



21世纪高校机电类规划教材

材料成形技术基础

Fundamental of Material Forming Technology

童幸生 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高校机电类规划教材

材料成形技术基础

主 编 童幸生
副主编 陈树海
参 编 林 江 刘 岩 余竟成
主 审 付建军



机械工业出版社

本书从材料成形工艺出发,着重介绍各种成形技术的应用及特点,根据材料成形技术发展的趋势,介绍了快速成形技术常用方法,以拓宽学生的知识面。

本书主要讲述:金属的液态成形、金属的塑性成形、材料的连接成形、非金属材料的成形、材料成形方法的选择、快速成形技术简介。每章后附有适量的复习思考题。

本书内容简明扼要,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,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形技术基础/童幸生主编 —北京:机械工业出版社,
2005.9

21世纪高校机电类规划教材

ISBN 7-111-17381-3

I. 材... II. 童... III. 工程材料—成型—高等学校—教材
IV. TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第105864号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:倪少秋 版式设计:冉晓华 责任校对:樊钟英

封面设计:陈沛 责任印制:石冉

北京中兴印刷有限公司印刷

2006年1月第1版第1次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·11.25印张·242千字

定价:18.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高校机电类规划教材

编 审 委 员 会

- | | | | | |
|------|-----------|----------|-----|----------|
| 顾 问: | 李培根 | 华中科技大学 | 方庆琯 | 安徽工业大学 |
| 主 任: | 左健民 | 南京工程学院 | 朱志宏 | 福建工程学院 |
| 副主任: | 童幸生 | 江汉大学 | 刘小慧 | 机械工业出版社 |
| | 郑 堤 | 宁波大学 | 刘申全 | 华北工学院分院 |
| | 徐格宁 | 太原科技大学 | 刘镇昌 | 浙江海洋学院 |
| | 陈 明 | 北华航天工业学院 | 张 茂 | 西南石油学院 |
| | 党新安 | 陕西科技大学 | 李子琼 | 厦门理工学院 |
| | 胡 琳 | 深圳大学 | 李建华 | 中原工学院 |
| | 刘全良 | 浙江海洋学院 | 李洪智 | 黑龙江工程学院 |
| | 马 光 | 温州大学 | 陈廉清 | 宁波工程学院 |
| | 张世亮 | 湛江海洋大学 | 赵先仲 | 北华航天工业学院 |
| | 高文龙 | 机械工业出版社 | 夏凤芳 | 上海电机技术高等 |
| | 邓海平 | 机械工业出版社 | | 专科学校 |
| 委 员: | (按姓氏笔画排序) | | 顾晓勤 | 电子科技大学 |
| | 王卫平 | 东莞理工学院 | | (中山) |
| | 王 华 | 长春工程学院 | 倪少秋 | 机械工业出版社 |

序

为了适应我国制造业的迅速发展的需要,培养大批素质高、应用能力与实践能力强
的应用综合型人才已成为当务之急。这同时对高等教育的办学理念、体制、模式、机制
和人才培养等方面提出了全新的要求。

为了打通新形势下高等教育和社会需求之间的瓶颈,中国机械工业教育协会机电类
学科教学委员会和机械工业出版社联合成立了“21 世纪高校机电类规划教材”编审委
员会,本着“重基本理论、基本概念,淡化过程推导,突出工程应用”的原则,组织教
材编写工作,并力求使本套教材突出以下特点:

(1) 科学定位。本套教材主要面向应用的综合型人才的培养,既不同于培养研究型
人才的教材,也不同于一般应用型本科的教材;在保持高学术水准的基础上,突出工程
应用,强调创新思维。

