

机械工程



国防科工委十五规划
教材

材料成形工艺基础

●主编 任正义



哈尔滨工程大学出版社

北京理工大学出版社

西北工业大学出版社

哈尔滨工业大学出版社

北京航空航天大学出版社



国防科工委“十五”规划教材 机械工程

·制造工程训练系列教材·

材料成形工艺基础

主 编 任正义

副主编 王 冬 常铁军 任文超

主 审 李庆芬

哈尔滨工程大学出版社

北京理工大学出版社 西北工业大学出版社

哈尔滨工业大学出版社 北京航空航天大学出版社

内容简介

本书以材料成形工艺、零件结构设计为主线,大幅度地增加了新材料、新工艺、新技术方面的内容,如粉末冶金、高分子材料、陶瓷、复合材料的成形工艺、金属复合成形技术以及计算机技术在成形工艺中的应用等等,反映了当今该领域的最新科技成果和动态。论述“三新”的篇幅约占本书的 1/3。

本书分为八章,主要内容有:铸造、塑性加工、焊接、粉末冶金、金属复合成形技术、非金属材料成形、复合材料成形、材料成形方法的选择等。各章附有适量的复习思考题。

本书内容丰富、新颖,信息量大,详略适度。可作为高等工科院校机械类及机电类各专业教材;也可供高等工业专科学校、职业大学、电大师生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形工艺基础/任正义主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2004

ISBN 7-81073-475-X

I. 材… II. 任… III. 金属加工-工艺-高等学校-教材 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 047353 号

机械成形工艺基础

任正义 主编

责任编辑 陈晓军

责任校对 陈晓军

哈尔滨工程大学出版社出版发行

哈尔滨市南通大街 145 号 哈工程大学 11 号楼

发行部电话:(0451)82519328 邮编:150001

新华书店经销

肇东粮食印刷厂印刷

开本:787×960 1/16

印张:17.625 字数:371 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—2 000 册

ISBN 7-81073-475-X/TH·20 定价:22.00 元

国防科工委“十五”规划教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主 任:张华祝

副主任:王泽山 陈懋章 屠森林

编 委:王 祁	王文生	王泽山	田 蔚	史仪凯
乔少杰	仲顺安	张华祝	张近乐	张耀春
杨志宏	肖锦清	苏秀华	辛玖林	陈光祜
陈国平	陈懋章	庞思勤	武博祎	金鸿章
贺安之	夏人伟	徐德民	聂 宏	贾宝山
郭黎利	屠森林	崔锐捷	黄文良	葛小春



总 序

国防科技工业是国家战略性新兴产业,是国防现代化的重要工业和技术基础,也是国民经济发展和科学技术现代化的重要推动力量。半个多世纪以来,在党中央、国务院的正确领导和亲切关怀下,国防科技工业广大干部职工在知识的传承、科技的攀登与时代的洗礼中,取得了举世瞩目的辉煌成就。研制、生产了大量武器装备,满足了我军由单一陆军,发展成为包括空军、海军、第二炮兵和其他技术兵种在内的合成军队的需要,特别是在尖端技术方面,成功地掌握了原子弹、氢弹、洲际导弹、人造卫星和核潜艇技术,使我军拥有了一批克敌制胜的高技术武器装备,使我国成为世界上少数几个独立掌握核技术和外层空间技术的国家之一。国防科技工业沿着独立自主、自力更生的发展道路,建立了专业门类基本齐全,科研、试验、生产手段基本配套的国防科技工业体系,奠定了进行国防现代化建设最重要的物质基础;掌握了大量新技术、新工艺,研制了许多新设备、新材料,以“两弹一星”、“神舟”号载人航天器为代表的国防尖端技术,大大提高了国家的科技水平和竞争力,使中国在世界高科技领域占有了一席之地。十一届三中全会以来,伴随着改革开放的伟大实践,国防科技工业适时地实行战略转移,大量军工技术转向民用,为发展国民经济作出了重要贡献。

