

·高等学校教材·

铸件形成理论

及工艺基础

王寿彭 主编



● 西北工业大学出版社

TS242

222
V 38
高等学校教材

铸件形成理论及工艺基础

王寿彭 主编

西北工业大学出版社

1994年12月 西安

(陕)新登字 009 号

【内容简介】本书内容包括第一篇铸件形成理论和第二篇铸造工艺基础。第一篇阐述液态金属的结构与性质和液态金属对铸型的充填、铸件的凝固(结晶)原理,并分析了铸件在凝固过程中产生各种缺陷(气体类和收缩类)的原因,提出了消除这些缺陷的途径。第二篇内容以砂型铸造为代表,讨论铸造生产的基本工艺,同时介绍了常用的特种铸造方法。熔炼工艺以铸造铝合金为重点,同时对铸铁、铸钢和铸造高温合金也作了必要的介绍。

本书供高等学校热加工工艺及设备专业教学使用,也可供从事铸造、锻压、焊接等专业人员参考。

高等学校教材

铸件形成理论及工艺基础

主编 王寿彭

责任编辑 雷 鹏

责任校对 享 邑

*

© 1994 西北工业大学出版社出版

(710072 西安市友谊西路 127 号 电话 4253407)

陕西省新华书店发行

西北工业大学出版社印刷厂印装

ISBN 7-5612-0701-8/TG · 23(课)

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:19.5 字数:474 千字

1994 年 12 月第 1 版

1994 年 12 月第 1 次印刷

印数:1—2 000 册

定价:11.20 元

购买本社出版的图书,如有缺页、错页的,本社发行部负责调换。

前 言

本书是根据航空高等学校第二教学指导委员会审定的教学大纲编写而成的，供航空材料工程系大类专业（铸、锻、焊）教学使用。

本教材由南昌航空工业学院王寿彭副教授主编，由西北工业大学毛志英教授主审。参加编写的有西北工业大学王友序副教授（第二、三章），杨根仓教授（第七、八章），高以熹副教授（第九章）；南昌航空工业学院张绍兴副教授（第一、六章）和王寿彭副教授（绪论，第四、五章）。

在本书的编写和出版工作中，航空工业总公司教材编审室做了不少组织及指导工作，西北工业大学教材科和南昌航空工业学院教材科给予了具体帮助，在此谨表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不少缺点或错误，恳请读者批评指正。

编 者

1993 年 6 月

目 录

绪 论	1
一、铸造的概念和特点	1
二、铸造技术发展概况	2
三、本课程的性质以及内容和要求	5
参考文献	6

第一篇 铸件形成理论

第一章 液态金属对铸型的充填	8
第一节 液态金属的性质	8
一、液态金属的粘滞性	8
二、液态金属的表面现象	12
三、液态金属的基本物理性质	19
第二节 充型能力与流动性	20
一、充型能力的概念、意义和测定方法	20
二、停止流动的机理	23
三、影响充型能力的因素及提高充型能力的措施	25
思考与练习	31
参考文献	32
第二章 铸件的凝固	33
第一节 铸件温度场	33
一、测温法	33
二、数学分析法	36
三、数值模拟法	44
四、影响温度场的因素	49
第二节 铸件的凝固方式及凝固方向	52
一、凝固动态曲线	52
二、凝固区域结构及特征	53
三、铸件的凝固方式及其影响因素	55
四、铸件的凝固方向	58