(2) 品种齐全。这套教材设有“力学”、“制图”、“设计”、“数控”、“控制”、“实
训”、“材料”、“双语”等模块,方便学校选用。

(3) 立体化程度高。教材均要求配备 CAI 课件和相关的教辅材料,并在网站上为
本套教材开设研讨专栏。

机械工业出版社是我国成立最早、规模最大的科技出版社之一,是国家级优秀出版
社,是国家高等教育的教材出版基地之一,在机电类教材出版领域具有很高的地位。相
信这套教材在中国机械工业教育协会机电类学科委员会和机械工业出版社的精心组织
下,通过全国几十所学校的老师的仔细认真的编写,一定能够为我国高等教育应用综合
型人才的培养提供更好用、更实用的教材。

教育部·机械工程及自动化专业分教学指导委员会·主任
中国机械工业教育协会·高等学校机械工程及自动化学科教学委员会·主任
李培根 院士
于华中科技大学

前 言

为了适应我国应用型高等工程教育发展和教学改革的需要,根据新世纪人才培养模式的新变化,针对应用型本科课程改革和创新人才培养的特点,在认真吸取同类高校教学改革和课程建设经验的基础上,结合编者多年的教学实践和教学经验编写而成的。

“材料成形技术基础”是一门研究常用工程材料成形工艺及技术的重要技术基础课程,它是在已掌握了材料的基本性能的基础上,以各种材料的成形工艺为主线,系统阐述了材料成形技术的基本原理、基本知识和工程应用。在本书的体系上,保留了金属工艺学的基本内容,根据现代制造业的发展趋势,按照成形技术的应用,整合了各种材料用不同方法形成不同零件的内容,增加了非金属材料、复合材料的成形和快速成型的内容,突出了材料成形的基本理论和应用,并综合分析和阐述了不同零件的成形方法,在比较传统成形方法和现代成形方法的基础上,介绍了现代制造业中常用的快速成形方法的原理和应用,以加强学生对现代成形新技术发展的了解。

为了加强应用性、突出实践性,使学生对材料成形技术的基本理论作必备的掌握,本书在编写过程中,力求反映应用型高等工程教育改革的特点,突出重基本理论、基本概念,淡化过程推导,强化工程应用。保证全书有一定的深度,使内容和实际结合紧密。全面贯彻最新国家标准,包括名词术语、符号、单位等,配以适当的技术插图,注重充实新工艺、新技术的内容,使学生通过本书的学习,掌握材料成形工艺技术的基本方法、基本理论,并具有综合运用本书中的知识来解决工程技术中实际问题的初步能力。

本书在教学过程中,应考虑前后相关课程的连贯和衔接,故要求学习本书之前学完“工程制图”、“工程材料”、“金工实习”等课程。

本书由江汉大学童幸生主编,黑龙江工程学院陈树海任副主编,北华航天工业学院付建军主审。

全书共分六章:第一章由浙江科技学院林江编写,第二章第一、二、四节由太原科技大学刘岩编写,第三章由江汉大学余竟成编写,第四章由黑龙江工程学院陈树海编写,第二章第三节、第五章、第六章由江汉大学童幸生编写,全书由童幸生统稿。

由于编者水平有限,书中难免存在一些不足和错误之处,恳请广大师生和读者指正。

目 录

序

前言

第一章 金属的液态成形	1
第一节 液态成形铸造理论基础	1
一、金属的凝固	1
二、液态合金的工艺性能	3
三、铸造性能对铸件质量的影响	7
第二节 金属的液态成形方法	12
一、砂型铸造成形	12
二、特种铸造成形	16
第三节 液态金属成形件的工艺设计	22
一、铸造成形方案的选择	22
二、铸造成形工艺参数的确定	25
三、铸造成形工艺图	26
第四节 液态金属成形件的结构设计	28
一、铸造性能对铸件结构的要求	28
二、铸造成形工艺对铸件结构的要求	30
三、铸造成形方法对铸件结构的要求	31
复习思考题	33
第二章 金属的塑性成形	37
第一节 金属塑性成形的工艺基础	37
一、金属塑性成形概述	37
二、金属的塑性成形性能及影响因素	39
第二节 金属热锻成形工艺	45
一、自由锻造成形	45
二、模型锻造成形	53
第三节 板料冲压成形工艺	68
一、冲压成形基本工序	68
二、冲压模具及其结构	74
三、冲压件结构设计	76
第四节 特种塑性成形技术简介	79
一、轧制成形	79
二、挤压成形	81
三、精密模锻成形	82

