

普通高等院校“十二五”规划教材

热加工工艺基础

Foundamentals of
Hot Working Technology

刁云 许音 杨晶 马仙 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

013024493

TG306
07

普通高等院校“十二五”规划教材

热加工工艺基础

刘云 许音 杨晶 马仙 编著



TG306

07

国防工业出版社



北航

C1631936

1305423

内 容 简 介

本书主要介绍铸造、锻压和焊接三种毛坯成形的工艺基础知识。全书共三篇,第一篇铸造部分,包括铸造工艺基础、砂型铸造工艺方案、砂型铸件结构设计、特种铸造和常用铸件的生产;第二篇锻压部分,包括金属的塑性变形、锻造和板料冲压;第三篇焊接部分,包括电弧焊、其他常用焊接方法、常用金属材料的焊接和焊接结构设计与工艺设计。

本书可供普通高等工科院校以及高等职业技术学院机械类、材料类及近机械类专业师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

热加工工艺基础 / 刘云等编著. —北京: 国防工业出版社, 2013. 2

普通高等院校“十二五”规划教材
ISBN 978 - 7 - 118 - 08605 - 8

I. ①热... II. ①刘... III. ①热加工 - 工艺学 - 高等学校 - 教材 IV. ①TG306

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 007453 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 9 $\frac{3}{4}$ 字数 232 千字

2013 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 22.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

为贯彻教育部高等学校机械基础指导委员会关于《普通高等学校工程材料及机械制造基础系列课程教学基本要求》的精神,编者结合多年来从事金工教学工作的经验编写本教材。本教材是工程材料及机械制造基础课程的教学用书,它是普通高等工科院校以及高等职业技术学院机械类、材料类及近机械类各专业学生必修的技术基础课程。为了更好地适应专业调整及培养适用型人才的需要,本教程建议学生经过一定时间的金工实习后开设本课程,这样学生对于本教材知识的掌握会由感性认识上升到理性认识的高度。

本书由刘云、许音、杨晶、马仙担任主编。参加编写的有刘云(第二篇锻压部分第二、三章);许音(第一篇铸造部分第四章和第三篇焊接部分第四章);杨晶(第一篇铸造部分第一、三、五章);马仙(第三篇焊接部分第一、三章);张文达(第一篇铸造部分第二章和第一篇锻压部分第一章);李艳(第三篇焊接部分第二章)。本书在编写的过程中,参考了一些同类教材编写特点和内容,力求使本教材语言更加精炼,内容更加科学和适用。本书学时为32~40学时。

本书承潘保武教授审阅,并提出宝贵意见,特致感谢。

限于学术水平,书中错误和不妥之处,敬请批评指正。

编 者

2012年10月

目 录

第一篇 铸 造

第一章 铸造工艺基础	2
第一节 液态合金的充型	2
第二节 铸件的凝固与收缩	5
第三节 铸造内应力、变形和裂纹	11
第四节 铸件中的气孔	14
复习思考题	15
第二章 砂型铸造工艺方案	16
第一节 造型方法的选择	16
第二节 浇注位置和分型面的选择	20
第三节 铸造工艺参数的选择	23
第四节 综合分析举例	25
复习思考题	26
第三章 砂型铸件结构设计	29
第一节 铸件结构与铸造工艺的关系	29
第二节 铸件结构与后续机械加工的关系	33
第三节 铸件结构与合金铸造性能的关系	35
复习思考题	39
第四章 特种铸造	40
第一节 压力铸造	40
第二节 离心铸造	41
第三节 低压铸造	42
第四节 熔模铸造	43
第五节 金属型铸造	44
复习思考题	46
第五章 常用合金铸件的生产	47
第一节 铸钢件生产	47
第二节 铸铁件生产	49
第三节 铜、铝合金铸件生产	58
复习思考题	60

第二篇 锻 压

第一章 金属的塑性变形	62
复习思考题	69
第二章 锻造	70
第一节 自由锻造	70
第二节 模锻	81
复习思考题	90
第三章 板料冲压	92
第一节 分离工序	92
第二节 变形工序	94
复习思考题	97

第三篇 焊 接

第一章 电弧焊	100
第一节 概述	100
第二节 手工电弧焊	102
第三节 埋弧自动焊	111
第四节 气体保护焊	116
复习思考题	118
第二章 其他常用焊接方法	119
第一节 电阻焊	119
第二节 摩擦焊	122
第三节 钎焊	122
第四节 真空电子束焊接	124
第五节 激光焊接	125
复习思考题	126
第三章 常用金属材料的焊接	127
第一节 概述	127
第二节 金属材料的焊接性	127
第三节 碳钢及合金钢的焊接	129
第四节 铸铁的焊补	132
第五节 非铁金属的焊接	133
第六节 焊接缺陷与检验	136
复习思考题	139
第四章 焊接结构设计与工艺设计	140
第一节 概述	140

