

热加工工艺基础

高等工科院校

工程材料及机械制造基础系列教材

主 编:张启芳

副主编:戈晓岚

朱欣庆



东南大学出版社

热加工工艺基础

东南大学

G306
Z82

76306

6.22

高等工科院校
工程材料及机械制造基础系列教材

热加工工艺基础

主 编 张启芳

副主编 戈晓岚
朱欣庆

东南大学出版社

内 容 提 要

本书是根据国家教委高教司 1995 年 82 号通知颁发的《工程材料及机械制造基础教学基本要求》而编写的。

全书共六章,内容主要有铸造、锻压、焊接、粉末冶金、非金属材料成型、毛坯选择等。每章附有适量的复习思考题。

本书简明扼要,并尽可能与工程材料课程结合讲述各种毛坯的成形方法;强化了工艺设计,以培养分析问题和解决问题的能力;介绍了当前的新工艺、新技术、新进展;对于名词术语、工艺资料等,均采用最新国家标准。

本书是高等工科院校机械工程类专业的基本教材,也可供高等工科院校近机类专业、高等工业专科学校、职业大学、职工大学、电视大学师生及有关工程技术人员参考。

加工艺基础

张碧芳 主编

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

江苏省新华书店经销 南京航空航天大学飞达印刷厂印刷

*

开本 787 × 1092 毫米 1/16 印张 12.75 字数 318 千

1996 年 12 月第 1 版 1996 年 12 月第 1 次印刷

印数:1—7000 册

ISBN 7—81050—196—8/TH·14

定价:12.00 元

(凡因印刷质量问题,可直接向承印厂调换)

工程材料及机械制造基础系列教材

编写委员会

主任委员：邱坤荣

副主任委员：王笑天 骆志斌 张恩生

委员：邱坤荣 王笑天 骆志斌 张恩生
黄英萍 贺锡生 王特典 张启芳
王辰宝 陆文周 程伟炯 李玉琴
吴 绯 张介岷

前 言

本书是根据国家教委高教司[1995]82号通知颁布的高等学校工科本科《工程材料及机械制造基础教学基本要求》，结合高等学校工科教学的实际，由江苏省高校金属工艺教学研究会组织编写的系列教材之四。

编写时本着“加强基础，注重工艺，强化能力培养”的精神，在以下几个方面作了一些探索：尽可能与工程材料课程结合起来讲述各种毛坯的成形方法，并增添了粉末冶金和非金属材料成型两部分内容；强化工艺设计，着力培养分析和解决实际问题的能力；介绍当前的新工艺、新技术、新进展；名词术语、工艺资料等均采用最新国家标准。因此，在内容的选择和编排上有一定的新意。

本书由张启芳任主编，戈晓岚、朱欣庆任副主编。参加编写的人员还有：李玉琴、何红媛、姜左、章炳芳、黄明宇。主审王特典。

骆志斌、吴绯、张介岷、蒋乃兴、朱玉义等为本教材的出版做了大量的工作，在此深表谢意。

限于编者的水平，错误和不妥之处难免，恳请读者批评指正。

编 者

1996年10月

目 录

绪 论	1	§ 2-2 锻压方法	71
第一章 铸造	3	一、锻造	71
概述	3	二、冲压	76
§ 1-1 铸造基础	3	三、其它金属压力加工方法	83
一、合金的铸造性能	3	四、锻压方法的比较	86
二、常用合金铸件的熔铸特点	12	§ 2-3 锻造工艺设计	88
§ 1-2 铸造方法	15	一、自由锻工艺规程的制订	88
一、砂型铸造	15	二、模锻工艺规程的制订	93
二、熔模铸造	18	§ 2-4 锻压件结构工艺性	97
三、壳型铸造	20	一、锻压方法对结构工艺性的要求	97
四、压力铸造	21	二、锻造性对结构工艺性的要求	100
五、低压铸造	22	§ 2-5 锻压技术新进展	101
六、挤压铸造	24	一、实现少无切削加工	101
七、离心铸造	25	二、高能高速成形	102
八、其它特种铸造方法	26	三、超塑性研究和应用	105
九、铸造方法的合理选择	28	四、摆动辗压	105
§ 1-3 铸造工艺设计	30	五、CAD 和 CAM 的研究和应用	106
一、浇注位置和分型面的选择	30	复习思考题	107
二、工艺参数的确定	34	第三章 焊接	110
三、冒口与冷铁的应用	39	概述	110
四、铸造工艺简图的绘制	41	§ 3-1 焊接基础	111
§ 1-4 铸件结构工艺性	46	一、熔焊工艺基础	111
一、铸造工艺对铸件结构的要求	46	二、压焊和钎焊工艺基础	118
二、合金铸造性能对铸件结构的要求	48	三、金属的焊接性	119
三、铸造方法对铸件结构的要求	53	§ 3-2 焊接方法	121
四、组合铸件的应用	54	一、熔焊	121
§ 1-5 铸造技术新进展	55	二、压焊	130
一、造型技术的发展	55	三、钎焊	135
二、凝固理论研究对铸造技术的推动	56	四、常用金属材料的焊接方法	137
三、铸件的轻量化和优质化	58	五、焊接检验方法	139
四、铸造金属基复合材料的研究	58	§ 3-3 焊接工艺设计	141
五、计算机在铸造中的应用	59	一、焊接结构件材料的选择和焊接方法 的选用	141
复习思考题	59	二、焊缝布置	144
第二章 锻压	66	三、焊接接头形式和焊接坡口形式	146
概述	66	四、焊接结构工艺设计举例	148
§ 2-1 锻造基础	66	§ 3-4 焊接件结构工艺性	150
一、合金的锻造性及其影响因素	66	一、可焊到性	150
二、常用合金的锻造性	69	二、预防焊接变形与应力	151