四、径向锻造成形	83
五、塑性成形工艺的新发展	83
复习思考题	86
第三章 材料的连接成形	88
第一节 焊接成形工艺基础	88
一、焊接概述	88
二、焊接电弧及电源	90
三、熔焊的冶金特点	91
四、焊接接头的组织与性能	92
五、焊接应力与变形	93
六、焊接缺陷	96
七、焊接检验	98
第二节 焊接方法及工艺	99
一、焊条电弧焊	99
二、埋弧焊	103
三、气体保护焊	104
四、等离子弧焊与切割	106
五、电渣焊	107
六、激光焊	107
七、压焊	108
八、钎焊	110
第三节 金属材料的焊接性	111
一、焊接性及估算方法	111
二、碳钢的焊接	112
三、合金钢的焊接	113
四、铸铁的补焊	113
五、有色金属的焊接	114
第四节 材料的其他连接成形方法	115
一、机械连接	115
二、胶接	116
复习思考题	119
第四章 非金属材料的成形	121
第一节 高分子材料的成形	121
一、工程塑料的成形	121
二、橡胶制品的成形	128
第二节 陶瓷材料的成形	133
一、陶瓷材料的成形基础	133
二、陶瓷材料的成形方法	135
第三节 复合材料的成形	140

一、概述	140
二、复合材料的成形方法	141
第四节 粉末冶金成形简介	151
一、粉末冶金的特点与应用	151
二、粉末冶金生产工艺过程	152
第五节 成形技术的新进展	156
一、工程塑料成形技术	156
二、粉末冶金成形技术	157
三、陶瓷材料成形技术	157
四、复合材料成形技术	157
复习思考题	158
第五章 材料成形方法的选择	159
第一节 材料成形方法选择的原则	159
一、成形方法要适应使用性能的要求	159
二、成形方法要适应工艺性能的要求	159
三、成形方法要适应经济性的要求	160
四、成形方法要适应安全和环保性能的要求	160
第二节 常用成形件的成形特点	161
一、液态成形件	161
二、塑性加工成形件	161
三、焊接成形件	162
四、粉末冶金成形件	162
第三节 常用机械零件的成形方法	162
一、轴杆类零件成形	162
二、盘套类零件成形	163
三、机架箱体类零件成形	164
复习思考题	164
第六章 快速成形技术简介	165
第一节 快速成形技术的原理及特点	165
一、传统成形方法及特点	165
二、快速成形技术的实现	166
三、快速成形技术的特点	166
第二节 快速成形方法简介	167
一、立体印刷成形法 (SLA)	167
二、分层实体成形法 (LOM)	167
三、选择性激光烧结法 (SLS)	168
四、熔融沉积成形法 (FDM)	168
复习思考题	169
参考文献	170

第一章 金属的液态成形

将液态金属浇注到与零件形状、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。铸造是生产机器零件毛坯的主要方法之一，其实质是液态金属逐步冷却凝固而成形，也称金属液态成形。它能够制成形状复杂、特别是具有复杂内腔的毛坯，而且铸件的大小几乎不受限制，重量可从几克到几百吨。铸造常用的原材料来源广泛，价格低廉，铸件的成本也较低。因此，铸造在机器制造业中应用极其广泛，各种类型的现代机器设备中铸件所占的比重很大。例如，在机床、内燃机、重型机械中，铸件占机器总重的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%。但铸造生产也存在不足，如铸造易产生组织疏松、晶粒粗大，内部易产生缩孔、缩松、气孔等缺陷。因此，铸件的力学性能，特别是冲击韧度，比同样材料的锻件低；铸造工序多，且难以精确控制，使得铸件质量不够稳定，铸件的废品率较高；劳动条件差，劳动强度比较大。

