 型芯和顶杆	123
§ 11-2 薄壁压铸及其新技术	77	§ 17-4 压射装置	123
§ 11-3 合金的发展	80	§ 17-5 金属液的供应	123
第十二章 锌合金熔炼工艺	82	§ 17-6 未来的预测	124
§ 12-1 锌合金锭	82	第十八章 金属自动输送系统	126
§ 12-2 中心熔化炉	82	§ 18-1 概述	126
§ 12-3 其它的熔化用炉	83	§ 18-2 气压系统	127
§ 12-4 锌合金液的输送	84	§ 18-3 浸入式机械泵	128
§ 12-5 流槽装置	84	§ 18-4 机动送料勺	128
§ 12-6 废料的熔化	85	§ 18-5 液体金属的电磁输送	130
§ 12-7 电镀锌合金废料的熔化	86	§ 18-6 真空输送系统	131
第十三章 锌合金压铸件的低温精整	88	§ 18-7 其它运送金属方法	132
第十四章 低熔点合金	92	第十九章 金属液的净化处理	134
§ 14-1 铅及其性能	92	§ 19-1 概述	134
§ 14-2 铅基合金冶金学	93	§ 19-2 熔剂处理	134
§ 14-3 蓄电池中的铅合金压铸件	94	§ 19-3 再生铝合金的处理	135
§ 14-4 锡合金压铸件	96	§ 19-4 压铸厂内的金属处理	135
第十五章 镁及其合金	98	§ 19-5 锌合金	136
§ 15-1 镁的提炼与应用	98	§ 19-6 镁合金	136
§ 15-2 压铸镁合金冶金学	100	§ 19-7 黄铜	137
§ 15-3 大众汽车公司的镁合金压铸件	102	§ 19-8 去气	137
§ 15-4 镁合金压铸车轮	103	§ 19-9 烟尘的收集及处理	138
§ 15-5 其它镁合金	104	第二十章 金属损耗的测量	141
§ 15-6 镁合金的压铸	104	§ 20-1 减少金属损耗的途径	141
§ 15-7 用于镁合金的冷室压铸机	106	§ 20-2 金属平衡表	142
§ 15-8 镁合金的配送	107	第二十一章 压铸机的冶金学	145
§ 15-9 冶金控制	107	§ 21-1 概述	145
§ 15-10 铍在压铸镁合金中的作用	109	§ 21-2 冷室压铸机的压射室和柱塞	147
§ 15-11 镁的烧损	109	§ 21-3 液压工作液	148
第十六章 黄铜压铸	112	第二十二章 检测装置	150
§ 16-1 铜及其提炼	112	§ 22-1 概述	150
§ 16-2 压铸黄铜的冶金学	113	§ 22-2 金属液的控制	151
§ 16-3 合金元素	113	§ 22-3 锁型力	152
§ 16-4 黄铜压铸合金	114	§ 22-4 柱塞的速度和位移	152
§ 16-5 压铸生产	115	§ 22-5 柱塞压力	153
§ 16-6 脱锌	117	§ 22-6 液压工作液的温度	154
§ 16-7 氧化锌的聚积	118	§ 22-7 液压工作液	154
§ 16-8 冶金控制	118	§ 22-8 压铸机的循环时间	155
§ 16-9 压铸型及型芯材料	119	§ 22-9 压铸型温度及其冷却液	155
第十七章 黑色金属压铸	121	§ 22-10 压铸型内的压力	155
§ 17-1 概述	121	§ 22-11 测量方法	155

