

工程材料及机械制造基础 II

热加工工艺基础

长沙铁道学院 何少平 许晓嫦 主编



中国铁道出版社

热加工工艺基础

中国

306
35

工程材料及机械制造基础Ⅱ

热加工工艺基础

工程材料及机械制造基础系列课程教材

编写委员会

主 任	王良君		
副主任	何少平	吴庆记	
委 员	尹志华	许晓嫦	刘天民
主 编	何少平	许晓嫦	
主 审	李秀山		



中 国 铁 道 出 版 社

1998年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书是根据国家教委 1995 年颁布的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》编写的。

本书重点介绍了铸造、压力加工、焊接生产中的基本原理、基本工艺和结构工艺性等内容,并且介绍了毛坯选择、质量分析、经济分析及近年来机械制造过程中出现的新材料、新工艺、新技术等,其中粘接、环境保护等是首次编写的。

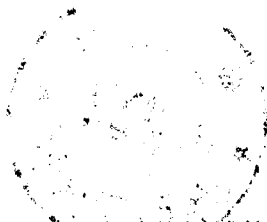
本书为高等工院校机械类、近机类专业的教材,也可作为职工大学、电视大学、函授大学的教材及有关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

热加工工艺基础/何少平、许晓娣主编. —北京:中国铁道出版社,1997.10
ISBN 7-113-02823-3

I. 热… II. 何… III. 热加工 IV. TG306

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 22885 号



中国铁道出版社出版发行

(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑 吴桂萍 封面设计 马利

河北速化胶印厂印刷 各地新华书店经售

1998年3月第1版 第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:14.5 字数:354千字

印数:1—5000册

ISBN7-113-02823-3/TH·67 定价:19.20元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

前 言

在机械制造中,材料、毛坯制造方法和切削加工方法的应用与选择,以及工艺路线的制定和零件结构的工艺性分析,都是机械制造工程技术人员必须具备的基本素质,也是应该掌握的基本技能。培养这种素质和技能就是“工程材料和机械制造基础”课程的主要任务和目标。

为落实国家教委 1995 年 11 月新颁布的“工程材料及机械制造基础课程教学基本要求”,我们“工程材料及机械制造基础系列课程教材编写委员会”组织有长期教学经验的教师编写了“机械工程材料”“热加工工艺基础”“机械加工工艺基础”系列教材。本书是工程材料及机械制造基础系列课程教材之Ⅰ。

在编写过程中注意体现以下几点:

1. 力求体现铁路的特点,以铁路生产中常用加工方法为主讲授基本理论与应用。
2. 注意整个教材的系统性,在教材后面较多地介绍了零件材料的选择和毛坯生产方法的选择之间的关系,以提高学生综合分析和解决问题的能力。
3. 为了满足铁路发展的需要,本书较多地介绍了热加工新技术、新工艺,较详细地介绍了粘接原理与技术。
4. 为了提高学生综合工程素质,较详细地介绍了各类毛坯生产的质量、质量检验及管理、毛坯生产的经济分析、热加工生产过程中的环境保护等方面的理论与实践知识。
5. 每章后附有复习思考题。
6. 在铸造篇及压力加工篇中适当地介绍了铸铁石墨化、合金塑性变形与再结晶等金属学理论以适应不同教学安排。

全书一律采用国家最新的标准术语和计量单位。

参加本书编写的有:长沙铁道学院何少平(第一、三、四、五、六、二十章)、许晓嫦(第九、十、十一、十二、十三、十五、十六、十七、十八、十九章)、钟洙云(第二、七章);大连铁道学院王延辉(第八章);兰州铁道学院刘天民(第十四章)。全书由何少平、许晓嫦主编,大连铁道学院李秀山主审。

由于我们的水平有限,编写时间仓促,教材中的缺点、错误敬请读者指正。

工程材料及机械制造基础系列

课程教材编写委员会

1997 年 10 月

目 录

第一篇 铸 造

第一章 铸造工艺基础	2
第一节 铸件的凝固方式.....	2
第二节 熔融合金的充型.....	3
第三节 铸造合金的收缩.....	6
第四节 铸造应力、铸件的变形与裂纹.....	10
第五节 合金的偏析及铸件中的气孔	14
复习思考题	15
第二章 常用铸造合金	17
第一节 铸铁及铸铁件生产	17
第二节 铸钢件生产	25
第三节 常用有色金属铸件生产	27
复习思考题	30
第三章 砂 型 铸 造	32
第一节 造型方法及选择	32
第二节 铸造工艺图	35
第三节 综合工艺分析	39
复习思考题	42
第四章 特种铸造	46
第一节 熔 模 铸 造	46
第二节 金属型铸造	47
第三节 压 力 铸 造	49
第四节 低 压 铸 造	51
第五节 离 心 铸 造	52
第六节 其他铸造方法	54
第七节 铸造生产经济分析	57
复习思考题	61
第五章 铸件结构设计	62
第一节 合金铸造性能对铸件结构的要求	62
第二节 铸造工艺对铸件结构的要求	68
第三节 铸造方法对铸件结构的要求	71
复习思考题	74
第六章 铸件的质量与质量检验	77
第一节 铸件的质量概念	77

