



“十三五”国家重点图书出版规划项目
材料科学研究与工程技术系列

材料成型工艺基础

Material Forming Technology Foundation

- 翟封祥 主编
- 曲宝章 李荣华 副主编
- 黄光烨 主审

哈尔滨工业大学出版社

“十三五”国家重点图书出版规划项目
材料科学研究与工程技术系列

材料成型工艺基础

翟封祥 主编
曲宝章 李荣华 副主编
黄光烨 主审

本书力求简明扼要，着重培养学生专业兴趣，又展示了计算机应用，增加了多实例，使学生以一定的...
本书由翟封祥担任主编，曲宝章、李荣华担任副主编，黄光烨教授主审。
参加本书编写的有：翟封祥(第1-3章、第5-11章、第13章)，曲宝章(第12章、第17章)...

在本书的编写过程中，得到了任增明教授的指导，同时接收了许多教师对编写工作提出的宝贵意见，在此一并表示由衷的感谢。
在编写过程中还参考了大量的有关教材、手册、学术杂志等，所用参考文献均已列于书后，在此对有关作者表示衷心的感谢。

常州大学图书馆
藏书章

哈尔滨工业大学出版社

ISBN 978-7-302-49287-3
30.00元
2018年2月第1版
2018年2月第1次印刷
787mm×1092mm 1/16 印张12.75 字数380千字
地址：哈尔滨市南岗区学府路10号 邮编150008
电话：0451-8014719
网址：http://libpuc.hit.edu.cn

内 容 简 介

本书主要内容包括,金属材料的液态成型加工工艺、金属材料的塑性成型加工工艺、金属材料的连接成型加工工艺、非金属工程材料成型加工工艺、表面成型及强化技术简介、材料成型方法的选择等。本书在编写中注重精炼,既对已编教材有一定的继承性,又体现了先进制造技术的发展和培养的要求,是编者多年教学经验的积累和工程实践的结晶。本书条理清楚,内容翔实,实例较多,图文并茂。

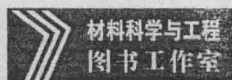
本书是高等工科院校机械类各专业的教材,还是相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

材料成型工艺基础/翟封祥主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2018.2
ISBN 978-7-5603-4978-7

I. ①材… II. ①翟… III. ①工程材料-成型-工艺-高等学校-教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 257381 号



责任编辑 张秀华
封面设计 卞秉利
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 15.75 字数 380 千字
版 次 2018 年 2 月第 1 版 2018 年 2 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-4978-7
定 价 30.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

“材料成型工艺基础”是研究金属和非金属工程材料成型工艺的技术基础课。在培养学生的工程意识、创新思想、运用规范的工程语言和解决工程实际问题的能力方面,尤其具有其他课程不能替代的重要作用。

随着我国制造业的迅速发展,随着制造业市场对专业人才的需要,对高等教育的人才培养提出了新的要求。不仅要注重培养学生获取知识的能力,更要注重学生全面素质的提高。本书在课程内容和体系上进行了一定的探索,更新了部分内容,并十分注意各章节的内在联系,对机械制造中的传统工艺方法进行了精心取舍,优选了较为成熟的新技术、新工艺。

本书力求简明扼要,重点突出,既注意与实习教材的有机衔接,又避免简单重复;既注重培养学生的专业兴趣,又展示了专业的发展前景。本书对原体系有所调整,内容上增加了计算机应用、表面技术等新工艺和新技术,特别是在选材及选择成型工艺方面增加了许多实例,给学生以一定的启发。

本书由翟封祥担任主编,曲宝章、李荣华担任副主编。翟封祥负责全书的统稿。本书由黄光烨教授主审。

参加本书编写的有:翟封祥(第1~3章,第5~11章,第14章),黄光烨(第4章,第13章),曲宝章(第12章,第17、18章),李荣华(第15章),孙兰英(第16章)。