五、凝固方式及凝固方向与铸件质量的关系	61
第三节 铸件凝固的控制	62
一、凝固方式和凝固方向的控制	62
二、凝固的强制控制	64
思考与练习	65
参考文献	66
第三章 铸件的收缩和收缩缺陷	67
第一节 铸造合金及其铸件的收缩	67
一、铸造合金的收缩规律	67
二、铸件的收缩	70
第二节 缩孔及缩松	74
一、缩孔、缩松的形成	75
二、缩孔、缩松的容积及转化规律	77
三、缩孔、缩松的预测及防止	80
第三节、热裂	83
一、热裂的形成	83
二、热裂的影响因素及其防止	86
第四节 铸件的应力、变形及冷裂	89
一、概述	89
二、铸造应力	90
三、变形与冷裂	95
四、铸造应力、变形和冷裂的预防与消除	96
思考与练习	98
参考文献	99
第四章 液态金属结晶原理.....	100
第一节 液态金属的结构.....	100
一、物理性质的变化.....	100
二、X 射线衍射分析.....	101
三、液态金属结构的特点.....	101
第二节 液态金属的结晶过程.....	102
第三节 形核过程与形核率.....	103
一、均质形核与形核率.....	103
二、非均质形核与形核率.....	107
三、晶粒细化剂.....	110
第四节 晶体的生长.....	111
一、固-液界面的原子迁移	111
二、固-液界面的微观结构	112

三、晶体生长机制与生长速率·····	113
四、晶体的生长形态·····	117
第五节 单相合金的结晶·····	118
一、溶质再分配与平衡分配系数·····	118
二、非平衡结晶过程的溶质分配·····	119
三、固-液界面前沿熔体的过冷·····	123
四、成分过冷对晶体生长的影响·····	127
第六节 共晶合金的结晶·····	135
一、共晶体中相的形态与分布·····	135
二、共晶合金的结晶方式·····	135
三、规则共晶的结晶·····	137
四、不规则共晶的结晶·····	141
第七节 铸件结晶成分的不均匀性·····	143
一、显微偏析·····	143
二、宏观偏析·····	144
三、比重偏析·····	146
思考与练习·····	147
参考文献·····	147
第五章 铸件结晶组织的形成与控制·····	148
第一节 铸件(锭)典型结晶组织·····	148
第二节 铸件结晶时的晶粒游离·····	149
一、熔体内部的对流运动·····	149
二、晶粒游离的方式·····	149
第三节 铸件结晶组织与性能之间的关系·····	152
第四节 影响铸件宏观组织的因素·····	153
第五节 铸件结晶组织的控制·····	153
一、等轴晶的获得与细化·····	153
二、柱状晶及单晶的获得·····	157
三、共晶合金组织的控制·····	159
思考与练习·····	159
参考文献·····	159
第六章 铸件中的气体与非金属夹杂物·····	160
第一节 金属液中的气体·····	160
一、金属中气体的种类及存在形式·····	160
二、金属中气体的来源·····	162
三、气体对铸件质量的影响·····	162
第二节 铸件中的气孔·····	163

一、气孔的种类与特征	163
二、气体的溶入与析出	164
三、气孔的形成	170
第三节 铸件中的非金属夹杂物	173
一、夹杂物的来源与分类	173
二、初生夹杂物的形成、聚合和沉浮	176
三、二次氧化夹杂物	179
四、次生夹杂物	180
第四节 气体与非金属夹杂物的排除	182
一、吸附净化法	183
二、非吸附净化法	184
三、化学法	184
思考与练习	185
参考文献	186

第二篇 铸造工艺基础

第七章 砂型铸造	188
第一节 造型材料	188
一、粘土型砂	189
二、水玻璃砂	195
三、有机粘结剂砂	197
第二节 造型和造芯工艺	201
一、手工造型(芯)	201
二、机器造型(芯)	203
三、其他造型方法	206
第三节 铸件的浇注系统、冒口和冷铁	207
一、浇注系统	207
二、冒口	213
三、冷铁	216
第四节 铸造工艺设计简介	217
一、铸件浇注位置和分型面的选择	218
二、铸件机械加工初基准和划线基准的选择	218
思考与练习	219
参考文献	220
第八章 特种铸造	222
第一节 熔模铸造	223

