



高等学校教材

材料成型工艺 技术基础

韩建民 主编
于淑珍 晏传鹏 副主编

9-43

中国铁道出版社

933

高等学校教材

767-40
145

材料成型工艺技术基础

韩建民 主编
于淑珍 晏传鹏 副主编
王金华 主审

中国铁道出版社

2002年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书是铁道部面向 21 世纪“工程制图与机械基础系列课程教学内容与课程体系改革的研究与实践”项目系列课程教材之一。本书重点介绍了材料成型的有关理论、成型工艺方法、设备和毛坯选用,在介绍传统的工艺方法内容基础上,还对近几年出现的材料成型新技术和新方法进行了介绍。

本书共分六章,内容包括液态成型、锻造、焊接、粉末冶金和非金属材料成型、计算机在成型技术中的应用和毛坯选择。每章附有适量的复习思考题。

本书可作为高等工科院校机械工程类专业及相关专业的教材,亦可供高等工业专科学校、职业大学、电视大学师生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成型工艺技术基础/韩建民主编. —北京:中国铁道出版社,2002.8

ISBN 7-113-04767-X

I. 材... II. 韩... III. 材料-成型 IV. TG39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 044997 号

书 名:材料成型工艺技术基础

作 者:韩建民 主编 于淑珍 晏传鹏 副主编

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街 8 号)

责任编辑:程东海 编辑部电话:(010)51873135

封面设计:冯龙彬

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:787×1092 1/16 印张:13.25 字数:328 千

版 本:2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN 7-113-04767-X/TF·2

定 价:19.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

联系电话:(010)63545969

前 言

《材料成型工艺基础》是高等工业学校机械类专业必修的技术基础课之一,它主要研究工程材料的各种成型工艺方法及其规律。本书在体系上符合机械类人才培养方案与模式的大框架的整体优化原则,在内容上注重培养本科学生的综合机械设计能力与素质,编写过程中结合了机械类各专业的实际需要,本着理论与实际相结合、工艺与原理相结合的原则,系统阐述了各种材料成型的方法、特点、规律、应用及其结构工艺性。本书主要内容有:液态成型工艺技术基础、塑性加工成型、焊接成型、粉末冶金和非金属材料成型、计算机在成型技术中的应用简介和毛坯选择等。本书主要具有以下特点:

1. 力求符合高等工科院校对本课程的实际需要,做到内容充实、重点突出、着眼实践,为教学和生产服务。各章自成体系,独立性强。

2. 力求体现铁路的特点,在讲授基本理论与应用过程中注意与铁路产品相结合。

3. 增加和拓展了粉末冶金与非金属材料成型一章。除了介绍粉末冶金成型方法的技术原理和特点,塑料、橡胶和陶瓷等非金属材料的成型方法外,还对复合材料的成型方法进行了介绍。

4. 增设了计算机在成型技术中的应用简介一章。主要介绍计算机技术在传统的材料成型方法中的应用,同时对快速成型技术也进行了介绍,使学生了解材料成型技术的最新发展。

参加本书的编写人员有:北方交通大学韩建民、李长虹(第一章、第五章),大连铁道大学于淑珍、翟封祥(第二、三章),西南交通大学晏传鹏、周友龙(第四、六章)。全书由韩建民教授任主编,于淑珍副教授和晏传鹏副教授任副主编,北方交通大学王金华教授任主审。

北方交通大学的李卫京、崔世海等同志为本书的编写和出版做了大量的工作,在此深表谢意。

限于编者的水平,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2002年7月

目 录

第一章 液态成型工艺技术基础	1
第一节 液态成型概述.....	1
第二节 液态成型基本原理.....	3
第三节 砂型铸造成型方法	15
第四节 特种铸造	25
第五节 铸造工艺及铸件结构工艺性	33
第六节 液态合金的制备及铸造工艺特点	46
复习思考题	68
第二章 塑性加工成型	72
第一节 塑性成型原理	73
第二节 自由锻	80
第三节 模型锻造	87
第四节 板料冲压	99
第五节 金属塑性加工的其他工艺.....	111
复习思考题.....	118
第三章 焊接成型	122
第一节 焊接成型理论基础.....	123
第二节 常用焊接方法.....	134
第三节 其他焊接方法简介.....	146
第四节 典型金属材料的焊接.....	152
复习思考题.....	163
第四章 粉末冶金和非金属材料成型	166
第一节 粉末冶金.....	166
第二节 塑料制品成型.....	173
第三节 橡胶制品成型.....	175
第四节 现代陶瓷成型.....	177
第五节 复合材料成型.....	178
复习思考题.....	181
第五章 计算机在成型技术中的应用简介	182
第一节 计算机在铸造技术中的应用.....	182

第二节 计算机在锻压技术中的应用·····	183
第三节 计算机在焊接技术中的应用·····	187
第四节 快速成型技术·····	191
复习思考题·····	195
第六章 毛坯选择·····	196
第一节 影响毛坯选择的因素·····	196
第二节 毛坯选择举例·····	198
第三节 毛坯质量检测·····	202
复习思考题·····	204
参考文献·····	205

第一章

液态成型工艺技术基础

第一节 液态成型概述

一、液态成型工艺流程

液态成型是将液态金属注入一定的型腔(铸型)中使之凝固、冷却而形成具有一定形状和尺寸的金属制品,这种成型方法又可称为铸造成型。这种制造金属制品的生产过程称为铸造生产,简称铸造,所铸出的金属制品称为铸件。大部分铸件一般均用作毛坯,需经机械加工后才能成为各种机器零件;少数铸件当达到使用的尺寸精度和表面粗糙度时,可直接作为零件或产品使用。