在本书的编写过程中,得到了任瑞明教授的指导,同时吸收了许多教师对编写工作提出的宝贵意见,在此一并表示由衷的感谢。

在编写过程中还参考了大量的有关教材、手册、学术杂志等,所用参考文献均已列于书后,在此对有关作者表示衷心感谢。

由于受编者理论水平和教学经验所限,书中难免有疏漏与欠妥之处,恳请读者批评指正,以便共同搞好教材建设工作。

编 者

2017年9月

4.2 铸造工艺设计	(57)
4.3 典型铸件工艺分析	(64)
复习思考题	(66)
第2章 金属塑性成型加工工艺	
第5章 金属塑性成型理论基础	(71)
5.1 金属塑性变形的实质	(71)
5.2 金属塑性变形后的组织和性能	(72)
5.3 金属的可靠性及其影响因素	(74)
复习思考题	(76)

目 录

第1篇 金属液态成型加工工艺	
第1章 液态成型理论基础	(3)
1.1 液态金属的凝固	(3)
1.2 液态合金的铸造性能	(5)
1.3 铸件质量与检验	(13)
复习思考题	(15)
第2章 常用铸造合金	(17)
2.1 铸 铁	(17)
2.2 铸 钢	(29)
2.3 铸造有色金属及合金	(32)
复习思考题	(33)
第3章 铸造方法及其发展	(34)
3.1 砂型铸造	(34)
3.2 特种铸造	(35)
3.3 液态成型新工艺	(45)
3.4 计算机在液态成型中的应用简介	(47)
复习思考题	(48)
第4章 铸件结构与工艺设计	(49)
4.1 铸件结构设计	(49)
4.2 铸造工艺设计	(57)
4.3 典型铸件工艺分析	(64)
复习思考题	(66)
第2篇 金属的塑性成型加工工艺	
第5章 金属塑性成型理论基础	(71)
5.1 金属塑性变形的实质	(71)
5.2 金属塑性变形后的组织和性能	(72)
5.3 金属的可锻性及其影响因素	(74)
复习思考题	(76)

第6章 常用金属塑性成型方法	(77)
6.1 自由锻与胎模锻	(77)
6.2 模 锻	(81)
6.3 锻件结构设计	(90)
6.4 轧制、挤压与拉拔	(93)
复习思考题	(97)
第7章 板料冲压	(99)
7.1 板料冲压基本工序	(99)
7.2 冲压模具及其结构	(109)
7.3 冲压件结构设计	(111)
复习思考题	(114)
第8章 金属塑性成型新技术	(116)
8.1 金属塑性成型新技术	(116)
8.2 计算机在塑性成型中的应用简介	(121)
复习思考题	(122)
第3篇 金属材料的连接成型加工工艺	
第9章 焊接理论基础与焊接质量	(125)
9.1 电弧焊的本质	(125)
9.2 焊接接头的组织与性能	(127)
9.3 焊接应力与焊接变形	(130)
9.4 焊接质量检验	(134)
复习思考题	(138)
第10章 焊接方法及其发展	(140)
10.1 熔化焊	(140)
10.2 压力焊	(148)
10.3 钎 焊	(152)
10.4 焊接新方法	(154)
10.4 计算机技术在焊接中的应用简介	(158)
复习思考题	(160)
第11章 常用金属材料的焊接	(161)
11.1 金属材料的焊接性	(161)
11.2 钢的焊接	(163)
11.3 铸铁的补焊	(165)
11.4 常用有色金属及其合金的焊接	(166)
11.5 异种金属的焊接	(169)

复习思考题	(170)
第12章 焊接结构与工艺设计	(172)
12.1 焊接材料和焊接方法的选择	(172)
12.2 焊接件结构设计	(173)
复习思考题	(183)
第13章 粘 接	(184)
13.1 粘接的基本原理与粘接剂	(184)
13.2 粘接工艺与应用	(188)
复习思考题	(192)

第4篇 非金属材料的成型加工工艺

第14章 工程塑料及橡胶成型工艺	(195)
14.1 工程塑料的种类及成型方法	(195)
14.2 工程塑料件结构设计	(201)
14.3 橡胶的种类及成型方法	(203)
复习思考题	(205)
第15章 工程陶瓷及复合材料的成型工艺	(206)
15.1 陶瓷种类及成型工艺	(206)
15.2 复合材料种类及成型工艺	(211)
复习思考题	(214)