国防科技工业是知识密集型产业,国防科技工业发展中的一切问题归根到底都是人才问题。50多年来,国防科技工业培养和造就了一支以“两弹一星”元勋为代表的优秀的科技人才队伍,他们具有强烈的爱国主义思想和艰苦奋斗、无私奉献的精神,勇挑重担,敢于攻关,为攀登国防科技高峰进行了创造性劳动,成为推动我国科技进步的重要力量。面向新世纪的机遇与挑战,高等院校在培养国防科技人才,生产和传播国防科技新知识、新思想,攻克国防基础科研和高技术研究难题当中,具有不可替代的作用。国防科工委高度重视,积极探索,锐意改革,大力推进国防科技教育特别是高等教育事业的发展。

高等院校国防特色专业教材及专著是国防科技人才培养当中重要的知识载体和教学工具,但受种种客观因素的影响,现有的教材与专著整体上已落后于当今国防科技的发展水平,不适应国防现代化的形势要求,对国防科



技高层次人才的培养造成了相当不利的影响。为尽快改变这种状况,建立起质量上乘、品种齐全、特点突出、适应当代国防科技发展的国防特色专业教材体系,国防科工委全额资助编写、出版 200 种国防特色专业重点教材和专著。为保证教材及专著的质量,在广泛动员全国相关专业领域的专家学者竞投编著工作的基础上,以陈懋章、王泽山、陈一坚院士为代表的 100 多位专家、学者,对经各单位精选的近 550 种教材和专著进行了严格的评审,评选出近 200 种教材和学术专著,覆盖航空宇航科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与工程、信息与通信技术、电子科学与技术、力学、材料科学与工程、机械工程、电气工程、兵器科学与技术、船舶与海洋工程、动力机械及工程热物理、光学工程、化学工程与技术、核科学与技术等学科领域。一批长期从事国防特色学科教学和科研工作的两院院士、资深专家和一线教师成为编著者,他们分别来自清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、华北工学院、沈阳航空工业学院、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、上海交通大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、华东船舶工业学院、东华理工学院、电子科技大学、西南交通大学、西北工业大学、西安交通大学等,具有较为广泛的代表性。在全面振兴国防科技工业的伟大事业中,国防特色专业重点教材和专著的出版,将为国防科技创新人才的培养起到积极的促进作用。

党的十六大提出,进入二十一世纪,我国进入了全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。全面建设小康社会的宏伟目标,对国防科技工业发展提出了新的更高的要求。推动经济与社会发展,提升国防实力,需要造就宏大的人才队伍,而教育是奠基的柱石。全面振兴国防科技工业必须始终把发展作为第一要务,落实科教兴国和人才强国战略,推动国防科技工业走新型工业化道路,加快国防科技工业科技创新步伐。国防科技工业为有志青年展示才华,实现志向,提供了缤纷的舞台,希望广大青年学子刻苦学习科学文化知识,树立正确的世界观、人生观、价值观,努力担当起振兴国防科技工业、振兴中华的历史重任,创造出无愧于祖国和人民的业绩。祖国的未来无限美好,国防科技工业的明天将再创辉煌。

张华祝



前 言

本书是教育部世行贷款 21 世纪初高等教育与教学改革项目“制造工程训练中心的建设与实践”课题组(哈尔滨工程大学)编写的“制造工程训练系列教材”之一,是本课题组研究成果的体现,已列入国防科工委 2002 年重点教材建设计划。它是根据教育部本学科教学指导委员会 1995 年制定的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》以及 1997 年制定的《重点高等工科院校金工系列课程改革指南》,结合工程训练中心运行模式及其发展趋势而编写的。它是一本以研究机器零件或毛坯的成形工艺为主的综合性技术基础学科的教材,是在原《机械制造基础》(《金属工艺学》)教材的基础上,通过去粗取精、拓宽并加深后编写而成的。它几乎涉及机器制造过程中除切削加工工艺以外的所有工程材料的成形工艺,包括金属的铸造、塑性成形、焊接与胶接、粉末冶金,还有塑料、橡胶、陶瓷等非金属材料及复合材料成形等各个方面。

