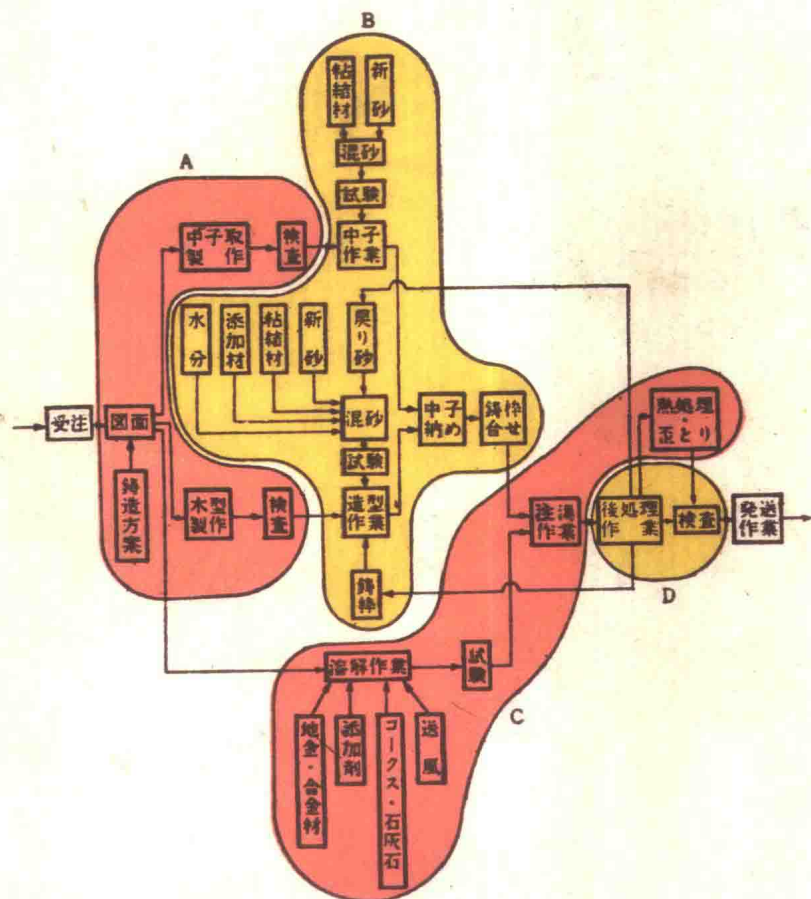


铸造工学

〔日〕 鹿取 一男 牧口 利貞 著
阿部喜佐男 中村 幸吉



机械工业出版社

铸 造 工 学

[日] 鹿取 一男 牧口 利貞 著
阿部喜佐男 中村 幸吉
哈尔滨工业大学铸造教研室 译
李庆春 校订



机 械 工 业 出 版 社

铸造工学

鹿取 一男 牧口 利貞 著
阿部喜佐男 中村 幸吉

コロナ社 1978

* * *

铸造工学

(日) 鹿取 一男等著
哈尔滨工业大学铸造教研室译
李庆春 校订

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $9\frac{7}{8}$ · 字数 256 千字
1983 年 8 月北京第一版 · 1983 年 8 月北京第一次印刷
印数 00,001—11,500 · 定价 1.25 元

*

统一书号: 15033 · 5452

译校者的话

本书是根据日本日冕社（コロナ社）1978年出版，技术调查株式会社鹿取一男、金属材料技术研究所牧口利貞、铸造综合发展中心研究所阿部喜佐男、近畿大学教授中村幸吉等工学博士著的《铸造工学》译出。

