

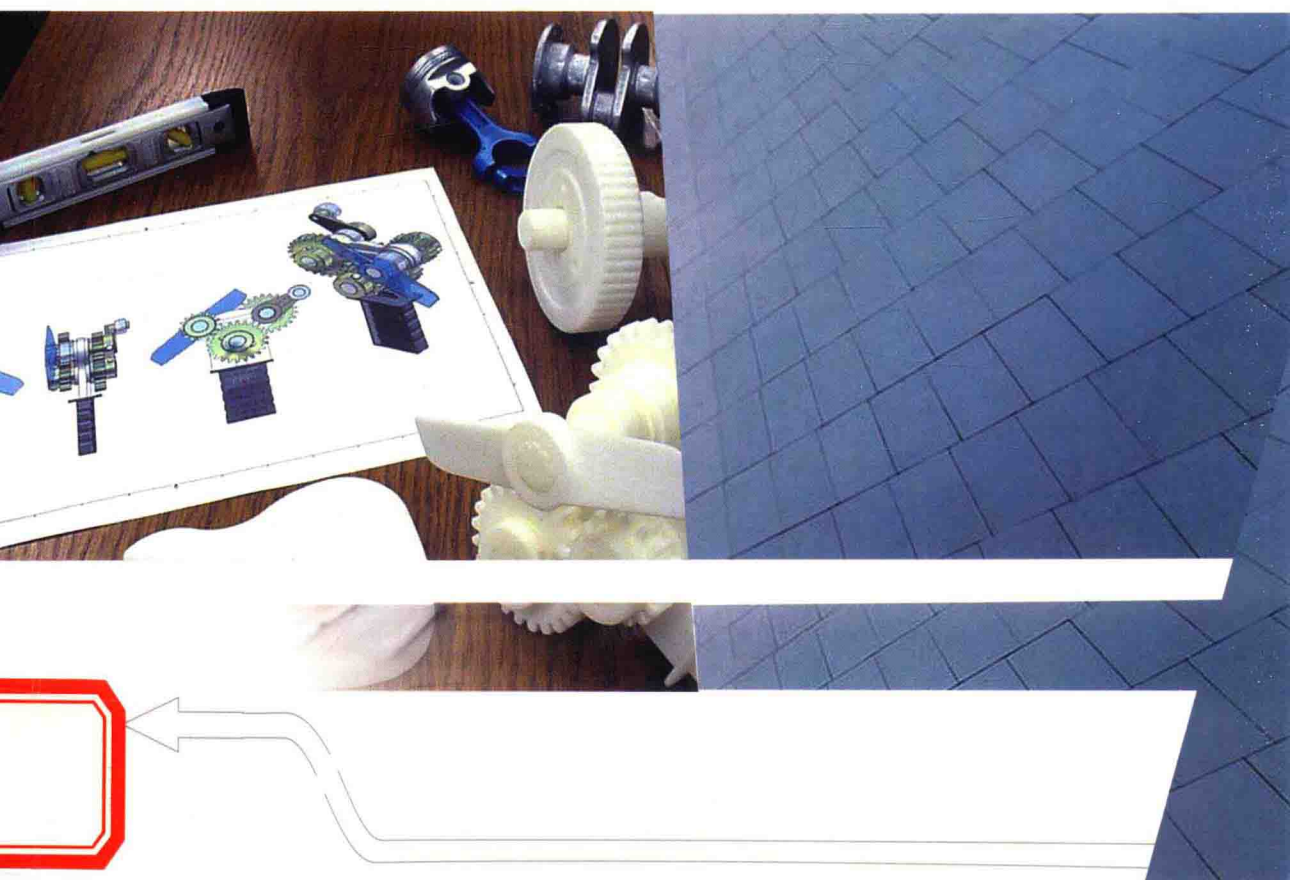
高等学校机械工程类专业系列规划教材

CAILIAO CHENGXING JISHU JICHU

材料成形技术基础

(机械类各专业使用)

郑红梅 杨 沁 主编



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

高等学校机械类专业系列规划教材

材料成形技术基础

• 机械类各专业使用 •

主 编	郑红梅	杨 沁
副主编	陈 刚	张祖芳
参 编	潘昌实	胡立明
	王 涛	谢 峰

合肥工业大学出版社

内 容 提 要

本书根据教育部最新颁布的“工程材料及机械制造基础课程教学基本要求”和“工程材料及机械制造基础系列课程改革”的精神编写,以材料的工艺性能、成形工艺和零件结构的工艺性为主线,介绍了各类工程材料的成形技术及其发展趋势。

全书共分八章,包括铸造、金属塑性成形、焊接、粉末冶金成形、非金属材料成形、复合材料成形、快速原型成形、机械零件毛坯的选择等。

本书恰当论述基础理论知识,精心取舍传统工艺内容,注意反映新材料、新技术和新工艺。各专业名词术语、单位和材料牌号均采用最新国家标准。每章末还附有适量的思考题与习题。

本书为高等工科院校机械类专业“材料成形技术基础”课程的教材,也可供有关教学人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形技术基础/郑红梅,杨沁主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2016. 5

