



普通高等学校工程材料及机械制造基础
创新人才培养系列教材

材料成形

工艺基础

主编 童幸生

Cailiaochengxing Gongyijichu



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

普通高等学校“工程材料及机械制造基础”创新人才培养系列教材

材料成形工艺基础

总主编	林萍华	
主 编	童幸生	
主 审	孙康宁	
副主编	帅玉妹	付乐荣
参 编	李立军	张锦洲

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书是根据《普通高等学校工程材料及机械制造基础系列课程教学基本要求》(机械基础教学指导分委员会金工课指组 2009 年 8 月(讨论稿))的最新要求,在湖北省金工教学研究会的组织下编写的。

全书共有五章,内容包括铸造成形工艺、金属的压力加工成形、焊接成形工艺与胶接成形、非金属材料的成形、材料成形方法的选择。每章附有适量的复习思考题。

本书力求内容简明扼要,突出实用性,并注重理论与实践的结合,可作为高等学校机械类、近机械类及非机械类专业的教材,也可供其他工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形工艺基础/童幸生 主编. —武汉: 华中科技大学出版社, 2010. 8
ISBN 978-7-5609-6326-6

I. 材… II. 童… III. 工程材料-成形-工艺-高等学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 113490 号

材料成形工艺基础

童幸生 主编

策划编辑: 徐正达

责任编辑: 刘 勤

封面设计: 刘 卉

责任校对: 朱 霞

责任监印: 熊庆玉

出版发行: 华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编: 430074 电话: (027)87557437

录 排: 武汉佳年华科技有限公司

印 刷: 华中科技大学印刷厂

开 本: 710mm×1000mm 1/16

印 张: 13.75

字 数: 292 千字

版 次: 2010 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 22.80 元



本书若有印装质量问题, 请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线: 400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

普通高等学校工程材料及机械制造基础
创新人才培养系列教材

编审委员会

主任：**林萍华**（华中科技大学教授，教育部高等学校材料成型及控制工程专业教学指导分委员会副主任）

顾问：**傅水根**（清华大学教授，教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会副主任）

孙康宁（山东大学教授，教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会委员）

副主任：**童幸生**（江汉大学教授，教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会委员）

王连弟（华中科技大学出版社副社长，编审）

周世权（华中科技大学工程实训中心副主任，教授级高级工程师）

委员：（按姓氏笔画顺序排列）

孔小东	王连弟	田文峰	汪云
陈仪先	陈慧敏	杨雄	林萍华
宗振华	周世权	赵新泽	骆莉
夏先平	徐翔	徐正达	徐自立
童幸生			

序 言

党的十七大提出,要把“提高自主创新能力、建设创新型国家”作为国家发展战略的核心和提高综合国力的关键。这是时代对我们提出的迫切要求。

改革开放以来,我国的经济建设取得了举世瞩目的成就,科学技术发展步入了一个重要跃升期。然而,与世界先进国家相比,我国科技缺乏原创性和可持续的动力,缺乏跨学科、跨领域重大继承创新的能力,缺乏引领世界科技发展的影响力。同时,我国科技人员的知识结构、业务能力、综合素质显得不足。多年以来形成的学校教育与社会教育的隔阂、智力教育与能力教育的隔阂、自然科学与社会科学的隔阂,造成了几代人科技创新能力的缺陷。时代呼唤各种类型的创新人才,知识的创新、传播和应用将成为社会发展的决定因素。

担负着培养创新人才重任的高等学校,如何培养创新人才呢?我以为有两点非常重要:创新教育和创新实践。湖北省金属工艺学教学专业委员会近年来完成了省级教学改革项目“工程材料及机械制造基础系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”,获得湖北省教学成果二等奖,并在全省十几所大学中推广应用,取得了良好的教学效果,由此带动了一批新的教学研究课题的开展。这是在创新教育和创新实践方面的有益尝试。

要进行创新教育,应当站在巨人的肩膀上,而这位巨人就是各门科学的重点基础课。只有打下了牢固的基础,才能自如地实现向新领域的转变,才能具有可靠的应变能力和坚实的后劲。没有良好的理论基础和知识结构,创新与创造就将成为无源之水、无本之木。然而,传统教育重传习、重因袭,缺乏对学生探究问题的鼓励,这极大地制约了学生智力的培养和独创性的发挥。因此,亟须在基本教育理念方面进行变革,在教学活动的实施中加强创新意识,在教材的编写中注入大量创新元素。在有效提升学生的创新品质方面,学校和教师有着不可替代的影响力和感召力。因此,重新理清“工程材料及机械制造基础系列课程”教学改革和教材编写的发展思路,探索该教学体系的内容与教学方法,是一项迫在眉睫

