

高等学校工程专科教材

热加工工艺基础

(金属工艺学II)

· 机械类专业适用 ·

司乃钧 许德珠 主编

高等教育出版社



高等学校工程专科教材

热加工工艺基础

(金属工艺学Ⅱ)

·机械类专业适用·

司乃钧 许德珠 主编

高等教育出版社

(京)112号

内容简介

本书是根据1991年国家教委审定批准的《高等学校工程专科金属工艺学教学基本要求》(机械类专业适用)“热加工工艺基础”部分编写的,是与《金工实习》(金禧德主编)、《机械工程材料(金属工艺学 I)》(许德珠主编)、《机械加工工艺基础(金属工艺学 II)》(司乃钧主编)配套使用的教材。

本书共有:铸造生产、锻压生产、焊接生产和机械零件毛坯的选择等四章。

本书内容力求少而精,侧重于应用技术(工艺和实践),强调应用性、针对性和理论联系实际,注意了与实习教材的分工和配合,并将实验列入有关章节。各章后面附有结合生产实际的习题。

本书经国家教委“高等学校工程专科金属工艺学课程教材编审组”组织审稿通过,并推荐作为高等学校工程专科机械类专业的教材。本书也可供电大、职大、业大和函大选用及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

热加工工艺基础:金属工艺学 II/司乃钧,许德珠主编. —北京:高等教育出版社,1991.10(1998重印)
高等学校工程专科教材 机械类专业适用
ISBN 7-04-003496-4

I.热… II.①司… ②许… III.金属加工-高等学校-教材 IV.TG

中国版本图书馆CIP数据核字(97)第16885号

*

高等教育出版社出版
新华书店总店北京发行所发行
河北省香河县印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 11.25 字数 260 000

1991年10月第1版 1998年9月第8次印刷

印数 45 739—51 748

定价:9.60元

前 言

本书是根据国家教委1991年审定批准的《高等学校工程专科金属工艺学课程教学基本要求》(机械类专业适用)“热加工工艺基础”部分编写的。可作为高等学校工程专科机械类各专业的教材,也可供电大、业大、函大、职大等校选作教学用书及有关工程技术人员参考书。

本书内容包括:铸造生产、锻压生产、焊接生产和机械零件毛坯的选择。使用本书时,可结合各校和各专业的特点,进行必要的调整或增删,有的内容可供学生自学。教材中带“*”号的内容,按《基本要求》属于加深加宽部分,可作为学生扩大知识面用。

本书为适合高等学校工程专科的教学需要,编写时做了如下工作:

1. 紧密配合我国高等学校工程专科培养目标,侧重于应用理论和应用技术(工艺、实践),强调学生的实践训练,强调理论联系实际。

2. 为利于学生综合运用、归纳知识和培养能力,以及对技术经济观点的培养,本教材适当增加了技术课题的经济分析。此外,还增加了框图、简图、原理图、图表,力求作到使教材清晰、形象,易于自学。注意了教材内容的针对性和实用性。

3. 认真贯彻和使用法定计量单位。书中插图、技术条件、技术用语、材料牌号均采用最新国家标准。

4. 本课程是在金工热加工实习和机械工程材料课程的基础上讲授的。编写时注意了与高等教育出版社出版的,由金禧德主编、王志海副主编编写的《金工实习》和许德珠主编的《机械工程材料(金属工艺学I)》的密切配合,力求作到合理分工与紧密衔接,避免脱节,及不必要的简单重复。有关工种操作过程、基本工序、设备与工具等在本书中一般不再介绍。

5. 每章后面均有一定数量与深度结合生产实际的习题,用以巩固所学知识,培养学生分析和解决实际问题的能力。

6. 实验是重要的教学环节,为与讲课内容紧密配合,将其列入教材的有关章节中。

本书由哈尔滨机电专科学校司乃钧副教授(绪论、第一、二章)、许德珠副教授(第三章、附录)、西南交通大学成都分部张根先讲师(第四章)共同编写,司乃钧、许德珠任主编。

本书经国家教委“高等学校工程专科金属工艺学课程教材编审组”组织审稿。成都大学王孝达副教授、哈尔滨工业大学陈洪勋副教授任主审。参加审稿会的除主审王孝达副教授外,还有东北水利水电专科学校康云武副教授、南京机械专科学校金禧德副教授、华北航天工业学院张继世副教授。

在编写过程中得到了吕焯、王旭东、王建民、王有志和付光娜等同志以及其它有关院校、科研单位、工厂的指导与帮助,并为本书编写提供了有关资料,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,编写时间短促,书中缺点错误在所难免,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