第5篇 表面成型及强化技术简介

第16章 热喷涂与气相沉积技术	(217)
16.1 热喷涂技术	(217)
16.2 气相沉积技术	(222)
复习思考题	(224)

第6篇 材料成型方法的选择

第17章 工程材料的选择	(227)
17.1 零件的失效分析	(227)
17.2 机械零件材料选择的一般原则	(228)
17.3 定量选材方法简介	(229)
复习思考题	(231)

第1章 第1篇 理论基础

液态成型的过程首先是充满型腔,然后凝固成型,这两个过程对铸件质量有很大影响。充满型腔时,金属液在型腔中流动,对型腔壁产生冲刷作用,影响铸件的组织性能。

金属液态成型加工工艺

本章首先简要介绍凝固组织的特点和凝固方式,着重分析液态金属的铸造性能和铸件质量。

金属液态成型工艺是将金属进行熔炼,得到所需成分并具有足够的流动性的液态金属,然后将液态金属浇入到铸型的型腔中,冷却凝固后得到具有与型腔一样形状和尺寸的铸件。金属液态成型工艺俗称铸造,其历史悠久,应用广泛。其特点为:

(1) 最适合铸造形状复杂,特别是具有复杂内腔的毛坯或零件;

(2) 铸件的大小几乎不受限制,铸件壁厚可由 0.5 mm 到 1 m,重量可从几克到几百吨;

(3) 适用于铸造的材料范围广,价格低廉。

铸造在机械制造中应用极其广泛,在现代各种类型的机器设备中,如机床、内燃机等铸件所占的比例很大。但铸件存在着许多不足,如铸件内部组织粗大,成分不均匀,力学性能较差,而且铸造工艺复杂,铸件质量不稳定,废品率高,生产条件差。

近几十年来,铸造技术发展迅速,出现了各种新工艺、新设备,不仅可以生产出各种各样结构的铸件,而且铸件的质量和性能也大大提高,铸造应用范围也日益扩大。

本篇讲述液态成型加工工艺,其中第1章主要讲述液态成型的基础理论,液态合金铸造性能与铸件质量;第2章介绍常用铸造合金的性能和应用;第3章讲述各种铸造方法的特点、应用和铸造新技术;第4章以砂型铸造为例讲述铸件结构工艺性和铸造工艺图。

第1章 液态成型理论基础

液态成型的过程首先是充满型腔,然后凝固成型,这两个过程对铸件质量有很大影响。充满型腔的过程会影响到铸件的形状和尺寸;凝固过程决定了铸件内部组织和铸件的力学性能。

本章首先简要介绍凝固组织的特点和凝固方式,着重分析液态金属的铸造性能和铸件质量。

1.1 液态金属的凝固

1.1.1 凝固组织

在铸造生产中,液态金属一般高于熔点 $100 \sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$,在铸造条件下比较容易凝固成型。金属的凝固过程也是一个结晶过程,包括形核和晶体长大两个基本过程。

凝固组织宏观上指的是晶粒的形态、大小和分布等情况,微观上指的是晶粒内部结构的形状、大小和分布等情况。凝固组织对铸件的力学性能影响很大,一般情况下,晶粒越细小均匀,铸件的强度、硬度越高,塑性和韧性也越好。

影响凝固组织的主要因素有炉料、铸件的冷却速度和生产工艺。炉料的成分与组织状态对凝固组织有直接影响。冷却速度快,形核数目多,晶粒细小。在铸造生产中,常采用孕育处理,即在浇注时向液态金属中加入一定量的孕育剂作为形核核心,细化晶粒。

1.1.2 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,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度 S 来划分的,如图1.1(b)所示。铸件的凝固方式有:

(1) 逐层凝固

如图1.1(a)所示,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,所以断面上外层的固相和内层的液相由一条界限(凝固前沿)清楚地分开。随着温度的下降,固相层不断加厚、液相层不断减少,直达铸件的中心,这种凝固方式称为逐层凝固。