而又意义深远的工作。

科学的目的在于认识,而技术与工程的目的则在于实践,创造性思维基于实践,始于问题。正如杨叔子院士所说:“创新之根在实践。”对培养高素质创新人才而言,加强实践性教学环节具有重要的基础性作用和现实意义。工科教学的特征是实用性强,专业性强,方法性强,必须让学生从书本和课堂中适度解放出来,通过接触实践,接触实际问题,来增强学生对课堂书本知识的理解和掌握,以减少传习教学色彩,使学生获取宽广的工程感性知识。

近年来“工程材料及机械制造基础系列课程”教学改革实践表明,按照教学体系的总体方案和学生认知水平的发展,创新实践教育的内容似可划分为三个层次。第一层次,针对低年级学生的知识背景,着重让学生建立起工程系统概念,初步学会选用材料和选择制作工艺,了解制作对象的结构工艺性及常用的技术装备。第二层次,着手训练学生的动手能力与创新意识。首先通过基础科学原理的实验训练,养成科学、规范的研究习惯与方法;其次通过技术基础课程实验训练,了解工程技术创新的方法和过程;最后,也是最重要的一点,通过验证基础科学原理和技术科学原理的动手过程,切身体验科学发现与工程创新的方法与历程。第三层次,通过专业课程实验、课程设计、生产实习和毕业论文研究等综合实践环节,着重培养学生分析问题、解决问题的能力,让学生体会如何在工程上应用与发挥自身知识和能力,进行学以致用用的过渡。

湖北省金属工艺学教学专业委员会在组织实施“工程材料及机械制造基础系列课程”教学改革实践基础上,提出了“以工业系统认知为基础,以工艺实验分析能力为根本,以工艺设计为主线,加强工程实践,注重工艺创新”的教学新思路,打破了原有四门课程(金工实习、工程材料、材料成形工艺基础和机械制造基础)相对隔离的现状,改善了课程结构体系,努力实现整体优化,体现基于问题的学习、基于项目的学习、基于案例的学习以及探究式学习的创新教育思想,并在此基础上建立起新型的工业培训中心教学基地,大大推动了本系列课程的发展。

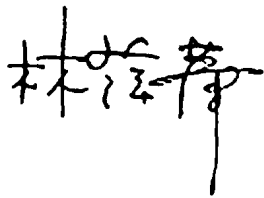
呈献给大家的“普通高等学校工程材料及机械制造基础创新人才培养系列教材”,是湖北省金属工艺学教学专业委员会获得省优秀教学成果二等奖后,与华中科技大学出版社经过进一步探索和实践取得的新成果,拟由《工程系统认识实践》(理工科通识)、《工程材料》、《材料成形工艺基础》、《机械制造基础》、《工程材料及其成形工艺》、《材料成形及机械制造

工艺基础》、《机械制造工艺基础》、《制造工艺综合实验》、《基于项目的工程实践》(机械及近机械类)、《工程实践教学》(非机械类)、《工程实践报告》等组成。它通过构建新的课程体系,改革教学内容、教学方法与教学手段,以期达到整体优化,促进学生的知识、能力和素质的均衡发展,特别是培养学生的工程素质、创新思维能力和独立获取知识的能力。殷切希望该系列教材能够得到广大读者和全国同仁的关心、支持和帮助。相信经过湖北省金属工艺学教学专业委员会的统一规划和各高校师生的团结协作,汲取国内同行课程改革的成功经验,遵循“解放思想、实事求是”的原则,我们能够进一步转变教育观念,在教学改革上更上一层楼。

面对科学技术的飞速发展,面对全球信息化浪潮的挑战,我们必须贯彻落实科学发展观,坚持与时俱进的精神品质,讲求竞争,倡导无私无畏的开拓精神,为全面提高全民族的创新能力,建设创新型国家培养更多的创新人才。