第二节 铸件的质量控制	77
第三节 铸件的质量检验	82
复习思考题	83
第七章 铸造生产的环境保护	84
第一节 环境科学与环境保护	84
第二节 铸造车间的空气污染及防治	84
第三节 铸造生产的废物资源化简介	90
复习思考题	91

第二篇 金属压力加工

第八章 金属塑性变形	92
第一节 金属塑性变形基本理论	92
第二节 塑性变形后金属的组织与性能	93
第三节 金属的锻造性能与加热	96
第四节 金属的超塑性	99
复习思考题	100
第九章 自由锻	101
第一节 自由锻工艺	101
第二节 自由锻工艺规程的制订	103
第三节 自由锻件结构设计	107
第四节 合金钢锻造特点	108
复习思考题	109
第十章 模型锻造	111
第一节 锤上模锻	111
第二节 胎模锻造	118
第三节 其它设备上的模锻	119
第四节 锻造生产经济分析	122
复习思考题	123
第十一章 板料冲压	125
第一节 板料冲压基本工序	125
第二节 冲模及其结构	131
第三节 冲压件的结构设计	132
复习思考题	134
第十二章 金属压力加工新工艺	136
第一节 精密模锻	136
第二节 零件的轧制	137
第三节 零件的挤压与拉拔	139
第四节 其它压力加工工艺	141
复习思考题	143
第十三章 压力加工生产的环境保护	144

复习思考题.....	147
------------	-----

第三篇 焊接与粘接

第十四章 焊接基本原理	148
第一节 电弧焊冶金过程.....	148
第二节 焊接接头的组织与性能.....	150
第三节 焊接应力与焊接变形.....	152
第四节 焊缝缺陷及质量检验.....	156
复习思考题.....	159
第十五章 焊接方法	161
第一节 熔 焊.....	161
第二节 压 焊.....	165
第三节 钎 焊.....	170
第四节 其它焊接方法.....	171
第五节 焊接生产经济分析.....	176
复习思考题.....	177
第十六章 常用金属材料的焊接	179
第一节 金属材料的焊接性.....	179
第二节 钢 的 焊 接.....	180
第三节 铸铁的补焊.....	181
第四节 常用有色金属的焊接.....	182
复习思考题.....	184
第十七章 焊接结构设计	186
第一节 焊接结构件材料的选择.....	186
第二节 焊接方法的选择.....	187
第三节 焊接接头工艺设计.....	187
第四节 焊接结构工艺设计举例.....	191
复习思考题.....	193
第十八章 焊接生产环境保护	195
复习思考题.....	197
第十九章 粘 接	198
第一节 粘接的基本原理.....	198
第二节 粘 接 剂.....	199
第三节 粘 接 工 艺.....	202
第四节 粘接的特点及应用.....	206
复习思考题.....	207

第四篇 毛坯选择

第二十章 毛坯选择	208
第一节 机械零件失效的主要形式.....	208

第二节 机械零件材料选择的一般原则.....	211
第三节 毛坯的分类及生产特点.....	213
第四节 毛坯生产方法的选择.....	214
第五节 毛坯选择的经济性分析.....	217
复习思考题.....	220
参考文献.....	221

第一篇 铸 造

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和性能铸件的成形方法称为铸造。铸造是机械制造中生产机器零件或毛坯的主要方法之一。与其他成形方法相比,铸造生产具有下列特点:

1. 铸造方法适应性强,工艺灵活性大

铸件的轮廓尺寸可由几毫米到数十米,壁厚由 0.5 mm 到 1 m 左右;质量可由几克到数万千克。利用铸造可以生产形状简单或形状十分复杂的零件。对于具有复杂内腔的零件,铸造往往是最佳的成形方法。机器中形状复杂的箱体、缸体、床身、机架等往往都是铸件。

可以铸造的合金范围很广。铸铁、铸钢,以及铜合金、铝合金、镁合金、锌合金等均可用于铸造。其中铸铁材料应用最广,铁路内燃机车发动机的缸体、缸盖、缸套、部分曲轴、凸轮轴等都是铸铁件。火车车钩、摇枕、货车车轮、铁路道岔等常用铸钢制造。