三、其它.....	151	一、工程塑料成型技术.....	186
§ 3-5 焊接技术新进展	152	二、陶瓷材料成型技术.....	186
一、能源方面.....	152	三、复合材料成型技术.....	187
二、计算机在焊接上的应用.....	153	复习思考题	187
三、焊接机器人和智能化.....	153	第六章 毛坯选择	188
四、提高焊接生产率.....	154	概述	188
五、新兴工业促进了焊接技术发展.....	154	§ 6-1 各类毛坯的特点	189
复习思考题	154	一、铸件.....	189
第四章 粉末冶金	158	二、锻件.....	190
概述	158	三、冲压件和挤压件.....	191
§ 4-1 粉末冶金基础	158	四、焊接件.....	191
一、粉末的压实.....	158	五、型材.....	192
二、烧结原理.....	159	六、粉末冶金件.....	192
§ 4-2 粉末冶金的主要工序	160	七、工程塑料件.....	192
一、粉末的制备.....	160	§ 6-2 毛坯选择的原则	193
二、筛分与混合.....	160	一、保证使用要求.....	193
三、压制.....	160	二、满足经济性.....	193
四、烧结.....	161	三、考虑实际生产条件.....	193
五、后处理.....	161	§ 6-3 常用机械零件的毛坯选择	194
§ 4-3 粉末冶金零件的制造工艺特点	162	一、轴类零件.....	194
一、含油轴承.....	162	二、套类零件.....	194
二、粉末冶金锻造齿轮.....	162	三、轮盘类零件.....	194
§ 4-4 粉末冶金制品的结构工艺性	162	四、箱座类零件.....	195
§ 4-5 粉末冶金的新进展	165	五、毛坯选择举例.....	196
一、自蔓延高温合成(SHS).....	165	复习思考题	197
二、粉末制备.....	165	参考文献.....	198
三、成形.....	166		
四、烧结及热致密化.....	167		
复习思考题	167		
第五章 非金属材料的成型	168		
§ 5-1 高分子材料的成型	168		
一、工程塑料的成型.....	168		
二、橡胶制品的成型.....	179		
三、胶粘剂的胶接工艺.....	180		
§ 5-2 工业陶瓷制品的成型	182		
一、工业陶瓷制品的成型基础.....	182		
二、工业陶瓷制品的成型方法.....	182		
§ 5-3 复合材料的成型	184		
一、复合材料的成型基础.....	184		
二、复合材料的成型方法.....	184		
§ 5-4 非金属材料成型技术的新进展	186		

绪 论

在工业生产中,机械产品的制造过程,往往是先将工程材料制成零件的毛坯(或半成品),再经切削加工制成所需的零件。有时为了改善零件的性能,常进行热处理。最后将零件装配成机械。

铸造、锻压、焊接、粉末冶金、非金属材料成型等加工方法为制造机械零件提供了毛坯,甚至可以提供直接装配的零件。因此,这些方法是各类机械制造工厂中重要的生产环节。一个合格的工程技术人员,掌握一定的热加工工艺和毛坯生产知识,对今后的工作是非常必要的。

热加工工艺是在实践中发展起来的一门学科。我国的热加工工艺发展史,可远溯至史前。

我国是世界上应用铸造技术最早的国家。1939年在河南安阳出土的青铜祭器司母戊大方鼎,便是3000多年前的商朝冶铸的。这个大方鼎重达875kg,体积庞大,花纹精巧。在陕西临潼秦始皇陵出土的大型彩绘铜车马,八匹马造型逼真,两乘车装饰华丽,反映了2000多年前秦朝精湛的冶铸技术。在公元前六七世纪的春秋时期,我国已开始用铸铁作农具,这比欧洲国家早1800多年。

我国也是世界上应用锻造技术较早的国家。在河北藁城出土的商朝铁刃铜钺,它是我国发现的最早锻件,证明3000年前我国就掌握了锻造和锻接技术。到了2500年前的春秋时期,锻造和热处理技术已普遍应用于制剑中。

我国还是世界上应用焊接技术最早的国家之一。在河南辉县战国墓中,殉葬铜器的耳和足是用钎焊方法与本体连接的,这比欧洲国家应用钎焊技术早了2000多年。

宋朝科学家沈括编著的《梦溪笔谈》一书中,就记载了有关焊接的方法。明朝科学家宋应星编著的《天工开物》一书中,就记载了冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等各种金属的加工方法,它是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一,这充分反映了我国劳动人民在金属加工工艺方面的卓越成就。

以上史实证明,我国古代在金属材料及其加工工艺方面的科学技术远远超过同时代的欧洲,在当时的世界上占有遥遥领先的地位,对世界文明和人类进步作出了巨大的贡献。但是,由于封建制度的长期统治和闭关自守,严重地阻碍了我国生产力的发展,特别是鸦片战争以来外国的侵略和剥削,使我国工业和科学技术在解放前处于落后状态。