通常根据铸型的特点,或液态合金注入铸型(充型)方式及在铸型中凝固成型过程的特点,把铸造分为几种不同的类型,如砂型铸造、熔模铸造、金属型铸造、低压铸造、压力铸造、离心铸造、连续铸造、实型铸造、真空铸造等。

为了方便造型,使液态合金顺利充型或保证铸件的内外质量而采取的各种方法和手段的总和称为铸造工艺,如浇注温度、分型面、加工余量、拔模斜度、浇冒口等。

砂型铸造生产流程图见图 1—1。

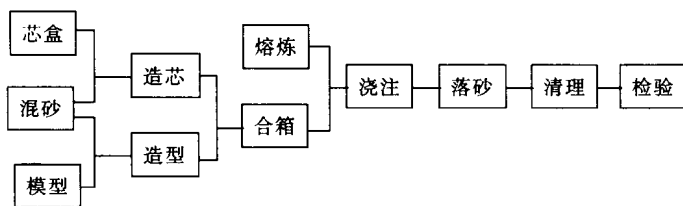


图 1—1 砂型铸造生产流程图

二、铸造生产的特点及应用

铸造生产具有鲜明的特点和广泛的应用,概括起来,铸造生产具有以下特点:

1. 适用范围广

铸造方法受零件的尺寸、重量和复杂程度的限制较少,适用范围广,可以铸造壁厚范围为 0.3 mm~1 m,长度从几个毫米到几十米,质量从几克到 500 多吨的铸件。铸件的形状可以非常复杂,尤其是具有复杂的内腔的零件,例如机车柴油机的机体和缸盖。

2. 可用于铸造的合金种类多

用铸造方法可以生产铸钢件、铸铁件、各种铝合金、铜合金、镁合金、钛合金及锌合金等铸件。尤其对于脆性或难加工金属及合金,如铸铁、高锰钢,铸造是唯一可行的成型加工方法。

3. 铸件的尺寸精度高

一般来说,铸件的尺寸比锻件、焊接件的尺寸精确,可节约大量金属材料和机械加工工时。

4. 成本低廉

铸件在一般机器生产中占总质量的40%~80%,而成本只占机器总成本的25%~30%。其成本低廉的原因是:①容易实现机械化生产;②可大量利用废、旧金属料;③与锻件相比,其动力消耗低;④尺寸精度高,加工余量小,节约加工工时和金属。另外,由于在原材料、劳动力等方面的成本较低,我国的铸造生产成本比国外发达国家的铸造生产成本低很多,铸件出口已成为我国铸造生产的重要领域。

铸造生产在工业发达国家的国民经济中占有重要的地位。从铸件在机械产品中所占比重可以看出其重要性:在机床、内燃机、重型机器中,铸件约占70%~90%;在风机、压缩机中约占60%~80%;在拖拉机中约占50%~70%;在农业机械中约占40%~70%;在汽车中约占20%~30%。

在铸造生产中,铸铁件应用最广,约占铸件总产量的70%;各种铸造方法中砂型铸造应用最广泛,大约占世界铸造总产量的60%。

三、铸造技术的发展

我国的铸造技术已有6 000年悠久的历史,是世界上较早掌握铸造技术的文明古国,25 00多年以前就铸出了270 kg的铸铁刑鼎,被世界上公认为是最早应用铸铁的国家之一。我国在商朝(约公元前16世纪~公元前1066年)时期就开始使用铸铜技术,并创造了灿烂的青铜文化;周朝开始有了铸铁,发展了铁制农具。战国时期的青铜扁钟、明朝的永乐大钟、五代后周时期的大铁狮等不仅反映了我国悠久的铸造历史,还显示出了精湛的铸造工艺技术水平。

1998年,我国铸件的产量已达1 100万t左右,约占我国钢铁总产量的1/10,居世界第二位,它为机床、汽车、拖拉机、机车、飞机、船舶、电力、冶金、化工和重型机器制造业等提供了各类铸件。在铸造技术水平方面,我国已铸出了315 t重的大型厚板轧机的铸钢机架,重260 t的大型铸铁钢锭模,还铸出了 30×10^4 kW的水轮机转子等形状复杂、尺寸要求严格的铸件,其尺寸精度达到了国际电工协会规定的标准。近几年,我国的许多铸件已进入国际市场。这些均标志着我国的铸造技术水平正在向国际水平接近。

目前,国内外铸造技术的发展方向主要体现在以下方面:

1. 专业化生产,规模化经营

随着市场竞争的要求和科学技术的发展,铸造的专业化生产和规模化经营已经成为铸造企业生存和发展的基础。铸造是一个原材料消耗多、动力消耗大,投入产出比相对较小的行业,只有实现专业化并达到一定的生产规模,才能降低铸造生产的成本,提高生产效率和产品质量。

发达国家的铸造企业已基本实现了专业化和规模化的生产经营模式,我国铸造企业的特点是数量多、规模小,尤其是个体企业、乡镇企业和机械制造企业中的铸造车间或分厂较多,而专业铸造厂相对较少,即便是专业铸造厂,在生产规模方面与发达国家也存在着较大的差距。例如,我国约300人的专业铸钢厂,年产铸钢件约4 000余吨,而美国约同样人数的铸钢厂,可年产铸钢件15 000余吨;我国规模最大的工程机械配重铁生产企业年产铸件3万余吨,美国较大的配重铁企业,年产配重可达20余万吨;我国生产高铬磨球的铸造企业年产量一般在几千

