



新世纪

高等职业教育机电类课程规划教材

# 工程材料及成形工艺 (成形工艺及实训)

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

主 编 程金霞 副主编 白凤臣 曲长波



GONGCHENG CAILIAO JI CHENGXING GONGYI

大连理工大学出版社

DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

© 大连理工大学出版社 2004

### 图书在版编目(CIP)数据

工程材料及成形工艺(成形工艺及实训) / 程金霞主编. —大连:大连理工大学出版社,2004.8

高等职业教育机电类课程规划教材

ISBN 7-5611-2598-4

I. 工… II. 程… III. 工程材料—成形—工艺—教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 065196 号

### 大连理工大学出版社出版

地址:大连市凌水河 邮政编码:116024

电话:0411-84708842 传真:0411-84701466 邮购:0411-84707961

E-mail:dutp@dutp.cn URL:http://www.dutp.cn

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

---

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:16 字数:337千字

印数:1~6 000

2004年8月第1版

2004年8月第1次印刷

---

责任编辑:赵晓艳

责任校对:米青霞

封面设计:波朗

---

定 价:23.00 元

# 新世纪高等职业教育教材编委会教材建设 指导委员会

主任委员：

曹勇安 黑龙江东亚学团董事长 齐齐哈尔职业学院院长 教授

副主任委员(以姓氏笔画为序)：

马必学 武汉职业技术学院院长 教授  
王大任 辽阳职业技术学院院长 教授  
冯伟国 上海商业职业技术学院副院长 教授 博士  
刘兰明 邯郸职业技术学院副院长 教授 博士  
李竹林 河北建材职业技术学院院长 教授  
李长禄 黑龙江工商职业技术学院副院长 副研究员  
陈 礼 广东顺德职业技术学院副院长 教授  
金长义 广西工业职业技术学院院长 副教授  
赵居礼 陕西工业职业技术学院副院长 副教授  
徐晓平 盘锦职业技术学院院长 教授

秘书长：

杨建才 沈阳师范大学职业技术学院院长

副秘书长(以姓氏笔画为序)：

张和平 江汉大学高等职业技术学院院长  
周 强 齐齐哈尔大学职业技术学院副院长

秘书组成员(以姓氏笔画为序)：

卜 军 上海商业职业技术学院  
王澄宇 大庆职业学院  
粟景妆 广西国际商务职业技术学院  
鲁 捷 沈阳师范大学职业技术学院  
谢振江 黑龙江省司法警官职业学院

会员单位(略)：

我们已经进入了一个新的充满机遇与挑战的时代,我们已经跨入了 21 世纪的门槛。

20 世纪与 21 世纪之交的中国,高等教育体制正经历着一场缓慢而深刻的革命,我们正在对传统的普通高等教育的培养目标与社会发展的现实需要不相适应的现状作历史性的反思与变革的尝试。

20 世纪最后的几年里,高等职业教育的迅速崛起,是影响高等教育体制变革的一件大事。在短短的几年时间里,普通中专教育、普通高专教育全面转轨,以高等职业教育为主导的各种形式的培养应用型人才的教育发展到与普通高等教育等量齐观的地步,其来势之迅猛,发人深思。

无论是正在缓慢变革着的普通高等教育,还是迅速推进着的培养应用型人才的高等职业教育,都向我们提出了一个同样的严肃问题:中国的高等教育为谁服务,是为教育发展自身,还是为包括教育在内的大千社会?答案肯定而且惟一,那就是教育也置身其中的现实社会。

由此又引发出高等教育的目的问题。既然教育必须服务于社会,它就必须按照不同领域的社会需要来完成自己的教育过程。换言之,教育资源必须按照社会划分的各个专业(行业)领域(岗位群)的需要实施配置,这就是我们长期以来明乎其理而疏于力行的学以致用问题,这就是我们长期以来未能给予足够关注的教育目的问题。

如所周知,整个社会由其发展所需要的不同部门构成,包括公共管理部门如国家机构、基础建设部门如教育研究机构和各种实业部门如工业部门、商业部门,等等。每一个部门又可作更为具体的划分,直至同它所需要的各种专门人才相对应。教育如果不能按照实际需要完成各种专门人才培养的目标,就不能很好地完成社会分工所赋予它的使命,而教育作为社会分工的一种独立存在就应受到质疑(在市场经济条件下尤其如此)。可以断言,按照社会的各种不同需要培养各种直接有用人才,是教育体制变革的终极目的。

随着教育体制变革的进一步深入,高等院校的设置是



否会同社会对人才类型的不同需要一一对应,我们姑且不论。但高等教育走应用型人才培养的道路和走理论型(也是一种特殊应用)人才培养的道路,学生们根据自己的偏好各取所需,始终是一个理性运行的社会状态下高等教育正常发展的途径。