中华人民共和国成立后,我国工农业生产和金属热加工技术才得到迅速发展,建立了机械制造、矿山冶金、交通运输、石油化工、电子仪表、航空航天等许多现代化工业,为国民经济进一步高速发展奠定了牢固基础。

我国现已成功地进行了耗钢水达490t的轧钢机机架铸造、锻造能力达12kt水压机的生产、50kt远洋油轮的焊接,CAD/CAM在毛坯制造中得到了很快发展,粉末冶金制品和非金属材料制品也得到了广泛应用。1989年我国在香港建成的天坛大佛,佛像总高26.4m(包括莲花瓣在内),总重量约250t,用锡青铜制造。它是融艺术与铸造、焊接等现代科技于一身的复杂工程,得到了国内外的高度赞赏。

“热加工工艺基础”是高等学校机械类专业必修的一门综合性的技术基础课。其内容包括：铸造、锻压、焊接、粉末冶金、非金属材料成型及毛坯选择等部分。学习本课程的目的：在金工实习的基础上，进一步获得毛坯成形工艺的知识，培养工艺分析的初步能力，并为学习其它有关课程及以后从事机械设计和加工制造奠定必要的基础。课程的任务是：掌握主要毛坯成形方法的基本原理和工艺特点，具有选择毛坯及工艺分析的初步能力；具有综合运用工艺知识、分析零件结构工艺性的初步能力；了解本课程有关的新工艺、新技术及其发展趋势。

“热加工工艺基础”是一门内容广泛、技术性和实践性较强的课程。讲授时应注意教学方法，尽可能列举学生能接受的生产应用实例，辅以课堂讨论，强化实验，加深学生对课程内容的理解。学生应充分运用以前学过的知识，课后及时复习，认真完成实验和课外作业，以便将毛坯成形基础知识很好地应用于生产实际之中。

第一章 铸造

概 述

熔炼金属,制造铸型,并将熔融金属浇入铸型,凝固后获得一定形状和性能铸件的成形方法称为铸造。其实质是金属的液态成形,因而具有以下优点:

(1) 成形方便 可铸出内腔、外形很复杂的毛坯。

(2) 适应性强 几乎各种合金,各种形状、尺寸、重量和批量的铸件都能生产,如尺寸小到仅几毫米、质量仅几分之一克的拉链单个齿,尺寸大至10m以上、质量上百吨的轧钢机机架。铸件材料可用铸铁、碳钢、合金钢,也可用铜合金和铝合金等,其中铸铁材料应用最广。某些难加工材料及形状特别复杂的零件只能用铸造方法制造毛坯。

(3) 成本较低 铸造材料大都来源广泛,价格低廉,并可直接利用废机件和切屑熔炼。

液态成形也给铸造带来缺点,如铸造组织疏松、晶粒粗大,内部易产生缩孔、缩松、气孔等缺陷,因此铸件的力学性能,特别是冲击韧性,比同样材料锻件的力学性能要低。又如铸造工序多,且难以精确控制,使铸件质量不够稳定,劳动条件较差。

铸造是生产机器零件毛坯的主要方法之一。据统计,在一般机器设备中,铸件的重量占设备重量的40%~90%。在金属切削机床、重型机械、交通运输机械和国民经济的其它部门都广泛采用各种铸造毛坯。铸造方法常用来制作下列零件的毛坯:

(1) 形状复杂,特别是具有复杂内腔的零件,如箱体、缸体、壳体等;

(2) 尺寸大、质量大的零件,如重型机械零件、机床床身等;

(3) 力学性能要求不高,或主要承受压应力作用的零件,如各种底座、支架等;

(4) 特殊性能要求的零件,如球磨机中的磨球、坦克的履带等。

目前,砂型铸造仍是最主要的铸造方法。此外,还有许多特种铸造方法,如熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、挤压铸造、离心铸造、陶瓷型铸造等。它们的铸型用砂较少或不用砂,采用特殊工艺装备,可以获得表面更光洁、尺寸更精确、力学性能更高的铸件。

随着现代科学技术和生产的发展,铸造行业中新技术、新工艺、新材料、新设备的采用,正迅速地改变着铸造生产的面貌,铸件的质量和性能有了显著提高,因而铸件的应用范围日益扩大。

§ 1 - 1 铸造基础

一、合金的铸造性能

铸造性能是合金在铸造生产中所表现出来的工艺性能,它对能否获得合格铸件具有极大的影响。合金的铸造性能主要有流动性、充型能力、收缩、吸气性等。

1. 合金的流动性和充型能力

1) 流动性和充型能力的概念

流动性是熔融金属的流动能力,它是影响充型能力的主要因素之一。流动性仅与金属本身的化学成分、温度、杂质含量以及物理性质有关,其中以化学成分的影响最为显著。它是熔融金属本身固有的属性。

充型能力是考虑铸型及工艺因素影响的熔融金属流动性。也就是说,充型能力首先决定于熔融金属本身流动能力(即流动性)的影响,同时又受外界条件,如铸型性质、浇注条件、铸件结构等因素的影响。因此,充型能力是上述各种因素的综合反映。

流动性好的合金,易于充满薄而复杂的型腔。它有利于合金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合金液补充而弥合。流动性不好的合金,其充型能力差,易产生浇不到、冷隔、气孔、缩孔、缩松、热裂等缺陷。

