

铸造工艺学

曲卫涛 主编

西北工业大学出版社

铸造工艺学

曲卫涛 主编

西北工业大学出版社

1996年3月 西安

(陕)新登字 009 号

【内容简介】 本书是在总结作者多年来从事铸造工艺学课程教学改革实践经验的基础上编写的。它打破了砂型铸造工艺与特种铸造工艺的界线，全书以铸造工艺为纲组成一个统一的体系。全书共分铸型材料、铸造工艺过程、铸造工艺设计、铸造工艺装备设计等 4 篇。

本书紧密结合航空工业铸造生产的特点，以铝、镁合金、钢和高温合金铸造为主，同时，也兼顾了机电工业部门大量需要的铸铁和铸钢的铸造工艺。

本书可作为航空高等院校铸造专业的教材，也可供其他高等院校铸造专业师生和从事铸造工作的科研、生产和工程技术

技术人员参考。

铸造工艺学

曲卫涛 主编

责任编辑 刘 红

责任校对 生 力

*

1996 西北工业大学出版社出版发行

(710072 西安市友谊西路 127 号 电话 8493844)

陕西省新华书店经销

咸阳印刷厂印装

ISBN7-5612-0845-6/TG·32

*

开本 787×1092 毫米 1/16 23.125 印张 字数:563 千字

1994 年 3 月第 1 版 1996 年 3 月第 2 次印刷

印数:2001—6000 册

定价:20.00 元

前 言

为了适应改革开放的需要,增强毕业生的适应性与灵活性,拓宽专业业务范围,我们将原来的锻、铸、焊三个专业合并为热加工工艺及设备专业大类。在学生毕业前一年,根据市场需要的预测,学生再向各专门化分流。我们编写的《铸造工艺学》就是分流后的铸造专门化的必修课程之一的教材。教学计划规定为80学时。

本书共分4篇19章。

第一篇铸型材料;第二篇铸造工艺过程;第三篇铸造工艺设计;第四篇铸造工艺装备设计。

铸造工艺知识的讲授,几十年来都是由几位教师分别开出铸造材料化学(32学时),砂型铸造工艺(80学时),特种铸造工艺(60学时)三门课程来完成的。其结果是三门课程各自组成独立的体系,很多内容重复。这个问题一直没有解决好。全国60多所高等院校的铸造专业,在铸造工艺课程的安排上大致相似。西北工业大学自1988年起在铸造工艺课程的改革上进行了试验,将上述三门课程合并组成一门课程——铸造工艺学(80学时),由一位教师讲授,其目的在于减少重复,保证重点,一次讲透,以求达到事半功倍之效果。经过5年的实践证明效果是好的。这本教材就是在上述实践的基础上整理编写的。它是以铸造工艺为纲组成一个统一的体系,打破了以往以铸造方法为纲的旧体系。

参加本书编写的有西北工业大学曲卫涛(绪论,第九、十、十一、十二、十八、十九章)、张启勋(第一、七、十三、十四、十五、十六、十七章),南昌航空工业学院林再学(第二、四、五、六章)、王薇薇(第三、八章)。曲卫涛任主编。

本书在编写过程中曾得到西北工业大学403教研室商宝禄教授的热情指导和帮助。全国高等学校铸造工艺教学指导委员会委员、西安交通大学铸造教研室何纪运副教授惠予评审,对书稿提出许多宝贵的修改意见。在此一并谨致谢意。

限于编者水平,书中难免有不足和不当之处,恳请广大读者指正。

编者

1993年9月

目 录

绪 论	1
-----	---

第一篇 铸型材料

第一章 金属和铸型的相互作用	5
§ 1-1 金属和铸型的热作用	5
§ 1-2 金属和铸型的机械作用	12
§ 1-3 金属与铸型的物理化学作用	13
§ 1-4 液态金属与金属铸型的相互作用及金属铸型的破坏	18
复习思考题	20
第二章 铸造用砂(原砂)	22
§ 2-1 铸造用砂的基本要求	22
§ 2-2 铸造用砂的分类、表示方法	28
§ 2-3 石英砂	29
§ 2-4 非石英质铸造用砂	33
复习思考题	38
第三章 粘结剂	39
§ 3-1 粘结剂的分类	39
§ 3-2 无机粘结剂	40
§ 3-3 有机粘结剂	65
复习思考题	84
第四章 粘土型(芯)砂	85
§ 4-1 粘土型(芯)砂的性能及其影响因素	87
§ 4-2 粘土型砂的分类及应用	97
§ 4-3 粘土型砂的配制	106
复习思考题	108
第五章 金属铸型材料	109
§ 5-1 概述	109
§ 5-2 金属型材料	110
§ 5-3 压铸型材料	112
复习思考题	113

第六章 铸造用涂料	114
§ 6-1 涂料的作用及对它的要求	114
§ 6-2 涂料的组成	117
§ 6-3 涂料的配制	123
§ 6-4 铸造用胶合剂及涂膏	123
复习思考题	125

