

材料成形工艺基础

(金属工艺学热加工部分)

● 主 编 严绍华



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

812

753
V21

北京市普通高等学校教育教学改革试点项目

材料成形工艺基础

(金属工艺学热加工部分)

主编 严绍华



A0957824

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书是按照原国家教委最新颁布的课程教学基本要求和重点院校课程改革指南的精神编写的。本书在内容和体系方面有较大的更新。清华大学音像出版社同时出版与书中插图一一对应的幻灯片和可供选用的电教片。

本书的主要内容有:材料成形理论基础、铸造、塑性成形、焊接、粉末冶金、非金属制品成形、现代材料成形技术、材料成形工艺自动化、材料成形方法选择及机械产品质量控制等。它是多年来生产与科研实践经验的总结,也是教学实践经验的积累。本书实例与实用资料较多,内容翔实,叙述简明扼要,条理清晰,图文并茂。

本书是高等工科院校金属工艺学热加工部分讲课教材。可供电视大学、职工大学、函授大学选用,也可作为工程技术人员和技术工人的参考书。

书 名: 材料成形工艺基础

作 者: 严绍华 主编

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

责任编辑: 魏荣桥

印 刷 者: 清华大学印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 **印 张:** 14.5 **字 数:** 349 千字

版 次: 2001 年 8 月第 1 版 2001 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-04570-4/TH·96

印 数: 0001~5000

定 价: 20.00 元

前 言

本书根据原国家教委 1995 年颁布的《工程材料及机械制造基础》教学基本要求和 1997 年颁布的《重点高等工科院校金工系列课程改革指南》编写,是北京市普通高等学校教育教学改革试点项目《金工课程改革研究与实践》的重要成果之一。本书的编写纲目由北京市多年从事金工课程教学的教授、副教授根据长期教改实践,以及面向新世纪教学改革的新形势经多次研讨后形成,体现了该课程教学的基本经验并面向未来。

《材料成形工艺基础》是我国工科院校中贯彻工艺基础教育的一门重要的技术基础课程。本教材在内容和体系上进行了较大力度的改革,突出材料成形的理论基础,精选铸造、塑性成形、焊接等传统工艺方法,强化综合分析与应用,启迪创新思维的蕴育。较大幅度地引入现代材料成形技术、材料成形工艺自动化等先进工艺方法,以及粉末冶金、非金属制品成形、机械产品质量控制等内容,适应现代机械制造技术的发展。

从培养适应新世纪人才需要出发,本教材不仅注重学生获取知识、分析问题与解决工程技术实际问题能力的培养,而且力求体现注重学生工程素质与创新思维能力的培养。教材中引入了一部分工艺设计常用资料,突出了其实用性与综合性,既考虑到方便学生自学,也利于课后选用。本教材不仅适用于高等院校的教学,也可以作为工程技术人员的参考资料。名词术语等采用最新国家标准和行业标准,插图采用计算机绘制。

本教材由北京市金属工艺学研究会组织部分高校的金工教师编写。参加编写的教师有:清华大学李双寿(第一章第一节、第七章第一节和第八章)、严绍华(第一章第三节和第七章第三节)、李家枢(第九章)、北方交通大学何庆复(第一章第二节和第七章第二节、第四节)、北京工业大学程文彬(第二章)、北京理工大学周郴知(第三章)、北京林业大学钱桦(第五章、第六章和第七章第四节)、北京联合大学机械工程学院陈萍(第四章)。由严绍华教授任主编。由北京理工大学朱铁保教授任主审。由清华大学姚启明、来可宜和北京科技大学樊百林等绘制全书插图。

在本书编写过程中,得到北京市教委高教处和教育部工程材料及机械制造基础课程指导小组的关心与大力支持,同时许多教师对编写工作提供了不少宝贵意见,在此谨表示衷心的感谢。

由于编者水平和经验所限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正,不胜感激。

编 者

目 录

第一章 材料成形理论基础.....	1
第一节 液态成形基础.....	1
一、金属的凝固	1
二、金属与合金的铸造性能	3
三、铸造性能对铸件质量的影响	7
第二节 塑性成形原理	14
一、塑性成形的实质	14
二、冷变形强化与再结晶	16
三、锻造比与锻造流线	18
四、塑性成形基本规律	19
五、金属的锻造性能	22
第三节 冶金连接成形基础	24
一、焊接熔池的化学冶金	24
二、焊接接头的组织和性能	26
三、焊接应力和变形	28
四、金属焊接性	32
第二章 铸造	34
第一节 砂型铸造方法	34
一、手工造型常用方法小结	34
二、机器造型(芯)	34
第二节 特种铸造方法	37
一、熔模铸造	37
二、金属型铸造	38
三、压力铸造	39
四、低压铸造	40
五、离心铸造	41
六、常用铸造方法比较	42
第三节 铸造工艺设计	43
一、铸造工艺设计内容与步骤	43
二、铸造工艺设计中的质量观念、经济意识和环保意识	50
第四节 铸件结构工艺性	51
一、铸造性能对铸件结构的要求	51