2. 铸件成本低、设备简单、生产周期短

铸造所用原材料来源广泛,大部分可以就地取材,而且还可以利用金属废料和废机件。

铸造生产不需要大型、精密的设备。而且由熔融金属直接就可获得形状和尺寸与零件接近的毛坯或直接获得零件(精密铸造),大量节省了金属材料 and 加工工时,以及生产组织、半成品运输等费用,降低了铸件的生产成本。

3. 铸件的力学性能较差,质量不够稳定

铸件中常常有许多缺陷(如气孔、缩孔、缩松等),而且内部组织粗大,不均匀,其力学性能比相同材料的锻件低。此外,铸造工序繁多,一些工艺过程较难控制,使铸件质量不够稳定,废品率较高。

4. 铸造生产劳动强度大,生产条件差

铸造生产劳动强度大,生产条件差,铸造过程中产生的废气、粉尘等对周围环境造成污染。

近几十年来,我国铸造技术发展很快。许多新型铸造材料、新工艺、新技术和新设备的出现和现代化铸造车间或工厂的建立,使铸造劳动条件大大改善,环境污染得到控制,铸件的质量和性能也大大提高,铸件的应用范围也日益扩大。

铸造生产方法可分为砂型铸造和特种铸造两大类。砂型铸造是最基本的铸造方法,约占铸件总量的 90%以上。

第一章 铸造工艺基础

第一节 铸件的凝固方式

一、铸件的凝固方式

铸件的成形过程,是熔融金属在铸型中的凝固过程。合金的凝固方式,对铸件的质量、性能以及铸造工艺等都有极大的影响。

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、液相区。其中,液相与固相并存的凝固区的宽窄,对铸件的质量影响较大。所谓铸件的“凝固方式”就是根据凝固区的宽窄来划分的。

图 1-1 表示某合金状态图中 a 、 b 、 c 三种合金的凝固方式。 a 代表共晶合金, b 代表窄结晶温度范围的合金, c 代表宽结晶温度范围的合金, S 表示凝固区的宽窄。

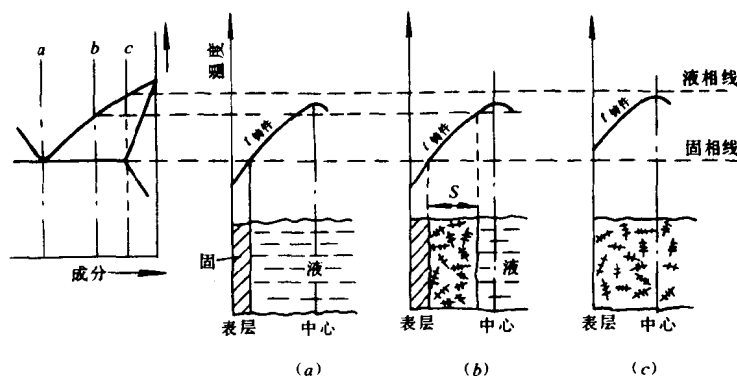


图 1-1 铸件的凝固方式

1. 逐层凝固

从图 1-1(a) 可以看到,恒温结晶的共晶合金(或纯金属)的凝固区域宽几乎等于零,铸件断面上外层的固体与内层的液体由一条清晰的界限(凝固前沿)分开。其凝固过程表现为固相区逐层地由表向里向液相区增厚,逐渐达到铸件中心。这种凝固方式称为逐层凝固。

2. 糊状凝固

如果合金的结晶温度很宽,而且铸件断面上温度分布梯度较为平坦,在凝固的某段时间内铸件表层还没有形成明显的固相区,而液、固并存的凝固区已贯穿整个断面,铸件的凝固先呈糊状而后固化,故称为糊状凝固,如图 1-1(c) 所示。

3. 中间凝固

大多数合金的凝固是介于逐层凝固和糊状凝固之间的,称为中间凝固方式,如图 1-1(b) 所示。

二、影响铸件凝固方式的因素

从图 1-1 可以看出,合金的凝固方式主要受合金的结晶温度范围和凝固时铸件断面上温度分布梯度的影响。

1. 合金的结晶温度范围

由相图理论可知,合金的结晶温度范围仅与合金的化学成分有关。合金结晶温度范围愈小,凝固区域愈窄,合金倾向于逐层凝固。从 Fe-C 状态图上可知,钢的结晶温度范围随碳含量的提高而增大,因而在砂型铸造时,低碳钢为近于逐层凝固方式,中碳钢为中间凝固方式,高碳钢为近于糊状凝固方式。