本书共分四部分，第一部分介绍了铸造在加工工业中的地位。简要地叙述了铸造历史的发展、铸造的性质、铸造工业的面貌以及根据物质四态考察加工体系的图形。

第二部分介绍了铸铁的熔化。首先介绍了熔化炉的种类和特征，其次论述了影响铸铁材质的因素，铸铁熔化时的冶金反应，工频电炉熔化，冲天炉熔化。

第三部分重点叙述了铸铁的特性。从熔融铸铁的液态结构观点论述了液态铸铁的性质。重点论述了铸铁的凝固过程以及孕育处理和球化处理，最后介绍了铸铁的机械性能及工业性质。

第四部分用了很大篇幅论述了铸型的特性。着重介绍了铸型的构造和特性，铸型的常温性能和高温性能，同时还论述了铸型与金属间的相互作用以及由此而引起的铸造缺陷。

全书内容丰富，文字简练，图文并茂，著者在编写过程收集并引用了国内外大量资料，尤其引用了日本科技界近年来发表的科研成果，使人阅读后，耳目为之一新。

本书内容虽以铸铁为主，但也涉及到铸造过程许多共性问题，因此本书可供高等院校铸造专业、金属材料专业、金属热加工专业的教师、研究生、高年级学生参考，而且也是广大工程技术人员的良好读物。

本书第一部分由叶荣茂翻译，第二部分由蒋祖龄翻译，第三部分由安阁英、段守坤翻译，第四部由孟爽芬翻译。全书由李庆春校订。责任编辑黄循。

由于译校者受外语水平所限，错误之处望读者指正。

原 序

一提到铸造工厂便使人想起从前的那个古老、肮脏、黑暗的形象，那里劳动着的是一些粗野、知识也很低的人，而且那时候的铸造技术全凭经验，因此就谈不上建立铸造学的问题了。

但是，象熔化过程中的冶金反应，特别是氧的活动及热的作用很重要。其次，熔融金属的物理性能，尤其由于凝固过程而引起的一切现象，都是不能忽略的问题。更不用说作为铸型，其粒状材料的一切活动，热的性质及其和熔融金属的相互作用等也是很重要的问题了。

而且这些问题也是冶金学、热力学、化学和物理等学科的问题。因此，我们立足于这样的观点，尝试将这些问题系统化和形成理论，一边尽可能更多地引用许多研究者所发表的各种学说，一边展开阐述。因为我们的水平所限，书中还有不足之处和未发现的错误。我们大胆写这本书，为的是铸造技术能有研究和讨论学问的园地，使许多喜欢铸造技术的优秀的年轻人进行学习和研究。通过此书，不只是一个人，而是许多优秀的年轻人，特别是大学的学生能对铸造引起兴趣，不把自己的一生投入铸造事业是会不高兴的。

我们写这本书是由于“机械工学类”的编辑委员名古屋大学春日保男教授的热心劝导。春日先生劝写此书是1970年，但由于事情太难日冕社便没有督促，致数年没有进展，直到1975年日冕社来具体商洽，致不得不写。这样便终于想到请平素有来往相互也比较了解的，各方面也是首屈一指的牧口、中村和阿部三位共同执笔。幸好三位朋友对写此书观点一致，高兴地接受了执笔的任务，使此书能够付印发行。

此书的第一部分是总论由鹿取执笔，第二部分是铸铁的熔化由阿部执笔，第三部分是铸铁的特性由中村执笔，第四部分是铸

VI

型的特性由牧口执笔。这些只不过是广阔铸造技术中的一部分内容。铸铁的生产总值占铸造总值的40%以上还多。在铸造全过程中与造型有关的投资额最大，是与熔化有关的四倍，技术性的问题也最多，是问题集中的焦点。执笔人将把自己擅长的专门知识作为基础进行论述，同时也对铸造的一般技术问题作了介绍。不仅含有与铸铁有关的内容，也含有铸钢、非铁铸件方面的内容。

铸造技术需要各方面的知识。我在组织名古屋工业技术试验所的铸造部门时启用了机械、金属、陶瓷等各方面的专业人材，至今仍认为是个好的组织。铸造的任何部分都是具有竞争能力的技术和具有广阔的发展前景，愿不同肤色的人一定选择铸造作为志愿。