1991年3月

目 录

绪论	1	框测量法)	51
第一章 铸造生产	4	二、铸造合金内应力的测定(应力框锯开测量法)	52
§ 1.1 合金的铸造性能	5	习题	54
一、合金的流动性	5	第二章 锻压生产	60
二、合金的收缩	7	§ 2.1 金属的塑性变形	60
*三、合金的偏析和吸气性	13	一、金属塑性变形的实质	60
§ 1.2 砂型铸造	13	二、塑性变形对金属组织和性能的影响	61
一、各种造型方法的特点和应用	13	三、金属的锻造性能	64
二、铸造工艺图	17	四、金属塑性变形的基本定律	65
三、铸件技术要求	24	§ 2.2 自由锻	66
四、铸造毛坯图	24	一、自由锻的实质、特点及应用	66
§ 1.3 特种铸造	25	二、自由锻工艺规程的制订	67
一、熔模铸造	25	三、自由锻零件的结构工艺性	76
二、金属型铸造	26	§ 2.3 模锻	76
三、压力铸造	28	一、锤上模锻	76
*四、低压铸造	29	二、胎模锻	84
五、离心铸造	30	三、曲柄压力机上模锻	85
§ 1.4 常用合金铸件的生产	31	*四、平锻机上模锻	86
一、铸铁件生产	31	*五、摩擦压力机上模锻	88
二、铸钢件生产	34	§ 2.4 板料冲压	89
三、有色合金铸件生产	36	一、板料冲压的实质、特点和应用	89
§ 1.5 铸造方法的选择	37	二、板料冲压的基本工序	89
§ 1.6 铸件质量与技术检验	40	*三、板料冲压的简化方法	94
一、铸件缺陷及其产生原因	40	四、典型零件冲压工序示例	94
二、铸件检验	41	五、冲模	96
三、铸件的修补	41	六、板料冲压件的结构工艺性	97
§ 1.7 铸件结构设计	42	*§ 2.5 其它压力加工方法简介	99
一、砂型铸造工艺对铸件结构的要求	43	一、精密模锻	99
二、合金铸造性能对铸件结构的要求	46	二、高速锤锻造	99
三、组合铸件	50	三、径向锻造	99
实验 合金铸造性能的测定及对铸件质量影响的实验	51	四、轧制	100
一、铸造合金热应力的测定(拉压传感器应力		五、挤压	102

六、拉拔	104	一、氧气切割	142
§ 2.6 锻压方法的选择	104	*二、空气-电弧切割	143
*§ 2.7 锻件的技术检验	106	三、等离子弧切割	143
一、锻件的检验	106	§ 3.6 常用金属材料的焊接	144
二、锻件的技术条件	107	一、金属材料的焊接性	144
实验一 加工硬化及再结晶退火实验	107	二、碳钢及合金钢的焊接	144
实验二 锻件纤维组织观察实验	109	三、铸铁的焊接	146
习题	109	四、有色金属及其合金的焊接	146
第三章 焊接生产	116	§ 3.7 焊接方法的选择	147
§ 3.1 手工电弧焊	117	§ 3.8 焊接结构设计	147
一、焊接电弧	117	一、焊接结构材料的选择	147
二、手弧焊冶金过程特点	118	二、焊缝布置	148
三、焊条	119	三、焊接接头型式的选择	151
四、焊接接头的组织与性能	123	四、焊接接头坡口形式的选择	151
五、焊接应力和变形	124	五、焊接方法的选择	155
六、焊接缺陷及其检验方法	128	六、焊接结构设计示例	155
§ 3.2 其它熔焊方法	130	实验 焊接接头组织和性能实验	158
一、埋弧自动焊	130	习题	159
二、气体保护电弧焊	131	第四章 机械零件毛坯的选择	166
三、气焊	133	§ 4.1 毛坯选择的原则	166
四、电渣焊	134	一、保证零件的使用要求	166
五、等离子弧焊	135	二、降低制造成本	166
*六、电子束焊	136	三、考虑生产条件	166
*七、激光焊	137	§ 4.2 常用机械零件毛坯的种类和选择	167
§ 3.3 压焊与钎焊	138	一、毛坯的种类	167
一、电阻焊	138	二、选择毛坯时应考虑的因素	167
*二、摩擦焊	140	三、典型机械零件毛坯的选择	167
三、钎焊	141	§ 4.3 机械零件毛坯选择示例	169
*§ 3.4 堆焊与喷涂	141	一、铣床用顶尖座	169
一、堆焊	141	二、顶尖座主要零件毛坯的选择	171
二、金属喷涂	142	习题	171
§ 3.5 金属的热切割	142	附录 焊缝符号表示方法说明	172