高等职业教育的崛起,既是高等教育体制变革的结果,也是高等教育体制变革的一个阶段性表征。它的进一步发展,必将极大地推进中国教育体制变革的进程。作为一种应用型人才培养的教育,高等职业教育从专科层次起步,进而高职本科教育、高职硕士教育、高职博士教育……当应用型人才培养的渠道贯通之时,也许就是我们迎接中国教育体制变革的成功之日。从这一意义上说,高等职业教育的崛起,正是在为必然会取得最后成功的教育体制变革奠基。

高职教育还刚刚开始自己发展道路的探索过程,它要全面达到应用型人才培养的正常理性发展状态,直至可以和现存的(同时也正处在变革分化过程中的)理论型人才培养的教育并驾齐驱,还需假以时日;还需要政府教育主管部门的大力推进,需要人才需求市场的进一步完善发育,尤其需要高职教学单位及其直接相关部门肯于做长期的坚忍不拔的努力。新世纪高等职业教育教材编审委员会就是由全国 100 余所高职院校和出版单位组成的旨在以推动高职教材建设来推进高等职业教育这一变革过程的联盟共同体。

在宏观层面上,这个联盟始终会以推动高职教材的特色建设为己任,始终会从高职教学单位实际教学需要出发,以其对高职教育发展的前瞻性的总体把握,以其纵览全国高职教材市场需求的广阔视野,以其创新的理念与创新的组织形式,通过不断深化的教材建设过程,总结高职教学成果,探索高职教材建设规律。

在微观层面上,我们将充分依托众多高职院校联盟的互补优势和丰裕的人才资源优势,从每一个专业领域、每一种教材入手,突破传统的片面追求理论体系严整性的意识限制,努力凸现高职教育职业能力培养的本质特征,在不断构建特色教材建设体系的过程中,逐步形成自己的品牌优势。

新世纪高等职业教育教材编审委员会在推进高职教材建设事业的过程中,始终得到了各级教育主管部门以及各相关院校相关部门的热忱支持和积极参与,对此我们谨致深深谢意;也希望一切关注、参与高职教育发展的同道朋友,在共同推动高职教育发展、进而推动高等教育体制变革的进程中,和我们携手并肩,共同担负起这一具有开拓性挑战意义的历史重任。

新世纪高等职业教育教材编审委员会

2001年8月18日

《工程材料及成形工艺(成形工艺及实训)》是新世纪高等职业教育教材编委会组编的与《工程材料及成形工艺(工程材料基础)》相配套的机电类课程规划教材之一。

本教材是编者借鉴部分高职院校教学改革的经验,结合编者多年来在培养技术应用型人才方面探索的实践经验 and 体会而编写的。对传统的“工程材料”、“金属工艺学”和“金工实习”课程进行了整合,突出教学内容的先进性、实践性、实用性、应用性和综合性,对传统的教学内容进行了调整和补充,以成形工艺应用为主线,避免复杂的推理论证和定量分析,力求理论描述通俗易懂,并补充了一些实用性很强的实践技能训练。本教材是适用于高职机电类、机械类和近机类各专业的通用教材。本教材可同时用于课堂教学、实训和实习(金工实习)等教学环节,也可供相关专业的工程技术人员参考与自学。

本教材具有以下特点:

1. 以成形工艺应用为主线,将理论教学与实训教学内容进行全方位整合,形成全新的课程内容体系,把对学生技术应用能力的培养贯穿到教材内容的各个部分;
2. 对传统加工工艺中的部分内容,根据其在现代机械加工中应用的程度进行大胆的取舍,增加了大量的先进制造技术以及新工艺新技术的内容;
3. 注重反映现代科技新成果和先进加工方法与传统加工方法的结合与贯通,使教材内容既具有科学性、系统性,又具有先进性、适用性;

全书共分7章,分别为铸造成形;塑性成形;焊接成形;非金属材料成形;粉末冶金;切削加工及特种加工;成形工艺综合分析。各章后均有复习思考题,有助于学生对教学内容的复习、巩固和深化;各章后还配有单元实训,实训教学的基本内容,具有很强的可操作性,各校可根据实际条件安排实训。

本教材由邯郸职业技术学院程金霞任主编,黑龙江工



商职业技术学院白凤臣、辽宁工程技术大学职业技术学院曲长波任副主编,黑龙江工商职业技术学院马文姝参与了部分章节的编写,具体编写分工如下:程金霞编写第1章、第2章;白凤臣编写第3章至第5章;曲长波编写第6章;马文姝编写第7章。本教材由程金霞组稿和定稿,大连理工大学谭家隆老师审阅了全书,并提出了一些宝贵的意见和建议。