ISBN 978-7-5650-2757-4

I. ①材… II. ①郑…②杨… III. ①工程材料—成型—高等学校—教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 113292 号

材料成形技术基础

郑红梅 杨 沁 主编

责任编辑 汤礼广

出 版 合肥工业大学出版社
地 址 合肥市屯溪路 193 号
邮 编 230009
电 话 理工编辑部:0551—62903087
市场营销部:0551—62903198
网 址 www.hfutpress.com.cn
E-mail hfutpress@163.com

版 次 2016 年 5 月第 1 版
印 次 2016 年 5 月第 1 次印刷
开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张 13.25
字 数 310 千字
印 刷 合肥创新印务有限公司
发 行 全国新华书店

ISBN 978-7-5650-2757-4

定价:32.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场营销部联系调换。



前 言

本教材是根据教育部机械工程及自动化专业教学指导委员会颁布的“工程材料及机械制造基础课程教学基本要求”的精神,并结合近年来机械制造基础课程教学改革的经验编写而成。

本教材以材料的工艺性、成形工艺和零件结构的工艺性为主线,从成形基础、成形方法、成形工艺和成形技术发展趋势等四个方面介绍了各类工程材料成形技术。本教材具有以下主要特色:

(1) 合理安排各部分内容。本书恰当论述基础理论知识,精心取舍传统工艺内容,注意反映新材料、新技术、新工艺。

(2) 注重学生素质培养。本书在阐述问题时注意运用大量示例进行比较,以培养学生选材、选零件结构和选工艺方法的能力,所附思考题与习题也力求做到利于启发学生思考和激发学生思维创新。

(3) 注意与相关课程的配合。本书对先行课,如“工程训练”、“工程材料和热处理”等课程中已有的内容,不再重复或仅做综合论述。

(4) 全面采用国家标准。对于各专业名词术语、单位和材料牌号等,本书均依据最新国家标准编写,以确保其正确和规范。

本书由合肥工业大学郑红梅、杨沁担任主编,解放军炮兵学院陈刚、合肥工业大学张祖芳担任副主编。参加编写的还有潘昌实、胡立明、王涛、谢峰等老师。全书由郑红梅和杨沁统稿。

在此,还向为本书的编写和出版付出心血及提供支持的陶冶、高正一、张光胜、柴阜桐、张令伟、杨明璟、谢惠生、徐社连、梁平等老师表示诚挚谢意。

由于编者水平有限,教材中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2016年5月



目 录

绪 论	(1)
第 1 章 铸造	(4)
1.1 铸造基础	(4)
1.2 铸造方法	(16)
1.3 铸造工艺设计	(28)
1.4 零件结构的铸造工艺性	(37)
1.5 铸造技术的发展趋势	(43)
思考题与习题	(45)
第 2 章 金属的塑性成形	(49)
2.1 金属塑性成形基础	(49)
2.2 锻造	(57)
2.3 板料冲压	(75)
2.4 轧制	(92)
2.5 挤压	(95)
2.6 其他塑性成形方法	(96)
2.7 金属塑性成形技术的发展趋势	(101)
思考题与习题	(103)
第 3 章 焊接	(107)
3.1 焊接基础	(107)
3.2 焊接方法	(116)
3.3 常用金属材料的焊接	(125)
3.4 焊接结构设计 with 工艺设计	(129)
3.5 焊接技术的发展趋势	(136)
思考题与习题	(137)
第 4 章 粉末冶金成形	(139)
4.1 粉末冶金材料基础知识	(139)



4.2 粉末冶金工艺	(140)
4.3 粉末冶金零件结构的工艺性	(146)
4.4 粉末冶金技术的发展趋势	(147)
思考题与习题	(149)
第5章 非金属材料成形	(150)
5.1 非金属材料基础知识	(150)
5.2 塑料成形	(155)
5.3 橡胶成形	(162)
5.4 陶瓷成形	(167)
5.5 非金属材料成形技术的发展趋势	(175)
思考题与习题	(178)
第6章 复合材料成形	(179)
6.1 复合材料基础知识	(179)
6.2 复合材料成形方法	(180)
6.3 复合材料制品的结构工艺性	(184)
6.4 复合材料制备与成形技术的发展趋势	(185)
思考题与习题	(186)
第7章 快速原型成形	(187)
7.1 快速原型成形基础	(187)
7.2 快速原型成形方法	(189)
思考题与习题	(192)
第8章 机械零件毛坯的选择	(193)
8.1 机械零件毛坯选择的原则	(193)
8.2 常用毛坯的选择	(195)
8.3 常用零件的材料和成形方法	(198)
思考题与习题	(204)
参考文献	(205)



绪 论

“材料成形技术基础”是机械类专业的主干课程之一，是一门论述材料成形方法的技术基础课。对于奠定专业基础和拓宽知识面，本课程有着其他课程无法替代的重要作用。

1. 本课程的基本内容和学习要求

本课程主要研究常用的工程材料的成形方法和加工工艺，以及各类成形方法对零件结构和材料的工艺性要求，使读者熟悉常见机械零件的毛坯成形方法及工艺，能综合分析零件结构及所用材料的工艺性优劣，并了解各类材料成形技术的发展趋势。