随着铸造技术的发展，铸造工艺的不足之处正在不断得到克服。各种铸造新工艺及铸造机械化、自动化使铸件的质量、成品率提高，工人的劳动强度减小，劳动条件改善；某些新研制的铸造合金使铸件的力学性能大为提高，精密铸造工艺使铸件的尺寸精度及表面质量提高，液态成形件的质量正在不断提高。

第一节 液态成形铸造理论基础

一、金属的凝固

1. 液态金属的凝固

物质由液态转化为固态的过程称为凝固。铸造的实质是液态金属逐步冷却凝固而成形。固态金属为晶体，因而金属的凝固过程又称为结晶。结晶包括形核和长大两个基本过程。

凝固组织就宏观状态而言，指的是铸态晶粒的形态、大小、取向和分布等情况；铸件的微观组织指晶粒内部结构的形态、大小和分布，以及各种缺陷等。铸件的凝固组织对金属材料的力学性能、物理性能影响甚大。一般情况下，晶粒愈细小均匀，金属材料的强度和硬度愈高，塑性和韧性愈好。影响铸件凝固组织的因素有：成分、冷却速度、形核条件等。

2. 铸件的凝固方式

在铸件凝固过程中，其断面上一般存在三个区域，即固相区、凝固区和液相区（图

1-1), 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”就是依据凝固区的宽窄来划分的。

(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(图 1-1a), 故断面上外层的固体和内层的液体由一条界限(凝固前沿)清楚地分开。随着温度的下降, 固体层不断加厚, 液体层不断减少, 直达铸件的中心, 这种凝固方式称为逐层凝固。

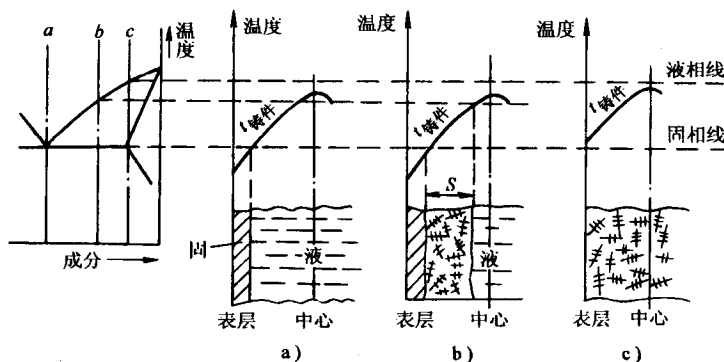


图 1-1 铸件的凝固方式

a) 逐层凝固 b) 中间凝固 c) 糊状凝固

(2) 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断面(图 1-1c)。由于这种凝固方式与水泥类似, 即先呈糊状而后固化, 故称为糊状凝固。

(3) 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(图 1-1b), 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, 难以获得结晶密实的铸件。

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。

3. 影响铸件凝固方式的因素

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(图 1-2)。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:

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, 因带入铸型中热量增多, 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。

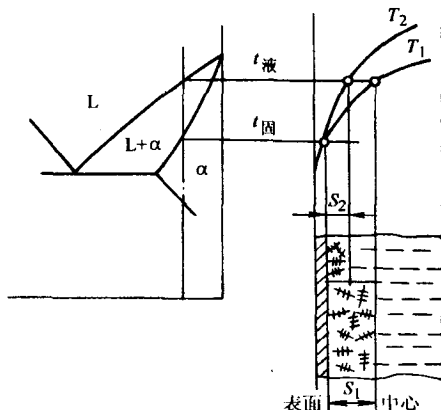


图 1-2 温度梯度对凝固区域的影响

二、液态合金的工艺性能

金属与合金的铸造性能是指金属与合金在铸造成形的工艺过程中, 容易获得外形正确、内部健全的铸件的性质。铸造性能是重要的工艺性能指标, 铸造合金除应具备符合要求的力学性能、物理性能和化学性能外, 还必须有良好的铸造性能。铸造性能通常用充型能力、收缩性等来衡量, 除合金的化学成分外, 工艺因素对铸造性能的影响很大。掌握金属与合金的铸造性能, 对采取合理的工艺措施, 防止铸造缺陷, 提高铸件质量有重要意义。

