



教育部高职高专规划教材
Jiaoyubu Gaozhi Gaozhuan Guihua Jiaocai

热加工工艺基础

机械类专业适用

第二版

司乃钧 许德珠 主编
罗云霞 副主编

高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



教育部高职高专规划教材

热加工工艺基础

(第二版)

司乃钧 许德珠 主 编
罗云霞 副主编

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

热加工工艺基础/司乃钧,许德珠主编.—2版.—北京:高等教育出版社,2001(2002重印)
教育部高职高专规划教材
ISBN 7-04-009825-3

I.热… II.司… III.热加工—高等学校:技术学校—教材 IV.TG306

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第07882号

责任编辑 赵亮 封面设计 杨立新 责任绘图 朱静
版式设计 周顺银 责任校对 马桂兰 美国萍 责任印制 张小强

热加工工艺基础 第二版
司乃钧 许德珠 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街55号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 北京市鑫鑫印刷厂

版 次 1992年1月第1版

2001年12月第2版

开 本 787×1092 1/16

印 次 2002年4月第2次印刷

印 张 13

定 价 14.00元

字 数 320 000

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究



内 容 提 要

本书是教育部高职高专规划教材、普通高等教育“九五”国家教委重点教材,是在第一版基础上,根据高职高专发展的新形势以及教育部制定的《高等学校工程专科热加工工艺基础教学基本要求(机械类专业适用)》修订而成的。

本书包括:铸造生产、锻压生产、焊接生产、胶接技术与塑料制品生产和机械零件毛坯的选择,共五章。各章后面附有思考题与练习题。

本书修订时侧重于应用技术,强调对学生进行实践训练;贯彻以应用为目的,以掌握概念、强化应用、扩大知识面为教学重点,力求做到重点突出,少而精,易于自学。全书采用了最新国家标准和法定计量单位。与本书配套使用的有许德珠主编《机械工程材料》、司乃钧主编《机械加工工艺基础》、金禧德主编《金工实习》、田柏龄主编《金工实验》等教材。

本书经国家教委“全国高等学校工程专科机械基础课程教学指导委员会金工课程组”组织专家审稿通过,可作为高等职业学校、高等专科学校,成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校机类、近机类专业的教材,也可供有关的工程技术人员和技术工人参考。

本书第一版曾获国家教委第三届高等学校优秀教材一等奖(1995年)和普通高等学校国家级教学成果二等奖(1997年)。

出版说明

教材建设工作是整个高职高专教育教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、学校和有关出版社的共同努力下,各地已出版了一批高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设仍落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育基础课程教学基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。出版后的教材将覆盖高职高专教育的基础课程和主干专业课程。计划先用2~3年的时间,在继承原有高职、高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决好新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专教育教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

“教育部高职高专规划教材”是按照《基本要求》和《培养规格》的要求,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的,适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2000年4月3日

第二版序

本书是在第一版基础上,根据教育部制定的《高等学校工程专科热加工工艺基础教学基本要求(机械类专业适用)》修订而成的。

与第一版比较,本次修订主要体现了以下特点:

1. 根据高职高专的培养目标,教材内容侧重于应用理论、应用技术和加工工艺;强调理论联系实际,强调对学生的实践训练;贯彻以应用为目的,以掌握概念、强化应用、扩大知识面为教学重点,以必需、够用为度的原则。

2. 力求做到重点突出、少而精、深入浅出、通俗易懂,使教材清晰、形象,易于自学。

3. 对部分内容、插图进行了调整,增加了胶接与塑料制品生产,删去了实验内容。

4. 为帮助学生思考、复习和巩固所学知识,培养分析和解决问题的能力,每章后面附有思考题与练习题。这些题目可供课堂讨论或布置课后作业时选用。

5. 考虑了与《金工实习》的分工和衔接,在内容上既要避免脱节,又要防止不必要的重复,力求在金工实习的基础上进行总结、归纳、加深、拓宽和提高。

6. 全书的名词术语、牌号、型号及物理量的单位等均采用了最新国家标准和法定计量单位。

使用本书时,各校可根据专业特点、教学时数等具体情况,对其内容进行调整和增删。书中带“*”号的内容属于自学或选学或在金工实习中已讲授过的部分。

本课程实践性很强,学习本课程前应具有一定感性知识。因此,本课程应在金工实习后进行讲授。学生通过金工实习,熟悉了各种主要热加工方法的操作过程、所用设备和工具的基本原理和大致结构,并对毛坯或零件加工工艺过程有了一定的了解。在此基础上学习本教材,才能达到本课程教学的预期目的和要求。

本书由哈尔滨理工大学工业技术学院司乃钧教授和许德珠教授主编,罗云霞副教授任副主编,洛阳工业高等专科学校周大恂教授担任主审。参加编写的有司乃钧(绪论、第一章)、许德珠(第三章、附录)、罗云霞(第二章)、吕焯(第四章)、屈丽(第五章)等老师。

本书由国家教委“全国高工专机械基础课程教学指导委员会金工课程组”组织审稿通过,可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校机类或近机类专业的教材。参加审稿会的有周大恂教授、张继世教授、朱起凡教授、李凤云教授、王季琨教授、金禧德副教授、田柏龄副教授、曹学民副教授、李平副教授、王明旭副教授、龚庆寿副教授、张亮丰副教授、黄育才副教授和符志刚副教授等。

本书在编写过程中,得到了有关学校、科研单位,工厂的帮助与指导,并为本书编写提供了有关资料,编者谨在此表示衷心感谢!

