

高等学校机械基础系列课程

材料成形技术基础

FUNDAMENTALS OF MATERIAL FORMING TECHNOLOGY

主 编 何红媛 周一丹

副主编 黄明宇 李集仁



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

高等学校机械基础系列课程

材料成形技术基础

主 编 何红媛 周一丹
副主编 黄明宇 李集仁
编 者 何红媛 周一丹 黄明宇 李集仁 万晓峰
主 审 张远明

东南大学出版社
· 南京 ·

内 容 摘 要

本教材根据“教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会”于2012年颁布的《高等学校机械基础系列课程现状调查分析报告暨机械基础系列课程教学基本要求》,并吸取了多年课程改革成果与实践经验编写而成的。教材的主要内容为工程材料的成形技术,包括铸造、锻压、焊接、粉末冶金、非金属材料及其成形技术和材料成形方法的选择等内容。几乎涵盖了机械制造生产工程中除切削加工成形以外的工程材料成形方法和工艺。

本教材可供机械工程、机械设计制造及其自动化专业使用,也可供其他机械类专业和近机类专业选用以及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形技术基础/何红媛,周一丹主编. —南京:
东南大学出版社, 2015. 1

高等学校机械基础系列课程/张远明主编

ISBN 978-7-5641-5349-6

I. ①材… II. ①何… ②周… III. ①工程材料—成
型—高等学校—教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第273739号

材料成形技术基础

出版发行 东南大学出版社

社 址 南京市四牌楼2号 邮编 210096

出版人 江建中

责任编辑 施 恩

网 址 <http://www.seupress.com>

电子邮箱 press@seupress.com

经 销 全国各地新华书店

印 刷 南京玉河印刷厂

版 次 2015年1月第1版 2015年1月第1次印刷

开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16

印 张 16.25

字 数 416千

书 号 ISBN 978-7-5641-5349-6

定 价 40.00元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话(传真):025-83791830

前 言

本教材编写的主要依据是教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会于2012年颁布的《高等学校机械基础系列课程现状调查报告暨机械基础系列课程教学基本要求》,并吸取了多年课程改革成果与实践经验。教材的主要内容为工程材料的成形技术,包括铸造、锻压、焊接、粉末冶金、非金属材料及其成形技术和材料成形方法的选择等内容,几乎涵盖了机械制造生产工程中除切削加工成形以外的工程材料成形方法和工艺。

教材在结构设计上将工程材料与成形技术加以融汇和交叉。先修课程“工程材料”的一些基本知识点在本教材中仅仅作贯穿课程体系的连接点,对这些知识点尽量做到内容以够用为度而不做深入、详细的阐述,各章以基础知识、成形方法、成形工艺、结构工艺性、新技术或新进展为框架,重点内容落在成形方法,注重介绍当前成形技术的新工艺、新技术、新进展,以培养学生对高新技术的研发兴趣,开拓学生的创新潜力。

教材在编写思想上着力体现精彩中见朴实、简单中见创新、平淡中见功夫。力求通俗易懂,便于自学。本教材中名词、概念和计量单位都采用国家新的标准与计量单位。

本教材主要内容共6章:第1章为铸造,第2章为锻压,第3章为焊接,第4章为粉末冶金,第5章为非金属材料及其成形技术,第6章为材料成形方法的选择。

本教材可供高等工科院校机械类和近机类专业使用,也可供应用型本科(如独立学院)及高职高专等同类专业选用以及有关工程技术人员参考。

参加本教材编写的有东南大学何红媛(绪论、第5章),南通大学周一丹(第6章),南通大学黄明宇(第3章),东南大学李集仁(第2章、第4章),南通大学万晓峰(第1章),由张远明主审。