1. 合金的充型能力

熔融合金填充铸型的过程, 简称充型。熔融合金充满铸型型腔, 获得形状完整, 轮廓清晰铸件的能力, 称合金的充型能力。充型能力首先取决于熔融合金本身的流动能力 (即流动性), 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: 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; 影响金属液在铸型中的动力学条件, 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。

影响合金充型能力的主要因素有:

(1) 合金的流动性 流动性是熔融合金自身的流动能力, 它是影响充型能力的主要因素之一, 是液态金属固有的属性。流动性仅与金属本身的化学成分、温度、杂质含量以及物理性质有关。合金的流动性好, 充填铸型的能力就强, 易于获得尺寸准确、外形完整和轮廓清晰的铸件, 可避免产生铸造缺陷。合金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 1-3 所示。

决定合金流动性的因素主要有:

1) 合金的种类: 合金的流动性与合金的熔点、热导率、合金液的粘度等物理性能有关。如铸钢熔点高, 在铸型中散热快、凝固快, 则流动性差。

2) 合金的成分: 同种合金中, 成分不同的铸造合金具有不同的结晶特点, 对流动性的影响也不相同。图 1-4 为铅锡合金的流动性与相图的关系曲线。纯金属和共晶合金是在恒温下进行结晶的, 结晶时从表面向中心逐层凝固, 凝固层的表面比较光滑, 对尚未凝固的金属的流动阻力小, 故流动性好。特别是共晶合金, 熔点最低, 因而流动性最好 (图 1-5a)。

在一定温度范围内结晶的亚共晶合金, 其结晶过程是在铸件截面上一定的宽度区域内同时进行的。在结晶区域中, 既有形状复杂的枝晶, 又有未结晶的液体。复杂的枝晶不仅阻碍熔融金属的流动, 而且使熔融金属的冷却速度加快, 所以流动性差。结晶区间越大, 流动性越差 (图 1-5b)。

3) 杂质与含气量 熔融合金中出现的固态夹杂物, 将使合金液的粘度增加, 合金的流动性下降。如灰铸铁中的锰和硫, 多以 MnS (熔点 1650°C) 的形式悬浮在铁液中, 阻碍铁液的流动, 使流动性下降。熔融金属中的含气量愈少, 合金的流动性愈好。