吨左右,最大的磨球铸造厂年产量也不过3万~5万t,而比利时的高铬磨球跨国公司,年产磨球可达40余万t。

铸造行业实现专业化和规模化生产经营的主要途径是采用机器造型和生产流水线。目前,丹麦的DISA线、美国的HUTER线、德国的BW(气充)线、德国和意大利的树脂砂线以及日本的V—法生产线等在世界各国的铸造企业中得到了广泛的应用;在我国,保定铸造设备厂的树脂砂线和济南铸锻研究所的气充线也得到了一定的推广应用。另外,以质量、价格和服务为主要竞争因素的规范化市场也是实现铸造专业化和规模化生产经营的重要因素。

2. 铸件质量要求及其检测和控制

铸件质量涉及的内容有:材质性能、外观质量、尺寸、内部缺陷以及特殊性能要求,如铸造管件的漏压性能、铸造磨球的落球试验、铸造井盖的压力试验、刹车盘铸件的动平衡试验等,这些质量要求一般都有相应的国标或国际标准,而且一般要求生产企业提供相应的检测报告。为保证批量生产的产品质量的稳定性和产品抽样检测、控制报告的客观性,对生产企业具备ISO 9000质量体系认证资格的要求逐年提高,有的采购商甚至要求生产企业具备环保方面的ISO 14000认证资格。铸件质量高要求的发展趋势,要求铸件不仅要满足一定的使用性能要求,而且还要求铸件具备美观的外表质量,铸件传统的“傻大黑粗”的形象正在消失。

3. 开发和应用新技术和新工艺

为提高铸件质量、铸造生产效率和市场竞争力,铸造新技术、新工艺的开发和应用得到了空前的发展。概括起来,铸造新技术和新工艺的发展主要有两个方面:其一是针对铸造生产和铸件存在的质量问题,借助其他学科取得的成就,有目的地开发和应用新技术和新工艺,如改进液态金属质量的炉内外精炼技术和过滤网技术、改进水玻璃砂落砂性能的水玻璃磁化技术、提高铝合金强度和耐磨性的陶瓷颗粒复合强化技术等;其二是将计算机技术用于铸造生产和质量控制而产生的一系列铸造新技术和新工艺,如铸件计算机凝固模拟技术可有效地预测和控制铸件的内在质量,快速原形制造技术可大大地降低铸件的生产试制周期。

铸造新技术和新工艺的应用正在引起铸造生产各个环节的一系列重大变革。

第二节 液态成型基本原理

合金的铸造性能是表示合金通过铸造成型(即液态成型)获得优质铸件的能力,通常用流动性、收缩性等来衡量。铸造性能是一个极其重要的工艺性能,对铸造成型过程中的铸造工艺、铸件结构及铸件质量有显著的影响。

一、合金的流动性

1. 流动性的概念

液态合金充满型腔,形成轮廓清晰、形状正确的优质铸件的能力,叫做液态合金的流动性,又称“充型能力”。严格地讲,充型能力与流动性并非同一概念,在此不作严格区分。

流动性不好时,铸件易产生浇不到、冷隔、气孔、夹杂、缩孔、热裂等缺陷。流动性好的合金,易于充满薄而复杂的型腔,有利于金属液中气体和非金属夹杂物上浮并排除,有利于对铸件凝固时的收缩进行补缩,有利于使凝固后期出现的热裂纹及时得到金属液补充而弥合。

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—2所示,将金属液浇注入螺旋形试样铸型中,显然,在相同的铸型及浇注条件下,浇出的螺旋形试样越长,表示该

合金的流动性越好。

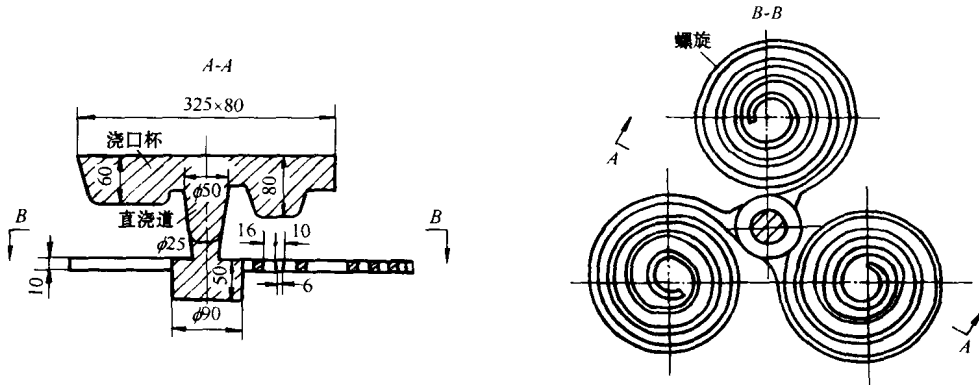


图 1—2 螺旋形流动性试样示意图

2. 影响流动性的因素

为便于采取措施提高流动性,必须搞清楚影响流动性的因素。影响流动性的因素有:

(1) 合金性质方面的因素

包括合金的种类、成分、结晶特征及其他物理性能等。表 1—1 列出一些常用合金的流动性。从表中看出,铸铁和硅黄铜的流动性最好,铝硅合金次之,铸钢最差;在铸铁中,流动性随碳、硅含量的增加而提高,由此可知,普通灰铸铁的流动性比孕育铸铁、可锻铸铁好。