绪 论

机械产品的制造过程,是先将金属材料用铸造或锻压或焊接等方法制成零件的毛坯(或半成品或成品),再经切削加工制成所需的零件。为改善材料和零件的性能,常要对其进行热处理。最后将零件装配成机械。

在上述过程中,合理选择毛坯种类和制造方法具有重大技术和经济意义。因为,零件机械加工的工序数量、材料消耗、加工工时,所用设备和工、夹、量具,零件的质量,生产率与成本等在很大程度上都取决于毛坯种类、结构及其制造方法。例如,某曲轴净重 17 kg,采用圆钢作毛坯经切削加工制成,切屑为轴重的 189%;若用锻件作毛坯经切削加工制成,切屑为轴重的 30%,并可减少 1/6 切削工时。毛坯质量提高以后,不用车削、铣削可直接经磨削加工而制成零件。现代精密铸造和精密锻造技术,已能够使一些零件在热加工后,不再用切削加工就可达到使用要求。

为提高毛坯生产率、质量和降低成本,为改善劳动条件,毛坯生产应广泛采用机械化、自动化的生产方式和先进工艺,使毛坯在形状、尺寸和表面质量上尽量与零件要求相接近,以达到少无切屑加工。为此,我们必须掌握各种制造毛坯方法的工艺实质、成形特点、毛坯性能,以及选用毛坯的原则和方法,即掌握铸造、锻压和焊接等金属热加工方法的基础知识、工艺特点,以及在机械制造业中的应用。

金属热加工工艺是在生产实践中发展起来的一门学科。我国的金属热加工工艺发展史,可远溯至史前。

我国是世界上应用铜、铁最早的国家,远在 4000 年前就已经开始使用铜合金。1939 年在河南安阳武官村出土的商殷祭器司母戊大方鼎,其体积庞大,鼎重 875 kg,花纹精巧,造型精美。这说明,远在商代(公元前 1562~1066 年)我国就有了相当发达的冶铸青铜技术。

公元前六、七世纪的春秋时期,我国已发明了冶铁技术,开始用铸铁作农具。这比欧洲国家早 1800 多年。

在北京大钟寺内保存的高 6.75 m、直径 3.3 m、重 46.5 t 的铜钟,是明朝永乐年间(约 1420 年)铸造的,在世界大钟之林中铸造年代最久远。钟身内外铸满了佛经,经文清晰,排列巧妙。总字数达 230 184 个,是世界上铸字最多的大钟。撞击一下钟声悠扬悦耳,最远可传 40~50 km。永乐大钟铸造工艺先进,合金配比恰当,它显示了我国古代铸造技术的卓越成就,是世界铸造史上的奇迹。

在 3300 多年前的殷墟文化早期,锻造已用于兵器生产。1972 年在河北藁城出土的商代铁刃铜钺,是目前发现的我国最早的锻件。到了战国时代,已经有了比较高明的制剑技术。锻制出许多宝刀名剑及日常用具,说明当时我国已掌握了炼钢、锻造、热处理等技术。

在河南辉县发掘出的玻璃阁战国墓中,殉葬铜器的耳和足是用钎焊方法与本体连接的。这说明战国时期我国已采用了焊接技术。

明朝宋应星所著《天工开物》一书内有冶铁、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，这充分反映了我国人民在金属加工工艺方面的卓越成就。

以上事实说明，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。

新中国成立后，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 490 t 的轧钢机机架和 500 t 大钢锭的铸造；锻造能力达 12 k t 水压机的生产，以及 196 t 汽轮机转子体的锻造；15 MPa(150 at)氢反应器和 50 kt 远洋油轮的焊接等。

1989年我国在香港建成的天坛大佛，佛像包括莲花瓣在内总高 26.4 m；大佛脸部用锡青铜整块铸成，其展开面积为 42 m²，佛体由 202 块铸造锡青铜壁板拼焊而成，总重量约 250 t；能承受海洋性气候的盐雾腐蚀和百年不遇的特大台风袭击。大佛工程是融艺术与铸造、焊接等现代科学技术于一身的、复杂而特殊的系统工程。天坛大佛雄健、庄重，是艺术上的瑰宝，得到了国内外的高度赞赏。

以上的每一项重大成就都是中华民族勤劳、勇敢、智慧的结晶，都是中国人民有志气、有信心、有能力发展自己的生动写照。我国已经取得了一系列巨大成就，积累了丰富经验，为四化大业奠定了坚实基础。

但也应当指出：与工业化国家相比，我国机械工业在产品质量、生产能力、技术水平、经济效益和管理水平等方面，还存在一定差距，不能适应国民经济发展的需要。因此，我们必须加倍努力学习，积极工作，要重视制造工艺技术的研究和加快发展科学技术。

