

工程材料与机械制造基础

中 篇

张 海 崔思海 主 编

哈 尔 滨 工 程 大 学 出 版 社



TG
Q82
2

425134

工程材料与机械制造基础

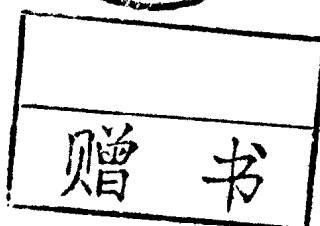
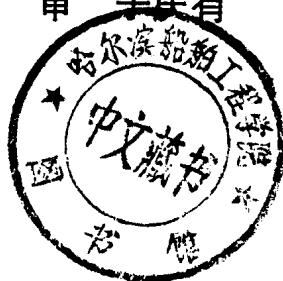
中 篇

(热加工工艺基础部分)

主 编 张 海 崔思海
副主编 纪祥春 杨盛福
主 审 于庆有



00425434



哈尔滨工程大学出版社

0W25/28

内 容 简 介

本书共分十七章,包括铸造生产与合金的铸造性能、砂型铸造工艺、特种铸造、常用合金铸件的生产、铸件结构设计、压力加工和金属的塑性变形、锻造、板料冲压、其它锻压加工方法、焊接生产概述、熔化焊、压力焊和钎焊、常用金属及合金材料的焊接、焊接结构工艺设计、塑料的焊接、焊接检验和机械零件毛坯的种类及其选择原则等。每章之后附有习题,可供学生用作复习和讨论。

本书可作为高等工科院校机械类专业和相近专业的教学用书,也适宜作为职工大学、业余大学和函授大学该类专业的教材及供有关工程技术人员参考。

工程材料与机械制造基础

中篇

张 海 崔思海 主编

责任编辑 罗东明

哈尔滨工程大学出版社出版发行

新 华 书 店 经 销

东北林业大学印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 12.75 字数 250 千字

1996 年 1 月 第 1 版 1996 年 1 月 第 1 次印刷

印数:1~1500 册

ISBN 7-81007-655-8

TC·12 定价:39.00 元

(共三册 13.00 元/册)

前 言

本书是参考全国高等工科院校《工程材料与机械制造基础》教学指导小组制订的教学基本要求,并结合编者的多年教学实践经验编写的。

全书分为《工程材料》、《热加工工艺基础》和《切削加工工艺基础》三册。既可分册单独授课,满足多学时专业的教学要求;又可成套合并使用,用于少学时专业的教学。全书采用最新国家标准和国际标准。

本书可作为高等工科院校机械类专业和相近专业的教学用书,也适宜作为职工大学、业余大学和函授大学该类专业的教材及供有关专业工程技术人员参考。

参加《热加工工艺基础》编写的有东北重型机械学院、哈尔滨理工大学、哈尔滨工程大学、黑龙江商学院等单位。全书共分十七章,绪论、第一、二、五、十七章由张海编写,第三、六、十六章由孟兆新编写,第四、八、十二章由崔思海编写,第七、十三章由纪祥春编写,第九、十一章由杨盛福编写,第十、十四、十五章由傅瑞东编写。

全书由张海、崔思海担任主编,纪祥春、杨盛福担任副主编,哈尔滨理工大学于庆有担任主审。

本教材在编写和审稿过程中,得到不少同志的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

1996年1月

目 录

第一章 铸造生产与合金的铸造性能	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 合金的流动性	(2)
第三节 合金的收缩	(4)
第四节 铸件质量与技术检验	(11)
第二章 砂型铸造工艺	(15)
第一节 各种造型方法的特点和应用	(15)
第二节 砂型铸造工艺	(19)
第三章 特种铸造	(29)
第一节 熔模铸造	(29)
第二节 金属型铸造	(31)
第三节 压力铸造	(32)
第四节 低压铸造	(34)
第五节 离心铸造	(35)
第六节 各种铸造方法的比较与选择	(36)
第四章 常用合金铸件的生产	(38)
第一节 铸铁件的生产	(38)
第二节 铸钢件的生产	(49)
第三节 有色合金铸件的生产	(53)
第五章 铸件结构设计	(55)
第一节 铸件结构与砂型铸造工艺的关系	(55)
第二节 铸件结构与合金铸造性能的关系	(58)
第三节 铸件结构与铸造方法的关系	(62)
第六章 压力加工和金属的塑性变形	(67)
第一节 概述	(67)
第二节 金属的塑性变形	(68)
第三节 金属的锻造性能与变形规律	(73)
第七章 锻造	(76)
第一节 自由锻	(76)
第二节 模 锻	(87)
第三节 锻件的技术检验	(99)
第八章 板料冲压	(102)
第一节 板料冲压设备	(102)
第二节 板料冲压基本工序	(103)