一、熔模及其制备·····	223
二、型壳制备·····	225
第二节 金属型铸造·····	234
一、金属型的结构·····	235
二、金属型铸造的热规范·····	236
三、金属型涂料·····	239
四、金属型的浇注·····	240
五、金属型设计简介·····	241
第三节 压力铸造·····	244
一、压铸机简介·····	244
二、压铸型·····	246
三、压铸工艺·····	249
四、特殊压铸工艺·····	254
第四节 低压铸造和离心铸造简介·····	256
一、低压铸造·····	256
二、离心铸造·····	256
思考与练习·····	259
参考文献·····	259
第九章 铸造合金熔炼·····	260
第一节 铸造铝合金的熔炼·····	260
一、铸造铝合金的性能特点·····	260
二、铸造铝合金的分类及用途·····	260
三、铝合金熔炼过程的基本原理·····	261
四、铸造铝合金的熔炼与浇注·····	272
第二节 铸铁的熔炼·····	275
一、铸铁的性能·····	275
二、冲天炉的结构及熔炼过程·····	280
三、冲天炉熔炼的控制·····	282
四、可锻铸铁、球墨铸铁及蠕虫状石墨铸铁的生产特点·····	286
第三节 铸钢及高温合金的熔炼·····	288
一、铸钢及高温合金的类别和性能·····	288
二、铸钢及高温合金的熔炼·····	293
思考与练习·····	303
参考文献·····	304

绪 论

一、铸造的概念和特点

铸造是利用金属在液态时容易成型的原理来生产金属制品的一种加工工艺。首先,把金属或合金的原材料熔配成具有一定的化学成分和一定温度的熔液,然后在重力或外力作用下将它浇注到铸型型腔中,经凝固冷却后便形成所需要的铸件。大多数铸件只是零件的毛坯,它要经过切削加工才能成为机器零件。但是,随着少余量与无余量铸造技术的发展,有的铸件可以不需切削加工即能满足零件精度和粗糙度的要求。

铸造是多工部、多工序的生产过程。主要工部有熔化、砂处理(砂型铸造)、造型与制芯、浇注、清砂与清理等。此外,还包括热处理和表面处理等辅助工部。每个工部包括若干工序。任一工部和任一工序都将直接地或间接地影响着铸件的最终质量。它的影响因素是多方面的。其中包括金属炉料的品质,熔化过程所产生的冶金反应,造型材料的性质及铸型性能,铸型与液态金属之间的相互作用,浇注方案及其工艺参数(浇注温度和浇注速度等),以及由温度场所决定的凝固速度、凝固方向和凝固方式等。铸件绝大多数宏观缺陷,例如缩孔、缩松、气孔、夹渣和夹杂以及裂纹等,均与这些方面的因素有关。要克服铸件的缺陷,必须掌握多方面的理论知识和实践经验。

铸件的性能除了受到缺陷的影响以外,还受到液态金属一次结晶组织的直接影响。因此,铸造工作者必须对液态金属的结晶(凝固)过程十分通晓。

铸造与其他的加工工艺方法比较,其基本特点在于液态金属的抗剪应力很小,易于成型。由此而使铸造具有以下优点:

(1) 适应范围很大。首先,可供铸造用的金属(合金)十分广泛。除了常用的铸铁、铸钢和铝、镁、铜、锌等的合金以外,还有以钛、镍、钴等为基的合金。甚至不能接受塑性加工和切削加工的非金属——陶瓷之类的材料——也能用铸造的方法液态成型。其次,铸造可用于制造形状最复杂的整体零件(无论是外形还是内腔,其复杂程度原则上不受限制)。第三,铸件的重量和尺寸可以在很大范围内变化。其可铸的最小壁厚为 0.2 mm,最大壁厚为 1 m;最小长度为数毫米,最大长度为十几米;可铸的铸件重量为数克至数百吨。由此可知,铸造被誉为“没有一种其他的金属加工方法像铸造这样能给设计者们提供如此宽松的自由度”,这是理所当然的。

(2) 由于铸件是在液态下成型的,所以用铸造的方法生产复合铸件是一种最经济的方法,使铸件由不同的材质构成(例如衬套)。此外,通过一次结晶过程的控制,可使铸件的各个部位获得不同的结晶组织及性能。

(3) 成本低廉。在一般机器中,铸件重量为 40~80%,但其成本只占 25~30%。铸件成本低廉的原因,一是铸件的形状及尺寸与零件十分接近,因此材料的消耗和切削加工的费用很小(只有锻件的 1/2~1/3);二是可以大量利用报废的零件和废料进行重新熔铸;三是容易组织机械化的大量生产,从而降低产品的单件成本。