(2) 糊状凝固

如图1.1(c)所示,如果合金的结晶温度范围很宽,且铸件断面上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。由于这种凝固方式与水泥类似,即先呈糊状而后凝固,故称为糊状凝固。

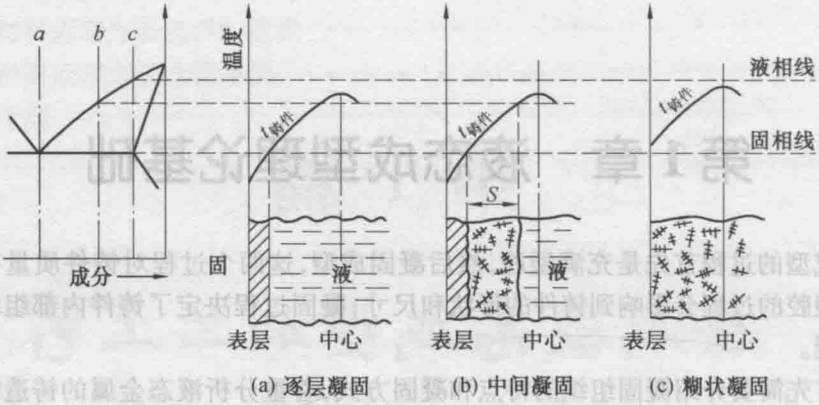


图 1.1 铸件的凝固方式

(3) 中间凝固

如图 1.1(b) 所示,大多数合金的凝固介于逐层凝固和糊状凝固之间,称为中间凝固方式。

铸件质量与其凝固方式密切相关。一般地说,逐层凝固时,铸件质量好,而糊状凝固时,难以获得结晶紧实的铸件。

影响铸件凝固方式的因素:

(1) 合金的结晶温度范围

合金的结晶温度范围越小,凝固区域越窄,越倾向于逐层凝固。如砂型铸造时,低碳钢为逐层凝固;高碳钢、锡青铜因结晶温度范围变宽,为糊状凝固。

(2) 铸件断面的温度梯度

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断面的温度梯度,如图 1.2 所示。若铸件的温度梯度由小变大(图中 $T_1 \rightarrow T_2$),则其对应的凝固区由宽变窄($S_1 \rightarrow S_2$)。

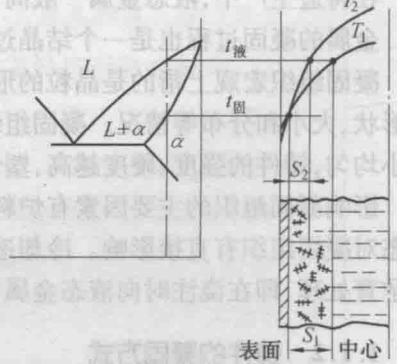


图 1.2 温度梯度对凝固方式的影响

铸件断面的温度梯度主要取决于:

- ① 合金的性质 合金的凝固温度越低,导热率越高,结晶潜热越大,铸件内部温度均匀化能力越大,铸件断面温度梯度越小(如多数铝合金)。
- ② 铸型的蓄热能力 铸型蓄热能力越强,对铸件的激冷能力越强,铸件断面温度梯度越大。
- ③ 浇注温度 浇注温度越高,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,倾向于逐层凝固的合金(如灰口铸铁、铝硅合金等)铸造性能好。倾向于糊状凝固合金(如锡青铜、铝铜合金、球墨铸铁等)铸造性能差,应采用适当的工艺措施,以减小其凝固区域宽度。

1.2 液态合金的铸造性能

液态合金的铸造性能是指在铸造过程中,获得形状完整、内部质量良好的铸件的能力。合金的铸造性能包括合金的流动性、收缩性、吸气性等。合金铸造性能是选择铸造材料,确定铸件的铸造工艺方案及进行铸件结构设计的依据。

1.2.1 合金的流动性

1. 合金的流动性

液态金属本身的流动能力称为“流动性”,是合金的铸造性能之一。与金属的成分、温度、杂质含量及其物理性质有关。

2. 充型能力的概念

液态合金充满型腔,获得形状完整、轮廓清晰的铸件的能力,称为“充型能力”。

充型能力首先取决于金属本身的流动性,同时还受铸型性质、浇注条件、铸件结构等因素的影响。换句话说,流动性好的合金充型能力强;流动性差的合金充型能力也就较差,但是可以通过改善外界条件提高其充型能力。例如提高充型压力可以改善充型能力。