为了达到教育要面向 21 世纪,迎接知识经济时代的到来以及经济全球一体化的挑战的目的,强化对学生的素质教育和创新意识的培养势在必行。为此,本书的内容取材范围广,用较大篇幅论述了工程材料成形方面的新工艺、新技术,尤其是金属复合成形技术和计算机技术在材料成形中的应用等。反映这个领域里当今最新科技成果及发展动态的内容,力图让学生在学习本课程基本内容的同时大大开阔视野,体会到材料成形工艺发展历史中突破、创新、超前意识的重要及其美妙之所在,激发学生勇于探索、乐于创新的欲望,打破发明的神秘感。另外,本书精选传统工艺的基本内容,以材料成形工艺方法的过程、特点、适用范围为主线,力图使学生养成分析零件结构工艺性和选择成形工艺方法以及从成形工艺角度正确进行零件结构设计的基本工程素质。在各章附有的复习思考题中,均有综合性工艺设计题目,以期给学生一个进行工程实践模拟训练的空间。

本书主编任正义;副主编王冬,常铁军,任文超;李庆芬任主审。参加编写的人员有:王冬(绪论,第 1,5 章),常铁军(第 2,6,7,8 章),任文超(第 3,4



章)。全书由王冬统稿。

本课题组的其他成员为本书的编写做了大量工作,在此深表谢意。同时,对本书所有参考文献的原作者对本书的支持,表示由衷的感谢。

限于编者的水平,本书在内容的取舍和学术观点方面难免有不妥及疏漏之处,敬请读者不吝赐教。

编 者

2004年7月

目 录

0 绪 论	1
1 铸造——液态成形技术	4
1.1 铸件成形理论基础	5
1.2 铸造方法	22
1.3 铸造工艺设计	39
1.4 铸件结构工艺性	58
1.5 不断发展的铸造技术	69
复习思考题	78
2 金属塑性加工——固态成形技术	85
2.1 金属塑性加工理论基础	85
2.2 金属塑性加工方法	91
2.3 塑性加工工艺设计	108
2.4 锻件结构工艺性	120
2.5 冲压件结构工艺性	124
2.6 塑性加工技术的新进展	127
复习思考题	137
3 焊接——固 - 液、固 - 固态连接成形技术	140
3.1 焊接理论基础	140
3.2 焊接方法	148
3.3 常用金属材料的焊接	163
3.4 焊接工艺设计	174
3.5 发展中的焊接技术	192
复习思考题	194
4 粉末冶金——粉态成形技术	196
4.1 粉末冶金工艺理论基础	196
4.2 粉末冶金的工艺流程	197
4.3 粉末冶金制品的结构工艺性	206
4.4 粉末冶金技术的新进展	208
复习思考题	210
5 金属复合成形技术	212
5.1 液态成形技术与固态成形技术的复合	212



5.2 金属半凝固、半熔融成形技术	216
5.3 其他金属成形新技术	220
复习思考题	224
6 非金属材料成形技术	225
6.1 高分子材料成形技术	225
6.2 工业陶瓷制品的成形技术	241
6.3 非金属材料成形技术的新进展	245
复习思考题	247
7 复合材料的成形技术	248
7.1 金属基复合材料成形技术	248
7.2 聚合物基复合材料成形技术	253
7.3 陶瓷基复合材料成形技术	256
复习思考题	260
8 材料成形方法的选择	261
8.1 零件毛坯类型及其成形方法比较	261
8.2 毛坯类型及其成形方法选择的原则和依据	263
8.3 常用零件毛坯的成形方法	265
8.4 机械零件毛坯选择示例	267
复习思考题	269
参考文献	270
后记	271

0 绪 论

人类与其他动物的根本区别之一就是会使用并制造工具。人类要扩大自身的生存空间、提高生活质量,就必须不断增强征服和协调自然的能力。这个目的是通过生产工具的更新换代和不断升级来实现的。如从原始的木棒、石块,到简单机械(如杠杆、轮轴等),直到现代具有各种功能的复杂机械与装置。为了制造性能要求越来越高的工具,人们就必须不断地发现和开发性能更加优良的材料。

材料是人类从事生产和生活的物质基础,它直接用于制造人类所需要的各种生产工具和生活用具。每一次人类使用的主流材料的重大变化都会引起人类社会文明飞跃性的进步。从石器时代到青铜器时代、铁器时代,直至今天人类开始进入的人工合成材料时代,可以说材料是人类社会文明程度的重要标志之一。