由于编者水平有限,编写时间短,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

1999年12月

目 录

绪论	1	§ 3-1 焊条电弧焊	130
第1章 铸造生产	3	§ 3-2 其他熔焊方法	144
§ 1-1 金属的铸造性能	3	§ 3-3 压焊与钎焊	151
§ 1-2 砂型铸造	12	§ 3-4 堆焊与热喷涂	156
§ 1-3 常用合金铸件生产	27	§ 3-5 热切割	156
§ 1-4 铸件质量与技术检验	33	§ 3-6 常用金属材料的焊接	159
§ 1-5 铸件结构设计	38	§ 3-7 焊接方法的选择	162
§ 1-6 特种铸造	46	§ 3-8 焊接结构设计	163
§ 1-7 铸造方法的选择	55	思考题与练习题	173
思考题与练习题	57	第4章 胶接技术与塑料制品生产	181
第2章 锻压生产	65	§ 4-1 胶接技术	181
§ 2-1 金属的塑性变形	66	§ 4-2 塑料制品生产	188
§ 2-2 金属的锻压性能	72	思考题与练习题	190
§ 2-3 自由锻	73	第5章 机械零件毛坯的选择	192
§ 2-4 模锻	85	§ 5-1 毛坯选择的原则和依据	192
§ 2-5 特种模锻简介	99	§ 5-2 常用机械零件毛坯的种类和选择	193
§ 2-6 锻件质量与技术检验	100	193
§ 2-7 板料冲压	103	§ 5-3 机械零件毛坯选择示例	195
§ 2-8 轧制、挤压与拉拔	115	思考题与练习题	197
§ 2-9 锻压方法的选择	121	附录	198
思考题与练习题	123	主要参考文献	199
第3章 焊接生产	130		

绪 论

机械产品的制造过程,一般是先将工程材料制成零件的毛坯或半成品,再经切削加工制成所需的零件,最后将零件装配成机械。在制造过程中,为改善毛坯或半成品或工件的性能,常要对其进行热处理。

在上述过程中,合理选择毛坯种类和制造方法具有重大技术和经济意义。因为,零件切削加工的工序数量、材料消耗、加工工时,所用设备和工具、夹具、量具,零件的质量,生产率和生产成本等在很大程度上都取决于毛坯种类、结构及其成形方法。例如,某曲轴净重量^①为17 kg,采用圆钢作毛坯经机械切削加工制成,切屑为曲轴零件重量的189%;若采用锻件作毛坯经机械切削加工制成,切屑仅为曲轴零件重量的30%,并可减少1/6的切削加工工时。若采用高质量的毛坯,有些工件不经车削、铣削就可直接经磨削加工制成零件。现代精密铸造和精密锻造技术,已能够使一些制件在热成形后不再进行切削加工就可直接达到使用要求。

为提高毛坯生产率、质量,降低成本,改善劳动条件,毛坯生产应广泛采用机械化、自动化的生产方式和先进工艺,使毛坯在形状、尺寸和表面质量上尽量与零件要求相接近,以达到少、无切削加工。为此,我们必须掌握各种制造毛坯方法的工艺实质、成形特点、毛坯性能,以及选用毛坯的原则和方法,即掌握铸造、锻压、焊接、胶接和塑料制品生产等加工方法的基础知识、工艺特点,以及在机械制造业中的应用。

金属热成形工艺是在生产实践中发展起来的一门学科。我国的金属热成形工艺发展史,可远溯至史前。

我国是世界上应用铜、铁最早的国家,远在4000年前就已经开始使用铜合金。1939年在河南安阳武官村出土的商殷祭器司母戊大方鼎,其体积庞大,鼎重875 kg,鼎身花纹精巧,造型精美。这说明,远在商代(公元前1562年至公元前1066年)我国就有了相当发达的冶铸青铜技术。

公元前6世纪至公元前7世纪的春秋时期,我国已发明了冶铁技术,开始用铸铁作农具,这比欧洲国家早1800多年。

在北京大钟寺内保存的高6.75 m、直径3.3 m、重46.5 t的铜钟,是明朝永乐年间(约1420年)铸造的,在世界大钟之林中其铸造年代最久远。钟身内外铸满了佛经,经文清晰,排列巧妙,总字数达230184个,是世界上铸字最多的大钟,撞击一下,钟声悠扬悦耳,最远可传40~50 km。永乐大钟铸造工艺先进,合金配比恰当,它显示了我国古代铸造技术的卓越成就,是世界铸造史上的奇迹。

在3300多年前的殷墟文化早期,锻造已用于兵器生产。1972年在河北藁城出土的商代铁

^① 根据GB 3102.3—93《力学的量和单位》,“重量”一词按照习惯仍可用于表示质量。但是,不赞成这种习惯。本书为避免与表达物品品质优劣程度的“质量”混淆,在定量计算中用“质量”(单位为kg),在定性说明中仍用“重量”一词。