合金液流动性的测定通常以“螺旋形试样”的长度来测量,如图 1-1-1 所示。将合金液浇入螺旋形试样铸型中,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。

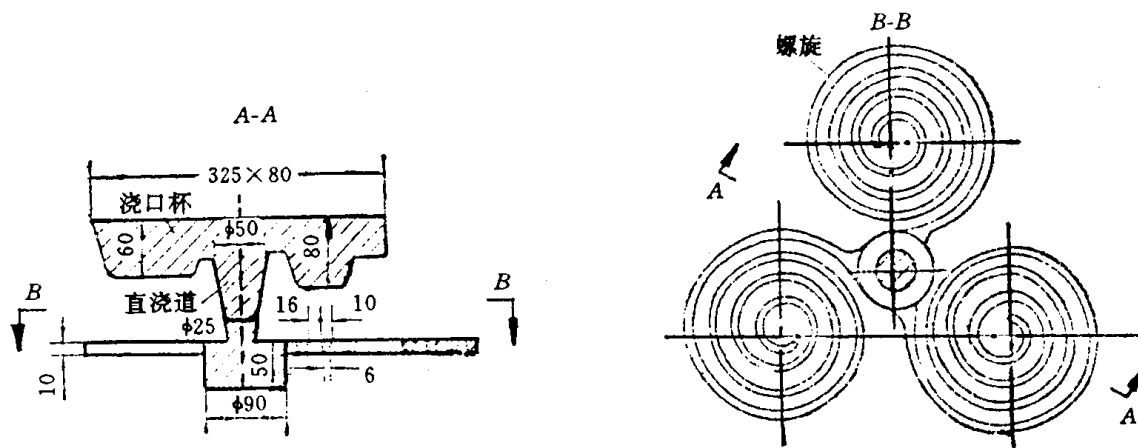


图 1-1-1 螺旋形流动性试样示意图

2) 影响充型能力的因素

(1) 流动性 不同成分的合金,由于结晶特点及粘度的不同,其流动性有很大差异。共晶成分合金的结晶是在恒温下进行的,在液态合金充填过程中,由表层向里呈逐层凝固(图 1-1-2a)。在这种情况下,已凝固的硬壳内表面比较光滑,对液态合金流动阻力小。同时,在相同的浇注温度下,共晶成分合金的凝固温度最低,相对说来,液态合金的过热度(浇注温度与合金液相线温度之差)最大,推迟了合金的凝固。因此,共晶成分合金的流动性最好。其它成分合金(纯金属除外)的结晶是在一个温度范围内进行的,即经过液、固并存的两相区。此时,结晶在铸件截面一定宽度的凝固区 S 内同时进行,呈中间凝固(图 1-1-2b)。由于初生树枝晶对液态合金流动的阻碍,使其流动性比共晶合金差。合金成分越远离共晶点,结晶温度范围越宽,其流动性越差。甚至会出现液、固并存的凝固区贯穿整个断面(图 1-1-2c),这种凝固方式称为糊状凝固。它的流动性最差。

一般说来,流动性好的合金在多数情况下充型能力都较强;流动性差的合金充型能力较差,但也可以通过改善其它条件来提高充型能力。

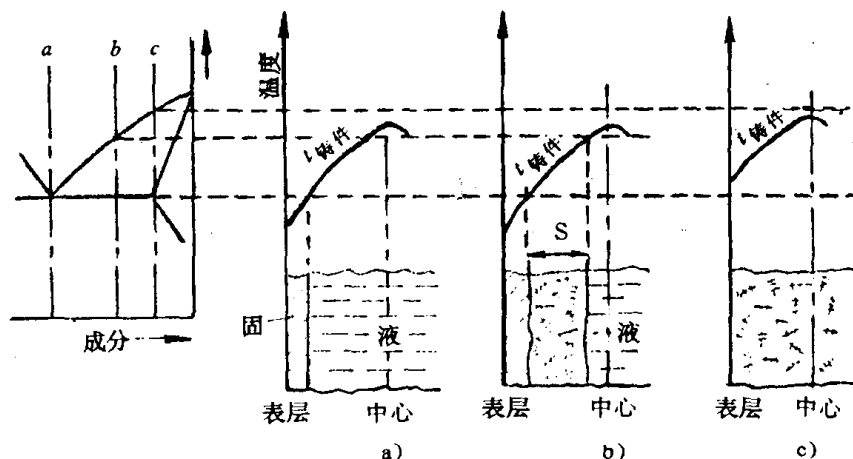


图 1-1-2 不同成分合金的结晶特点

(2) 浇注条件 充型能力与浇注条件密切相关。浇注条件包括浇注温度和充型压力等。

① 浇注温度 浇注温度对合金的充型能力有着决定性的影响。浇注温度愈高，合金的粘度愈低，且过热度又高，合金在铸型中保持流动的时间长，故充型能力好。反之，则充型能力差。

由于合金的充型能力随浇注时温度的提高呈直线上升，因此，对薄壁铸件或流动性较差的合金可适当提高浇注温度，以防浇不到和冷隔缺陷。但浇注温度过高，铸件容易产生缩孔、缩松、粘砂、气孔、粗晶等缺陷，故在保证充型能力足够的前提下，浇注温度不宜过高。通常，灰铸铁的浇注温度为 $1250 \sim 1420^{\circ}\text{C}$ ；铸钢为 $1520 \sim 1620^{\circ}\text{C}$ ；铝合金为 $680 \sim 780^{\circ}\text{C}$ 。