迄今为止,人类发现和制造的材料种类繁多。目前,人类所使用的机械工程材料,按化学成分可分为以下四大类:金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料。

金属材料在 20 世纪是应用最广泛的工程材料,如机床、工程机械、汽车等行业,其质量比例的 85% 以上是金属材料。非金属材料由于资源丰富、能耗低,具有优良的电气、化学、力学等综合性能,所以在近几十年中,其发展速度和势头已超过金属材料。20 世纪 90 年代末世界有机合成高分子材料的产量已达钢铁产量(体积)的 4 倍;新近研制的高性能陶瓷,可以制作切削工具、航天飞机外壁瓦片、热交换器等,从而使陶瓷的应用领域大大拓宽。复合材料由于在强度、韧性和耐蚀性能等方面比单一的金属、陶瓷或高分子材料都优越,因此,材料的复合化已成为当今材料发展的趋势。可以预见,今后在工程材料领域里将打破金属材料一统天下的格局,金属材料、陶瓷、有机高分子材料和复合材料将成为工程材料中的四大支柱(参见图 0-1)。

在对材料本身不断提高需求的同时,材料成形技术也不断地得到发展。它经历了从简单的手工操作到如今的复杂化、大型化和智能化生产的发展过程。

所谓材料成形工艺是指直接改变材料的形状、尺寸及性能,使之成为具有使用价值的成品(或半成品)的加工过程。

在现代机械产品的制造过程中,往往是用成形方法先将工程材料制成零件的毛坯(或半成品,甚至是可供直接装配的零件),再经机械加工制成所需的零件。因此,材料成形是各类机械制造工厂中重要的生产环节。

在世界科学技术发展史上,我国人民在材料开发及其成形工艺方面的成就是举世瞩目的。

我们祖先是开始使用陶器和瓷器的,五代时期我国的陶瓷技术已经达到了极高的水平。从 15 世纪开始,陶瓷技术才传入欧洲。

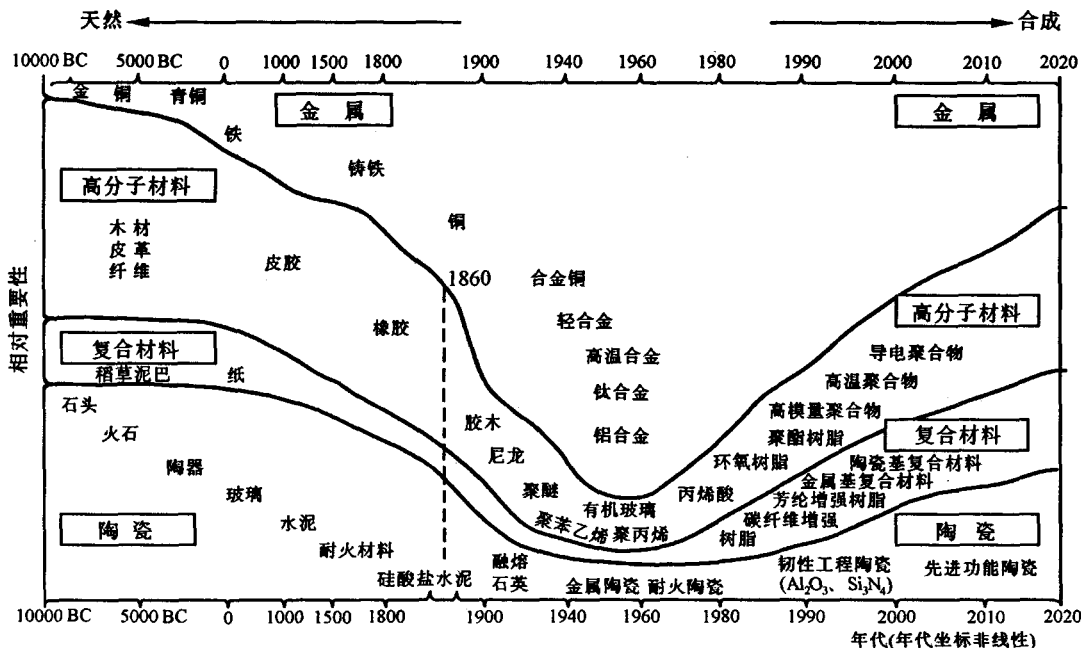


图 0-1 不同年代,四种材料(金属、陶瓷、聚合物和复合材料)
在机械和市政工程中的相对重要性(注意年代坐标是非线性的)

