

普通高等院校工程训练系列规划教材

金属工艺学

主 编 王少纯 马慧良 关晓冬

普通高等院校工程训练系列规划教材

金属工艺学

主 编 王少纯 马慧良 关晓冬

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是根据教育部关于高等职业院校教育基础课程教学基本要求,并结合作者近 20 年的课堂教学经验编写而成。本书共分 15 章,具体包括铸造、塑性加工、焊接、粉末冶金、钢的热处理、切削加工基础知识、切削加工机床、切削加工、精密加工、特种加工、典型表面加工、特型表面加工、数控加工、零件表面处理及零件结构工艺性。内容涵盖了金属零件从毛坯到成品的整个制造过程。

本书可供高等职业院校工科机械类及近机类各专业使用,也可作为高等专科机械类及近机类教材及工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学/王少纯,马慧良,关晓冬主编.--北京:清华大学出版社,2011.3

(普通高等院校工程训练系列规划教材)

ISBN 978-7-302-24859-0

I. ①金… II. ①王… ②马… ③关… III. ①金属加工—工艺学—高等职业教育—教材
IV. ①TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 033278 号

责任编辑:庄红权

责任校对:赵丽敏

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544



印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:22.75 字 数:550 千字

版 次:2011 年 3 月第 1 版 印 次:2011 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:36.00 元

产品编号:037470-01



序 言

改革开放以来,我国贯彻科教兴国、可持续发展的伟大战略,坚持科学发展观,国家的科技实力、经济实力和国际影响力大为增强。如今,中国已经发展成为世界制造大国,国际市场上已经离不开物美价廉的中国产品。然而,我国要从制造大国向制造强国和创新强国过渡,要使我国的产品在国际市场上赢得更高的声誉,必须尽快提高产品质量的竞争力和知识产权的竞争力。清华大学出版社和本编审委员会联合推出的“普通高等院校工程训练系列规划教材”,就是希望通过工程训练这一培养本科生的重要环节,依靠作者们根据当前的科技水平和社会发展需求所精心策划和编写的系列教材,培养出更多视野宽、基础厚、素质高、能力强和富于创造性的人才。

我们知道,大学、大专和高职高专都设有各种各样的实验室。其目的是通过这些教学实验,使学生不仅能比较深入地掌握书本上的理论知识,而且能更好地掌握实验仪器的操作方法,领悟实验中所蕴涵的科学方法。但由于教学实验与工程训练存在较大的差别,因此,如果我们的大学生不经过工程训练这样一个重要的实践教学环节,当毕业后步入社会时,就有可能感到难以适应。

对于工程训练,我们认为这是一种与社会、企业及工程技术的接口式训练。在工程训练的整个过程中,学生所使用的各种仪器设备都来自社会企业的产品,有的还是现代企业正在使用的主流产品。这样,学生一旦步入社会,步入工作岗位,就会发现他们在学校所进行的工程训练与社会企业的需求具有很好的一致性。另外,凡是接受过工程训练的学生,不仅为学习其他相关的技术基础课程和专业课程打下了基础,而且同时具有一定的工程技术素养。这样就为他们进入社会与企业,更好地融入新的工作群体,展示与发挥自己的才能创造了有利的条件。

近10年来,国家和高校对工程实践教育给予了高度重视,我国的理工科院校普遍建立了工程训练中心,拥有前所未有的、极为丰厚的教学资源,同时面向大量的本科学生群体。这些宝贵的实践教学资源,像数控加工、特种加工、先进的材料成形、表面贴装、数字化制造等硬件和软件基础设施,与国家的企业发展及工程技术发展密切相关。而这些涉及多学科领域的教学基础设施,又可以通过教师和工程技术人员的创造性劳动,转化和衍生出我国社会与企业所迫切需求的课程与教材,使国家投入的宝贵资源发挥其应

有的教育教学功能。

为此,本系列教材的编审,将贯彻下列基本原则:

(1) 努力贯彻教育部和财政部有关“质量工程”的文件精神,注重课程改革与教材改革配套进行。

(2) 要求符合教育部工程材料及机械制造基础课程教学指导组所制定的课程教学基本要求。

(3) 在整体将注意力投向先进制造技术的同时,要力求把握好常规制造技术与先进制造技术的关联,把握好制造基础知识的取舍。

(4) 先进的工艺技术,是发展我国制造业的关键技术之一。因此,在教材的内涵方面,要着力体现工艺设备、工艺方法、工艺创新、工艺管理和工艺教育的有机结合。

(5) 有助于培养学生独立获取知识的能力,有利于增强学生的工程实践能力和创新思维能力。

(6) 融汇实践教学改革的最新成果,体现出知识的基础性和实用性,以及工程训练和创新实践的可操作性。

(7) 慎重选择主编和主审,慎重选择教材内涵,严格遵循国家技术标准。

(8) 注重各章节间的内部逻辑联系,力求做到文字简练,图文并茂,便于自学。

本系列教材的编写和出版,是我国高等教育课程和教材改革中的一种尝试,一定会存在许多不足之处。希望全国同行和广大读者不断提出宝贵意见,使我们编写出的教材更好地为教育教学改革服务,更好地为培养高质量的人才服务。

普通高等院校工程训练系列规划教材编审委员会

主任委员:傅水根

2008年2月于清华园



前言

本书是根据教育部关于高等职业院校教育基础课程教学基本要求,并结合作者在哈尔滨工业大学本部以及华德应用技术学院、成人教育学院、远程教育学院及黑龙江东方学院等多所院校近 20 年的教学改革经验编写而成,可供高等职业院校工科机械类及近机类各专业使用,也可作为高等专科机械类及近机类教材及工程技术人员参考。

本书充分考虑了高等职业院校学生的特点,注重实用、简化理论并吸纳了最新工艺技术,同时注意充分吸收了现有同类教材的优点。本书理论难度要低于国内重点工科大学所使用的教材,但要高于金工实习教材和技工学校及中等职业学校的金属工艺学教材;所涉及的实际工艺多于国内重点工科大学所使用的教材,并着重强调多、广、新。

本书主要特色如下:

(1) 省掉了材料方面的内容,集中有限篇幅详细讲解金属加工工艺方面的知识,具体包括金属热加工、金属冷加工(切削加工)及表面处理等工艺。

(2) 针对高等职业院校学生理论基础较薄弱的特点,简化了部分生涩难懂的理论推导,增加了很多形象生动的实物图片和生产现场照片,增加了金属制造工艺知识的直观性和趣味性。

(3) 注意及时吸纳已实用的科技新成果、新技术,让学生能获得最新的科技知识,如熔化沉积法造型等铸造新技术,电磁成形、内高压成形及热冲压成形等塑性加工新技术,搅拌摩擦焊、冷压焊及水下焊接等焊接新技术,金属粉末注射成形、大气压力固结及动磁成形等粉末冶金新技术。

(4) 注意培养学生理论联系实际的能力,如以商品化有限元分析软件 Deform 为例,讲解了金属塑性加工过程计算机仿真实实现的具体步骤等。

(5) 增加了特种加工和表面处理等专门章节,使本书内容构成了一个关于金属零件制造过程的完整知识体系。

本书由哈尔滨工业大学王少纯博士(第 1、2、3、4、14 章)、黑龙江工程学院马慧良副教授(第 8、11 章)、哈尔滨工业大学华德应用技术学院关晓冬副教授(第 12、13 章)、哈尔滨工业大学韩成顺博士(第 6、7 章)、戴达军(第 5、15 章)、蔡志刚(第 9、10 章)等编写。全书由王少纯、马慧良、关晓冬任主编,

苏艳杰工程师,初海洋、程庆清、于晓凯和王苏等硕士研究生参加了书稿整理和插图绘制等工作。

在本书编写过程中,参考了大量手册、教材及学术论文等文献,在此对相关作者和出版社表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中疏漏和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2011 年 3 月



第 1 章 铸造	1
1.1 铸造工艺基础	1
1.2 砂型铸造	9
1.3 特种铸造	24
1.4 铸造新技术	37
复习思考题	42
第 2 章 塑性加工	44
2.1 金属塑性变形原理	44
2.2 锻造	49
2.3 冲压	62
2.4 挤压	74
2.5 其他塑性加工方法	77
2.6 塑性加工新技术简介	82
2.7 塑性加工计算机仿真	88
复习思考题	93
第 3 章 焊接	94
3.1 电弧焊	95
3.2 其他焊接方法	107
3.3 焊接缺陷与检测	120
3.4 焊接方法的选择	125
3.5 典型焊接工艺实例	131
复习思考题	132
第 4 章 粉末冶金	133
4.1 粉末种类与性能	134
4.2 粉末制取方法	138
4.3 粉末冶金工艺	141
4.4 粉末冶金新技术	148
复习思考题	153