二、铸造技术发展概况

人类文明大致经历石器时代、铜器时代和铁器时代三个历史阶段。石器时代长达约 300 多万年的漫长历史。使用金属的历史才有几千年，但它使人类文明产生了根本性的飞跃（质的变化）。而铸造技术的发明是与金属的使用分不开的。

我国是世界文明古国之一，铸造技术的发展源远流长。据历史考证，我国铸造技术开始于夏朝初期，即偃师二里头文化早期，迄今已有 5 000 多年。到了晚商和西周，青铜的铸造得到蓬勃发展，从而形成了灿烂的青铜文化，出现了以司母戊、四羊尊、大方鼎、莲鹤方壶等为代表的青铜珍品。到了春秋战国时期，音乐界出现了百家争鸣的繁荣局面，编钟成为当时的主要乐器。1978 年湖北随县出土的曾侯乙墓青铜器重达 10 余吨，其中有 64 件编钟和楚惠王赠送曾侯乙的镈钟（图 0-1）。全套编钟每件都铸有错金铭文，分别在正鼓与侧鼓部位标出不同的音名与音律，只要准确敲击标音部位就能发出与铭文相符的两音。钟架上层为音色清脆的钮钟，中层为音色嘹亮的甬钟，下层为音色浑厚的甬钟。每钟均可旋宫转调，全组音域辽阔，可以演奏现代多声部的乐曲，音色十分迷人。



图 0-1 青铜镈钟

春秋战国齐国官书《周礼·考工记》中，有世界上最早的合金配料规律——“六齐”的记载。根据青铜中含锡量的高低而可将“六齐”分为上齐（少锡）和下齐（多锡）两段。当含锡量增高到 15~20% 左右时，抗拉强度可达极大值；而含锡量增高到 30% 左右时，硬度最高。钟鼎类铸件要求有足够强度而又需避免变形和脆硬，因此“六分其金而锡居一”乃为钟鼎之齐（合金）。斧斤、戈戟、刀剑则要求既有一定强度又需一定硬度，故应逐步增高其含锡量。根据近代研究，含锡量约 30%（铜—锡半）为化合物，其硬度很高（400 HB）而强度适当（300 MPa），谓之鉴（青铜镜）燧（利用阳光取火的凹镜）之齐，表面抛光之后十分光亮平整。这种对硬度和强度要求不同的铸件，用含锡量高低分成 6 档，证明我国在 2 000 多年以前对成分与性能之间的关系已经有着深刻的了解。

我国从公元前的 6 世纪开始使用铁器，并完成了由低温固态还原法（块炼法）向高温液态冶铁的过渡。到战国中期，在农具和兵器等方面，铸铁逐渐代替了青铜。为了满足生产力发展而对生铁工具的大量需要，便发明了金属型（古称铁范）铸造法。1953 年在河北省兴隆县出土的铁范共 87 件，就是战国时期用来铸造铁锄、铁镰、铁斧等工具、农具和车具的。兴隆铁范是我国乃至世界最早发明和使用的金属型。金属型与泥型相比，具有快速冷却的特点而容易获得亚稳态白口铸铁的组织，铸件经过石墨化退火或脱碳退火就可以制成黑心可锻铸铁件或白心可锻铸铁件。1957 年和 1975 年分别在长沙出土的战国铁铲和在洛阳出土的空首

铁铸，经金相分析鉴定，其石墨呈团絮状，前者是典型的黑心可锻铸铁，后者是白心可锻铸铁——它们便是利用当时的金属型铸造并经热处理退火后制造出来的。尤其令人惊奇的是在河南巩县发现的西汉铁铤具有球状石墨的组织。现代球墨铸铁是对铁水进行球化处理直接获得铸态球状石墨的。这项技术于1947年由英国莫洛研制成功。它大大提高了铸铁的机械性能和生产成本。但中国的铸造匠师早在公元前1世纪就已经创造了类似现代球铁的铸件。由此可见，中国不仅是最先发明和使用金属型铸造的国家，而且也是最先发明和掌握铸铁强韧化技术的国家。