我国的冶铸技术至少有 4 000 年以上的悠久历史,前 2 000 年是青铜的天下。到商周时代,冶铸技术已达到很高水平,形成了灿烂的青铜文化。其中具有代表性的有司母戊大方鼎(商代晚期,青铜铸造,重 875 kg,高 1.37 m;造型厚重而雄伟,是中国青铜时代最重的艺术铸件。工艺方法:陶范,鼎耳分铸),曾侯乙尊、盘(战国早期,青铜制造;造型玲珑剔透,繁缛精致;工艺方法:失蜡法 + 陶范。尊体浑铸,失蜡法预铸 34 个部件,通过 56 处铸焊与尊体连接成一体),四羊方尊(商代,青铜铸造;造型雄伟,花纹绮丽而光洁)等等。

我国的锻造技术在二三千多年前已被成熟地应用于生产工具和各类兵器的制造上。秦始皇陵兵马俑坑出土的三把合金钢锻制的宝剑就足以证。其中一把至今光艳夺目、锋利如昔,令目睹者叹为观止。据分析,宝剑锻制后,剑身进行了表面渗铬处理。由此可见,当时对热处理技术的掌握已达到了很高的水平。

我国也是世界上应用焊接技术最早的国家之一。河南辉县战国墓中的殉葬铜器的耳和足就是用铸焊方法与本体连接的,比欧洲早了 2 000 多年。

从秦始皇陵陪葬坑出土的两乘大型彩绘铜车马更是突出的例子。每乘有一车四马,由一名御官驾驭,其材料以青铜为主,并配以金、银饰品,由 3 000 多个零部件组成,结构精巧,栩栩



如生。成形工艺:主要零部件均先分别铸造,局部又经加热锻打减薄,如马饰、缨络等就是经锻打成薄片再切成杆或细丝的;个别铸件再辅以冲凿、篆刻、研磨、抛光;然后用铸接、铆接、焊接、销钉连接等方法将零件组合成铜车马。

此外,诸如越王勾践青铜宝剑“千年不锈”的防腐技术;吴王夫差矛表面“镂纹”工艺的不解之谜;永乐大钟精湛绝伦的制造工艺及其卓越的声学特性等等,都淋漓尽致地表现了我们祖先在材料成形方面的精湛技艺。

我国明朝宋应星所著的《天工开物》是世界上关于材料及其成形工艺方面最早的科学著作之一。书中记载了冶铁、铸钟、锻造、淬火等多种金属材料及其成形方法。

但是,由于封建制度的束缚,我国的科学技术没有保持在早期辉煌的基础上持续发展的势头,加之百多年来外国列强的侵略和掠夺,直至近代已经处于大大落后于欧美的状态。

新中国成立以后,我国机械制造业得到了飞速发展,经历了由仿制到自行设计、制造,从生产普通机械到制造精密和大型机械,从生产单机到制造成套设备的发展过程。例如,20世纪50年代,自行制造汽车、拖拉机及飞机;60年代,制造万吨水压机,和齿轮磨床、坐标镗床等精密机床;70年代,制造大型成套设备和万吨级远洋巨轮;直至90年代,为我国航天、原子能等工业领域提供先进的技术装备等等。至今已经形成了包括汽车、拖拉机、造船、航空航天、重型机械、精密机床和精密仪表等产品门类基本齐全,分布比较合理的机械工业体系。机械产品装备了工业、农业、国防等各个部门,支持着各部门的发展。与此同时,材料及其成形技术也得到了长足的进步。例如,我国成功地进行耗用钢水达490 t的轧钢机机架巨型铸件的铸造,生产出了用于锻造大型锻件的 12×10^4 t水压机,解决了5万吨级远洋油轮船体的焊接技术,CAD/CAE/CAM等计算机技术及机器人技术在材料成形技术中得到越来越广泛的应用,粉末冶金、高分子、陶瓷、复合材料制品的应用也日益扩大等等。