由于编者水平所限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

0 绪论	1
1 铸造	3
1.1 铸造成形理论基础	4
1.1.1 金属的凝固	4
1.2.2 金属与合金的铸造性能	6
1.1.3 铸件的质量与缺陷	10
1.2 常用的铸造方法	15
1.2.1 砂型铸造方法	15
1.2.2 特种铸造方法	21
1.2.3 铸造方法的选择	31
1.3 铸造工艺设计	32
1.3.1 浇注位置和分型面的选择	32
1.3.2 铸造工艺参数确定	36
1.3.3 铸造工艺简图绘制	38
1.4 铸件结构工艺性	41
1.4.1 铸造性能对铸件结构的要求	42
1.4.2 铸造工艺对铸件结构的要求	46
1.4.3 铸造方法对铸件结构的要求	48
1.5 铸造技术新进展	50
1.5.1 计算机在铸造中的应用	50
1.5.2 凝固理论的研究促进铸造新技术的发展	51
1.5.3 铸造金属基复合材料	52
1.5.4 造型技术的新发展	52
1.5.5 铸件的轻量化和优质化	53
思考题	53
2 锻压	57
2.1 锻压基础	57
2.1.1 金属的塑性和变形抗力	57
2.1.2 常用合金的锻造性和板料冲压性能	62
2.2 锻压方法	64

2.2.1 锻造	64
2.2.2 冲压	77
2.2.3 其他金属压力加工方法	82
2.3 锻压工艺设计	86
2.3.1 模锻工艺规程的制订	86
2.3.2 冲压工艺规程的制订	94
2.4 锻压技术新进展	98
2.4.1 锻压新工艺的发展趋势	98
2.4.2 计算机在锻压中的应用	100
思考题	101
3 焊接	103
3.1 焊接基础	104
3.1.1 熔焊的冶金过程	104
3.1.2 金属的焊接性	108
3.1.3 焊接应力和变形	109
3.2 焊接方法	112
3.2.1 熔焊	112
3.2.2 压焊	122
3.2.3 钎焊	131
3.3 焊接工艺设计	132
3.3.1 焊接材料	132
3.3.2 焊接结构材料与焊接接头工艺设计	135
3.3.3 焊接工装夹具	147
3.3.4 焊接方法的选择	148
3.3.5 焊件工艺参数的选择	149
3.3.6 焊接质量检验	149
3.3.7 焊接工艺设计举例	151
3.4 焊接技术新进展	153
3.4.1 焊接能源	154
3.4.2 计算机在焊接中的应用及焊接自动化、机器人化与智能化	154
3.4.3 焊接方法与设备	155
3.4.4 提高焊接生产率及产品安全可靠	156
3.4.5 发展主动化焊接体系和标准化模块化	156
3.4.6 提高准备车间的机械化和自动化水平	156
思考题	157

4 粉末冶金	159
4.1 粉末冶金基础	159
4.1.1 金属粉末的性能和粉末的制造及筛分混合	159
4.1.2 压制成形	161
4.1.3 烧结	163
4.1.4 后处理	163
4.2 粉末冶金工艺过程	164
4.2.1 粉末冶金的主要工序	164
4.2.2 粉末冶金模具	164
4.3 粉末冶金制品的结构工艺性	167
4.4 粉末冶金技术新进展	169
4.4.1 自蔓延高温合成(SHS)	169
4.4.2 粉末制备	169
4.4.3 成形	170
4.4.4 烧结及热致密化	171
思考题	171
5 非金属材料及其成形技术	172
5.1 高分子材料及其成形技术	173
5.1.1 塑料及其成形	173
5.1.2 橡胶的成形	196
5.1.3 胶粘剂及其胶接工艺	200
5.2 工业陶瓷及其成形	205
5.2.1 陶瓷成形基础	206
5.2.2 陶瓷成形方法	210
5.2.3 陶瓷制品的生产过程	215
5.3 复合材料及其成形	216
5.3.1 复合材料的性能特点	216
5.3.2 复合材料的分类	217
5.3.3 复合材料的成形方法	218
5.4 非金属材料成形技术新进展	227
5.4.1 高分子材料成形技术新进展	227
5.4.2 陶瓷成形技术新进展	230
5.4.3 复合材料及其成形技术新进展	232
思考题	233

6 材料成形方法的选择	234
6.1 成形件的特点	234
6.1.1 铸件	234
6.1.2 锻件	234
6.1.3 冲压件和挤压件	236
6.1.4 焊接件	237
6.1.5 型材	237
6.1.6 粉末冶金件	237
6.1.7 工程塑料件	237
6.2 几类常用零件毛坯成形方法	238
6.2.1 轴类零件	238
6.2.2 套类零件	238
6.2.3 轮盘类零件	239
6.2.4 箱体类零件	239
6.3 材料成形方法选择的基本原则与依据	240
6.3.1 材料成形方法选择的基本原则	240
6.3.2 材料成形方法选择的依据	243
6.4 材料成形方法选择举例	244
思考题	250
参考文献	251