表 1—1 合金的流动性(砂型,试样截面8 mm × 8 mm)

合金种类	铸型种类	浇注温度(℃)	螺旋线长度(mm)	
铸铁 C+Si=6.2%	砂型	1 300	1 800	
			C+Si=5.9%	1 300
			C+Si=5.2%	1 000
			C+Si=4.2%	600
铸钢 C=0.4%	砂型	1 600	100	
			1 640	200
	金属型(300℃)	680~720	700~800	
	镁合金(含 Al 及 Zn)	砂型	700	400~600
	锡青铜(Sn≈10%, Zn≈2%)	砂型	1 040	420
	硅黄铜(Si=1.5%~4.5%)	砂型	1 100	1 000

合金的结晶特性对流动性影响很大:结晶温度范围小的合金流动性好,而结晶温度范围大的合金,流动性差,这是因为:

①在恒温条件下结晶的纯金属和共晶合金,凝固是由铸件壁表面向中心逐层推进(称为逐层凝固方式),凝固层的内表面较平滑,对未凝固合金液体的流动阻力小,所以流动性好,见图 1—3(a)。

②在一定温度范围内结晶的亚共晶合金,凝固时铸件壁内存在一个较宽的既有液体又有树枝状晶体的两相区(这种凝固方式叫做糊状凝固),凝固层的内表面粗糙不平,对

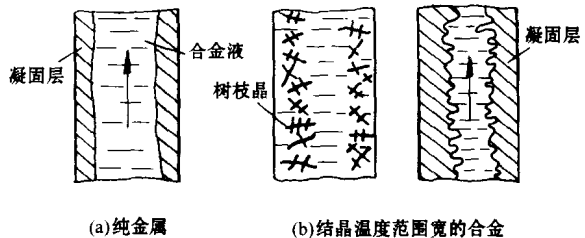


图 1—3 不同结晶特征的合金的流动性

内部液体的流动阻力较大,所以流动性较差(图 1—3b)。合金结晶温度范围愈大,两相区愈宽,树枝状晶体也愈多,金属液愈早地停止流动,流动性愈差。

图 1—4 所示为铁碳合金的流动性与相图的关系。图中表明,纯铁和共晶铸铁的流动性最好,亚共晶铸铁和碳钢随着结晶温度范围增加,流动性变差。

铸钢($C < 0.6\%$)的流动性比铸铁差,是由于铸钢熔点高,钢液过热度(浇注温度和液相线温度之差)比铸铁小,维持液态的流动时间短;此外,由于钢液的浇注温度较高,在铸型中散热快,迅速结晶出一定数量的树枝晶,使钢液更快地失去流动能力。

合金液的黏度、结晶潜热、导热系数等物理性能对流动性都有影响。如高铬耐热钢钢液因含较多的 Cr_2O_3 ,使黏度显著增大,流动性很差。

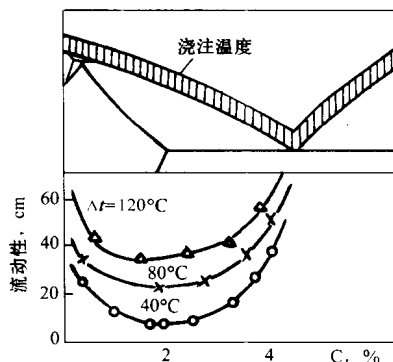


图 1—4 铁碳合金的流动性与相图的关系

(2) 铸型和浇注条件

铸型的导热速度愈大或对金属液流动阻力愈大,合金的流动性愈差。如液态合金在金属型中的流动性比在砂型中差;再如型砂中水分过多,排气不好,浇注时产生大量气体,会增加铸型阻力,使合金的流动性变差。

在一定范围内,浇注温度愈高,流动性愈好。超过此界限,浇注温度愈高,液态合金收缩愈大,吸气愈多,氧化愈严重,流动性甚至降低。因此每种合金都规定有一定的浇注温度范围:铸钢为 $1\ 520 \sim 1\ 620\ ^\circ\text{C}$;铸铁为 $1\ 230 \sim 1\ 450\ ^\circ\text{C}$;铝合金为 $680 \sim 780\ ^\circ\text{C}$ 。薄壁复杂件取上限,厚大件取下限。

提高金属液的压头可使流动性增加(如增加直浇口高度),也可用人工加压方法(低压铸造、压力铸造、真空吸铸及离心铸造等)提高充型时的压头。

浇注系统结构愈复杂,流动阻力愈大,流动性愈低。

(3) 铸件结构

当铸件壁厚过小,壁厚急剧变化,有大的水平面等结构时,都使金属液的流动困难。因此设计铸件时,铸件的壁厚必须大于规定的最小允许壁厚值(见表 1—2)。有的件需设计工艺孔或流动通道,如图 1—5 所示壳体铸件,在大平面上增设肋条有利于金属流充满型腔,并可防止夹砂缺陷的产生。

表 1—2 铸件最小允许壁厚(mm)

铸型种类	铸件尺寸(mm×mm)	铸 钢	灰 铸 铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铝 合 金	铜 合 金
砂 型	< 200×200	6~8	5~6	6	4~5	3	3~5
	200×200~500×500	10~12	6~10	12	5~8	4	6~8
	> 500×500	15~20	15~25	—	~	5~7	~
金属型	< 70×70	5	4	—	2.5~3.5	2~3	3
	70×70~150×150	—	5	—	3.5~4.5	4	4~5
	> 150×150	10	6	—	—	5	6~8