第二篇 铸造工艺过程

第七章 砂型铸造	127
§ 7-1 概述	127
§ 7-2 造型(芯)	128
§ 7-3 砂型(芯)的烘干、合箱与浇注	134
§ 7-4 铸件的落砂与清理	136
§ 7-5 铸件质量检验与缺陷修补	138
复习思考题	140
第八章 熔模铸造	142
§ 8-1 模料	142
§ 8-2 熔模铸造工艺流程图	157
§ 8-3 型壳干燥过程的控制	158
复习思考题	162
第九章 金属型铸造	163
§ 9-1 金属型铸造工艺流程图	163
§ 9-2 金属型铸造的热规范	163
复习思考题	169
第十章 压力铸造	170
§ 10-1 压铸机简介	170
§ 10-2 压力铸造的工艺流程	172
§ 10-3 压铸压力	173
§ 10-4 压射速度和充填速度	175
§ 10-5 浇注温度	177
§ 10-6 铸型温度	178
§ 10-7 充填时间与持压时间	179
§ 10-8 压铸工艺参数的监测	180
复习思考题	180
第十一章 其他铸造方法简介	182

§ 11-1 低压铸造	182
§ 11-2 石膏型熔模铸造	186
复习思考题	191

第三篇 铸造工艺设计

第十二章 铸件结构设计	193
--------------------------	-----

§ 12-1 概述	193
§ 12-2 铸件结构设计原则	193
§ 12-3 铸件结构要素	195
复习思考题	206

第十三章 铸造工艺方案设计	207
----------------------------	-----

§ 13-1 铸造工艺方法的选择	207
§ 13-2 铸件浇注位置及分型面的选择	210
§ 13-3 铸件机械加工初基准的选择	214
§ 13-4 铸造工艺设计的主要参数	215
§ 13-5 型芯设计	220
复习思考题	225

第十四章 浇注系统设计	226
--------------------------	-----

§ 14-1 液态金属在浇注系统和型腔中的流动情况	226
§ 14-2 浇注系统的类型及应用范围	238
§ 14-3 浇注系统的尺寸计算	243
复习思考题	252

第十五章 冒口、冷铁设计	253
---------------------------	-----

§ 15-1 冒口的设计	253
§ 15-2 冷铁的设计	269
复习思考题	276

第十六章 铸件图和铸型图的绘制	277
------------------------------	-----

§ 16-1 铸件图的绘制	277
§ 16-2 铸型装配图的绘制	280
§ 16-3 铸造工艺规程和工艺卡片的编制	283
复习思考题	283

第四篇 铸造工艺装备设计

第十七章 砂型铸造工艺装备设计	285
------------------------------	-----

§ 17-1 模样及模板	285
--------------------	-----

§17-2 砂箱	292
§17-3 芯盒	294
复习思考题	299
第十八章 金属型设计	300
§18-1 金属型的结构形式	300
§18-2 金属型的结构设计	301
§18-3 金属型的尺寸	319
复习思考题	322
第十九章 压铸型设计	323
§19-1 压铸机选用	323
§19-2 压铸型结构	325
§19-3 分型面的选择	326
§19-4 浇注系统的设计	329
§19-5 溢流槽和排气槽设计	339
§19-6 压铸型成型部分尺寸计算	342
§19-7 压铸型型体和型芯设计	344
§19-8 抽芯机构设计	348
§19-9 顶出机构设计	355
§19-10 压铸型的技术要求	358
复习思考题	360
参考文献	361

绪 论

铸造是机器零件、毛坯采用液态金属直接成型的一种制造方法。铸造生产工艺是将金属熔炼成具有一定化学成分、一定温度的液态金属，在重力场或外力场（压力或离心力等）的作用下，浇注到具有一定几何形状、尺寸大小的铸型型腔中，待液态金属结晶、凝固并冷却到一定温度后，从铸型型腔中取出，经过清理、切除浇冒口而获得铸件（亦就是机器零件或毛坯）。

铸造工艺学是研究铸件成形方法的一门科学。

一、我国铸造工艺发展概况

我国在铸造技术方面，已有 5 000 多年的悠久历史，是世界上应用铸造技术最早的国家之一。

目前发现的我国最早的青铜器是 1975 年在甘肃省东乡林家村一处古遗址中的一把铜刀。这把刀经科学鉴定，确系青铜铸成。这个遗址属于甘肃仰韶文化马家窑类型。年代距今已有 5 000 多年。这时人类社会才从漫长的石器时代进入青铜器时代。

我国在殷商时期就已创造了灿烂的青铜文化，所谓“钟鸣鼎食”，成了当时贵族权势和地位的标志。河南安阳出土的殷朝祭器司母戊鼎，重达 700 多公斤，长×高超过 1×1 m，四周饰有精美的蟠龙纹及饕餮纹。1978 年在湖北省随县出土的曾侯乙墓青铜器总重达 10 t 左右，其中有 64 件的一套编钟，分八组，包括辅件在内用铜达 5 t。钟面铸有变体龙纹和花卉纹饰，有的细如发丝，钟上共铸有错金铭文 2 800 多字，标记音名、音律。每钟可发两音，一为正鼓音，一为右鼓音。整套编钟音域宽达五个半八度，可演奏各类名曲，音律准确和谐，音色优美动听，铸造工艺水平极高，可称得上是我国古代青铜铸造的代表作。这套编钟的铸造时代是距今 2 400 年前的战国初期。