0 绪 论

材料是用来制造机器零件、构件和其他可供使用物质的总称。

材料是人类生产和生活的物质基础。材料的发展推动人类社会的进步,人类从最早使用的石器材料发展到如今文明社会大量使用的各类合金材料、非金属材料及复合材料便能充分说明这一点。而人类社会的进步又促进材料的发展。人类物质生活水平的提高和生产技术的发展是人类社会进步的重要标志,同时,人类进一步认识自然世界和改造自然世界的欲望更加强烈,发展生产、改善生活成为人类最基本的实践活动。在认识世界和改造世界的漫长岁月里,人类凭借自己的聪明才智,相继研制和开发了各种新材料、新工艺,促进了材料的发展。

20 世纪 70 年代人们把信息、材料和能源誉为当代文明的三大支柱。80 年代以高技术群为代表的新技术革命,又把新材料、信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志。材料除了具有重要性和普遍性以外,还具有多样性。由于其多种多样,分类方法也就没有一个统一标准。按化学组成成分,材料可分为金属材料、无机非金属材料、有机非金属材料 and 复合材料。按用途来分,又可分为电子材料、航空航天材料、核材料、建筑材料、能源材料、生物材料等。若按用途来分,还可以分为结构材料与功能材料;传统材料与新型材料。结构材料主要是利用材料的力学性能,常用以制造受力构件;功能材料则主要是利用材料的物理、化学性质或生物功能等。传统材料是指在工业中已批量生产并大量应用的成熟材料,如钢铁、水泥、塑料、橡胶等。这类材料由于其应用范围广泛、生产批量大、生产效率高、产值高,且又是很多支柱产业的基础,所以又称为基础材料。新型材料又称先进材料,是指那些正在发展,且具有优异性能和应用前景的一类材料,如:集成电路材料、信息储存材料、光导纤维与光通信材料、敏感材料、超导材料、太阳能电池材料、储氢材料、生态环境材料、生物材料、智能材料等。当然,新型材料与传统材料之间并没有明显的界限,传统材料通过采用新技术,提高技术含量,提高性能,大幅度增加附加值而成为新型材料;新材料在经过长期生产与应用之后也就成为传统材料。传统材料是发展新材料和高技术的基础,而新型材料又往往能推动传统材料的进一步发展。目前,材料的发展趋势可以归纳为以下几个方面:①从均质材料向复合材料发展;②由结构材料为主向功能材料、多功能材料并重的方向发展;③材料结构的尺度向越来越小的方向发展,如组成材料的颗粒尺寸向微米(100 万分之一米)级发展的材料,由于颗粒极度细化,使有些性能发生了截然不同的变化,比如以前给人以极脆印象的陶瓷,居然可以用来制造发动机零件;④由被动性材料向具有主动性的智能材料方向发展;⑤通过仿生途径来发展新材料。

材料只有经过各种不同的成形方法加工,使其成为毛坯或制品后,才具有使用价值。合理的成形工艺,先进的成形技术才能使材料成为所需的毛坯或制品。随着人类社会的进步,生产力的发展,材料的成形技术也经历了从简单的手工操作到如今复杂的、大型化的、智能化和机械化生产的发展过程。我国古代劳动人民对材料及其成形技术的研究远远超过同时

代的欧洲,直到17世纪,我国还一直处于世界领先地位,为世界文明和人类进步作出了巨大贡献。

我国祖先最早用火烧制陶器和瓷器,五代时期我国陶瓷技术已登峰造极,当时生产的瓷器被誉为“青如天、明如镜、薄如纸、声如磬”。瓷器已成为中国文化的象征。

我国的铸造技术和锻造技术闻名于世,1939年在河南安阳出土的商代晚期(至今已有3 000多年)青铜器司母戊鼎重达875 kg,体积庞大,花纹精巧。1965年在湖北江陵县楚墓中出土的越王勾践青铜宝剑,虽然埋在地下已有2 000多年,但其刃口锋利异常,当试验者握剑轻轻一挥,竟把叠在一起的十九层白纸截断。