§ 22-12 炉况.....	156	§ 25-8 马氏体时效钢	190
§ 22-13 金属分析.....	157	§ 25-9 冷却通道	191
§ 22-14 压铸机工况.....	157	§ 25-10 顶杆.....	192
§ 22-15 柱塞的压力和位移.....	158	§ 25-11 高熔点耐热合金.....	192
§ 22-16 压铸机的锁型力.....	160	§ 25-12 钨合金.....	193
§ 22-17 压铸型的温度.....	161	§ 25-13 钼合金.....	193
第二十三章 润滑材料的发展	163	§ 25-14 镍铬系耐热合金 (尼孟合金 Nimonic)	194
§ 23-1 润滑剂的作用与要求	163	第二十六章 压铸型的热疲劳	196
§ 23-2 早期的压铸型表面润滑剂	163	§ 26-1 概述	196
§ 23-3 膏状润滑剂的发展	164	§ 26-2 疲劳失效	200
§ 23-4 新式喷涂用的压铸型表面 润滑剂	164	第二十七章 压铸型钢的热处理	204
§ 23-5 压铸型表面的润滑技术	166	§ 27-1 概述	204
§ 23-6 压铸型润滑剂的选择	167	§ 27-2 消除应力	205
§ 23-7 压铸型表面润滑剂的应用	168	§ 27-3 预热	206
§ 23-8 柱塞润滑剂	170	§ 27-4 淬火	206
§ 23-9 压铸机润滑剂	170	§ 27-5 回火	207
§ 23-10 润滑剂的安全性和稳定性.....	171	§ 27-6 热处理设备	207
§ 23-11 润滑剂未来的发展.....	171	§ 27-7 真空热处理	209
第二十四章 压铸的新发展	173	§ 27-8 按热处理要求设计压铸型	210
§ 24-1 压铸型的计算机辅助设计	173	第二十八章 钢的表面处理	212
§ 24-2 真空压铸	174	§ 28-1 概述	212
§ 24-3 无松孔的压铸	176	§ 28-2 氮化	212
§ 24-4 半固态金属的压铸	179	§ 28-3 氮碳共渗	213
第二十五章 压铸模具	185	§ 28-4 渗金属	214
§ 25-1 概述	185	§ 28-5 渗碳与碳氮共渗	215
§ 25-2 低合金钢与铸铁零件	186	第二十九章 表面处理技术的发展	217
§ 25-3 压铸型嵌块	187	§ 29-1 概述	217
§ 25-4 锌合金用压铸型嵌块	188	§ 29-2 锌合金压铸件的表面保护层	217
§ 25-5 电铸压铸型嵌块	188	§ 29-3 铝合金压铸件的表面保护层	219
§ 25-6 黄铜压铸用的压铸型	189	§ 29-4 镁合金压铸件的表面保护层	221
§ 25-7 型芯	189	附录 计量单位	224

第一章 早期的压铸技术

§ 1-1 从永久型铸造到压铸

永久型铸造技艺可追溯到人类文明的萌芽时期。原始人就学会了将粘土塑造并烘烤而制成有用的物品,因而曾用粘土铸型来制造金属铸件。青铜时代早期使用顶部敞开的整体铸型,所生产出的铸件有一面是平的,需经锻打才能最后成形。后来,铸型由两半构成,所制得的铸件很接近于成品。现在世界各国的博物馆里都陈列着许多生产斧头和兵器用的这类铸型。早在公元前2000年人们就知道了贵重金属金和银,并且能冶炼和铸造紫铜和青铜。冶金界的祖先们发现,紫铜不易铸成形状复杂的物件,后来将它与锡熔合而制成青铜,这样就有可能铸造武器、工具和富丽堂皇的礼仪器皿了。作为压铸先导的金属型,早在3000多年前就已开始采用。图1-1为在法国马康(Macon)发现的剖分式青铜铸型,经考证其制作年代为公元前1000至2000年。铸型的两半是用一些销及销套来定位的。在浇道的侧面有两个排气孔。1950年英国有色金属研究协会(British Non-Ferrous Metals Research Association)曾用这套铸型生产了一些含Sn7%的青铜铸件,图1-1所示为其中的一件。这类青铜斧在青铜器时代曾经生产过。法国青铜斧的形式很特别,两面都有凸缘,以便嵌上木轴。上述铸件及古代铸型都陈列在牛津Pitt Rivers博物馆里。该馆的关于史前铜冶炼术的论文描述了这些展品^[1]。

金属型用于大量生产始于2000多年前。在伊拉克的穆索尔(Mosul)发现了公元前七世纪的青铜铸型^[2]。该铸型由六块组成,有一整体型芯,一次可铸造三枚青铜箭头。这在当时是一副很精巧的模具,可以用来制造大量的箭头。在英国大约发现了25副青铜铸型,还有一些粘土型或石型,带有单独的金属型芯^[3]。

铅用于铸造已有5000多年历史,现已发现了很多古代的铅铸件。中世纪时罗马人用石铸型^[4]大量生产含铅、锡各50%的铅锡合金制品。锡易于铸造,但强度低,仅用于制作装饰品和供奉器皿。由于锡的铸造性能极好,能精确地成形复制,故随后在印刷业中用来铸造铅字,并终于导致压铸法的出现。

1439年J.顾坦伯格(Gutenberg)发明了将铅合金浇入金属型而制造印刷机铅字的方法。这样,同一字母的铸造铅字都是一样的。第一部冶金学书籍的作者——意大利人V.彼任谷索(Biringuccio)^[5],1540年曾描述过用铅(83.85%)、锡(12.3%)、锑(3.85%)合金铸造铅字