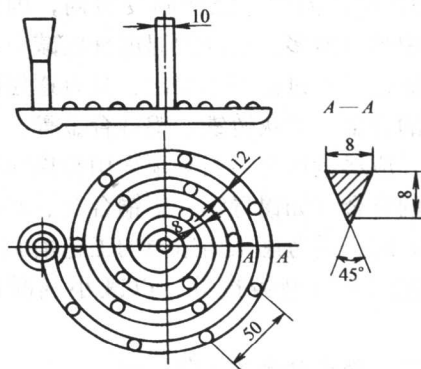


图 1-3 螺旋形标准试样

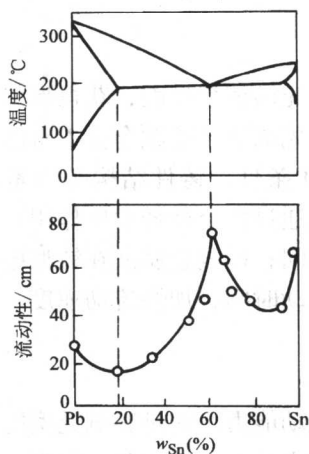


图 1-4 铅锡合金的流动性与相图的关系曲线

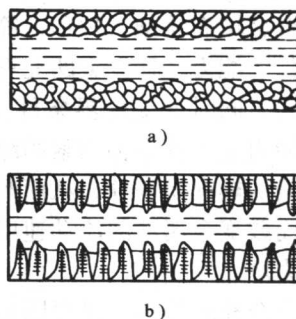


图 1-5 结晶特性对流动性的影响
a) 恒温下 b) 一定温度范围

(2) 浇注条件

1) 浇注温度: 浇注温度对合金的充型能力有决定性影响。浇注温度高, 液态合金所含的热量多, 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, 合金的粘度越低, 传给铸型的热量多, 保持液态的时间延长, 流动性好, 充型能力强。因此, 提高浇注温度是改善合金充型能力的重要措施。但浇注温度过高, 会使合金

的吸气量和总收缩量增大,从而增加铸件产生其他缺陷(如缩孔、缩松、粘砂、晶粒粗大等)的可能性。因此,在保证流动性足够的条件下,浇注温度应尽可能低些。

2) 充型压力:熔融合金在流动方向上所受的壓力愈大,充型能力愈好。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,使铸件易产生砂眼、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 熔融合金充型时,铸型的阻力及铸型对合金的冷却作用,都将影响合金的充型能力。

1) 铸型的蓄热能力:表示铸型从熔融合金中吸收并传出热量的能力。铸型材料的比热和热导率愈大,对熔融合金的冷却作用愈强,合金在型腔中保持流动的时间缩短,合金的充型能力愈差。

2) 铸型温度:浇注前将铸型预热到一定温度,减小了铸型与熔融金属的温度差,减缓了合金的冷却速度,延长了合金在铸型中的流动时间,则合金充型能力提高。

3) 铸型中的气体:浇注时因熔融合金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,阻碍熔融合金的充型。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,或有大的水平面时,均会使充型困难。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。

2. 合金的收缩

(1) 收缩的概念 合金从浇注、凝固直至冷却到室温的过程中,其体积或尺寸缩减的现象,称为收缩。收缩是合金的物理本性,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原因之一。

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。金属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:

$$\text{体收缩率} \quad \epsilon_v = \frac{V_0 - V_1}{V_0} \times 100\% = \alpha_v(t_0 - t_1) \times 100\%$$

$$\text{线收缩率} \quad \epsilon_l = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \times 100\% = \alpha_l(t_0 - t_1) \times 100\%$$

式中 t_0, t_1 ——合金在液态和常温时的温度 ($^{\circ}\text{C}$);

V_0, V_1 ——合金在 t_0, t_1 时的体积 (m^3);

l_0, l_1 ——合金在 t_0, t_1 时的长度 (m);