综上所述,为提高合金的流动性,应尽量选用共晶成分合金,或结晶温度范围小的合金;应尽量提高金属液质量,金属液愈纯净,含气体、夹杂愈少,流动性愈好。但在许多情况下,合金

是确定的,需从其他方面采取措施提高流动性,如提高浇注温度和压头、合理设置浇注系统和改进铸件结构等。

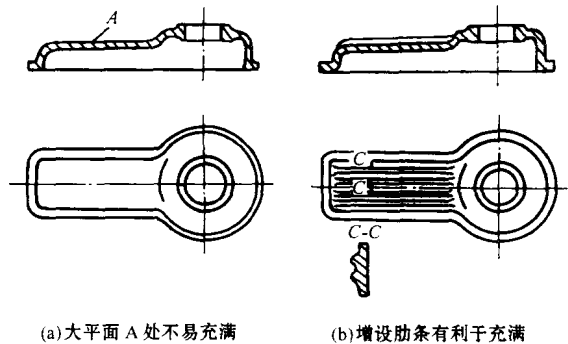


图 1—5 壳体结构对流动性的影响

二、合金的收缩

1. 收缩的概念

合金从液态冷却至常温的过程中,体积缩小的现象称为收缩。合金的收缩量通常用体收缩率或线收缩率来表示。当温度自 t_0 下降到 t_1 时,合金的体(线)收缩率以单位体积(长度)的相对变化量来表示,即

$$\text{体积收缩率} \quad \epsilon_V = \frac{V_0 - V_1}{V_0} \times 100\% = \alpha_V(t_0 - t_1) \times 100\% \quad (1-1)$$

$$\text{线收缩率} \quad \epsilon_l = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \times 100\% = \alpha_l(t_0 - t_1) \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 V_0 、 V_1 ——合金在 t_0 、 t_1 时的体积(cm^3);

l_0 、 l_1 ——合金在 t_0 、 t_1 时的长度(cm);

α_V 、 α_l ——合金在 t_0 至 t_1 温度范围内的体积收缩系数或线收缩系数($1/^\circ\text{C}$)。

合金的收缩可分为三个阶段,各阶段的收缩特性不同,因而对铸件质量有不同的影响:

(1)液态收缩,指合金从浇注温度 $t_{\text{浇}}$ 冷却到液相线温度 $t_{\text{液}}$ 过程中的收缩。由公式(1-1)可看出,浇注温度愈高,过热度($t_{\text{浇}} - t_{\text{液}}$)愈大以及收缩系数较大,都使液态收缩率增加。为减少合金液态收缩及吸气,兼顾流动性,浇注温度一般控制在高于液相线 $50 \sim 150^\circ\text{C}$ 。

(2)凝固收缩,指合金在液相线($t_{\text{液}}$)和固相线($t_{\text{固}}$)之间凝固阶段的收缩。恒温结晶的合金,凝固收缩只由状态改变引起。具有结晶温度范围的合金,凝固收缩由状态改变和温度下降两部分产生,结晶温度范围($t_{\text{液}} - t_{\text{固}}$)愈大,则凝固收缩率愈大。

液态收缩和凝固收缩使金属液体积缩小,一般表现为型内液面降低,是缩孔或缩松形成的基本原因。

(3)固态收缩,指合金从固相线温度冷却到室温时的收缩。固态收缩通常直接表现为铸件外形尺寸的减少,故一般用线收缩率表示。线收缩对铸件形状和尺寸精度影响很大,是铸造应力、变形和裂纹等缺陷产生的基本原因。

合金的总体积收缩为上述三个阶段收缩之和。它和金属本身的成分、温度和相变有关。不同成分的铁碳合金的收缩率列于表 1—3。其中,灰铸铁的收缩率较小,是由于灰铸铁结晶

时所含碳大多以石墨形态析出,石墨比容(单位质量物质的体积)大,使铸铁体积膨胀(每析出1%的石墨,铸铁体积约增加2%),因而抵消了一部分收缩。可见,含碳量(又称碳质量分数)愈高,灰铸铁的收缩愈小。

表 1—3 几种铁碳合金的收缩率(%)

合金种类	体收缩率	线收缩率
碳素铸铁	10~14.5	0~2
白口铸铁	12~14	0~2
灰铸铁	5~8	0~1

碳钢的总体积收缩随含碳量的提高而增大,这主要是因为钢液的比容及其结晶温度范围随含碳量的提高而增加所致。

铸件的收缩不仅与合金的收缩率有关,还与浇注、铸型条件和铸件结构等因素有关。例如铸件由于受到铸型和型芯的阻碍不能自由收缩,受阻收缩率显然小于自由收缩率(见表 1—3)。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实验而确定。

2. 缩孔和缩松

凝固结束后往往在铸件某些部位出现孔洞,大而集中的孔洞称缩孔,细小而分散的孔洞称缩松。缩孔、缩松可使铸件机械性能、气密性和物化性能大大降低,以致成为废品。它是极其有害的铸造缺陷之一,必须设法防止。