最后，对各前辈们给予的关怀和指导表示感谢。

鹿取 一男
一九七八年八月

目 录

1 铸造在加工工业中的地位	7
1.1 铸造的性质	7
1.1.1 铸造的发展	7
1.1.2 铸造的特征	7
1.1.3 金属加工领域中的铸造	2
1.1.4 铸造的艺术性	4
1.2 铸造工业的面貌	4
1.2.1 铸造生产过程的自动化	4
1.2.2 铸造工业的两种类型	5
1.2.3 铸造周边技术	7
1.3 根据物质四态考察加工体系的图形 (PSOTS-pattern)	8
1.3.1 PSOTS-pattern	8
1.3.2 在 PSOTS-pattern 的基础上考虑有关铸造问题	9
1.3.3 向复合材料挑战	11
2 铸铁的熔化	13
2.1 前言	13
2.2 熔化炉的种类和特征	13
2.3 影响铸铁材质的各种因素	15
2.3.1 化学成分	16
2.3.2 气体含量、微量元素及其它	18
2.4 铸铁熔化时的冶金反应	24
2.4.1 氧对熔融铸铁性状的影响	25
2.4.2 熔融铸铁的脱硫	31
2.4.3 熔融铸铁的增碳	37
2.5 工频电炉熔化	40
2.5.1 结构特征与熔化方法	41
2.5.2 炉内反应	47
2.5.3 材质特性	50

2.5.4	对工频电炉铁水异常性状的考察	
	由气体引起的异常性状/关于铁水保温方法的问题	52
2.6	冲天炉熔化	60
2.6.1	结构特征	61
2.6.2	炉内气氛	
	燃烧气体分布/焦比/焦炭粒度/送风量/送风温	
	度/风口比/水冷炉壁/作业时的炉内气氛	65
2.6.3	焦炭的增碳和增硫作用	78
2.6.4	冲天炉作业的基础	
	要求成分/焦比/送风量/铁水化学成分的变化	86
2.6.5	冲天炉的特殊作业方法	
	碱性作业/加辅助燃料作业	99
	参考文献	103
3	铸铁的特性	106
3.1	前言	106
3.2	液态铸铁的性质	106
3.2.1	液态纯金属的性质	107
3.2.2	液态铸铁中的悬浮物质	
	碳显微集团/悬浮硅酸	112
3.2.3	悬浮的微粒子与成核的关系	121
3.2.4	粘性和流动性	122
3.2.5	改善性质的二、三例	124
3.3	铸铁的凝固	125
3.3.1	凝固方式	126
3.3.2	元素对石墨共晶及渗碳体共晶凝固的影响	130
3.3.3	石墨共晶凝固和融化条件	141
3.3.4	影响石墨形态的因素	143
3.3.5	冷却曲线的分析	
	冷却曲线的理论推导/石墨形状的判断/确定碳量	
	的方法	146
3.4	铁水的处理方法和机理	149
3.4.1	灰铸铁的孕育	150
3.4.2	球化处理	161

3.4.3	铁水经处理后得到的蠕虫状石墨铸铁	168
3.5	铸铁的机械性能及工业性能	171
3.5.1	机械性能与石墨组织的关系	171
3.5.2	机械性能与基体组织的关系	177
3.5.3	工业性能	
	定向凝固铸铁/金属型铸造铸铁的切削性	180
3.5.4	铸铁的韧性	184
3.5.5	球墨铸铁的低温韧性	189
	参考文献	196
4	铸型的特性	201
4.1	前言	201
4.2	铸型的结构和特性	201
4.2.1	组成铸型物质的作用	201
4.2.2	铸型的结构和常温性能的关系	
	填充性/透气性/强度	205
4.2.3	铸型的结构和高温性能的关系	
	试验方法/膨胀量/强度/变形量	226
4.2.4	铸型的结构和热传导	239
4.3	铸型与金属的相互作用	243
4.3.1	粘砂现象	
	物理粘砂/化学粘砂	243
4.3.2	因液态金属的加热作用引起的铸型的物理变化	
	夹砂/结疤/毛刺/型壁移动	263
4.3.3	由于液态金属的加热、铸型的化学行为	
	铸型产生的气体和铸造组织/气体缺陷	279
	参考文献	291

1 铸造在加工工业中的地位

1.1 铸造的性质

1.1.1 铸造的发展

人类从远在公元前 5000~4000 年的时候已开始使用天然产的金和银,稍迟一些,公元前 4000 年左右出现了使用铜制作日用品、武器及农具等。最开始的铜器是由天然产的铜制作的,只是到了公元前 3500 年的时候才开始能精炼铜矿石,与此同时也就产生了铸造技术。铸造技术的出现使制造不同复杂形状的铜器变得容易,从而使铜器的使用有了急剧的增加。通晓铸造技术的种族的势力陆续地得到扩大和发展。埃及、西亚地区及中国等地的发现证明了青铜器时代的发展。青铜器时代的开始,延续到今日的一般认为的铁器时代,是漫长的人类金属文明的曙光。