二、铸造工艺对铸件结构的要求	53
第五节 常用合金铸件生产	55
一、铸铁件生产	55
二、铸钢件生产	66
三、非铁合金铸件生产	68
第三章 塑性成形	72
第一节 自由锻	72
一、自由锻工艺规程的制定	72
二、自由锻工艺规程实例	77
第二节 模锻	78
一、模锻的特点与应用	78
二、锤上模锻	79
三、其他设备上的模锻	85
第三节 板料冲压	89
一、板料冲压的特点与应用	89
二、板料冲压的基本工序	89
第四节 其他塑性加工方法	97
一、精密模锻	97
二、精密冲裁	98
三、挤压成形	99
四、轧制成形	101
第五节 锻压件结构工艺性	102
一、自由锻锻件的结构工艺性	102
二、模锻件的结构工艺性	104
三、板料冲压件的结构工艺性	104
第四章 焊接	107
第一节 常用熔焊方法	107
一、焊条电弧焊	107
二、埋弧焊	111
三、气体保护电弧焊(简称气体保护焊)	113
四、电渣焊	115
第二节 压焊和钎焊	116
一、电阻焊	116
二、摩擦焊	119
三、钎焊	120
第三节 常用金属材料的焊接	121
一、碳钢的焊接	121
二、低合金结构钢的焊接	122
三、不锈钢焊接	123

四、铸铁的焊补	124
五、非铁金属的焊接	124
第四节 焊接结构工艺设计	126
一、焊接结构生产工艺过程概述	126
二、焊接结构工艺设计	126
三、焊接结构工艺设计实例	132
第五章 粉末冶金	134
第一节 粉末冶金的特点和应用	134
第二节 粉末冶金工艺过程	134
一、粉末的制取	134
二、粉末制品的成形	136
三、粉末冶金新技术	139
第六章 非金属制品成形	144
第一节 塑料制品成形	144
一、概述	144
二、塑料成形加工基础	144
三、塑料制品成形技术	146
第二节 橡胶制品成形	150
一、概述	150
二、橡胶制品成形技术	150
第三节 陶瓷制品成形	151
一、陶瓷制品的主要原料	151
二、陶瓷制品成形技术	151
第四节 复合材料制品成形	153
一、复合材料成形特点	153
二、复合材料成形技术	154
第七章 现代材料成形技术	158
第一节 现代铸造技术	158
一、气压造型	158
二、实型铸造	160
三、铸造凝固新工艺	164
第二节 现代塑性成形技术	168
一、超塑性成形	168
二、高能率成形	171
第三节 现代焊接与热切割技术	173
一、等离子弧焊接与切割	173
二、电子束焊	175
三、激光焊接与切割	176
四、扩散焊	177

第四节 材料成形复合工艺·····	177
一、液态模锻·····	177
二、粉末锻造·····	180
三、喷雾锻造·····	181
第八章 材料成形工艺自动化·····	182
第一节 快速原型技术·····	182
一、快速原型技术简介·····	182
二、快速原型工艺·····	183
三、快速原型技术在热加工中的应用·····	185
第二节 材料成形计算机技术·····	186
一、模拟技术·····	187
二、专家系统·····	189
三、热加工 CAD/CAM ·····	190
第三节 材料成形自动设备及系统·····	193
一、工业机器人·····	193
二、热加工 CNC 及 FMS ·····	196
三、热加工自动生产线·····	198
第九章 材料成形方法选择及机械产品质量控制·····	200
第一节 材料成形方法选择·····	200
一、材料成形方法选择的原则·····	200
二、常用材料成形方法及其制件的分析比较·····	202
三、典型材料成形方法选择举例·····	204
第二节 全面质量管理在机械制造中的应用·····	207
一、机械产品质量的概念·····	207
二、质量管理的发展过程和全面质量管理的概念·····	207
三、全面质量管理的内容·····	208
四、质量成本的概念·····	209
五、统计方法在质量管理中的应用·····	210
第三节 机械产品常用的无损检测技术·····	213
一、致密性检验·····	214
二、渗透检验·····	214
三、磁粉检验·····	215
四、超声波检验·····	216
五、射线检验·····	218
参考文献·····	221

第一章 材料成形理论基础

第一节 液态成形基础

一、金属的凝固

1. 液态金属的结构与性质

熔化是通过加热将金属由固态转变到熔融状态的过程。由于铸造生产中熔化得到的液体金属在熔点以上过热不高(一般高于熔点 $100^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$),在整个固、液、气三态中,这种液态温度靠近于固态而远离气态。

实验表明,金属的熔化是从晶界开始的,是原子间结合的局部破坏。熔化后得到的液态金属是由许多近程有序排列的“游动的原子集团”所组成,其中原子的排列和原有的固体相似,但是存在很大的能量起伏和剧烈的热运动;温度越高,原子集团越小,游动越快。

