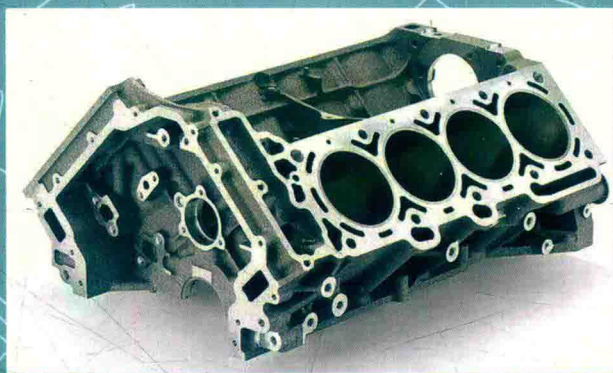




应用技术型本科院校机电类专业“十三五”系列规划教材



材料成形工艺基础

CAILIAO CHENGXING GONGYI JICHU



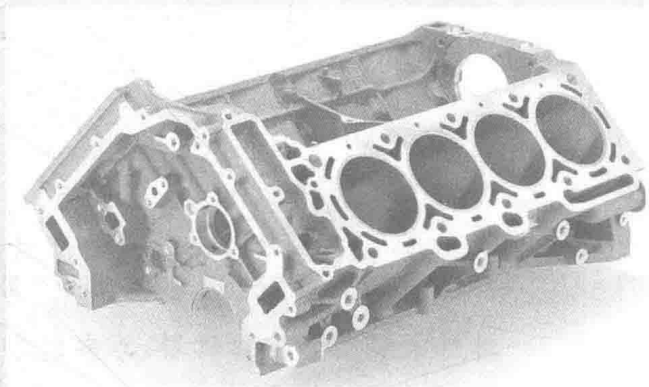
主 编 韩蕾蕾 黄克灿
副主编 孟超莹 刘晖晖



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS



应用技术型本科院校机电类专业“十三五”系列规划教材



材料成形工艺基础

CAILIAO CHENGXING GONGYI JICHU



主 编 韩蕾蕾 黄克灿

副主编 孟超莹 刘晖晖



合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

材料成形工艺基础/韩蕾蕾主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2018.9
ISBN 978-7-5650-4062-7

I. ①材… II. ①韩… III. ①工程材料—成型—工艺 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 148363 号

材料成形工艺基础

韩蕾蕾 主编

责任编辑 马成勋

出版	合肥工业大学出版社	版次	2018年9月第1版
地址	合肥市屯溪路193号	印次	2018年9月第1次印刷
邮编	230009	开本	787毫米×1092毫米 1/16
电话	理工编辑部:0551—62903200 市场营销部:0551—62903198	印张	15.5
网址	www.hfutpress.com.cn	字数	384千字
E-mail	press@hfutpress.com.cn	发行	全国新华书店
		印刷	安徽昶颐包装印务有限责任公司

ISBN 978-7-5650-4062-7

定价:35.00元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场营销部联系调换。

前 言

为了适应我国制造业快速发展及“中国制造 2025”的战略规划实施,遵循高等工科院校培养应用型人才的要求,根据教育部高等学校机械学科教学指导委员会关于工科教材编写的有关精神,结合多年来的教学和科研方面的实践经验,编写了本书。本书以实际应用为出发点,强调实用,突出工程实践设计。

材料成形工艺基础是一门研究材料各种成形工艺,并如何进行零件结构设计和成形方法选择的学科。该课程是机械、机电类专业必修的专业基础课程,同时又是机械、机电类专业学习后续相关专业课程的基础。

全书在内容上按照材料成形技术的基本原理、基本工艺和工程应用三个层次进行编排,保留了目前同类教材的基本内容,避免教学内容结构不完整。同时对教学内容进行优化,删除了传统成形工艺中的陈旧内容,更好地适应教学改革和调整学时的要求。除了着重讲述广泛应用的传统成形方法外,还介绍了目前发展前景好、应用广泛的材料成形新工艺、新技术。

全书共分 8 章。第 1 章介绍金属铸造成形的理论基础、铸造成形方法分类、铸件的结构及工艺设计,并简要介绍先进的铸造成形工艺;第 2 章介绍金属的压力成形工艺,其中主要介绍锻压成形工艺和板料的冲压成形工艺,并简要介绍塑性成形的新工艺;第 3 章介绍金属的连接成形工艺,包括连接成形的理论基础、常用的焊接方法及设备、金属材料的焊接性及焊接结构的工艺设计及粘接成形工艺;第 4 章介绍高分子及陶瓷材料的成形基本原理和工艺过程;第 5 章、第 6 章分别介绍粉末冶金、复合材料的成形工艺和应用;第 7 章介绍新型快速成形工艺,主要介绍 SLA、LOM、SLS、3DP、FDM 等先进成形方法;第 8 章介