谨此为序。

教育部高等学校机械学科教学指导委员会委员
材料成型与控制工程专业教学指导分委员会副主任
湖北省金属工艺学教学专业委员会理事长
华中科技大学常务副校长,教授



2010年8月于喻家山

前 言

为了适应我国高等教育的发展和教学改革的需要,根据新时期人才培养模式的新变化,湖北省金工教学研究会和华中科技大学出版社共同组织湖北省高等学校具有丰富教学经验的教师编写了这套普通高等学校工程材料及机械制造基础创新人才培养系列教材,以适应高等学校对人才培养的需要。

“材料成形工艺基础”是一门研究工程材料成形工艺的重要专业基础课程,它系统阐述了常用工程材料成形的基本原理和基本工艺。按照《普通高等学校工程材料及机械制造基础系列课程教学基本要求》(机械基础课程教学指导分委员会金工课指组 2009 年 8 月(讨论稿))的最新要求,本书在内容体系上保留了金属工艺学的基本内容,增加了消失模铸造、快速原型制造等新内容,对非金属材料、复合材料的成形也作了必要的阐述。本书在编写过程中,力求于理论和实践、工艺与生产相结合,突出基本理论、基本概念,淡化技术理论,强化成形工艺和生产实际,列举了许多和实际生产中相关的应用实例,选用了最新的国家标准,包括名词术语、符号、单位等,内容充实,结构合理,体系完整。通过本书的学习,学生可掌握常用工程材料成形的基本原理、基本方法,了解和掌握材料成形中基本生产工艺过程。

教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会委员、国家级教学名师、山东大学孙康宁教授担任本书的主审,并提出了很多有益的意见。在此表示衷心的感谢。

参加本书编写的有江汉大学童幸生(编写前言、第 1 章),长江大学帅玉妹(编写第 2 章),江汉大学付乐荣(编写第 3 章),三峡大学李立军(编写第 4 章),长江大学张锦洲(编写第 5 章)。本书由童幸生任主编,帅玉妹和付乐荣任副主编。

限于编者的水平,书中难免有不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2010 年 4 月

目 录

第 1 章 铸造成形工艺	(1)
1.1 铸造成形的理论基础	(1)
1.1.1 金属液的充型能力	(1)
1.1.2 铸造合金的凝固与收缩	(3)
1.1.3 铸造内应力及铸件的变形与裂纹	(9)
1.2 铸造成形方法	(12)
1.2.1 砂型铸造成形	(12)
1.2.2 特种铸造成形	(17)
1.2.3 铸造成形方法的选择	(23)
1.3 铸造成形件的工艺设计	(25)
1.3.1 铸造成形方案的选择	(25)
1.3.2 工艺参数的确定	(28)
1.3.3 浇注系统	(30)
1.3.4 铸造成形工艺图	(31)
1.4 铸造成形件的结构设计	(33)
1.4.1 铸造成形工艺对铸件结构的要求	(33)
1.4.2 铸造性能对铸件结构的要求	(35)
1.4.3 铸造成形方法对铸件结构的要求	(37)
1.4.4 铸件结构的组合设计	(38)
复习思考题	(39)
第 2 章 金属的压力加工成形	(42)
2.1 压力加工理论基础	(42)
2.1.1 金属塑性变形	(42)
2.1.2 金属的锻造性及影响成形的因素	(44)
2.2 金属热锻成形工艺	(51)
2.2.1 自由锻	(51)
2.2.2 模锻	(60)
2.3 板料冲压成形工艺	(76)
2.3.1 冲压成形基本工序	(77)
2.3.2 冲压模具及结构	(87)
2.3.3 冲裁成形件结构工艺性	(92)
2.3.4 典型零件冲压工艺过程的制定	(95)
2.4 特种压力加工技术简介	(98)
2.4.1 零件的挤压与轧制	(98)