2. 铸件的温度梯度

在合金成分已定的情况下,合金的结晶温度范围已经确定,铸件凝固区的宽窄主要取决于内外层间的温度梯度。若铸件的温度梯度较小,则对应的凝固区较宽(图 1-2),合金倾向于糊状凝固。

铸件的温度梯度主要取决于:

(1)合金的性质 合金的结晶温度低,导热系数高,结晶潜热大,铸件内部温度均匀,温度梯度小。

(2)铸型条件 铸型材料蓄热能力弱,铸型预热温度高,对合金的冷却作用减弱,铸件温度梯度小。

(3)浇注温度与铸件厚度 合金浇注温度高,铸件壁厚大,合金带入铸型中的热量多,凝固时冷却速度变慢,铸件温度梯度小。

逐层凝固的合金,铸造时合金的流动性较好,充型能力强,缩孔、缩松比较集中,便于防止,其铸造性能较好。糊状凝固的合金流动性较差,易产生浇不到、冷隔等缺陷,而且易于产生缩松,难以获得结晶紧实的铸件。

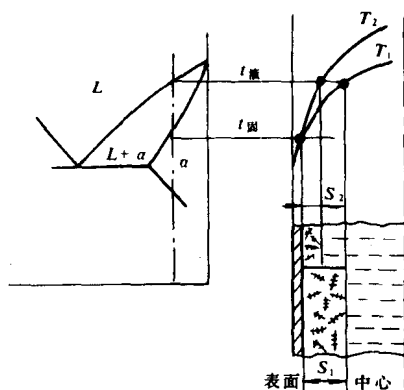


图 1-2 温度梯度对凝固区域的影响

第二节 熔融合金的充型

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、轮廓清晰的健全铸件的能力,叫合金的充型能力。

熔融合金通常是在纯液态情况下充满型腔的。有时也会边充型,边结晶,即在结晶状态下流动。在充型过程中,当熔融合金中形成的晶粒堵塞充型通道时,合金的流动停止。如果停止流动出现在型腔被充满之前,则造成铸件的浇不到或冷隔等缺陷。在熔融合金充满型腔之后,合金液的流动并没有完全停止,还要进行熔融合金的收缩和补偿,这个过程对防止缩孔、缩松,获得健全的铸件有重大的影响。

影响合金充型能力的主要因素有合金的流动性、浇注条件和铸型填充条件等。

一、合金的流动性

熔融合金的流动能力称合金的流动性。一般流动性好的合金,其充型能力也强。

熔融合金的流动性通常以“螺旋型试样”(图 1-3)长度来衡量。在相同的浇注条件下,所

浇出的试样愈长,合金的流动性愈好。用螺旋试样测出的合金流动性,实质上是在试样形式、铸型和浇注条件相同情况下,不同熔融合金表现出的充型能力的差异。所以在有些书中,将合金的流动性与充型能力看成是一个概念。

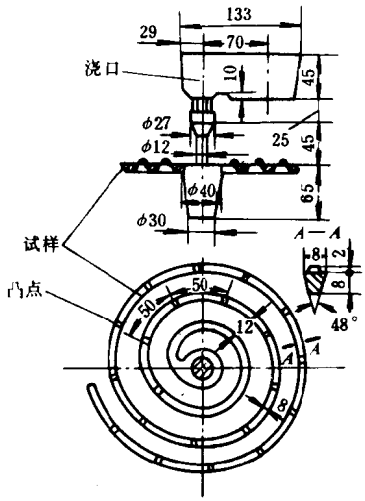


图 1-3 螺旋试样

合金的流动性好,充型能力强,容易获得形状完整、轮廓清晰的铸件,也有利于铸造出薄壁或形状复杂的铸件。合金的流动性好,金属液中的气体、非金属夹杂物也容易上浮和排除,也容易对合金冷凝过程中的收缩进行补缩,有利于获得优质铸件。反之,合金的流动性不好,充型能力差,铸件易产生浇不到、冷隔、气孔、夹杂物和缩孔等缺陷。合金的流动性是合金重要的铸造性能之一。

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、导热系数、合金液的粘度等物理性能有关。铸钢的熔点高,在铸型中散热快,凝固快,流动性差;铝合金导热性能好,流动性也较差。

表 1-1 列举了几种常用合金的流动性。

表 1-1 常用铸造合金的流动性

铸造合金种类	铸型种类	浇注温度(℃)	螺旋线长度(mm)
铸铁,碳硅含量	6.2% 砂 型	1300	1800
	5.9% 砂 型	1300	1300
	5.2% 砂 型	1300	1000
	5.0% 砂 型	1300	900
	4.2% 砂 型	1300	600
铸钢,碳含量	0.4% 砂 型	1600	100
	砂 型	1640	200
纯 铝	金属型 300℃	680	400
铝硅合金	金属型 300℃	680~720	700~800
镁铝锌合金	砂 型	700	400~600
锡锌青铜	砂 型	1040	420
锡锌铅镍青铜	砂 型	980	195
	砂 型	1050	240
	砂 型	1100	340
硅黄铜	砂 型	1100	1000