绍材料成形工艺的选择。每章都附有难度不等的复习思考题,以满足不同学时教学的要求,供不同层次学生复习使用。

本书由文华学院韩蕾蕾和长江水利水电设计研究院黄克灿担任主编。文华学院刘晖晖、孟超莹担任副主编。韩蕾蕾编写第1章至第4章,孟超莹编写第5章、第6章,刘晖晖编写第7章,黄克灿编写绪论、第8章,全书由韩蕾蕾、黄克灿统稿。

在本书编写过程中,得到了文华学院机械系各位同事的热情帮助与大力支持,并对书稿内容和教材体系提出了宝贵意见。本书参阅了大量相关文献与资料,在此向相关作者表示谢意。

本书虽然经反复推敲和校对,但由于编者水平有限,时间仓促,难免存在错误或不足之处,恳请读者批评指正,以便我们及时改进。

编 者

2018.8

目 录

绪论	(001)
1 材料及材料成形技术的历史	(001)
2 工程材料的分类及应用	(001)
3 课程的目的、内容和学习要求	(002)
第1章 金属的铸造成形工艺	(004)
1.1 铸造成形工艺的理论基础	(004)
1.2 金属的铸造成形方法	(016)
1.3 常用铸造合金的熔炼	(030)
1.4 铸件的工艺设计	(039)
1.5 铸件的结构设计	(057)
第2章 金属的压力成形工艺	(064)
2.1 常用的压力加工成形方法	(064)
2.2 金属塑性成形的工艺理论基础	(066)
2.3 锻压成形工艺	(072)
2.4 板料的冲压成形工艺	(092)
2.5 塑性成形新工艺	(105)
第3章 金属的连接成形工艺	(112)
3.1 金属焊接成形的理论基础	(113)
3.2 常用的焊接方法及设备	(122)
3.3 常用金属材料的焊接性	(137)
3.4 焊接结构的工艺设计	(142)
3.5 粘接	(152)
第4章 高分子材料及陶瓷材料的成形工艺	(158)
4.1 高分子材料成形的基本原理	(158)
4.2 塑料制品的成形工艺	(162)
4.3 橡胶制品的成形工艺	(177)

4.4	陶瓷材料成形的基本原理	(182)
4.5	陶瓷材料成形的工艺过程	(181)
第5章	粉末冶金成形工艺	(190)
5.1	粉末冶金的基本原理	(190)
5.2	粉末冶金成形工艺的过程	(192)
5.3	粉末冶金成形的特点和应用	(199)
5.4	粉末冶金制品的结构工艺性	(201)
第6章	复合材料的成形工艺	(207)
6.1	复合材料的定义与分类	(207)
6.2	聚合物基复合材料的成形工艺	(208)
6.3	金属基复合材料的成形工艺	(213)
6.4	陶瓷基复合材料的成形工艺	(215)
第7章	新型快速成形工艺	(217)
7.1	快速成形工艺的原理及过程	(217)
7.2	快速成形工艺及设备	(218)
7.3	快速成形技术的发展及应用	(224)
第8章	材料成形工艺的选择	(226)
8.1	材料成形工艺选择的原则和依据	(226)
8.2	典型零件毛坯的成形工艺选择	(231)
8.3	毛坯成形方法选择举例	(234)

绪 论

1 材料及材料成形技术的历史

从人类社会的发展和历史进程的宏观来看,材料是人类赖以生存和发展的物质基础,也是社会现代化的物质基础和先导。而材料和材料技术的进步和发展,首先应归功于金属材料制备和成型加工技术的发展。人类从漫长的石器时代进化到青铜时代,首先得益于铜的熔炼以及铸造技术进步和发展,而由铜器时代进入到铁器时代,得益于铁的规模冶炼技术、锻造技术的发展和进步。随着生产技术的进一步发展,又出现了退火、淬火、正火和渗碳等热处理技术。

直到 16 世纪中叶,人类才开始注重从科学的角度来研究金属的组成、制备与加工工艺、性能之间的关系。人类也由此从较为单一的青铜、铸铁时代进入到合金化时代,推动了近代工业的快速发展,催生了第一次工业革命。