上述结构特点决定了液态金属具有粘度和表面张力等特性。粘度是介质中一部分质点对另一部分质点作相对运动时所受到的阻力。与气体不同,液体(和固体相似)分子处于连续的相互作用之中,并且作用力很大。液体在外力作用下其形状的改变,与固体受力变形不同,是不可逆的、非弹性的,并且这种形状的改变所需的作用力很小。表面张力是在液体表面上平行于表面方向、且在各方向均相等的张力。液体表面最显著的特点之一,就是液面在表面张力的作用下在靠近器壁处产生弧形弯曲。

实际金属比上述现象复杂得多,因为工业应用的金属主要是合金,而且是多元合金;原材料中存在多种多样的杂质,尽管有些杂质的含量很少,但其原子数仍是惊人的;在熔化过程中金属与炉气、熔剂、炉衬的相互作用还会吸收气体,带进杂质,甚至带入许多固体和液体质点。

2. 铸件的凝固组织

物质由液态转变为固态的过程称为凝固。铸造的实质就是液态金属逐步冷却凝固而形成。由于固态金属均为晶体,因此金属的凝固过程又称为结晶,它通过形核和晶体长大这两个密切联系的基本过程来实现。

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;铸件的微观组织的概念包括晶粒内部的亚结构的形状、大小和相对分布,以及各种缺陷等。铸件的凝固组织对金属材料的力学性能、理化性能影响甚大。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:

原始炉料 钢铁、铝合金和其他一些合金的组织 and 性能,在相同的生产条件下,取决于原材料的微观组织 and 质量,这表明合金原材料的原始状态对合金熔体及最终产品的微观组织有着特殊的遗传效应。加强过热和延长保温时间,可使这种现象减弱或消失。

冷却速度 冷却速度越大,金属液的过冷度越大,产生的晶核数目越多,则晶粒越细。铸造生产中常通过改变浇注温度和冷却条件来细化晶粒。铸件在金属型中的冷却速度要比砂型快,得到的晶粒相应细小;铸件薄壁处的冷却速度快,其晶粒就比厚壁处的晶粒细。

孕育处理 铸造生产中经常采用孕育处理,即在浇注前向金属液中加入一定量的孕育剂,它们作为外来形核核心促使晶粒细化。

3. 铸件的凝固方式和控制铸件凝固的工艺原则

(1) 铸件的凝固方式 铸件在凝固过程中,除纯金属和共晶成分合金外,断面上一般都存在三个区域,如图 1-1 所示,即固相区、凝固(固-液两相)区和液相区。根据凝固区域宽度的不同,铸件的凝固方式可分为逐层凝固、糊状凝固和中间凝固三种方式。

1) 逐层凝固方式 恒温下结晶的纯金属或共晶合金,在铸件凝固过程中其截面上的凝固区域宽度等于零,固液两相界面清楚。随着温度的下降,固体层不断加厚,逐步达到铸件中心。如果合金的结晶温度范围很小,或截面温度梯度很大时,铸件截面的凝固区域则很窄,也属于逐层凝固方式。

2) 糊状凝固方式 如果铸件截面温度场较平坦,或合金的结晶温度范围很宽,铸件凝固的某一段时间内,其凝固区域贯穿整个铸件截面,则在凝固区域里既有已结晶的晶体,也有未凝固的液体。

3) 中间凝固方式 如果合金的结晶温度范围较窄,或者铸件截面的温度梯度较大,铸件截面上的凝固区域介于前二者之间。

铸件的凝固方式决定了铸件的组织结构形式,它与铸件的质量有着内在联系。

(2) 控制铸件凝固的工艺原则 为了保证铸件质量,在铸造工艺设计时,可以通过控制铸件的凝固过程,使之符合“顺序凝固原则”或“同时凝固原则”。

顺序凝固原则 是指采用各种措施保证铸件结构上各部分,按照远离冒口的部分最先凝固,然后是靠近冒口部分,最后才是冒口本身凝固的次序进行,亦即在铸件上从远离冒口或浇口到冒口或浇口之间建立一个递增的温度梯度,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 1-2 所示。

同时凝固原则 是采取工艺措施保证铸件结构上各部分之间没有温差或温差尽量小,使各部分几乎同时凝固,如图 1-3 所示。

对于某一具体铸件,要根据合金的特点、铸件的结构及其技术要求,以及可能出现的其他缺陷,如缩孔、缩松、应力、变形、裂纹等综合考虑,找出主要矛盾,合理选择凝固原则。应该指出,虽然顺序凝固与同时凝固在凝固顺序上是对立的,但由于铸件结构一般比较复杂,因此不能简单地采用顺序凝固或同时凝固。例如,从整体看某个铸件壁厚均匀,但个别部位有热节。在具体的铸件上可以是两者的结合,即采用复合的凝固原则。

应该注意,顺序凝固和逐层凝固是两个不同的概念。逐层凝固是指铸件某一截面上,铸件的凝固从表层逐渐向中心发展,直至中心最后凝固;而顺序凝固则是指从铸件的薄壁到厚壁再到冒口的有次序地凝固。同样,也不要将糊状凝固与同时凝固相混淆。