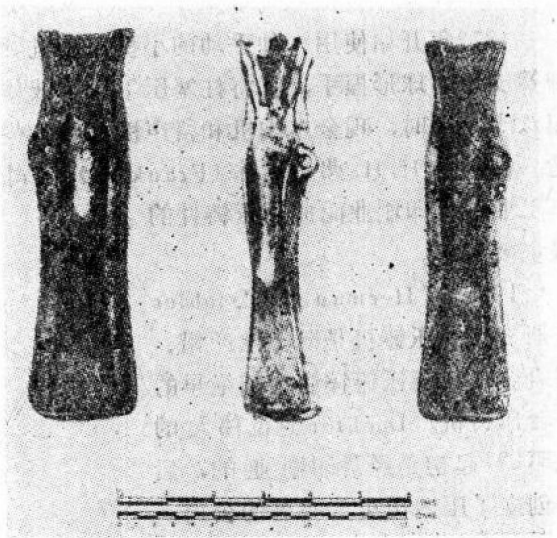


图1-1 古代剖分式青铜铸型及其铸造的青铜斧(Pitt Rivers博物馆提供)

的情景。他写道：“…将所要铸造的字母用钢冲子刻在小块紫铜上制出凹模，再将刻好的铜块放入字型内，调整好后浇入液态金属。当一种铅字的数量达到要求时，取出该字模，嵌入另一字模”。

在随后的300年内，铅字铸造技术不断发展，到1822年时威廉切其(William Church)^[6]采用了一台日产高达20000多铅字的铸字机。这是压铸法首次成功的应用。在此之前，W. 温格(Wing)曾耗费巨资研制铸字机，并在美国注册专利，但1805年放弃了那台铸字机。在布鲁斯(Bruce)、斯图格斯(Sturgis)、巴日(Barr)和佩利泽(Pelize)等先驱者所做工作的基础上，1855年O. 莫根特哈雷(Mergenthaler)将活塞压射缸浸入熔融活字合金中生产出了条型活字铸件^[7]。

这样，在十九世纪，压铸原理在印刷业这一专门领域内得到了应用。同时，压铸法也开始用于生产其它物品。在压铸发展上C. 巴布巴格(Babbage)做出了突出的贡献。他的成就之一是发明了早期的计算机。该计算机的许多齿轮、偏心轮、杠杆和曲臂都必须是高精度的。1869年巴布巴格采用他称之为“锌强化锡铅合金压力铸造法”生产了这些零件。其中的一部分压铸件现陈列在科新坦(Kensington)科技博物馆里。在H. K. 巴同(Barton)的论文中描述了这些零件^[6]。

鉴于铅字生产的高速度，向印刷商供应铅合金的各个公司，象Babbage一样，一定会考虑，是否能用压铸法生产其它的铸件呢？世界上最大的一些压铸公司都是从生产印刷合金而发展起来的。生产铅字合金曾使它们萌生了将压铸法推广到其它领域的设想。

§ 1-2 压铸技术的发展

1872年开始使用一种手动的小型压铸机^[8]。液体金属系储存在壶状容器内，用力搬动弹簧支承的球形捏手，就将柱塞压下，使液体金属沿浇道向上流动而进入铸型中。到十九世纪八十年代时，现金出纳机和留声机上的一些铅、锡合金小零件就用这类简单的压铸机来铸造。1904年H. H. 弗兰克林(Franklin)公司^[8]压铸出汽车连杆轴承。同年，刚诞生的汽车工业取代印刷业而成为压铸件的最主要用户。

1905年Herman H. Doehler注册专利的压铸机是既能生产铅、锡合金，又能压铸锌合金的最早的一台压铸机。Doehler这位伟大的先驱^[9]起初是经营印刷业的，后来创立了压铸历史上著名的公司。Doehler压铸机如图1-2所示。装在保温坩埚中的压射缸系浸入液体金属内，通过拉杆和柱塞臂带动柱塞在压射缸内作横向移动。拉动拉杆时液体金属通过一个孔口注入压射缸。柱塞向前运动封闭注入口，并