② 充型压力 合金液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。在压力铸造、低压铸造、挤压铸造和离心铸造时，因充型压力得到提高，所以充型能力较好。

(3) 铸型填充条件 合金液充型时，铸型的阻力将直接影响合金的流动速度，而铸型与合金间的热交换又将影响合金保持流动的时间。因此，铸型的如下因素对充型能力均有显著影响。

① 铸型的蓄热能力 铸型的蓄热能力是指铸型从合金中吸收和储存热量的能力。铸型材料的热导率和比热容愈大，铸型的蓄热能力就大，对合金液的激冷能力愈强，合金的充型能力就愈差。在金属型铸造时，铸型的蓄热能力大，易产生浇不到等缺陷。

② 铸型温度 在金属型铸造和熔模铸造时，可将铸型预热一定温度，这样减少了铸型和合金液之间的温差，减缓了冷却速度，故使充型能力得到提高。

③ 铸型中气体 在合金液的热作用下，型腔中的气体膨胀，型砂中的水分汽化，煤粉和其它有机物燃烧，将产生大量气体。如果铸型的排气能力差，则型腔中气体的压力增大，以致阻碍合金液的充型。为减小气体的压力，除应设法减少气体来源外，应使型砂具有良好的透气性，并在远离浇口的最高部位开设出气口。

(4) 铸件的结构 当铸件壁厚过小、壁厚急剧变化或有大的水平面等结构时，都使合金液充型困难。因此，设计铸件时，铸件的壁厚必须大于规定的最小允许值。有的铸件需设计

工艺孔或流动通道。在大平面上增设筋条,以有利于合金液充满型腔,并可防止夹砂结疤缺陷的产生。

2. 合金的收缩

1) 收缩的基本概念

铸件在液态、凝固态和固态的冷却过程中所发生的体积缩小现象称为收缩。合金的收缩一般用体收缩率和线收缩率来表示。当温度从 t_0 下降到 t_1 时,合金的体(线)收缩率以单位体积(长度)的相对量来表示,即

$$\text{体收缩率 } \epsilon_v = \frac{V_0 - V_1}{V_0} \times 100\% = \alpha_v(t_0 - t_1) \times 100\%$$

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

式中 V_0, V_1 ——合金在 t_0, t_1 时的体积(m^3);

l_0, l_1 ——合金在 t_0, t_1 时的长度(m);

α_v, α_l ——合金在 t_0 到 t_1 温度范围内的体收缩系数和线收缩系数($1/^\circ\text{C}$)。

合金的收缩可分三个阶段,如图 1-1-3 所示。各个阶段的收缩特性不同,对铸件的质量也有不同的影响。

(1) 液态收缩 金属在液态时由于温度降低而发生的体积收缩,称为液态收缩。此时合金处于液态,合金体积的减小,表现为型腔内合金液面的降低。液态收缩与合金液体的过热度成正变关系。例如某铸铁的液相线温度为 1250°C ,当过热度为 50°C 时,体收缩率为 0.9% ;当过热度为 150°C 时,体收缩率为 2.4% 。一般浇注温度控制在高于液相线 $50 \sim 150^\circ\text{C}$ 。

(2) 凝固收缩 熔融金属

在凝固阶段的体积收缩,称为凝固收缩。共晶成分的合金及纯金属是在恒温下结晶的,其凝固收缩较小。在一定温度范围内结晶的合金,其凝固温度范围大,故凝固收缩也大。例如,当钢的含碳量增加时,其凝固温度范围便扩大,凝固收缩也增大。实验测得,钢的含碳量为 0.35% 时,体收缩率为 3.0% ;含碳量为 0.45% 时,体收缩率为 4.3% 。

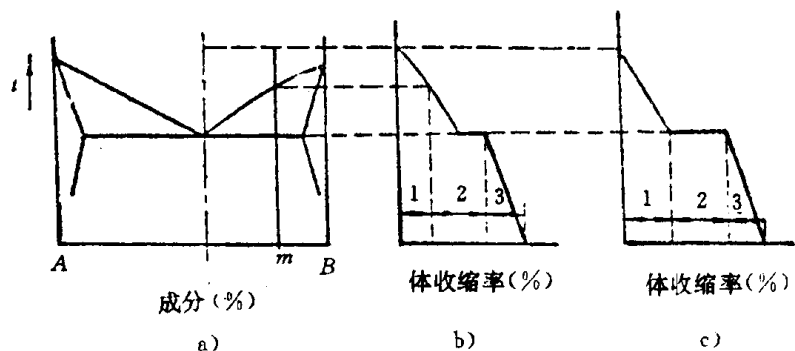
液态收缩和凝固收缩使液体合金体积减小,是缩孔或缩松形成的主要原因。

(3) 固态收缩 金属在固态由于温度降低而发生的体积收缩,称为固态收缩。它直接表现为铸件的外形尺寸减小,故一般用线收缩率来表示。合金的固态体收缩率($\epsilon_{v\text{固}}$)与线收缩率(ϵ_l)之间存在着一定的关系,即