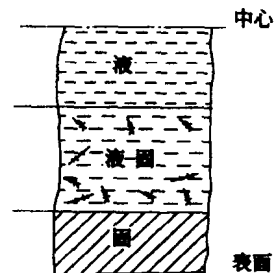


图 1-1 铸件某一时刻的凝固过程状况

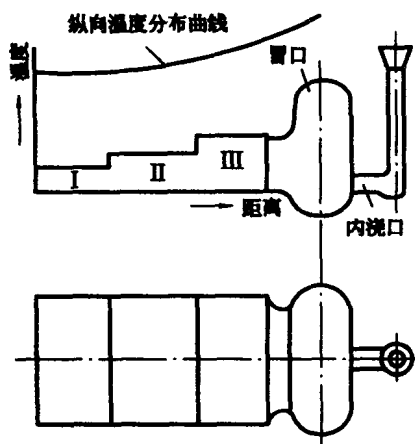


图 1-2 顺序凝固原则示意图

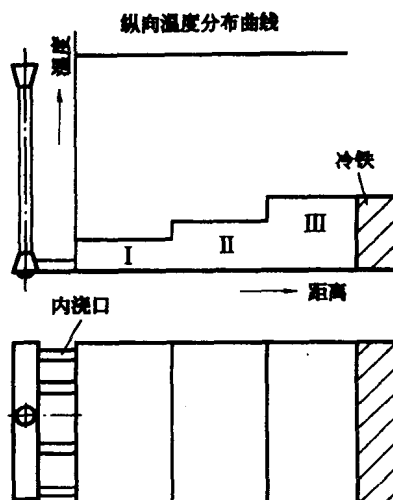


图 1-3 同时凝固原则示意图

二、金属与合金的铸造性能

铸造性能是表示合金在铸造成形的整个工艺过程中,容易获得外形正确、内部健全铸件的性能。它是一个复杂的综合性能,不是单一的物理性质,通常用充型能力、收缩性等来衡量。除合金元素化学成分外,工艺因素对铸造性能影响很大。因此,必须掌握合金的铸造性能,以便采取工艺措施,防止缺陷,提高铸件质量。

1. 合金的充型能力

(1) 充型能力的概念 液态合金充满型腔, 形成轮廓清晰、形状完整的铸件的能力, 叫做液态合金的充型能力。它是考虑铸型及工艺因素影响的熔融金属的流动性。

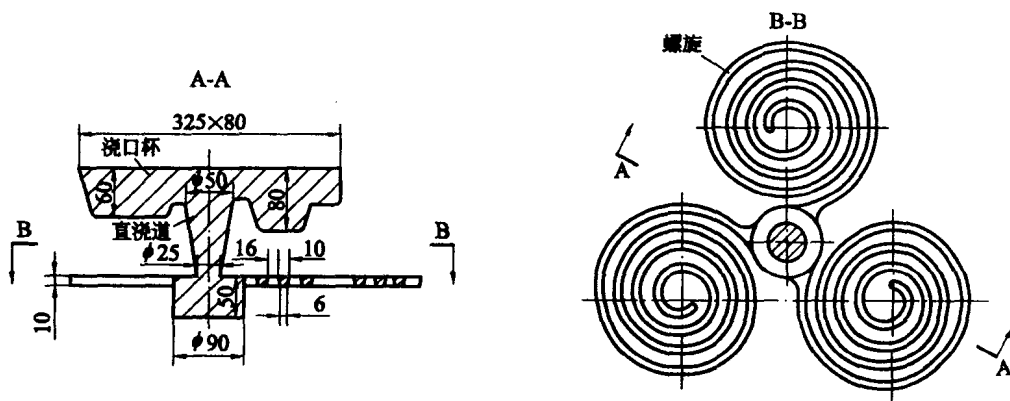


图 1-4 螺旋形流动性试样示意图

液态金属的充型能力,首先取决于液态金属本身的流动能力,即熔融金属的流动性,同时又受外界条件,如铸型条件、浇注条件、铸件结构等因素的影响,是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水动力学条件,从而改变金属液的流动速度。如果能够使金属液的流动时间延长,或流动速度加快,都可以改善金属液的充型能力。

铸造合金流动性的好坏,通常以螺旋形流动性试样的长度来衡量。将金属液浇入如图 1-4 所示的螺旋形试样的铸型中,显然,在相同的铸型及浇注条件下,得到的螺旋形试样越长,表示该合金的流动性越好。如表 1-1 所示,不同种类合金的流动性差别较大,铸铁和硅黄铜的流动性最好,铝硅合金次之,铸钢最差;在铸铁中,流动性随碳、硅含量的增加而提高;同类合金的结晶温度范围越小,结晶时固液两相区越窄,对内部液体的流动阻力越小,合金的流动性也越好(图 1-5);合金液的粘度、结晶潜热、导热系数等物理性能对合金的流动性都有影响,如高铬钢钢液内含有较多的 Cr_2O_3 ,使粘度显著增大,流动性很差。