第三节 冲模的分类和构造	(107)
第四节 板料冲压的结构工艺性	(108)
第九章 其它锻压加工方法	(112)
第一节 精密模锻	(112)
第二节 零件的挤压与轧制	(113)
第十章 焊接生产概述	(118)
第十一章 熔化焊	(120)
第一节 手工电弧焊	(120)
第二节 其它熔化焊方法	(132)
第三节 金属的热切割	(143)
第四节 堆焊和喷涂	(144)
第五节 微机在弧焊中的应用	(147)
第十二章 压力焊和钎焊	(149)
第一节 电阻焊	(149)
第二节 摩擦焊和冷压焊	(152)
第三节 钎焊	(154)
第十三章 常用金属及合金材料的焊接	(157)
第一节 金属材料的可焊性	(157)
第二节 碳钢及合金钢的焊接	(159)
第三节 铸铁的焊接	(162)
第四节 有色金属的焊接	(163)
第十四章 焊接结构工艺设计	(166)
第一节 焊件材料的选择	(166)
第二节 焊件形状的选择	(167)
第三节 焊接接头型式的选择	(167)
第四节 焊接方法的选择	(174)
第五节 焊接结构工艺设计一般原则	(175)
第六节 焊接结构工艺设计举例	(178)
第十五章 塑料的焊接	(181)
第一节 塑料焊接接头的形成及其影响因素	(181)
第二节 焊接方法	(182)
第十六章 焊接检验	(185)
第一节 焊缝中常见缺陷及对性能的影响	(185)
第二节 焊接检验	(186)
第十七章 机械零件毛坯的种类及其选择原则	(189)
第一节 零件毛坯的类型及其制造方法的比较	(189)
第二节 零件毛坯的选择原则及依据	(190)
第三节 典型机械零件毛坯的选择及示例	(192)

第一章 铸造生产与合金的铸造性能

第一节 概述

将液体金属浇注到具有与零件形状相适应的铸型空腔中,待其冷却凝固后,以获得零件或毛坯的方法称为铸造。

砂型铸造是最主要的铸造方法。目前,用砂型铸造方法生产的铸件约占铸件总产量的80%以上。除砂型铸造外,还有许多特种铸造方法,如熔模铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造、壳型铸造等。

铸造生产具有如下优点:

(1)用铸造方法能制造各种尺寸和形状复杂的铸件,尤其是内腔复杂的铸件。铸件的轮廓尺寸可小至几毫米,大至几十米;重量可从几克至数百吨。在大批生产中,铸造的优越性尤为显著。

(2)铸造适应性很广。工业中常用的金属材料,如碳素钢、合金钢、铸铁、青铜、黄铜、铝合金等,都可用于铸造,其中应用极其广泛的铸铁,只能用铸造方法来制造毛坯。

(3)铸造所用原材料来源广泛,价格低廉,也可直接利用报废的机件、废钢和切屑。在一般情况下,铸造设备需要的投资较少、生产周期较短。因此,铸造的成本低。

(4)铸件的形状和尺寸与零件非常接近,因而节省了金属材料和加工工时。精密铸件可省去切削加工,直接用于装配。

铸造生产也存在一些缺点。例如,砂型铸造生产工序较多,有些工艺过程难以控制,铸件质量不够稳定,废品率较高;液态成形也给铸造带来某些缺点,如铸造组织疏松、晶粒粗大,内部易产生缩孔、缩松、气孔、砂眼等缺陷。因此,铸件的机械性能,特别是冲击韧性,不如同类材料的锻件高。此外,还存在铸件表面较粗糙、尺寸精度不高,工人劳动强度大,劳动条件差等问题。

近年来,由于精密铸造的迅速发展,铸件表面质量有了很大提高,公差等级最高可达IT11~IT12,表面粗糙度值 R_a 可达 $0.8\mu\text{m}$,已成为少屑和无屑加工的重要方法之一。同时,由于球墨铸铁等高强度铸造合金的普遍采用,使铸件的机械性能显著提高,可用球墨铸铁件来替代原先采用钢材锻造的某些零件,如用珠光体球墨铸铁制造曲轴等。目前,我国已建立起相当数量的现代化铸造工厂和车间,采用了很多新工艺和新设备,电子计算机已广泛用于铸造生产,实现了生产过程的机械化、自动化,铸件质量和生产效率都有很大提高,劳动条件得到显著改善。

铸造性能是表示合金铸造成形、获得优质铸件的能力。合金的铸造性能对铸件质量、铸造工艺及铸件结构都有显著影响。通常用流动性、收缩性、氧化性、吸气性和偏析等来衡量。

第二节 合金的流动性

一、流动性的概念

液态合金充满型腔的能力称为流动性。流动性好的合金不仅易于制造薄壁和形状复杂的铸件,而且有助于液体金属在铸型中凝固收缩时得到补缩和有利于气体与非金属夹杂物从液体合金中排出来。相反,流动性不好时,铸件易产生浇不足、冷隔、气孔、夹渣和缩松等缺陷。

合金流动性的好坏,通常以螺旋形流动性试样的长度来衡量,如图 1-1 所示。将液体金属浇注入螺旋形试样铸型中,在相同铸型及浇注条件下,浇出的螺旋形试样越长,表示该合金的流动性越好。表 1-1 列出一些常用合金的流动性。

