

高等农林院校精品课程建设教材

GAO DENG NONG LIN YUAN XIAO JING PIN KE CHENG JIAN SHE JIAO CAI

材料成形

CAILIAO CHENG XING GONG YI JI CHU

工艺基础

申庆泰 聂信天 主编



中国农业大学出版社

高等农林院校精品课程建设教材

材料成形工艺基础

申庆泰 聂信天 主编

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

材料成形工艺基础/申庆泰, 聂信天主编. —北京: 中国农业大学出版社, 2005. 4
高等农林院校精品课程建设教材
ISBN 7-81066-850-1

I. 材… II. ①申… ②聂… III. 材料-成形-高等学校-教材 N. TG39

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第008405号

书 名 材料成形工艺基础

作 者 申庆泰 聂信天 主编

策划编辑 张秀环

责任编辑 陈巧莲 洪重光

封面设计 郑 川

责任校对 陈 莹 王晓凤

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路2号

邮政编码 100094

电 话 发行部 010-62731190, 2620

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617, 2618

出版部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

E-mail caup@public.bta.net.cn

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2005年4月第1版 2005年4月第1次印刷

规 格 787×1092 16开本 13.75印张 336千字

印 数 1~4000

定 价 17.00元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

主 编 申庆泰 聂信天

副主编 杨有刚 徐 岩

编 者 (按姓氏笔画为序)

王瑞丽(沈阳农业大学工程学院)

申庆泰(内蒙古农业大学机电工程学院)

杨有刚(西北农林科技大学机械与电子工程学院)

金 敏(内蒙古农业大学机电工程学院)

徐 岩(沈阳农业大学工程学院)

聂信天(南京农业大学工学院)

主 审 尚士友

前 言

“工程材料及机械制造基础”系列教材由《机械制造工程实践》(孙维连主编)、《工程材料》(孙维连、魏凤兰主编)、《材料成形工艺基础》(申庆泰、聂信天主编)、《机械制造工艺基础》(刘存祥、康敏主编)等4册组成,是在参考教育部工程材料及机械制造基础课程教学指导小组关于“重点高等工科院校‘工程材料及机械制造基础’系列课程改革指南(征求意见稿)”的精神和有关院校编写的教材的基础上,结合作者多年来的教学经验编写的。

“工程材料及机械制造基础”是一门研究机器零件的常用材料和加工方法,从选择材料、制造毛坯、直到加工出零件的综合技术基础课。该课程的特点是理论教学与工程实践相结合。本系列教材根据大多数院校现行的教学课时安排,在保证传统基础教学知识的基础上,部分章节增加了新材料、新技术、新工艺等内容。各章前注明本章要点,便于学习时明确重点,各章后附有复习思考题,可供选用。为了便于了解专业词汇,在重要专业词后进行了标注。“工程材料及机械制造基础”系列教材可作为机械类和非机械类本科学生的教学参考书,也可供有关工程技术人员参考。

《材料成形工艺基础》教材的主要内容包含金属液态成形、金属塑性成形、连接成形、非金属及粉末冶金材料成形、毛坯制造结构工艺性及工艺设计、机械零件毛坯的选择、毛坯质量检验等内容,并对当今材料成形的新技术、新工艺及新发展作了适当介绍。本书以金属材料的成形工艺及结构工艺性为主,结合实例重点介绍了各种材料的成形工艺方法、工艺过程、应用范围、主要设备等内容,使学生对材料成形的基础知识有一个较为全面的了解,培养学生分析零件结构、合理选择成形工艺方法的能力。书中材料牌号、名词术语和单位都采用了国家最新标准。适合40学时左右教学使用。

参加本书编写的有内蒙古农业大学申庆泰(绪论、第1章第1,2,3节,第4章第1,2节,第5章第4节)、金敏(第7章),南京农业大学聂信天(第1章第4,5,6节,第5章第1节,第6章),西北农林科技大学杨有刚(第2章,第5章第2节),沈阳农业大学徐岩(第4章第3,4节)、王瑞丽(第3章,第5章第3节),全书由申庆泰统稿,尚士友教授主审。