公元前 6~7 世纪的春秋时代，我国就发明了冶铸生铁的技术，这约比欧洲早 1 700 年。我国古代的冶金匠师卓越地发明了，并有效地运用了金属型来铸造农具及其它生产工具，已由 1953 年在今河北省兴隆县寿王坟出土的 87 件铁范（即金属型）所证实。这些铁范据推测是战国时代燕国的，也就是公元前 3~4 世纪的产物，其中有锄范、双镰范、镢范、斧范、凿范（现存中国历史博物馆）。经过对这些铁范及附近出土的同时代的铁锄、铁斧的研究证明，这些铁范是用来铸造铸铁件的。欧洲人直到公元 1568 年才开始用金属型铸出铁炮弹，所以说我国采用金属型铸造比欧洲采用金属型铸造要早 1 800 年左右。

隋唐以后，我国社会经济有了进一步的发展，铸造技术向大型和特大型铸件发展。例如：河北沧州的大铁狮，高 5 m 多，长 6 m 多，重 5 万多公斤，是公元 10 世纪五代时后周铸造的。明朝永乐铸青铜大钟，铸于明朝永乐 18 年（公元 1418~1422 年）前后，全高 6.75 m，钟口外径 3.3 m，钟唇厚 18.5 cm，重 46.5 t，钟体内外遍铸经文 230 184 个字（现存北京大钟寺内）。

泥范（泥型）、铁范（金属型）和失蜡法（熔模铸造）三种铸造工艺方法是我国古代的冶

铸匠师们首先发明的。

我国早在 3 500 多年前就能用泥范来铸造各种各样的铸件。隋唐以后，一直盛行用铁范铸造各种农具，这一点前已述及，但以后由于历史条件的变化，这种铸造方法时起时落。根据近人考证，约在 13 世纪，由于活版印刷的发展，曾用金属型浇注锡活字。在清代龚振麟所著《铁模图说》中详尽地论述了用泥型铸造金属型和用金属型铸造铁炮的工艺方法，但这种铸造方法并未很快被近代工业所采用。

关于失蜡铸造，在《天工开物》中有这样的记载：“凡造万钧钟和铸鼎同，挖坑深丈几尺，操筑其中如房舍……干燥后，涂以牛油和黄蜡……然后雕镂书文物象丝发，成就，然后舂绝细土与炭末为泥，涂墁以渐而加厚至数寸……外施火力，炙化其中油蜡，一中既空，则倾熔铜……”现代熔模铸造是由牙科医生维利耶姆丁于 1907 年发明的，近几十年随着喷气发动机的发展而迅速发展。

综上所述，可知我国古代铸造技术居世界先进行列。勤劳智慧的中华民族在铸造技术方面作出了伟大的贡献。但解放前，由于三座大山的残酷统治和掠夺，我国工业生产水平大大地落后了，铸造生产也长期处于落后状态。

解放后，我国广大铸造工作者和其他战线的同志一样在党和政府的领导下，以冲天的革命干劲，奋发图强、自力更生做出了很大的成绩，不仅能成套的设计、制造大型机械化铸造车间设备，铸造工艺水平也有了很大的发展和提高，尤其是改革开放以来随着我国国民经济的大发展，铸造生产也突飞猛进。据报导我国目前铸造业生产能力是年产 $800 \times 10^4 t$ ，仅次于俄、美，居世界第三位。

压力铸造自从 J. J. Sturgiss (斯特金斯) 于 1849 年设计第一台简易手动活塞式热压室压铸机，并在美国取得专利至今已有 140 多年的历史。解放前我国仅有三家小工厂有压铸生产，只有几台压铸机，现在全国已有数百家工厂有压铸生产，乡镇企业、个体户亦有不少压铸专业厂，据统计我国压铸机的总台数为 3 000 台左右，居世界前列。第二汽车制造厂已建成 $5\ 000\ m^2$ ，号称亚洲最大的压铸车间，现已装有 43 台压铸机。

当前，与世界工业发达国家相比，我国铸造生产的差距不是表现在规模和产量上，而是集中在质量和效率上。如国际铸造学会执委会主席周尧和教授 1990 年元月传达的铸件劳动生产率统计：美国 $50 \sim 60\ t / (人 \cdot 年)$ ，日本 $70\ t / (人 \cdot 年)$ ，前苏联 $40\ t / (人 \cdot 年)$ ，中国低于 $8\ t / (人 \cdot 年)$ 。

随着科学技术的发展和我国四化建设的需要，铸造技术的发展方向是：(1) 大力组织专业化生产，以利竞争；(2) 实现铸造生产过程的机械化和自动化，重点应放在造型、砂处理、压铸机的机械化和自动化上；(3) 加强基础理论研究的同时，消化引进发展新材料、新工艺。