表 1-1 常用合金的流动性比较

合 金	造型材料	浇注温度(℃)	螺旋线长度(mm)
铸铁(C+Si=6.2%)	砂 型	1300	1800
(C+Si=5.9%)		1300	1300
(C+Si=5.2%)		1300	1000
(C+Si=4.2%)		1300	600
铸钢(C, 0.4%)	砂 型	1600	100
		1640	200
铝硅合金	金属型(300℃)	690~720	100~800
镁合金(Mg-Al-Zn)	砂 型	700	400~600
锡青铜(Sn,9%~11%) (Zn,2%~4%)	砂 型	1040	420
硅黄铜(Si,1.5%~4.5%)		1100	1000

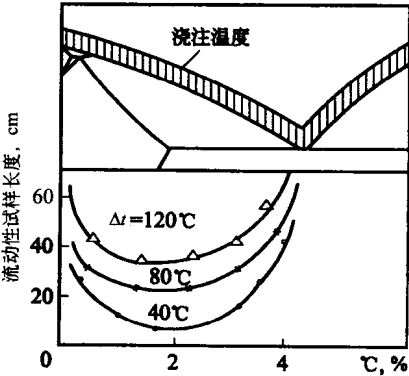


图 1-5 不同过热温度 $\Delta t(t_{\text{浇}} - t_L)$ 下铁碳合金的流动性与相图的关系

(2) 影响充型能力的因素 铸型条件、浇注条件和铸件结构等因素对合金的充型能力有重要影响。

1) 铸型条件。铸型的导热速度越大或对金属液流动阻力越大,合金的充型能力越差。例如,液态合金在金属型中的充型能力比在砂型中差;型砂中水分过多,排气不好,浇注时产

生大量气体,会增加充型的阻力,使合金的充型能力变差。

2) 浇注条件。在一定范围内,浇注温度越高,充型能力越好。但如果浇注温度太高,液态合金吸气越多、氧化加剧,会使充型能力提高的幅度减小,甚至降低充型能力。因此,每种合金都有一定的浇注温度范围,铸钢为 1520℃~1620℃,铸铁为 1230℃~1450℃,铝合金为 680℃~780℃,薄壁复杂件取上限,厚大件取下限。提高金属液的充型压力和浇注速度可使充型能力增加,如增加直浇口的高度,也可以用人工加压方法(低压铸造、压力铸造、真空吸铸及离心铸造等)。此外,浇注系统结构越复杂,流动阻力越大,充型能力越低。

3) 铸件结构。当铸件壁厚过小,壁厚急剧变化,结构复杂以及有大的水平面等结构时,都使金属液的流动困难。因此设计铸件时,铸件的壁厚必须大于最小允许壁厚值(见表 1-2)。有的铸件需设计流动通道。如图 1-6 所示壳体铸件,在大平面上增设肋条有利于金属液充满铸型,并可防止夹砂缺陷的产生。

表 1-2 不同金属和不同铸造方法铸造的铸件最小壁厚 (mm)

	砂 型	金属型	熔 模	压 铸
灰 铸 铁	3	>4	0.4~0.8	—
铸 钢	4	8~10	0.5~1	—
铝 合 金	5	3~4	—	0.6~0.8

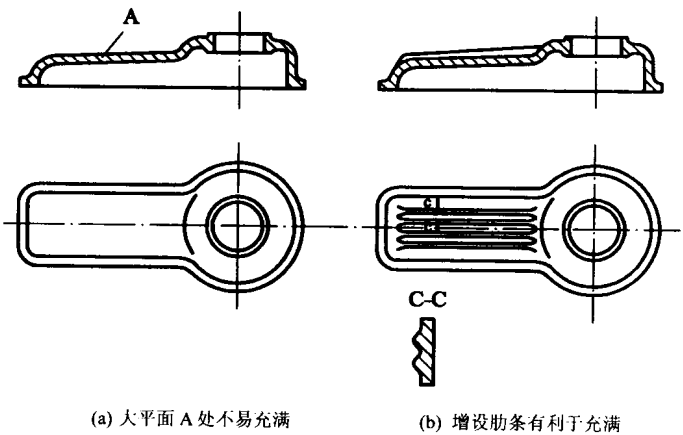


图 1-6 壳体结构对充型能力的影响

对上述因素如能加以控制或改变,则可改善合金的充型能力。

2. 合金的收缩

(1) 收缩的概念 合金从液态冷却到常温的过程中,体积和尺寸缩小的现象,称为收缩。收缩是铸造合金的物理本性,又是影响铸件几何形状和尺寸,以及致密性,甚至会造成某些缺陷的重要铸造性能之一。

合金的收缩量通常用体收缩率和线收缩率来表示。金属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。相应地:

体收缩率
$$\epsilon_v = \frac{V_0 - V_1}{V_0} \times 100\% = \alpha_v(t_0 - t_1) \times 100\% \quad (1-1)$$

$$\text{线收缩率} \quad \epsilon_l = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \times 100\% = \alpha_l(t_0 - t_1) \times 100\% \quad (1-2)$$

式中:

V_0, V_1 ——金属在 t_0 和 t_1 时的体积, m^3

l_0, l_1 ——金属在 t_0 和 t_1 时的长度, m

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

(2) 收缩的三个阶段 任何一种液态金属浇入铸型后,都要经历液态收缩、凝固收缩和固态收缩三个互相联系的收缩阶段,各阶段的收缩特性不同,对铸件质量有不同的影响。

1) 液态收缩 指合金从浇注温度冷却到液相线温度过程中的收缩。由公式(1-1)可看出,浇注温度越高,使液态收缩率增加。为减小合金液态收缩及氧化吸气,并且兼顾流动性,浇注温度一般控制在高于液相线温度 $50^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ 。

2) 凝固收缩 指合金在液相线和固相线之间凝固阶段的收缩。纯金属和共晶合金等的结晶温度为一定值,凝固收缩只由状态改变引起。大多数合金,都具有一定的结晶温度范围,使得凝固收缩由状态改变和温度下降两部分引起,结晶温度范围越大,则凝固收缩率越大。

液态收缩和凝固收缩都使合金体积减小,一般表现为铸型内液面的降低。如果没有外来金属液的补充,则在铸件内形成缩孔和缩松,因此,这两个阶段的收缩是铸件中产生缩孔或缩松的基本原因。

3) 固态收缩 指合金从固相线温度冷却到常温时的收缩。固态收缩通常直接表现为铸件外形尺寸的减小,通常用线收缩率表示。它对铸件形状和尺寸精度影响很大。固态收缩又是铸件中产生应力、变形和裂纹的基本原因。

(3) 影响收缩的因素 合金的总体积收缩为液态收缩、凝固收缩和固态收缩三个阶段收缩之和,它和金属本身的成分、温度以及冷却凝固过程中的组织转变有关。不同成分的铁碳合金的收缩率列于表 1-3,其中,灰铸铁的收缩率较小,是由于灰铸铁中所含碳在结晶时大多以游离态的石墨析出,石墨比容大,使铸铁体积膨胀(每析出 1% 的石墨,铸铁体积约增加 2%),因而抵消了一部分收缩,称为“自补缩”作用。可见,含碳量越高,灰铸铁的收缩越小。与灰铸铁不同,碳钢的总体积收缩随含碳量的提高而增大,这主要是因为钢液的比容及其结晶温度范围随含碳量的提高而增加所致。

表 1-3 铁碳合金的收缩率

合金种类	体收缩率	线收缩率
碳素铸钢	10~14.5	~2
白口铸铁	12~14	~2
灰 铸 铁	5~8	~1

铸件的实际收缩不仅与合金本身的收缩性能有关,还与浇注条件、铸型条件和铸件结构等因素有关。实际生产中,铸件收缩时,还会受到一些外界阻力的影响。铸件在铸型中的收缩如果仅受到金属表面与铸型表面之间可以忽略的摩擦阻力的阻碍时,称为自由收缩。如果铸件在铸型中的收缩,还受到其他阻碍,则称为受阻收缩。例如,铸件在冷却凝固时受到铸型和型芯的阻碍不能自由收缩,受阻收缩率显然小于自由收缩率(见表 2-7)。对于尺寸

精度要求较高或结构复杂的铸件,其收缩率必须经过实验确定。

三、铸造性能对铸件质量的影响

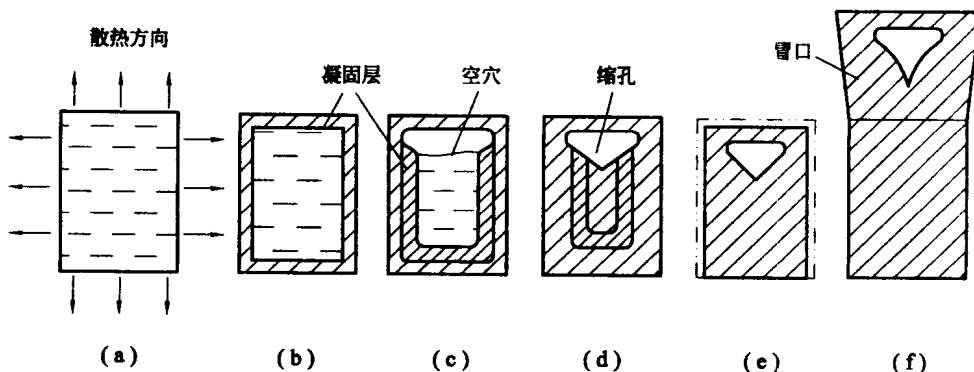
铸造性能对铸件质量有显著的影响。收缩是铸件中许多缺陷,如缩孔、缩松、应力、变形和裂纹等产生的基本原因。充型能力不好,铸件易产生浇不到、冷隔、气孔、夹杂、缩孔、热裂等缺陷。

1. 缩孔和缩松

铸件凝固结束后往往在某些部位出现孔洞,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力学性能、气密性和物理化学性能大大降低,以致成为废品。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 缩孔产生的基本原因是合金的液态收缩和凝固收缩值远大于固态收缩值。缩孔形成的条件是金属在恒温或很小的温度范围内结晶,铸件壁以逐层凝固方式进行凝固。以圆柱体铸件为例分析缩孔的形成过程,如图 1-7 所示。缩孔产生的部位一般在铸件最后凝固区域,如壁的上部或中心处,以及铸件两壁相交处,即热节处。此外,铸件内浇口附近的地方也是热节。