α_v, α_l ——合金在 t_0 至 t_1 温度范围内的体收缩系数和线收缩系数 ($1/^{\circ}\text{C}$)。

合金的收缩可分为三个阶段，如图 1-6 所示：

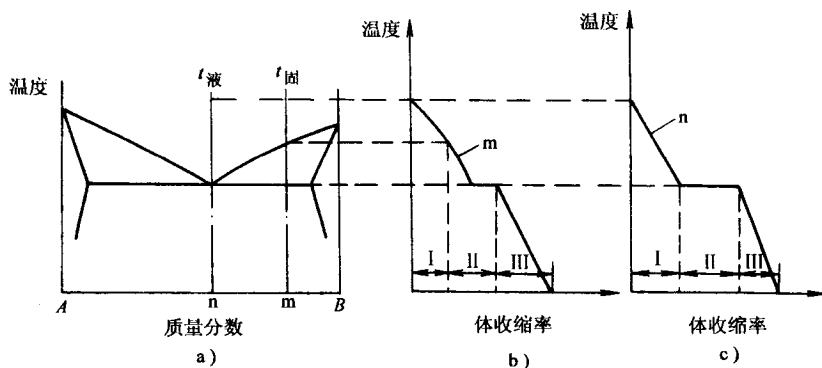


图 1-6 铸造合金收缩过程示意图

a) 合金相图 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

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，即合金在液态时由于温度降低而发生的体积收缩。

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，即熔融合金在凝固阶段的体积收缩。

3) 固态收缩：从凝固终止温度冷却到室温的收缩，即合金在固态由于温度降低而发生的体积收缩。

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 给出了几种铁碳合金的体收缩率。

表 1-1 几种铁碳合金体收缩率

合金种类	碳的质量分数 (%)	浇注温度 /℃	液态收缩率 (%)	凝固收缩率 (%)	固态收缩率 (%)	总体积收缩率 (%)
碳素铸钢	0.35	1610	1.6	3.0	7.86	12.46
白口铸铁	3.0	1400	2.4	4.2	5.4~6.3	12.9
灰铸铁	3.5	1400	3.0	0.1	3.3~4.0	6.4~7.1

(2) 影响收缩的因素

1) 化学成分：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:铸型中的铸件冷却时,因形状和尺寸不同,各部分的冷却速度不同,结果对铸件收缩产生阻碍。此外,铸型和型芯对铸件的收缩也将产生机械阻力,铸件的实际线收缩率比自由线收缩率小。因此,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。

三、铸造性能对铸件质量的影响

铸造性能对铸件质量有显著的影响。收缩是铸件中许多缺陷,如缩孔、缩松、应力、变形和裂纹等产生的基本原因。充型能力不好,铸件易产生浇不到、冷隔、气孔、夹杂、缩孔、热裂等缺陷。

1. 缩孔和缩松

铸型内的熔融合金在凝固过程中,由于液态收缩和凝固收缩所缩减的体积得不到补充,在铸件最后凝固部位将形成孔洞。按孔洞的大小和分布可分为缩孔和缩松。大而集中的孔洞称为缩孔,细小而分散的孔洞称为缩松。缩孔和缩松可使铸件的力学性能、气密性和物理化学性能大大降低,以至成为废品。缩孔和缩松是极其有害的铸造缺陷,必须设法防止。

(1) 缩孔和缩松的形成

1) 缩孔:缩孔通常隐藏在铸件上部或最后凝固部位,有时在机械加工中可暴露出来。缩孔形状不规则,孔壁粗糙。缩孔产生的条件是合金在恒温或很小的温度范围内结晶,铸件壁以逐层凝固的方式进行凝固。缩孔的形成过程如图 1-7 所示。液态合金填满铸型(图 1-7a)后,因铸型吸热,靠近型腔表面的金属很快就降到凝固温度,凝固成一层外壳(图 1-7b),温度下降,合金逐层凝固,凝固层加厚,内部的剩余液体,由于液态收缩和补充凝固层的凝固收缩,体积缩减,液面下降,铸件内部出现空隙(图 1-7c),直到内部完全凝固,在铸件上部形成缩孔(图 1-7d)。已经形成缩孔的铸件继续冷却到室温时,因固态收缩使铸件的外形轮廓尺寸略有缩小(图 1-7e)。