限于编者水平和时间仓促,错误和不妥之处恳切读者批评指正。

编者

2004年12月

目 录

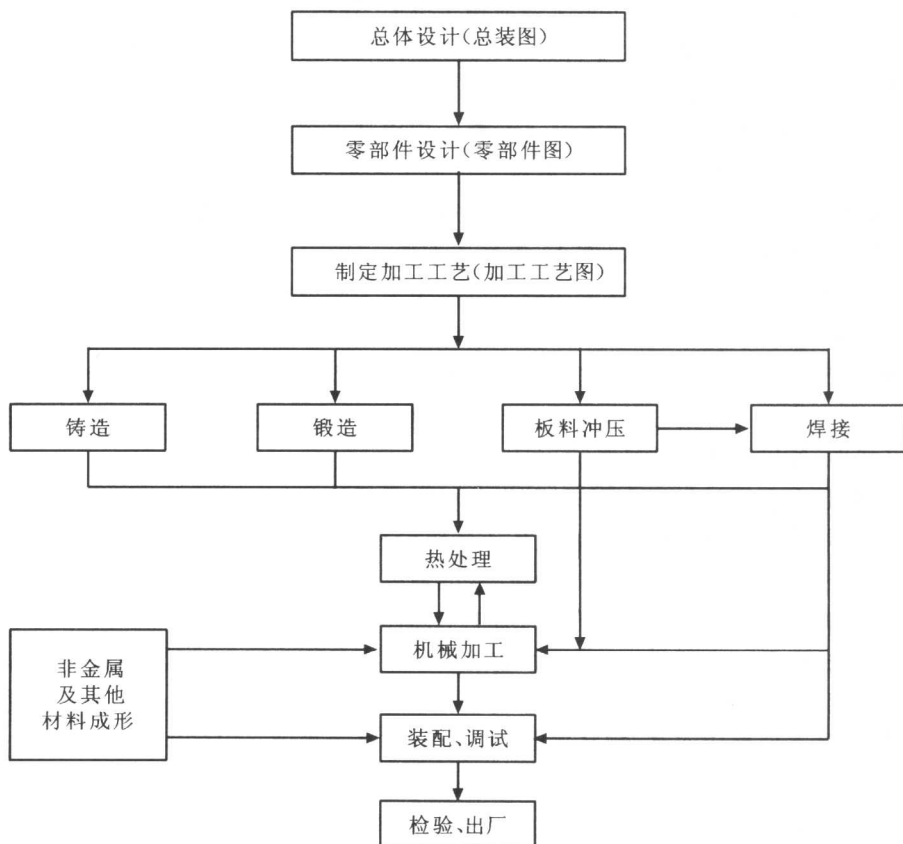
绪论	(1)
1 金属液态成形	(4)
1.1 概述	(4)
1.2 液态成形理论基础	(5)
1.3 砂型铸造工艺	(12)
1.4 常用合金铸件的生产特点	(17)
1.5 特种铸造	(26)
1.6 现代铸造技术的发展	(38)
2 金属塑性成形	(44)
2.1 概述	(44)
2.2 金属塑性成形的理论基础	(44)
2.3 锻造成形	(53)
2.4 板料冲压成形	(70)
2.5 其他塑性成形工艺	(78)
2.6 现代塑性成形技术的发展	(83)
3 连接成形	(90)
3.1 概述	(90)
3.2 焊接理论基础	(90)
3.3 常用焊接方法与工艺	(99)
3.4 特种焊接和热切割方法	(105)
3.5 黏接技术	(115)
3.6 常用金属材料的焊接	(118)
3.7 现代焊接技术的发展	(125)
4 非金属及粉末冶金材料成形	(127)
4.1 塑料的成形	(127)
4.2 陶瓷的成形	(134)
4.3 复合材料的成形	(138)
4.4 粉末冶金的成形	(143)
5 毛坯制造结构工艺性与工艺设计	(145)
5.1 铸件结构工艺性与工艺设计	(145)
5.2 锻压件结构工艺性与工艺设计	(165)
5.3 焊接结构工艺性与工艺设计	(174)
5.4 塑料件结构工艺性与工艺设计	(180)

6 机械零件毛坯的选择	(189)
6.1 毛坯选择的原则和依据	(189)
6.2 常用毛坯制造方法及其制件分析比较	(191)
6.3 常用机械零件毛坯材料及制造方法的选择	(195)
6.4 毛坯选择举例	(199)
7 毛坯质量检验	(202)
7.1 毛坯质检的内容	(202)
7.2 毛坯质检的方法	(203)
参考文献	(210)

绪 论

材料成形技术是研究在机械制造过程中采用合适工艺方法,获得符合要求的机械毛坯或零件的一门专业技术。在机械制造过程中零件材料的选择、毛坯成形、切削加工以及在此过程中的热处理等工艺是相互联系的,不同材料和形状的零件可能用相同的成形加工工艺方法,但同一零件也可能选择不同的加工工艺。如何根据零件的使用性能、加工工艺性能等要求,选择工艺简单、经济合理的制造工艺,是机械制造过程中必须考虑的问题。制定合理的加工工艺,首先必须对制造工艺过程中各种加工工艺的可能性与局限性有较明确的认识,并且掌握各种工艺方法自身的规律性及其各自在机械制造中的应用范围和相互联系。

1)材料成形在机械制造中的地位。在机械的设计制造过程中,首先要根据机械的使用性能要求进行机械的总体设计和零部件设计,绘制出装配图和零部件图,再根据零件图制定加工工艺并加工出零件,然后进行装配、调试。其基本过程如下:



由此可见,材料的成形工艺(包括铸造、锻压、焊接、非金属及其他材料成形等)在机械制造中占有十分重要的地位。选用哪一种成形工艺不仅取决于零件的形状要求,还与所用材料对成形工艺的适应性(即加工工艺性)以及经济性等有密切的关系。不同成形工艺生产的毛坯对后续机械加工也会产生影响,如切削加工工艺及参数的选择等。