第 5 章 钢的热处理	155
5.1 钢在加热和冷却时的组织变化	155
5.2 钢的整体热处理	159
5.3 钢的表面热处理	163
5.4 钢的化学热处理	164
复习思考题	165
第 6 章 切削加工基础知识	166
6.1 切削运动和切削要素	166
6.2 切削刀具	169
6.3 金属切削过程及其伴生的物理现象	177
6.4 磨具和磨削过程	187
复习思考题	192
第 7 章 切削加工机床	193
7.1 机床类型及基本结构	193
7.2 机床机械传动	206
7.3 数控加工机床	213
7.4 计算机集成制造系统	219
复习思考题	221
第 8 章 切削加工	222
8.1 车削	222
8.2 钻削	225
8.3 镗削	227
8.4 刨削	229
8.5 拉削	230
8.6 铣削	232
8.7 磨削	236
8.8 插削	240
复习思考题	241
第 9 章 精密加工	242
9.1 普通精密加工	242
9.2 超精密加工	248
9.3 微细加工	249
复习思考题	250
第 10 章 特种加工	251
10.1 电火花加工	251
10.2 线切割加工	253
10.3 电解加工	254

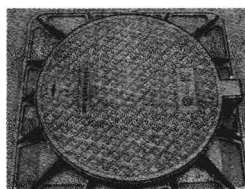
10.4 超声波加工	257
10.5 激光加工	258
10.6 电子束加工	260
10.7 离子束加工	261
10.8 水射流加工	262
复习思考题	264
第 11 章 典型表面加工	265
11.1 外圆表面加工	265
11.2 孔加工	268
11.3 平面加工	270
复习思考题	272
第 12 章 特型表面加工	273
12.1 螺纹表面加工	273
12.2 齿轮齿形表面加工	278
12.3 成形面加工	285
复习思考题	287
第 13 章 数控加工	288
13.1 基本原理	288
13.2 数控车	303
13.3 数控铣	307
13.4 数控线切割	311
复习思考题	315
第 14 章 零件表面处理	316
14.1 表面机械强化	316
14.2 表面电火花强化	319
14.3 表面激光强化	320
14.4 电镀	321
14.5 表面氧化	325
复习思考题	326
第 15 章 零件结构工艺性	327
15.1 铸造零件结构工艺性	328
15.2 塑性加工零件结构工艺性	334
15.3 焊接零件结构工艺性	339
15.4 切削加工零件结构工艺性	342
复习思考题	350
参考文献	352

铸 造



液态金属或合金,在压力或自身重力的作用下,流入到与所需零件形状及尺寸相适应的铸型型腔中,待冷却凝固后,形成毛坯或零件的制造方法称为铸造。和其他制造方法相比,铸造具有以下优点:能够制造锻造及切削加工不能完成的复杂外形的零件,生产成本低廉,铸件尺寸和重量不受限制。小到几克的硬币,大到几吨的机床或轮船壳体,都是铸造的杰作。但铸造也存在缺点:因为影响铸件质量的因素较多,铸造生产过程难以控制,铸件废品率较高;因为铸件容易出现如缩孔、缩松、浇不足、夹渣、气孔、裂纹等缺陷,铸件的力学性能稍差。

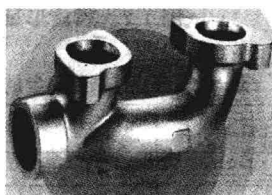
铸造是机械制造应用最广的一种工艺方法,在各种机器设备中,如汽车、火车、拖拉机、轮船、飞机等,金属铸件所占比例高达70%~80%。即使在最先进的计算机设备中,也有相当数量的铸造零件。铸造同时又是一种非常古老的生产方法,早在青铜器时代,人类就已经掌握了铸造方法。直到今天,即使我们已经步入了信息时代,这种古老的生产金属零件的方法仍然被广泛应用,并且还表现出旺盛的生命力。随着制造技术的飞速发展,各种铸造新方法不断涌现。先进的计算机技术和古老的铸造工艺相结合,使铸造车间不再是砂土飞扬的“翻砂”现场,取而代之的是一条条整齐优美的铸造生产线,一台台具有自动控制装置的铸造设备。总之,现代机器制造离不开铸造工艺。生产生活中常见的铸件如图1-1所示。