$$\epsilon_{v\text{固}} = 3\epsilon_l$$

如果灰铸铁的固态体收缩率为 3% ,那末,其线收缩率为 1% 。

固态收缩时对铸件形状和尺寸精度影响较大,是产生铸造应力、变形和裂纹等缺陷的主



a) 合金相图 b) 具有结晶温度范围的 $m\%$ 成分合金的收缩过程
c) 纯金属和共晶成分合金的收缩过程
1 液态收缩; 2 凝固收缩; 3 固态收缩

图 1-1-3 铸造合金收缩过程示意图

要原因。

合金的总体积收缩为上述三个阶段收缩之和。它与合金本身的成分、温度和相变有关。不同合金的收缩率是不同的,表 1-1-1 给出了几种铁碳合金的体收缩率。

综上所述,浇注温度越高,合金的液态收缩越大,则总体收缩率增加;此外,合金在铸型中的固态收缩大多不是自由收缩,而是受阻收缩,这些阻力来源于铸件各部分收缩时受到的相互制约以及铸型和芯子对铸件收缩的阻碍。因此,铸件的实际线收缩率比合金的自由线收缩率要小。

表 1-1-1 几种铁碳合金的体收缩率

合金种类	含碳量(%)	浇注温度(°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	7.86	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

2) 缩孔与缩松

缩孔是指铸件在凝固过程中,由于补缩不良而产生的孔洞。形状极不规则、孔壁粗糙并带有枝晶,常出现在铸件最后凝固的部位。

缩松是指铸件断面上出现的分散而细小的缩孔,有时借助放大镜才能发现。铸件有缩松缺陷的部位,在气密性试验时可能渗漏。

缩孔和缩松可使铸件力学性能、气密性和物理化学性能大大降低,以致成为废品,因此,必须采用适当的措施,予以防止。

(1) 缩孔的形成 合金在恒温或很窄的温度范围内结晶,铸件由表及里逐层凝固,如图 1-1-4 所示。当液态合金浇满铸型型腔(图中 a)后,由于铸型的吸热,靠近型壁表面的合金液很快凝结成一层外壳,而内部仍然是高于凝固温度的液体(图中 b)。温度继续下降,外壳加厚,但内部液体因液态收缩和补充凝固层的凝固收缩,使体积缩减和液面下降,铸件内部出现了空隙(图中 c)。直到内部完全凝固,在铸件上部形成了缩孔(图中 d)。已经产生缩孔的铸件继续冷却到室温时,因固态收缩使铸件的外廓尺寸及缩孔的容积略有缩小(图中 e)。

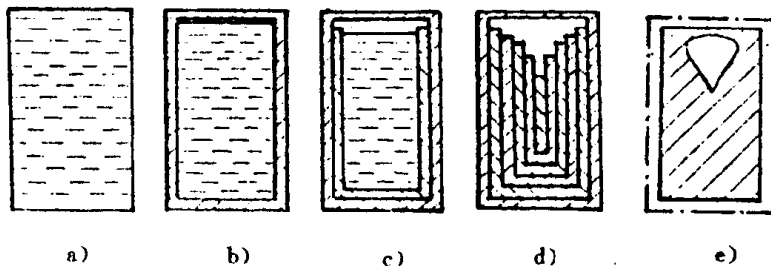


图 1-1-4 缩孔形成过程示意图

如果铸件顶部合理设置冒口,缩孔将移至冒口中。

综上所述,缩孔的形成,是由于合金的液态收缩和凝固收缩未能得到外来金属液补足所致。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,因合金积聚凝固较晚,易产生热节。热节是指在凝固过程中,铸型内局部金属的温度较周围温度高,因而凝固慢的节点或区域。热节位置可用内接圆法确定,见图 1-1-5 所示。

(2) 缩松的形成 缩松主要出现在呈糊状凝固的合金或断面较大的铸件壁中。这是由于铸件最后凝固区域的收缩没能得到补充,或因合金呈糊状凝固,被树枝状晶分割开的小液体区难以得到补缩所致。

不同铸造合金的缩孔和缩松倾向不同。逐层凝固合金(纯金属、共晶合金或窄结晶温度

范围合金)的缩孔倾向大、缩松倾向小;反之,糊状凝固的合金缩孔倾向虽小,但极易产生缩松。提高冷却速度,可使图1-1-2所示的凝固区 S 减少,促进缩松向缩孔转化,从而使缩松减小。

(3) 防止缩孔和缩松的措施

① 实现“定向凝固”,用冒口补缩

这是防止缩孔和缩松的良好方法,常用于结晶温度范围较小的合金。定向凝固是使铸件按规定方向从一部分到另一部分逐渐凝固的过程。经常是向着冒口方向凝固。这就是建立以冒口为凝固终点的由远及近的铸件凝固工艺。

② 加压补缩 此法是将铸型置于压力室中,浇注后,迅速关闭压力室,使铸件在压力下凝固,可以消除缩松或缩孔。

③ 用热等静压法消除内部缺陷 热等静压法的基本原理是:在高温、高压下,通过惰性气体介质(如氩气)把压力从各个方向等压地传递到铸件表面上,金属经蠕变—扩散结合的过程,使内部空隙(缺陷)闭合而消失。常用于重要铸件。