2)材料成形的特点及应用。材料的成形方法按其主要性质可分为金属液态成形(包括砂型铸造、特种铸造等)、金属塑性成形(包括锻造、板料冲压等)、连接成形(包括电弧焊、电阻焊、气焊、黏接等)以及非金属材料成形等几大类。各种成形方法在产品性能的改变、复杂形状的适应能力、材料的利用率、生产效率等方面有着不同的特点,甚至有其他成形方法不可代替的特点。

①液态成形是将材料加热熔化成液态,采取一定的成形和冷却方法获得所需形状的毛坯或零件的工艺。如铸造成形,材料的适应性广,能成形各种复杂形状,特别是复杂内腔的铸件,生产成本低,应用范围很广,但成形工艺较为复杂,影响铸件质量的因素较多。

②金属的塑性成形是利用材料的塑性使其产生变形。经塑性成形的零件消除了铸态组织,形成完整的锻造流线,使零件的机械性能得到提高。自由锻工艺灵活,适用于单件小批量或大型零件的生产;模型锻造的材料利用率高,锻件尺寸稳定,适用于中、小型零件的大批量生产。

③焊接是一种不可替代的连接成形工艺,是2种或2种以上材料(同种或异种),通过加热或加压使其达到原子之间结合的永久性连接工艺。除应用于金属材料的焊接外,还可用于塑料焊接、玻璃焊接、陶瓷焊接等。焊接工艺主要应用于框架、管道、箱体及各类容器的成形,还可与其他成形工艺结合制造形状复杂的零件,如铸-焊复合结构、锻-焊复合结构等。随着空间技术的发展,为焊接技术提供了更加广阔的发展空间。

④随着科学技术的发展,塑料等高分子材料的应用越来越广泛,其成形工艺的发展也十分迅速。塑料属可流动熔体,在低压和一定温度下可通过各种方法成形。由于成形过程中施压小,所以对产品的尺寸限制较小,适宜生产尺寸较大或中小型精度要求不高的制品。同时,对生产设备及模具的强度要求较低,设备投资小,生产成本低。

⑤陶瓷属于无机非金属材料,普通陶瓷是以黏土为主要原料的制品。在机械中应用较多的是特种陶瓷,即采用高度精选的原料,具有能精确控制的化学组成,按照便于控制的制造技术加工的,便于进行结构设计,并具有优异特性的陶瓷。陶瓷成形是将制备好的坯料,用不同的方法制成具有一定形状和尺寸的坯件,然后进行干燥、烧结等工序制成陶瓷制品。陶瓷材料由于熔点高、无可塑性,所以加工工艺性差。

⑥复合材料是由多相材料复合而成,其组分材料虽保持其相对独立性,但其性能却不是组分材料性能的简单叠加。复合材料综合发挥了各组分材料的优点,使一种材料具有多种性能,具有天然材料所没有的性能,并可根据材料性能的需要进行材料的设计制造。复合材料根据其种类不同可采用多种成形方法,具有很好的加工工艺性。

⑦粉末冶金成形是以金属粉末(也可添加少量非金属粉末)为原料,经成形、烧结等工艺获得材料或制品。能够制出其他工艺无法制造或难于制造的材料和制品,如多孔、减震、隔音等材料或制品。其不足之处是成本高,制品形状、大小受限,韧性较差。

3)材料成形的发展趋势。随着材料科学的飞速发展,材料成形技术也随之得到不断发展。为进一步降低材料和能量消耗,提高产品质量和生产率,传统的成形工艺正在不断改进和完善;在材料成形理论研究、成形过程计算机模拟、新工艺和新设备的开发应用等方面取得了显著进展。

①液态成形技术在学习和改革传统工艺的基础上,定向凝固技术、快速凝固技术、细晶铸造技术已得到推广和应用;铸造新工艺和新材料的开发,使铸件向轻量化、薄壁化和优质化发展;以铸件的优质、精化、高产为目标,造型中高压、气冲、射压、静压等工艺应用逐渐广泛,自硬砂、树脂砂应用范围扩大,多种工艺相互渗透,组合成为特种铸造的新趋势;CAD/CAM 及各种专家系统已应用于铸造生产中,应用计算机集成制造系统(CIMS)实施生产过程监控并做出决策,治理和消除铸造生产过程中污染,研究和开发绿色铸造技术,是铸造技术未来发展的方向。

②金属塑性成形技术发展的主要目标是如何进一步提高制件精度和质量,缩短生产周期及降低生产成本。塑性加工向着更加精细的方向发展,如齿轮精锻可达IT7级,铝件变薄拉深表面粗糙度 R_a 可达 $0.05\text{ }\mu\text{m}$,轧丝直径可达 $0.016\sim 0.023\text{ mm}$;生产过程向高速化、连续化、可控化发展,柔性成形技术、增量成形技术、净成形技术、近净成形技术、复合成形技术以及加工过程的计算机模拟技术和模具CAD/CAM技术是主要研究方向;实现低噪声、小震动和无震动、能源和资源的低耗是塑性成形技术发展的方向。