我国古人有“型范正，工冶巧，然后可铸”的说法。要获得优质铸件，除了有适当的合金成分和精湛的熔炼技术外，还需要有设计合理和良好的铸型，两方面缺一不可。因此，“型范正，工冶巧”这正道破了铸造生产的关键。在悠久的铸造生产历史中，古代的铸冶匠师在铸型工艺方面，有着丰富的经验和独特的创造。

泥型（古称陶范）在古代铸造中占有重要的地位。泥型可分为一次型和半永久型两类。泥型铸造至今仍有强大的生命力，为薄壁铸件（例如铁锅）生产所普遍使用。其中薄壳泥型叠型串铸工艺，系起源于西汉铸钱手工业，这项技术流传下来，可用来铸造缝纫机零件、汽车活塞环、小齿轮等小件。如果我国传统的薄壳泥型结合现代树脂砂壳型进行研究提高，很可能发展成为具有我国特点的先进工艺^[1]。

现代航空和航天发动机重要的涡轮部件——导向叶片，全世界都要用熔模铸造的方法制造。现代熔模铸造（包括各种专利）乃起源于我国古代的失蜡铸造法。举世闻名的晚商四羊铜尊（图0-2），是商代奴隶主用的盛酒器。它造型奇特，花纹十分复杂，尊身四隅有四只羊头，各长一对卷曲的羊角，尊的扇边镂空。这一作品经专家分析鉴定，是采用失蜡法铸造而成的。因此我国失蜡法的发明可推到殷商时期，而文献记载始于唐代（《唐会要》）。公元340年左右（日本仁德天皇时期）失蜡法和铜镜一起传入日本及四邻国家。经过不断完善，最后发展成为现代的熔模铸造工艺。



图0-2 商代四羊铜尊

据英国李约瑟博士在《中国科学技术史》书中所述，中国古代传入欧洲的重大科技成果共22项，其中属于铸造方面的就占有5项。在1974年前后，我国出土文物（其中相当大的部分是青铜器）曾在欧洲一些国家展出，其优美的艺术构思和精湛的铸造技巧使各国铸造专家叹为观止。

我国铸造技术有着悠久的历史，并在人类文明进步的过程中作出了不可磨灭的贡献。发掘、整理、研究和提高我国的传统铸造技术，使其古为今用，无疑具有重要的现实意义。

人类文明和进步是广大劳动人民共同创造的结果。在回顾铸造史时，不能忘记历史代表人物的名字，其中包括春秋战国著名铸剑家莫邪、干将，汉代发明水排鼓风的杜诗，蜀国造刀3000口的蒲元，三年造刀1770口而双目失明的阮师，北朝造宿铁刀斩甲30扎的綦母怀文，南朝刀剑家陶弘景，为武则天铸造高35m“天枢”的唐朝毛婆罗，沧州“天狮子王”的

铸造匠师李云，宋朝去日本修铸奈良大师像的陈和卿兄弟。他们的业迹，代表着中华民族的勤劳和智慧，他们的精神值得后人学习和发扬。

铸造技术经过几千年来的演变和发展才达到现代铸造技术的水平。尤其值得注意的是最近二三十年来，由于一些边缘科学和工业领域中有许多突破性的发展，整个铸造行业发生了许多深刻的变化。其中，以金属凝固理论和凝固技术的发展和计算机的应用尤为突出。

传统的观点认为合金结晶过程中的过冷现象仅与冷却速率有关。1953年，查尔默斯等人提出成分过冷理论，接着杰克逊提出界面结构原理并以 α 因子作为划分结晶界面形态的相似准则。从此使理论研究从宏观转入微观原子尺度的研究，加深了人们对结晶过程的认识，揭示了结晶过冷现象的本质及其对结晶组织与铸件性能之间的关系，丰富了人们控制铸件结晶的手段。这二三十年以来，由于凝固理论向更高层次的发展，而推动了定向结晶和复合材料的生产应用。