2.4.2	精密模锻与液态模锻	(102)
2.4.3	超塑性与高能高速成形	(103)
2.4.4	液压拉深与液压胀形	(106)
	复习思考题	(110)
第3章	焊接成形工艺与胶接成形	(112)
3.1	焊接成形理论基础	(112)
3.1.1	焊接概述	(112)
3.1.2	焊接电弧及电源	(113)
3.1.3	焊接的冶金过程及特点	(115)
3.1.4	焊接接头组织与性能	(115)
3.1.5	焊接应力与变形	(117)
3.1.6	焊接缺陷	(119)
3.1.7	焊接质量检验	(122)
3.2	焊接方法及工艺	(124)
3.2.1	焊条电弧焊	(124)
3.2.2	埋弧焊	(127)
3.2.3	气体保护焊	(129)
3.2.4	等离子弧焊接与切割	(131)
3.2.5	电渣焊	(133)
3.2.6	激光焊	(134)
3.2.7	压焊	(135)
3.2.8	钎焊	(138)
3.3	金属材料的焊接性	(139)
3.3.1	金属材料的焊接性及评定方法	(139)
3.3.2	碳钢的焊接	(140)
3.3.3	合金钢的焊接	(142)
3.3.4	铸铁的焊接	(143)
3.3.5	非铁合金的焊接	(144)
3.3.6	异种金属的焊接	(146)
3.4	焊接结构工艺设计	(148)
3.4.1	焊接结构工艺设计的内容与步骤	(148)
3.4.2	焊接结构材料的选择	(149)
3.4.3	焊接方法的选择	(150)
3.4.4	焊接接头设计	(152)
3.4.5	典型焊接结构工艺设计举例	(156)
3.5	材料的胶接	(158)
3.5.1	胶接的特点	(159)

3.5.2	胶黏剂	(159)
3.5.3	胶接工艺	(161)
	复习思考题	(162)
第4章	非金属材料的成形	(165)
4.1	高分子材料的成形	(165)
4.1.1	工程塑料的成形	(165)
4.1.2	橡胶制品的成形	(172)
4.2	陶瓷材料的成形	(178)
4.3	复合材料的成形	(182)
4.3.1	金属基复合材料的成形	(182)
4.3.2	树脂基复合材料的成形	(184)
4.3.3	陶瓷基复合材料的成形	(188)
4.4	成形技术的新进展	(190)
4.4.1	工程塑料成形技术	(190)
4.4.2	陶瓷材料成形技术	(191)
4.4.3	复合材料成形技术	(192)
4.4.4	快速原型成形技术	(193)
	复习思考题	(194)
第5章	材料成形方法的选择	(196)
5.1	材料成形方法选择的原则	(196)
5.1.1	使用性原则	(196)
5.1.2	工艺性原则	(197)
5.1.3	经济性原则	(197)
5.1.4	安全环保性原则	(199)
5.1.5	新技术新工艺利用的原则	(199)
5.2	常用成形件的成形特点	(201)
5.2.1	铸造成形件	(201)
5.2.2	压力加工成形件	(202)
5.2.3	焊接成形件	(202)
5.2.4	粉末冶金成形件	(203)
5.2.5	其他成形件	(203)
5.3	常用机械零件的成形方法	(205)
5.3.1	轴杆类零件成形	(205)
5.3.2	盘套类零件成形	(206)
5.3.3	机架、箱体类零件成形	(207)
	复习思考题	(208)
	参考文献	(209)

第 1 章 铸造成形工艺

将金属液浇注到与零件形状、尺寸相适应的铸型型腔中,待其冷却凝固后,获得一定形状的毛坯或零件的方法称为铸造,也称金属的液态成形。铸造是生产机器零件、毛坯的主要方法之一,在机械制造中占有很重要的地位,应用极其广泛,各种类型的现代机器设备中铸件所占的比重很大。例如,以重量计算,铸件在机床、内燃机、重型机械中占机器的 70%~90%,在风机、压缩机中占 60%~80%,在拖拉机中占 50%~70%,在农业机械中占 40%~70%,在汽车中占 20%~30%。铸造之所以得到广泛应用,是因为它具有以下优点。

(1) 能够制成形状复杂、特别是具有复杂内腔的毛坯,如各类箱体、阀体、缸体等,还有机床的床身、机械设备中的底座、支座等。

(2) 铸造的适应性广,铸件的大小几乎不受限制,重量可从几克到几百吨。尺寸由小到大,铸造金属可以是钢、铁和非铁合金。

(3) 铸造所用原材料来源广泛,价格低廉,铸件成本低。一般不需要昂贵的设备。

(4) 采用特种铸造方法生产的铸件,部分可直接成为零件,能节省金属,提高效率。

铸造生产也存在不足:铸造组织疏松、晶粒粗大,内部易产生缩孔、缩松、气孔等缺陷,铸件的力学性能差;同时铸造工序多,铸件质量不够稳定,废品率较高;劳动条件差,劳动强度比较大。