第二节 焊接接头与坡口	141
第三节 焊接结构的工艺性	144
第四节 防止和减少焊接结构变形的工艺措施	146
第五节 焊接工艺设计的内容及步骤	147
复习思考题	148
参考文献	149

第一篇 铸造

将液态金属浇注到铸型中,待其冷却凝固,以获得一定形状、尺寸和性能的毛坯或零件的成形方法,称为铸造。

铸造是历史最为悠久的金属成形方法,直到今天仍然是毛坯生产的主要方法。在机器设备中铸件所占比例很大,如机床、内燃机中,铸件占总重的70%~90%,压力机占60%~80%,拖拉机占50%~70%,农业机械占40%~70%。铸造获得如此广泛的应用,是由于它有如下优越性:

(1) 可制成形状复杂、特别是具有复杂内腔的毛坯,如箱体、汽缸体等。

(2) 适应范围广。如工业上常用的金属材料(碳素钢、合金钢、铸铁、铜合金、铝合金等)都可铸造,其中广泛应用的铸铁只能用铸造方法获得。铸件的大小几乎不限,从几克到数百吨;铸件的壁厚可由1mm~1m;铸造的批量不限,从单件、小批,直到大量生产。

(3) 铸造可直接利用成本低廉的废机件和切屑,设备费用较低。同时,铸件加工余量小,节省金属,减少机械加工余量,从而降低制造成本。

在铸造生产中,最基本的工艺方法是砂型铸造,用这种方法生产的铸件占总产量的90%以上。此外,还有多种特种铸造方法,如熔模铸造、消失模铸造、金属型铸造、压力铸造、离心铸造等,它们在不同条件下各有其优势。

第一章 铸造工艺基础

第一节 液态合金的充型

液态金属充满铸型型腔,获得形状完整、轮廓清晰的铸件的能力,叫做液态金属充填铸型的能力,简称液态金属的充型能力。液态金属的充型能力首先取决于合金本身的流动能力,同时又受外界条件,如铸型性质、浇注条件和铸件结构等因素的影响,是各种因素的综合反映。

液态金属本身的流动能力,称为“流动性”,与金属的成分、温度及杂质含量等因素有关。

所以,液态金属的充型能力和流动性是两个不同的概念,要注意加以区分。

合金的流动性是指液态合金本身的流动能力,是合金重要的铸造性能之一。

浇注时,液态金属能够充满铸型是获得外形完整、尺寸精确和轮廓清晰的铸件的基本条件。液态金属充填铸型一般是在纯液态下充满型腔的,也有边充型边结晶的情况,即液态金属在填充过程中因散热而伴随着结晶。同时铸型对液态金属的流动又存在着阻力和型腔中气体的反压力。这些都阻碍了液态金属的顺利填充。如果合金的流动性不足,在金属还没有填满铸型前就停止流动,则造成铸件“浇不足”的缺陷。

金属的流动性对补缩、防裂和获得优质铸件有影响。良好的流动性,能使铸件在凝固期间产生的缩孔得到金属液的补缩,以及铸件在凝固末期受阻而出现的热裂得到液体金属的充填而弥合,因此有利于这些缺陷的防止。

流动性好的铸造合金,充型能力强,不仅容易浇出轮廓清晰、薄而复杂的铸件,同时还有利于液态金属中的非金属夹杂物和气体的上浮和排除。流动性差的合金,充型能力也较差。在不利的情况下,则可能在铸件上产生“浇不足”、“冷隔”等缺陷。因此,在铸件设计与制订铸造工艺时,都必须考虑合金的流动性。

一、合金流动性的测定方法

合金流动性的大小,通常以螺旋形试样的长度来衡量。图 1-1 是常用的一种螺旋形试样。试验时,用同一试样模样造型,在铸型和浇注条件相同的情况下,将不同的液态合金浇入试样,按充填型腔的长度进行测定,流过距离长就表示该合金的流动性好。试验得知,在常用铸造合金中,灰铸铁、硅黄铜的流动性最好,铸钢的流动性最差。

二、影响合金流动性的因素

影响合金流动性的因素很多,除了合金本身的粘滞性和表面张力外,铸型是干型还是湿型,铸型表面的光滑程度,铸型的通气情况以及冒口、浇注系统的位置和构造,压力头和浇注速度等都能对流动性产生一定的影响。但影响流动性最重要的因素是化学成分和浇注条件。