刃铜钺,是目前发现的我国最早的锻件。到了战国时代,已经有了比较高明的制剑技术,锻制出许多宝刀名剑及日常用具,说明当时我国已掌握了炼钢、锻造、热处理等技术。

在河南辉县发掘出的玻璃阁战国墓中,殉葬铜器的耳和足是用钎焊方法与本体连接的。这说明战国时期我国已采用了焊接技术。

明朝宋应星所著《天工开物》一书内有冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等各种金属的加工方法,它是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一,这充分反映了我国人民在金属加工工艺方面的卓越成就。

以上事实说明,我国古代在金属材料及其加工工艺方面的科学技术远远超过同时代的欧洲,在当时的世界上占有遥遥领先的地位,为世界文明和人类进步作出了巨大的贡献。但是,由于封建制度的长期统治和闭关自守,严重地阻碍了我国生产力的发展,特别是鸦片战争以后几十年间外国的侵略和剥削,使我国工业和科学技术在 20 世纪 50 年代以前处于落后状态。

新中国成立后,我国工农业生产和金属热加工技术才得到迅速发展,建立了机械制造、矿山冶金、交通运输、石油化工、电子仪表、航空航天等现代化工业,为国民经济进一步高速发展奠定了牢固基础。

我国已进行了耗钢水达 490 t 的轧钢机机架和 500 t 大钢锭的铸造;完成了 12 kt 水压机的生产和 196 t 汽轮机转子体的锻造,以及 15 MPa(约 150 at)氢反应器和 50 kt 远洋油轮的焊接等。此外,胶接技术和塑料制品生产也得到了很大发展。

1989 年我国在香港建成的天坛大佛,佛像包括莲花瓣在内总高 26.4 m,总重量约 250 t;能承受海洋性气候的盐雾腐蚀和百年不遇的特大台风袭击。大佛脸部用锡青铜整块铸成,其展开面积为 42 m²;佛体由 202 块铸造锡青铜壁板拼焊而成。大佛工程是融艺术与铸造、焊接等现代科学技术于一体的、复杂而特殊的系统工程。天坛大佛雄健、庄重,是艺术上的瑰宝,得到了国内外的高度赞赏。

但也应当指出:与工业化国家相比,我国机械工业在产品质量、生产能力、技术水平、经济效益和管理水平等方面,还存在一定差距,不能适应国民经济发展的需要。因此,我们必须加倍努力学习,积极工作,要重视制造工艺技术的研究和加快发展科学技术。

“热加工工艺基础”是高职高专机械类专业学生必修的一门以工艺为主的综合性的技术基础课。通过本课程学习,学生应达到下列基本要求:

- (1) 掌握主要热成形方法和板料冲压的基本原理、特点和应用,熟悉影响产品质量的因素;
- (2) 熟悉毛坯或零件的结构工艺性,并具有设计毛坯或零件结构的初步能力;
- (3) 具有选择简单毛坯或零件成形方法和制订其工艺规程的能力;
- (4) 了解常用成形方法所用主要设备、工具的基本工作原理,熟悉其使用范围。

学习时,根据教学内容学生要完成老师布置的课堂练习题、课堂讨论题和课外作业题与思考题,以巩固所学知识,以及培养独立分析问题和解决问题的能力。

热成形实验是本课程的重要组成部分,根据实验指导书学生要自己动手做好实验,写出实验报告,以获得一定的实验技能。

本课程实践性很强,学习本书时学生要以热成形实习中获得的基本操作技能和基本知识为基础,注意理论与实践相结合,这样才可达到本课程学习的预期目的和要求。本课程以课堂教学为主,配以必要的电化教学和现场教学等教学方法。

第1章

铸造生产

铸造生产是指熔炼金属,制造铸型,并将熔融金属浇入铸型,凝固后获得一定形状、尺寸和性能的金属零件毛坯的成形方法。铸件是指用铸造方法生产的金属零件或零件毛坯。

铸造生产方法分为砂型铸造和特种铸造两大类。

铸造是制造机械零件毛坯或零件成品的一种重要工艺方法。在一般机械中,铸件约占整个机械重量的40%~90%,在农业机械中为40%~70%;在金属切削机床中为70%~80%;重型机械、矿山机械、水力发电设备中为85%以上。在国民经济的其他部门中,也广泛采用各种铸件。铸件之所以被广泛采用,是因为铸造是液态成形,它具有下列主要优点:

(1) 能制造各种尺寸和形状复杂的铸件,尤其是内腔复杂的铸件。铸件的轮廓尺寸可小至几毫米,大至几十米;重量可从几克至数百吨。如各种箱体、机床床身、机架、水压机横梁等的毛坯均为铸件。

(2) 绝大多数金属均能用铸造方法制成铸件。对于一些不宜锻压或不宜焊接的合金件(如铸铁件、青铜件),铸造是一种较好的成形方法。此外,铸造生产适用于各种生产类型。

(3) 铸造所用的原材料来源广泛,价格低廉,并可回收使用,还可利用金属废料和废机件。一般情况下,铸造生产不需要大型、精密的设备,生产周期较短。因此,铸件成本低。

铸造生产的主要缺点是:砂型铸造生产工序较多,有些工艺过程难以控制,铸件质量不够稳定,废品率较高;铸件组织粗大,内部常出现缩孔、缩松、气孔、砂眼等缺陷,其力学性能不如同类材料的锻件高;铸件表面较粗糙,尺寸精度不高;工人劳动强度大,劳动条件较差。