18 世纪欧洲工业革命后,随着人们对材料的要求越来越高,材料及成形技术也进一步发展。随着光学显微镜和电子显微镜的相继诞生和应用,人们对材料的认识从宏观转向了微观。

进入 20 世纪以后,材料合成技术、复合材料的出现和发展,推动了现代工业的快速发展,而电子信息、航天航空等尖端技术的发展,反过来对高性能先进材料的研究开发提出了更好的要求,起到了强大的促进作用,促成了一系列新材料和新材料技术的出现和发展。

2 工程材料的分类及应用

工程材料有各种不同的分类方法。通常我们根据组成和结构特点将工程材料分为金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料。

金属材料具有优良的导电性、导热性、延展性和金属光泽,是目前用量最大、用途最广的工程材料。其中,铁基合金的工程性能较为优越,价格比较便宜,占整个结构材料和工具材料的 90% 以上。有色金属是重要的具有特殊用途的材料。

无机非金属材料种类繁多,特点各不相同,可分为耐火材料、耐火隔热材料、耐蚀非金属材料 and 陶瓷材料。

高分子材料为有机合成材料,也称聚合物。它具有较高的强度、良好的塑性、较强的耐

腐蚀性能、很好的绝缘性和重量轻等优良性能,是发展最快的一类新型结构材料。高分子材料种类很多,根据机械性能和使用状态分为塑料、橡胶、合成纤维三大类。

复合材料是由两种或两种以上不同材料组合的材料,其性能是其他单质材料所不具备的。复合材料可以由各种不同的材料复合而成,其强度、刚度和耐蚀性方面比单纯的金属、陶瓷和聚合物都优越,是特殊的工程材料,具有广阔的发展前景。

以人造地球卫星与空间探测器(图1所示)为例,其结构材料大多采用质量低的铝合金和镁合金,要求高强度的零部件则采用钛合金和不锈钢。为了提高刚度和减轻重量,已开始采用高模量石墨纤维增强的新型复合材料。卫星体和仪器设备表面常覆有温控涂层,利用热辐射或热吸收的特性来调节温度。航天器上的大面积太阳翼初期为铝合金加筋板或夹层板结构,后来改用石墨纤维复合材料做面板的铝蜂窝夹芯结构,更先进的轻型太阳翼则以石墨纤维复合材料做框架,蒙上聚酰胺薄膜。面积更大的柔性太阳翼全部由薄膜材料制成。大型抛物面天线是现代卫星的重要组成部分,原来多采用铝合金或玻璃钢制造,但随着天线指向精度的提高,已改用热膨胀系数极小的轻质材料。石墨和芳纶在一定的温度范围内具有负膨胀系数,可通过材料的铺层设计制造出膨胀系数接近于零的复合材料,从而成为制造天线的基本材料。超大型天线需制成可展开的伞状,其骨架由铝合金或复合材料制成,反射面为涂有特殊涂层的聚酯纤维网或镍-铬金属丝网。卫星体内还使用多层材料、工程塑料、玻璃钢等作为隔热材料,用二硫化钼固体润滑剂等作为运动部件的润滑材料,用硅橡胶等作为舱室的密封材料。

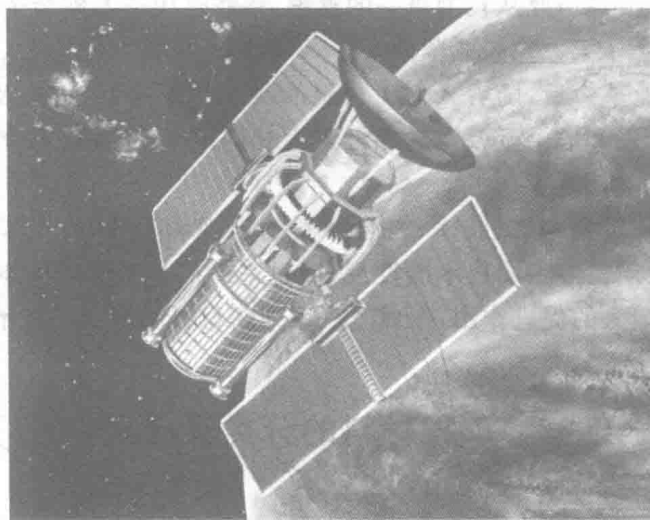


图1 人造地球卫星与空间探测器

3 课程的目的、内容和学习要求

本课程将材料成形的基本原理与工艺融为一体,主要内容包括:材料成形方法及其特点、材料成形工艺的发展趋势;凝固成形、压力成形、连接成形、塑料成形、粉末成形的基本理

论基础、工艺原理,以及相关的工装模具;材料成形工艺的选择。另外,本书还介绍了如复合材料的成形以及快速成形工艺等领域的最新研究内容。

通过本书的学习,使学生能够具有基本的选择材料、结构、成形方法的能力,为后续机械类专业课程的学习以及课程设计、毕业设计打下良好的基础,以满足业界对该材料成形领域具有较深厚基础的高级工程技术人才的需求。