二、铸造工艺方法分类

(一) 根据铸型特点分类

(1) 一次型：制得的铸型只能浇注一次。属于这一类的铸造工艺方法有砂型铸造、熔模铸造、壳型铸造、石膏型铸造、磁型铸造、真空实型铸造、水银模铸造等。

(2) 半永久型：制得的铸型能多次甚至几十次进行浇注。属于这一类的铸造方法有泥型铸造、陶瓷型铸造、玻璃型铸造、石墨型铸造等。

(3) 永久型：制得的铸型能浇注 100 次以上。浇注次数最多的如压铸型可浇注几十万次。

属于这一类的铸造方法有：

a. 非金属铸型：石头型铸造。

b. 金属铸型：金属型铸造、压力铸造、液体金属冲压、挤压铸造、离心铸造、真空吸铸、液体轧板、连续铸造等。

(二) 根据浇注时，金属液所承受的压力状态分类

(1) 常压下浇注(自由浇注、重力浇注)：液态金属在重力作用下充填型腔并结晶凝固。如砂型铸造、金属型铸造、磁型铸造、熔模铸造等。

(2) 低压下浇注：液态金属在较低的压力(20~60 kPa)作用下充填型腔并结晶凝固。如低压铸造、差压铸造、调压铸造、真空吸铸等。

(3) 高压下浇注：液态金属在几千~ 2×10^5 kPa 的高压下充填型腔并结晶凝固。如压力铸造。

(4) 离心铸造：将液态金属浇入高速旋转的铸型中，在离心力的作用下充填铸型并结晶凝固。如离心铸造。

(5) 真空浇注：金属在真空度为 $1.3 \sim 0.013$ Pa 的专用设备中熔化后充填型腔并结晶凝固。这种铸造方法一般用在易氧化的高温合金铸件浇注。其特点是充填性能好，浇注温度低，但设备费用高。镍基、钴基合金的航空发动机叶片常采用熔模铸造真空浇注。

三、本课程的性质、任务、内容和要求

铸造工艺学是热加工工艺及设备专业铸造专门化的必修课，是一门实践性很强的应用科学。

本课程的任务是讲授铸造工艺的基本理论和基本知识，使学生能了解和掌握铸型材料的基本知识、主要铸造方法的工艺过程、铸造工艺设计原理和方法、铸型工艺装备设计，从而完成一个铸造工程师所必须具备的分析问题和解决工程实际问题能力的培养。

本课程的内容：

铸造这种古老的工艺发展到今天，其工艺方法已有几十种之多。本课程既要考虑到航空、航天工业发展的需要，又要考虑到军转民生产民品的需要。因此，着重研究有色合金铸件砂型铸造、金属型铸造、压力铸造和铸钢及高温合金的熔模铸造，同时兼顾铸铁、铸钢的砂型铸造及其他常用铸造方法。针对上述情况，我们决定以其共性——铸造工艺——为纲，组成一个统一的体系，打破以铸造方法为纲的旧体系，从而将本课程组成四篇：第一篇铸型材料、第二篇铸造工艺过程、第三篇铸造工艺设计、第四篇铸造工艺装备设计。