“热加工工艺基础”是高等学校工程专科机械类专业学生必修的一门以工艺为主的综合性的技术基础课。其内容包括：铸造生产、锻压生产、焊接生产及毛坯选择等部分。

本课程的任务是使学生掌握常用热加工工艺和冷冲压工艺的基础知识，为学习其它有关课程和将来从事生产技术工作打好必要的基础。通过本课程学习，应达到下列基本要求：

初步掌握各种主要热加工方法和冷冲压的基本原理、工艺特点、应用范围，了解影响产品质量的因素；

熟悉毛坯或零件的结构工艺性，并具有初步设计毛坯(或零件)结构的能力；

具有选择简单毛坯(或零件)的加工方法和制订工艺规程的能力；

了解各种常用加工方法所用的主要设备、工具的基本工作原理和使用范围。

实验是培养独立工作能力和获得一定实验技能的重要教学环节。为此，学生必须认真阅读本书中有关实验的内容与要求，在教师和实验员指导下自己动手做好实验，并应写出实验报告。实验要作为学生成绩考核中的重要内容。

根据教学内容老师还应布置一定数量的课堂练习、课堂讨论题和课外作业,用以巩固所学知识,以及培养独立分析和解决问题的能力。

“热加工工艺基础”是一门实践性很强的课程,在学习本课程之前必须具有一定的感性知识。因此,本课程应该在金工实习之后进行讲授。学生通过金工实习,熟悉各种主要热加工方法的操作过程、所用设备和工具的基本原理和大致结构,并对毛坯或零件加工工艺过程有一定的了解。在此基础上学习本教材,才可达到本课程的预期目的和要求。

本课程以课堂教学为主,并应采用必要的电化教学和现场教学等教学方法。

第一章 铸造生产

铸造生产是指熔炼金属,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。

铸造生产方法可分为砂型铸造和特种铸造两大类。目前,用砂型铸造生产的铸件约占铸件总产量的80%以上。特种铸造是一种少用或不用型砂,采用特殊的工艺装备使金属浇注成形的铸造方法,主要包括熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造和壳型铸造等。

铸造是制造机械零件毛坯或零件成品的一种重要工艺方法。在一般机械中,铸件约占整个机械重量(质量)^①的40~90%;在农业机械中为40~70%;在金属切削机床中为70~80%;重型机械、矿山机械、水力发电设备中为85%以上。在国民经济的其他部门中,也广泛采用各种铸件。铸件之所以被广泛采用,是因为铸造是液态成形,它具有下列优点:

(1) 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。如各种箱体、机床床身、机架、水压机横梁等的毛坯均为铸件。

(2) 铸件的形状和尺寸与零件很接近,因而节省了金属材料 and 加工工时。精密铸件可省去切削加工,直接用于装配。

(3) 绝大多数金属均能用铸造方法制成铸件。对于一些不宜锻压或不宜焊接的合金件(如铸铁件、青铜件),铸造是一种较好的成形方法。

(4) 铸造生产适用于各种生产类型。

(5) 铸造所用的原材料来源广泛,价格低廉,并可回收使用,还可利用金属废料和废机件。一般情况下,铸造生产不需要大型、精密的设备,生产周期较短。因此,铸件成本低。

但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;铸件组织粗大,内部常出现缩孔、缩松、气孔、砂眼等缺陷,其力学性能不如同类材料的锻件高;铸件表面较粗糙,尺寸精度不高;工人劳动强度大,劳动条件较差等问题。

近年来,由于现代科学技术和精密铸造的发展,铸件表面质量有了很大提高,公差等级最高可达IT 12~IT 11,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。此外,由于球墨铸铁等高强度铸造合金的普遍采用,显著提高了铸件的力学性能,可用球墨铸铁件来替代原先用钢材锻造的某些零件,如用珠光体球墨铸铁制造曲轴,用贝氏体球墨铸铁制造齿轮等,使铸造的应用日趋广泛。目前,我国已建立起相当数量的现代化铸造工厂或车间,采用了很多新工艺、新设备,电子计算机也已开始用于生产,实现了生产机械化、自动化,使铸件质量和

^① 根据GB 3102.3—86《力学的量和单位》“重量”是“质量”的通俗同义词,为避免与表达物品品质的优劣程度的“质量”混淆,本书一般均用“重量”,仅在个别情况下才采用“质量”(如质量分数)。