2. 合金的成分

同种合金中,成分不同时,流动性不同。纯金属和共晶成分合金的结晶在恒温下进行,以逐层凝固的方式从表面开始向中心凝固,凝固层的内表面比较平滑,未凝固的熔融金属流动阻力较小,合金的流动性较好[图 1-4(a)]。此外,在相同浇注温度下,共晶合金的结晶温度最低,相对来说熔融金属的过热度大,推迟了合金的凝固时间,因此共晶成分合金的流动性最好。

其他成分的合金,其结晶在一定温度范围内进行,结晶为中间凝固方式,结晶区域为一个液相与固相并存的两相区,初生的树枝状晶使凝固层内表面参差不齐,增加了液体流动阻力,使合金的流动性变差[图 1-4(b)]。当合金的结晶温度范围很宽时,结晶按糊状凝固方式进行,合金的流动性很差。

图 1-5 表示了 Fe-C 合金流动性与状态图的关系。图中表明,纯铁和共晶铸铁的流动性最好;结晶温度范围愈大,合金流动性愈差。

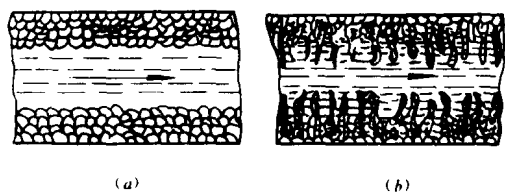


图 1-4 结晶特性对流动性的影响

(a)在恒温下凝固;(b)在一定温度范围内凝固。

VC(2 050 ℃)、BN(3 000 ℃)、TiC(3 180 ℃)等以及铝、镁合金中的氧化物夹杂,都使合金的流动性下降。但是,在熔融合金中呈液态的夹杂物由于熔点较低,在熔融合金的温度下有过热,使合金的粘度减小,增加合金的流动性。如在酸性炉熔炼的钢液,其夹杂物多为熔点较低的硅酸盐,在同样过热条件下,熔融钢液的流动性比在碱性炉中熔炼的要好。

熔融合金中含气量愈少,合金的流动性愈好。

二、浇注温度与压力

实际生产中,合金的充型能力除与合金本身的流动性有关外,还常常受到浇注温度与压力,铸型结构与温度等许多工艺因素的影响,所以合金的充型能力实际上是考虑铸型及工艺因素影响时熔融合金的流动性。

浇注温度对熔融合金的充型能力有决定性影响。浇注温度高,金属液的粘度小;过热度高,传给铸型的热量多,在铸型中合金的冷却速度下降,保持液态的时间延长,合金的充型能力增加。增加合金过热度或提高浇注温度,有利于防止铸件产生浇不到、冷隔等缺陷,这在浇注薄壁铸件和形状复杂的铸件尤为重要。但浇注温度也不宜过高,浇注温度过高,熔融合金吸气增多、氧化严重,可能反使流动性下降,而且铸件容易产生缩孔、缩松、粘砂、粗晶及气孔等缺陷。在保证充型能力的前提下,浇注温度应尽可能低些。通常灰铸铁件的浇注温度为 1 200~1 380 ℃,铸钢为 1 520~1 620 ℃;铝合金为 680~780 ℃,薄壁复杂件取上限,厚大件取下限。

熔融合金在流动方向上所受的压力愈大,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,可提高合金充型能力。但过高的砂型浇注压力,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,因人工加大了充型压力,充型能力较强。

三、铸型性质及结构

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

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。铸型材料的比热和导热

3. 杂质与含气量

熔融合金中出现的固态夹杂物,将使液体的粘度增加,合金的流动性下降。所以合金成分中凡能形成高熔点夹杂物的元素均降低合金的流动性,如灰铸铁中锰和硫,生成的 MnS 熔点高达 1 620 ℃,钢中的 MnO(1 785 ℃)、SiO₂(1 710 ℃)、Al₂O₃(2 050 ℃)、Cr₂O₃(1 900 ℃)、