热等静压法的主要工艺参数是温度、压力和时间。铸件热等静压参数实例见表1-1-2。

表 1-1-2 铸件热等静压参数实例

合金类别	温度(°C)	时间(h)	压力(MPa)
不锈钢铸件	1066 ~ 1204	2 ~ 4	100
钴、镍基合金铸件	1149 ~ 1232	2 ~ 4	100
钛合金铸件	816 ~ 954	2 ~ 4	100

④ 用浸渗技术防止铸件因缩孔、缩松而发生渗漏 浸渗技术是解决铸件渗漏的新技术,它是将呈胶状的浸渗剂渗入铸件的孔隙,然后使浸渗剂硬化并与铸件孔隙内壁联成一体,从而达到堵漏的目的。目前浸渗效果较佳的有以下三种类型浸渗剂:水玻璃型、合成树脂型、厌氧型。

3) 铸造应力、变形和裂纹

铸件凝固后的固态收缩受到阻碍,而在铸件内产生的应力,称为铸造应力。铸造应力可能是暂时的,当产生这种应力的原因被消除后,应力便随之消失,这种应力称为临时应力;如原因消除以后,应力依然存在,这种应力称为残留应力。铸造应力是铸件产生变形和裂纹的基本原因。

(1) 铸造应力 铸造应力按产生原因的不同,可分为热应力、收缩应力等。

① 热应力 热应力是指铸件在凝固和冷却过程中,不同部位由于不均衡的收缩而引起的应力。它是由于铸件壁厚不均,各部分收缩不一致而引起。落砂后热应力仍存在于铸件内,这是一种残留应力。

现以框形铸件为例,说明热应力的形成过程,如图1-1-6中所示。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。

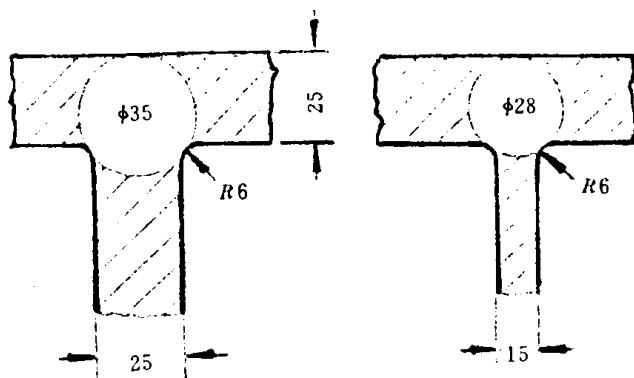
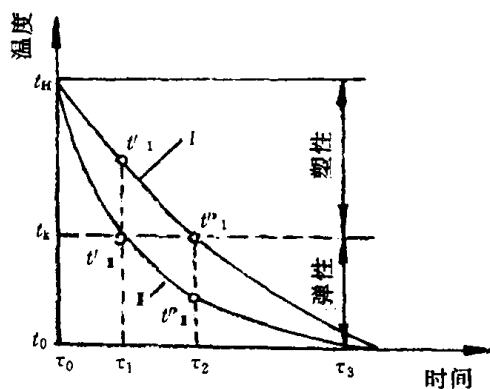