(1) 缩孔的形成

缩孔形成的条件是:金属在恒温或很窄的温度范围内结晶,铸件壁呈逐层凝固方式。

现以圆柱体铸件为例分析缩孔的形成过程,如图 1—6 所示。

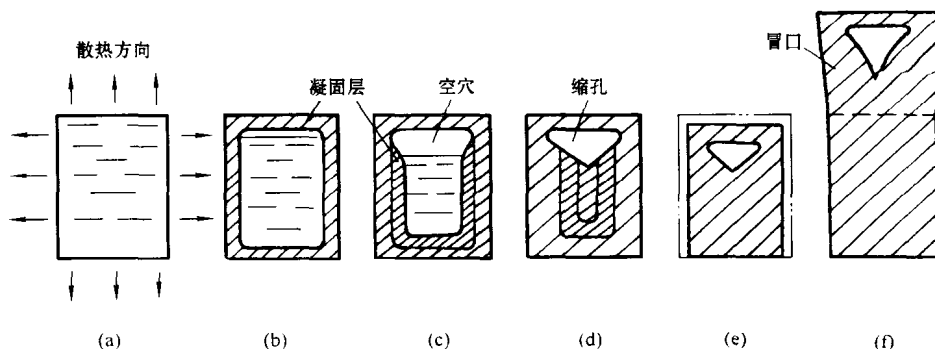


图 1—6 缩孔形成过程示意图

图 1—6(a),合金液充满型腔,降温时发生液态收缩,可从浇注系统得到补偿

图 1—6(b),当铸件表面散热条件相同时,表面层先凝固结壳,此时内浇口被冻结。

图 1—6(c),继续冷却时,内部液体发生液态和凝固收缩,使液面下降。同时外壳进行固态收缩,使铸件外形尺寸缩小。如果两者的减小量相等,则凝固外壳仍和内部液体紧密接触。但由于液态收缩和凝固收缩远超过外壳的固态收缩,因此合金液将与硬壳顶面脱离。

图 1—6(d),硬壳不断加厚,液面不断下降,当铸件全部凝固后,在上部形成一个倒锥形缩孔。

图 1—6(e),继续降温至室温,整个铸件发生固态收缩,缩孔的绝对体积略有减小,但相对体积不变。

图 1—6(f),如果在铸件顶部设置冒口,缩孔将移至冒口中。

由上可知,缩孔产生的基本原因是合金的液态收缩和凝固收缩值大于固态收缩值,且得不到补偿。缩孔产生的部位在铸件最后凝固区域,如壁的上部或中心处。此外,铸件两壁相交处

因金属积聚凝固较晚,也易产生缩孔,此处称为热节。热节位置可用画内接圆方法确定,见图1—7。铸件上壁厚较大及内浇口附近的地方也是热节。

(2)缩松的形成

形成缩松的基本原因也是合金的液态收缩和凝固收缩大于固态收缩。但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—8为缩松形成过程示意图。图中(a)为合金液充满型腔,并向四处散热。(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。(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。(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洞。(f)为固态收缩。

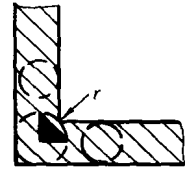


图1—7 用内接圆法确定缩孔位置

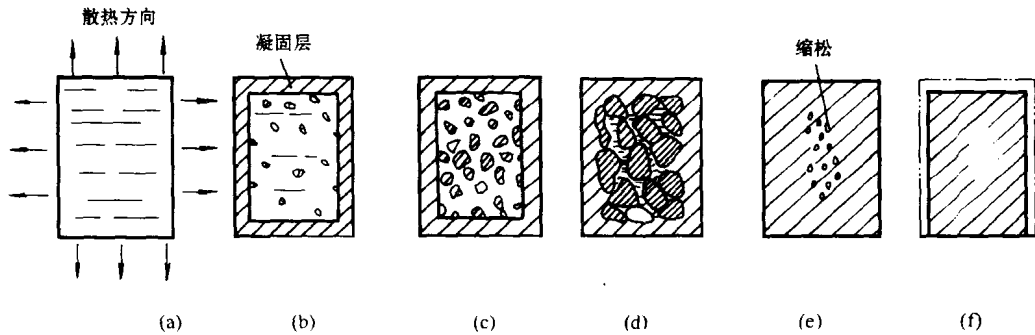


图1—8 缩松形成过程示意图

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

(3)影响缩孔、缩松形成的因素

①合金的成分

结晶温度范围越小的合金,产生缩孔的倾向越大;结晶温度范围越大的合金,产生缩松的倾向就越大。由此可知,缩孔、缩松的形成倾向与化学成分密切相关。图1—9所示为铁碳合金成分与总收缩率、形成缩孔、缩松倾向的关系。图中,纯铁、共晶铸铁容易形成缩孔。若浇冒口设置恰当,缩孔可全部转移到冒口中,而获得致密铸件。远离共晶成分的亚共晶铸铁,易形成缩松,致密性差。

②浇注条件和铸型条件

提高浇注温度时,合金的总体积收缩和缩孔倾向增大,如图1—9中虚线所示。浇注速度很慢或明冒口中不断补浇高温合金液,使铸件液态和凝固收缩及时得到补偿,铸件总体积收缩减小,缩孔容积也减小。