材料成形技术是一门综合技术学科,体系庞杂,知识点多且分散,因此在学习过程中,要求学生注意抓好主线,即“成形原理—成形方法及应用—成形工艺设计—成形件的结构工艺性”,有助于在学习过程中保持思路清晰。另外,本书与实际联系密切,在学习过程中还应注意与生产实际相结合,注意分析和理解。

第1章 金属的铸造成形工艺

铸造是将液态金属浇注到具有与零件形状及尺寸相适应的铸型空腔中,待冷却凝固后,获得一定形状和性能的零件或毛坯的方法。用铸造方法所获得的零件或毛坯,称为铸件。铸造是现代机械制造业的基础工艺,是人类掌握比较早的一种金属热加工工艺。与其他成形方法相比,铸造生产具有下列优点:

铸造使用的材料范围广、成本低,包括铸铁、铸钢、铸铝、铸铜等,其中铸铁材料应用最广泛;铸造生产不需要大型、精密的设备,生产周期较短,对于不宜塑性成形和焊接成形的材料,铸造成形具有特殊的优势,适用于单件小批量生产或成批及大批量生产。

但是,铸造方法也存在着许多缺点:工人的劳动强度大,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;铸造生产工序较多,工艺过程较难控制,铸件中常有一些缺陷(如气孔、缩孔等),内部组织粗大、不均匀,使得铸件质量不够稳定,废品率较高,而且力学性能也不如同类材料的锻件高。

随着科学技术的不断发展,以及新工艺、新技术、新材料的开发,使铸造劳动条件大大改善,环境污染得到控制,铸件质量和经济效益也在不断提高。现代铸造生产正朝着专业化、集约化和智能化的方向发展。

1.1 铸造成形工艺的理论基础

合金的铸造性能,是指合金在铸造生产中表现出来的工艺性能,即获得优质铸件的能力,它对是否易于获得合格铸件有很大影响。合金的铸造性能是选择铸造合金、确定铸造工艺方案及进行铸件结构设计的重要依据。

1.1.1 合金的充型能力

合金的充型能力是指液态合金充满铸型型腔,获得尺寸正确、形状完整、轮廓清晰的铸件的能力。充型能力取决于液态金属本身的流动性,同时又受铸型、浇注条件、铸件结构等因素的影响。因此,充型能力差的合金易产生浇不到、冷隔、形状不完整等缺陷,使力学性能降低,严重时报废。影响合金充型能力的主要因素包括以下几个方面:

1. 合金的流动性

合金的流动性是液态合金本身的流动能力,它是影响充型能力的主要因素之一。流动性越好,液态合金充填铸型的能力越强,越易于浇注出形状完整、轮廓清晰、薄而复杂的铸件;有利于液态合金中气体和熔渣的上浮、排除;易于对液态合金在凝固过程中所产生的收

缩进行补缩。如果合金的流动性不良,则铸件易产生浇不足、冷隔等铸造缺陷。

合金的流动性大小,通常以浇注的螺旋试样长度来衡量。如图1-1所示,螺旋上每隔50 mm有一个小凸点作测量计算用。在相同的浇注条件下浇注出的试样越长,表示合金的流动性越好。表1-1列出了常用铸造合金的流动性。由表1-1可见,不同合金的流动性不同,铸铁、硅黄铜的流动性最好,铸钢的流动性最差。