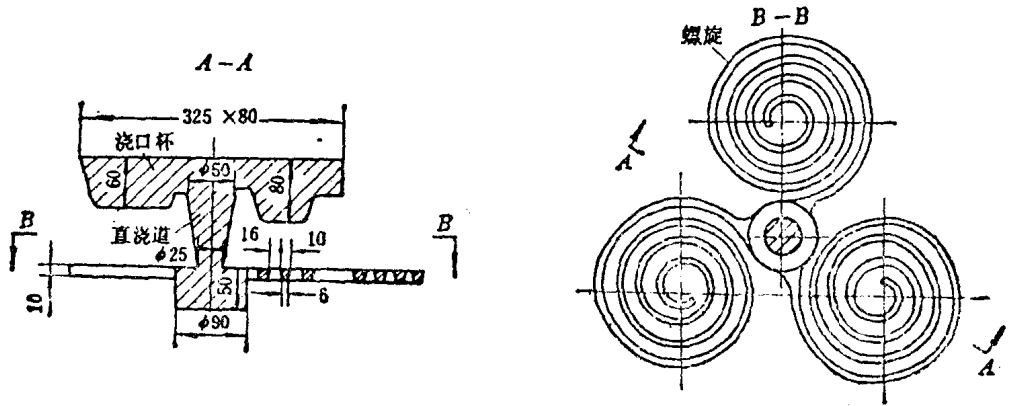


图 1-1 螺旋形流动试样示意图
常用合金的流动性 (砂型, 试样截面 $8 \times 8\text{mm}$)

表 1-1

合金种类	铸型种类	浇注温度($^{\circ}\text{C}$)	螺旋线长度(mm)
铸铁 C+Si=6.2%	砂型	1300	1800
C+Si=5.9%	砂型	1300	1300
C+Si=5.2%	砂型	1300	1000
C+Si=4.2%	砂型	1300	600
铸钢 C=0.4%	砂型	1600	100
		1400	200
铝硅合金(硅铝明)	金属型(300°C)	680~720	700~800
镁合金(含 Al 及 Zn)	砂型	700	400~600
锡青铜(Sn $\approx$ 10%, Zn $\approx$ 2%)	砂型	1040	420
硅黄铜(Si=1.5%~4.5%)	砂型	1100	1000

二、影响流动性的因素

影响合金流动性的因素很多,其中主要的是合金种类和化学成分、浇注温度和铸型充

填条件等。

1. 合金的种类和化学成分

不同种类的合金具有不同的流动性。由表 1-1 可知,灰口铸铁和硅黄铜的流动性最好,铝硅合金次之,铸钢的流动性最差。

同种合金中,不同成分的铸造合金有不同的结晶特点,因而对流动性的影响也不同,纯金属和共晶成分合金是在恒温下进行结晶,结晶时从表面开始向中心逐层凝固,由于已凝固的表面比较光滑,对其尚未凝固的金属液的流动阻力小,故流动性好,如图 1-2(a)所示。此外,在相同浇注温度下,共晶成分合金凝固温度最低,相对来说,液态合金的过热度(即浇注温度与合金熔点温度差)大,推迟了液态合金的凝固,因此共晶成分合金的流动性最好。其它成分合金的结晶是在一个温度区间(双相区)内完成的,即结晶区域为一个固相和液相并存的两相区。在此区域内初生的树枝状枝晶使凝固层内表面参差不齐,阻碍液态合金的流动。因为固态晶体的导热系数大,使液体冷却速度加快,故流动性差,如图 1-2(b)所示。并且合金的结晶温度区间越宽,流动性越差,所以这种合金液充填铸型和补缩的能力都相应地降低。因此,选择铸造合金时,在满足使用要求的前提下,应尽量选择靠近共晶成分的合金。

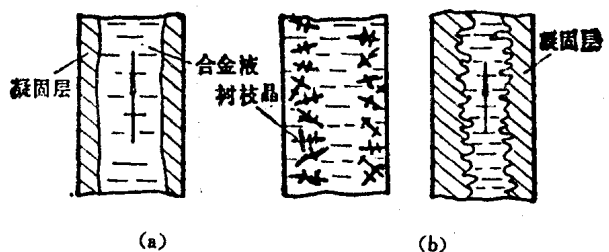


图 1-2 不同结晶特征的合金的流动性

(a)纯金属;(b)结晶温度范围宽的合金

合金成分中凡能形成低熔点化合物,降低合金液的粘度和表面张力的元素,均能提高合金的流动性,如铸铁中的磷。凡能形成高熔点夹杂物的元素,都会降低合金的流动性。例如铸铁中硫和锰化合生成的 MnS , 熔点为 $1620^{\circ}C$, 成为固态夹杂物悬浮在铁水中,阻碍了铁水流动,使其流动性降低。

2. 浇注温度

浇注温度高可以降低合金液粘度,增加过热度,保持液态的时间长,传给铸型的热量增多,使合金的冷却速度变慢,因而提高了合金的流动性。所以,提高浇注温度是防止铸件产生浇不足、冷隔和夹渣等缺陷的重要工艺措施。但浇注温度过高,会增加合金的总收缩量,吸气增多,铸件易产生缩孔、缩松、粘砂和气孔等缺陷。因此,在保证流动性的条件下,浇注温度应尽量低些。但对于形状复杂的薄壁铸件,为避免产生冷隔和浇不足等缺陷,浇注温度可略高些。灰口铸铁的浇注温度一般为 $1200\sim 1380^{\circ}C$, 壁厚小于 $10mm$ 的复杂薄壁铸件,其浇注温度为 $1340\sim 1430^{\circ}C$, 碳素铸钢件为 $1500\sim 1550^{\circ}C$, 铝合金为 $680\sim 780^{\circ}C$, 铜合金为 $980\sim 1200^{\circ}C$ 。