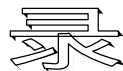
尽管我们在探索《工程材料及成形工艺(成形工艺及实训)》教材特色建设的突破方面做了许多努力,但由于高职教育教学改革是一个继续探索和不断深化的过程,教材的完善需要一个较长的时间,加之编者水平有限,难免存在疏漏和不足之处,恳请各教学单位和读者在使用本教材的过程中给予关注,多提一些宝贵的意见和建议,以便修订时改进。

所有意见和建议请寄往:gzjckcb@163.com

联系电话:0411-84707604 13352244668

编者

2004年8月



---

第 1 章 铸造成形	1
1.1 合金的铸造性能	2
1.2 砂型铸造	13
1.3 铸造工艺方案分析	19
1.4 特种铸造	30
1.5 单元实训	38
本章小结	45
复习思考题	45
第 2 章 塑性成形	48
2.1 金属塑性变形	49
2.2 自由锻	55
2.3 模锻	59
2.4 板料的冲压	68
2.5 单元实训	80
本章小结	85
复习思考题	85
第 3 章 焊接成形	87
3.1 焊接成形基础	88
3.2 焊接成形工艺方法	103
3.3 焊接结构的设计	122
3.4 焊接成形技术新进展	129
3.5 单元实训	131
本章小结	140
复习思考题	141
第 4 章 粉末冶金成形工艺	143
4.1 粉末冶金成形工艺过程	143
4.2 粉末冶金制品的结构工艺性	147
本章小结	150
复习思考题	150
第 5 章 非金属材料成形	151

5.1	高分子材料成形 .....	151
5.2	陶瓷材料成形 .....	158
5.3	复合材料成形 .....	159
	本章小结.....	162
	复习思考题.....	162
<b>第6章</b>	<b>切削加工.....</b>	<b>164</b>
6.1	切削加工成形工艺 .....	164
6.2	机械加工工艺过程的制定 .....	211
6.3	零件结构的工艺性 .....	217
6.4	单元实训 .....	223
	本章小结.....	238
	复习思考题.....	238
<b>第7章</b>	<b>材料成形工艺的选择.....</b>	<b>239</b>
7.1	材料成形工艺的确定程序及选择原则 .....	239
7.2	材料成形工艺的选择依据 .....	240
7.3	材料成形工艺的选择举例 .....	241
	本章小结.....	244
	复习思考题.....	244
	参考文献.....	245

# 第 1 章

## 铸造成形

章首导读:大家在学习金属材料的过程中了解到,在铁碳合金材料中除非合金钢、合金钢之外还有铸钢和铸铁;在非铁合金材料中除变形铝合金、变形铜合金等变形材料外,还有铸造铝合金、铸造铜合金等铸造非铁合金材料,这些铸钢、铸铁、铸造铝合金和铸造铜合金等铸造合金材料只能用铸造成形的方法来生产毛坯或零件。对于内腔复杂的气缸、箱体、泵体、阀体、形状难以用切削加工成形的叶轮、螺旋桨、数百吨重的轧钢机机架等毛坯或零件,铸造成形工艺是他们惟一的或最主要的成形方法。

铸造是将液态金属浇入到铸型型腔中,待其冷却凝固后获得具有一定形状和性能的毛坯或零件的生产工艺。铸造是生产毛坯或零件的主要方法之一,是机械制造业的重要基础。

铸造在机械制造业中被广泛应用,铸件在机床、内燃机、重型机械、农机、车辆和航空中占有相当大的比重。铸造成形工艺具有如下特点:

(1)适合制造形状复杂、特别是内腔形状复杂的毛坯或零件。如气缸、箱体、泵体、阀体、叶轮、螺旋桨等主要是铸造成形。

(2)铸件的大小几乎不受限制,如小到几克的电器仪表零件,大到数百吨的轧钢机机架,均可铸造成形。

(3)铸造生产工艺简单,且使用的材料价格低廉,范围广,对于如铸铁等某些塑性很差、不易塑性成形和焊接成形的材料,铸造是其毛坯或零件的惟一成形工艺。

(4)铸造生产工序较多,影响铸件质量的因素复杂,容易产生如浇不足、缩孔、缩松、气孔、砂眼、裂纹等铸造缺陷,废品率较高。一般来说,直接铸造成形的毛坯或零件,其内部组织的均匀性、致密度都较低,力学性能低于塑性成形件。

铸造成形工艺按铸型材料、造型方法和浇注条件等分为砂型铸造和特种铸造两大类。砂型铸造是传统的铸造方法,其工艺灵活,成本低廉。所以,由砂型铸造生产的铸件占铸件总产量的90%以上。特种铸造是指砂型铸造以外的铸造工艺,常见的有熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造和离心铸造等。特种铸造在生产率和铸件质量等方面优于砂型铸造,但成本比砂型铸造高,受铸件结构、铸件重量和铸造材料的影响,其使用具有一定的局限性。