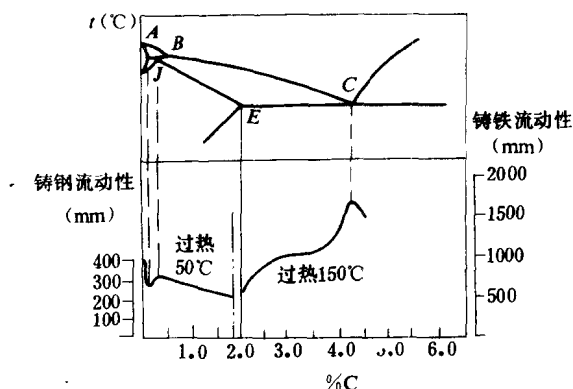


图 1-5 Fe-C 合金流动性与状态图的关系

系数愈大,对熔融金属的冷却作用愈强,合金在型腔中保持流动的时间减少,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,减少了铸型与熔融金属间的温度差,减缓了合金的冷却速度,延长合金在铸型中流动时间,合金充型能力提高。

3. 铸型中的气体

铸型排气能力差,浇注时由于熔融金属在型腔中的热作用而产生的大量气体来不及排出,气体压力增大,阻碍熔融金属的充型。铸造时,一方面应尽量减少气体产生,另一方面,要增加铸型的透气性或开设出气冒口、明冒口等,使型腔及型砂中的气体顺利排出。

4. 铸型结构

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,均会使合金充型困难。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允许壁厚。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。

第三节 铸造合金的收缩

一、合金的收缩

熔融合金注入铸型、凝固、直至冷却到室温的过程中,其体积和尺寸缩小的现象称为合金的收缩。合金的收缩也是合金的重要铸造性能之一。许多铸造缺陷,如缩孔、缩松、变形、开裂等的产生,都与合金的收缩有关。

合金的收缩量通常用体收缩率或线收缩率来表示。当合金由 t_0 下降到 t_1 时,合金的体收缩率和线收缩率分别以单位体积和单位长度的变化量来表示。即:

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

$$\text{线收缩率} \quad \epsilon_L = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \times 100\% = \alpha_L(t_0 - t_1) \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 V_0, V_1 ——合金在 t_0, t_1 时的体积(cm^3);

L_0, L_1 ——合金在 t_0, t_1 时的长度(cm);

α_V, α_L ——合金在 t_0 至 t_1 温度范围内的平均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(图 1-6)。

1. 液态收缩

液态收缩指合金从浇注温度 $t_{\text{浇}}$ 冷却到液相线温度 $t_{\text{液}}$ 过程中的收缩。合金的液态收缩会引起型腔内液面的降低。由式(1-1)可知,液态体收缩率与液态合金的过热度($t_{\text{浇}} - t_{\text{液}}$)和液态体收缩系数 $\alpha_{V\text{液}}$ 有关,为减少合金收缩及吸气,并兼顾其流动性, ($t_{\text{浇}} - t_{\text{液}}$) 一般控制在 $50 \sim 150^\circ\text{C}$ 之间。

2. 凝固收缩

凝固收缩指合金在凝固阶段的收缩,即合金从液相线温度冷却至固相线温度之间的收缩。对于具有结晶温度范围的合金,凝固收缩包括合金从 $t_{\text{液}}$ 冷却到 $t_{\text{固}}$ 所发生的收缩和合金由液态转变成固体状态所引起的收缩[图 1-6(b)]。前者与合金的结晶温度范围有关。结晶范围较大时,凝固体收缩率也大。对于恒温下结晶的金属和合金,凝固收缩仅仅只有由于状态改变而引起的收缩,一般具有一定的值。

凝固收缩一般情况下也表现为型腔内液面的下降,因此,凝固收缩与液态收缩是铸件产生

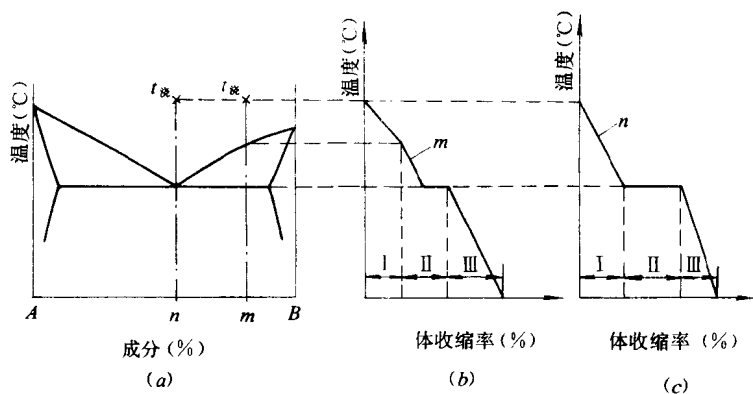


图 1-6 铸造合金收缩过程示意图

(a)合金状态图;(b)具有结晶温度范围合金(m 成分)的收缩过程;(c)共晶合金(n 成分)的收缩过程。

I—液态收缩; II—凝固收缩; III—固态收缩。

缩孔的基本原因。如果合金的结晶温度范围较宽,结晶过程中树枝状晶较为发达,则凝固收缩也是铸件产生缩松的主要原因。

3. 固态收缩

固态收缩指合金从固相线温度 $t_{\text{固}}$ 冷却至室温时的收缩。固态收缩通常直接表现为铸件外形尺寸的变小,一般多用线收缩率表示。如果合金的线收缩率不受铸型等外部条件阻碍,称为自由线收缩率,其值由下式表示:

$$\epsilon = \alpha(t_{\text{固}} - t_{\text{室}}) \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 α ——合金在 $t_{\text{固}}$ 至 $t_{\text{室}}$ 温度范围内的平均线收缩系数($1/^\circ\text{C}$);

ϵ ——自由线收缩率。

合金的固态体收缩系数与线收缩系数之间,体收缩率与线收缩率之间存在着一定的关系,即:

$$\alpha_{V\text{固}} = 3\alpha \quad (1-4)$$

$$\epsilon_{V\text{固}} = 3\epsilon \quad (1-5)$$

合金的线收缩率不仅对铸件的形状和尺寸精度有直接影响,而且是铸件产生铸造应力、热裂、冷裂和变形等缺陷的基本原因。

合金的总体积收缩为以上三个阶段收缩之和。它和金属本身的成分、浇注温度和相变有关。

二、影响合金收缩的因素

1. 化学成分

常用的铸造合金中,铸钢的收缩最大,灰铸铁的最小(表 1-2)。铸铁收缩率小的原因是因为铸铁结晶时,内部的碳大部分以石墨的形态析出,石墨的密度较小,析出时所产生的体积膨胀弥补了部分凝固收缩。灰铸铁中,碳是形成石墨的元素,硅是促进石墨化的元素,所以铸铁碳硅含量越多,收缩率越小。硫能阻碍石墨的析出,使铸铁收缩率增大。适当地增加锰,锰与铸铁中的硫形成 MnS ,抵消了硫对石墨化的阻碍作用,铸铁收缩率减小。但含锰量过高,铸铁的收缩率又有所增加。

表 1-2 几种合金的线收缩率

合金种类	线收缩率(%)		合金种类	线收缩率(%)	
	自由收缩	受阻收缩		自由收缩	受阻收缩
灰口铸铁 3.5%~3.7%C	1.04		铸钢 低碳、低合金钢	1.6~2.0	1.3~1.7
中小型铸件	0.9~1.1	0.8~1.0	低铬、高合金钢	1.3~1.7	1.0~1.4
大中型铸件	0.8~1.0	0.7~0.9	有色金属 锡青铜	1.40	1.20
特大型铸件	0.7~0.9	0.6~0.8	无锡青铜	2.0~2.2	1.6~1.8
孕育铸铁	0.9~1.1	0.7~0.9	铝硅合金	1.0~1.2	0.8~1.0
黑心可锻铸铁			铝铜合金	1.60	1.40
壁厚大于 25 mm	0.6~0.8	0.5~0.6	铝镁合金	1.30	1.0
壁厚小于 25 mm	0.8~1.0	0.6~0.8	镁合金	1.60	1.20
球墨铸铁	1.0	0.8			

碳素钢随碳含量增加,凝固收缩增加(结晶温度范围增加),固态收缩略减,总体收缩率增加(表 1-3)。

表 1-3 碳钢总体积收缩率与碳含量关系

C%	0.00	0.10	0.35	0.75	1.00
$\epsilon_{V总}$	10.03	10.07	11.8	12.9	14.0

注:从 1 600 ℃冷却到 20 ℃。

2. 浇注温度
浇注温度愈高,过热度愈大,合金液态收缩增加。通常浇注温度每提高 100 ℃,体收缩率增加约 1.6%。因此浇注温度愈高,形成缩孔倾向愈大。

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,铸型和芯子对铸件的收缩也将产生机械阻力,铸件的_{实际}线收缩率要比自由线收缩率小。在设计模样时,尤其是对结构复杂,尺寸精度要求较高的铸件,其_{实际}收缩率要经过实验测定。

三、铸件中的缩孔与缩松

浇入铸型的熔融合金在凝固过程中,如果液态收缩和凝固收缩所缩减的体积得不到液体的补足,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。