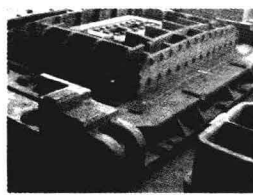
下水道盖



水泵外壳



水管接头



冲压模具

图1-1 铸件

1.1 铸造工艺基础

铸造工艺基础包括很多内容,其中液态合金的充型能力、铸件收缩及铸件缺陷这三个部分最为重要。

1.1.1 充型能力

液态合金充填铸型,获得形状完整、轮廓清晰铸件的能力称为充型能力。不同合金具有不同的充型能力。合金的充型能力差,将会导致浇不足、冷隔等缺陷。浇不足会使铸件形状改变,甚至形成废品;冷隔虽然不直接影响铸件外形,但铸造内部存在连接强度低的垂直接缝,使铸件力学性能大大下降。影响合金充型能力的因素主要有三个:流动性、浇注条件及铸型条件。

1. 流动性

流动性指液态合金的流动能力。合金的流动性越好,充型能力越强,浇注出的铸件轮廓就越清晰;反之,铸件容易出现浇不足、冷隔等缺陷。液态合金的流动性常用螺旋形试样来评定。将金属液浇入螺旋形铸型型腔中,冷却凝固后,形成螺旋形试件,如图 1-2 所示。在相同铸型及浇注条件下,浇注出的螺旋形试样越长,合金的流动性越好。表 1-1 是实验得出的常用铸造合金的螺旋形试样长度。

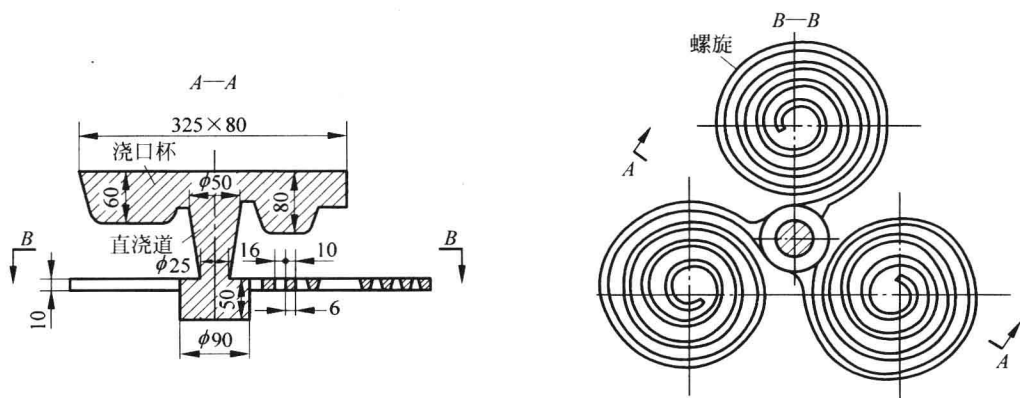


图 1-2 螺旋形试样示意图

表 1-1 常用铸造合金的螺旋形试件长度

合金种类	合金元素	铸 型	浇注温度/℃	螺旋线长度/mm
铸铁	6.2%(C+Si)	砂型	1 300	1 800
铸钢	0.4%C	砂型	1 600	100
铝硅合金	Al, Si	金属型(300℃)	700	750
镁合金	Al, Zn	砂型	700	500
锡合金	10%Sn, 2%Zn	砂型	1 040	420
硅黄铜	1.5%~4.5%Si	砂型	1 100	1 000

从表 1-1 可以看出,铸铁、硅黄铜螺旋形试样最长,说明这两种合金的流动性最好;相反,铸钢试样最短,说明它的流动性最差。合金化学成分是影响合金流动性的主要因素,其中碳对铁碳合金流动性的影响见图 1-3,共晶成分合金凝固温度最低,在相同浇注初始温度条件下,合金处于液态的温度范围最宽,在铸型中以液态形式流动的时间最长,因此铸出的螺旋形试件也最长,合金流动性最好。除共晶成分合金外,其他合金成分越远离共晶点,结