计算机在铸造中的应用之一是作为一种有效的信息处理手段用来模拟铸件的凝固过程。所谓计算机数值模拟，是指对表征凝固过程的数学模型用计算机进行解析。它可以形象地显示铸件任一截面在凝固过程中的温度分布（CT技术）。这是计算机辅助设计和优化工艺的前提。目前已经可以用自动设计系统来预测铸件的缩孔、气孔、夹杂物以及应力分布的情况，并将经过优化的工艺方案自动录成工艺卡。

计算机的另一重要应用是作为生产过程的一种控制手段。对于铸造这样工序繁多、劳动条件恶劣、影响因素复杂的行业，一些国家的铸造厂商纷纷认识到在生产中应用计算机控制将会给他们创造利润和保证质量。目前新一代造型生产线基本上已采用微机控制的自动化系统。例如，德国KW公司的真空压实造型线，荷兰Rademker铸造厂和法国Peug Cor汽车厂的燃气冲击造型生产线，丹麦Disa公司垂直分型无箱射压造型线以及我国第二汽车厂的高压造型线都采用微机控制系统。采用微机控制之后，可提高生产率60%，最先进的造型生产率可达550型/h。以微机为基础的微电子技术 in 压铸机上的应用，已实现了压铸过程的自动化。全自动压铸机，在日本已占压铸机总数的80%。以计算机为基础的自动化系统也应用于砂处理和熔化、浇注及质量检测等方面。此外，铸件的清理是工作繁重及环境比较恶劣的工序。因此，在铸件清理工序中采用以计算机为基础的机械手或机器人是十分必要的。目前机械手能够清理的铸件重量已达800 kg，整个清理过程在全封闭的隔音室内完成。此外，在蜡模涂挂涂料的工作中，采用机械手可以做出尺寸为800~1 000 mm的大型熔模精铸件。

最近二三十年来，在铸件的材质性能方面也取得了长足的发展。球墨铸铁作为高强度工程材料已有40多年的使用历史，但它的性能获得大幅度的提高还是近一二十年才实现的。目前采用等温淬火技术而制成的贝氏体或奥贝体球铁，其抗拉强度已达900~1 300 MPa，延伸率已达5~15%。用它代替锻钢制造汽车齿轮，既能降低成本又能提高性能。

铸铁中的蠕虫状石墨曾经长期地被认为是球化处理不良的产物。从60年代开始才发现蠕墨铸铁的应用价值。目前它已作为新型的一种工程铸铁而被广泛使用。其特点是具有与灰铸铁相媲美的铸造性能与切削加工性能，它和灰铸铁一样具有良好的吸震性与抗缺口敏感性，不同之处是其机械性能优于灰铸铁。它与球铁比较，虽然机械性能不如球铁高，但成本低于球铁，而且耐磨性和导热性比球铁好，所以很适用于制造内燃机的缸头和缸套之类的零件。

铝镁锂系合金是目前引人注目的一种轻合金。它的优点是密度特别小（约2.5 g/cm³），因此比强度和比弹性模量特别高，此外还有良好的耐腐蚀性能，很适用于制造海陆空的载运器。

钛合金也是一种发展较快的轻质结构材料,除了比强度和比弹性模量高之外,还有相当高的耐热、耐腐蚀性能。目前在世界钛产量中大约有10~15%用于航天和航空工业,在日本则有80~90%的钛用于化工机械制造业。值得注意的是正在研制中的钛基金属间化合物将有可能成为涡轮元件的优异材料。