本课程的要求：

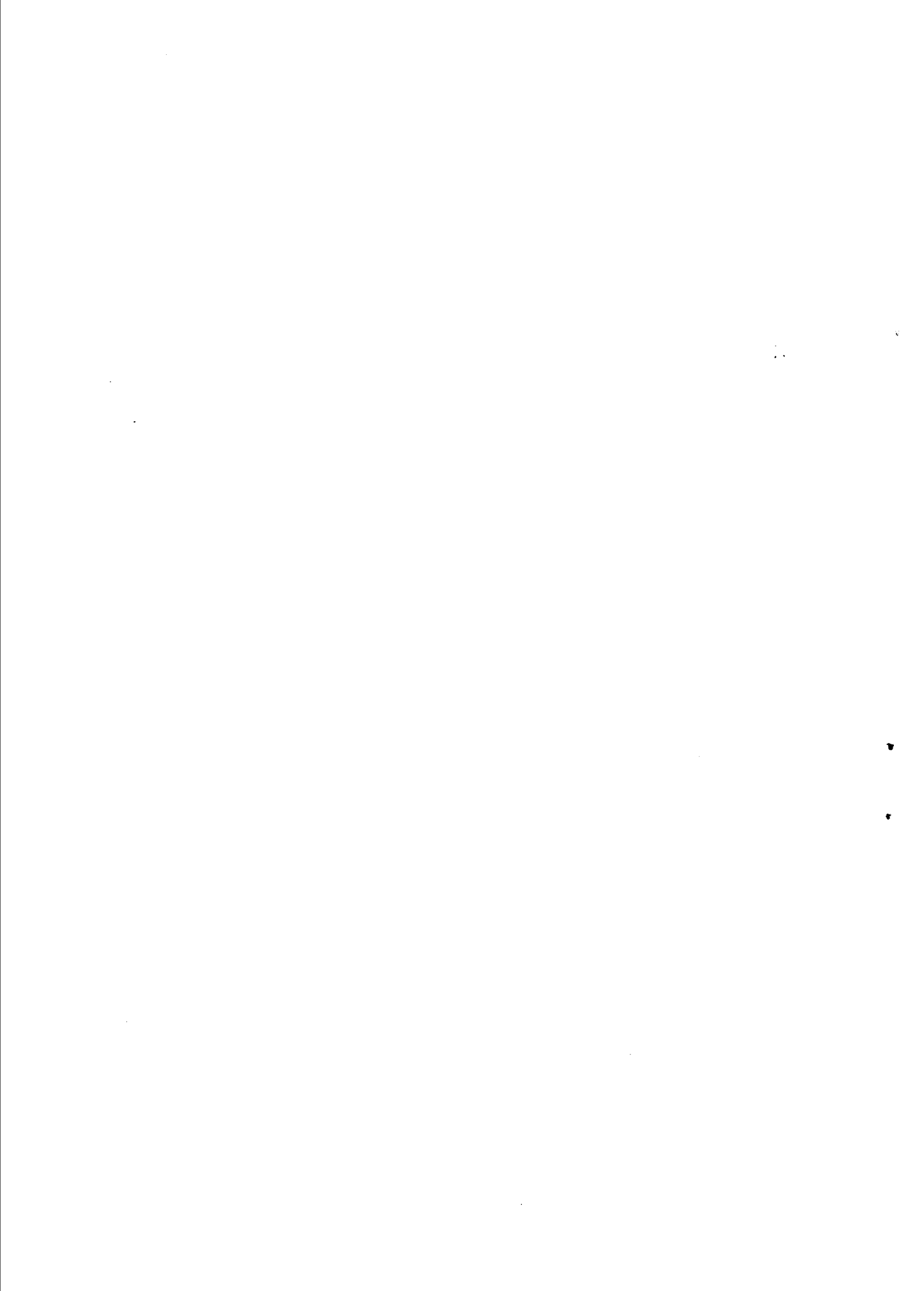
(1) 全面系统地了解各类铸型材料的组成、特性及应用范围，为合理地选用和开发新型铸型材料打下坚实的理论基础。

(2) 了解和掌握主要铸造方法的工艺特点、工艺过程原理、工艺参数选择和适用范围。

(3) 掌握铸件的铸造工艺设计原理和方法。学完本课程以后，通过铸造工艺课程设计的训练，使学生具备中等复杂程度铸件的铸造工艺设计能力。

(4) 掌握常见铸造缺陷产生的原因及排除方法。

(5) 了解各种主要铸造方法的发展动态。



第一篇 铸型材料

第一章 金属和铸型的相互作用

金属在充填、凝固、冷却过程中会和铸型（包括砂质铸型和金属型）发生热的、机械的、物理化学的相互作用。铸件的某些缺陷，如：砂眼、夹砂、粘砂、裂纹、燃烧和侵入气孔等各种缺陷都是不利的相互作用条件下形成的。掌握金属和铸型相互作用的规律，不仅可以防止铸造缺陷，还可以提高铸件质量、降低材料和工时消耗，提高经济效益。

本章主要研究铸型在金属液热作用下发生的变化及其对铸件质量的影响；与此有关的铸件缺陷的特征、形成机理、影响因素和防止措施；选用新的造型材料的依据。

§ 1-1 金属和铸型的热作用

金属液浇入铸型后，液体金属与铸型之间就发生剧烈的热交换。在金属液的热作用下，铸型温度升高，导致铸型体积膨胀、型内水分迁移等现象产生。金属和铸型间的机械作用和物理化学作用亦随温度升高而加剧。热作用、机械作用、物理化学作用三者是互相联系的，而热作用是其它两方面作用的基础。

一、铸型的温度场

研究液体金属对铸型的加热，主要是研究在不同时间内铸型各点温度变化的情况，以及铸型在不同时间内所吸收的热量。研究的方法有数学分析法、模拟法（电模拟和水力模拟）以及实测法等。

用数学分析法研究热作用可以明显地反映铸型温度场的变化规律。金属和铸型的传热过程是非常复杂的不稳定导热过程。可用傅立叶导热微分方程表示：

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right)$$

在假定铸件和铸型均为无限大平板，材质是均匀的，热物理常数不随温度变化，金属液浇入铸型后温度一致，并没有对流等条件下，将三维的导热微分方程简化为一维的导热微分方程

$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \right)$ 。由此方程的通解和单值条件，可得到铸型的温度场方程式为

$$t = t_0 + (t_K - t_0) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{4a\tau}} \right) \right] \quad (1-1)$$

式中： x ——铸型中某点到金属铸型界面的距离；

t —— 铸型中距型腔表面为 x 处的温度(°C);

t_0 —— 铸型的初始温度(°C);

t_K —— 金属的温度(°C);

τ —— 铸型被加热的时间(h);