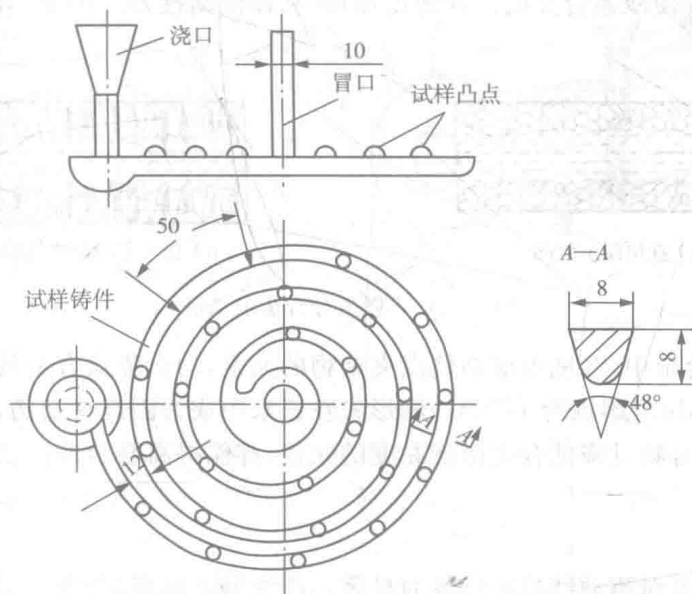


图 1-1 流动性测试螺旋试样

影响合金流动性的因素很多,凡是影响液态合金在铸型中保持流动的时间和流动速度的因素,如金属本身的化学成分、温度、杂质含量等,都将影响流动性。

表 1-1 常用合金的流动性

合金		铸型	浇注温度/℃	螺旋线长度/mm
铸 铁	(C+Si)6.2%	砂型	1300	1800
	(C+Si)5.2%	砂型	1300	1000
	(C+Si)4.2%	砂型	1300	600
铸 钢		砂型	1600	100
		砂型	1640	200
锡青铜		砂型	1040	420
硅黄铜		砂型	1100	1000
铝合金		金属型	680~720	700~800

不同成分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。纯金属和共晶成分的合金是在恒温下进行结晶的,结晶过程中,由于不存在液、固并存的凝固区,因此断面上外层的固相和内层的液相由一条界限分开,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,即从表面开始向中心逐层凝固,如图 1-2a 所示。凝固层内表面比较光滑,因而对尚未凝固的液态合金的流动阻力小,故流动性好。特别是共晶成分的合金,熔点最低,因而流动性最好。非共晶成分的合金是在一定温度范围内结晶,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,经过液、固并存的两相区,如图 1-2b 所示。在结晶区域内,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未凝固的液态合金的流动,而且使液态合金的冷却速度加快,从而流动性差。因此,合金结晶区间越大,流动性越差。



图 1-2 不同成分合金的结晶

另外,在液态合金中,凡能形成高熔点夹杂物的元素,均会降低合金的流动性,如灰铸铁中的锰和硫,多以 MnS (熔点为 $1650^{\circ}C$) 的形式在铁水中成为固态夹杂物,妨碍铁水的流动。凡能形成低熔点化合物且降低合金溶液黏度的元素,都能提高合金的流动性,如铸铁中的磷元素。

2. 浇注温度

合金的浇注温度对流动性的影响极为显著。浇注温度越高,合金的温度越低,液态金属所含的热量越多,在同样冷却条件下,保持液态的时间延长,传给铸型的热量增多,使铸型的温度升高,降低了液态合金的冷却速度,改善了合金的流动性,充型能力加强。但是,浇注温度过高,会使液态合金的吸气量和总收缩量增大,增加了铸件产生气孔、缩孔等缺陷的可能性。因此在保证流动性的前提下,浇注温度不宜过高。在铸铁件的生产中,常采用“高温出炉,低温浇注”的方法。高温出炉能使一些难熔的固体质点熔化;低温浇注能使一些尚未熔化的质点及气体在浇包镇静阶段有机会上浮而使铁水净化,从而提高合金的流动性。对于形状复杂的薄壁铸件,为了避免产生冷隔和浇不足等缺陷,浇注温度以略高为宜。

3. 充型压力

金属液态合金在流动方向上所受到的压力称为充型压力。充型压力越大,合金的流速越快,流动性越好。但充型压力不宜过大,以免产生金属飞溅或因气体排出不及时而产生气孔等缺陷。砂型铸造的充型压力由直浇道所产生的静压力形成,提高直浇道的高度可以增大充型能力。通过压力铸造和离心铸造来增加充型压力,即可提高金属液的流动性,增强充型能力。

4. 铸型条件

铸型条件包括铸型的蓄热系数、铸型温度以及铸型中的气体含量等。铸型的蓄热系数是指铸型从金属液吸收并储存热量的能力。铸型材料的导热率越高、密度越大,蓄热能力越强,蓄热系数越大,对液态合金的激冷作用越强,金属液保持流动的时间就越短,充型能力越差,铸型温度越高,金属液冷却越慢,越有利于提高充型能力。另外,在浇注时,铸型如产生气体过多,且排气能力不好,则会阻碍充型,并易产生气孔缺陷。铸型浇注系统如图 1-3 所