本课程是一门实践性很强的基础课，应在通过工程训练取得大量感性认识的基础上组织教学。在教学过程中，还可通过多媒体教学和实验教学等，进一步丰富感性认识，以加深对材料成形工艺的理解和掌握。

2. 机械制造工艺过程

机械制造工艺过程就是将各种原材料、半成品加工成为成品的方法和过程，是机械工业的基础技术之一。机械制造工艺过程包括毛坯成形、机械加工、热处理、表面处理、检测与质量监控、装配等环节，如图 0-1 所示。

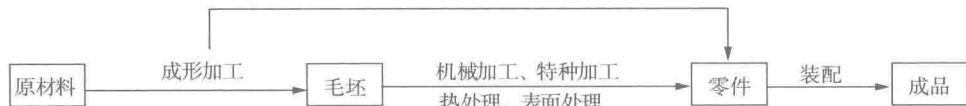


图 0-1 机械制造工艺过程

(1) 原材料

原材料主要是指以钢铁为主的金属材料，如铸锭、轧材等。近年来，各种特种合金、粉末冶金材料、工程塑料、橡胶和工业陶瓷、复合材料等的应用比例也在不断扩大。

(2) 毛坯成形

毛坯成形即采用铸造、锻造、冲压和焊接等方法将原材料加工成具有一定形状和尺寸的毛坯的过程。

(3) 零件的机械加工和特种加工

零件的机械加工和特种加工即采用切削、磨削和特种加工等方法，逐步改变毛坯的形态（形状、尺寸及表面质量），使其成为合格零件的过程。近年来，部分粗加工和少量精加工已逐渐被毛坯的精密成形所取代。



(4) 材料的改性与处理

材料的改性与处理通常指热处理及电镀、热喷涂等表面处理工艺,用以改变零件的整体、局部或表面的组织及性能。材料成形加工通常也兼有材料改性的功能。

(5) 检测与质量监控

检测与质量监控指保证工艺过程的正确实施和产品质量而使用的一切质量控制措施。检测与质量控制贯穿于整个机械制造工艺过程。

(6) 装配

装配即按规定的技术要求,将零件或部件进行配合和连接,使之成为半成品或成品的工艺过程,包括零件的固定、连接、调整、检验和试验等工作。

3. 材料成形中的基本要素及其流动

任何材料的加工过程,都必须具备三个基本要素,即材料、能量和信息,它们在加工过程中的运动形成物质流、能量流和信息流。正是这三类要素的流动及其相互作用,才使毛坯和零件的成形得以实现。

(1) 物质流

加工过程中各类原材料的流动过程称为物质流,可分为质量不变过程、质量减少过程和质量叠加过程等三种类型。

① 质量不变过程:即材料的质量不改变或近似不变,仅改变几何形状和(或)性能的过程,如铸造、塑性成形、表面处理等。

② 质量减少过程:即材料部分被去除以改变形状和尺寸的过程,如切削加工、热切割、板料冲裁等。

③ 质量叠加过程:即通过材料的叠加获得所需形状和尺寸的过程,如焊接、胶接和机械连接、快速原型成形等。

(2) 能量流

加工过程中各种能量的消耗和转化过程称为能量流。能量转化的形式多种多样,有电能转化为热能的,如电阻加热、电阻焊和电弧焊等;有化学能转化为热能的,如气焊、气割和火焰钎焊等。此外,还有电能转化为机械能的,通常是通过电动机实现的。

(3) 信息流

各类信息在加工过程中的作用过程称为信息流,可分为形状信息和性能信息流等。

① 形状信息流:加工过程中,材料的初始形状与赋予的形状变化信息相结合从而获得最终形状和尺寸。形状变化信息既可由具有一定信息量的成形刀具、铸型型腔和锻模膛等赋予,又可由材料与刀具间或者材料与工具、模具间的相对运动赋予,如自由锻中坯料的成形主要靠其与锤头等工具间的相对运动来实现。

② 性能信息流:加工过程中,材料的初始性能与赋予的性能变化信息相结合,从而获得最终性能。性能变化信息是通过加工过程中各有关因素的影响赋予的,如铸造时的合金成分、浇注温度、充型压力,锻造时的变形温度和变形速度等。



若将生产过程中的物质流、能量流和信息流系统化，可集成成为一种先进的生产技术体系，即“机械制造技术系统”，如图 0-2 所示。该系统以提高质量、效率、效益和竞争力为目标，具有“自动化、柔性化、高效化”的综合效果特征。

4. 材料成形技术的发展趋势

近年来，在毛坯成形技术方面，常规工艺不断优化，新型加工方法不断出现，高新技术正在与传统工艺紧密结合。

(1) 常规工艺不断优化

常规的成形加工工艺如砂型铸造、自由锻、模锻、电弧焊等至今仍是应用面广、经济适用的技术，并且正在不断优化。其方向是以优质、高效、低耗、少污染为主要目标，逐步实现高效化、精密化、强韧化和轻量化。