在这二三十年中,复合材料作为新型的一种工程材料有了很大进展。自从50年代末和60年代初展现钨纤维强化复合材料以来,至今复合材料的类型已有几十种之多。用铸造方法生产复合材料已经成为铸造技术发展的重要分支。比强度和比弹性模量是衡量结构材料承载能力和机器特性的重要指标之一,尤其是对高速运动的动态结构更是这样。硼纤维铝复合材料的比强度和比模量为钢的3倍。长纤维增强(铝)基复合材料还具有优良的高温强度、吸震能力、抗疲劳能力以及防止零件突然性破坏的能力。但因成本昂贵,故只用于宇航等少数工业领域。目前发展最快的是短纤维型或粒子型铸造复合材料。这些复合材料是汽车、电机等工业中最经济而有效的耐磨和耐腐蚀材料,用来制造轴承、活塞、汽缸、集电器等零件。复合材料具有单一材料所不能及的许多重要的性能,无疑是材料发展的一个重要方向。据日本技术调查株式会社的预测,21世纪将要确立复合材料优先发展和应用的地位。

工艺和设备方面的发展,主要围绕着铸件的优质、精化、高产以及生产过程的无害或少害而进行的。目前,砂型铸造虽然仍以粘土砂型为主,但化学硬化砂的使用范围正在不断扩大。树脂砂造型材料及其工艺方法有了不少的创新,使铸件的质量和尺寸精度有了新的提高,生产环境有了新的改善。此外,50年代使用广泛的震击式或震压式造型机,因其噪声大、生产率低、紧砂质量和尺寸精度差,目前已由气动微震压、高压、射压以及真空造型和气流冲击造型等新一代造型设备逐渐代替。

随着产业结构以及世界经营环境的发展和变化,压力铸造在整个铸造行业中将占有日益重要的位置。目前在发展大型压铸机的同时十分重视发展5~20t的热室小型压铸机,用来生产薄壁、高精度的小型-微型压铸件。例如DM100型压铸机注料重量只有100~200g,生产率为1000型/h,一型多腔。其铸件可直接用来组装灯具、相机、音响设备、计算机和各种仪表。锌压铸合金和镁压铸合金的使用也在不断发展和扩大。

我国已经建立了教学、科研和生产的完整体系,并拥有一支具有相当水平的铸造科技队伍。铸件年产量已居世界第三位(仅次于独联体和美国),每年可以为机床、汽车、农机、动力、冶金、化工、纺织机械、飞机、船舶以及重型机械等工业部门提供数量充足的铸件,而且有不少铸件已进入国际市场,标志着我国悠久的铸造生产在现代工业化进程中已经占有举足轻重的地位。

三、本课程的性质以及内容和要求

本课程是热加工专业的一门主干课。它的教学应安排在物理化学、冶金传输及金属学原理等课程以及经过金工实习之后。

本教材共分两篇。第一篇是铸件形成理论,它包括以下内容:液态金属的结构与性质;液态金属对铸型的充填;铸件凝固;液态金属的结晶原理以及结晶组织的控制;铸件在结晶过程中伴生的缺陷及其预防等。铸件的质量与性能在很大程度上取决于铸件的结晶与凝固过程,因此铸件的凝固与结晶原理是铸件形成理论的基础。一个优秀的铸造工作者应对“凝固与结晶”十分精通,同时又应十分重视生产实际经验,这样才能不断提高分析问题和解决问题的能力。

能力。第二篇是铸造工艺基础,它包括砂型铸造与特种铸造以及铸造合金熔炼等三个部分。砂型铸造不仅应用最广,而且它的工艺方法和工艺设计原理最有代表性,它是掌握特种铸造工艺的基础。随着工业的发展和科技的进步,特种铸造方法和种类日益增多,各种特种铸造有各自的特点和适用范围。但是,只要掌握好砂型铸造的工艺原理,就不难掌握和开拓其他的特种铸造的工艺。本篇对常用的特种铸造方法:熔模铸造,金属型铸造,压力铸造,以及低压铸造和离心铸造都作了深浅不同的叙述。铸造合金的种类繁多,但是它们的熔炼工艺原理是大同小异的,而它们的某些熔炼原则,诸如对炉料的要求、合金的精炼与防氧化夹杂、成分与温度的控制等都应该共同遵循。本篇介绍的铸造合金只包括铝合金、铸铁、铸钢及高温合金等四类。其中的铝合金和高温合金是航空工业中应用最多的合金材料;而铸铁与铸钢则是整个铸造行业中普通应用的合金。只要把这几种合金的熔炼工艺及熔炼原理真正掌握好,就不难解决其他合金的熔炼问题。