$\operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}}\right)$ —— 高斯误差积分函数,可由有关数学手册中查出;

a —— 铸型的热扩散率, $a = \frac{\lambda}{c\rho}$;

λ —— 铸型的热导率;

c —— 铸型的比热容;

ρ —— 铸型材料的密度(kg/m^3);

在上述条件下根据铸型吸热和铸件放热的热平衡方程式,可得出铸型所吸收的热量 Q 为:

$$Q = \frac{a}{\sqrt{\pi}} b F (t_K - t_0) \sqrt{\tau} \quad (1-2)$$

式中: b —— 铸型材料的蓄热系数, $b = \sqrt{\lambda c \rho}$;

F —— 铸型的面积。

公式(1-1)和(1-2)对于干态砂型和金属铸型是适应的,而对湿态砂型则必须进行必要的修正。该公式也是在许多具体限制条件下得出的,故计算结果是近似的。在实际生产中,一般只要求得到有一定准确度的近似解,故常采用近似计算的公式或用数值分析方法计算。

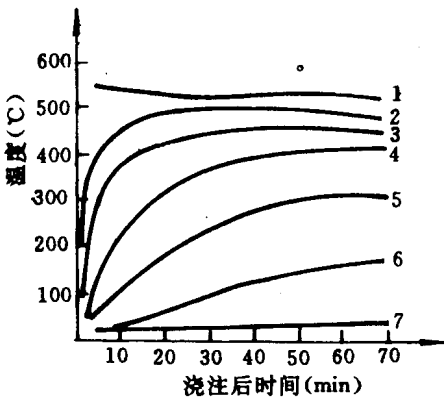


图1-1 干型的加热曲线

1—型面 mm 2—2.7mm 3—6.5mm 4—13.3mm
5—25.2mm 6—50.8mm 7—101.6mm

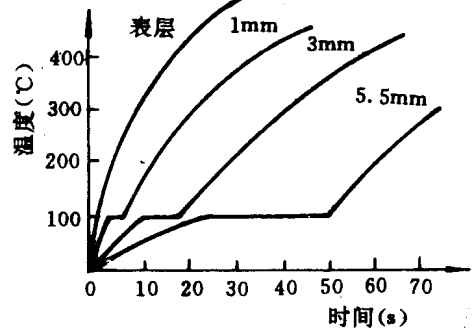


图1-2 湿型受热时的温度变化曲线

用直接测温法研究热作用的规律是目前应用最广泛的方法。其方法是在铸型中距界面不同距离的地方安置热电偶以测量液体金属浇入型腔后铸型中各点的温度变化情况;并进而根据温度变化曲线得出温度分布曲线。图1-1和图1-2分别为在干态砂型和湿砂型中浇注 Al-30%Cu 合金铸件时,铸型中各点的温度变化曲线。图1-3和图1-4分别为浇注铝合金时干型和湿型的温度分布曲线,从图中可以看出如下特点:

(1) 浇注后铸型表面层的温度迅速地接近液体金属的温度,而铸型其它部分仍处于相当

低的温度。铸型表层的热作用比较剧烈，必须予以足够重视。

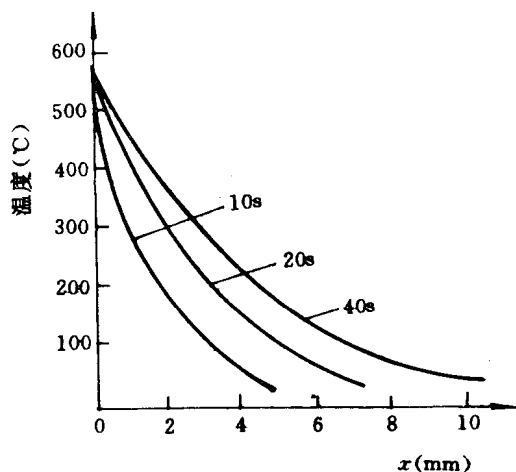


图 1-3 干型的温度分布曲线

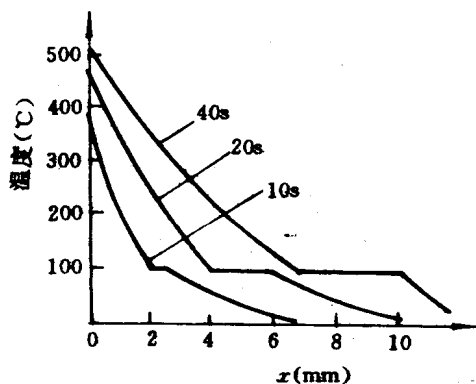


图 1-4 湿型的温度分布曲线

(2) 干砂型的温度分布曲线和金属型相似，趋近于抛物线，和公式(1-1)的数值比较符合，而湿型的温度变化曲线和温度分布曲线上都呈现出平台部分，这是由于湿型内水分的相变和迁移形成的。