铸型材料对铸件冷却速度影响很大。湿型比干型的冷却能力大,使凝固区域变窄,缩松减

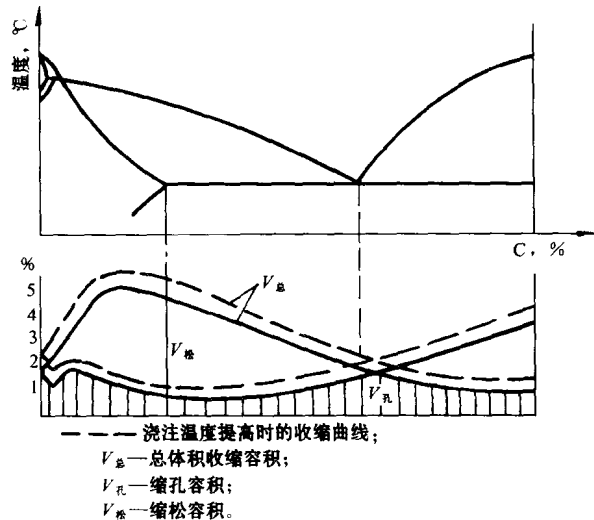


图1—9 铁碳合金成分和体积收缩的关系

少。金属型冷却能力更大,故缩松更显著减少。

③铸件结构

铸件结构与形成缩孔、缩松的关系极大,设计时必须予以充分注意。了解影响缩孔、缩松的因素后,就可以正确选择合金成分和采取相应措施防止和消除之。如对于耐高压的铸件,要求质地致密,最好选在共晶成分附近。但是,实际上合金成分、铸型、铸件结构往往都是确定的,这就需要采取合理的工艺措施防止缩孔和缩松。

(4)缩孔和缩松的防止方法

①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—10 所示。这样,铸件上每一部分的收缩都能得到稍后凝固部分的合金液的补充,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。

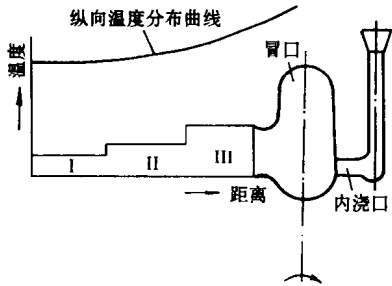


图 1—10 顺序凝固原则示意图

顺序凝固原则适用于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。冒口补缩作用好,铸件致密度高。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;冒口消耗金属多,切割费事。

②合理确定内浇道位置及浇注工艺

内浇道的引入位置对铸件各部分的温度分布有明显影响,应按照顺序凝固原则确定。例如,内浇道应从铸件厚实处引入,尽可能靠近冒口或由冒口引入。

浇注温度和浇注速度都对铸件收缩有影响,应根据铸件结构、浇注系统类型确定。浇注速度愈慢时,合金液流经铸型时间愈长,远离浇口处的液体温度愈低,靠近浇口处温度较高,有利于顺序凝固,慢浇也有利于补缩、消除缩孔。

③合理应用冒口、冷铁和补贴等工艺措施

a. 冒口。在铸件厚壁处和热节部位设置冒口,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。冒口的形状多采用圆柱形,因其散热表面积较小,补缩效果好,取模方便。

冒口的种类很多,应用最多的为顶冒口和侧冒口(见图 1—11)。位于铸件顶面的冒口称顶冒口,可以在重力作用下进行补缩,补缩能力较强。当铸件需补缩的热节不在铸型最高处,而在侧面甚至在下半型,通常采用侧冒口。

灰铸铁件的冒口有效补缩距离(干型时)(图 1—12) $L = (6 \sim 10)D$,共晶成分取上限,碳、硅含量低时取下限。

b. 冷铁。用铸铁、钢和铜等金属材料制成的激冷物称冷铁。放入铸型内,用以加大铸件某一部分的冷却速度,调节铸件的凝固顺序。与冒口相配合,可扩大冒口的有效补缩距离(见图 1—12)。

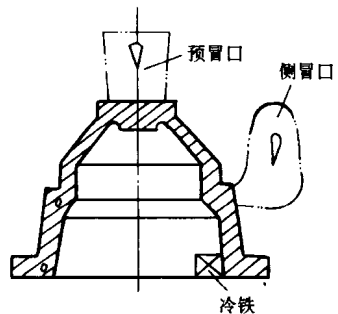


图 1—11 冒口和冷铁

c. 补贴。对于板件和壁厚均匀的薄壁件,只用增加冒口直径和高度的办法来增加冒口的

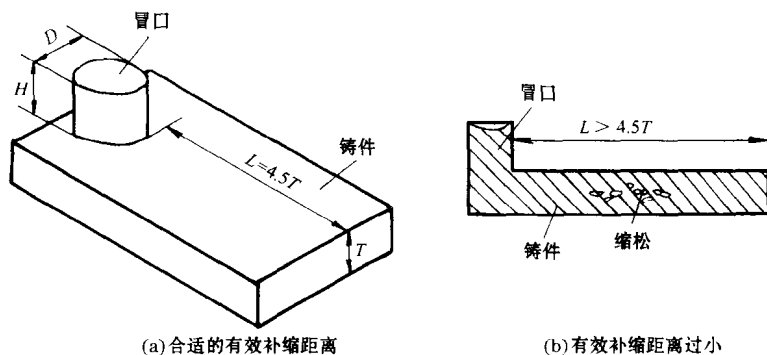


图 1—12 铸钢平板冒口的有效补缩距离

有效补缩距离,效果往往不显著,其内部仍然产生缩孔和缩松(图 1—13a)。若在铸件壁上靠近冒口处增加一个楔形厚度,使铸件壁厚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,这样可以大大增加冒口的有效补缩距离,消除缩孔。所增加的楔形部分,称为补贴(图 1—13b)。