铸造从公元前 3500 年青铜器时代开始直到今天,伴随着人类的发展,制作了众多的器具和物件、发展了社会文明,可以说铸造的历史也是人类文明发展的历史。

1.1.2 铸造的特征

金属具有很高的变形阻力,很不容易制作成需要的形状。但是铸造可以把变形阻力大的固态金属进行熔化,使它成为变形阻力小的液态金属,浇入铸型后一次制作出需要形状的零件。铸造的这个特点是其它加工方法不能仿效的,作为加工方法来说,实在是一种聪明的方法。

铸造技术的特点列举如下:

- (1) 几乎能制作各种形状的及相当复杂的精密零件;
- (2) 不受零件形状和重量大小的约束,既能制作数百克重的小零件,也能制作数百吨重的大零件;
- (3) 利用金属及合金的面比较广,能制作所有合金的零件;

(4) 能单件生产，也能大量生产。

铸造和锻造、冲压、粉末冶金等金属加工工艺技术相比较，重量大小、零件形状、合金种类，尤其制作数量等方面的幅度非常广泛，是一种道路非常广阔的工艺技术。能使各种金属达到所需形状零件的这一特点是铸造技术的最大的特点，是其它金属加工工艺加工方法所达不到的。

1.1.3 金属加工领域中的铸造

把金属原材料作成需要的形状称为毛坯，这个工业被称为毛坯工业。1971年秋天的毛坯材料座谈会上提出了这样的定义：“用铸造及塑性加工等方法使金属原材料成形和使金属组织发生变化所得到的材料谓之毛坯材料”。所以在表 1.1 中作为对象列举了铸造、锻造、冲压、粉末冶金等。在这个表中没有列入焊接，但是近来也在使用焊接方法制造机械产品的毛坯件，作为金属加工的一种方法，它的地位正在扩大，如果在此表中列入焊接是正确的。

表 1.1 毛坯工业

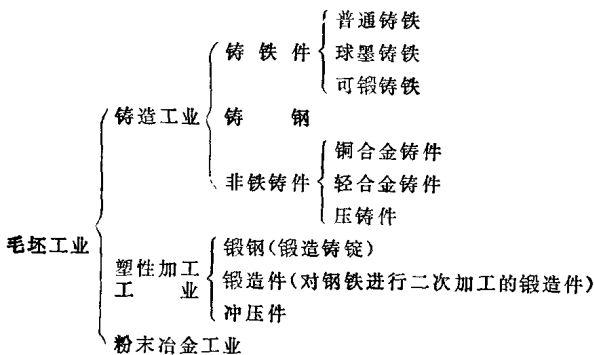


表 1.2 中列举了近三年 1976 年、1975 年、1974 年以及 10 年以前的 1966 年时的铸造、锻造、冲压、粉末冶金等毛坯件生产的情况。毛坯工业在此三年中每年的生产额达到 2 兆日元，可想而知，这是大规模的产业。在毛坯工业中，无论在最近三年，还是 10 年前的 1966 年铸件生产额都是压倒多数，占 60% 多。而在

表1.2 毛坯工业生产的变迁 [单位: 生产额 = 亿元, () 内生产量 = 千吨]