(a) 充型后液态收缩从浇注系统得到补偿; (b) 铸件表层凝固结壳,内浇口被冻结;

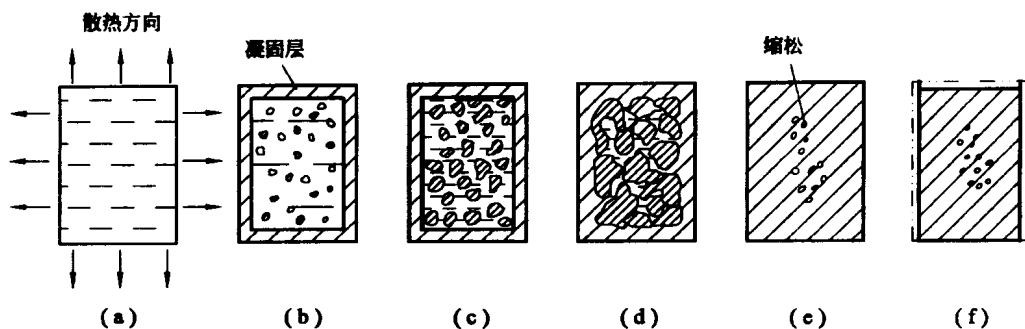
(c) 液态收缩和凝固收缩之和远超过固态收缩,合金液与硬壳顶面分离;

(d) 凝固后铸件上部形成倒锥形缩孔; (e) 固态收缩; (f) 铸件顶部设置冒口,缩孔移至冒口。

图 1-7 缩孔形成过程示意图

2) 缩松 形成缩松的基本原因虽然和形成缩孔的原因相同,但是形成的条件却不同,它主要出现在结晶温度范围宽、呈糊状凝固方式的合金中,或铸件厚壁中。图 1-8 为缩松形成过程示意图。缩松一般出现在铸件壁的轴线区域、热节处、冒口根部和内浇口附近,也常分布在集中缩孔的下方。

(2) 缩孔和缩松的防止 对一定成分的合金而言,缩孔和缩松的数量可以相互转化,但它们的总容积基本上是一定的,即: $V_{\text{总}} = V_{\text{孔}} + V_{\text{松}}$ 。图 1-9 所示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原则,并在铸件最后凝固



- (a) 充型后液态收缩从浇注系统得到补偿；(b) 铸件表面凝固结壳，内部液相和固相共存；
 (c), (d) 继续凝固，固相不断长大，直至相互接触，合金液被分割成许多小的封闭区；
 (e) 封闭区内液体凝固收缩得不到补充，形成许多小而分散的孔洞；(f) 固态收缩。

图 1-8 缩松形成过程示意图

的地方安置一定尺寸的冒口，使缩孔移至冒口中，就可以获得合格的铸件。

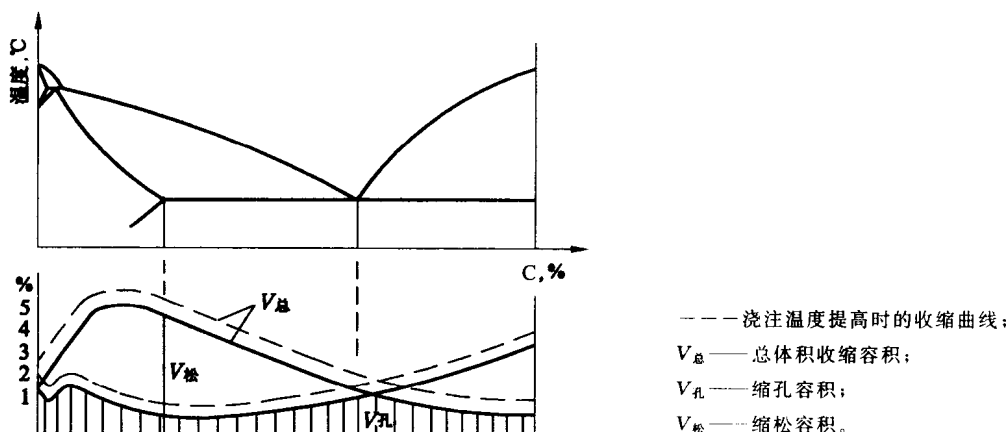


图 1-9 铁碳合金成分和体积收缩的关系

主要工艺措施有：

1) 合理确定内浇口位置及浇注工艺。例如内浇口应从铸件厚实处引入，尽可能靠近冒口或由冒口引入。浇注温度和浇注速度应根据铸件结构、浇注系统类型确定。一般采用高温慢浇可加强顺序凝固，有利于补缩，以消除缩孔。