晶开始温度越高,在相同初始温度条件下,合金处于液态的温度范围越窄,在铸型中以液态形式流动的时间越短,因此铸出的试样长度越短,流动性也越差。由图 1-3 可知,亚共晶生铁随碳的质量分数增加流动性提高。越接近共晶成分,流动性越好,越容易铸造。

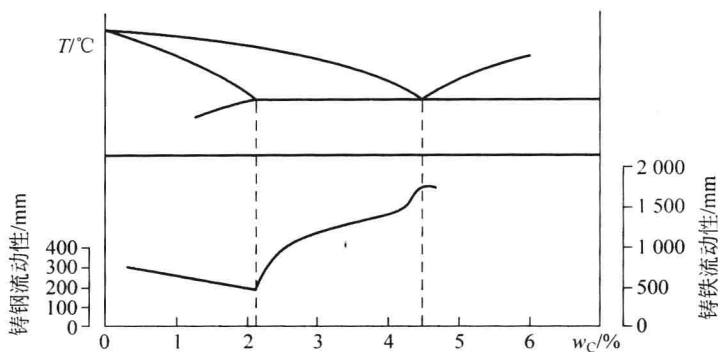


图 1-3 铁碳合金流动性与碳的质量分数关系

2. 浇注条件

浇注条件对合金充型能力的影响主要体现在浇注温度和充型压力两个方面。

浇注温度对合金充型能力有决定性影响。在一定范围内,浇注温度越高,合金流动性越好。因为随着浇注温度的提高,液态合金黏度下降,液体在铸型中的流动阻力减小,合金能够流动更长的距离;初始浇注温度越高,合金处于液态的温度范围越宽,合金在铸型中保持液态流动的时间越长,因此充型能力越强。但浇注温度不能过高,如果超过一定范围,铸件将产生缩孔、缩松、粘砂、吸气、氧化、粗晶等缺陷。因此,不同成分铸造合金都有特定的浇注温度范围,表 1-2 列出了几种常用铸造合金浇注温度范围。

表 1-2 几种常用铸造合金浇注温度范围

合金种类	灰铸铁	其他铸铁	铸钢	铝合金
浇注开始温度/℃	1 380	1 450	1 620	780
浇注结束温度/℃	1 200	1 230	1 520	680

充型压力对合金充型能力也有很大影响。充型压力越大,液态合金在流动方向上的驱动力就越大,充型能力也越好。生产中常利用增加直浇道高度或人工加压方式,来提高合金充型能力。压力铸造、低压铸造、离心铸造及真空吸铸等工艺,都是利用增大充型压力的方式来提高充型能力的。

3. 铸型条件

液态合金浇注时,铸型对合金充型能力也有显著影响,主要影响因素包括铸型蓄热能力、预热温度及透气性。铸型从金属中吸收和储存热量的能力称为铸型蓄热能力。铸型蓄热能力与铸型材料有关。铸型材料导热系数越小,传递热量的速度越慢,铸型内液态合金保温效果越好,流动时间越长,充型能力也越强;反之,充型能力越差。在实际生产中,砂型蓄热能力比金属型要大,因而,液态合金充型的能力较强,浇注出的铸件质量较好。把铸型预热到适当温度,可以减少铸型和液体合金之间的温差,从而减缓合金冷却速度,提高合金充

型能力。高温液体合金浇入铸型时,巨大的热量会使铸型中的气体膨胀。型砂中的少量水分还会汽化,煤粉、木屑或其他有机物会燃烧产生大量气体。这些气体会使型腔中的压力急剧升高,从而阻碍液态合金流动,降低合金充型能力。因此,铸型需要良好的透气性。生产上常采用在远离浇口的最高部位开设出气口的办法来提高铸型透气性。

1.1.2 铸件收缩

1. 收缩现象

铸造合金从液态冷却至室温的过程中,其体积及尺寸减小的现象称为收缩,收缩量的大小用体收缩率或线收缩率来表示。当铸造合金温度由开始温度 t_0 降到结束温度 t_1 时,其体(或线)收缩率用单位体积(或单位长度)的相对变化量来表示,即

$$\delta_v = \frac{V_0 - V_1}{V_0} \times 100\% = K_v(t_0 - t_1) \times 100\% \quad (1-1)$$

$$\delta_l = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \times 100\% = K_l(t_0 - t_1) \times 100\% \quad (1-2)$$