(3) 砂质铸型热导率比金属型低，受热后不能迅速地把热量从型腔表面层传递给里层，表层和里层之间存在着很大的温度差。

(4) 干型表面层的温度比湿型高。湿型的热容量比干型大 1.5 ~ 2 倍。由于水分蒸发时还产生了较大的蒸汽压力，增加了铸型的热导率，能够比较迅速地传递热量。

二、湿砂型在浇注时的水分迁移

湿型被金属液急剧加热时，砂型中的水分会从高温的表面层向低温的里层迁移。水分迁移的原因是砂型表面层中的水分受热蒸发变成水蒸气、水蒸气通过砂粒间的孔隙流向砂型内层，进而凝聚成水；另外急热时砂粒间孔隙中的水在压力差和表面张力的作用下也由温度高处向温度低处移动。

由于水分迁移的结果，在湿型中出现四个区域（见图 1-5）。

第一区域——干燥区。它是从金属与铸型的界面到温度为 100°C 的地方。该区的温度高于 100°C，自由水分都被蒸发，因而水分含量很少。水分蒸发产生大量气体，所以又称发气区，在不利的条件下，气体可能侵入液体金属中，产生侵入性气孔缺陷。该区域透气性好，强度高。

第二区域——水分饱和和凝聚区。铸型中温度为 100°C 的区域。这个区域的水分含量高达 10 ~ 15%，为正常水分的 2~3 倍。这些水分是干燥区产生的水蒸气在这儿凝聚起来的，但水分到一定程度后会达到饱和，水蒸气则流向更里层的水分凝聚区凝结，所以该区域称水分饱和和凝聚区。由于该区域水分过高，使砂粒间出现自由水，破坏了粘土膜的粘结性能，使型砂强度降低。一般只为正常区强度的 3/1~1/10。多余的水分也堵塞了砂粒间的孔隙，使型砂的透气性大大降低。该区的透气性低，干燥区产生的气体不能迅速排除出去，提高了界面上气体

的剩余压力。在不利的条件下，有可能侵入液体金属中，使铸件产生气孔缺陷。

第三区域——过渡区，也叫水分不饱和凝聚区。它是从铸型中温度为100℃至室温的区域。干燥区来的水蒸气在此区域凝结。故这个区域的水分含量比正常区的稍高，但其分布是不均匀的，随着至型腔表面距离的增加而减少，直至趋向正常的水分，因此称为过渡区。

水分饱和凝聚区和过渡区总称为水分凝聚区。水分凝聚区的含水量，为型砂原含水量和因水分迁移而增加的含水量之和。由水分迁移而增加的含水量，可近似地按水蒸气凝聚而增加的含水量计算。

第四区域——正常区，它是从铸型温度为室温至砂箱壁处。该区域未受液体金属热作用的影响，其温度、水分、强度和透气性都保持正常的状态。

铸型中因水分迁移而形成的四个区域是在不断地发展和变化的。干燥区在一定时间内将不断地扩大。水分凝聚区将不断地向型壁的深处推进，金属液的浇注温度愈高，移动的速度愈快。水分饱和凝聚区的厚度则随离界面的距离增大而增大。浇注速度的影响与浇注温度相似。

型砂的含水量、粘土的种类和加入量、砂型紧实度等对水分迁移亦有很大影响。型砂的含水量高，水分饱和凝聚区出现得早，离界面近，饱和凝聚区的水分亦较高。型砂含水量相同时，用膨润土代替普通粘土，提高砂型紧实度，饱和凝聚区出现较迟，含水量亦较低。

必须指出，当液体金属表面尚未凝固成硬壳之前，干燥区与水分凝聚区的大小、位置、强度和透气性的高低对铸件的质量有很大的影响。但当液体金属表面已经凝固并具有足够的强度后，水分迁移对铸件质量的影响就不明显。

三、砂型在加热时的膨胀

砂型呈多孔性，它在加热时的膨胀可分为显微膨胀和宏观膨胀两个阶段。在砂粒的膨胀能被粘土膜的收缩抵消，或砂粒相互移动的阻力小于砂型外部的阻力时，仅减少砂粒间孔隙，并不引起砂型尺寸的变化，这个阶段称为显微膨胀阶段。在砂粒间的孔隙已不能再减小，或砂粒间相互移动的阻力大于砂型外部的阻力时，砂型的外部尺寸才发生变化，这个阶段称为宏观膨胀阶段。砂型在加热时的膨胀，不仅与砂粒材料的膨胀系数与特性、粘结剂和加入物的性质及加入量等有关，还和砂型的紧实度、加热温度、加热速度、膨胀条件等因素有关。