## 1.1 合金的铸造性能

合金的铸造性能是指合金在铸造成形中获得尺寸精确、形状完整的优质铸件的能力。是一项重要的工艺性能,合金的铸造性能是选择铸造合金材料、确定铸造工艺方案、设计铸件结构的依据之一。通常用合金的流动性、收缩性、吸气性和成分偏析倾向性等衡量。

### 1.1.1 合金的流动性

#### 1. 流动性的概念

(1)合金的流动性 合金的流动性是指合金在液态下的流动能力。

在实际生产中,合金的流动性用浇注流动性试样的方法来确定。合金流动性的好坏,通常以螺旋试样的长短来衡量,将液态合金浇入螺旋形标准试样所形成的铸型中(如图1-1所示),待其冷却凝固后,测出浇注试件的实际螺旋线长度。在相同的工艺条件下,螺旋线越长,合金的流动性就越好。在常用的铸造合金中,灰铸铁、硅黄铜的流动性较好,铸钢较差,铝合金居中,见表1-1。

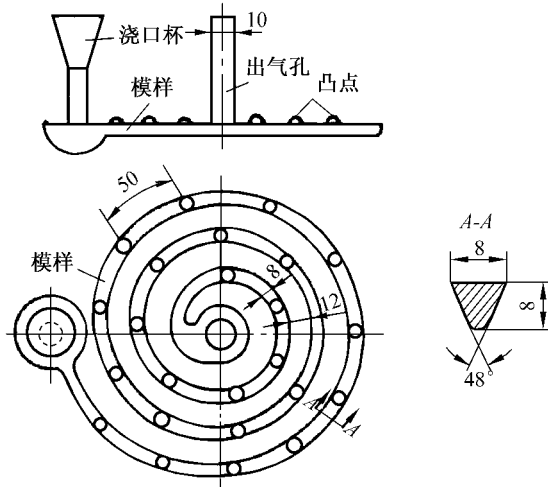


图 1-1 螺旋形模样

表 1-1

常用合金流动性举例

合金	造型材料	浇注温度/°C	螺旋线长度/mm
灰铸铁 $\omega_{c+si}=5.2\%$	砂型	1300	1000
$\omega_{c+si}=4.2\%$	砂型	1300	600
铸钢 $\omega_c=0.4\%$	砂型	1600	100
		1640	200
锡青铜 $\omega_{sn}=9\%\sim 11\%$	砂型	1040	420
$\omega_{zn}=2\%\sim 41\%$			
硅黄铜 $\omega_{si}=1.5\%\sim 4.5\%$	砂型	1100	1000
铝合金(硅铝明)	金属型(300°C)	680~720	700~800

(2)合金的流动性对其充型能力的影响 充型是指液态合金填充铸型的过程。合金的充型能力是指液态合金充满铸型,获得轮廓清晰、形状完整的铸件的能力。合金的流动性越好,其充型的能力越强,越容易铸出轮廓清晰的薄壁复杂铸件,越有利于液态合金中气体和熔渣的上浮与排除,越有利于对凝固过程中所产生的收缩进行补缩。反之,合金的流动性越差,铸件就越容易产生浇不足、冷隔、气孔、夹渣和缩孔等缺陷。

## 2. 影响流动性的因素

凡影响液态合金在铸型中的流动时间和流动速度的因素都会影响合金的流动性,影响流动性的主要因素有:

(1)合金的化学成分 合金的化学成分对其流动性的影响最显著。不同化学成分的合金,因其结晶特性不同,流动性也不同。一般来说纯金属和共晶成分的合金流动性好,这主要因为纯金属和共晶成分的合金具有在恒温下结晶的特性。纯金属和共晶成分的合金其凝固方式为由表面向中心的逐层凝固,已凝固金属层与未凝固金属液相接处的表面(即结晶前沿)比较光滑,对尚未凝固的金属流动阻力小,流动性好。另外,共晶成分的合金熔点最低,在相同的浇注温度下,其过热度最大,保持液态的时间最长,所以,共晶成分的合金流动性最好。其他成分的合金具有在一定结晶温度范围内结晶的特性,在已凝固的固相与尚未凝固的液相之间存在一个液、固两相的共存区(即糊状凝固区),使液、固两相接触表面粗糙,对尚未凝固的金属流动阻力大,流动性较差。并且,液、固两相共存区中的固相为树枝晶,树枝晶的表面积大,导热快,使金属的冷却速度加快,合金的结晶温度范围越大,树枝晶越发达,合金的流动性越差。如图 1-2 所示为铁碳合金流动性与其含碳量的关系。