1. 化学成分

成分不同的合金,由于结晶特性不同,所以流动性也不同。共晶成分合金的结晶是在恒温下进行的,此时液态合金从表层逐层向中心凝固,由于已结晶的固体层内表面比较光滑(图

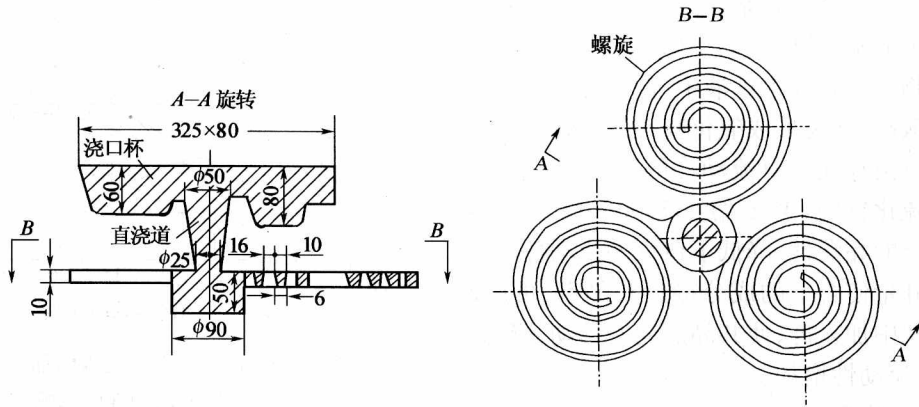


图 1-1 螺旋形流动性试样示意图

1-2(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,相对来说,合金的过热度大,推迟了合金的凝固,故流动性最好。除纯金属外,其他成分合金是在一定温度范围内逐步凝固的,即经过液、固并存的两相区。此时,结晶是在截面上一定宽度的凝固区内同时进行的,由于初生的树枝状晶体使已结晶固体层内表面粗糙(图 1-2(b)),所以合金的流动性变差。合金成分愈远离共晶成分,结晶温度范围愈宽,流动性愈差。

图 1-3 所示为铁—碳合金的流动性与含碳量的关系。由图可见,纯铁的流动性较好,随碳量增加结晶温度范围扩大,流动性下降,约在 2% C 处,流动性最差。亚共晶铸铁中越靠近共晶成分,流动性越好,在共晶成分处流动性最好。一般来说,铸铁的流动性比铸钢好,这是由于铸钢熔点高不易过热,要使钢液得到较大的过热,必须增加电力和燃料的消耗,而且容易造成钢液吸气。另外,铸钢熔点高,在铸型中散热快,也使钢液很快地失去流动性。

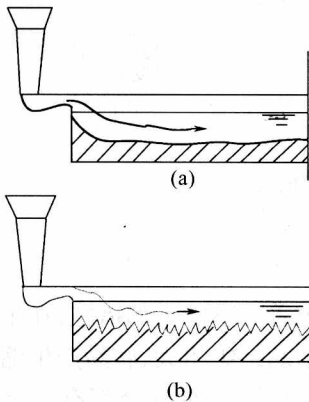


图 1-2 不同成分合金的流动性

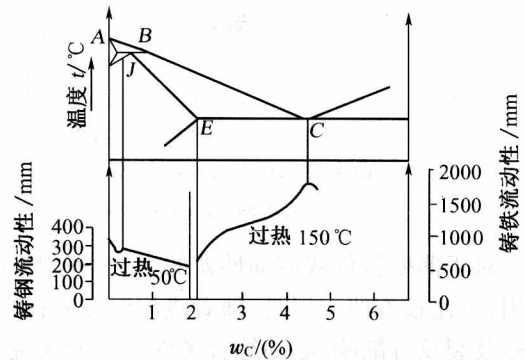


图 1-3 Fe—C 合金流动性与含碳量关系

不同的元素对合金的流动性有不同的影响。图 1-4 表示在纯铝中加入各种不同元素时流动性的变化曲线。

铸铁中含磷量的增加,增多了磷共晶(熔点 950°C),降低了铸铁的凝固温度和粘度,因此提高了流动性。当铸造艺术品时,对铸件外形要求完整,轮廓清晰,而对铸件的力学性能要求不高,这时就常通过增加磷量来提高铁液的流动性。但磷的增加会使铸铁变脆(冷脆性),所

以一般情况下不要用磷来提高铁液的流动性。

铸铁中的硫量高时($w_s > 0.18\%$),一方面会产生较多的硫化物夹杂悬浮在铁液中,使黏度增大;另一方面铁液中含硫愈高,愈易形成氧化膜,使铁液流动性降低。

锰在自由存在时对流动性的影响不大,但与硫生成高熔点的硫化锰时(MnS 熔点 $1600^\circ C$ 以上),结晶较早,增加了合金的黏滞性,降低了铸铁的流动性。

增加硅量使合金的成分接近共晶点,可以改善流动性。在铸铁中加入硅,使共晶点向左移动,降低共晶成分的含碳量,流动性增加。

2. 浇注条件

(1) 浇注温度 浇注温度对合金的充型能力有着决定性影响,如图 1-5 所示。浇注温度愈高,合金的黏度愈低,且因过热度高,合金在铸型内保持液态的时间越长,流动性越好,故充型能力强。但浇注温度的提高,一方面受到熔炼条件的限制,另一方面浇注温度太高会使合金的吸气量和总收缩量增大,氧化严重,因而增加了造成其他类型缺陷的可能性。