示,若直浇道过低,则液态合金静压力减小;内浇道截面过小,铸型型腔过窄或表面不光滑,则增加液态合金的流动阻力。因此,在铸型中增加液态合金流动阻力和降低液态合金冷却速度等因素,均会使流动性变坏。

1.1.2 合金的凝固与收缩

1. 铸件的凝固

铸件的凝固指合金从液态转变到固态的过程。不同种类的合金,或者相同种类而成分不同的合金,它们凝固温度区间不同,如图1-4a中点a、b、c所示,这使得合金在凝固过程中呈现出不同的状态。依据凝固区域宽度(如图1-4c中S所示)的大小,可将铸件的凝固方式划分为三种类型。

(1) 逐层凝固

合金在凝固过程中其截面上固相和液相由一条界线清楚地分开,这种凝固方式称为逐层凝固(见图1-4b)。灰铸铁、低碳钢、工业纯铜、工业纯铝、共晶铝硅合金及某些黄铜都属于逐层凝固的合金。逐层凝固时充型阻力小,补缩比较容易,便于得到致密、合格的铸件。

(2) 糊状凝固

合金在凝固过程中先呈糊状而后凝固,这种凝固方式称为糊状凝固(见图1-4d)。球墨铸铁、高碳钢、锡青铜和铝铜合金等均倾向于糊状凝固。糊状凝固时凝固区宽,发达的枝晶结构阻碍液态合金的流动,补缩也困难,充型能力较差。同时,容易形成缩孔和缩松,铸件致密性差,较易产生热裂纹,因此铸造过程中需采取便于补缩或减小其凝固区的工艺措施,以便得到组织致密的铸件。

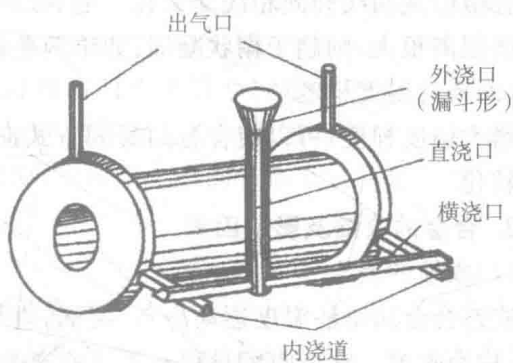


图 1-3 铸件浇注系统

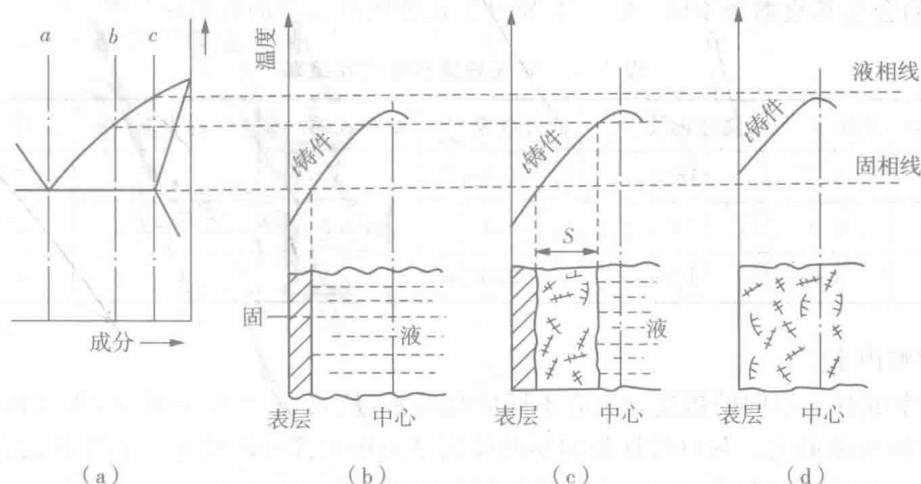


图 1-4 铸件的凝固方式

(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,称为中间凝固(见图1-4c)。中碳

钢、高锰钢、白口铸铁等具有中间凝固方式。

影响合金凝固的因素如下：

(1) 合金凝固温度范围

合金的液相线和固相线交叉在一起，或间距很小，则金属趋于逐层凝固；如果两条相线之间的距离很大，则趋于糊状凝固；如果两条相线间距离较小，则趋于中间凝固方式。

(2) 铸件温度梯度

增大温度梯度，可以使合金的凝固方式向逐层凝固转化；反之，铸件的凝固方式向糊状凝固转化。

2. 合金的收缩及影响因素

(1) 收缩的概念

液态合金从浇注温度逐渐冷却、凝固，直至冷却到室温的过程中，其尺寸和体积缩小的现象，称为收缩。整个收缩过程经历了液态收缩、凝固收缩和固态收缩三个阶段。收缩是铸造合金本身的物理性质，也是合金重要的铸造性能之一。