由于影响充型能力的因素很多,很难对各种合金在不同的铸造条件下的充型能力进行比较,所以常用在固定的试样结构和铸型性质及相同的浇注条件下所测定的流动性来表示合金的充型能力。

熔融合金的流动性通常以“螺旋形试样”(图1.3)长度来衡量。在相同的浇注条件下,将液态合金浇注到螺旋形标准试样所形成的铸型中,浇注冷凝后,测出其实际螺旋线长度,测得的螺旋线长度越长,表明合金的流动性越好。

3. 影响合金流动性的因素

(1) 合金的种类

不同合金因其结晶特性、粘度不同,其流动性亦不同。常用铸造合金中灰铸铁、硅黄铜的流动性最好,铝合金次之,铸钢最差。

(2) 合金的成分

纯金属和共晶成分合金的结晶为逐层凝固,结晶的固体层内表面比较光滑,如图1.4(a),对金属液的阻力较小。同时,共晶成分合金的凝固温度最低,相对说来,合金的过热度大,推迟了合金的凝固,故流动性最好。其他成分合金一般为中间凝固,经过液、固并存的两相区,由于初生的树枝状晶体使已结晶固体层内表面粗糙,如图1.4(b),合金的流动性变差。合金成分越远离共晶成分,结晶温度范围越宽,流动性越差。

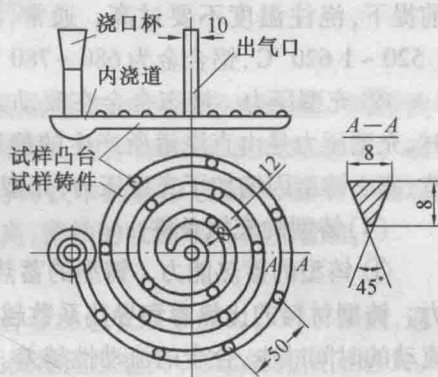


图 1.3 螺旋形标准试样

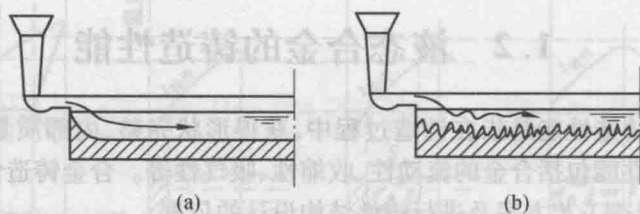


图 1.4 不同成分合金的流动性

(3) 浇注条件

① 浇注温度 浇注温度对合金流动性的影响很显著。浇注温度越高,液态金属的粘度越低,且因其过热度高,金属液含热量多,保持液态时间长,有利于提高合金的流动性。但浇注温度过高,铸件容易产生缩孔、缩松、粘砂、气孔等缺陷,故在保证充型能力足够的前提下,浇注温度不要过高。通常,灰口铸铁的浇注温度为 $1\ 200 \sim 1\ 380\ ^\circ\text{C}$,铸钢为 $1\ 520 \sim 1\ 620\ ^\circ\text{C}$,铝合金为 $680 \sim 780\ ^\circ\text{C}$ 。

② 充型压力 液态合金在流动方向上所受的压力越大,充型能力越好。砂型铸造时,充型压力是由直浇道所产生的静压力形成的,故直浇道的压力必须适当。而压力铸造、离心铸造因增加了充型压力,充型能力较强,金属液的流动性也较好。

(4) 铸型的充填条件

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。铸型材料的比热容和导热系数越大,对熔融金属的激冷能力越强,合金在型腔中保持流动的时间减少,合金的流动性越差。