随着铸造技术的发展,铸造生产的不足正在不断得到克服和改进。现代技术的发展推动了铸造生产的机械化、自动化和信息化,各种铸造新工艺、新技术和新材料的出现,形成了优质、高效、低能耗的铸造生产态势,使得铸造成品率和铸件质量大为提高,工人的劳动强度减小,劳动条件也大为改善。铸造生产正朝着专业化、智能化、精密化方向发展。

1.1 铸造成形的理论基础

铸造成形过程主要是金属液在铸型里从高温到室温的凝固结晶、冷却的过程,它涉及铸造金属的工艺性能,也称铸造性能,通常是指金属液的流动性、收缩性、吸气性及偏析性等性能。不同的铸造金属的铸造性能是不同的,它直接影响着铸件的质量,在进行铸造材料选择、铸造工艺及铸件结构设计时必须充分考虑铸造金属的铸造性能。

1.1.1 金属液的充型能力

金属液填充铸型的过程简称充型。金属液充满铸型型腔,获得形状准确,轮廓清

晰铸件的能力,称为金属液的充型能力。充型能力首先取决于金属液本身的流动性,同时又受外界条件,如铸型性质、浇注条件、铸件结构等因素影响。因此,充型能力是上述各种因素的综合反映。这些因素通过两个途径发生作用:一是影响金属与铸型之间的热交换条件,从而改变金属液的流动时间;二是影响金属液在铸型中的流体动力学条件,从而改变金属液的流动速度。延长金属液的流动时间、加快流动速度,都可以改善充型能力。

影响金属液充型能力的主要因素如下。

1. 金属液的流动性

流动性是指熔融金属自身的流动能力,它是影响充型能力的主要因素之一,是金属液固有的属性。流动性仅与金属本身的化学成分、温度、杂质量及物理性质有关。

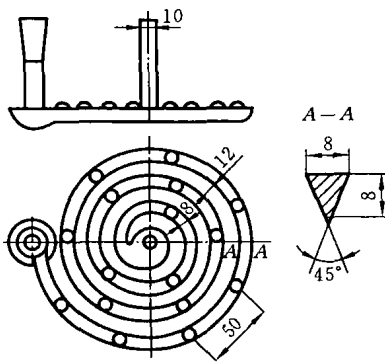


图 1-1 螺旋形标准试样

金属液的流动性好,充填铸型的能力就强,易于获得形状准确、轮廓清晰的铸件,可避免产生铸造缺陷。金属液的流动性用浇注流动性试样的方法来衡量。流动性试样的种类很多,如螺旋形、球形、真空试样等,应用最多的是螺旋形试样,如图 1-1 所示。

决定金属液流动性的因素主要如下。

(1) 铸造金属的种类 金属液的流动性与其黏度及铸造金属的熔点、热导率等物理性能有关。如铸钢熔点高,在铸型中散热快、凝固快,故流动性差。

(2) 铸造金属的成分 同种铸造金属中,成分不同,结晶特点就不同,金属液的流动性也不同。例如,纯金属和共晶成分合金的结晶是在恒温下进行,结晶时从表面开始向中心逐层凝固。由于凝固层的内表面比较平滑,对尚未凝固的金属液流动的阻力小(见图 1-2a),有利于金属液充填型腔。此外,在相同浇注温度下,共晶成分的合金凝固温度最低,相对来说,金属液的过热度(即浇注温度与金属凝固点(熔点)温度之差)大,推迟了金属液的凝固,因此共晶成分的金属液流动性最好。其他成分金属液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,阻碍金属液的流动。而且因

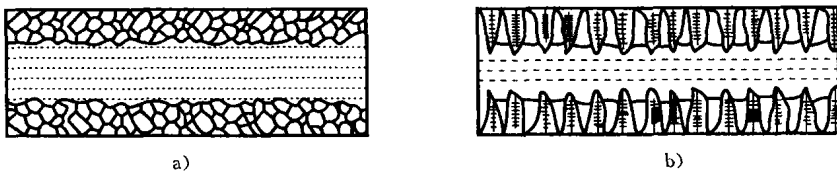


图 1-2 结晶特性对流动性的影响

a) 纯金属及共晶成分合金在恒温下结晶 b) 非共晶合金在一定温度范围内结晶

固态晶体的热导率大,使液体冷却速度加快,故流动性差(见图 1-2b)。合金结晶温度范围愈宽,液相线和固相线距离愈大,凝固层内表面愈参差不齐,这样流动阻力就愈大,流动性也愈差。因此,选择铸造金属时,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。