	1966年			1974年			1975年			1976年		
	生产额	构成比	构成比	生产额	构成比	构成比	生产额	构成比	构成比	生产额	构成比	构成比
铸	灰铸铁件	1995(2605)	46.0	6701(4918)	44.8	5254(3666)	43.4	5833(3974)	43.8			
	可锻铸铁	309(234)	7.1	1104(449)	7.4	865(327)	7.1	871(335)	6.5			
	铸钢	742(480)	17.1	2683(890)	18.0	2201(845)	18.2	2120(821)	15.9			
	小计	3046(3320)	(70.2)	10488(6257)	(70.2)	8320(4638)	(68.7)	8824(4930)	(66.3)			
造	铜合金	519(83)	12.0	1212(130)	8.1	874(97)	7.2	889(99)	6.8			
	轻合金	340(74)	7.8	1186(179)	7.9	1101(169)	9.1	1335(199)	10.0			
	压铸件	431(107)	9.9	1974(316)	13.2	1752(277)	14.5	2187(334)	16.4			
	小计	1290(264)	(29.8)	4372(625)	(29.2)	8727(543)	(30.8)	4411(632)	(33.1)			
精密铸造	—	—	88(2)	0.6	68(1)	0.6	82(2)	0.6				
合计	4336(3584)	64.9	14948(8884)	65.1	12115(5182)	62.7	13317(5564)	62.8	100			
锻	锻件	576(389)		1464(788)		1129(578)		1152(590)				
	件	539(466)		2295(1279)		2087(1030)		2284(1108)				
	合计	1115(855)	16.7	3750(2067)	16.4	3216(1608)	16.7	3436(1698)	16.2			
	粉末冶金	219(14)	3.3	842(55)	3.7	708(46)	3.7	1045(66)	4.9			
冲压	1015	15.2	3418	14.9	3273	17.0	3426	16.1				
总计	6685	100	22967	100	19312	100	21224	100				

(注) 1. 根据铸物年鉴(综合铸造中心)、机械统计年鉴、月报、钢铁统计年鉴、月报、压力加工是根据冲压加工业生产调查报告书(日本金属冲压工业会)。
2. 铸铁管除外。

铸造工业中铸铁件又是最多的，1976年生产了400万吨，产值达到5800亿日元有余。

这样铸铁件作为主体的铸件将占我们所使用的金属制品的一半，现在使用的更多。即使科学与技术发达的今天，铸造技术和其它金属加工技术相比较也是方便和有效的加工方法。假如没有铸造品，以飞机、轮船、汽车为首的所有交通机械，人们日常生活中不可缺少的上下水道、电气、煤气，几乎全部的炊事用具，特别是农业机械及农具，还有衣服等，大概我们周围的一大半东西都不能作了。这样一来，人类的社会文明也就将要消失了。因此铸造是非常重要的骨干产业。

1.1.4 铸造的艺术性

铸件是熔化成液态的金属在铸型中凝固而制作出来的。因此对其如何凝固成形的情况是见不到的，一打碎铸型取出铸件才能晓得他的初始形状。将金属浇进经过几天作成的铸型之后，一切都决定于铸型打箱之后，即使具有多年经验的人也会紧张。这个心情很象陶瓷窑工将火烧好后由窑中取陶器的心情。在这种心情处境下作出产品既快乐，而又富于创造性。可以这样说，在人类的精神活动中创造的心情是最高的，而铸造就是这样，可以说铸造技术是丰富人民生活的高度技术。

日本人以他们的细心和对事物的敏锐鉴赏，对铸件给予了很高的艺术性。即使在欧美亦有铸件的美术品，是用铸造技术作出的美术品，而一般铸件是不值鉴赏的。日本人以精心制作铸件的意识，把铸件作为工艺美术品来制作的，使铸件具有砂粒表面和花纹等独特的美丽。而且对铸件的表面要求更美，对此产生幽雅的兴趣和安静的感受，而使具有可喜的心情。这样一来，可以说日本的铸造技术在世界上达到了很高的精神境界。

1.2 铸造工业的面貌

1.2.1 铸造生产过程的自动化

以前铸造工业是作为劳动密集型工业而成长起来的，它的劳

动环境与其它金属加工工业相比较处于不算良好的状况。即铸造是在高温、粉尘中操作，伴随着噪音和振动的繁重劳动，是相当艰苦的劳动环境。因此，近年来对此进行了重点的改革，正在朝着自动化，减轻体力劳动强度的方向进展。

特别以产量为目的的铸造工厂，例如汽车工业以及通用电机等铸造工厂，这种倾向更为突出，发展成了专用型企业的形式。即在那些工厂中尽可能地采用自动机装置，部分厂已开始采用无人操纵的自动控制装置。而且在最先进的工厂中引进了电子计算机，主要目的是用来进行计算和管理。例如有目的地进行着工艺过程的程序调度、工程管理、生产管理、仓库管理及质量管理等。