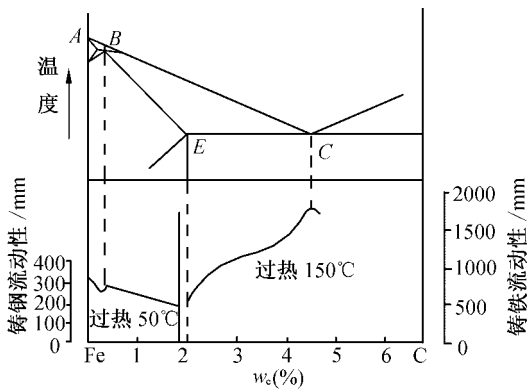


图 1-2 铁碳合金流动性与其含碳量的关系

凡能降低金属液黏度的成分均有助于提高合金的流动性,在铸铁中,如磷可降低铁液的凝固温度和黏度,可提高铁液的流动性,但磷又会引起铸铁的冷脆现象。所以,可用高磷铸铁生产力学性能要求不高的薄壁铸件和艺术铸件。硫能形成悬浮于铁液中的  $MnS$  质点,使铁液黏度增高,引起合金流动性下降。

## (2) 浇注条件

①浇注温度 浇注温度对合金流动性的影响很大。在一定温度范围内,浇注温度越高,金属液的过热度(过热度是指金属液的浇注温度与其熔点的差)越大,黏度越低,合金

保持液态的时间越长,其流动性越好。所以,适当提高浇注温度,可预防浇不足、冷隔和夹渣等铸造缺陷。但浇注温度过高,会导致金属的收缩增大,吸气增多,氧化严重,使铸件产生缩孔、缩松、气孔和粘砂等缺陷。所以,对每一种合金都规定了其浇注温度范围。常用合金的浇注温度范围为:铸造碳钢 1520~1620℃,灰铸铁 1200~1380℃,铝合金 680~780℃。一般情况下,对薄壁复杂铸件或合金流动性较差的铸件取上限,厚大件取下限,在保证液态合金有足够充型能力的前提下,浇注温度应尽可能低。在实际应用中浇注温度根据铸件的大小、壁厚、结构复杂程度及合金成分而定。

②浇注压力 液态金属在流动方向上受到的压力越大,其流动性越好。生产中通常采用增加直浇道高度或采用压力铸造、离心铸造等生产工艺来增大浇注压力,提高金属的流动性。

### (3)铸型填充条件

铸型导热能力越强,其散热越快,合金的流动性越容易降低。反之,合金的流动性将提高。如液态金属在金属型中的流动性比在砂型中差。使用预热后温度高的铸型比使用未预热的铸型合金流动性好。另外,使用发气量大的铸型材料,加之铸型排气不畅通,造成铸型内气体反压增大时,金属液的流动阻力也会增大,使金属液的流动性下降。

### (4)铸件结构

铸件结构越复杂,铸件壁越薄,铸型型腔的阻力越大,合金的流动性越低。

总之,影响合金流动性的因素很多,为提高合金的流动性,在实际选用合金时应尽量选用共晶成分合金或结晶温度范围较小的合金;在合金成分已定的情况下,采取其他工艺措施来提高合金的流动性,如提高浇注温度、浇注压力、选择合适的造型材料、合理设计浇注系统和改进铸件结构等。

## 1.1.2 合金的收缩性

### 1. 收缩的概念

合金从浇注温度冷却凝固至室温的过程中体积或尺寸缩减的现象,称为收缩。收缩是合金固有的物理特性,如果在铸造过程中对收缩不能进行有效控制,常常会导致铸件产生缩孔、缩松、变形和裂纹等铸造缺陷。因此,必须研究合金的收缩规律。

合金的收缩过程分三个阶段:

(1)液态收缩 指从浇注温度到凝固开始温度(即液相线温度)间的收缩。

(2)凝固收缩 指从凝固开始温度(即液相线温度)到凝固终了温度(即固相线温度)间的收缩。

(3)固态收缩 指从凝固终了温度(即固相线温度)到室温间的收缩。

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,即铸件单位体积的收缩量。它们是铸件形成缩孔和缩松缺陷的基本原因。

合金的固态收缩表现为铸件轮廓尺寸的缩减,用线收缩率来表示,即铸件单位长度上的收缩量。固态收缩是铸件产生内应力、变形和裂纹的基本原因。

上述三种收缩的和为合金的总收缩。

影响合金收缩率的因素很多,具体有:化学成分、浇注温度、铸型条件和铸件结构等。

不同合金有不同的收缩率。在常用铸造合金中,铸钢收缩率较大,灰铸铁较小,见表 1-2。

表 1-2 几种铁碳合金的体积收缩率

合金种类	$w_c/\%$	浇注温度/ $^{\circ}\text{C}$	液态收缩/ $\%$	凝固收缩/ $\%$	固态收缩/ $\%$	总体积收缩/ $\%$
碳素铸钢	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
灰铸铁	3.5	1400	3.5	0.1	3.3~4.2	6.9~7.8