(2) 新型加工方法不断出现

激光、电子束、等离子体和超声波等新能源的引入，形成了多种崭新的特种成形工艺及高密度能加工技术，可加工任何硬、脆或难熔材料以及薄壁、高弹性的难加工件，有些方法还可以进行精密加工或微细加工。新型材料如高分子材料、精细陶瓷、复合材料等的应用，导致某些崭新的加工技术的出现，如板料的高能成形、异种材料的扩散焊接和陶瓷的注射成形等。

(3) 高新技术与传统工艺紧密结合

由于微电子、计算机和自动化技术等高新技术与工艺、设备的紧密结合，已形成了从单机到系统、从刚性到柔性、从简单到复杂等不同档次的多种自动化加工技术，使传统工艺发生了质的变化。由数控机床、自动传输设备和自动检测装置组成的柔性制造系统（FMS）可使各种批量生产均实现自动化。计算机集成制造系统（CIMS）将整个制造活动都集成到一个有人参与的计算机系统中，可使多品种小批量生产的成本和质量接近刚性自动线的大批量生产。

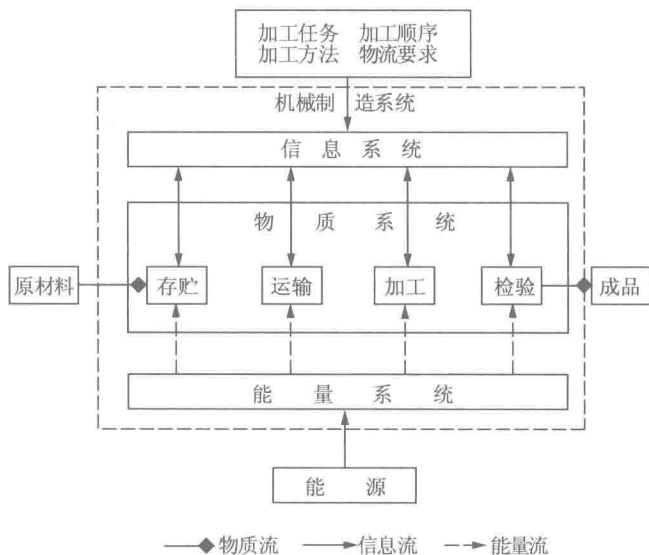


图 0-2 机械制造技术系统



第1章 铸 造

铸造指熔炼金属、制造铸型并将熔融金属浇入铸型凝固后,获得具有一定形状、尺寸和性能的金属零件或毛坯的成形方法。按工艺方法不同,可分为砂型铸造和特种铸造两大类。砂型铸造是在砂型中生产铸件的铸造方法,是目前应用最广泛的铸造方法。特种铸造是与砂型铸造不同的其他铸造方法,如熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、离心铸造等。

与其他金属成形方法相比,铸造的工艺适应性强,铸件的结构形状和尺寸几乎不受限制,质量可以从几克至几百吨;工业上常用的合金几乎都能铸造;铸造原材料来源广泛,价格低廉,设备投资较少;但铸件的质量取决于成形工艺、铸型材料、合金的熔炼与浇注等诸多因素,易出现浇不到、缩孔、气孔、裂纹等缺陷,且往往组织疏松,晶粒粗大。一般情况下,铸件的性能远不及塑性成形件。近年来,随着铸造技术的迅速发展,铸件的质量和性能已大大提高,应用越来越广泛。

铸造适于制造形状复杂、特别是内腔形状复杂的零件或毛坯,尤其是要求承压、抗振或耐磨的零件。铸造是现代工业的基础,铸件在机械产品中占有很大的比例,按质量计在汽车中约占 25%,在机床中约占 60%~80%。

1.1 铸造基础

1.1.1 金属液的充型能力

金属液的充型能力指金属液充满铸型型腔,获得轮廓清晰、形状准确的铸件的能力。充型能力差的液态合金易产生浇不到和冷隔等缺陷,使铸件形状不完整,或因有未完全熔合的缝隙而使力学性能大大降低,甚至报废。

充型能力主要取决于液态金属的流动性,同时又受铸型、浇注条件等外界因素的影响。

1. 金属的流动性

金属的流动性即金属液本身的流动能力。金属液的流动性越好,充型能力也越强,易于获得轮廓清晰、壁薄而形状复杂的铸件,且有利于金属液中非金属夹杂物及气体上浮排除,有利于对凝固过程中金属的收缩进行补缩。

液态合金的流动性用在规定的铸造工艺条件下流动性试样的长度来衡量,如图 1-1 所示。在相同的铸型及浇注条件下,流动性试样越长,则合金的流动性越好。在常用的铸



造合金中，灰铸铁的流动性试样长度可达 1500mm 以上，流动性最好；铸钢的流动性试样长度只能达到 200mm 左右，流动性最差。

流动性与金属的成分、杂质含量及物理性能等有关。

(1) 合金成分

合金成分是影响合金流动性的主要因素。纯金属和共晶成分的合金是在恒温下结晶的，结晶过程由表面向心部呈逐层凝固方式（见图 1-2a），凝固区域宽度很小或接近于零，故凝固层的内表面较光滑，对未凝固的合金液的流动阻力小，流动性最好。