式中, δ_v 、 δ_l ——合金体收缩率、线收缩率;

V_0 、 V_1 ——合金在 t_0 、 t_1 时的体积;

K_v 、 K_l ——合金体收缩系数、线收缩系数;

l_0 、 l_1 ——合金在 t_0 、 t_1 时的长度。

合金收缩过程可分为液态收缩、凝固收缩及固态收缩三个阶段。液态收缩是指从浇注开始温度冷却到凝固开始温度(液相线温度)时液态合金的收缩。由公式(1-1)知,浇注温度差越高,体收缩越大。凝固收缩是指从凝固开始温度(液相线温度)冷却到凝固终止温度(固相线温度)时合金的收缩。具有恒温结晶的合金(纯金属或共晶合金),虽然结晶过程中没有温度变化,但由于合金状态改变也会引起收缩;具有结晶温度范围的合金,除由状态改变引起的收缩外,还有温度下降引起的收缩。温度差越大,引起的收缩量也越大。液态收缩和凝固收缩都会引起液态合金体积缩小,表现为内液面凹陷,它是缩孔和缩松等缺陷形成的主要原因。固态收缩是指从凝固终止温度冷却到室温时合金的收缩,它表现为铸件外形尺寸的减小,通常用线收缩率 δ_l 表示。线收缩是铸造应力、变形和裂纹等铸件缺陷产生的重要原因。合金的实际收缩量为上述三种收缩的总和。

2. 影响收缩的因素

影响合金收缩的主要因素有三个,即化学成分、浇注温度及铸型条件。不同成分合金的收缩率也不相同。常用几种铸造合金的体收缩率见表 1-3。从表中可以看出,灰铸铁总收缩率最小。这是因为在结晶过程中,灰铸铁中的石墨不断析出并产生体积膨胀,抵消了合金的部分收缩。

式(1-1)和式(1-2)清楚表示了浇注温度的影响,浇注温度越高、温度差越大,合金的收缩量也越大。实际铸件的收缩是受阻收缩而不是自由收缩,阻力是由型芯或铸型产生的。另外铸件壁厚不同,冷却速度也会不同,合金收缩速度就会出现差别,薄厚壁之间材料就会相互制约并产生阻力。因此,铸件实际的受阻收缩量显然要比合金自由收缩要小。

表 1-3 几种铸造合金的体收缩率

合金种类	碳的质量 分数/%	浇注温度 率/℃	液态收缩 率/%	凝固收缩 率/%	固态收缩 率/%	总收缩率/%
铸造碳钢	0.35	1 610	1.6	3	7.8	12.4
白口铸铁	3.00	1 400	2.4	4.2	5.4~6.3	12~12.9
灰铸铁	3.50	1 400	3.5	0.1	3.3~4.2	6.9~7.8

1.1.3 铸件缺陷

收缩是铸造合金重要的工艺性能,它对铸件质量有很大影响,同时也给铸造工艺带来许多困难。如果在实际生产中没有采取相应的工艺措施,将会使铸件产生缩孔、缩松、铸造应力、变形及裂纹等许多缺陷。

1. 缩孔与缩松

在液态合金结晶过程中,液态收缩和凝固收缩都会引起铸件体积收缩。如果由体积收缩产生的孔洞得不到材料及时补充,就会在铸件内部产生缩孔或缩松缺陷。缩孔是由合金收缩产生的集中在铸件上部或最后凝固部位容积较大的孔洞。缩孔一般呈倒圆锥形(类似心形),内表面比较粗糙。缩孔形成过程及铸件中的缩孔如图 1-4 所示。缩松是由合金收缩产生的分散在铸件某区域内的细小缩孔,分为宏观缩松和显微缩松两种。能用肉眼或放大镜看出的缩松称为宏观缩松,分布在铸件中心轴线处或缩孔下方;只能用显微镜才能观察出来的缩松称为显微缩松,分布在晶粒之间。这种缩松分布面积更为广泛,甚至遍及整个截面。显微缩松一般不作为缺陷对待。缩松形成过程如图 1-5 所示。