③随着计算机技术的发展,焊接过程自动化、焊接机器人的应用发展迅速,目前全世界约有半数的机器人,我国所有机器人几乎都应用于焊接领域。焊接技术的主要研究方向为:高效节能焊接技术;以降低焊接材料生产和使用过程中对环境的污染为目的的环保焊接技术;精密焊接成形技术;焊接工程智能化控制系统、焊接生产系统柔化(智能焊接机器人)及综合集成等。

在材料成形技术领域,各种成形技术相互交叉,新型材料的不断涌现,促进了成形技术的飞速发展。传统的“来料加工”的生产模式正在发生变化,以产品开发、材料设计、成形工艺、设备研制一体化的开发模式正在形成。随着计算机、智能机器人及控制系统智能化的发展,材料成形技术将会发生根本性的变化。

1 金属液态成形

本章要点:

①金属液态成形过程中金属的流动性和收缩性直接影响铸件质量。流动性与合金的特性有关,同时又受铸型条件、浇注工艺和铸件结构等因素的影响;而常见的铸造缺陷与合金的收缩密切相关。

②结合金工实习了解型砂性能对铸件质量的影响,熟悉手工造型方法,了解机器造型方法。

③通过常用铸造合金的生产特点一章的学习,掌握各种铸铁、铸钢、有色合金的铸造特点、铸造工艺要求及应用范围。

④熟悉特种铸造的工艺过程及工艺要求,以及特种铸造的优越性和应用场合。

⑤了解现代铸造技术新工艺、新方法的发展。

1.1 概述

将金属材料加热到高温熔化状态,然后采取一定的成形方法,待其冷却、凝固后获得所希望的金属制品,这种制造金属零件毛坯的过程,称作金属的液态成形(liquid forming)。

金属液态成形的历史悠久,我国是世界上最早掌握金属液态成形技术的文明古国之一,如河南安阳晚商遗址出土的司母戊鼎重达875 kg,是迄今为止发现的世界上最古老的大型青铜器。1978年在湖北省随县侯乙墓出土的青铜器重达10 t,其中一套64件编钟,据考证是2400年前战国初期铸造的,铸造水平极高,是我国古代青铜器的杰出代表。但是长期的封建社会,使科学技术停滞不前。新中国成立后,金属成形技术才随着科学技术的发展得到了重大发展。已建立了雄厚的金属液态成形铸造工业基础,建成机械化造型生产线400余条,能液态成形制造重200多t的大型金属制品。

铸造是一种金属液态成形的方法,即将金属加热到液态,然后浇注到与零件的形状、尺寸相似的铸型中,凝固后获得一定形状的毛坯或零件的生产方法。铸造生产与其他毛坯生产方法比较,具有以下特点:

①适应性强。几乎不受材料的限制。铸钢、铸铁、铜合金、铝合金等金属材料,只要能熔化为液体便能铸造。

②灵活性大。几乎不受零件大小、形状和生产批量的限制。零件的质量可从几克至几百吨,外形尺寸从几毫米至几十米,既适合于单件小批量生产,又适合于大批量生产。

③成本较低。铸造原材料(金属材料、造型材料)来源广泛。可以回收利用废件、废料;铸造成形方便,铸件毛坯与零件形状相近,节省金属材料和切削加工成本;造型设备较简单,投资较小。因此,铸件成本较低。

由于铸造的上述各项优点,因此在工业上得到广泛的应用。据统计,在机床、内燃机和重型

机械设备中,铸件重量占70%~90%,在汽车、拖拉机和农业机械中占40%~70%。

液态成形也给铸造生产带来一些问题。由于凝固结晶的特点,使铸件晶粒粗大、组织疏松,内部易产生缩孔、缩松、气孔等缺陷。因此,同种材料下铸件的机械性能,特别是冲击韧性比锻件低;铸造生产工序多,工艺过程难以准确控制,使得铸件质量不稳定,废品率较高。因此,铸件一般不用于制造承受大的动载荷或交变载荷的零件。

1.2 液态成形理论基础

金属的液态成形实质上是利用熔融金属的流动性实现成形,金属冷却凝固后形成铸件,在其凝固过程中必然伴随着金属材料的收缩。金属的流动性和收缩性能的优劣直接影响着金属材料铸造成形的难易程度。通常把金属的流动性和收缩性统称为金属的铸造性能。

1.2.1 金属的流动性

1.2.1.1 流动性的概念

流动性(fluidity)是指熔融金属的流动能力。在实际生产中,流动性是指熔融金属充满铸型的能力。流动性好的金属,容易充满铸型,可获得轮廓清晰、尺寸精确的铸件,不易出现浇不到、冷隔等缺陷;同时也有利于气体和非金属夹杂物的上浮逸出,有利于补缩,可减少缩孔、缩松等缺陷。因此,良好的流动性是保证铸件成形质量的一个重要因素。