“材料成形工艺基础”是高等工科院校机械类、近机械类专业必修的一门综合性技术基础课,主要涉及工程材料成形技术(包括:金属材料的铸造成形、塑性加工成形、焊接成形、粉末冶金成形、高分子材料成形、陶瓷材料成形、复合材料成形等)的工艺过程、原理等多方面内容。学生通过本课程的学习,能够掌握毛坯或制品成形方法的基本原理、工艺过程及其特点,具有正确选择毛坯或制品的成形方法、进行工艺分析和制定工艺方案的初步能力;具有运用工艺知识分析零件结构工艺性的初步能力,以及从成形工艺角度出发对零件结构进行并行设计的思维方式;了解有关的新材料、新工艺、新技术及其发展趋势。为学习其他相关课程及今后从事工程材料与成形、机械设计与制造方面的工作奠定初步的基础。

“材料成形工艺基础”是一门内容广泛,技术性和实践性很强的课程,应在“工程材料”、“制造工程训练”、“机械制图”课程之后讲授。并尽量利用现代化教学手段(CAI、多媒体教学等)丰富学生的感性知识;应采用多样化的教学形式,如课堂讨论、实验、工艺设计等,加深学生对课程内容的理解,把对学生工程素质、综合能力和创造性思维的培养贯穿于教学全过程。

1 铸造——液态成形技术

铸造是一种将金属熔化后浇注到铸型中,待其冷却凝固后,获得具有一定形状的毛坯或零件的方法。它是制造机器零件毛坯的主要成形方法之一。

与其他工艺方法(锻造、机械加工等)相比较,其实质性区别在于铸造是一种充分利用流体性质使金属成形的过程。因此,它具有下列优点。

①能够制造形状复杂的铸件,尤其是能制造具有复杂内腔的毛坯,如机床床身、箱体、船用螺旋桨等。

②工艺适应性强,铸件质量、大小、形状及所用合金种类几乎不受限制。如:铸件质量可小至几克,大至数百吨;壁厚可从 0.5 mm 至 1 m 左右;长度可由几毫米至十几米;所用材料可以是铸铁、铸钢(碳钢、合金钢)及有色金属(铝、铜、镁、锌、钛及其合金等)。

③所用原材料来源广、价格低,而且铸件的形状和尺寸与零件非常接近,因而节约金属,减少了后续加工费用。

当然,铸造方法也存在一些不足,如用同样金属材料制造的铸件,其力学性能不如锻件;铸造工序繁多,且难以精确控制,故铸件质量有时会不够稳定;劳动条件较差等。随着相关科学技术的发展,这些问题正在逐步得到解决。

因为铸造方法具有独特优点,所以从古至今应用十分广泛。在现代工业生产中,铸造方法占有极其重要的地位。各类机械行业中铸件所占的质量比可以说明铸造方法的重要性(见表 1-1)。

表 1-1 各类机械行业中铸件的质量比

机械类别	质量比
机床、内燃机、重型机器	70% ~ 90%
风机、压缩机	60% ~ 80%
拖拉机	50% ~ 70%
农业机械	40% ~ 70%
汽车	20% ~ 30%

铸造方法种类繁多,通常分为两大类。

①砂型铸造 此法的铸型是以型砂(或芯砂)作为造型材料制造而成的。由于生产成本低、适应性强,因此是最基本、应用最广的铸造方法。此法生产的铸件占铸件总产量的 80% 以上。



②特种铸造 它是指除砂型铸造以外的所有其他铸造方法。这些方法都分别在某些方面(例如:模样材料、造型材料,以及造型方法、浇注方法等)与砂型铸造有较大区别,因而具有许多特殊的长处,例如:可使铸件表面更光洁,尺寸更精确,组织更致密,力学性能更高;可提高生产率;可简化工艺过程;可减少公害等。