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,合金流动性提高。

③ 铸型中的气体 在金属液的热作用下,型腔中的气体膨胀,型砂中的水分汽化,煤粉和其他有机物燃烧,将产生大量气体,如果铸型排气能力差,浇注时产生的大量气体来不及排出,气体压力将增大,必然阻碍熔融金属的充型。铸造时,为了减少气体的压力,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可在远离浇口的最高部位开设出口,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。

1.2.2 合金的收缩性

1. 合金的收缩

铸造合金从浇注、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,在铸造过程中,因收缩可能会导致铸件产生缩孔、缩松、应力、变形和裂纹等缺陷。因此,必须研究收缩规律,采取工艺措施以获得健全铸件。

如图 1.5 所示,合金 I 从浇注温度冷却至室温的收缩过程中,其收缩经历三个阶段。

液态收缩 从浇注温度($T_{\text{浇}}$)到凝固开始温度(即液相线温度 $T_{\text{液}}$)间的收缩。

凝固收缩 从凝固开始温度到凝固终止温度(即固相线温度 $T_{\text{固}}$)间的收缩。

固态收缩 从凝固终止温度到室温($T_{\text{室温}}$)间的收缩。

合金的总收缩率为上述三种收缩的总和。

合金的液态收缩和凝固收缩表现为合金体积的缩减,常用体收缩率表示,它们是形成铸件缩孔和缩松的基本原因。合金的固态收缩,虽然也是体积缩小,但直观地表现为铸件轮廓尺寸的减少,因此,用铸件单位长度上的收缩量,即线收缩率来表示。固态收缩是铸件产生内应力、变形和裂纹的基本原因。

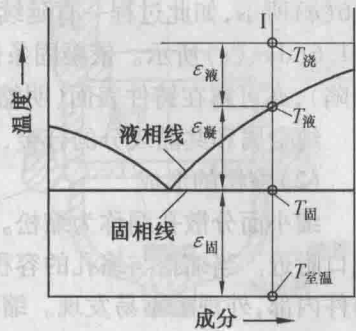


图 1.5 收缩三阶段

2. 影响合金收缩的因素

(1) 化学成分 碳素钢的含碳量增加,其液态收缩增加,而固态收缩略减。灰铸铁中的碳、硅含量增多,其石墨化能力越强,石墨的比体积大,能弥补收缩,故收缩越小。硫可阻碍石墨析出,使收缩率增大。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,使铸铁收缩率减小。但含锰量过高,铸铁的收缩率又有所增加。

(2) 浇注温度

浇注温度越高,过热度越大,使液态收缩增加,合金的总收缩率加大。对于钢液,通常浇注温度提高 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$,体收缩率增加约 1.6% ,因此浇注温度越高,形成缩孔倾向越大。

(3) 铸件结构和铸型条件

铸件在铸型中的冷凝过程中往往不是自由收缩,而是受阻收缩。其阻力来源于:

① 铸件各部分的冷却速度不同,引起各部分收缩不一致,相互约束而对收缩产生阻力。

② 铸型和型芯对收缩的机械阻力。

因此,铸件的收缩率比自由收缩率要小一些。铸件结构越复杂,铸型硬度越大,型芯骨越粗大,则收缩阻力亦越大。

3. 铸件的缩孔与缩松

液态金属在铸型内的冷凝过程中,由于液态收缩和凝固收缩所引起的体积缩减,如得不到金属液体补充(称为补缩),则会在铸件最后凝固的部位形成一些孔洞。按照孔洞的大小和分布不同,可分为缩孔和缩松两类。

(1) 缩孔的形成

缩孔是在铸件最后凝固的部位形成容积较大而且集中的孔洞。缩孔多呈倒圆锥形,内表面粗糙,通常隐藏在铸件的 inner 层,但在某些情况下,可暴露在铸件的上表面,呈明显的凹坑。

缩孔形成过程如图 1.6 所示。液态金属充满铸型后,如图 1.6(a) 所示,由于铸型吸热,靠近型壁的一层金属冷却快,先凝固而形成铸件外壳,壳中金属液的收缩因被外壳阻碍,不能得到补缩,故其液面开始下降,如图 1.6(b) 所示。铸件继续冷却,凝固层加厚,内部剩余的液体由于液态收缩和补充凝固层的收缩,使体积缩减,液面继续下降,如图