铸件是按着图 1.1 所示的工艺流程制造出来的，其中 A 区是制作木模和芯盒的木工操作，B 区是以砂为主体的混砂、造型、制芯、合箱等工序的窑业性操作，C 区是熔化金属、浇注、热处理等冶金性操作，D 区是铸件的最后处理以及精整铸件的机械加工工序。

如此，铸造操作是由模型、窑业、冶金和机械加工等的各种工序组合而成的。这些工序涉及到的物体是通过固体、粉体和液体三态进行的，其物质也分木材、砂和金属而异。由这样多种类工序组成的金属加工法与其它类金属加工法有很大的区别，涉及工序之复杂是铸造技术的特点。

铸造工序的这种复杂程度造成控制因素复杂化，使工序控制的效果差。由于控制的重要因素还不够明确，不能使情报定量化，或者即使定量化了，所需时间也要花费不少。所以铸造过程的自动化并不是容易的事情。今后关于各工序末端控制系统以及总系统等控制关系的硬件及软件的开发很有必要。

1.2.2 铸造工业的两种类型

(1) 专用型铸造工业

为了大量生产出相同的铸造产品，对适应生产铸造产品的设施及机器进行整备是极为重要的。更要使工序过程的安排没有漏

洞，并要有良好的管理系统以便了解工序是否正常进行，为了制造出相应的铸造产品，大量生产的体制处于最佳状态是十分重要的。

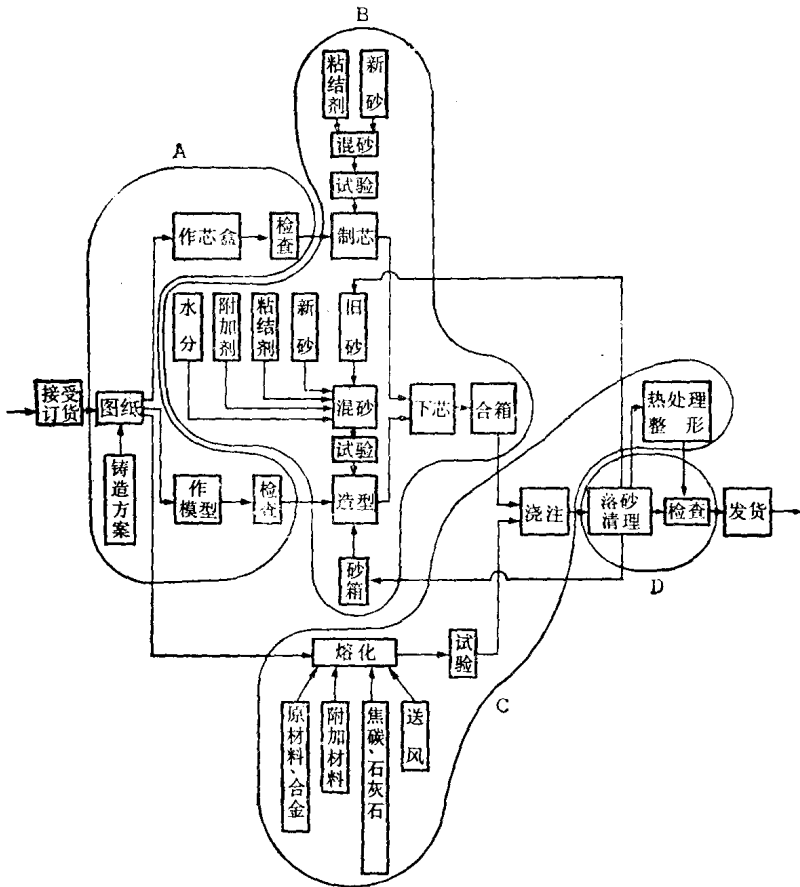


图1.1 铸造工厂工艺流程图

即为了制造出该铸造产品，必须从工厂的设施及机器开始以至工序管理都必须处于最佳状态。所以最好的办法是采用生产该铸造产品的专用设备。这样生产稳定，能使单一产品专用设备生产线容易实现自动化。例如，在汽车工业的铸造厂中对生产缸体及曲轴等铸造产品，已分别安装了专用设备生产自动线。