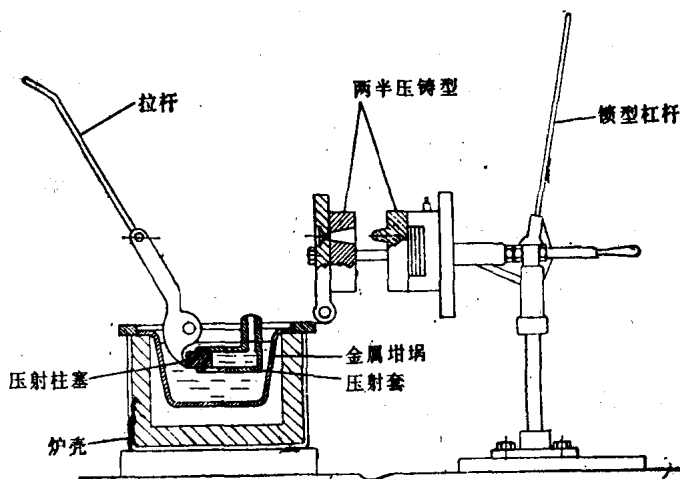


图1-2 Doehler的第一台压铸机

随即使金属液向上运动。两半压铸型系装在两块铸模座板上，由锁型杠杆启闭。通常需要两人操纵锁型杠杆。压铸型锁紧后，将压型及支承框手动倾转至金属液上方，使之与充型喷嘴相接触。使金属液进入型腔的拉杆通常需一名强壮的工人操纵。但是，对于大型复杂的铸件，则要两人才能拉动拉杆。当压射柱塞退回时，压射缸内的金属注入孔露出，金属液在重力作用下充入供下一次压铸用。在金属压射并凝固后，操纵杠杆使整个压型与框架一起返回至水平位置，然后再开启压型，用几根细圆杆将铸件顶出。

由以上所述可以看出，早期的压铸机需几个工人操作，劳动强度很大。不过，在确认了压铸法的实际应用效果以后，人们立即加以改进，减轻了工人的劳动量并将压铸法的应用范围扩大到较大的零件。1907年V. 瓦格内 (Wagner)^[8]在压铸机上用气压代替拉杆来压射金属，但压铸型仍和早期的Doehler压铸机一样，需倾转90°用手勺将金属液注入鹅颈管式压射室内。在Doehler 1914年采用的一台压铸机上，压铸型是在喷嘴座下方水平移动的。作用在保温坩埚中金属液面上的气压，使适量金属液沿流道上升而进入压铸型内。曾经证明，这类压铸机可用于铝合金的压铸。Doehler在书中写到^[10]，在第一次世界大战期间，这种压铸法曾得到充分发展，生产了机关枪、防毒面具和望远镜等铝合金零件。

本世纪初，压铸业的冶金学变得突出起来。Doehler公司及其用户发现，锌合金压铸件在使用中性能不断恶化，并认识到这是由于铅、锡的污染所致，故将铅、锡搬离锌合金压铸车间。他还着手进行铝的压铸，作为锌的代用品。1907年Doehler的一位顾问发现，即使微量的铅也会降低锌合金的强度。他进一步预言，“有朝一日炼锌厂将会找到冶炼纯锌的方法”^[11]。

早期的压铸机要求每次压铸前都要向压射室内注入足够的金属液，但1920年美国的Kipp公司采用了一台气动热室压铸机，其压室可容纳供多次压射用的金属量。1926年至1928年间，此公司生产出一台机械化压铸机(如图1-3所示)。在这台压铸机上，电动机通过链条传动带动轴，再通过蜗轮蜗杆驱动凸轮轴，凸轮转动时，连杆作往复运动而带动滑架前后运动。滑架向前运动时，在压铸型闭合后，将鹅颈管带到压铸位置。凸轮进一步旋转时，杠杆就开启空气阀，压缩空气遂将鹅颈管中的金属液压进压铸型内。接着进气阀关闭，排气阀开启，使截留的空气排出。最后开启动型并将铸件顶出。

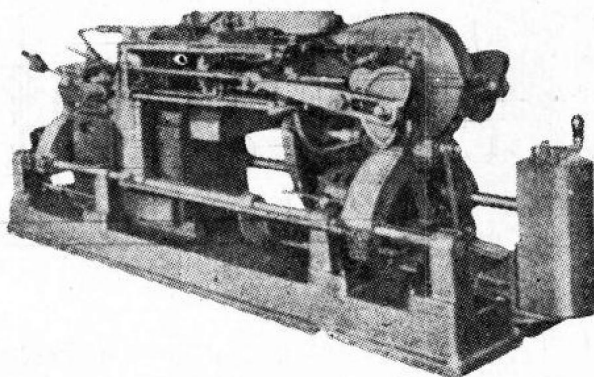


图1-3 早期的机械化热室压铸机 (Madison Kipp公司提供)