表 1.1 常用合金的流动性

合 金		铸型种类	浇注温度 $t/^\circ\text{C}$	螺旋线长度 l/mm
灰 铸 铁	$w_{\text{C}+\text{Si}}=6.2\%$	砂 型	1300	1500
	$w_{\text{C}+\text{Si}}=5.9\%$	砂 型	1300	1300
	$w_{\text{C}+\text{Si}}=5.2\%$	砂 型	1300	1000
	$w_{\text{C}+\text{Si}}=4.2\%$	砂 型	1300	600
铸钢($w_{\text{C}}=0.4\%$)		砂 型	1600	100
			1640	200
镁合金(Mg-Al-Zn)		砂 型	700	400~600
铝硅合金(硅铝明)		金属型(300°C)	680~720	700~800
锡青铜($w_{\text{Sn}}=9\sim 11\%$ 、 $w_{\text{Zn}}=2\sim 4\%$)		砂 型	1040	420
硅黄铜($w_{\text{Si}}=1.5\sim 4.5\%$)		砂 型	1100	1000

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。而且因固态晶体的导热系数大,使液体冷却速度加快,故流动性差(图 1.2b)。合金结晶温度范围愈宽,液相线和固相线距离愈大,凝固层内表面愈参差不齐,这样流动阻力就愈大,流动性也愈差。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。

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°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 浇注温度高可降低合金液的粘度,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,力争作到“高温出炉,低温浇注”。例如,灰铸铁件的浇注温度一般为 $1200\sim 1380^\circ\text{C}$,对于壁厚小于 10 mm 的复杂薄壁铸件,其浇注温度为 $1340\sim 1430^\circ\text{C}$ 。

(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,均会降低合金的流动性。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,铸型材料热导性过大等,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,增设气口或冒口,对铸型烘干等。

二、合金的收缩

1. 收缩

高温合金液从浇入铸型到冷凝至室温的整个过程中,其体积和尺寸减小的现象,称为收缩。整个收缩过程,可划分为三个互相联系的阶段,如图 1.3 所示。

(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。这个阶段合金处于液态下的收缩,它使型腔内液面降低。

(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。在一般情况下,这个阶段仍表现为型腔内液面降低。

(3) 固态收缩 是指合金从凝固终止温度冷却到室温之间的体积收缩。这个阶段合金处于固态下的收缩。

合金的液态收缩和凝固收缩表现为合金的体积缩小,通常用体收缩率表示。合金的固态收缩也是体积变化,表现为三个方向线尺寸的缩小,直接影响铸件尺寸变化,因此常用线收缩率表示。

2. 影响收缩的因素

(1) 化学成分 不同种类的合金,其收缩率不同。同类合金中,化学成分不同,其收缩率也不同。例如,碳素钢的体收缩率为 10~14.5%,线收缩率为 1.6~2.0%;灰铸铁的体收缩率为 5~8%,线收缩率为 0.7~1.0%。灰铸铁的收缩率最小,这是因为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,铸铁体积膨胀 2%,体积膨胀抵消了部分凝固收缩。灰铸铁中提高碳、硅的含量(含量是指质量分数^①,以下类同)和减少硫的含量,均可使其收缩减小。

(2) 浇注温度 浇注温度主要影响液态收缩。浇注温度愈高,液态收缩愈大。一般浇注温度每提高 100°C,体积收缩增加 1.6% 左右。

(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。又因铸型和型芯对铸件收缩产生机械阻力,因而其实际线收缩率比自由线收缩率小。所以在设计模样时,必须根据合金的品种,铸件的形状、尺寸等因素,选取适宜的收缩率。

3. 缩孔的形成及防止

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

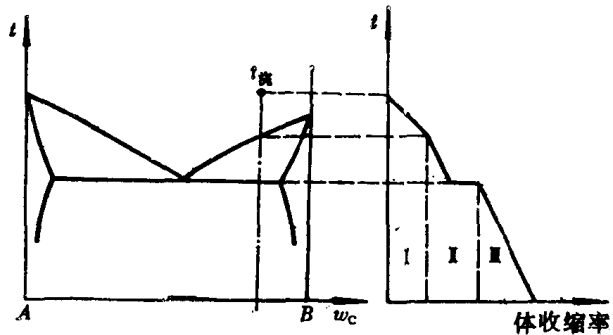


图 1.3 铸造合金的收缩阶段
I——液态收缩; II——凝固收缩; III——固态收缩

^① GB 3102.6—86《物理化学和分子物理学的量和单位》规定:物质 B 的质量与混合物的质量比,称为物质 B 的质量分数,以符号 w_B 表示。

孔,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,有时经切削加工可暴露出来。缩孔有时也产生在铸件的上表面,呈明显凹坑,这种缩孔也称“明缩孔”。缩孔形状不规则,多呈倒锥形,其内表面较粗糙。