非共晶成分的合金是在一定的温度范围内结晶的，存在一个既有液体又有枝晶的两相区，凝固区域也较宽，呈中间凝固方式（见图 1-2b），且凝固层的内表面较粗糙，故合金液的流动阻力大，流动性较差。合金成分距离共晶成分越远，凝固温度范围（合金从开始凝固到凝固完毕的温度范围）也越宽，流动性就会越差。当凝固温度范围过大时，液、固并存的两相区甚至贯穿整个铸件断面而呈糊状凝固方式，此时流动性最差，如图 1-2c 所示。铁碳合金的流动性与碳含量的关系如图 1-3 所示。显然，结晶温度范围越窄，合金液的流动性越好。

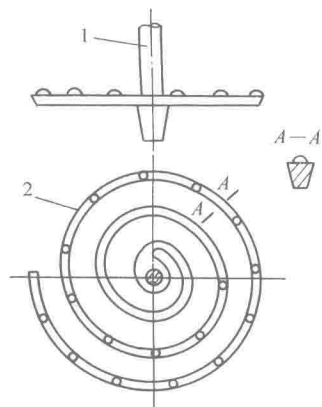


图 1-1 流动性试样

1—直浇道；2—流动性试样

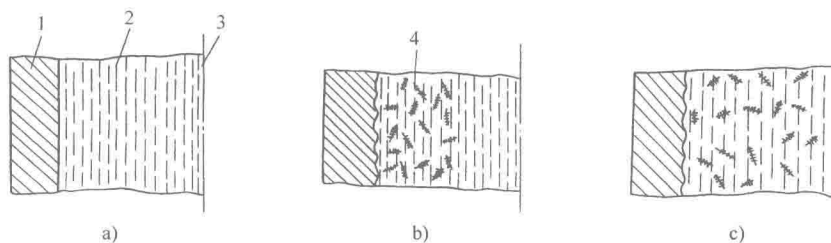


图 1-2 合金的凝固方式

a) 逐层凝固；b) 中间凝固；c) 糊状凝固

1—凝固层；2—液相区；3—铸件中心；4—固—液相区

(2) 合金的质量热容、密度和热导率

合金的质量热容是单位质量物质升高单位温度的热容。合金的质量热容和密度越大，在相同的过热度（加热温度超过熔点或液相线温度的温度值）下，合金所含的热量越多，保持高温的时间越长，流动性也越好。合金的热导率越小，热量散失越慢，流动性也越好。

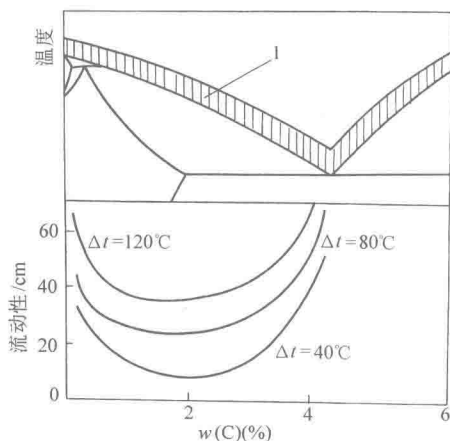


图 1-3 铁碳合金流动性与碳含量的关系

1—金属液过热温度范围； Δt —金属液过热度

2. 铸型条件

(1) 铸型的蓄热系数

铸型的蓄热系数即铸型从其中的金属液吸收并储存热量的能力。铸型的蓄热系数越大，激冷能力越强，金属液保持液态的时间就较短，充型能力越低。应尽量选用蓄热系数小的造型材料。在金属型的型腔壁喷涂料，可减小蓄热系数。

(2) 铸型温度

铸型的温度越高，金属液冷却就越慢，保持液态时间就越长，有利于提高充型能力。故熔模铸造常在型壳焙烧后趁热浇注，金属型铸造的铸型通常要预热至 $150^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ 再浇注。

(3) 铸型中的气体

浇注时，如果铸型的发气量过大且排气能力不足，就会使型腔中气压增大，阻碍充型。为此，应适当降低型砂的含水量和发气物质含量，以及开设必要的排气孔和增设排气冒口。

3. 浇注条件

(1) 浇注温度

提高浇注温度，有利于降低金属液的黏度，延长保持液态的时间，从而提高流动性。但浇注温度不宜过高，否则金属液吸气增多，氧化严重，不仅充型能力提高不多，反而增大了缩孔、气孔、粘砂等缺陷倾向。

(2) 充型压力

充型压力即金属液充型时在流动方向上所受到的压力。充型压力越大，流动性就越好。但充型压力不宜过大，以免产生金属飞溅而加剧氧化，以及因气体来不及排出而产生气孔、浇不到等缺陷。