金属的流动性以浇注螺旋试样的长度来测定。如图1-1所示,将液态金属浇入螺旋试样中,在相同的浇注条件下,浇出的螺旋试样越长,则该金属的流动性越好。

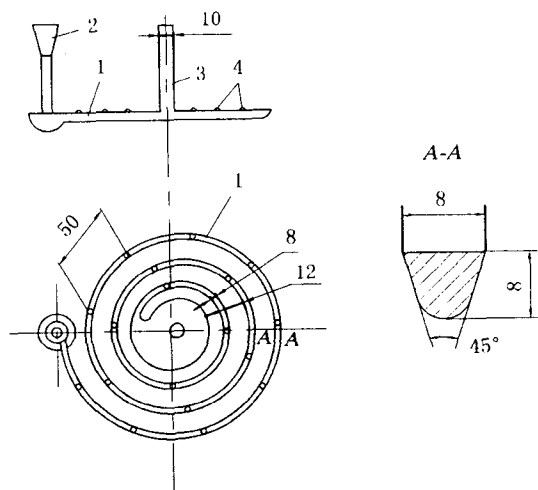


图 1-1 螺旋试样

1-试样铸件 2-浇口 3-冒口 4-试样凸点

1.2.1.2 影响流动性的因素

表1-1为常用金属的流动性。由表1-1中数值可知,灰铸铁的流动性最好;硅黄铜、硅铝明次之;钢的流动性最差。且合金的化学成分不同、工艺条件不同,其流动性不同。

表 1-1 常用合金的流动性

合 金	造型材料	浇注温度/℃	螺旋线长度/mm
灰铸铁 C+Si=6.2%	砂型	1 300	1 800
	砂型	1 300	1 000
	砂型	1 300	600
铸钢 C=0.4%	砂型	1 600	100
	砂型	1 640	200
锡青铜	砂型	1 040	420
硅黄铜	砂型	1 100	1 000
硅铝明	金属型	680~720	700~800

1)化学成分对流动性的影响。纯金属和共晶成分的合金流动性好。纯金属和共晶成分的合金是在恒温下进行凝固,液态合金在充填过程中,从表层开始逐层向中心凝固(图 1-2a),已结晶固体层的内表面比较光滑,对金属的流动阻力小,故流动性好。而远离共晶成分、凝固温度范围大的合金,是在一定温度间隔内逐步凝固的,即经过液、固并存的两相区。结晶是在铸件截面一定宽度的凝固区域内同时进行的,由于初生的树枝状晶体使凝固层的内表面粗糙不平,对内部液体的流动阻力增大,所以流动性较差(图 1-2b)。

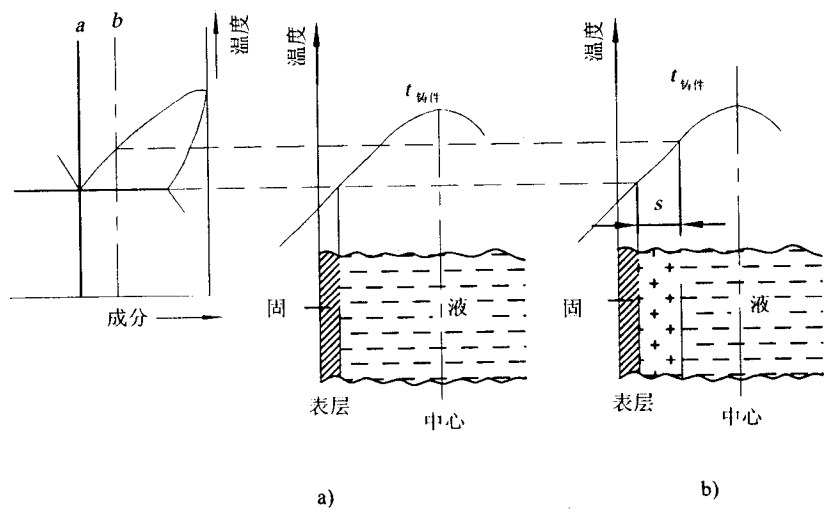


图 1-2 不同成分合金的凝固特点

图 1-3 为相同过热度下,铸铁的流动性与含碳量的关系。灰铸铁都是亚共晶成分,其碳、硅含量越高,越接近共晶成分,流动性越好。铁水中的硫和锰可形成高熔点的MnS,使铁水黏度增加,流动性降低;磷可形成低熔点的磷共晶,提高铁水的流动性,但同时会引起铸铁的冷脆性,所以一般不用它来提高流动性。

2)工艺条件对流动性的影响。在合金的浇注过程中,浇注温度、充型压力、铸型阻力等都会直接影响合金的流动性。

在一定的温度范围内,浇注温度越高,液态合金的过热度越大,合金保持液态的时间越长,流动性越好。但浇注温度过高,液态合金收缩率增大、吸气多、氧化严重,流动性反而降低。生