缩孔形成过程如图 1.4。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,所减少的合金液可从浇口得到补充,液面不下降仍保持充满状态(图 1.4 a)。随着热量不断散失,合金液温度不断降低,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。如内浇道已凝固,则形成的硬壳就像一个密封容器,内部包住了合金液(图 1.4 b)。温度继续下降,铸件除产生液态收缩和凝固收缩外,还有先凝固的外壳产生的固态收缩。由于硬壳内合金液的液态收缩和凝固收缩远远大于硬壳的固态收缩,故液面下降并与硬壳顶面脱离,产生了间隙(图 1.4 c)。温度继续下降,外壳继续加厚,液面不断下降,待内部完全凝固,则在铸件上部形成了缩孔(图 1.4 d)。已经形成缩孔的铸件自凝固终止温度冷却到室温,因固态收缩使其外形尺寸略有减小(图 1.4 e)。

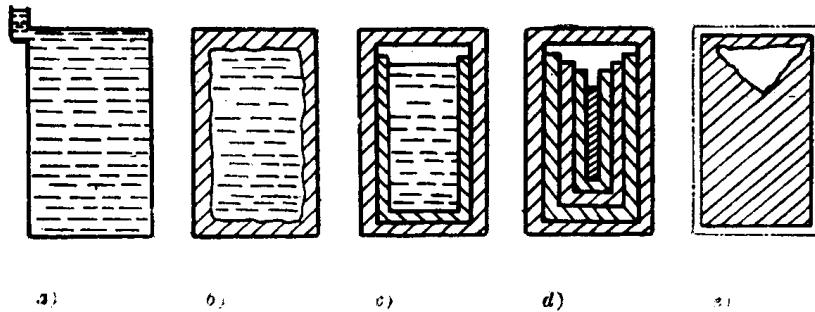


图 1.4 铸件缩孔形成过程示意图

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 缩松可以看成是将集中缩孔分散成为数量极多的小缩孔,似海绵状。对于相同的收缩容积,缩松的分布面积要比缩孔大得多。形成缩松的基本原因与缩孔相同。合金的结晶温度范围愈宽,愈易形成缩松。根据缩松的分布形态,将其分为宏观缩松与显微缩松两类。图 1.5 为圆柱形铸件形成缩松过程示意图。

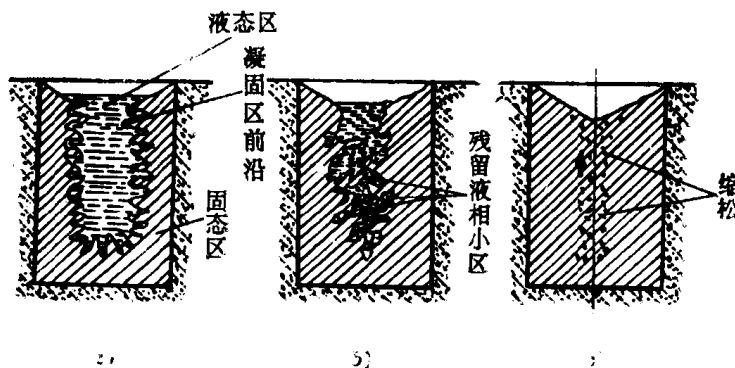


图 1.5 铸件缩松形成过程示意图

图 1.5 a 为合金液浇注后的某一时刻,因合金的结晶温度范围较宽,铸件截面上有三个区域。图 1.5 b 表示铸件中心部分液态区已不存在,而成为液态和固态共存的凝固区,其凝固层内表面参差不齐,呈锯齿状,剩余的液体被凹凸不平的凝固层内表面分隔成许多有残留液相的小区。这些小液态区彼此间的通道变窄,增大了合金液的流动阻力,加之铸型的冷却作用变弱,促使剩余合金液温度趋于一致而同时凝固。凝固中金属体积减小又得不到液态金属的补充时,就形成了缩松(图 1.5 c)。这种缩松常出现在缩孔的下方或铸件的轴线附近。一般用肉眼能观察出来,所以称为宏观缩松。

当合金液在很宽的结晶温度范围内结晶时,初生的树枝状枝晶很发达,以致将液体分隔成许多孤立的微小区域,若补缩不良,则在枝晶间或枝晶内会形成缩松,这种缩松更为细小,要用显微镜才能看到(图 1.6),故称显微缩松。显微缩松在铸件中难以完全避免,它对一般铸件危害性较小,故不将其作为缺陷看待。但是,如铸件为防止在压力下发生渗漏要求有较高的致密性,或考虑物理、化学性能时,则应设法防止或减少显微缩松。

(3) 缩孔与缩松的防止 任何形态的缩孔都会使铸件力学性能显著下降,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重大缺陷,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是:

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,铸件的致密性差。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。

② 合理选用凝固原则 铸件的凝固原则分为“顺序凝固”和“同时凝固”两种。“顺序凝固”就是在铸件可能出现缩孔的热节处(即内接圆直径最大的部位),通过增设冒口或冷铁等一些工艺措施,使铸件的凝固顺序形成向着冒口的方向进行,即离冒口最远的部位先凝固,冒口本身最后凝固。如图 1.7。按此原则进行凝固,就可保证铸件各个部位的凝固收缩都能得到合金液的补



图 1.6 显微缩松

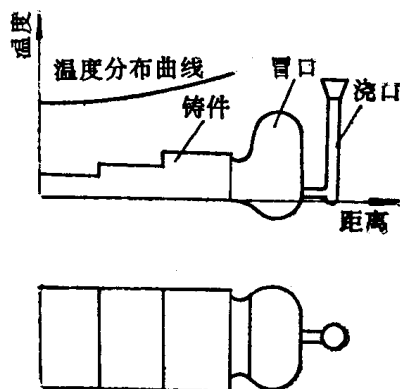


图 1.7 顺序凝固原则的运用

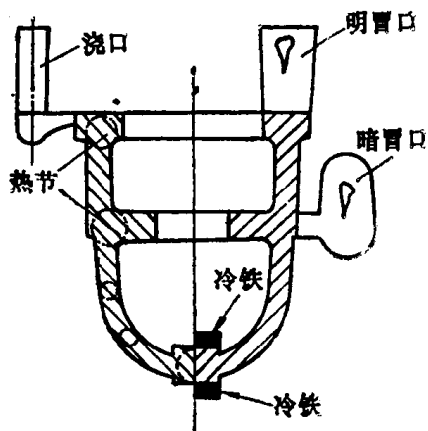


图 1.8 阀体铸件的两两种铸造方案

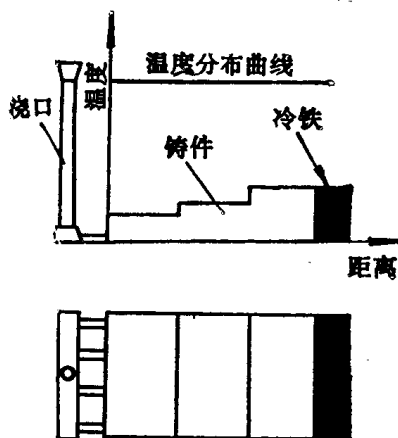


图 1.9 同时凝固原则的运用

缩，从而将缩孔转移到冒口中，获得完整、致密的铸件。在铸件清理时将冒口切除。

图 1.8 为阀体铸件的两两种铸造方案。左半图没有设置冒口，热节处可能产生缩孔。右半图增设了冒口和冷铁后，铸件实现了顺序凝固，防止了缩孔的产生。

明冒口的表面露于上箱，它是靠金属的静压力起补缩作用。明冒口造型方便、操作灵活、便于浇注时补充热金属液，应用广泛。但其补缩效率低，消耗金属多。在成批大量生产中，常用暗冒口，暗冒口散热慢，补缩效率较高，便于对铸件侧面或下部进行补缩。

冷铁一般用铸铁或钢制成，其作用是增大铸件厚大部位的冷却速度，防止产生缩孔。

顺序凝固的缺点是铸件各部分温差大，内应力大，容易产生变形和裂纹。此外，由于设置冒口，增加了金属的消耗，耗费了工时。顺序凝固主要用于凝固收缩大、结晶温度范围窄的合金。如铸钢、高牌号灰铸铁、可锻铸铁和青铜等。

“同时凝固”是采用工艺措施使铸件各部分之间没有温差或温差很小，同时进行凝固，如图 1.9。采用同时凝固，可使铸件内应力较小，不易产生变形和裂纹。但在铸件中心区域往往有疏松，组织不够致密。此原则主要用于凝固收缩小的合金（如灰铸铁和球墨铸铁）、壁厚均匀的薄壁铸件以及结晶温度范围宽而对铸件的致密性要求不高的铸件（例如锡青铜铸件）等。

4. 铸造内应力、变形和裂纹

铸件在凝固后继续冷却时，若在固态收缩阶段受到阻碍，则将产生内应力，此应力称为铸造内应力。它是铸件产生变形、裂纹等缺陷的主要原因。

(1) 铸造内应力 铸造内应力按其产生原因，可分为热应力和机械应力两种。

热应力 因铸件各部分冷却速度不同，造成在同一时期内，铸件各部分收缩不一致而产生的应力，称为热应力。

金属在冷却过程中，从凝固终止温度到再结晶温度阶段，处于塑性状态。此时，伸长率高、塑性好，在较小的外力下，就会产生塑性变形，但不会产生应力；低于再结晶温度的金属处于弹性状态，受力时不仅产生弹性变形，而且还产生应力。