3. 铸型特点

铸型中凡能增加合金流动阻力和冷却速度、降低流速的因素,均能降低合金的流动性。例如,型腔过窄,浇注系统结构复杂,直浇道过低,内浇道截面太小或布置不合理,型砂水分过多或透气性不好,铸型材料导热性过大等,都会降低合金的流动性。为改善铸型的充型条件,铸件的壁厚应大于规定的“最小壁厚”,铸件形状应力求简单,并在铸型工艺上针对需要采取相应措施。例如,加高直浇道,增加内浇道截面,增设出气口及烘干铸型等。

第三节 合金的收缩

一、收缩的基本概念

铸件在冷却凝固过程中体积和尺寸减小的现象称为收缩。收缩是铸造合金的物理性质,是铸件中许多缺陷(缩孔、缩松、残余内应力、变形、裂纹等)产生的基本原因。合金液从浇注温度冷却到室温要经过三个相互联系的收缩阶段。

(1)液态收缩 是指合金液从浇注温度冷却到凝固开始温度(液相线温度)之间的体积收缩。这个阶段是合金处于液态下的收缩,它使型腔内液面降低。合金液的过热度越大,则液态收缩也越大。

(2)凝固收缩 是指合金从凝固开始温度冷却到凝固终止温度(固相线温度)之间的体积收缩,即合金在结晶温度范围内的收缩。这个阶段仍表现为型腔内液面降低。

液态收缩和凝固收缩表现为合金的体积缩小,通常用体收缩率表示。它是铸件产生缩孔和缩松的基本原因。

(3)固态收缩 是指合金从凝固终止温度冷却到室温之间的收缩。在固态收缩阶段,铸件各个方向都表现出尺寸的缩小,对铸件的形状和尺寸精度的影响最大,常用线收缩率表示,固态收缩是铸件产生铸造应力、变形和裂纹等缺陷的主要原因。

不同的铸造合金,其收缩率不同,表 1—2 所示为几种铁碳合金的收缩率。由表可见,铸钢的收缩率最大而灰口铸铁收缩率最小。这是由于灰口铸铁中石墨的比容大,在结晶过程中,析出石墨产生体积膨胀,可以抵消一部分铸铁收缩。

表 1—2 几种铁碳合金的收缩率(%)

合金种类	体收缩率	线收缩率
碳素铸钢	10~14.5	~2
白口铸铁	12~14	~2
灰 铸 铁	5~8	~1

二、影响收缩的因素

合金收缩的主要影响因素有合金的化学成分、浇注温度、铸件结构和铸型条件等。

1. 化学成分

铸铁中凡能促进石墨形成的元素增加,均能使收缩减少;而阻碍石墨形成的元素增加,会使收缩增大。灰口铸铁中的碳大部分以石墨形式存在,而石墨的比容(单位重量的体

积)大,在结晶时每析出1%石墨,铸件体积膨胀2%,体积膨胀抵消了部分凝固收缩。灰口铸铁中提高碳、硅含量和减少硫的含量,均可使其收缩减小。

2. 浇注温度

合金的浇注温度越高,过热度越大,液态收缩增加,总的收缩量增大。

3. 铸件结构与铸型条件

由于铸件在铸型中各部分冷却速度不同,彼此相互制约,对其收缩产生阻力。又由于铸型和型芯对铸件收缩产生机械阻力,因此铸件实际线收缩率比自由收缩率小。所以在设计模样时,必须根据合金的品种,铸件的具体形状、尺寸等因素,选取适合的收缩率。

三、缩孔和缩松的形成

合金液在铸型内冷凝过程中,若其体积收缩得不到补充时,将在铸件最后凝固的部位形成孔洞,这种孔洞称为缩孔。缩孔分为集中缩孔和分散缩孔两类。通常所说的缩孔,主要是指集中缩孔,而分散缩孔一般称为缩松。

1. 缩孔的形成

缩孔是容积较大的孔洞,一般隐藏在铸件上部或最后凝固部位,有时经过切削加工可暴露出来。在某些情况下,缩孔也可产生在铸件的上表面、呈明显凹坑,这种缩孔又称为“明缩孔”。缩孔的外形特征是形状不规则,多呈倒圆锥形,其内表面较粗糙。