产中每种合金都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,厚壁件取下限。

提高金属液的充型能力,也有利于提高流动性。生产上常采用增加直浇口的高度、提高浇包位置等方法来提高金属液的压头;也可用人工加压方法,如低压铸造、压力铸造、真空吸铸及离心铸造等提高充型时的压头。

在结构方面,如铸件壁厚过小,结构复杂或有大的水平面,型腔表面不光滑,铸型导热快,砂型透气性不好等因素,均使合金充型能力降低。设计铸件时,为了获得形状完整、轮廓清晰的铸件,在采用合理的工艺措施的同时,铸件的壁厚必须大于最小允许壁厚值(表1-2)。

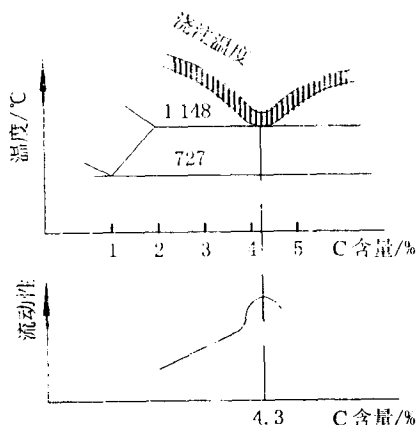


图1-3 相同的过热度下铸铁的流动性

表1-2 铸件最小允许壁厚

mm

铸型种类	铸件尺寸	铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铝合金	铜合金
砂型	$<200\times 200$	6~8	5~6	6	4~5	3	3~5
	$200\times 200\sim 500\times 500$	10~12	6~10	12	5~8	4	6~8
	$>500\times 500$	15~20	15~25	—	—	5~7	—
金属型	$<70\times 70$	5	4	—	2.5~3.5	2~3	3
	$70\times 70\sim 150\times 150$	—	5	—	3.5~4.5	4	4~5
	$>150\times 150$	10	6	—	—	5	6~8

1.2.2 金属的收缩性

铸件在冷却、凝固过程中发生体积或尺寸缩小的现象称为收缩(shrinkage)。

1.2.2.1 金属的收缩过程

金属液从浇注温度冷却到室温的收缩过程分为3个阶段。

1)液态收缩阶段。从浇注温度到开始凝固时的收缩。在这个阶段中,液态金属不发生状态和组织变化,收缩由温度下降引起,所以过热度越高液态收缩率越大。表现为型腔内金属液面的降低。

2)凝固收缩阶段。从凝固开始到凝固完毕的收缩。这个阶段为液态和固态共存的阶段,收缩量包括:由液态转变为固态的体积收缩;从液相线到固相线温度下降引起的体积收缩;组织变化引起的体积收缩。合金的结晶范围越大,凝固收缩率越大。灰铸铁结晶时析出石墨,因石墨的比容大,引起体积膨胀,抵消了部分收缩,使灰铸铁的收缩量减小。

3)固态收缩阶段。从凝固完毕到室温时的收缩。这个阶段的收缩是由温度下降引起的体积收缩。对于凝固后有相变的合金,相变时也会引起体积变化。如钢中的奥氏体转变为珠光体时产生体积膨胀,部分抵消了由温度下降引起的收缩,所以铸钢的含碳量越高,其收缩越小。铸铁中奥氏体析出石墨时也有这种现象。

合金的总体积收缩为上述3个收缩阶段之和,它和金属本身的成分、浇注温度和相变有关,表1-3所示为几种常见合金的收缩率。铸件的实际收缩率还受铸件的结构、尺寸、铸型和型芯的性质、浇注系统等因素的影响。如图1-4所示,不同结构形状的铸件,对收缩的阻碍不同,铸件的实际收缩率也不同。铸件的受阻收缩总是小于其自由收缩。

表 1-3 几种常见合金的收缩率

合金种类	灰铸铁	铸钢	铝合金	铜合金
线收缩率/%	0.9~1.3	2.0~2.4	0.9~1.5	1.4~2.3
体收缩率	体收缩率约等于线收缩率的3倍			

合金的液态收缩和凝固收缩引起铸件体积的变化,用体积收缩率来表示,是铸件产生缩孔、缩松的主要因素。固态收缩主要表现为铸件外形尺寸的变化,用线收缩率来表示,是铸件产生应力、变形和裂纹的主要因素。

1.2.2.2 缩孔、缩松的形成与防止

缩孔(shrinkage cavity)和缩松(dispersed shrinkage)是因合金收缩引起的常见铸造缺陷。

1)缩孔、缩松的形成。由于合金的液态收缩和凝固收缩,使铸件内部常形成一些孔洞,通常按这些孔洞的大小和分布,将其分为缩孔和缩松2类。如图1-5所示,液态金属充满铸型型腔后,铸件的外表层由于散热较快,先凝固成一层硬壳(图1-5b)。随着温度的下降,液态收缩和固态收缩引起液面的下降,铸件内上部出现了空隙(图1-5c)。温度继续下降,铸件由外向内继续凝固而液面继续下降,待完全凝固后,在铸件内部形成一个倒锥形的孔洞,称为缩