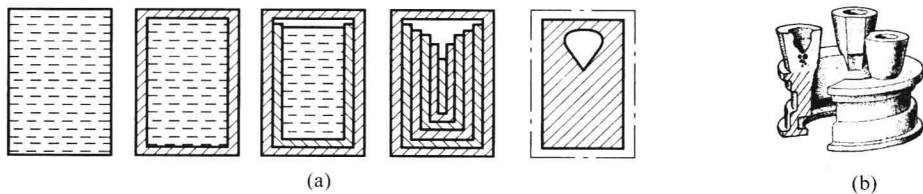


图 1-4 缩孔

(a) 缩孔形成过程; (b) 铸件中的缩孔

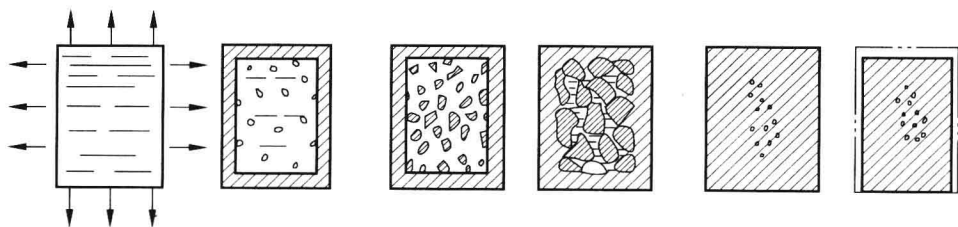


图 1-5 缩松形成过程

影响缩孔、缩松的因素包括金属成分、铸型、浇注条件及铸件结构。凝固温度范围越窄的合金,越容易产生缩孔;凝固温度范围越宽的合金,越容易产生缩松。缩孔、缩松与相图及合金成分的关系见图 1-6。金属型比砂型冷却能力强,冷却速度也较快,使凝固区域变窄,缩松减少。浇注温度越高,合金总体积收缩和缩孔倾向越大。浇注速度慢或向冒口中不断补浇高温合金液体,使铸件液态收缩和凝固收缩及时得到补偿,铸件总体积收缩缩小,缩孔容积也减小。另外,铸件复杂程度、铸件壁厚及壁与壁的连接等,都与缩孔、缩松的形成有密切关系。缩孔和缩松都属于铸件的重大缺陷,必须采取适当的工艺措施加以预防。生产中防止出现缩孔、缩松行之有效的方法是按照顺序凝固原则浇注。顺序凝固原则就是在铸件上可能出现缩孔的厚大部位安放冒口,使铸件上远离冒口的部位先凝固(见图 1-7 中的 I 部分),然后是靠近冒口的部位顺次凝固(见图 1-7 中的 II、III 部分),最后才是冒口本身的凝固,实现由远离冒口部分向冒口方向的顺序凝固。这样铸件上各部分的收缩都能得到稍后凝固部分合金液体的补充,缩孔则产生在最后凝固的冒口内。冒口为铸件多余部分,切除后便得到无缩孔的致密铸件。

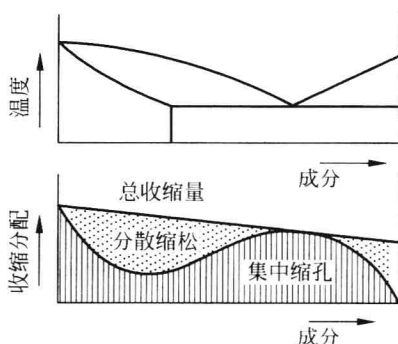


图 1-6 顺序凝固

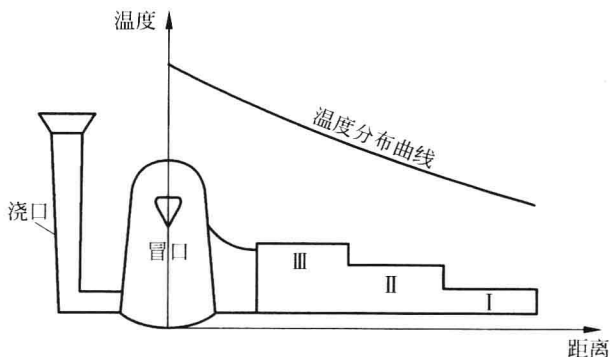


图 1-7 顺序凝固

要实现顺序凝固,首先要确定出缩孔可能出现的位置。容易出现缩孔的位置称为热节,确定热节位置的方法有两种:等温线法和内切圆法。图 1-8 中,等温线未曾通过的心部和最大直径内切圆圆心处,即为热节。