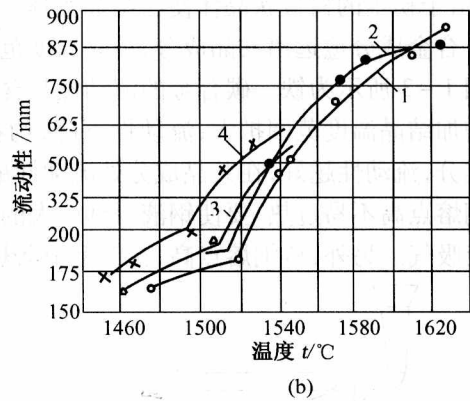
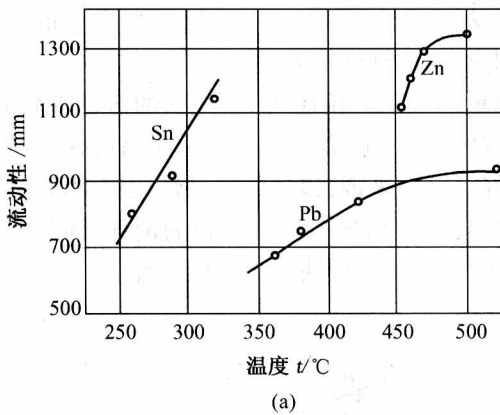


图 1-5 液态金属的流动性与温度的关系

曲线 1: $w_C 0.2\%$; $w_{Mn} 0.29\%$, $w_{Si} 0.61\%$; 曲线 2: $w_C 0.3\%$, $w_{Mn} 0.26\%$, $w_{Si} 0.56\%$;

曲线 3: $w_C 0.39\%$, $w_{Mn} 0.32\%$, $w_{Si} 0.8\%$; 曲线 4: $w_C 0.72\%$, $w_{Mn} 0.32\%$, $w_{Si} 0.67\%$ 。

对于薄壁铸件或流动性差的合金,利用提高浇注温度改善充型能力的措施,在生产中经常采用,也比较方便。但是,随着浇注温度的提高,铸件一次结晶组织粗大,容易产生缩孔、缩松、粘砂及裂纹等缺陷,必须综合考虑。一般来说,浇注温度要适当,每种合金都有一个适当的浇注温度范围。例如一般碳钢的浇注温度为 $1520^\circ C \sim 1620^\circ C$; 铝合金为 $680^\circ C \sim 780^\circ C$ 。薄壁复杂件取上限,厚大件可取下限。灰铸铁的浇注温度可参看表 1-1 的数据。

表 1-1 灰铸铁件的浇注温度

铸件壁厚 δ/mm	~4	4~10	10~20	20~50	50~100	100~150	>150
浇注温度 $t/^\circ C$	1450~1360	1430~1340	1400~1320	1380~1300	1340~1230	1300~1200	1280~1180

(2) 充型压力 液态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

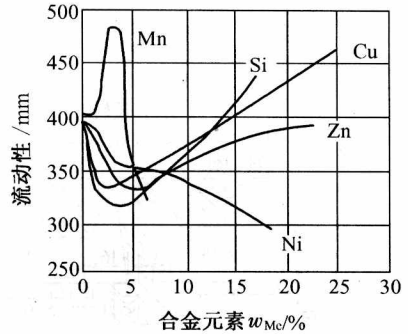


图 1-4 合金元素的加入对铝液流动性的影响

型压力是由直浇道所产生的静压力取得的,故直浇道的高度必须适当。低压铸造、压力铸造和离心铸造时,因充型压力得到提高,所以液态合金的充型能力较强。

第二节 铸件的凝固与收缩

铸件凝固冷却过程中,其体积和尺寸减少的现象称为收缩。收缩是铸造合金本身的物理属性,是铸件中产生缩孔、缩松、裂纹、变形及残余应力等的根本原因。

一、铸件的凝固方式

铸件在凝固过程中,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、固相并存的凝固区的宽窄。铸件的凝固方式就是根据凝固区的宽窄(图1-6(b)中 S)来划分的。

1. 逐层凝固

纯金属或共晶成分合金均在恒温下结晶,在凝固过程中其铸件断面上的凝固区域宽度等于零,(图1-6(a))断面上的固体和液体由一条界限(凝固前沿)清楚地分开。随着温度的下降,固体层不断加厚、液体层不断减少,直达铸件的中心,这种凝固方式称为逐层凝固。