当时大多数压铸件都是用铅合金或锌合金制造的。对压铸合金的首要要求是熔点低，易于铸造。含锡的锌合金能满足这一要求，并兼有易于钎焊的优点。

后来研制出了锌-铝-铜合金，但是，早在本世纪20年代末期就发现了铅和锡对这类新合金的性能有不良影响，而在压铸厂中仍有劣质的锌铝合金在生产中循环使用。加锡或铅来改善流动性以利于生产，是一种虽很简便，但却很危险的做法。直到人们认识到锌铝合金(含铜或不含铜的)必须以不含有害杂质的超纯锌为基本原料时，才停止了这种做法。

早期压铸技术的另一方面是采用配方“保密”的压型润滑剂。每一名熟练技工都有自己的润滑剂配方。这使人想起Doehler公司在生产第一个试验性汽缸体时，曾使用过一种名为“蛋黄酱”的压型润滑剂，其处方曾是绝密的。二十世纪五十年代在实现压铸机械化过程中所要解决的最棘手的问题之一，就是劝说操作工人停止使用各自所喜爱的润滑剂。

二十世纪初期，铝合金一直用于砂型及金属型铸造，但是较高的熔点(约为 600°C ，而锌合金仅为 400°C)给压铸带来了一些问题。起初，试图使用柱塞浸入式气压压铸机(这种压铸机已成功地用于锌合金)，但因温度较高，液态铝合金有浸蚀压铸机上钢铁零件的倾向，限制了热室压铸机的应用。1920年C. 著赫日(Roehri)〔11〕制造出冷压室压铸机，这一发明是压铸技术的重大进展。合金的熔炼与压铸机分开，用手勺将金属液烧入压射室。浇注后，柱塞立即将金属液压入压铸型。然后，将铸件顶出，多余金属呈圆片状残留在铸件上。

冷室压铸机有两类：立式与卧式。立式冷室压铸机是布拉格的J. 波拉克(Polak)于1927年发明的。最初是想用来压铸黄铜的。后来人们发现，该设备也可用于铝的压铸〔12〕。图1-4为该压铸机的工作原理示意图，其压力是由水乳液液压系统产生的。先将足够一次压射的金属量用手勺浇入压射缸，而压射缸底部是弹簧支承的柱塞。然后，上柱塞朝下运动，将金属液及承受它的下柱塞往下压。当下柱塞越过通往型腔的喷嘴口时，金属液就经该喷嘴口而压入型腔。上柱塞往回运动时，下柱塞靠弹簧的弹力朝上返回，使圆柱状余料与铸件浇口分离。开启压铸型，取出铸件并将余料放回熔炼坩埚或重熔炉内。Polak立式压铸机特别适用于可从中心浇注的铸件。

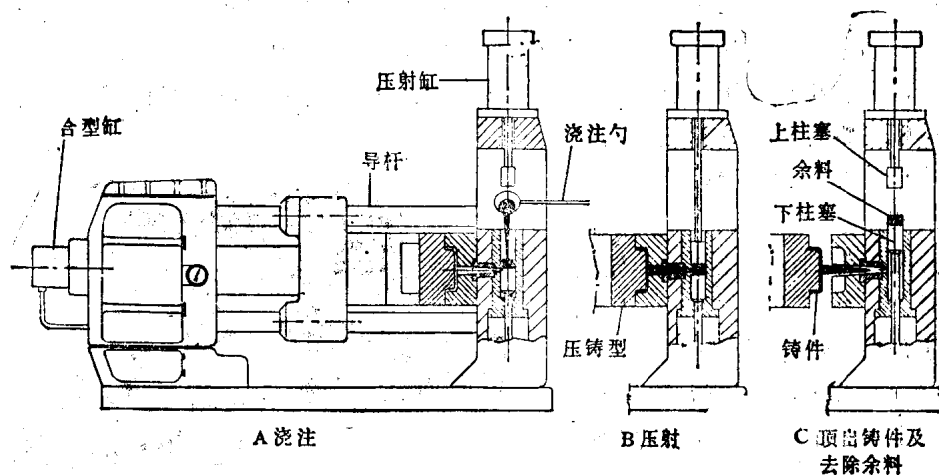


图1-4 Polak立式冷室压铸机

大约在同一时期出现了另一种冷室压铸机，其柱塞是水平运动的，如图1-5所示。此处余料与铸件连为一体从压型中顶出。这种压铸机适用于如图所示的可从侧面浇注的铸件。

立式压铸机既有优点也有缺点。当金属液浇入压铸型时，任何氧化物都会浮在金属表面上而最后压入，因此将会留在连在铸件上的余料中。而在卧式压铸机上，压射前处于压射室内的金属液与氧化物或夹杂物一起，由柱塞从压射室压入压铸型内，故氧化夹杂物会留在铸件本体内。这是早期卧式压铸机的缺点，当时压射柱塞的运动不能调节，但是卧式压铸机仍有维修保养方便省时的优点。