近年来,由于现代科学技术和精密铸造的发展,铸件表面质量有了很大提高,尺寸精度最高可达CT5~CT4(相当于IT12~IT11),表面粗糙度值 R_a 可达 $0.8\mu\text{m}$,已成为少、无切削加工的重要方法之一。此外,由于球墨铸铁等高强度铸造合金的普遍采用,显著提高了铸件的力学性能,可用球墨铸铁件来替代原先用钢材锻造的某些零件,例如用珠光体球墨铸铁制造曲轴,用贝氏体球墨铸铁制造齿轮等,使铸造的应用日趋广泛。目前,我国已建立起相当数量的现代化铸造工厂或车间,采用了很多新工艺、新设备和电子计算机,实现了生产机械化、自动化,使铸件质量和生产率得到了很大提高,劳动条件得到显著改善。

§ 1-1 金属的铸造性能

金属(纯金属和合金)在铸造成形过程中获得形状准确、内部健全铸件的能力,称为金属的铸

造性能,它表示了金属铸造成形时的难易程度。铸件质量与金属的铸造性能密切相关,金属的铸造性能主要用流动性、收缩性、吸气性、氧化性、凝固温度范围、热裂倾向性等来衡量。

一、合金的流动性

1. 流动性的概念

金属液本身的流动能力,称为流动性。流动性是金属在铸造过程中的一种综合性能,它对铸件质量有很大影响,它是影响金属液充型能力的主要因素之一。(充型能力是指金属液充满铸型型腔,获得轮廓清晰、形状准确铸件的能力。)

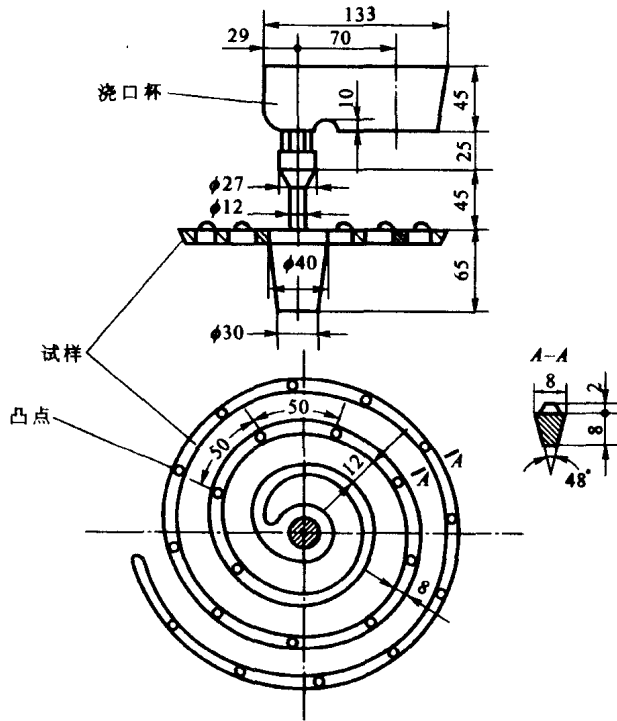


图 1-1 螺旋试样

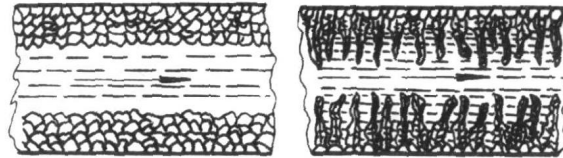
流动性好的合金,充型能力强,易获得形状完整、尺寸准确、轮廓清晰、壁薄和形状复杂的铸件;有利于液态合金中非金属夹杂物和气体的上浮与排除;有利于合金凝固收缩时的补缩作用。若流动性不好,铸件就容易产生浇不到、冷隔、夹渣、气孔和缩孔等缺陷。在铸件设计和制定铸造工艺时,都必须考虑合金的流动性。

图 1-1 为测定合金流动性的螺旋试样,螺旋截面为等截面的梯形或半圆形,总长度为 1.5 m,螺旋上每隔 50 mm 有一个凸点,用于计量长度。将合金液浇注到试样铸型中(一般用砂型铸造),冷凝后测出充满型腔的试样长度。浇出的试样越长,说明合金的流动性越好。常用合金的流动性见表 1-1。