砂型铸造时提高直浇道高度可增大充型压力。压力铸造、离心铸造等均通过增大充型压力使金属液的充型能力提高,从而获得轮廓清晰、组织致密的铸件。

此外,铸件的结构过于复杂、壁厚过小等,都会使金属液充型困难,在结构设计时应予以避免。

1.1.2 金属的收缩特性

金属的收缩指铸造合金从液态凝固和冷却至室温过程中产生的体积和尺寸的缩减。收缩较大的合金易产生缩孔、缩松缺陷,以及因铸造应力的出现而易产生变形、裂纹等铸造缺陷。

1. 金属收缩的阶段

金属收缩可分为液态收缩、凝固收缩和固态收缩等三个阶段。

(1) 液态收缩

液态收缩即金属在液态时由于温度降低而发生的体积收缩。液态收缩量与金属液过热度成正比。

(2) 凝固收缩

凝固收缩即熔融金属在凝固阶段的体积收缩。纯金属及在恒温下凝固的合金,其凝固收缩是由液—固相变引起的;具有一定凝固温度范围的合金,除液—固相变引起的收缩外,还有因凝固阶段温度下降引起的收缩。

液态收缩和凝固收缩是铸件产生缩孔的根本原因。

(3) 固态收缩

固态收缩即金属在固态时由于温度降低而发生的体积收缩。固态收缩表现为线尺寸的缩小,故一般用线收缩率表示。固态收缩是铸件产生铸造应力并进而引起变形、裂纹等缺陷的主要原因。

2. 影响收缩的因素

影响收缩的因素有金属的化学成分、浇注温度和铸型条件等。

(1) 金属的化学成分

铁碳合金中,铸钢和白口铸铁的收缩大,灰铸铁收缩小,这是由于灰铸铁凝固时碳大部分以石墨形态析出,石墨比容大,可以抵消部分收缩。当灰铸铁的碳、硅含量增多时,有利于促进石墨化,使收缩减小;而硫含量增多时,会阻碍石墨化,使收缩增大。几种常用的铁碳合金自浇注温度至室温的收缩率见表1-1。

表 1-1 铁碳合金的收缩率

合金种类	体收缩率 (%)	线收缩率 (%)
铸造碳钢	10~14.5	1.3~2.0
白口铸铁	12~14	1.5~2.0
灰铸铁	5~8	0.7~1.0



(2) 浇注温度

随着浇注温度的提高,金属冷却时的液态收缩会增大,总体积收缩相应增大。

(3) 铸型条件

铸件冷却过程中,可能会由于各部分冷却速度的不同,使收缩相互制约而不能自由收缩,也可能受到铸型、型芯等的阻碍而不能自由收缩。通常,带有内腔或侧凹的铸件收缩较小(见图1-4);型砂和型芯砂的紧实度越大,铸件的收缩越小。

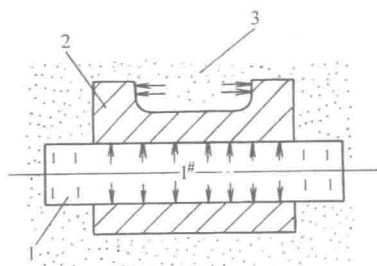


图 1-4 铸件收缩受到铸型和型芯阻碍

1—型芯; 2—铸件; 3—型砂

3. 缩孔与缩松

(1) 缩孔

缩孔即铸件在凝固过程中,由于补缩不良而产生的孔洞。形状极不规则、孔壁粗糙并带有枝状晶,常出现在铸件最后凝固的部位。广义的缩孔也包括缩松。

缩孔形成过程如图1-5所示。当金属液充满铸型后,靠近型腔壁的金属液很快凝固;接着,内浇道也凝固。随着温度下降,凝固层加厚,型腔内的金属液液面因液态收缩和补充凝固层的收缩而下降。完全凝固后,在铸件上部形成缩孔。

纯金属、共晶合金和凝固温度范围窄的合金凝固时呈逐层凝固方式,易产生缩孔缺陷。

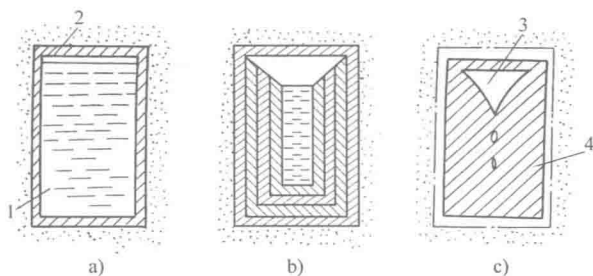


图 1-5 缩孔形成过程

a) 外层凝固; b) 凝固层增厚; c) 完全凝固

1—熔融金属; 2—凝固层; 3—缩孔; 4—固态收缩后的铸件

(2) 缩松

缩松即铸件断面上出现的分散而细小的缩孔。借助高倍放大镜才能发现的缩松称为显微缩松。铸件有缩松缺陷的部位,在气密性试验时易渗漏。

缩松的形成过程如图1-6所示。当金属的凝固温度范围较宽时,最后凝固区域呈糊状凝固方式,金属液被大量枝晶分隔开来,上部的金属液难以向下流动进行补缩,最终形成大量细小而分散的孔穴。缩松多产生在铸件的轴线附近和热节部位,热节即凝固过程中铸件内比周围金属凝固缓慢的节点或局部区域。显然,凝固温度范围越宽,铸件越易产生缩松缺陷。