2) 合理应用冒口、冷铁等工艺措施。冒口的尺寸应保证冒口比铸件补缩部位凝固得晚，并有足够的金属液供给。如图 1-10 所示，冒口能够补缩的最大距离称为有效补缩距离 L ，当铸件长度超过冒口有效补缩距离时，补缩不到的部位会出现缩松或缩孔。用铸铁、钢和铜等金属材料制成的激冷物称为冷铁。冷铁放入铸型中，用以加大铸件某一局部的冷却速度，调节铸件的凝固顺序。它与冒口相配合，可扩大冒口的有效补缩距离(图 1-11)。

顺序凝固原则适用于收缩大或壁厚差别较大，易产生缩孔的合金铸件，如铸钢、高强度灰铸铁和可锻铸铁等。冒口补缩作用好，铸件致密度高。其缺点是铸件各部分温差较大，冷却速度不一致，易产生铸造应力、变形、裂纹等，此外冒口消耗金属多，切割费事。

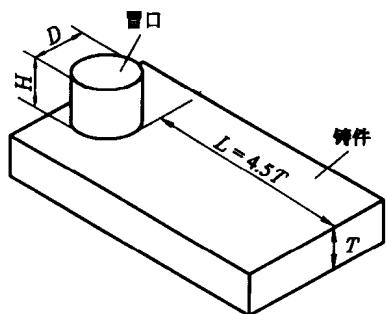


图 1-10 铸钢平板冒口的有效补缩距离

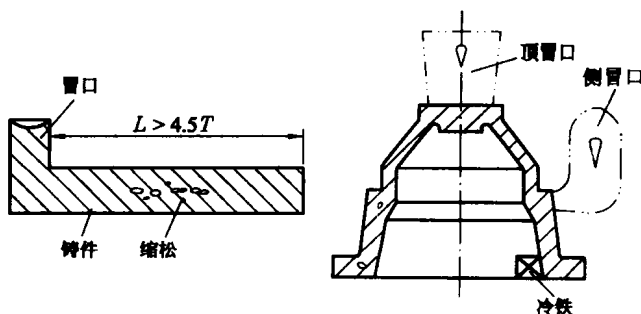


图 1-11 冒口和冷铁

2. 铸件的热裂

热裂是在铸件凝固末期高温下形成的,此时合金处于热脆区。裂纹表面与空气接触而被氧化,呈氧化色。热裂纹不仅降低了金属的力学性能,还引起应力集中,使用时会因裂纹扩展而导致铸件断裂。热裂纹是铸钢件、可锻铸件坯件(白口铸铁)和某些铝合金铸件常见的缺陷之一。

热裂的形成主要与两方面的因素有关:

1) 铸件的凝固方式 宽凝固温度范围呈糊状凝固方式的合金最容易产生热裂。随着凝固温度范围变窄,合金的热裂倾向变小,恒温凝固的共晶合金最不容易形成热裂。

2) 凝固时期受到阻碍 热裂形成于铸件凝固末期和稍低于固相线温度,但并不意味着铸件此时必然会产生热裂。这主要取决于铸件此时的收缩受到阻碍的大小。铸件凝固区域固相晶粒骨架开始收缩后受到外部和内部阻碍造成足够大的应力,则会导致热裂的产生。

热裂一般分布在应力集中部位(尖角或断面突变处)或热节处。防止热裂的方法是使铸件结构合理,壁厚均匀(图 1-12),避免热节;改善铸型和型芯的退让性,减小浇、冒口对铸件收缩的机械阻碍;此外,减少合金中有害杂质含量,可提高合金高温强度。如硫增加铸钢的热脆性,使热裂倾向大大提高。

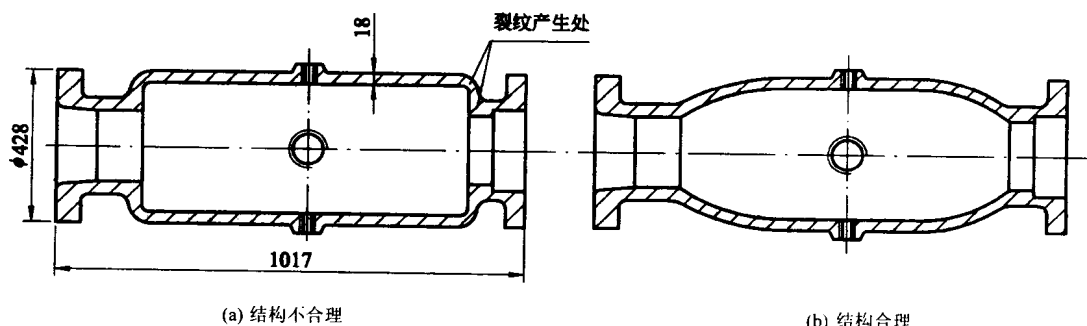


图 1-12 铸钢件结构对热裂的影响

3. 铸造应力

(1) 铸造应力形成的原因 铸件在凝固、冷却过程中,由于各部分体积变化不一致、彼此制约而引起的应力称为铸造应力。铸造应力可能是暂时性的,当引起应力的原因消除以后,应力随之消失,称为临时应力;否则为残留应力。最常见的铸造应力有热阻碍引起的热