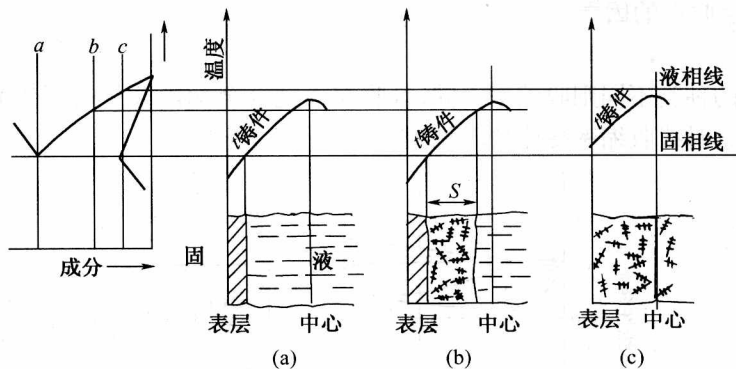


图1-6 铸件的凝固方式

2. 糊状凝固

如果合金的结晶温度范围很宽(图1-6(c)),或因铸件断面温度场较平坦,铸件凝固过程的某一段时间内,其凝固区域很宽,甚至贯穿整个铸件断面,这种情况为糊状凝固方式。

3. 中间凝固

如果合金的结晶温度范围较窄(图1-6(b)),铸件断面上的凝固区域宽度介于逐层凝固和糊状凝固之间,称为中间凝固方式。大多数合金的凝固属于这种情况。

二、铸造合金的收缩

液态合金当温度下降及由液态转变为固态时,因为原子由近程有序逐渐转变为远程有序,以及空穴的减少或消失,所以一般都会发生体积收缩。合金凝固完毕后,随着温度的继续下降,由于固态金属原子间的平衡距离缩短,也会产生收缩。

合金的收缩给铸造工艺带来许多困难,是多种铸造缺陷(如缩孔、缩松、裂纹及变形等)产生的根源。因此,它又是获得符合要求的几何形状和尺寸,以及致密优质铸件的重要铸造性能之一。

金属从浇注温度冷却到室温要经历三个互相联系的收缩阶段。液态收缩：从浇注温度冷却到液相线温度的收缩；凝固收缩：从液相线温度冷却到固相温度的收缩；固态收缩：从固相线温度冷却到室温的收缩。

合金的液态收缩和凝固收缩表现为合金的体积缩小，叫体收缩。体收缩过程中总有液态存在。当收缩得不到液态的补充时易形成缩孔。合金的固态收缩虽然也是体积的变化，但它只引起铸件外部尺寸的变化。因此，通常叫线收缩，线收缩是铸件产生内应力、裂纹和变形的主要原因。

不同合金的收缩不同。在常用合金中，铸钢的收缩最大，灰铸铁最小。灰铸铁收缩很小是由于其中大部分碳是以石墨状态存在的。石墨的比容大，在结晶过程中石墨析出所产生的体积膨胀，抵消了合金的部分收缩。表 1-2 所示为几种铁碳合金的体积收缩率。

表 1-2 几种铁碳合金的体积收缩率

合金种类	含碳量 $w_C/\%$	浇注温度 $t/^\circ\text{C}$	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	7.8	12.46
白口铸铁	3.00	1400	2.4	4.2	5.4~6.3	12~12.9
灰铸铁	3.50	1400	3.5	0.1	3.3~4.2	6.9~7.8

三、影响合金收缩的因素

1. 化学成分

金属及合金的种类不同则收缩率不同，且收缩率随合金元素含量的变化而变化。纯铁中加入不同合金元素时线收缩率变化情况见图 1-7 所示。

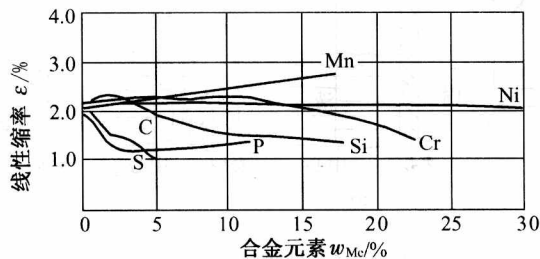


图 1-7 合金元素对纯铁线收缩率的影响

图 1-8 表示各种元素对钢液在 1600℃ 和 20℃ 时比容的影响，所谓比容即单位质量的物质所具有的体积。从图 1-8 中可知，钢液随含碳量提高比容增大，则冷却收缩时液态收缩率必然增加。

合金的凝固收缩率主要包括温度降低和状态改变（液—固转变）两个部分，结晶温度范围大的合金，凝固收缩率也大。从铁碳合金状态图可知碳素钢的结晶温度范围随着含碳量的提高而扩大，凝固收缩率必然随含碳量增加而增加。

碳素钢在固态冷却过程中发生了奥氏体(A)→铁素体(F)的相变，由于体心立方晶格的铁素体的比容比面心立方晶格的奥氏体的比容大，造成相变过程中产生体积膨胀。但在相变前，奥氏体冷却造成收缩，相变后珠光体、铁素体冷却造成收缩。所以钢的固态总线收缩率为

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{相变前}} - \varepsilon_{A \rightarrow F} + \varepsilon_{\text{相变后}}$$