灰铸铁的收缩率较小是由于灰铸铁中的碳在结晶时大多以石墨的形态析出,石墨的比容大,使灰铸铁的体积膨胀,可抵消部分收缩。随着含碳量的提高,灰铸铁的收缩率变小。浇注温度越高,过热度越大,合金的总收缩率就越大。

对尺寸精度要求较高或结构复杂的铸件,其收缩率必须经过多次试验来确定。

## 2. 合金在收缩过程中容易产生的不良现象

### (1) 缩孔与缩松

铸件在凝固过程中,由于液态收缩和凝固收缩,在铸件最后凝固的部分所引起的体积缩减得不到金属液的及时补偿而形成的孔洞,大而集中的称为缩孔,细小分散的称为缩松。

#### ① 缩孔与缩松的形成

缩孔与缩松的产生主要与合金的化学成分和结晶特性有关。

- 缩孔的产生 纯金属、共晶成分的合金和结晶温度范围很窄的合金,由于它们的凝固是在一个恒定温度或很窄的温度范围内进行,呈逐层凝固方式,容易产生缩孔。

缩孔的形成过程如图 1-3(a)所示。液态金属充满铸型后,由于铸型吸热,靠近型壁的一层金属液先凝固而形成铸件外壳,由于温度下降,金属液产生的液态收缩和凝固收缩得不到更多金属液的及时补偿,因而液面开始下降;铸件继续冷却,凝固层加厚,内部剩余的金属液由于液态收缩和凝固收缩,体积继续缩减,液面继续下降,这一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缩孔。缩孔形状呈倒锥形,不规则,内表面粗糙,可看到发达的树枝晶末梢,可与气孔区分开来。因凝固条件不同,缩孔可能隐藏在铸件表皮之下(此时铸件上表皮可能呈凹陷状),亦可能露在铸件表面。

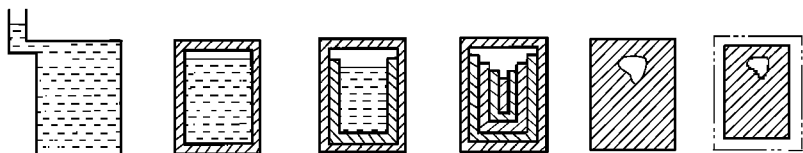
- 缩松的产生 结晶温度范围较宽,呈糊状凝固方式的合金或断面较大的铸件壁中,容易产生缩松。

缩松的形成过程如图 1-3(b)所示。液态金属充满铸型后,靠近型壁的一层金属液先凝固而形成铸件外壳,在固、液两相之间形成一个较宽的液固两相的共存区,其中固相为粗大的树枝晶,结晶前沿凸凹不平。随温度的不断下降,固相向中心推进,直至粗大的树枝晶相互联接。发达的树枝晶将凸凹不平的凝固前沿分隔成许多小液体区,这些小液体区因得不到补缩在铸件凝固后形成细小而分散分布的孔洞,即缩松。缩松常分布在铸件的热节处、铸件壁的轴线处、内浇道口附近和集中缩孔的下方。

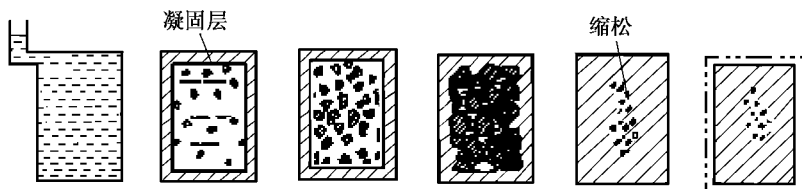
缩松分为宏观缩松和显微缩松两种。宏观缩松是指用肉眼或放大镜可以看见的分散细小的缩孔。显微缩松是指分布在晶粒之间的微小缩孔,用显微镜才能观察到,这种缩松分布极为广泛,甚至遍布铸件整个截面。

#### ② 缩孔和缩松的防止

缩孔和缩松都将减小铸件的有效截面积,大大降低铸件的力学性能,缩松还会极大地



(a) 缩孔的形成过程



(b) 缩松的形成过程

图 1-3 缩孔、缩松的形成过程

降低铸件的气密性、物理性能和化学性能,使铸件渗漏,是极其有害的铸造缺陷,必须根据技术要求,采取适当的工艺措施予以防止。

#### • 缩孔的防止

铸件在凝固过程中所产生的体积收缩现象,只要采用合理的工艺措施,恰当地控制铸件的凝固方向,使收缩的体积能及时得到金属液的补充,仍可以获得无缩孔的致密铸件。可采用定向凝固(或称顺序凝固)的方法防止缩孔的产生,即在铸件可能出现缩孔的厚大部位安放冒口(如图 1-4 所示),使铸件远离冒口的部位最先凝固,靠近冒口的部位后凝固,冒口本身最后凝固。定向凝固使铸件最先凝固部位的收缩由后凝固部位的金属液来补充,后凝固部位的收缩由冒口中的金属液补充,最后将缩孔转移到冒口中。另外,对于形状复杂、有多个热节(热节指铸件上内接圆直径较大的部位)的铸件,为实现定向凝固往往需要采用多个冒口并同时使用冷铁。