① 液态收缩阶段。从浇注温度至凝固开始温度（即液相线温度），合金发生液态收缩，具体表现为型腔内液面的降低，一般用体收缩率表示。

② 凝固收缩阶段。从凝固开始温度至凝固结束温度（即固相线温度），合金发生凝固收缩，此时合金处于糊状的液固相并存状态，收缩表现为型腔内液面的下降，一般用体收缩率表示。

③ 固态收缩阶段。从凝固结束温度至常温，合金发生固态收缩。此时合金处于固态，收缩通常表现为铸件外形尺寸的减少，一般用线收缩率表示。

金属的总体收缩为上述三个阶段收缩之和。其中液态收缩和凝固收缩是铸件产生缩孔和缩松的基本原因，而固态收缩对铸件的形状和尺寸精度影响较大，也是铸件产生应力、变形和裂纹等缺陷的基本原因。

不同的合金其收缩率不同，表 1-2 列出了几种铁碳合金的收缩率。

表 1-2 常见铁碳合金的收缩率

合金的种类	含碳量/%	浇注温度/℃	液态收缩/%	凝固收缩/%	固态收缩/%	总体积收缩/%
铸造碳钢	0.35	1610	1.6	3	7.86	12.46
白口铸铁	3.0	1400	2.4	4.2	5.4~6.3	12~12.9
灰口铸铁	3.5	1400	3.5	0.1	3.3~4.2	6.9~7.8

(2) 影响因素

① 化学成分。不同的铸造合金有不同的收缩率，从表 1-2 中可看出，灰口铸铁收缩最小，铸造碳钢收缩最大。灰口铸铁收缩小的原因是由于大部分的碳是以石墨状态存在的，因石墨比容大，在结晶过程中，析出石墨所产生的体积膨胀，抵消了一部分收缩。硅是促进石墨化的元素，因而碳、硅含量越多，收缩就越小。硫能阻碍石墨的析出，使铸件的收缩率增大。适当提高含锰量，锰与铸铁中的硫形成 MnS，抵消了硫对石墨化的阻碍作用，使收缩率减小。

② 浇注温度。浇注温度越高,过热量越大,合金的液态收缩增加,合金的总收缩率加大。对于钢液,通常浇注温度每提高 100°C ,体收缩率就会增加约 1.6% ,因此浇注温度越高,形成缩孔倾向越大。

③ 铸型结构与铸型条件。合金在铸型中并不是自由收缩,而是受阻收缩。其阻力来自两个方面:其一,铸件在铸型中冷却时,由于形状和壁厚上的差异,造成各部分冷速不同,相互制约而对收缩产生阻力;其二,铸型和型芯对收缩的机械阻力。通常,带有内腔或侧凹的铸件收缩较小,型砂和型芯砂的紧实度越大,铸件的收缩越小。显然,铸件的收缩率比合金的自由收缩率小。因此,在设计模型时,应根据合金的材质及铸件的形状、尺寸等,选用适当的收缩率。

3. 铸件中的缩孔与缩松

浇入铸型中的液态合金,因液态收缩和凝固收缩所产生的体积收缩而不能得到外来液体的补充时,在铸件最后凝固的部位形成的孔洞称为缩孔。缩孔分为集中缩孔与分散缩孔两类,一般把前者称为缩孔,后者称为缩松。广义的缩孔也包括缩松,它是铸件上危害最大的缺陷之一。

(1) 缩孔

缩孔是容积较大的孔洞,常出现在铸件的上部或最后凝固的部位,其形状不规则,多呈倒锥形,且内表面粗糙。其形成过程如图 1-5 所示。

液态合金填满铸型后,合金液逐渐冷却,并伴随有液态收缩,此时因浇注系统尚未凝固,型腔还是充满的,如图 1-5a 所示。随着冷却的继续进行,当外缘温度降至固相线温度以下时,铸件表面凝固成一层硬壳。如内浇道已凝固,所形成的硬壳就像一个封闭的容器,里面充满了液态合金,如图 1-5b 所示。铸件进一步冷却时,除了里面的液态合金产生液态收缩及凝固收缩外,已凝固的外壳还将产生固态收缩。但硬壳内合金的液态收缩和凝固收缩远大于硬壳的固态收缩,故液面下降,与硬壳顶面脱离,如图 1-5c 所示。此时在大气压力作用下,硬壳可能向内凹陷,如图 1-5d 所示。随着凝固的继续进行,凝固层不断加厚,液面继续下降,在最后凝固的部位形成一个倒锥形的缩孔,如图 1-5e 所示。