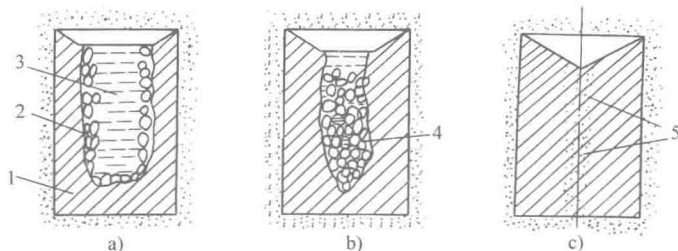


图 1-6 缩松形成过程

a) 凝固层加厚; b) 最后凝固区域呈糊状凝固; c) 完全凝固, 缩松形成

1—凝固层; 2、4—固—液相区; 3—液相区; 5—缩松

(3) 缩孔和缩松的防止

缩孔和缩松均使铸件的力学性能下降, 甚至因产生渗漏而报废, 应采取适当的工艺措施予以防止。

① 采用顺序凝固原则: 顺序凝固是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方向凝固。冒口是铸型内储存用于补缩的金属液的空腔。图 1-7 所示将内浇道和冒口置于铸件的厚部, 并保证冒口有足够的体积。当金属液经冒口充型后, 可保证离冒口越远, 金属液温度越低, 从而实现自薄部向着冒口方向顺序凝固、依次补缩, 最终将缩孔转移到冒口中。对于铸件上的热节部位, 可设置冷铁以保证铸件的顺序凝固, 如图 1-8 所示。冷铁是为增加铸件局部的冷却速度, 在砂型、型芯表面或型腔中安置的金属物或其他激冷物。铸件的热节可用“内切圆法”确定, 即在铸件壁部作内切圆, 直径较大处即为热节。

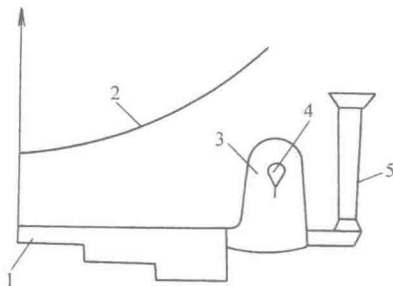


图 1-7 顺序凝固示意图

1—铸件; 2—铸件温度分布曲线; 3—冒口;

4—缩孔; 5—浇注系统

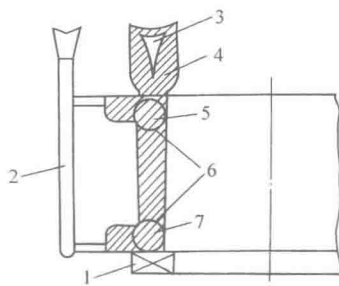


图 1-8 顺序凝固示例

1—环形冷铁; 2—浇注系统; 3—缩孔;

4—冒口; 5、7—热节; 6—内切圆

顺序凝固可获得致密的铸件, 但使铸件各部分的温差加大, 易产生内应力、变形和裂纹, 且设置冒口增加了铸件成本。顺序凝固通常用于收缩较大、凝固温度范围较小的合金, 如铸钢、碳硅含量低的灰铸铁、铝青铜等合金以及壁厚差别较大的铸件。

② 加压补缩: 将铸型置于压力罐中, 浇注后使铸件在压力下凝固, 可显著减少显微



缩松。此外,采用压力铸造、离心铸造等特种铸造方法使铸件在压力下凝固,可有效地防止缩孔和缩松。

4. 铸造应力

铸造应力是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内应力。

(1) 收缩应力

收缩应力是铸件在固态收缩时,因铸型、型芯、浇冒口、箱带及铸件本身结构阻碍收缩而引起的铸造应力。图 1-4 所示的铸件在固态收缩过程中,孔壁和凸缘部位将分别受到型芯和铸型的阻碍,从而在铸件中产生内应力。

收缩应力是暂时存在的应力,当形成应力的原因消除后(如落砂、去除冒口等)便会自行消失。但收缩应力一般是拉应力或切应力,由于铸件在高温下抗拉强度较低,若某瞬间铸件上某部位的收缩应力和热应力之和超过其抗拉强度时,就可能产生裂纹。

采取提高型(芯)砂的退让性,合理设置浇注系统和及时开箱落砂等措施,可有效地减小收缩应力。

(2) 热应力

热应力即铸件在凝固和冷却过程中,不同部位由于温差造成不均匀收缩而引起的铸造应力。铸件凝固冷却后,热应力将残留在铸件内部。

① 热应力的形成过程:图 1-9c 所示的框形铸件,由粗杆和细杆构成,其凝固后冷却过程温度和应力的变化情况如图 1-9a、图 1-9b 所示,可分为以下三个阶段。

阶段 I: τ_1 之前,粗、细杆的温度较高,易于产生塑性变形。虽粗、细杆冷却速度不同,收缩不一致,但产生的内应力将会引起它们产生微量塑性变形而自行消除,如图 1-9d、图 1-9e 所示。