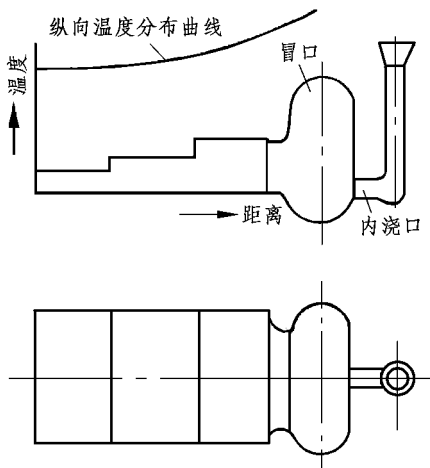


图 1-4 铸件顺序凝固示意图

冒口是铸型中设置的能够存储金属液的空腔,其作用是补缩和排气,防止铸件产生缩孔、缩松等缺陷。冒口分为明冒口和暗冒口两种,属于铸件上多余的部分,清理铸件时将被去除。

冷铁是预置于铸型中的激冷物。作用是加速铸件局部冷却,控制铸件的凝固方向,本身不起补缩作用。冷铁分为外冷铁和内冷铁两类;外冷铁多用铸钢和铸铁制造,可重复使用,安放在砂型中时,与金属液接触的表面应涂敷耐火涂料,以防止与铸件熔粘;内冷铁将熔合在铸件内,其材质应与铸件材质相同。由于熔合时易产生气孔、粘不牢等缺陷,所以,内冷铁一般应用在不重要的铸件中。

### • 缩松的防止

对于气密性要求高的气缸、油缸、阀体等承压铸件,必须采取工艺措施来防止缩松。然而,防止缩松比防止缩孔要困难得多。缩松常出现在用结晶温度范围大的合金所制造的铸件中,由于发达的树枝晶堵塞了补缩通道,即使采用冒口也难以对热节处进行补缩,缩松的产生不可避免,在生产中可采用在热节处安放冷铁或在砂型的局部表面涂敷激冷涂料的办法,加大铸件的冷却速度或加大结晶压力,破碎枝晶,减小金属液流动的阻力,从而达到部分防止缩松的效果;尽量选择接近共晶成分的合金或结晶温度范围较小的合金生产铸件,以防止缩松产生。

### (2) 铸造应力

铸件的固态收缩受到阻碍时在铸件内部引起的内应力称为铸造应力。铸造应力对铸件的质量危害很大,当铸造应力方向与铸件所受外力方向相同时,铸件的实际承载能力将降低,铸造应力还是铸件产生变形和裂纹的基本原因。

#### ① 铸造应力的形成

铸件在固态收缩时所受到的阻碍分为热阻碍和机械阻碍两种。热阻碍是指铸件在冷却过程中由于各部位冷却速度不同,收缩不一致而引起的阻碍。机械阻碍主要是指铸件收缩时受到的铸型和型芯的阻碍。由热阻碍引起的应力称为热应力;由机械阻碍引起的应力称为机械应力。铸造应力可能是暂时的,也可能是长期的。当引起铸造应力的原因消失时随之消失的铸造应力称为临时应力;当引起铸造应力的原因消失后仍然存在的那部分应力称为残余应力。

#### • 热应力

热应力是由于铸件在冷却凝固过程中,各部分冷却速度不同,收缩受到热阻碍而引起的铸造应力。落砂后铸件内仍存在的热应力,属于残余铸造应力。

金属在冷却凝固过程中,在再结晶温度以上时,金属处于塑性状态,在较小的应力作用下,便会产生塑性变形,变形后其应力自行消除;在再结晶温度以下时,金属处于弹性状态,在应力作用下产生弹性变形,变形后应力仍然存在。

现以如图 1-5 所示框形铸件的冷却过程为例,说明热应力形成的过程。该框形铸件由上下两根横梁、一根粗杆 I 和两根相同的细杆 II 组成。粗杆 I 和细杆 II 的冷却曲线如图 1-6 所示。

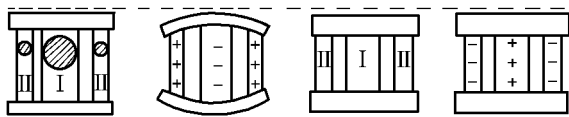


图 1-5 框形铸件的冷却过程

框形铸件的内应力形成可分为三个阶段:

第一阶段( $T_0 \sim T_1$ )。杆 I 和杆 II 都在再结晶温度以上,均处于塑性状态。由于杆 I 和杆 II 壁厚不一样,杆 I 的冷却速度小于杆 II 的冷却速度,杆 I 的收缩小于杆 II,杆 I 受到杆 II 压缩力的作用,杆 II 受到杆 I 拉伸力的作用,由于二者均处于塑性状态,所以,可通过二杆的塑性变形来消除瞬时的内应力,使铸件无内应力产生。

第二阶段( $T_1 \sim T_2$ )。杆 I 仍在再结晶温度以上,处于塑性状态,杆 II 已冷却到再结

晶温度以下,进入弹性状态。杆Ⅰ的冷却速度仍小于杆Ⅱ,杆Ⅰ的收缩小于杆Ⅱ,杆Ⅰ受到杆Ⅱ压缩力的作用,杆Ⅱ受到杆Ⅰ拉伸力的作用,产生的临时内应力可通过杆Ⅰ的塑性变形来消除,铸件仍无内应力产生。

第三阶段( $T_2 \sim T_3$ )。杆Ⅰ也冷却到再结晶温度以下,进入弹性状态,由于杆Ⅰ的温度较高,杆Ⅱ的温度较低,所以,杆Ⅰ的冷却速度将大于杆Ⅱ,杆Ⅰ的收缩也将大于杆Ⅱ,杆Ⅰ受到杆Ⅱ拉伸力的作用,杆Ⅱ受到杆Ⅰ压缩力的作用,由于二者均处于弹性状态,弹性变形比塑性变形困难得多,所以就产生了残余热应力,直至室温。

由此可见,热应力是由铸件上壁厚差别较大的部分自由收缩受到阻碍所引起的。残余热应力与合金的弹性模量、线收缩系数、铸件各部分的壁厚差别及温差成正比。铸钢的弹性模量和线收缩系数比灰铸铁大,所以铸钢件的热应力比灰铸铁件的大,壁厚差别大和按顺序凝固原则凝固的铸件容易形成热应力。

#### • 机械应力

机械应力(又称收缩应力)是铸件的固态收缩受到铸型或型芯的机械阻碍而形成的内应力。如图 1-7 所示的套筒铸件在冷却收缩时,其轴向受砂型阻碍,径向受型芯阻碍,由此产生机械应力。机械应力一般为拉应力,是铸件在弹性状态下产生的,其大小取决于铸型及型芯的退让性,铸件落砂后,机械应力随之消失。故机械应力是一种临时应力。但是,当机械应力在铸型中与热应力作用方向一致时,则将增大铸件的拉应力,从而增大铸件产生裂纹的可能性。

#### ② 由铸造应力引起的铸件变形

残余内应力的存在,使铸件处于一种不稳定状态,当铸件中的残余应力超过铸件材料的屈服极限时,铸件便会自发的产生变形来缓解应力、回到稳定平衡状态。只有原来受拉伸部分产生压缩变形、受压缩部分产生拉伸变形,才能使铸件中的残余内应力减小或消除。

对于壁厚不均匀、截面不对称和形状细长的杆类、板类和轮类等铸件,当残余铸造应力超过铸件材料的屈服极限时,往往会产生翘曲变形。

如图 1-8(a)所示的 T 形梁铸件,其上部较厚,冷却较慢,受拉应力,将产生压缩变形来缓解应力;其下部较薄,冷却较快,受压应力,将产生拉伸变形来缓解应力。因此,最后出现了上边下凹,下边外凸的变形。如图 1-8(b)所示的 T 形梁铸件与其上面所示的 T 形梁铸件结构相反,所以其产生的弯曲变形方向也相反。

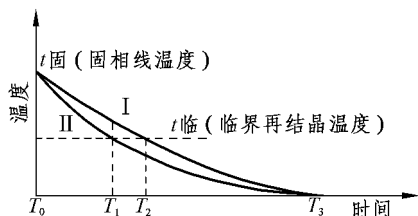


图 1-6 冷却曲线

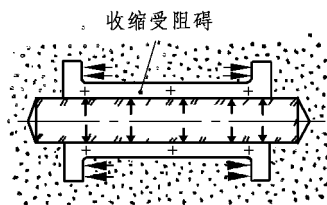


图 1-7 受砂型和型芯机械阻碍的套筒铸件

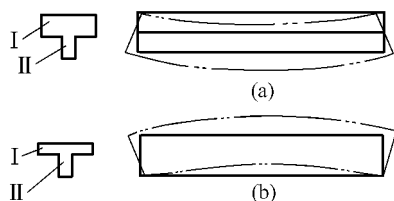


图 1-8 T 形梁铸件收缩变形