2. 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影响。浇注温度高,金属液所含的热量多,在同样冷却条件下,保持液态的时间长,所以流动性好。浇注温度越高,金属液的黏度越低,传给铸型的热量多,保持液态的时间长,流动性好,充型能力强。但浇注温度过高,会使金属液的吸气量和总收缩量增大,从而增加铸件产生其他缺陷的可能性(如缩孔、缩松、黏砂、晶粒粗大等)。因此,在保证流动性足够的条件下,浇注温度应尽可能低些,在实际生产中掌握的原则是“高温出炉,低温浇注”。

(2) 充型压力 金属液在流动方向上所受的壓力愈大,充型能力愈强。砂型铸造时,充型压力是由直浇道的静压力产生的,适当提高直浇道的高度,可提高充型能力。但过高的砂型浇注压力,易使铸件产生砂眼、气孔等缺陷。在低压铸造、压力铸造和离心铸造时,因人为加大了充型压力,故充型能力较强。

3. 铸型条件

金属液充型时,铸型的阻力及铸型对金属液的冷却作用,都将影响金属液的充型能力。

(1) 铸型的蓄热能力 铸型的蓄热能力是指铸型从金属液中吸收热量并储存的能力。铸型材料的热容和热导率愈大,对金属液的冷却作用越强,金属液在型腔中保持流动的时间缩短,金属液的充型能力越弱。

(2) 铸型温度 铸型温度越高,则金属液与铸型温差越小,充型能力越强。

(3) 铸型中的气体 浇注时因金属液在型腔中的热作用而产生大量气体。如果铸型的排气能力差,则型腔中气体的压力增大,阻碍金属液的充型。铸造时,除应尽量减小气体的来源外,应增加铸型的透气性,并开设出气口,使型腔及型砂中的气体顺利排出。

(4) 铸件结构 当铸件壁厚过小,壁厚急剧变化、结构复杂时,金属液的流动阻力就增大,铸形的充填就困难。因此在进行铸件结构设计时,铸件的形状应尽量简单,壁厚应大于规定的最小壁厚。对于形状复杂、薄壁、散热面大的铸件,应尽量选择流动性好的合金或采取其他相应措施。

1.1.2 铸造合金的凝固与收缩

1. 合金的凝固

物质由液态转化为固态的过程称为凝固,合金的凝固过程又称结晶。铸造的实质是金属液逐步凝固冷却而成形铸件的过程。在铸件凝固过程中,其截面上一般存在三个区域,即固相区、凝固区和液相区(见图 1-3),其中,对铸件质量影响较大的主

要是液相和固相并存的凝固区的宽窄。铸件的“凝固方式”依据凝固区的宽窄分为以下三种。

(1) 逐层凝固 纯金属或共晶成分合金在凝固过程中因不存在液、固并存的凝固区(见图 1-3a),故截面上外层的固体和内层的液体由一个界面(凝固前沿)清楚地分开。随着温度的下降,固体层不断加厚、液体层不断减薄,直达铸件的中心,这种凝固方式称为逐层凝固。

(2) 中间凝固 大多数合金的凝固介于逐层凝固和糊状凝固之间(见图 1-3b),称为中间凝固。

铸件质量与其凝固方式密切相关。一般说来,逐层凝固时,合金的充型能力强,便于防止缩孔和缩松;糊状凝固时,难以获得结晶紧实的铸件。

(3) 糊状凝固 如果合金的结晶温度范围很宽,且铸件的温度分布较为平坦,则在凝固的某段时间内,铸件表面并不存在固体层,而液、固并存的凝固区贯穿整个截面(见图 1-3c)。由于这种凝固方式与水泥类似,即先呈糊状而后固化,故称糊状凝固。