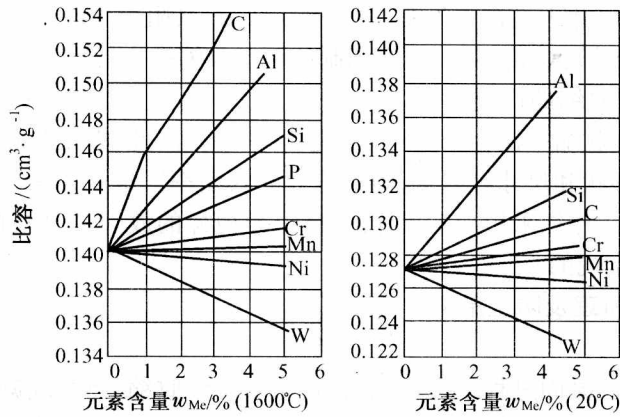


图 1-8 合金元素与钢的比容的关系

式中 ε ——固态线收缩率；

$\varepsilon_{A \rightarrow F}$ ——相变过程中膨胀率；

$\varepsilon_{\text{相变前}}$ ——奥氏体冷却线收缩率；

$\varepsilon_{\text{相变后}}$ ——相变后钢的冷却线收缩率。

研究表明,碳素钢的总线收缩率 ε 随着含碳量的提高而略有减小。如表 1-3 所示,其原因解释为含碳量影响奥氏体存在的温度范围,从而影响奥氏体收缩率。

表 1-3 碳钢的线收缩率 ε_l 与含碳量的关系

$w_C/\%$	$\varepsilon_{\text{珠前}}/\%$	$\varepsilon_{\gamma \rightarrow \alpha}/\%$	$\varepsilon_{\text{珠后}}/\%$	$\varepsilon_l/\%$
0.08	1.42	0.11	1.16	2.47
0.14	1.51	0.11	1.06	2.46
0.35	1.47	0.11	1.04	2.40
0.45	1.39	0.11	1.07	2.35
0.55	1.35	0.09	1.05	2.31
0.60	1.21	0.01	0.98	2.18

注:表中碳钢的 w_{Mn} 为 0.55% ~ 0.80%, w_{Si} 为 0.25% ~ 0.40%

灰铸铁中碳是形成石墨的元素,硅是促进石墨化的元素,碳硅含量高,则碳主要以石墨状态存在,石墨比容大,在结晶过程中,析出石墨产生体积膨胀,抵消了部分收缩,因而碳硅含量越高,收缩越小。硫能阻碍石墨的析出,使铸铁的收缩率增大,但适量的锰,可与硫结合成 MnS ,抵消了硫对石墨化的阻碍作用,使收缩率减小。若含锰量过高,铸铁的收缩率又有所增加,灰铸铁的自由线收缩率 $\leq 1\%$ 。

2. 浇注温度

当合金从浇注温度 $t_{\text{浇}}$ 冷却至开始凝固的液相线温度 $t_{\text{液}}$ 时,合金处于液体状态,在此期间内发生液态收缩,合金的液态收缩会引起型腔内液面的降低,它是铸件内形成缩孔的原因之一。对于同一成分的铸造合金而言,液相线温度 $t_{\text{液}}$ 是一个常数,因此浇注温度 $t_{\text{浇}}$ 愈高,液态合金的过热度 ($t_{\text{浇}} - t_{\text{液}}$) 越大。液态合金过热度大,则液态空穴增多,原子间距增大,因而液态收缩率与液态合金的过热度 ($t_{\text{浇}} - t_{\text{液}}$) 成正比,浇注温度愈高,液态体收缩率就愈大。

3. 铸件结构与铸型条件

合金在铸型中一般并不是自由收缩,而是受阻收缩,其阻力来源于如下两个方面:

- ① 铸件各个部分冷却速度不同,因互相制约而对收缩产生的阻力。
- ② 铸型和型芯对收缩的机械阻碍。

显然,铸件的收缩率比合金的自由收缩率小。因此,在设计模样时,必须根据合金的品种、铸件的具体形状和尺寸等因素,确定适当的收缩率。也就是说,为防止因合金收缩引起铸件尺寸的减小。往往采用加大模样的办法,而模样的放大量是根据选用适当的收缩率,借助于“缩尺”来实现的。

四、缩孔的形成机理及防止措施

1. 形成机理

液态金属在铸型内凝固过程中,由于液态收缩和凝固收缩,体积缩减,若其收缩得不到补充,在铸件最后凝固的部位形成孔洞,大而集中的孔洞叫缩孔,小而分散的孔洞叫缩松。

(1) 缩孔 下面以圆柱体铸件为例来讨论缩孔的形成过程,如图 1-9 所示,假定所浇注的合金为共晶成分的合金。

液态合金充满了型腔,如图 1-9(a) 所示,并通过型壁向外散热,从而使铸件截面上自中心向外缘温度逐渐递减,随着热量的不断传出,合金液将产生液态收缩,但它将从浇注系统得到补充,故在此期间型腔总是充满着合金液体。