阶段 II: $\tau_1 \sim \tau_2$ 之间,细杆温度已较低,难于产生塑性变形,但粗杆温度仍较高。粗、细杆虽冷却速度不同,收缩不一致,但产生的内应力将使粗杆产生微量缩短(塑性变形)而自行消除。

阶段 III: τ_2 之后,粗、细杆的温度均较低,难以产生塑性变形。其中,细杆温度已接近室温,收缩趋于停止;粗杆温度较细杆高,冷却时仍有较大收缩,因此将受到细杆阻碍而受拉,而细杆则受压,直至室温,故在铸件中形成了热应力,如图 1-9f 所示。

② 减小和消除热应力的方法:热应力使铸件的精度和耐蚀性大大降低,在存放、加工及使用过程中,还会因热应力的重新分布而导致铸件变形甚至产生裂纹,故应尽量减小或消除热应力。常用的方法有合理设计铸件结构、采用同时凝固原则和去应力退火等。

a. 合理设计铸件结构:铸件壁厚应均匀且减少热节。壁与壁间的连接应尽量采用圆角过渡,以免因产生应力集中而开裂。

b. 采用同时凝固原则:同时凝固是使型腔内各部分金属液温差很小,同时进行凝固的原则。如图 1-10 所示,将内浇道开于薄部,以使金属液充型后该部分的温度与厚部相



近。必要时,可在铸件厚部或热节处设置冷铁,以加快其冷却速度。采取以上措施,可使铸件各部分温差大大减小,基本上做到同时冷却凝固和收缩,从而有效地降低热应力。

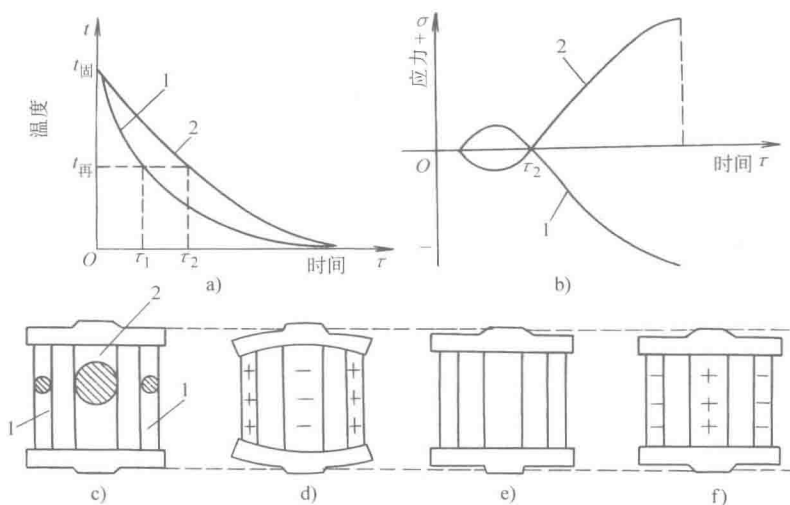


图 1-9 框形铸件热应力形成过程

a) 温度变化曲线; b) 应力变化曲线; c) 框形铸件; d) 高温下瞬时应力分布;

e) 应力通过塑性变形而消除; f) 室温下残留应力的分布

1—细杆; 2—粗杆; $t_{\text{固}}$ —凝固温度; $t_{\text{再}}$ —再结晶温度; +—拉应力; ——压应力

同时凝固铸造应力小,不易产生热裂,且因无需设置冒口而省工省料,但铸件组织不致密,轴心处往往会出现缩松。同时凝固适用于收缩较小的合金(如碳硅含量高的灰铸铁)和结晶温度范围宽倾向于糊状凝固的合金(如锡青铜),同时也适用于气密性要求不高的铸件和壁厚均匀的薄壁铸件。

c. 去应力退火:为去除铸件内存在的残余应力而进行的退火。铸钢、铸铁件的加热温度一般为 $500^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$,经保温后随炉冷却至 $200^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ 后出炉空冷。一般可消除残余应力的 $50\% \sim 80\%$ 。

5. 铸件变形

铸件变形是铸件在铸造应力和残留应力作用下所发生的变形以及由于模样或铸型变形引起的变形。

(1) 铸件变形的主要原因

由于残余应力的存在,铸件内部处于不稳定状态,而铸件总是力图趋于稳定状态,故会自发地产生变形。通常铸件上受到弹性拉伸的部分会有所缩短,受到弹性压缩的部分会有所伸长,从而使应力得到缓解。壁厚不均匀、截面不对称的梁、杆件更易产生变形,一

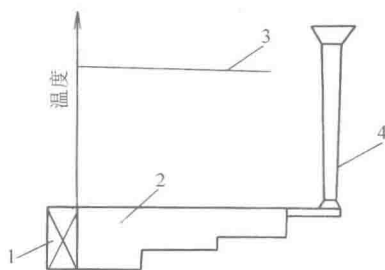


图 1-10 同时凝固示意图

1—冷铁; 2—铸件;

3—铸件温度分布曲线; 4—浇注系统