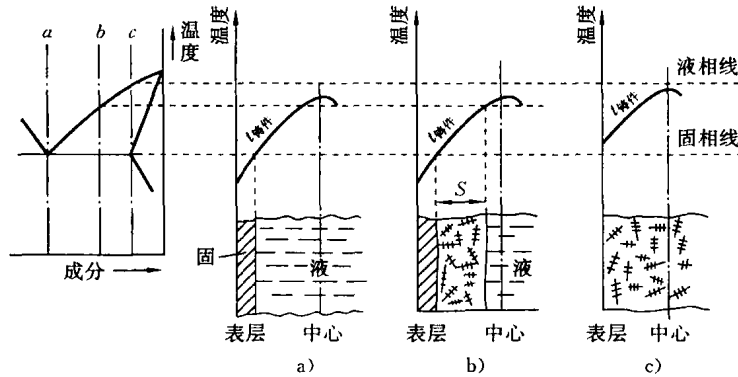


图 1-3 铸件的凝固方式

a) 逐层凝固 b) 中间凝固 c) 糊状凝固

铸件的凝固方式决定了铸件的组织结构形式,是影响铸件质量的内在因素。

影响铸件凝固方式的主要因素有合金的结晶温度范围和铸件的温度梯度。

(1) 合金的结晶温度范围 如前所述,合金的结晶温度范围愈小,凝固区域愈窄,愈倾向于逐层凝固。如砂型铸造时,低碳钢为逐层凝固;高碳钢结晶温度范围甚宽,为糊状凝固。

(2) 铸件的温度梯度 在合金结晶温度范围已定的前提下,凝固区域的宽窄取决于铸件内外层间的温度梯度(见图 1-4)。若铸件的温度梯度由小变大,则其对应的凝固区由宽变窄。铸件的温度梯度主要取决于以下三个因素。

① 合金的性质 合金的凝固温度愈低、热导率愈高、结晶潜热愈大,铸件内部温度均匀化能力愈大,而铸型的激冷作用变小,故温度梯度小(如多数铝合金)。

② 铸型的蓄热能力 铸型蓄热能力愈强,激冷能力愈强,铸件温度梯度愈大。

③ 浇注温度 浇注温度愈高,因带入选型中热量增多,铸件的温度梯度减小。

通过以上讨论可以得出:具有逐层凝固倾向的合金(如灰铸铁、铝硅合金等)易于铸造,应尽量选用。当必须采用有糊状凝固倾向的合金(如锡青铜、铝铜合金、球墨铸铁等)时,需考虑采用适当的工艺措施,例如,选用金属型铸造等,以减小其凝固区域。

2. 合金的收缩

(1) 收缩的概念 液态合金在凝固和冷却过程中,其体积或尺寸缩小的现象称为收缩。收缩是绝大多数合金的物理本性。它是影响铸件几何形状、尺寸、致密性,甚至造成某些缺陷的重要铸造性能之一。

合金的收缩量常用体收缩率或线收缩率来表示。合金从液态到常温的体积改变量称为体收缩。合金在固态由高温到常温的线尺寸改变量称为线收缩,分别以单位体积和单位长度的变化量来表示,即体收缩率

$$\epsilon_v = \frac{V_0 - V_1}{V_0} \times 100\% = \alpha_v (t_0 - t_1) \times 100\%$$

线收缩率

$$\epsilon_l = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \times 100\% = \alpha_l (t_0 - t_1) \times 100\%$$

式中 t_0, t_1 ——合金在常态和液态时的温度(°C);

V_0, V_1 ——金属在 t_0, t_1 时的体积(m^3);

l_0, l_1 ——金属在 t_0, t_1 时的长度(m);

α_v, α_l ——金属在 t_0 至 t_1 温度范围内的体积收缩系数、线收缩系数(K^{-1})。

合金的收缩可分为三个阶段(见图 1-5)。

- ① 液态收缩 从浇注温度冷却到凝固开始温度(液相线温度)的收缩。
- ② 凝固收缩 从凝固开始温度冷却到凝固终止温度(固相线温度)的收缩。
- ③ 固态收缩 从凝固终止温度冷却到室温的收缩。

合金的液态收缩和凝固收缩表现为合金的体积缩小,通常以体收缩率来表示。它们是铸件产生缩孔、缩松缺陷的基本原因。合金的固态收缩尽管也是体积变化,但它只引起铸件各部分尺寸的变化。因此,通常用线收缩率来表示。固态收缩是铸件产生内应力、裂纹和变形等缺陷的主要原因。