现用图 1.10 a 所示的框形铸件来分析热应力的形成。图中三根长度相等的竖杆，它们由上

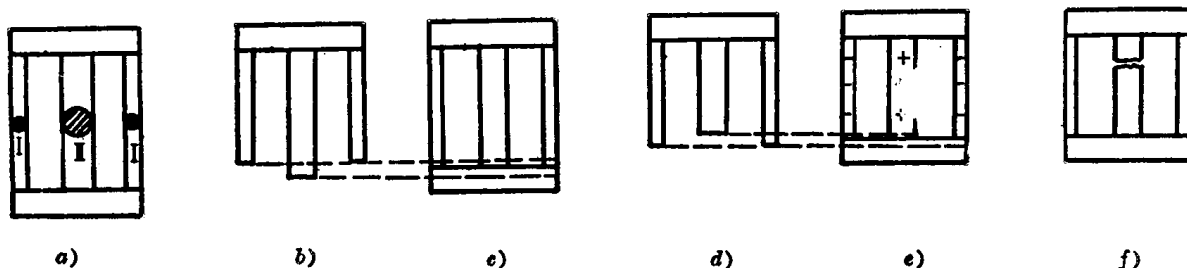


图 1.10 热应力的形成过程
“+”表示拉应力；“-”表示压应力

下两根横杆连为一个整体。I 杆比 II 杆的直径小。假定在固态收缩开始时，I、II 杆温度相同，且铸件下面无横杆连接，三竖杆均能自由收缩，冷却时因细杆比粗杆冷得快，其收缩量比粗杆大，收缩后如图 1.10 b。但实际情况是铸件下面有横杆连接，收缩后造成细杆比自由收缩的长度长些(被拉伸)，粗杆比自由收缩的长度短些(被压缩)，如图 1.10 c。此时，粗杆、细杆均处于高温塑性状态，故只产生塑性变形，不产生应力；继续冷却收缩，当细杆已进入弹性状态，粗杆仍处于塑性状态时，则粗杆随细杆的收缩而产生塑性变形，在铸件内仍不产生内应力；再继续冷却收缩，当细杆已冷至接近室温时，其长度基本不变，此时，粗杆也进入弹性状态，但因温度高仍在继续收缩。若下面无横杆相连，使粗杆能自由收缩，则粗杆会比细杆短，如图 1.10 d。但实际上下面有横杆固定，三竖杆只能保持同一长度，结果造成粗杆被细杆弹性地拉长一些，细杆被粗杆弹性地压缩一些。最终在粗杆中形成了拉应力，细杆中产生了压应力，如图 1.10 e。若拉应力超过金属的强度极限时，粗杆将断裂，如图 1.10 f。

综上所述，固态收缩使铸件厚壁或心部受拉伸，薄壁或表层受压缩。合金固态收缩率愈大，铸件壁厚差别愈大，形状愈复杂，所产生的热应力愈大。

机械应力 铸件在固态收缩时因受到机械阻碍而形成的应力，称为机械应力，也称收缩应力。形成机械阻碍的因素很多，如型砂或芯砂的高温强度高，退让性差，吃砂量过少等。

机械应力一般使铸件产生拉伸或剪切应力，这种应力是暂时的，铸件经落砂、清理后，应力便可消失。但是，机械应力在铸型中能与热应力共同起作用，增加了铸件产生裂纹的可能性。

铸件中存有内应力后，其本身就已经承受了载荷，因而使铸件在工作中的实际承载能力下降。

(2) 铸件的变形与防止 如前所述，当铸件中存有内应力时，会使其处于不稳定状态。如内应力超过合金的屈服点时，常使铸件产生变形，变形可减缓其内应力。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。

车床床身(图 1.11)的导轨部分因较厚而存在拉应力，床壁部分因较薄而受压应力，于是床身向着导轨方向弯曲，使导轨下凹。平板铸件(图 1.12)中心部分较边缘散热慢，受拉应力，边缘部分受压应力，而铸型上面比下面冷却快，使平板产生变形。

为防止变形，在铸件设计时，应力求壁厚均匀、形状简单与对称(图 1.13 c)。对于细而长、大而薄等易变形铸件，可将模样制成与铸件变形方向相反的形状，待铸件冷却时变形正好与相反的形状抵消(此法称“反变形法”)。此外，在铸造工艺上应采取措施使铸件同时凝固，在铸件上附