冒口、补贴和冷铁的综合运用是消除缩孔、缩松的有效措施。图 1—14 是铸钢主缸体的铸造工艺图。

3. 铸造应力

铸件的固态收缩受到阻碍而引起的内应力,称铸造应力。阻碍按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热阻碍;铸型、型芯对铸件收缩的阻碍,称机械阻碍。由热阻碍引起的应力称热应力,由机械阻碍引起的应力称机械应力(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;也可能是长期存在的,称残留应力。

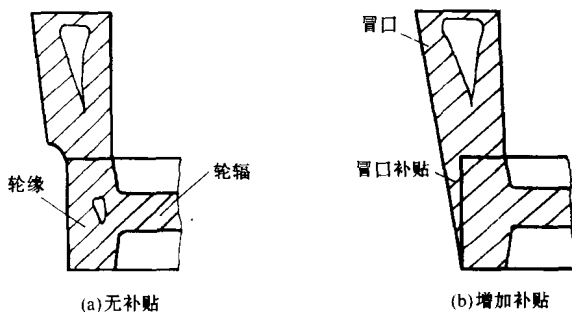


图 1—13 铸钢轮缘加冒口补贴

(1) 热应力

热应力是由于铸件壁厚不均,各部分收缩受到热阻碍而引起的。落砂后热应力仍存在于铸件内,是一种残留铸造应力。

现以框形铸件为例,说明残留热应力的形成过程。图 1—15(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—15(a)所示。由于 I 杆厚 II 杆薄,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,而弹性变形受阻会引起内应力。

热应力形成过程可根据图 1—15 分三个阶段说明。

热应力形成过程可根据图 1—15 分三个阶段说明。

第一阶段($\tau_0 \sim \tau_1$): I、II 两杆都处于塑性状态。由图 1—15(a)知,冷却时 I 杆温度差($t_H - t_1$)小于 II 杆的温度差($t_H - t_{II}$),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—15(c)中虚线所示。但由于两杆联在一起,彼此受阻碍,只能缩到同一长度 l_1 , l_1 比 I 杆短、比 II 杆长。因此, I 杆被压缩一点, II 杆被拉长一点。因为都是塑性变形,铸件内无应力产生。

第二阶段($\tau_1 \sim \tau_2$): I 杆上于塑性状态, 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要困难得多,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—15(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 型都处于弹性状态。因 I 杆的温度差($t_1 - t_0$)大于 II 杆的温度差($t_2 - t_0$),故 I 杆的自由收缩量大于 II 杆,两杆收缩后的长度如图 1—15(e)中虚线所示。但由于两杆联在一起,彼此受限制,所以只能收缩到同一长度 l_3 , l_3 比 I 杆长比 II 杆短。于是 I 杆被拉长一点, II 杆被压缩一点。因为弹性变形,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)。这就构成铸件的残留热应力。由此可知,热应力是由于尺寸差别较大的两杆的自由收缩受到阻碍而引起的。

残留热应力和合金的弹性模量 E 、线收缩系数 α_1 、铸件各部分壁厚差别及温度差成正比。铸钢的 E 、 α_1 值比灰铸铁大,故铸钢件的热应力比灰铸铁件为大。壁厚差别大及按顺序凝固原则凝固的铸件易形成热应力。

(2) 机械应力(收缩应力)

铸件冷却到弹性状态后,因收缩受到铸型、型芯和浇、冒口等的机械阻碍而产生的应力,称机械应力。如图 1—16 所示套筒筒身及内孔在固态收缩中,受春制过紧的砂型凸出部分及型芯的障碍,产生拉应力。

机械应力一般都是拉应力。由于它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、冒口后,应力也随之消失。因此,机械应力是一种临时应力。但是如果临时拉应力和残留热应力同时作用,在某瞬间超过铸件的强度极限时,铸件将产生裂纹。铸件在有应力的情况下,如受到落砂、清理或运输中的碰撞或加热过快时,也会引起裂纹,冬季尤易发生。对这类铸件操作要特别注意。

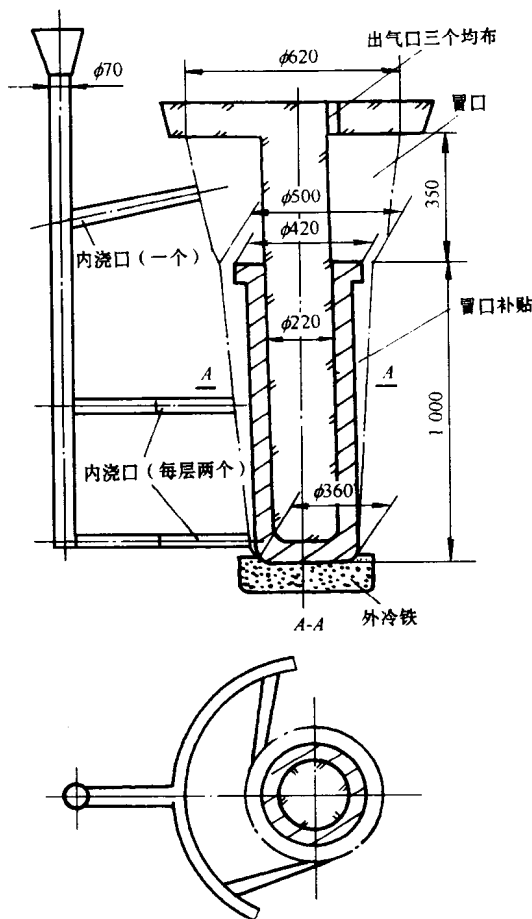


图 1—14 铸钢主缸体的顺序凝固工艺