近年来,随着现代科学技术和生产的发展,铸造技术(铸造合金、铸造工艺和检测手段等)也有了极大的进步。新材料、新工艺、新技术、新设备的采用,尤其是计算机技术的应用,正迅速地改变着铸造生产的面貌,铸件的质量和性能有了显著的提高,铸造这种液态成形技术的应用范围也日益扩大。

1.1 铸件成形理论基础

1.1.1 合金的铸造性能

合金的铸造性能,是指在一定的铸造工艺条件下某种合金获得优质铸件的能力,即在铸造生产中表现出来的工艺性能,如充型能力、收缩性、偏析倾向性、氧化性和吸气性等等。合金铸造性能的好坏,对铸造工艺过程、铸件质量以及铸件结构设计都有显著的影响。因此,在选择铸造零件的材料时,应在保证使用性能的前提下,尽可能选用铸造性能良好的材料。但是,实际生产中为了保证使用性能,常常要使用一些铸造性能差的合金。此时,则应更加注意铸件结构的设计,并提供适当的铸造工艺条件,以获得质量良好的铸件。因此,充分认识合金的铸造性能是十分必要的。

1. 合金的充型能力

1) 合金充型能力的概念及其对铸件质量的影响

液态合金充满铸型,获得尺寸正确、轮廓清晰的铸件的能力,称为液态合金的充型能力。

液态合金充型过程是铸件形成的第一个阶段。其间存在着液态合金的流动及其与铸型之间的热交换等一系列物理、化学变化,并伴随着合金的结晶现象。因此,充型能力不仅取决于合金本身的流动能力,而且受外界条件,如铸型性质、浇注条件、铸件结构等因素的影响。

液态合金的充型能力强,则容易获得薄壁而复杂的铸件,不易出现轮廓不清、浇不足、冷隔等缺陷;有利于金属液中气体和非金属夹杂物的上浮、排出,减小气孔、夹渣等缺陷;能够提高补缩能力,减小产生缩孔、缩松的倾向性。

2) 影响充型能力的因素及工艺对策

(1) 合金的流动性

流动性是指液态合金的流动能力。它属于合金的固有性质,取决于合金的种类、结晶特点和其他物理性质(如粘度越小,热容量越大;导热率越小,结晶潜热越大;表面张力越小,则流动性越好)。



为了比较不同合金的流动性,常用浇注标准螺旋线试样的方法进行测定(见图 1-1)。在相同的铸型(一般采用砂型)和浇注条件(如相同的浇注温度或相同的过热温度)下获得的流动性试样长度,即可代表被测合金的流动性。常用铸造合金的流动性数据如表 1-2 所示,其中灰铸铁、硅黄铜最好,铸钢最差。

对于同一种合金,也可以用流动性试样来考察各种铸造工艺因素的变动对其充型能力的影响。

所得的流动性试样长度是液态金属从浇注开始至停止流动时的时间与流动速度的乘积。所以凡是对以上两个因子有影响的因素都将对流动性(或充型能力)产生影响。

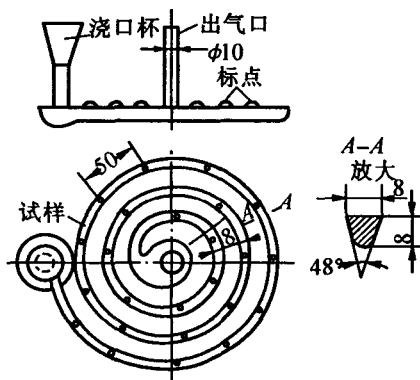


图 1-1 螺旋线试样

表 1-2 常用合金流动性

合金种类	铸型	浇注温度/℃	螺旋线试样长度/mm
铸 钢 $w(\text{C})$ 0.4%	砂型	1 600	100
		1 640	200
		1 300	1 800
灰铸铁 $w(\text{C} + \text{Si})$ 6.2%	砂型	1 300	1 000
$w(\text{C} + \text{Si})$ 5.2%		1 300	600
$w(\text{C} + \text{Si})$ 4.2%		1 300	420
锡青铜 $w(\text{Sn})$ 9% ~ 10%	砂型	1 040	420
$w(\text{Zn})$ 2% ~ 4%		1 040	420
硅黄铜 $w(\text{Si})$ 1.5% ~ 4.5%		1 100	1 100