当铸件外缘的温度降到固相线温度以下时,铸件表面凝固成一层硬壳,假定此时内浇道也已无法补充,所形成的硬壳就像一个封闭的容器,紧紧包住内部的合金液,如图 1-9(b) 所示。

当进一步冷却时,壳内的合金液一方面因温度继续降低而发生液态收缩;另一方面由于硬壳增厚而产生凝固收缩,这两者的收缩因得不到补偿而使液面降低。与此同时,固态硬壳同样因温度降低发生固态收缩而使铸件外表尺寸缩小。但是由于合金的液态收缩和凝固收缩大大超过外壳的固态收缩,因此液面与外壳的顶面脱离。图 1-9(c) 所示,随着凝固继续进行,硬壳不断加厚,液面将不断下降,待合金液全部凝固后,在铸件内部就形成一个倒锥形的缩孔,如图 1-9(d) 所示。如果硬壳内的合金液含气量很小,那么当液面和硬壳顶面脱离时,缩孔内就会形成真空,上表面的薄壳在大气压力作用下就可能向缩孔方向凹陷进去。因此缩孔就应包括外面的缩凹和内部的缩孔两部分。

铸件凝固完毕之后,其体积在固态下仍将随着温度逐渐下降到室温而不断缩小。图 1-9(e) 所示。

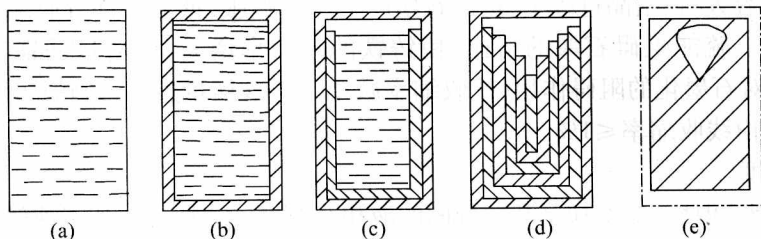


图 1-9 缩孔形成过程示意图

纯金属和共晶成分的合金以及结晶温度范围窄的合金易形成集中缩孔。

(2) 缩松 缩松的形成原因,虽然也是由于合金的液态收缩和凝固收缩未能得到补充所

致,但具体因素与集中缩孔相比有其特殊性。

缩松主要出现在呈糊状凝固方式的合金(结晶温度范围较宽)中或断面较大的铸件壁中。图1-10为缩松形成过程示意图。图1-10(a)中为合金液充满型腔,并向四处散热。图1-10(b)为铸件表面结壳后,内部有一个较宽的液相和固相共存凝固区域。图1-10(c)、(d)为继续凝固,固体不断长大,直至相互接触。此时合金液被分割成许多小的封闭区。图1-10(e)为封闭区内液体凝固收缩时,得不到补充,而形成许多小而分散的孔洞。图1-10(f)为固态收缩。

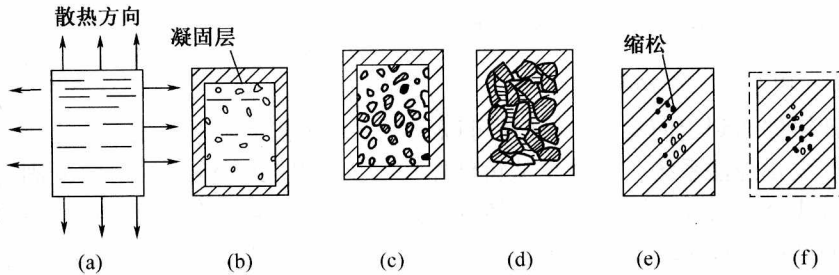


图1-10 缩松形成过程示意图

缩松一般出现在铸件壁的轴线区域、热节处、冒口根部和内浇道附近,也常分布在集中缩孔的下方。

2. 防止措施

缩孔和缩松都使铸件的实际强度降低。这一方面是由于缩孔和缩松减少了铸件受力的有效截面,另一方面在缩孔和缩松的附近会产生应力集中现象,从而使该部分金属强度大为削弱,对承受液压和气压的铸件(如阀体、泵体及气缸体等)往往因缩孔或缩松而在水压试验时发生渗漏现象,达不到耐压指标而报废。

为防止铸件产生缩孔和缩松,采取一定的工艺措施控制凝固过程,实现定向凝固。所谓定向凝固,就是在铸件可能出现缩孔的热节处,即内接圆直径最大的厚大部位,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,尔后是靠近冒口部位凝固,最后才是冒口本身凝固。按照这个冷却顺序,使铸件各个部位的凝固收缩均能得到液态金属的补缩,而将缩孔转移到冒口之中,冒口为铸件的多余部分,在铸件清理时予以切除。图1-11为铸件实现定向凝固示意图,远离冒口的薄的部分先凝固,然后顺序地向着冒口或浇道的方向凝固,以实现铸件厚实部分补缩细薄部分,而冒口又最后补缩厚实部分从而将缩孔移入冒口中,最终获得致密而健全的铸件。