1.6(c)所示,如此过程一直延续到凝固终了,结果在铸件最后凝固的部位形成了缩孔,如图1.6(d)、(e)所示。依凝固条件不同,缩孔可隐藏在铸件表皮下(此时缩孔顶上表皮呈凹陷),亦可露在铸件表面(明缩孔)。

纯金属和共晶成分的合金,易形成集中的缩孔。

(2) 缩松的形成

细小而分散孔洞称为缩松。常分散在铸件壁厚的轴线区域、厚大部位、冒口根部和内浇口附近。当缩松与缩孔的容积相同时,缩松的分布面积要比缩孔大得多。缩松隐藏于铸件内部,外观上不易发现。缩松分为宏观缩松和显微缩松。宏观缩松是用肉眼或放大镜可以看出的分散细小缩孔。显微缩松是分布在晶粒之间的微小缩孔,要用显微镜才能观察到,这种缩松分布面积更为广泛,甚至遍布铸件整个截面。

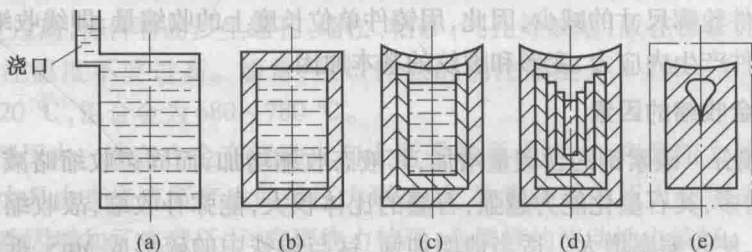


图 1.6 缩孔的形成过程

缩松的形成过程如图 1.7 所示。铸件首先从外层开始凝固,因凝固前沿凹凸不平,如图 1.7(a)所示,当两侧的凝固前沿向中心汇聚时,汇聚区域形成一个同时凝固区。在此区域内,剩余液体被凹凸不平的凝固前沿分隔成许多小液相区,如图 1.7(b)所示。最后,这些数量众多的小液相区,在凝固收缩时,因得不到补缩而形成了缩松,如图 1.7(c)所示。凝固温度范围大的合金,结晶时为糊状凝固,凝固中树枝状晶体将金属液分隔成彼此孤立的小熔池,凝固时难以得到补缩,形成显微缩松。

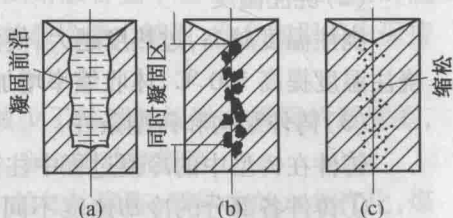


图 1.7 缩松的形成过程

(3) 缩孔和缩松的防止

① 缩孔的防止 铸件上的缩孔将削减其有效截面积,大大降低铸件的承载能力,必须根据技术要求,采取适当的工艺措施,予以防止。

防止铸件内部出现缩孔的工艺措施是使铸件实现定向凝固。所谓定向凝固(也称顺序凝固)就是在铸件上可能出现缩孔的厚大部位安放冒口,在远离冒口的部位安放冷铁,使铸件上远离冒口的部位先凝固,靠近冒口的部位后凝固,冒口本身最后凝固,如图 1.8 所示。定向凝固使铸件先凝固部位的收缩由后凝固部位的金属液来补缩;后凝固部位的收缩由冒口中的金属液补缩,将缩孔转移到冒口之中。冒口为铸