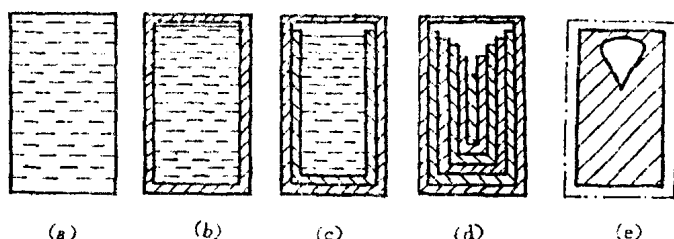


图 1-3 缩孔形成过程示意图

缩孔的形成过程如图 1-3 所示,合金液充满铸型后,由于散热开始冷却,并产生液态收缩。在浇注系统尚未凝固期间,所减少的合金液可以从浇口得到补充,液面不下降仍保持充满状态,如图 1-3(a)所示。随着热量的不断散失,靠近型腔表面的合金液很快就降低到凝固温度,凝固成一层硬壳。如此时内浇道已凝固,形成的硬壳就会象一个密封容器一样包住了合金液,如图 1-3(b)所示。温度继续下降,铸件除产生液态收缩和凝固收缩外,还有已凝固的外壳产生的固态收缩。由于硬壳的固态收缩远较硬壳内合金液的液态收缩和凝固收缩小,此时又无液态金属来补充,所以硬壳内液体合金的液面下降与壳顶分离,如图 1-3(c)所示。铸件凝固依次进行下去,待全部凝固后,在铸件上部就形成了一个倒圆锥形的缩孔,如图 1-3(d)所示。已形成缩孔的铸件自凝固终止温度冷却到室温,因固态收缩使其外廓尺寸略有减少,如图 1-3(e)所示。纯金属及靠近共晶成分的合金,因其结晶温度范围较窄,流动性较好,易于形成集中缩孔。

2. 缩松的形成

在铸件壁的轴线区域、厚大部位、冒口根部、浇口附近和缩孔的下方，常分布一些分散的细小缩孔称为缩松。对于相同的总收缩容积，缩松的分布面积要比缩孔大得多。

缩松的形成过程可由图 1-4 所示的圆柱形铸件来说明，铸件首先从外层开始凝固，但凝固的前沿凹凸不平，如图 1-4(a)所示。由于铸件在圆周方向散热条件相近，所以在凝固后期凝固的前沿几乎同时到中心，形成一个同时凝固区。在这个区域内，剩余液体被凹凸不平的凝固前沿分隔成许多小液体区，如图 1-4(b)所示。最后，这些数量极多的小液体区凝固收缩时，因得不到补缩而形成缩松，如图 1-4(c)所示。这种缩松常出现在集中缩孔的下方或铸件轴线区域，用肉眼即可能看见，通常称为宏观缩松。

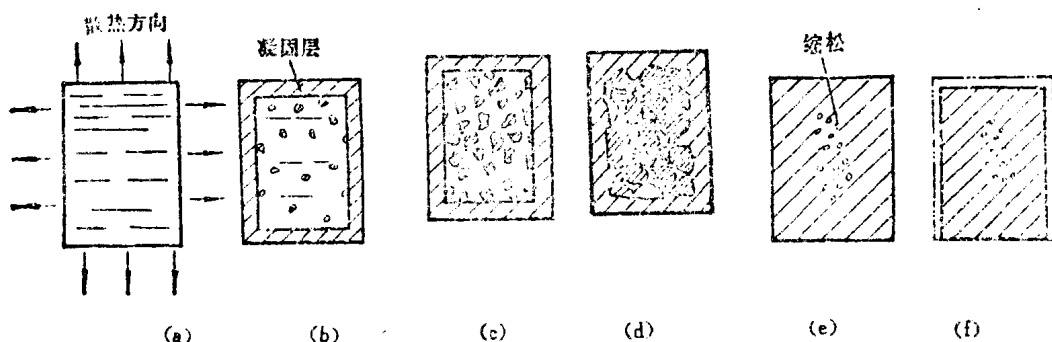


图 1-4 缩松形成过程示意图

对于结晶温度区间较宽的合金，因其凝固结晶是在铸件截面上一定宽度的区域内几乎同时进行，这样，就存在着一个液、固并存的双相区。在此区域内先产生的交叉树枝状晶体和分散晶体将液态合金分隔成许多细小分散的封闭区，它们凝固时得不到其它合金液的补充，便形成缩松，这种缩松更为细小，要用显微镜才能看到，故称为显微缩松，如图 1-5 所示。显微缩松在铸件中难以避免，对于一般铸件通常不作为缺陷，但如要求铸件有较高的气密性、高的机械性能和物理化学性能时，则必须设法减少或防止显微缩松的产生。

四、缩孔和缩松的防止

任何形态的缩孔都会使铸件的机械性能显著下降，缩松还能影响铸件的致密性和物理、化学性能。因此，缩孔和缩松是铸件的严重缺陷，必须根据铸件技术要求，采取适当工艺措施，予以防止。

缩松分布面广，难以发现，难以消除；集中缩孔易于检查与修补，并可采取工艺措施加以防止。因此，生产中应尽量避免产生缩松或尽量使缩松转化为缩孔。防止缩孔与缩松的主要措施有：