学生在学完该课程的各部分内容之后,应对铸造过程有比较全面的了解,并应对其中的原理和工艺基础知识予以深刻掌握,以便为从事铸造工作,具备必要的知识。

参 考 文 献

- [1] 凌业勤等,《中国古代传统铸造技术》,科学技术文献出版社,1987年。
- [2] 曾建民,《特种铸造及有色合金》,No. 2,1987年。
- [3] Die Cast. Eng., Vol. 1, No. 2, 1987.
- [4] 林明清,《铸造及其经济性》,机械工业出版社,1986年。

第一篇 铸件形成理论

本篇内容共分成6章：液态金属的性质，液态金属对铸型的充填，铸件的凝固，铸件的收缩及收缩缺陷，液态金属的结晶原理，铸件结晶组织的形成与控制，以及铸件中的气体与非金属夹杂物。这6章内容突出地反映出铸造这一成型方法的特点——金属在液态条件下成型。它以金属的凝固与结晶为核心，围绕这个核心展开对伴随产生的铸造缺陷的讨论。

本篇内容为下篇铸造工艺基础提供必要的理论准备。

第一章 液态金属对铸型的充填

铸造乃液态金属成型法,是将液态金属直接浇入铸型并在其中凝固和冷却而得到铸件的方法。由于液态金属的形状随容器而定,使这一方法能够成为现实。铸造生产中既然要将液态金属浇入铸型,就需要使其能充满设计的所有空间,这便牵涉到液态金属在铸型中的流动,即充型过程。这一过程对铸件质量的影响很大并影响到以后的凝固过程。

充型过程可能造成各种类型的缺陷,如冷隔、浇不足、夹杂、气孔、金属豆、夹砂、粘砂等缺陷,都是在充填条件不利的情况下产生的。有些缺陷不能修复只有将铸件报废。所以这里需要研究金属液对铸型的充填能力以解决浇不足、冷隔等问题,研究金属液在浇注系统及型腔中的液态以减少夹杂、气孔、夹砂等问题。

浇注系统的引入方式及引入位置对铸件质量的影响也是很大的,如疏松的形成即与其有密切关系。所以铸造工作者十分注意确定合理的浇注过程并提高合金充填铸型的能力。

金属液充填铸型过程中,液态金属的性质对充型能力、流态以及合金液的净化、凝固及其伴生现象均有重要影响,有必要先介绍一下这方面的内容。

第一节 液态金属的性质

这里主要介绍液态金属的粘滞性、表面现象以及基本物理性质。

一、液态金属的粘滞性

液态金属的粘滞性对于液态金属在铸型中的流动特性、充型能力以及金属液中的气体、渣滓、氧化物和其他非金属夹杂物的排除,以至对于铸件凝固的补缩都有明显的影响,亦即粘度的大小是与能否获得健全的铸件有着密切关系的。粘度的大小是由该液态金属的结构状况决定的。而结构状况又因温度、压力、含杂质情况及其他因素的变化而变化,故关于粘度理论的研究是建立在液态金属结构的基础上的,而同时又常把粘度的测定作为分析研究某种液体结构特点的方法之一。

(一) 粘滞性的一般概念

在自然界中,真实流体都具有粘性。粘性是当流体流动时在流体内部显示出的内摩擦力。若有两层液态金属因某种外力而引起了其中一层相对于另一层发生相对平稳运动时,则另一层会有一摩擦阻力作用到引起运动的那一层上。这一阻力的大小与两层间的速度梯度、两层间的接触面积以及该金属的特性和所处条件有关。牛顿提出了关于粘性流体作直线层状运动时,流体层间的切应力的假设。认为切应力 τ 与层间速度梯度 $\frac{d\mu}{dy}$ 成正比,即

$$\tau_{yx} = \mu \frac{d\mu}{dy} \quad (1-1)$$

μ 为动力粘性系数($\text{Pa} \cdot \text{s}$),取决于流体的物理性质,通常称式(1-1)为牛顿内摩擦定律。