这种铸造厂制造什么铸造产品是很明显的，其设施和机器都是为此目的而装备的。所以把这种工厂叫做专用型铸造厂。

这样的专用型铸造厂生产效率高，产品价格低廉，但是没有灵活性，不能生产别的铸造产品，即使变更一下铸造产品的部分设计，也要涉及变更设施和机器，需要大量的经费和很多时间。专用型铸造厂生产的相同的铸造产品的数量必须绝对地多，否则是不合算的。

(2) 机动型铸造工业

铸造的一大特点是不管铸件的大小，单件生产还是大量生产均能适应。但是近来的铸造生产在大量生产中重视产量，朝着生产同类铸造产品方向前进，因而有失去作为其特征的机动灵活性的倾向。特别是对改进铸造工厂劳动环境具有重要意义的机械化和自动化的发展促进了这个倾向。也就是说，把已成为一个制造中心的刮板造型法等手工操作法逐渐忘掉，支持它的一些熟练的铸造师和技术人员正迅速的减少。

能接受订货制造各种铸造产品的铸造厂，即机动型铸造厂的减少给予以机械工厂为首的工业生产很大影响。为此，迫切需要建立非大量生产铸造产品的新类型的机动型铸造工业。

机动型铸造工业的技术力量要强，重要的问题是要拥有优秀的技术人员和熟练的技术工人，设施和机器是这些人员的辅助设备。为制造出更好的铸造产品，机动型铸造厂应引进新技术和对人员进行特殊的培养教育，并必须经常注意增添工作方便的设施和机器等。

1.2.3 铸造周边技术

铸造是金属加工领域的一个分支，所以在制造某一零件时当然会与其它方法相比较，例如与锻造或粉末冶金相比较。也就是说铸造经常与其周边的技术处于竞争之中。因此，必须注意周边技术的发展，发挥胜于它们的特长，努力弥补自己的不足之处。

这里列举几个必须注意的铸造周边技术的例子。

用粉末冶金法烧结铁类零件能制成比铸铁还强韧的机械零

件，高密度的铁类烧结机械零件其抗拉强度 $20\sim 30\text{kg/mm}^2$ ，延伸率为 $10\sim 30\%$ ，更高的抗拉强度可达 $60\sim 70\text{kg/mm}^2$ ，延伸率 $2\sim 4\%$ 。

在锻造等塑性加工方法中，称为 RR 锻造法的是曲轴制造中的极为有利的方法，用被称为膨胀加工的高液压加工法实现了 T 型管接头和管乐器的制造。还有，正处在研究阶段的在数万气压的超高压下进行脆金属的加工。

象上面所介绍的那样各个领域中都有各种各样的优秀的技术在发展，并威胁铸造领域。例如，用可锻铸铁制造 T 型管接头铸造产品几乎独占一坛，但是由于膨胀加工法的出现便代替了它的一部分。

尤其值得注意的是近来焊接技术的发展。例如，使用焊接超厚钢板的电渣焊可把轧钢机架的壁厚 900mm ，宽 1000mm 的零件牢固地焊接在一起。所以重型机械零件曾是铸造产品，但正在被钢材焊接品所代替。

1.3 根据物质四态考察加工体系的图形

(以下简称 PSOTS-pattern)

1.3.1 PSOTS-pattern

根据上述铸造周边技术（粉末冶金、锻造、焊接等）的发展以及向复合加工的发展，试设想一下今后的铸造。

图 1.2 就是著者命名为 PSOTS-pattern 的图形。在物理学中把物质的聚集状态分为气态、液态、固态三态，但在这个图形中又加上了粉态而分为四态。可是这不是依据理论上严格的定义而划分的，而是从工业技术的角度出发而把粉态区分出来的方法，因为这在进行设施和机器的设计，或考虑加工技术时是很方便的。例如，在这里不是用“体”而是用“态”来表示粉态就是因为考虑到与其表示物质的实质不如表示物质的状态。

粉末有时象水那样表现出能很好流动的液体的行为，如果这样考虑，那末当粉末聚集成块状时就表现出回弹的性质，也就是