1. 合理选择铸造合金

从缩孔和缩松的形成过程可知，结晶温度范围宽的合金，易形成缩松，影响铸件的致密性和物理、化学性能。因此，生产中应尽量采用接近共晶成分的或结晶温度范围窄的合金。

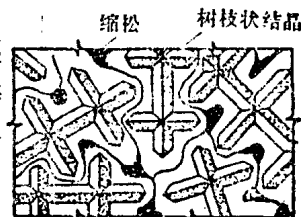


图 1-5 显微缩松

2. 按照顺序凝固原则进行凝固

顺序凝固原则是指采用各种工艺措施,使铸件上从远离冒口的部分到冒口之间建立一个逐渐递增的温度梯度,从而实现由远离冒口的部分向冒口的方向顺序地凝固,如图1—6所示。这样,铸件上每一部分的收缩都能得到稍后凝固的合金液补充,缩孔则产生在最后凝固的冒口内。冒口是多余部分,切除后便得到无缩孔的致密铸件。

顺序凝固原则适用于凝固收缩大或壁厚差别较大,易产生缩孔的合金铸件,如铸钢、高强度灰铸铁和可锻铸铁等。这时冒口补缩作用好,铸件致密度高。顺序凝固的缺点是铸件各部分温差较大,冷却速度不一致,易产生铸造应力、变形及裂纹等缺陷;同时冒口消耗金属多,切割费时,增加铸件成本。

3. 合理采用冒口、冷铁和补贴等工艺措施

(1)冒口 在铸件厚壁处设置冒口,是防止缩孔、缩松最有效的措施,冒口的尺寸应保证冒口比铸件补缩部位凝固得晚,并有足够的金属液供给。冒口的种类很多,应用较多的为明冒口和暗冒口。明冒口的表面露于上箱,它是靠金属的静压力起补缩作用,这种冒口造型方便、操作灵活、便于浇注时补充金属液,应用广泛。但其补缩效率低,消耗金属多。在成批、大量生产中,还常采用各种形式的暗冒口。暗冒口散热慢,补缩效率高,便于对铸件侧面或下部进行补缩。

(2)冷铁 冷铁用铸铁、钢和铜等金属材料制成,其作用是增大铸件厚大部位的冷却速度,调节铸件的凝固顺序,防止产生缩孔。

(3)补贴 补贴是在铸件壁上靠近冒口处增加一个楔形厚度,使铸件壁变成朝冒口逐渐增厚的形状,即造成一个向冒口逐渐递增的温度梯度,可大大增加冒口的补缩效果,消除缩孔。

冒口、冷铁和补贴的综合运用是消除缩孔、缩松的有效措施,如图1—7所示。

五、铸造内应力、变形和裂纹

铸件的固态收缩受到阻碍而引起的内应力,称铸造内应力。按阻碍形成的原因不同分为热阻碍和机械阻碍。铸件各部分由于冷却速度不同、收缩量不同而引起的阻碍称为热阻碍;铸型、型芯对铸件收缩的阻碍,称为机械阻碍。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(收缩应力)。铸造应力可能是暂时的,当引起应力的原因消除以后,应力随之消失,称为临时应力;铸造应力也可能是长期存在的,称为残余应力。

1. 热应力

热应力是由于铸件壁厚不均,各部分收缩受到阻碍而引起的。落砂后热应力仍存在于铸件内,是一种残余铸造内应力。

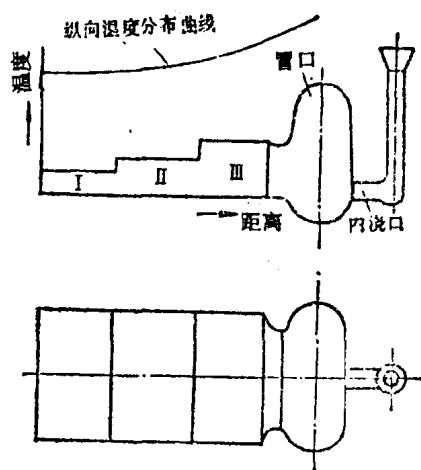


图1—6 顺序凝固原则示意图

现以框形铸件为例,说明残余热应力的形成过程。如图1-8(b)所示铸件,由一根粗杆Ⅰ和两根细杆Ⅱ所组成。两根细杆冷却速度和收缩完全相同,为叙述方便,把三根杆简称为Ⅰ、Ⅱ两杆。

假设凝固后两杆从同一温度 t_H 开始冷却,最后达到同一温度 t_0 ,两杆的固态冷却曲线如图1-8(a)所示。由于Ⅰ杆较厚,Ⅱ杆较薄,所以冷却前期Ⅱ杆的冷却速度比Ⅰ杆快,导致Ⅱ杆温度低于Ⅰ杆;但两杆最终温度相同,冷却后期必然是Ⅰ杆的冷却速度比Ⅱ杆快。

t_K 为临界温度,在此温度以上,合金处于塑性状态,以下处于弹性状态。塑性变形受阻不产生内应力,而弹性变形受阻会产生内应力。

热应力形成过程可根据图1-8分三个阶段加以说明:

第一阶段($\tau_0 \sim \tau_1$): Ⅰ、Ⅱ两杆都处于塑性状态。由图1-8(a)知,冷却时Ⅰ杆温度差($t_H - t_1'$)小于Ⅱ杆的温度差($t_H - t_1''$),若两杆能自由收缩,则Ⅰ杆收缩量将小于Ⅱ杆。两杆收缩后长度如图1-8(c)中的虚线所示。但由于两杆是联在一起的,彼此变形受到阻碍,只能收缩到同一长度 l_1, l_1 比自由收缩的Ⅰ杆短,比自由收缩的Ⅱ杆长。因此,Ⅰ杆被压缩了一些,Ⅱ杆被拉长了些。因为都是塑性变形,铸件内无内应力产生。