2. 影响流动性的因素

(1) 合金的种类和化学成分 不同种类的合金具有不同的流动性。由表 1-1 可知,灰铸铁流动性最好,而铸钢的流动性最差。

同种金属中,成分不同的合金具有不同的结晶特点,流动性也不同。例如,纯金属和共晶成分合金的结晶是在恒温下进行,结晶过程从表面开始向中心逐层推进。由于凝固层的内表面比较平滑,对尚未凝固的液态合金流动的阻力小(图 1-2a),有利于合金充填型腔。此外,在相同浇注温度下,共晶成分合金凝固温度最低,相对来说,液态合金的过热度(即浇注温度与合金熔点温度差)大,推迟了液态合金开始凝固的时间,因此共晶成分合金的流动性最好。其他成分合金的结晶是在一定温度范围内进行,即结晶区域为一个液相和固相并存的两相区。在此区域初生的树枝状枝晶使凝固层内表面参差不齐,阻碍液态合金的流动。而且因固态晶体的导热系数大,使液体冷却速度加快,故流动性差(图 1-2b)。合金结晶温度范围越宽,液相线和固相线距离越大,凝固层内表面越参差不齐,这样流动阻力就越大,流动性也越差。因此,选择铸造合金时,在满足使用要求的前提下,应尽量选择靠近共晶成分的合金。



a) 在恒温下凝固 b) 在一定温度范围内凝固

图 1-2 结晶特性对流动性的影响

表 1-1 常用合金的流动性

合 金		铸型种类	浇注温度 $t/^\circ\text{C}$	螺旋线长度 l/mm
灰 铸 铁	$w_{\text{C}+\text{Si}} = 6.2\%$	砂 型	1 300	1 500
	$w_{\text{C}+\text{Si}} = 5.9\%$	砂 型	1 300	1 300
	$w_{\text{C}+\text{Si}} = 5.2\%$	砂 型	1 300	1 000
	$w_{\text{C}+\text{Si}} = 4.2\%$	砂 型	1 300	600
铸钢 ($w_{\text{C}} = 0.4\%$)		砂 型	1 600	100
			1 640	200
镁合金 (Mg - Al - Zn)		砂 型	700	400 ~ 600
铝硅合金 (硅铝明)		金属型 (300 $^\circ\text{C}$)	680 ~ 720	700 ~ 800
锡青铜 ($w_{\text{Sn}} = 9\% \sim 11\%$ 、 $w_{\text{Zn}} = 2\% \sim 4\%$)		砂 型	1 040	420
硅黄铜 ($w_{\text{Si}} = 1.5\% \sim 4.5\%$)		砂 型	1 100	1 000

合金成分中凡能形成低熔点化合物、降低合金液粘度和表面张力的元素,均能提高合金的流动性,如铸铁中的磷。凡能形成高熔点夹杂物的元素,都会降低合金的流动性,例如铸铁中硫和

锰化合生成的 MnS , 熔点为 $1620\text{ }^{\circ}\text{C}$, 成为固态夹杂物悬浮在铁液中, 阻碍了铁液流动, 使其流动性降低。

(2) 浇注温度 浇注温度高可降低合金液的粘度, 增加过热度, 保持液态的时间长, 传给铸型的热量增多, 使合金的冷却速度变慢, 因而提高了合金的流动性。所以, 提高浇注温度是防止铸件产生浇不到、冷隔和夹渣等缺陷的重要工艺措施。但浇注温度过高, 会增加合金的总收缩量, 吸气增多, 铸件易产生缩孔、缩松、粘砂和气孔等缺陷。因此, 在保证流动性的条件下, 浇注温度应尽量低些, 力争做到“高温出炉, 低温浇注”。例如, 灰铸铁件的浇注温度一般为 $1200 \sim 1380\text{ }^{\circ}\text{C}$, 对于壁厚小于 10 mm 的复杂薄壁铸件, 其浇注温度为 $1340 \sim 1430\text{ }^{\circ}\text{C}$; 铸钢为 $1520 \sim 1620\text{ }^{\circ}\text{C}$; 铝合金为 $680 \sim 780\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 铸型特点 铸型中凡能增加合金流动阻力和冷却速度, 降低流速的因素, 均能降低合金的流动性。例如, 型腔过窄, 浇注系统结构复杂, 直浇道过低, 内浇道截面太小或布置不合理, 型砂水分过多或透气性不好, 铸型材料热导性过大等, 都会降低合金的流动性。为改善铸型的充型条件, 铸件的壁厚应大于规定的“最小壁厚”, 铸件形状应力求简单, 并在铸型工艺上针对需要采取相应措施, 例如加高直浇道(可增加合金液充型压力), 增加内浇道截面, 增设出气口或冒口, 对铸型烘干等均可提高合金液流动性。

二、合金的收缩

1. 收缩

铸造合金从液态凝固和冷却至室温的整个过程中, 产生的体积和尺寸缩减的现象, 称为收缩。整个收缩过程, 可划分为三个互相联系的阶段, 如图 1-3 所示。

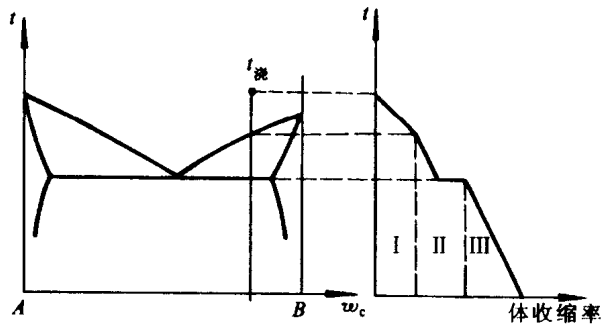


图 1-3 铸造合金的收缩阶段

I—液态收缩; II—凝固收缩; III—固态收缩

(1) 液态收缩 是指合金液从浇注温度冷却到凝固开始温度(液相线温度)之间的体积收缩。这个阶段合金处于液态下收缩, 它使型腔内液面降低。

(2) 凝固收缩 是指熔融合金从凝固开始温度冷却到凝固终止温度(固相线温度)之间的体积收缩, 即合金在结晶温度范围内的收缩。在一般情况下, 这个阶段仍表现为型腔内液面降低。