为了实现定向凝固,在安放冒口的同时,还可在铸件上某些厚大部位增设冷铁。图1-12所示铸件的热节不止一个,若仅靠顶部冒口,难以向底部凸台补缩,为此,在该凸台的型壁上安放了两个外冷铁。由于冷铁加快了该处的冷却速度,使厚度较大的凸台反而最先凝固,从而实现了自下而上的定向凝固,防止了凸台处缩孔、缩松的产生。可以看出,冷铁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。冷铁通常用钢或铸铁制成。

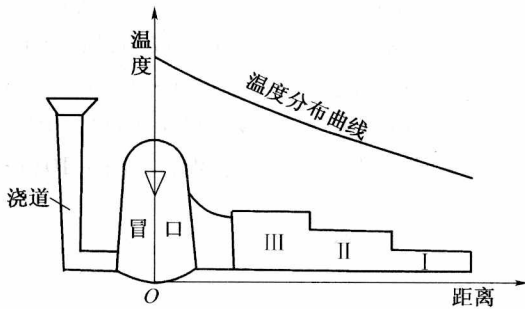


图 1-11 定向凝固

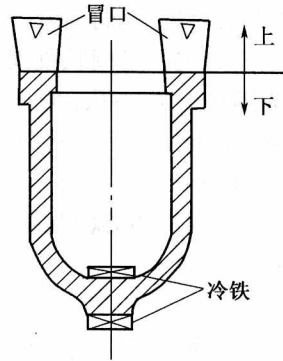


图 1-12 冷铁的应用

为了保证铸件达到定向凝固,往往还可以采用下列工艺措施来实现。

(1) 合理设置浇注系统 内浇道从铸件厚实处引入以加强铸件的定向凝固,内浇道应尽可能靠近冒口或金属液经过冒口而进入铸件。以加强定向凝固倾向,因为这样铸件厚实处或冒口周围的型砂就会被剧烈加热,从而延缓了厚实处或冒口的冷却速度,有时在远离冒口处适当配置冷铁,可显著提高冒口的补缩能力。

顶注式浇注系统使铸件自下而上定向凝固,有利于顶冒口的补缩。

(2) 合理选择浇注温度和浇注速度 改变浇注温度和浇注速度也可以加强或削弱定向凝固。浇注速度愈慢,则合金液流经铸型的时间愈长,远离浇道处的合金液就愈冷。而浇道附近砂型被长时间加热将使温度升高,结果浇道附近的合金液冷却就慢,从而扩大了铸件各部分的温差,有利定向凝固。浇注温度愈高,造成铸件各部分的温差也愈大。顶注式浇注系统宜采用高的浇注温度和慢的浇注速度,有利定向凝固。

(3) 利用冒口防止缩孔和缩松 长期的生产实践经验表明,利用冒口补缩来防止铸件产生缩孔和缩松,是一种行之有效的工艺措施。冒口的主要作用是储存足够的液态合金,使铸件在冷却和凝固过程中发生的体收缩能够不断地得到补充,从而防止铸件内出现缩孔和缩松。

冒口的种类很多,应用最为普遍的是顶冒口和侧冒口两类,见图 1-13。

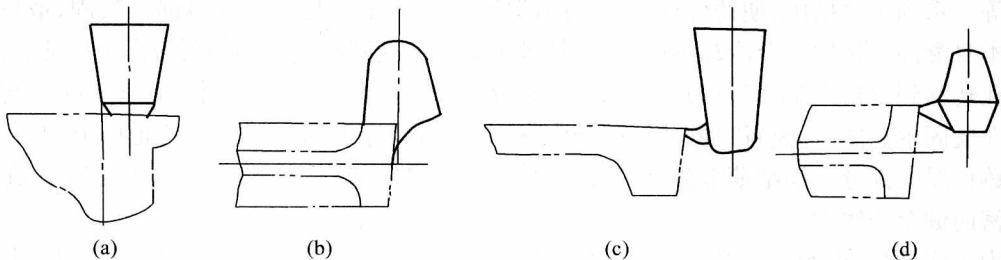


图 1-13 冒口种类

(a) 明顶冒口; (b) 暗顶冒口; (c) 明侧冒口; (d) 暗侧冒口。

顶冒口中的合金液位能较高,可以在重力作用下进行补缩,补缩能力强。根据它是否敞露出铸型外面又可分为明顶冒口和暗顶冒口,明顶冒口合箱后便于检查,浇满后可在冒口中补浇热合金液,因而使用较普遍,但金属液消耗量大,冒口中合金液散热较快,合箱后容易落入杂物。暗顶冒口则与此相反,在上箱较高时常采用暗顶冒口,以减少金属液消耗。