第二阶段($\tau_1 \sim \tau_2$): Ⅰ杆处于塑性状态,Ⅱ杆温度降至 t_K 以下,转变为弹性状态。由于弹性杆的变形比塑性杆困难得多,所以整个铸件的收缩由Ⅱ杆所确定,长度缩短到 l_2 ,如图1-8(d)所示。Ⅰ杆随之收缩,虽收缩仍受限制,因是塑性变形,仍不产生内应力。

第三阶段($\tau_2 \sim \tau_3$): Ⅰ、Ⅱ两杆都处于弹性状态。因Ⅰ杆的温度差($t_1' - t_0$)大于Ⅱ杆的温度差($t_1'' - t_0$),故Ⅰ杆的自由收缩量大于Ⅱ杆,两杆收缩后的长度如图1-8(e)中的虚线所示。但由于两杆联在一起,彼此限制,所以只能收缩到同一长度 l_3, l_3 比自由收缩的Ⅰ杆长,比自由收缩的Ⅱ杆短。于是Ⅰ杆被拉长一些,Ⅱ杆被压缩一些。因为是弹性变形,所以Ⅰ杆内产生拉应力(以正号表示),而Ⅱ杆内产生压应力(以负号表示)。这就构成了铸件内的残余热应力。

可以看出,热应力使铸件厚壁或心部受拉伸,薄壁或表层受压缩。合金固态收缩率越高,铸件壁厚差别越大,热应力越大;采用顺序凝固冷却也能使热应力加大。

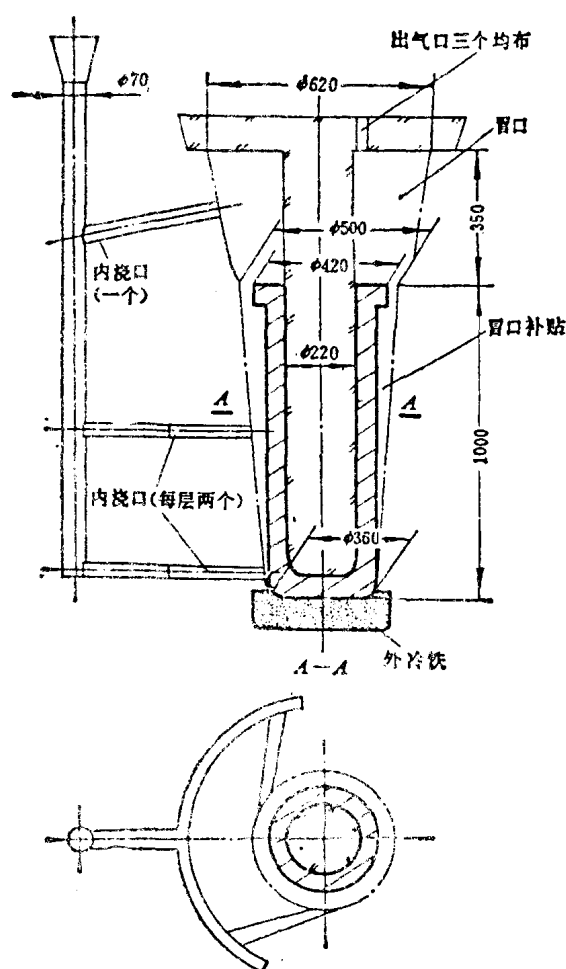


图1-7 铸钢主缸体的顺序凝固工艺

图1—10所示套筒筒身及内孔在固态收缩中,受到舂制过紧的砂型凸出部分型芯的阻碍,产生拉应力。

机械应力是在铸件处于弹性状态时产生的,因而当形成应力的原因一经消除,如落砂、打断浇、冒口之后,应力也随之消失。因此,机械应力是一种临时应力。但是机械应力在铸型中能与热应力共同作用,增加了铸件产生裂纹的可能性。

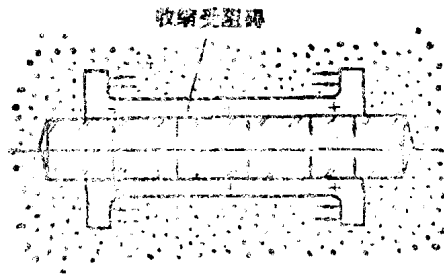


图1—10 受砂型和砂芯机械阻碍的铸件

3. 铸件的变形与防止

如前所述,具有残余内应力的铸件,厚的部分受拉伸,薄的部分受压缩。当残余内应力超过铸件材料的屈服极限时,铸件就会产生变形。变形可减缓其内应力。铸件的变形方向是受拉应力的部位向内凹,受压应力的部位向外凸。

如图1—11所示为车床床身,其导轨部分因较厚而受拉应力,床壁部分因较薄而受压应力,于是朝着导轨方向弯曲,使导轨下凹。如图1—12所示为平板铸件,其中心部分比边缘散热慢,受拉应力;边缘受压应力,而铸型上面又比下面冷却快,于是平板发生如图所示方向的变形。