合金的总体收缩为上述三个阶段收缩之和。它与合金的成分、温度和相变有关。不同合金收缩率是不同的,表 1-1 给出了几种铸造合金的体收缩率。常用铸造合金的线收缩率如表 1-2 所示。

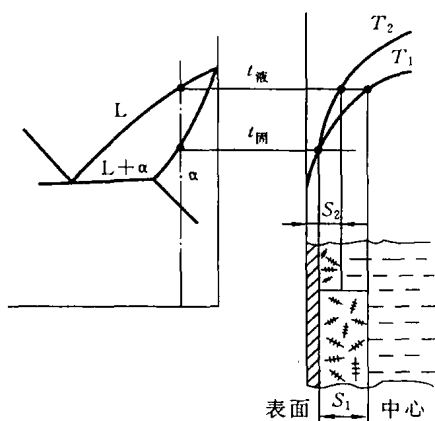


图 1-4 温度梯度对凝固区域的影响

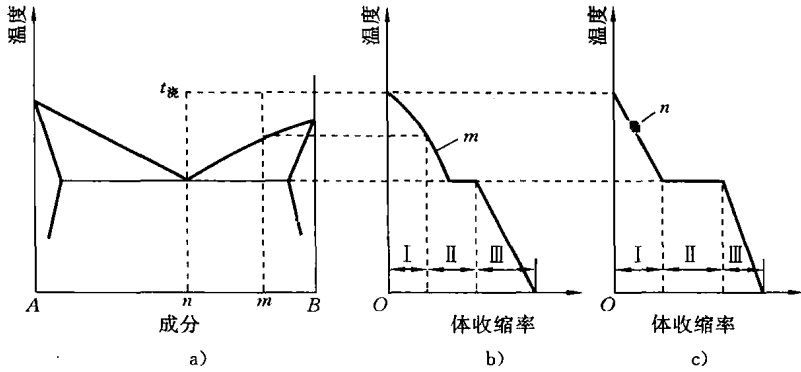


图 1-5 铸造合金收缩过程示意图

a) 合金状态图 b) 一定温度范围合金(m)的合金收缩过程 c) 共晶合金(n)的收缩过程

I—液态收缩 II—凝固收缩 III—固态收缩

表 1-1 几种铸造合金体收缩率

合金种类	碳的质量分数 / (%)	浇注温度 / °C	液态收缩 / (%)	凝固收缩 / (%)	固态收缩 / (%)	总体积收缩 / (%)
碳钢	0.35	1 610	1.6	3.0	7.86	12.46
白口铸铁	3.0	1 400	2.4	4.2	5.4~6.3	12.0~12.9
灰铸铁	3.5	1 400	3.0	0.1	3.3~4.0	6.9~7.8

表 1-2 常用铸造合金线收缩率 (%)

合金种类	灰铸铁	可锻铸铁	球墨铸铁	碳钢	铝合金	铜合金
线收缩率	0.8~1.0	1.2~2.0	0.8~1.3	1.38~2.0	0.8~1.6	1.2~1.4

(2) 影响收缩的因素 主要体现在以下三个方面。

① 化学成分 不同的合金,其收缩率不同,碳素钢随含碳量增加,凝固收缩增加,而固态收缩略减。灰铸铁中,碳是形成石墨化元素,硅是促进石墨化元素,所以碳、硅含量增加,收缩率减小。硫阻碍石墨的析出,使铸铁的收缩率增大。适量的锰可与硫合成 MnS,抵消硫对石墨的阻碍作用,使收缩率减小。但含锰量过高,铸铁的收缩率又有增加。

② 浇注温度 浇注温度主要影响液态收缩。浇注温度愈高,过热度愈大,合金的液态收缩增加。

③ 铸件结构和铸型条件 铸件在铸型中的冷却时,因形状和尺寸不同,各部分的冷却速度不同,铸件各部分相互制约对其收缩产生阻碍。又因铸型和型芯对铸件的收缩也会产生机械阻力,铸件的线收缩率比自由线收缩率小。所以设计模样时,应根据合金的种类、铸件的形状、尺寸等因素,选取适合的收缩率。