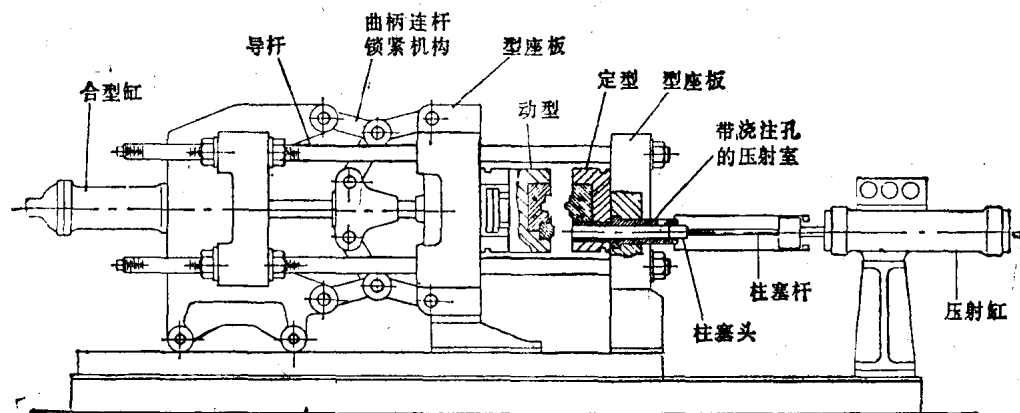


图1-5 卧式冷室压铸机

在浮动柱塞式立式压铸机上，金属液暂时支承在浮动柱塞上，易渗入柱塞与压射缸壁的间隙中，常常造成停产更换柱塞。本世纪六十年代中期，出现了二段或三段压射法，卧式压铸机在产品质量上得以与立式压铸机相媲美，同时工作也更可靠了。

早期的冷室压铸机是靠水油乳化液进行工作的，直到现在，某些工厂仍成功地采用这种操作方式。水的优点是成本低，且无着火的危险，但其粘度低，常常引起渗漏问题。乳化液必须由中心泵站进行循环，中心泵站需装有备用泵以便供出故障时使用，而液压系统是自备压力泵的。与水相比，液压油不易渗漏，同时，由于研制出了防燃的液压油，油压机械已变得安全了。

回转式轴向柱塞泵 (Williams-Janey pump) 于1907年首先在美国获得专利权。它的发明促进了现代液压机械的发展。然而，直到1926年才开始采用自备液压系统的设想，并将这样的装置安装到液压压力机上。当时美国的H. 威克斯 (Vickers) 研究了自备式液压传动系统并与气、油蓄压器配合使用。本世纪40年代的压铸机大都配有这样的系统。自备式液压系统的发展为高压锁型系统及八十年代压铸机的各种先进特性奠定了基础。

压铸低熔点合金用的气动压铸机是沿着两个方向发展起来的。在一些压铸机上，气压直接作用于机内金属容器内的金属液面上，将所需要的金属量压入压铸型内。这种作用原理也曾用于早期的铝合金压铸上。为了更好地控制压射的金属量，防止由于空气与金属接触引起金属质量的恶化并达到较高的压射压力，还研制出了气动柱塞。作为先驱者之一的美国J. 斯楚尔兹 (Schultz) 从1924年开始制造气动柱塞式压铸机，而合型与锁紧仍用液压缸来完成（常与曲柄连杆机构连用）。在英国，EMB公司曾采用带气动柱塞与合型机构的热室压铸机。这类压铸机后来发展成完全机械化的成套设备，在压铸自动化领域内曾名列前茅。