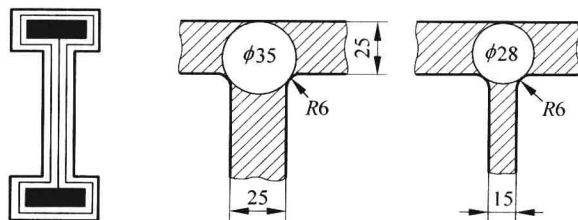


图 1-8 热节的确定

顺序凝固方法虽然有效地防止了缩孔和缩松的产生,但也增大了铸件各部分的温差,增加了铸件变形和产生裂纹的可能性,同时也耗费了许多材料和工时,增大了铸件成本。因此这种方法主要用于必须补缩的铸造材料,如铝青铜、铝硅合金和铸钢等。

2. 铸造应力

铸件凝固后继续冷却,其固态收缩若受到阻碍,铸件内部将产生应力。这些铸造应力可能是在冷却过程中暂时存在的,当引起应力的原因消除后,应力随之消失,称临时应力;也可能是长期存在的,在铸件内部一直保留到室温,称残余应力。铸造应力是铸件产生变形和裂纹的主要原因。按应力产生的原因,铸造应力又可分为热应力和机械应力两种。

1) 热应力

由于铸件壁厚不均匀、各部分材料冷却速度不同,导致铸件内各部分材料收缩不一致而引起的内应力。铸件落砂后热应力仍然存在,是一种残余应力。由于每一个铸件都有薄壁和厚壁部分,因此我们可以用一个抽象出来的框形铸件模型来代表所有形状和尺寸的铸件,如图 1-9 所示。其中粗杆 I 代表铸件厚壁部分,细杆 II 代表铸件薄壁部分,上下刚性横梁代表薄壁与厚壁之间的连接。此模型所得结论,能够适用于所有具有薄厚壁差别的铸件。

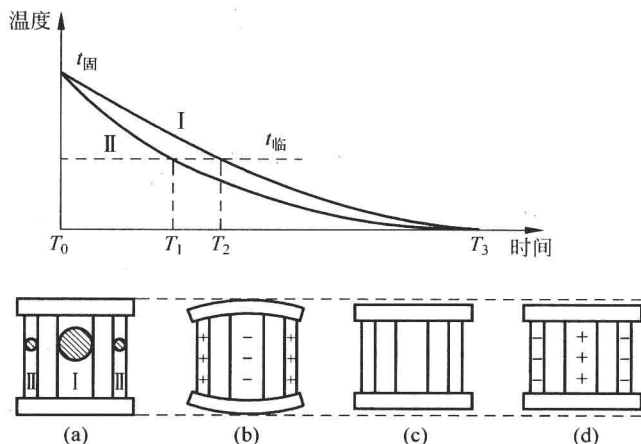


图 1-9 热应力形成

图 1-9 中,杆 I、II 从同一温度 $t_{\text{固}}$ 开始冷却,最后冷却到同一温度。由于杆 II 比杆 I 尺寸小,所以冷却前期 II 杆比 I 杆的冷却速度快,同一时刻 II 杆温度低于 I 杆;但两杆最终温度相同,故冷却后期 I 杆冷却速度一定比 II 杆要快。在临界温度 $t_{\text{临}}$ 以上,合金处于塑性状态;在 $t_{\text{临}}$ 以下,合金处于弹性状态。合金塑性变形时,受阻碍不会产生内应力;而弹性变形时,受阻碍会引起内应力。热应力的形成过程可分高温、中温及低温三个阶段:

高温阶段($T_0 \sim T_1$)两杆均处于塑性状态。虽然两杆冷却速度不同,收缩量也不一致,但杆内产生的临时应力均可通过塑性变形而自行消除,如图 1-9(a)所示。中温阶段($T_1 \sim T_2$)继续降温,II 杆已经进入弹性状态,而 I 杆仍处于塑性状态。细杆 II 冷却速度快,收缩量大于粗杆 I,所以细杆 II 受拉伸,粗杆 I 受压缩,如图 1-9(b)所示,两杆内部形成了临时应力,但这个临时应力由于粗杆 I 的塑性变形而立刻消除,如图 1-9(c)所示。低温阶段($T_2 \sim T_3$)两杆均处于弹性状态,此时,两杆长度相同,但温度不同。粗杆 I 温度较高,还