图 1-1-5 用内接圆法确定缩孔位置



a) I、II 两杆固态冷却曲线

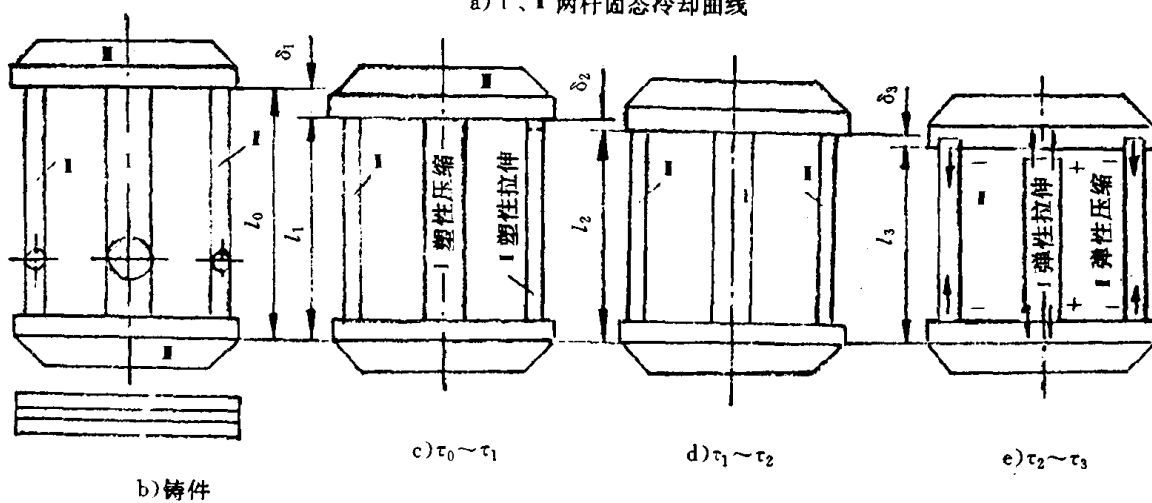


图 1-1-6 框形铸件热应力形成过程

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 1-1-6 中 a) 所示。 t_K 为临界温度,在此温度以上合金处于塑性状态,在此温度以下合金处于弹性状态。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 1-1-6 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 1-1-6 中 a) 可知,冷却时 I 杆温度差($t_H \sim t'_1$)小于 II 杆的温度差($t_H \sim t'_1$),若两杆能自由收缩,则 I 杆收缩量小于 II 杆。两杆收缩后的长度分别如图 1-1-6 中 c) 的虚线所示。但由于两杆联在一起,相互制约,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要困难得多,所以整个铸件的收缩由 II 杆确定,长度缩短到 l_2 ,如图 1-1-6 中 d) 所示。I 杆随之收缩,虽收缩仍受限制,因为塑性变形,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($t''_1 \sim t_0$)大于 II 杆的温度差($t''_1 \sim t_0$),故 I 杆的自由收缩量大于 II 杆。两杆收缩后的长度分别如图 1-1-6 中 e) 的虚线所示。但由于两杆联在一起,彼此受制约,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热应力。

热应力和合金的弹性模量 E 、线收缩系数 α_L 、铸件各部分壁厚差及温度差成正比。铸钢

的 E 、 α_L 值比灰铸铁大,故铸钢件的热应力比灰铸铁件大。壁厚差别大及按定向凝固原则凝固的铸件易形成热应力。

② 收缩应力 收缩应力是指铸件在固态收缩时,因受到铸型、芯子、浇冒口等外力的阻碍而产生的应力。受砂型和砂芯机械阻碍产生收缩应力的铸件,如图 1-1-7 所示。图中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及砂芯的阻碍,产生拉应力。

收缩应力一般都为拉应力。因为它是在铸件处于弹性状态时产生的,而当形成应力原因消失后,如落砂、打断浇冒口后,应力也随之消失。由此可见,收缩应力是一种临时应力。但是如果收缩应力和热应力同时作用在某瞬间而超过铸件的抗拉强度时,铸件将产生裂纹。

铸造应力对铸件质量危害很大。它使铸件的精度和使用寿命大大降低。在存放、加工甚至使用过程中铸件内的残留应力将重新分布,可能使铸件产生变形或裂纹。铸造应力还能降低铸件的耐腐蚀性。因此必须尽量减小和消除之。

③ 减小和消除铸造应力的措施

a. 使铸件的凝固过程符合同时凝固原则。同时凝固原则,就是从工艺上采取必要的措施,使铸件各部分的冷却速度尽量相等,以达到铸件各部分几乎同时进行凝固。图 1-1-8 所示为同时凝固原则示意图。实现同时凝固的工艺措施:

a) 对于中大型薄壁铸件应使用多而小的内浇道分散地均匀引入金属液。对一般铸件,内浇道开在薄壁处。

b) 在铸件过薄的壁缘处开溢流冒口或溢流槽,以减缓此处的降温速度,使金相组织和其它部位一致。

c) 在易形成细小缩孔及缩松部位,如壁的交叉处等,造型时按放冷铁或高蓄热系数的型砂等。

由于同时凝固使铸件各部分温差很小,因而铸件的铸造应力也较小。此法不用冒口,工艺简单,节省金属。但同时凝固往往使铸件中心区域出现缩松,影响铸件致密性。因此,同时凝固原则主要用于收缩较小的普通灰铸铁;结晶范围大、不易实现冒口补缩、对气密性要求不高的合金,如锡青铜铸件等;壁厚均匀的薄壁铸件(冷却速度快,冒口补缩效果差),如铸钢件等。

b. 在造型工艺上,改善铸型、芯子的退让性,合理设置浇冒口等。

c. 铸件结构上,尽量使铸件各部分能自由收缩。如壁厚均匀、壁和壁之间联结均匀、热节小而分散的结构,可减小铸造应力。

d. 去应力退火。将铸件加热到塑性状态,对灰铸铁中、小件为 $550 \sim 660^\circ\text{C}$,保温 $3 \sim 6\text{h}$

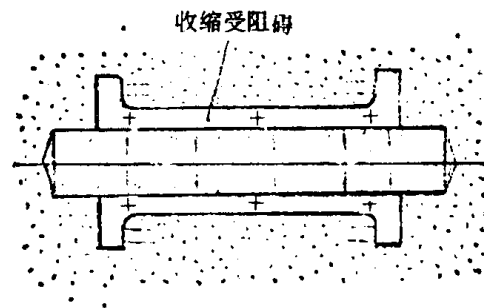


图 1-1-7 受砂型和砂芯机械阻碍的铸件

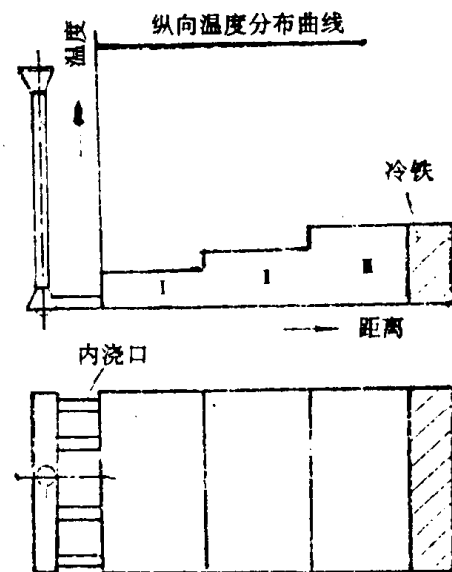


图 1-1-8 同时凝固原则示意图