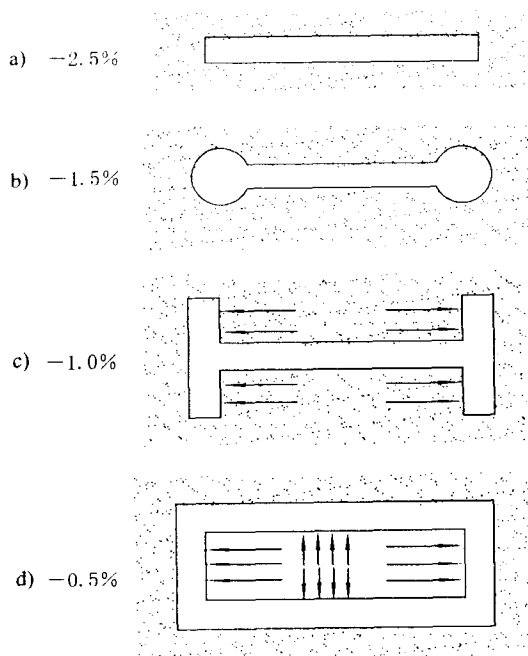


图 1-4 不同形状铸件的收缩率

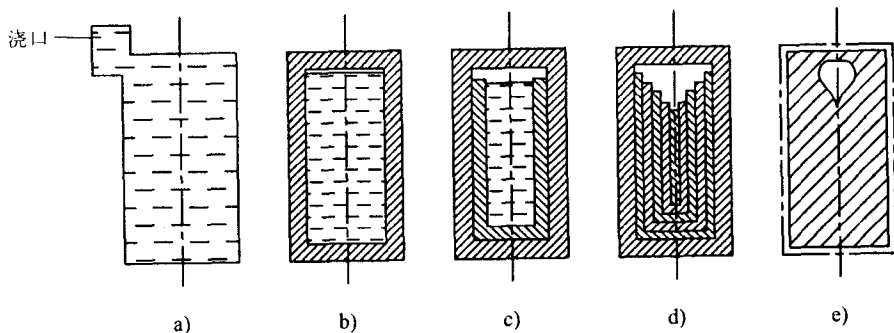


图 1-5 缩孔的形成过程

孔(图1-5d)。已形成缩孔的铸件继续冷却到室温,由于固态收缩,铸件尺寸略有缩小(图1-5e),但缩孔体积与铸件体积的比值不变,缩孔被保留下来。可见,缩孔的形成是由于合金的液态收缩和凝固收缩,未能得到液态金属的补充所致。缩孔一般产生于结晶温度范围小的合金。

对于结晶温度范围大的合金,在液固两相区,初生树枝晶较发达,在凝固后期,初生树枝晶将液体金属分割成许多相互独立的小液体区,随着温度降低、液面下降,小液体区难以得到补缩,形成许多微小的孔洞,即缩松。

综上所述,合金的液态收缩和凝固收缩大的合金,易形成缩孔和缩松;合金的浇注温度越高,液态收缩率越大,缩孔的容积越大。合金的结晶温度范围越大,越易形成缩松;合金的结晶温度范围小,则易形成缩孔。缩孔较缩松易发现和防止,因此铸造生产多采用接近共晶成分或结晶温度范围较小的合金。普通灰铸铁尽管接近共晶成分,但因石墨的析出使凝固收缩减小,在一般情况下不易形成缩孔。

2)缩孔、缩松的防止。铸件产生缩孔、缩松后会降低机械性能,对气密性要求较高的铸件危害更大。因此,必须采取适当的工艺措施加以预防。铸件在凝固过程中因收缩而产生缩孔、缩松是合金的物理本性所决定的。

由缩孔、缩松的形成原理可知,缩孔、缩松形成于铸件最后凝固的厚大部位。生产中对于易产生缩孔、缩松的铸件,在其热节(如图1-6所示内接圆最大的部位)安放冒口,使远离冒口的部位先凝固,然后是靠近冒口的部位凝固,冒口最后凝固。这样,先凝固部位的收缩由后凝固部位的液体合金来补充;后凝固部位的收缩由冒口来补充;从而将缩孔形成于冒口之中。对于难以设置冒口的厚大部位也可安放冷铁使其先凝固。

在设计浇注系统时,常将内浇口设置在铸件厚大部位,从而形成一个凝固顺序,便于集中补缩。这种使铸件按一定顺序凝固的方法,称为顺序凝固(图1-7)。冒口是铸件的多余部分,在铸件清理时将其去除。