(3) 固态收缩 是指合金在固态下从凝固终止温度冷却到室温之间的体积收缩。这个阶段合金处于固态下的收缩。

合金的液态收缩和凝固收缩表现为合金的体积缩小, 通常用体收缩率表示。合金的固态收

缩也是体积变化,表现为三个方向线尺寸的缩小,直接影响铸件尺寸变化,因此常用线收缩率表示。

2. 影响收缩的因素

(1) 化学成分 不同种类的合金,其收缩率不同。同类合金中,化学成分不同,其收缩率也不同。例如,碳素钢的体收缩率为 10% ~ 14.5%,线收缩率为 1.6% ~ 2.0%;灰铸铁的体收缩率为 5% ~ 8%,线收缩率为 0.7% ~ 1.0%。灰铸铁的收缩率小,这是因为铸铁中的碳大部分以石墨形式存在,而石墨的比体积(单位重量的体积,俗称比容)大,在结晶时每析出 1% 石墨,铸铁体积膨胀 2%,体积膨胀抵消了部分凝固收缩。灰铸铁中提高碳、硅的含量(含量是指质量分数^①,以下类同)和减少硫的含量,均可使其收缩减小。

(2) 浇注温度 浇注温度主要影响液态收缩。浇注温度越高,液态收缩越大。一般浇注温度每提高 100 ℃,体积收缩增加 1.6% 左右。

(3) 铸件结构与铸型条件 由于铸件在铸型中各部分冷却速度不同,彼此相互制约,对其收缩产生阻力。又因铸型和型芯对铸件收缩产生机械阻力,因而其实际线收缩率比自由线收缩率小。所以在设计模样时,必须根据合金的品种,铸件的形状、尺寸等因素,选取适宜的收缩率。

3. 缩孔与缩松的形成及防止

合金液在铸型内冷凝过程中,若其体积收缩得不到补充时,将在铸件最后凝固的部位形成孔洞,这种孔洞称为缩孔。缩孔分为集中缩孔和分散缩孔两类。通常所说的缩孔,主要是指集中缩孔,分散缩孔一般称为缩松。

(1) 缩孔的形成 为便于分析缩孔的形成,假设铸件呈逐层凝固,其形成过程如图 1-4。合

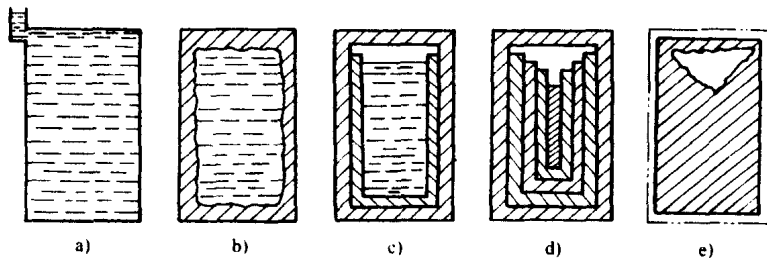


图 1-4 铸件缩孔形成过程

金液充满铸型后,由于散热开始冷却,并产生液态收缩。在浇注系统尚未凝固期间,所减少的合金液可从浇注系统得到补充,液面不下降仍保持充满状态(图 1-4a);随着热量不断散失,合金液温度不断降低,靠近型腔表面的合金液很快就降低到凝固温度,凝固成一层硬壳。如内浇道已凝固,则形成的硬壳就像一个密封容器,内部包住了合金液(图 1-4b);温度继续下降,铸件除产生液态收缩和凝固收缩外,还有先凝固的外壳产生的固态收缩。由于硬壳内合金液的液态收缩和凝固收缩远远大于硬壳的固态收缩,故液面下降并与硬壳顶面脱离,产生了间隙(图 1-4c);温度继续下降,外壳继续加厚,液面不断下降,待内部完全凝固,则在铸件上部形成了缩孔

^① GB 3102.8—93《物理化学和分子物理学的量和单位》规定:物质 B 的质量与混合物的质量比,称为物质 B 的质量分数,以符号 w_B 表示。

(图 1-4d);已经形成缩孔的铸件自凝固终止温度冷却到室温,因固态收缩使其外廓尺寸略有减小(图 1-4e)。

缩孔是容积较大的孔洞,一般隐藏在铸件上部或最后凝固部位,有时经切削加工可暴露出来。缩孔有时也产生在铸件的上表面,呈明显凹坑,这种缩孔也称“明缩孔”。缩孔形状不规则,多呈倒锥形,其内表面较粗糙。