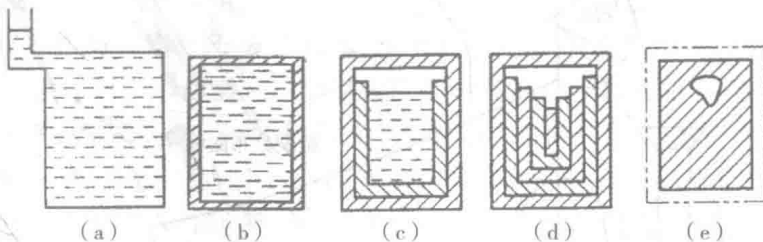


图 1-5 缩孔的形成

(2) 缩松

铸件中分散在某区域内的细小孔洞称为缩松,其分布面积较广。产生缩松的原因也是由于铸件最后凝固区域的收缩未能得到补充,或者是由于合金结晶间隔宽,被树枝状晶分隔开的小液体区难以得到补充所致。缩松可分为宏观缩松与显微缩松两种。宏观缩松用肉眼或放大镜可以观察到,它多分布在铸件中心、轴线处或缩孔下方,如图 1-6 所示。显微缩松

是分布在晶粒之间的微小孔洞,要用显微镜才能观察到,其分布面积更广,如图 1-7 所示。显微缩松难以完全避免,对于一般铸件不作为缺陷对待,但对气密性、力学性能、物理化学性能要求很高的铸件,则必须设法减少。



图 1-6 宏观缩松图

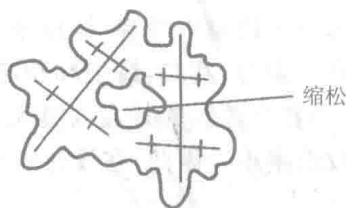


图 1-7 显微缩松

由以上的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越大(如铸钢、铝青铜等),铸件越易形成缩孔。
- ② 结晶温度范围宽的合金易于形成缩松,如锡青铜等;而结晶温度范围窄的合金、纯金属和共晶成分合金易于形成缩孔。普通灰口铸铁尽管接近共晶成分,但因石墨的析出,凝固收缩小,故形成缩孔和缩松的倾向都很小。

(3) 缩孔的防止方法

收缩是铸造合金的物理本质,因此,产生缩孔是必然的。缩孔和缩松的存在减小有效的截面积,降低铸件的承载能力和力学性能,缩松还可使铸件因渗漏而报废,成为铸件的重要缺陷。因此,必须采取适当的工艺措施予以防止。防止缩孔常用的工艺措施如下:

控制铸件的凝固次序,使铸件实现顺序凝固。所谓顺序凝固,就是使铸件按递增的温度梯度方向从一个部分到另一个部分依次凝固。在铸件可能出现缩孔的热节处,首先通过增设冒口或冷铁等一系列工艺措施,使铸件远离冒口的部位先凝固;然后是靠近冒口部位凝固,最后是冒口本身凝固,如图 1-8 所示。按此原则进行凝固,能使缩孔集中到冒口中,最后将冒口切除,就可以获得致密的铸件。

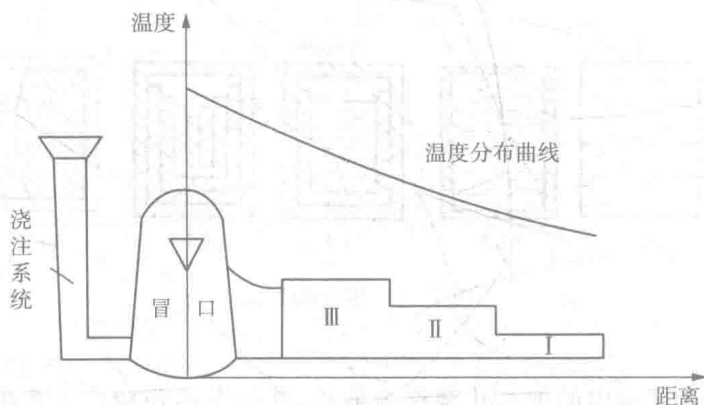


图 1-8 顺序凝固示意图

冒口是铸型内储存用于补缩的金属液的空腔。冷铁通常用钢或铸铁制成,仅是加快某些部位的冷却速度,以控制铸件的凝固顺序,但本身并不起补缩作用。冷铁和冒口设置的例