原砂和粘土是型砂的主要成分。原砂的主要成分石英在加热时，开始随温度升高而均匀

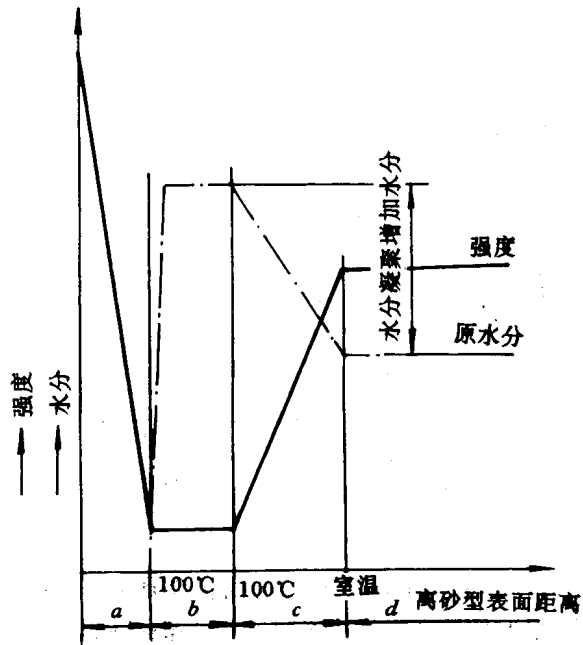


图 1-5 浇注后湿型中某瞬间水分分布示意图

- a—完全烘干区 (温度高于 100℃)
- b—水分饱和凝聚区 (温度稳定在 100℃)
- c—水分不饱和凝聚区 (温度在 100℃ 以下到室温)
- d—未受影响区 (温度为室温)

膨胀，在 573℃ 时， β 石英转变成 α 石英，因晶格常数变化发生突然膨胀，相变体积膨胀量为 0.82%。温度升高到 870℃，并有强的催化剂的作用下，将有一部分的 α 石英开始转变为 α' 石英。在铸型条件下，既缺乏催化剂，加热时间又短， α 石英是稳定的，不再发生相变和膨胀，故石英砂加热到 600℃ 附近即达最大膨胀值（线膨胀约 15%）。

润湿的粘土在风干或烘干时因失去水分发生收缩，湿粘土的含水量愈高，则收缩值愈大。湿粘土的风干线收缩值为 2.6~10.5%。粘土在加热时粘土矿物因失去吸附水和结构水而收缩，粘土中的石英杂质则膨胀，加热温度超出粘土晶格破坏的温度和重结晶温度后则发生很大收缩，粘土的煅烧线收缩为 7~13%，其主要决定于粘土的矿物成分、杂质含量和加热温度。

粒度细而集中，粉粒含量高，铸型紧实度高，加热速度快，都会减少砂型的显微膨胀而使宏观膨胀增大。型砂中加入高温时能收缩或烧失的粘结剂或附加物，采用粒度大而分散的原砂，减少砂型紧实度，可延长显微膨胀阶段而使宏观膨胀减小。

四、夹砂

夹砂是铸件常见的一类表面缺陷，是在铸件表面还没有凝固或凝固壳强度很低时，因砂型表面层膨胀发生拱起和裂纹而造成的。分为夹砂结疤和鼠尾两类。金属液进入裂纹把拱起的砂型表层包在铸件内，就成为夹砂结疤缺陷（亦称包砂），如图 1-6 (a) 所示；砂型表面只拱起而未断开，就造成鼠尾缺陷（亦叫沟槽），如图 1-6 (b) 所示。夹砂的形成过程如图 1-7 所示。

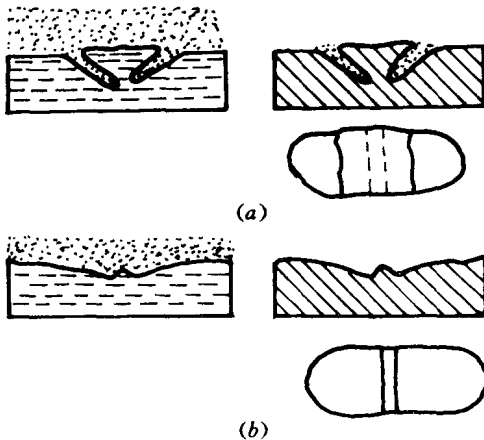


图 1-6 夹砂的形式
(a) 夹砂 (b) 鼠尾

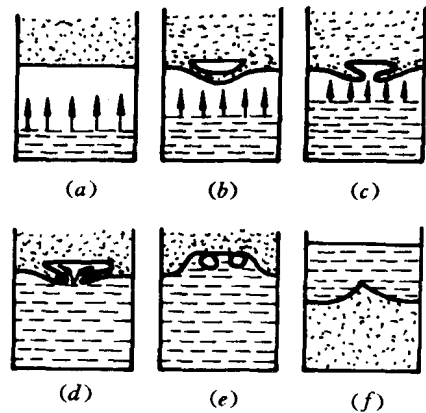


图 1-7 夹砂形成示意图

夹砂类缺陷在湿型铸造时最常发生，铸铁件、铸铜件和铸铝件常发生鼠尾及夹砂结疤缺陷；铸钢件则主要发生夹砂结疤。夹砂结疤大多发生的铸件的上表面、浇口附近。鼠尾则常发生在铸件下表面。厚壁的、大平面、浇注温度高和浇注时间长的铸件，夹砂结疤较严重。

夹砂损坏了铸件表面，影响了铸件的精度，增加了清理铸件的劳动量，甚至报废，应加以防止。

(一) 夹砂的形成机理

夹砂的形成机理，有几种不同的理论见解。