合金的液态收缩和凝固收缩越大,浇注温度越高、铸件越厚,缩孔的容积越大。

纯金属或靠近共晶成分的合金,因其在恒温或很窄的温度范围内结晶,流动性好,若铸件壁呈逐层凝固方式,则易于形成集中缩孔。

(2) 缩松的形成 圆柱形铸件形成缩松过程如图 1-5。

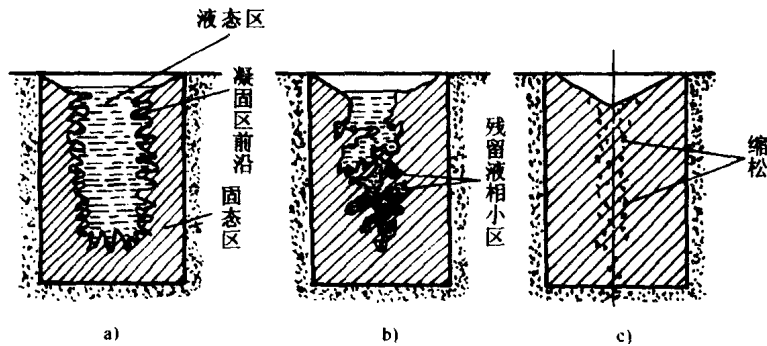


图 1-5 铸件缩松形成过程

图 1-5a 为合金液浇注后的某一时刻,因合金的结晶温度范围较宽,铸件截面上有三个区域。图 1-5b 表示铸件中心部分液态区已不存在,而成为液态和固态共存的凝固区,其凝固层内表面参差不齐,呈锯齿状,剩余的液体被凹凸不平的凝固层内表面分隔成许多有残留液相的小区。这些小液态区彼此间的通道变窄,增大了合金液的流动阻力,加之铸型的冷却作用变弱,促使剩余合金液温度趋于一致而同时凝固。凝固中合金体积减小又得不到液态合金的补充时,就形成了分散而细小的缩孔,称为缩松(图 1-5c)。这种缩松常出现在缩孔的下方或铸件的轴线附近。一般用肉眼能观察出来,所以称为宏观缩松。

当合金液在很宽的结晶温度范围内结晶时,初生的树枝状枝晶很发达,以致将液体分隔成许多孤立的微小区域,若补缩不良,则在枝晶间或枝晶内会形成缩松,这种缩松更为细小,要用显微镜才能看到(图 1-6),故称显微缩松,也称疏松。显微缩松在铸件中难以完全避免,它对一般铸件危害性较小,故不将其作为缺陷看待。但是,如铸件为防止在压力下发生渗漏要求有较高的气密性,或考虑物理、化学性能时,则应设法防止或减少显微缩松。

缩松可以看成是将集中缩孔分散成为数量极多的小缩孔,似海绵状。对于相同的收缩容积,缩松的分布面积要比缩孔大得多。形成缩松的基本原因与缩孔相同。合金的结晶温度范围越宽,越易形成缩松。

(3) 缩孔与缩松的防止 任何形态的缩孔都会使铸件力学性能显著下降,缩松还能影响铸件的致密性和物理、化学性能。因此,缩孔和缩松是铸件的重大缺陷,必须根据铸件技术要求,采取适当工艺措施,予以防止。

缩松分布面广,难以发现,难以消除;集中缩孔易于检查与修补,并可采取工艺措施加以防止。因此,生产中应尽量避免产生缩松。防止缩孔与缩松的主要措施是:

① 合理选择铸造合金 从缩孔和缩松的形成过程可知,结晶温度范围宽的合金,易形成缩松,铸件的致密性差。因此,生产中应尽量采用接近共晶成分的或结晶温度范围窄的合金。

② 合理选用凝固原则 铸件的凝固原则分为“顺序凝固”和“同时凝固”两种。“顺序凝固”就是在铸件可能出现缩孔的热节处(即内接圆直径最大的部位),通过增设冒口或冷铁等一些工艺措施,使铸件按规定方向从一部分到另一部分依次凝固的原则。经常是向着冒口或内浇道的方向进行,即离冒口最远的部位先凝固,冒口本身最后凝固,如图 1-7。按此原则进行凝固,就可保证铸件各个部位的凝固收缩都能得到合金液的补缩,从而将缩孔转移到冒口中,获得完整、致密的铸件。在铸件清理时将冒口切除。



图 1-6 显微缩松(放大后)

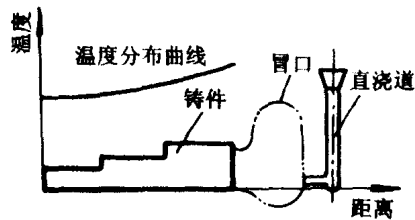


图 1-7 顺序凝固原则的运用

图 1-8 为阀体铸件的两种铸造方案。左半图没有设置冒口,热节处可能产生缩孔。右半图增设了冒口和冷铁后,铸件实现了顺序凝固,防止了缩孔的产生。冒口分为明冒口和暗冒口两种,主要起补缩作用。

冷铁一般用铸铁或钢制成,其作用是增大铸件厚大部位的冷却速度,防止产生缩孔。

顺序凝固的缺点是铸件各部分温差大,应力大,容易产生变形和裂纹。此外,由于设置冒口,增加了金属的消耗,耗费了工时。顺序凝固主要用于凝固收缩大、结晶温度范围窄的合金,以及壁厚差别较大的铸件,例如铸钢、高强度灰铸铁、可锻铸铁和黄铜等。