压铸机锁紧系统的发展是以曲柄连锁机构为中心的。该机构借机械连锁与导杆将安装在压铸机座板上的两半压铸型夹持起来。当前，主要的问题是提压射机锁紧机构的刚度，以保证压铸型的精确定位，并适应日益增高的压射比的要求。压铸机两座板之间的距离必须是可变的，以适应压铸型厚度的变化并考虑压铸型的热膨胀。在大型压铸机上，锁紧螺母的调节既费力又费时，目前所采用一种齿轮传动系统可保证所有导杆都受到等量拉伸。比较图1-2和图18-9所示的压铸机，不难看出，八十年来压铸机发生了多么大的变化。

尽管在压铸业发展的早期，人们普遍认为，压铸与其说是一门科学不如说是一种技艺，

但是, 对于压铸工艺参数的研究, 不断地推动着金属压射过程的测试技术及其数学研究工作的发展。过去二十年在这方面已取得了惊人的进展。H. K. 巴同在其“金属的压铸”述评^[13]中赞扬了L. 弗雷麦 (Frommer) 博士战前的工作及东京技术研究所 (Tokyo Institute of Technology) 的 (Seita Sakui) 教授及其同事们战后的研究成果。

本世纪50年代制造出大型压铸机, 使美国能生产出锌合金散热器格栅及最早的实验性铝合金汽缸体。这些成就为压铸业开拓了许多新的领域。同时这也着重表明, 单凭手工操作不可能浇注如此大量的金属液。为使金属液的输送机械化以及从开启的压铸型中取出铸件, 曾发明了许多巧妙的装置。随后, 金属的自动浇注、压铸型与压铸机的润滑、运送铸件的机器人以及测试技术等方面的不断发展^[14], 使压铸业进入了更先进的技术领域, 同时, 投资规模也愈来愈大。

上述种种技术成就都是无数热心于发展压铸技术的工程师们辛勤劳动的成果。近年来, 工程师们正致力于压铸机的结构与规格的标准化工作^[15]。在英国, 新标准已由压铸学会, 轻金属铸造工作者协会以及锌合金压铸工作者协会等共同拟出。为贯彻新标准, 零件设计师的工作是必不可少的。只要将早期缝纫机的图片与现代缝纫机的图片 (见图1-6) 加以比较就可以看出, 按压铸要求进行设计, 多么明显地扩大了压铸法的应用范围, 使采用压铸工艺的制造厂获益非浅。

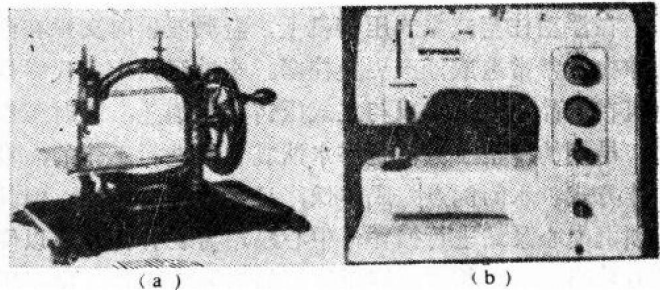


图 1-6

(a) 铸铁铸造的早期缝纫机 (b) 压铸生产的现代多功能缝纫机 (瑞士Bernina博物馆与Bernina Fritz Gegauf公司提供)

就在压铸工艺与设备不断取得进展的同时, 压铸冶金学也有了很大发展, 尽管表面上并不那样引人注目。然而, 近三十年的实践越来越清楚地说明, 压铸技术要求将冶金与机电工程结合起来。作者确信, 在今后的十年中, 冶金学上的进展至少与工艺设备一样重要。对于重约1kg的典型的铝合金压铸件, 金属成本占生产成本的1/3左右, 金属熔炼上的费用约占总成本的7%。金属损耗与压铸型热处理是生产成本的另外两大组成部分。因此可以预料, 提高熔炉效率, 控制熔炼过程以减少金属损耗, 以及进一步研究压铸型用钢的选用、热处理及使用性能等, 甚至比进一步提高生产率具有更大的意义。

参 考 文 献

1. COGHLAN, H.H.
Notes on the Prehistoric Metallurgy of Copper and Bronze in the Old World. *Pitt Rivers Museum, Oxford, Occasional Papers on Technology* Vol. 4, 2nd edition p. 59 and plate IX (1975)
2. MARYON, E.
Metal Working in the Ancient World. *American Journal of Archeology*; 53, 93 (1949); 65, 173 (1961)
3. MOHEN, J.P.
L'age du Bronze dans la région de Paris. *Edition des Musées Nationaux Paris* p. 540-546 (1977)