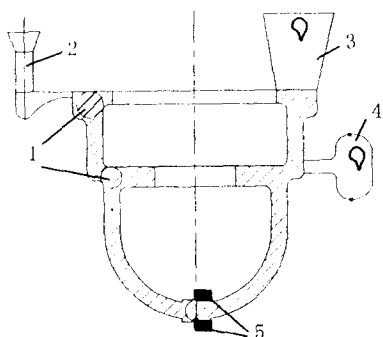


图1-6 阀体铸件的顺序凝固

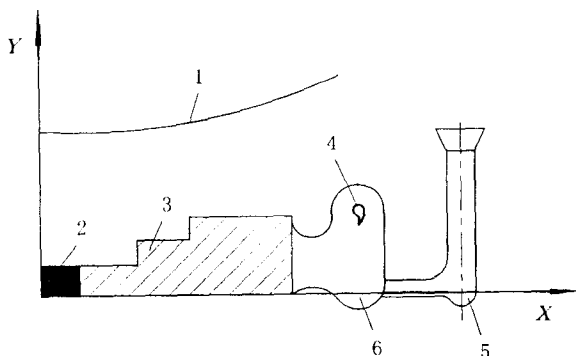


图1-7 顺序凝固原则示意图

1-热节 2-浇注系统 3-明冒口 4-暗冒口 5-冷铁 1-温度曲线 2-冷铁 3-铸件 4-缩孔 5-浇注系统 6-冒口

顺序凝固原则(principle of ordinal solidification)适用于收缩大的合金或壁厚差大的铸件,如铸钢、可锻铸铁等易产生缩孔的合金铸件。顺序凝固原则的缺点是,铸件各部分温差大,冷却速度不一致,易产生铸造应力、变形及裂纹等缺陷。

1.2.2.3 铸造应力、变形和裂纹

1) 铸造应力的产生与防止。铸件的固态收缩受到阻碍而引起的应力,称为铸造应力(casting stress)。铸造应力按其成因不同可分为3种。

收缩应力(contraction stress):收缩应力是由铸型的机械阻碍引起的,也称为机械阻碍应力,属于临时应力。铸件落砂清理后即可自行消除,但在铸件的凝固过程中它与热应力共同起作用,增大了某些部位的总应力,促使铸件产生裂纹。

相变应力(transformation stress):由铸件固态时相变产生体积变化而引起的应力。该应力较小,一般很少考虑。

热应力(thermal stress):热应力是由于铸件壁厚不均匀,各部分冷却速度不同,同一时刻铸件各部分收缩量不同,在相互制约下产生的应力,热应力在铸件落砂清理后仍会存在于铸件内部,所以危害很大。

现以薄厚不均匀的T型铸件为例,分析热应力的形成过程。如图1-8所示,杆Ⅰ较厚,冷速较慢;杆Ⅱ较薄,冷速较快。两杆的固态冷却曲线用图1-8中线Ⅰ和线Ⅱ表示, t_K 为临界温度,在此温度以上,合金为塑性状态,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。由于杆Ⅰ厚,杆Ⅱ薄,在冷却的前期,杆Ⅱ的冷速大于杆Ⅰ,导致杆Ⅱ的温度低于杆Ⅰ;但两杆最终的温度相同,所以冷却后期必然导致杆Ⅰ的冷却比杆Ⅱ快。热应力形成过程可用3个阶段描述:

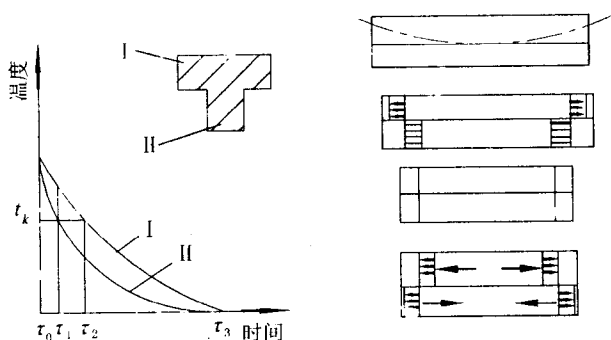


图1-8 热应力形成过程示意图

第一阶段($\tau_0 \sim \tau_1$):杆Ⅰ和杆Ⅱ的温度均高于 t_K ,处于塑性状态,虽然两杆冷速不同,收缩不一,但所产生的应力均因塑性变形而消失。故此阶段无残余应力。

第二阶段($\tau_1 \sim \tau_2$):杆Ⅱ的温度已低于 t_K ,从塑性状态转变为弹性状态,杆Ⅰ仍处于塑性状态。由收缩不一产生的应力,因杆Ⅰ的塑性压缩变形而消失。此阶段仍无残余应力。

第三阶段($\tau_2 \sim \tau_3$):杆Ⅱ的温度已接近室温,收缩量减小。已被塑性压短的杆Ⅰ也进入了弹性状态,其温度比杆Ⅱ高,收缩量比杆Ⅱ大。因此杆Ⅰ的收缩必然要受到杆Ⅱ的阻碍,使杆Ⅰ弹性拉长,杆Ⅱ弹性压缩,形成内应力。由此产生的应力相互平衡,残留在铸件内部,引起铸件的弹性变形。

由上述分析可见,铸件的残余应力是由于铸件各部分的冷却速度不同,进入弹性状态的先后次序不同,造成铸件厚大部位比薄小部位缩短而引起的。

铸造热应力使铸件厚壁部位或心部受拉应力,薄壁部位受压应力。铸件的壁厚差越大,热