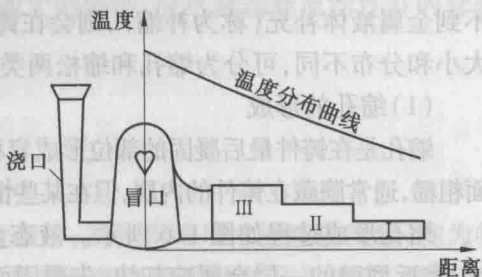


图 1.8 顺序凝固

件的多余部分,清理铸件时予以去除,即可得到无缩孔的致密铸件。冷铁的作用是加快铸件局部的冷却速度,实现铸件的定向凝固。

对形状复杂有多个热节(铸件上热量集中,内接圆直径较大的部位)的铸件,为实现定向凝固,往往要采用多个冒口,并配合冷铁同时使用。如图 1.9 所示的阀体铸件断面上有五个热节,其底部凸台处热节不便安放冒口,上部的冒口又难以对该处进行补缩,故在该处设置外冷铁,相当于局部金属型,因冷却快,使厚大凸台反而先凝固;其余四个热节,分别由四个冒口(明冒口及暗冒口)进行补缩,实现了定向凝固。

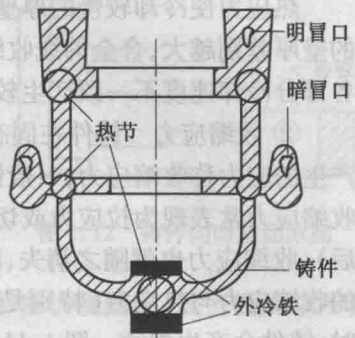


图 1.9 阀体铸件的顺序凝固

② 缩松的防止 铸件上的缩松对铸件承载能力的影响比集中缩孔要小,但它易影响铸件的气密性,使铸件渗漏。因此,对于气密性要求高的油缸、阀体等承压铸件,必须采取工艺措施防止缩松。然而,防止缩松比防止缩孔要困难得多,不仅因它难以发现,且因缩松常出现在凝固温度范围大的合金所制造的铸件中,即使采用冒口对其热节处补缩,由于发达的树枝状晶体堵塞了补缩通道,而使冒口难以发挥补缩作用。目前生产中多采用在热节处安放冷铁或在局部砂型表面涂敷激冷涂料,加大铸件的冷却速度;或加大结晶压力,以破碎树枝状晶体,减少其对金属液流动的阻力,从而达到部分防止缩松的效果。

4. 铸件的内应力、变形和裂纹

铸件在凝固末期,其固态收缩若受到阻碍,铸件内部将产生内应力。这些内应力有时是在冷却过程中暂存的,有时则一直保留到室温,前者称为临时应力,后者称为残余应力。铸造内应力是铸件产生变形和裂纹的根本原因。

(1) 铸造内应力的分类

铸造内应力按产生的原因不同,分为热应力、收缩应力和相变应力三种。铸件中的铸造内应力,就是这三种应力的矢量和。

① 热应力 铸件在凝固和冷却过程中,不同部位由于不均衡的收缩而引起的应力,称热应力。热应力主要是指铸件冷却过程中,由于冷却速度不同而引起不均衡收缩所产生的应力。

现以图 1.10 所示的应力框铸件来说明热应力的形成过程。应力框由一根粗杆 I 和两根细杆 II 组成。图 1.10 上部表示了杆 I 和杆 II 的冷却曲线, $T_{\text{临}}$ 表示金属弹塑性临界温度。在 $t_0 \sim t_1$ 时段,铸件处于高温阶段,两杆均处于塑性状态,尽管杆 I 和杆 II 的冷却速度不同,收缩不一致要产生应力,但铸件可以通过两杆的塑性变形使应力很快自行消失。在 $t_1 \sim t_2$ 间,此时杆 II 温度较低,已进入弹性状态,但杆 I 仍处于塑性状态。杆 II 由于冷却快,收缩大于杆 I,在横杆作用下将对杆 I 产生压应力,如图 1.10(b) 所示。处于塑性状态的杆 I 受压应力作用产生压缩塑性变形,使杆 I、杆 II 的收缩一致,应力随之消失,如图 1.10(c) 所示。在 $t_2 \sim t_3$ 时段,当进一步冷却到更低温度时,杆 I 和杆 II 均进入弹性状态,此时杆 I 温度较高,冷却时还将产生较大收缩,杆 II 温度较低,收缩已趋停止,在最后阶段冷却时,杆 I 的收缩将受到杆 II 强烈阻碍,因此杆 I 受拉,杆 II 受压,并保留到室温,形成了残余应力,如图 1.10(d) 所示。