1. 缩孔
缩孔是在铸件上部或最后凝固部位出现的容积较大的孔洞。其形状极不规则,孔壁粗糙并带有枝晶状,多呈倒圆锥体。

缩孔的形成如图 1-7 所示。假设合金呈逐层凝固方式,当熔融合金填满铸型型腔后,随温度下降,合金产生液态收缩。此时,浇口尚未凝固,型腔是充满的。当温度降到结晶温度后,紧靠铸型的合金首先凝固形成一层外壳,同时浇口凝固,形成的硬壳如同一个里面充满熔融金属的密闭容器〔图 1-7(b)〕。随温度继续下降,固体层加厚。当铸型内合金的液态收缩和凝固收缩大于固态收缩时,内部剩余液体的体积变小,液面下降,在铸件上部出现空隙。由于大气压力,硬壳上部也可能向内凹陷〔图 1-7(c)〕。继续冷却、凝固、收缩,待金属全部凝固后,在最后凝固的部位(铸件上部)形成一个倒锥形的孔洞——缩孔〔图 1-7(d)〕。铸件完全凝固后,整个铸件还会进行固态收缩,外形尺寸进一步缩小〔图 1-7(e)〕,直至室温。

纯金属和靠近共晶成分的合金,在恒温或较窄的温度范围内凝固,呈逐层凝固的方式,合金流动性好,倾向于形成集中的缩孔。

2. 缩松

铸件断面上出现的分散、细小的缩孔为缩松。小的缩松有时借助放大镜才能发现。缩松形成的原因和缩孔基本相同,即铸型内合金的液态收缩和凝固收缩大于固态收缩,同时在铸件最后凝固的区域得不到熔融合金的补偿,或者由于合金的凝固温度范围较宽,合金倾向于糊状凝固时,被先结晶出的固体分割的封闭小体积液体的收缩得不到补充而形成。图 1-8 为缩松形成示意图。

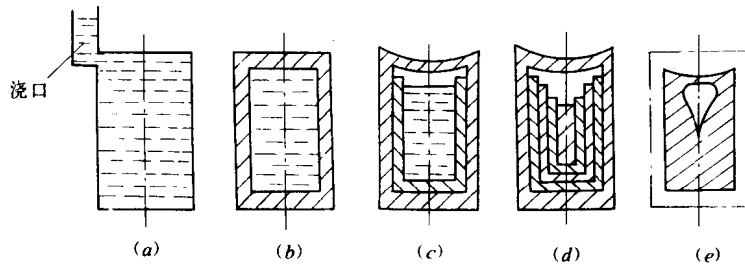


图 1-7 缩孔形成过程示意图

缩松一般出现在铸件壁的轴线、内浇道附近和缩孔的下方。

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长大。当枝状晶长到一定程度后,枝晶分叉间的熔融金属被分离成彼此孤立的状态,它们继续凝固时也将产生收缩。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进行补缩,在凝固后的枝晶分叉间就形成许多微小孔洞。这些孔洞只有在显微镜下才能够辨认出来,我们称这种很细小的孔洞为疏松(显微缩松)。

疏松在铸件中或多或少都存在着,对于一般铸件来说,往往不把它作为一种缺陷看待,只有当铸件要求具有高的气密性和高力学性能时,才考虑减少铸件的疏松。

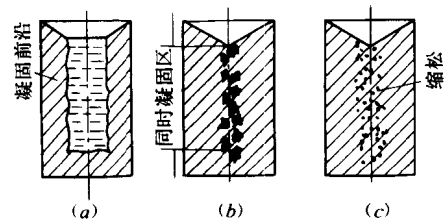


图 1-8 缩松形成示意图

由以上缩孔和缩松形成过程,可以得到如下规律:

- (1)合金的液态收缩和凝固收缩愈大(如铸钢、白口铸铁、铝青铜等),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。

3. 缩孔与缩松的防止

缩孔与缩松使铸件受力的有效面积减少,而且在孔洞部位易产生应力集中使铸件力学性能下降。缩孔与缩松还使铸件的气密性、物理性能和化学性能下降。缩孔与缩松严重时,铸件不得不报废。因此,生产中要采取必要的工艺措施予以防止。

防止铸件产生缩孔的根本措施是采用定向凝固。所谓定向凝固,即使铸件按规定方向从一部分到另一部分逐渐凝固的过程。按定向凝固的顺序,先凝固部位的收缩,由后凝固部位的熔融金属来补充;后凝固部位的收缩,由冒口或浇注系统的金属液来补充,使铸件各部分的收缩都能得到补充,而将缩孔转移到铸件多余部分的冒口或浇注系统中(图 1-9)。切除多余部分便可得到无缩孔的致密铸件。

实现定向凝固的措施是在铸件可能出现缩孔的厚大部位(热节)安放冒口,或在铸件远离