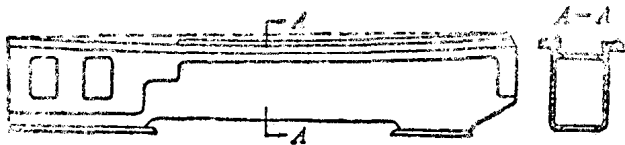


图1—11 车床床身挠曲变形示意图

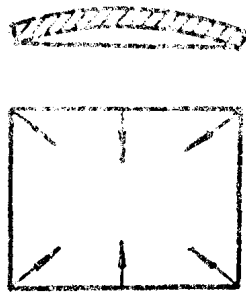


图1—12 平板铸件的变形

为防止铸件变形,在设计时,应尽可能使铸件壁厚均匀或使其形状对称,如图1—13(c)所示。在铸造工艺上应采取措施使铸件同时凝固,对于长而易变形的铸件,在制造模型时,将模型制成与铸件变形相反的形状,用以抵消铸件产生的变形,这种方法称为反变形法。

对于不允许变形的重要精密铸件,如车床床身则必须采用自然时效或人工时效的方法将残余应力有效地去除。人工时效处理就是将铸件进行低温退火。人工时效比自然时效节省时间。

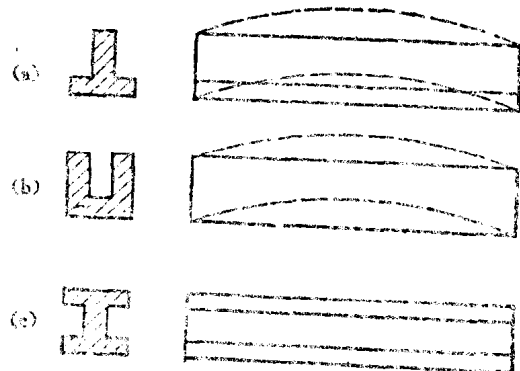


图1—13 铸件结构对变形的影响

4. 铸件的裂纹与防止

当铸造内应力超过合金的强度极限时,铸件便会产生裂纹。裂纹是铸件的严重缺陷。它分为热裂与冷裂两种。

(1)热裂 热裂是在凝固后期高温下形成的。此时,结晶出来的固体已形成完整骨架,开始进入固态收缩阶段,但晶粒间还有少量液体,因此合金的强度很低。如果合金的固态收缩受到铸型或型芯的阻碍,使机械应力超过了该温度下合金的强度,则发生热裂。热裂纹具有裂纹短、缝隙宽、形状曲折、断面严重氧化、无金属光泽、裂口沿晶界产生和发展等特征。热裂是铸钢和铝合金铸件中常见的缺陷。

防止热裂的主要措施是合理设计铸件结构;合理选用型砂和芯砂的粘结剂与添加剂,以改善其退让性;大的型芯可制成中空的或内部填以焦炭;严格限制钢和铸铁中硫的含量(因硫能增加热脆性,降低合金的高温强度);选用收缩率小的合金等。

(2)冷裂 铸件的热应力和机械应力的总和,如大于该温度下合金的强度时,则产生冷裂。冷裂是在较低温度下形成的,常出现在铸件受拉伸的部位。其裂缝细小,且呈连续直线状或圆滑曲线。冷裂缝内干净,有时呈轻微氧化色。

壁厚差别大、形状复杂的铸件,尤其是大而薄的铸件易于发生冷裂。凡是减少铸造内应力或降低合金脆性的因素,都能防止冷裂的形成。钢和铸铁中的磷能显著降低合金的冲击韧性,增加铸件的冷裂倾向。所以,应严格控制合金中磷的含量。

第四节 铸件质量与技术检验

一、铸件缺陷及其产生原因

铸造生产工序繁多,很容易使铸件产生各种缺陷。为降低废品率,应首先正确判断铸件缺陷的类别,并分析产生的原因,以采取相应措施。常见的铸造缺陷如:

1. 孔眼类

(1)气孔 气孔多分布在铸件的上表面或内部,呈球状或梨形,大小不等,内壁较光滑。产生的原因是型砂含水过多或拔模、修型时刷水太多;砂型春的太紧或透气性差;型芯通气孔堵塞或型芯未烘干;金属液溶气太多;浇注系统不正确;浇注速度过快,气体排不出;铸件结构不合理,不利于排气等。

(2)缩孔 缩孔的内壁粗糙,形状不规则,晶粒粗大呈倒锥形,常产生在厚壁处。产生的原因是浇注系统和冒口位置不当;铸件结构不合理;浇注温度过高或铁水成分不对,收缩太大等。

(3)缩松 在铸件内部的微小而不连贯的缩孔,聚集在一处或多处,分布面积大,晶粒粗大。产生的基本原因与缩孔相同。

(4)砂眼 在铸件内部或表面有充塞型砂的孔眼。产生的原因是铸件设计不合理;浇注系统不合理;型砂和芯砂强度不够;铸型被破坏等。

(5)渣眼 在铸件内部或表面上,孔眼不规则,孔内不光滑并充塞熔渣。产生的原因是金属液除渣不净;浇注时挡渣不好等。