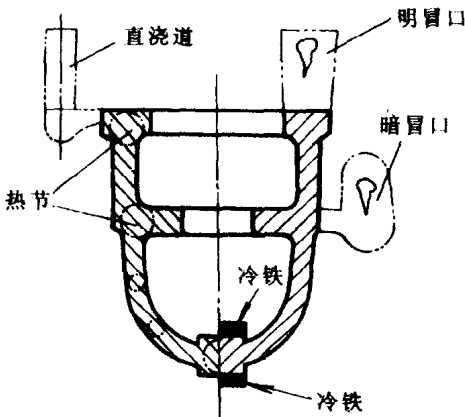


图 1-8 阀体铸件的两种铸造方案

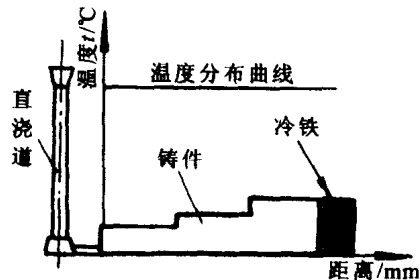


图 1-9 同时凝固原则的运用

“同时凝固”是采用工艺措施使型腔内各部分金属液没有温差或温差很小,同时进行凝固,如

图 1-9。采用同时凝固,可使铸件应力较小,不易产生变形和裂纹。但在铸件中心区域往往有缩松,组织不够致密。此原则主要用于凝固收缩小的合金(如灰铸铁和球墨铸铁)、壁厚均匀的薄壁铸件以及结晶温度范围宽而对铸件的致密性要求不高的铸件(例如锡青铜铸件)等。

4. 铸造应力、变形和裂纹

铸件在凝固和冷却过程中由受阻收缩、热作用和相变等因素引起的应力,称为铸造应力。它是铸件产生变形、裂纹等缺陷的主要原因。

(1) 铸造应力 铸造应力是热应力、收缩应力和相变应力的矢量和。

① 热应力 铸件在凝固和冷却过程中,不同部位由于温差造成不均衡收缩而引起的应力,称为热应力。热应力是一种铸造残留应力,落砂后热应力仍存在于铸件内。

合金在冷却过程中,从凝固终止温度到再结晶温度阶段,处于塑性状态。此时,伸长率高、塑性好,在较小的外力下,就会产生塑性变形,但不会产生应力;低于再结晶温度的合金处于弹性状态,受力时不仅产生弹性变形,而且还产生应力。

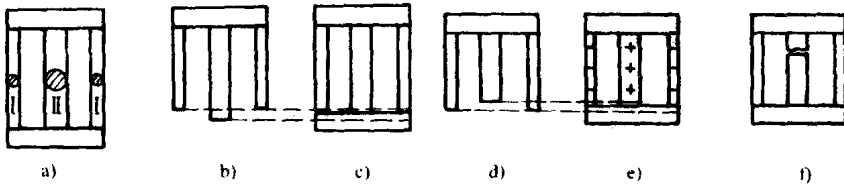


图 1-10 热应力的形成过程
“+”表示拉应力;“-”表示压应力

铸件热应力的形成如图 1-10,图中三根长度相等的竖杆,由上下两根横杆连为一个整体。I 杆比 II 杆的直径小。假定在固态收缩开始时,I、II 杆温度相同,且铸件下面无横杆连接,三竖杆均能自由收缩,冷却时因细杆比粗杆冷得快,其收缩量比粗杆大,收缩后如图 1-10b。但实际情况是铸件下面有横杆连接,收缩后造成细杆比自由收缩的长度长些(被拉伸),粗杆比自由收缩的长度短些(被压缩),如图 1-10c。此时,粗杆、细杆均处于高温塑性状态,故只产生塑性变形,不产生应力;继续冷却收缩,当细杆已进入弹性状态,粗杆仍处于塑性状态时,则粗杆随细杆的收缩而产生塑性变形,在铸件内仍不产生应力;再继续冷却收缩,当细杆已冷至接近室温时,其长度基本不变,此时,粗杆也进入弹性状态,但因温度高仍在继续收缩。若下面无横杆相连,使粗杆能自由收缩,则粗杆会比细杆短,如图 1-10d。但实际上下面有横杆固连,三竖杆只能保持同一长度,结果造成粗杆被细杆弹性地拉长一些,细杆被粗杆弹性地压缩一些。最终在粗杆中形成了拉应力,细杆中产生了压应力,如图 1-10e。若拉应力超过合金的强度极限时,粗杆将断裂,如图 1-10f。

综上所述,固态收缩使铸件厚壁或心部受拉伸,薄壁或表层受压缩。合金固态收缩率越大,铸件壁厚差别越大,形状越复杂,所产生的热应力越大。

② 收缩应力 铸件在固态收缩时,因受到铸型、型芯、浇冒口、箱挡及铸件本身结构阻碍收缩而引起的应力,称为收缩应力,也称机械应力。

收缩应力一般使铸件产生拉伸或剪切应力,这种应力是暂时的,铸件经落砂、清理后,应力便可消失。但是,收缩应力在铸型中能与热应力共同起作用,增加了铸件产生裂纹的可能性。