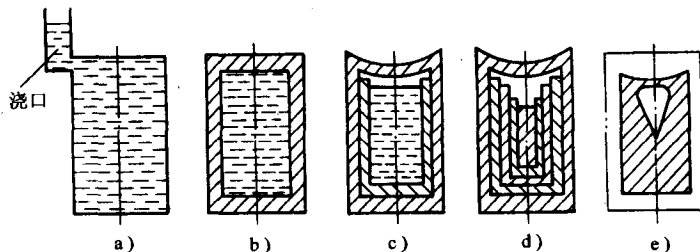


图 1-7 缩孔的形成过程示意图

2) 缩松:形成缩松的基本原因和形成缩孔的相同,但形成的条件却不同。缩松主要出现在结晶温度范围宽、以糊状凝固方式凝固的合金或厚壁铸件中。缩松形成过程如

图 1-8 所示。一般合金在凝固过程中都存在液-固两相区，树枝状晶在其中不断扩大。枝晶长到一定程度（图 1-8a），枝晶分叉间的熔融合金被分离成彼此孤立的状态，它们继续凝固时也将产生收缩（图 1-8b），这种凝固方式称糊状凝固。这时铸件中心虽有液体存在，但由于树枝晶的阻碍使之无法补缩，在凝固后的枝晶分叉间就形成许多微小的孔洞（图 1-8c）。这些孔洞有时只有在显微镜下才能辨认出来，我们称这种很细小的孔洞为疏松或显微缩松。

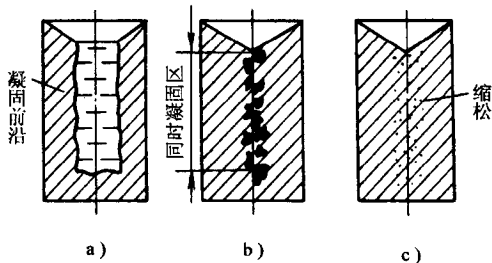


图 1-8 缩松的形成过程示意图

由以上缩孔和缩松的形成过程，可得到以下规律：

① 合金的液态收缩和凝固收缩愈大（如铸钢、白口铸铁、铝青铜），铸件愈易形成缩孔。

② 合金的浇注温度愈高，液态收缩愈大，愈易形成缩孔。

③ 结晶温度范围宽的合金，倾向于糊状凝固，易形成缩松。

纯金属和共晶成分合金倾向于逐层凝固，易形成集中缩孔。

(2) 缩孔和缩松的防止 对一定成分的合金，缩孔和缩松的数量可以相互转化，但其总容积基本一定。图 1-9 为铁碳合金成分与总体积收缩率、缩孔和缩松形成倾向的关系。防止铸件中产生缩孔和缩松的基本原则就是针对合金的收缩和凝固特点制定正确的铸造工艺，使铸件在凝固过程中建立良好的补缩条件，尽可能使缩松转化为缩孔，并通过控制铸件的凝固过程使之符合顺序凝固的原则，并在铸件最后凝固的部位合理地设置冒口，使缩孔移至冒口中，即可获得合格的铸件。主要工艺措施有：

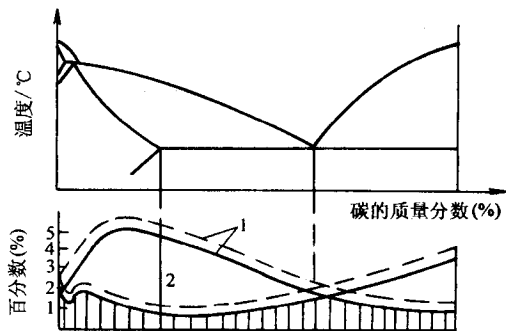


图 1-9 铁碳合金成分与体积收缩率关系

——缩松容积 - - - - 浇注温度提高时的收缩曲线

1—总体积收缩容积 2—缩孔容积

1) 按照定向凝固原则进行凝固：

定向凝固原则是指采用各种工艺措施，使铸件上从远离冒口的部分到冒口之间建立一个逐渐递增的温度梯度，从而实现由远离冒口的部分向冒口的方向顺序地凝固，如图 1-10 所示。这样铸件上每一部分的收缩都得到稍后凝固部分的合金液的补充，缩孔转移到冒口部位，切除后便可得到无缩孔的致密铸件。

2) 合理地确定内浇道位置及浇注工艺：内浇道的引入位置对铸件的温度分布有明显影响，应按照定向凝固的原则确定。例如，内浇道应从铸件厚实处引入，尽可能靠近