4. **TYLECOTE, R.F.**
A History of Metallurgy. The Metals Society 'p. 62 (1976)
5. **BIRINGUCCIO, V.**
De la pirotechia, Venice (1540) English translation of *Typecasting in the 16th Century*. M.T. Gnudi and C.N. Smith, Columbia Club of Connecticut, New Haven (1941)
6. **BARTON, H.K.**
Charles Babbage and the beginnings of die casting. *Die Casting Engineer*, 20, (4), 12 (July/August 1976)
7. **STERN, M.**
Die Casting Practice. McGraw-Hill Book Company, p. 162 (1930)
8. (Editorial)
The Golden Age of Die Casting. *Die Casting Engineer*, 20, (4), 25 (July/August 1976)
9. (Editorial)
Some Pioneers in the U.S. Die Casting Industry. *Die Casting Engineer*, 20, (4), 34 (July/August 1976)
10. **DOEHLER, H.H.**
Die Casting McGraw-Hill Book Company, New York, p. 2 (1951)
11. (Editorial)
The Custom Die Caster. *Precision Metal Moulding*, p. 50 (May 1964)
12. **KAYE, A.**
Diecasting - 75 years of Development. *Foundry Trade Journal*, p. 390 (August 18th 1977)
13. **BARTON, H.K.**
The Pressure Diecasting of Metals. *Metallurgical Reviews, Institute of Metals*, 9, 36. (1964) (1964)
14. **STREET, A.C.**
Developments in Pressure Diecasting. *International Metallurgical Reviews The Metals Society and the American Society for Metals* Vol. 20 (1975)
15. *Diecasting Society News London*, 3, 20-35 (June 1981)

第二章 压铸金属与合金

§ 2-1 压铸合金凝固特点

除了制造电动机转子是用纯铝环绕叠片组进行压铸外（这一点第四章加以叙述），其它压铸件都是用合金制成的。与纯金属相比，合金的强度要高一些。例如：含 Si 11% 的铝合金的强度比纯铝要高出一倍以上。一种合金快速冷却时会比缓慢冷却时具有较细的晶粒尺寸和较高的强度。压铸的平均晶粒尺寸（约 0.01 mm）比金属型铸件（约 0.5~1.0 mm）和砂型铸件（1.0 mm 以上）要小些。因此，压铸件的强度高于缓慢冷却时相同合金的金属型铸件，因而也高于砂型铸件的强度。压铸不象其它铸造方法那样有时要求进行晶粒细化或变质处理。

不呈现完全固熔的两种金属熔合在一起时，通常就会具有一种共晶成分，其凝固点比任何一个组元的都要低。在含硅的富铝合金中，大约在含 Si 12% 时出现共晶，这时合金的熔点约比铝低 100℃，比硅低 850℃。表 2-1 列出了某些用于压铸合金系的共晶体。

表 2-1

合金系	共晶成分	共晶温度 (°C)
铝-镁	Si11.7% ①	577
铝-镁	Mg35.0%	450
锌-铝	Al5.0%	382
镁-铝	Al32.3%	437
铅-锡	Sb11.2%	252

① 如第四章讨论的那样，铝-硅合金共晶体的成分和熔点会根据冷却速度及合金是否变质而稍有不同。

在凝固时，二元共晶合金具有两相均匀机械混合物的结构特点。如果这类合金具有使它们适于压铸的其它性能，它们显然可以被选来用于压铸，因为它们熔点低，用其制作的压型寿命要比用高熔点合金制造的长得多。

大多数金属在液态时互溶，其中有许多能以固溶体状态保留另一金属，少数配对金属如 Cu-Ni 合金能形成无限固溶体。接近熔点时，一种金属在另一种金属中的固溶度最高，而且随着温度的降低而固溶度减小。比如，在 380℃ 时，这正好低于锌-铝合金的共晶点，铝在锌中的固溶度约为 1%，但在 250℃ 时，固溶度约下降到 0.5%，而在室温时降低到 0.05%。与纯金属及共晶成分合金相比较，固溶体合金是在一定温度范围内熔化和结晶的，它们的结晶温度范围促使凝固过程形成三个不同区域：邻近压型表面的固态区；围绕铸件热的中心液态区和过渡的固液共存糊状区。金属型、砂型铸造工作者用这类合金生产致密铸件时将遇到一些困难。通过过渡区补给的液态金属受到糊状的固液混合物的抑制，因此结晶温度范围宽的合金，形成分散性的缩松倾向增大。压铸时这类合金（例如 Mg-Al 合金）在凝固期间的温度梯度比金属型和砂型铸造时要大，而过渡的糊状区相应地变窄。在压射最后阶段施加高压