合金的化学成分决定了它的结晶特点,而结晶特点对流动性的影响处于支配地位。具有共晶成分的合金(如碳的质量分数为 4.3% 的铁碳合金等)是在恒温下凝固的,凝固层的内表面比较光滑,对后续金属液的流动阻力较小,加之共晶成分合金的凝固温度较低,容易获得较大的过热度,故流动性好(见图 1-2(a));除共晶合金和纯金属以外,其他成分合金的凝固是在一定温度范围内进行的,铸件截面中存在液、固并存的两相区,先产生的树枝状晶体对后续金属液的流动阻力较大,故流动性有所下降(见图 1-2(b))。合金成分越偏离共晶成分,其凝固温度范围越大,则流动性也越差。因此,多用接近共晶成分的合金作为铸造材料,其原因就在于此。

(2) 铸型性质



①铸型的蓄热系数 它表示铸型从其中的金属液吸取并存储热量的能力。铸型材料的导热率、比热容和密度越大,其蓄热能力越强,对金属液的激冷能力就越强,金属液保持流动的时间就越短,充型能力就越差。例如,金属型铸造比砂型铸造更容易产生浇不足、冷隔等缺陷。

②铸型温度 预热铸型能减小它与金属液之间的温差,降低换热强度,从而提高金属液的充型能力。例如,在金属型铸造铝合金铸件时,将铸型温度由 340 °C 提高到 520 °C,在相同的浇注温度(760 °C)下,螺旋线试样长度由 525 mm 增至 950 mm。因此,预热铸型是金属型铸造中必须采取的工艺措施之一。

③铸型中的气体 铸型具有一定的发气能力,能在金属液与铸型之间形成气膜,可减小流动阻力,有利于充型。但若发气量过大,铸型排气不畅,在型腔内产生气体的反压力,则会阻碍金属液的流动。因此,为提高型(芯)砂的透气性,在铸型上开设通气孔是十分必要且经常应用的工艺措施。

(3)浇注条件

①浇注温度 浇注温度对金属液的充型能力有决定性的影响。浇注温度提高,使合金粘度下降,且保持流动的时间增长,故充型能力增强;反之,充型能力就会下降。对于薄壁铸件或流动性差的合金,利用提高浇注温度以改善充型能力的措施,在生产中经常采用也比较方便。但是,随着浇注温度的提高,合金的吸气、氧化现象严重,总收缩量增加,反而易产生气孔、缩孔、粘砂等缺陷,铸件结晶组织也变得粗大。因此,原则上说,在保证足够流动性的前提下,应尽可能降低浇注温度。

②充型压力 金属液在流动方向上所受的壓力越大,则流速越大,充型能力就越好。因此,常采用增加直浇道的高度或人工加压的方法(如:压力铸造、低压铸造等)来提高液态合金的充型能力。

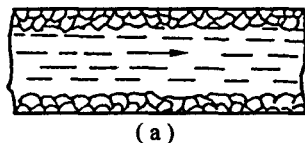
(4)铸件结构

当铸件的壁厚过小、壁厚急剧变化或有较大的水平面等结构时,会使合金液充型困难。因此,设计铸件结构时,铸件的壁厚必须大于最小允许值;有的铸件则需要设计流动通道;在大平面上设置筋条。这不仅有利于合金液的顺利充型,亦可防止夹砂缺陷的产生。

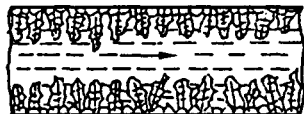
2. 合金的凝固与收缩

浇入铸型的液态金属在冷凝过程中,如果液态收缩和凝固收缩得不到补充,铸件内部就会出现缩孔或缩松缺陷。为防止这些缺陷,必须合理地控制铸件的凝固过程。

1)铸件的凝固方式及其影响因素



(a)



(b)

图 1-2 结晶特点对流动性的影响示意图

(a)共晶成分合金;

(b)非共晶成分合金