我国的焊接技术也有着悠久的历史,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还早2 000多年。

我国还是最早使用胶粘剂的国家之一,在陕西临潼秦始皇陵二号出土的两乘大型彩绘铜车马,每乘各有一车四马,由一名御官俑驾驭,其材料以青铜为主,并配以金银饰品。造型逼真的铜马和装饰华丽的铜车,反映了秦朝时期我国祖先精湛的冶铸技术,而金银饰品之间连接是用无机胶粘剂胶接的,说明了早在2 000多年前,我们的祖先已掌握了无机胶接技术。

我国明朝科学家宋应星编著的《天工开物》一书中记载了冶铁、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。

我们的祖先在材料及其成形技术方面有过辉煌的成就,但是在新中国成立前的近百年,由于长期的封建统治,尤其是外国侵略者的掠夺和剥削,使我国的科学技术处于落后状态。新中国成立后,我国的工农业生产和科学技术得到了迅速发展,特别是党的十一届三中全会以来,在改革开放正确路线指引下,广大科技工作者努力攀登世界科学技术高峰,使我国科学技术领域内的各个方面都取得了举世瞩目的伟大成就。如与材料及其成形技术有着密切联系的卫星技术,我国自1999年11月6日首次成功发射“神舟”1号飞船以来,已先后8次将神舟系列飞船送上太空,并从“神舟5号”开始完成载人飞行。我国已成为世界上具有此项先进技术的少数几个国家之一,处于世界领先水平。

“材料成形技术基础”是高等院校机械类专业必修的一门综合性的技术基础课。本课程主要涉及工程材料的成形技术,其内容包括:金属材料的铸造、锻压、焊接、粉末冶金、高分子材料的成形、陶瓷的成形、复合材料的成形等。其基本要求是:学生在先修课程“工程材料”和“金工实习”的基础上,通过本课程的学习,能够根据不同材料的使用性能特点和工艺性能特点,根据各种毛坯或制品的成形方法、成形原理及其成形的工艺特点,具有正确选择成形方法和制定工艺及参数的初步能力;具有综合运用工艺知识分析零件结构工艺性的初步能力;了解有关新材料、新工艺、新技术及其发展趋势。为学习其他有关课程及以后从事机械设计与制造方面的工作,奠定必要的基础。

“材料成形技术基础”是一门内容广泛,技术性和实践性较强的课程,建议安排在“工程材料”和“金工实习”课以后讲授,要尽可能利用现代化教学手段(多媒体教学、网络视频教学等)以提高学生的感性认识。教学形式应多样化,可通过课堂讨论或实验,加深学生对课程内容的理解,应把学生素质和能力的培养贯穿于整个讲课过程中。努力使本课程的教学达到上述的基本要求。

1 铸造

铸造是液态金属成形的一种方法,铸造过程是将熔化后的金属液在重力或外力(压力、离心力、电磁力等)的作用下浇入到具有一定形状和尺寸的铸型型腔中,待凝固、冷却后形成具有型腔形状的金属制品的成形过程。所铸出的金属制品称为铸件。铸造是生产金属毛坯或零件的主要方法之一。各类机械产品中铸件所占的比重很大,如机床、内燃机、重型机械中,铸件占机器总重的70%~90%;汽车中铸件占20%,拖拉机、液压泵、阀和通用机械中铸件占65%~80%。因此,在机器制造业中铸造应用极其广泛。

我国的铸造技术可以追溯到6 000年前,是世界上较早掌握冶铸技术的文明古国之一。距今2 400多年的曾乙侯青铜编钟(总重2.5 t左右,共64件,铸造精巧,音律准确,音色优美),著名的当阳铁塔(重40 t),北京明永乐大钟(重约46 t)、北京颐和园的铜亭、武当山金顶的金殿等,这些都向世人展现了我国古代冶铸工艺的水平和高超技艺。随着工业技术的发展,铸造技术的发展也很迅速,特别是19世纪末和20世纪上半叶,出现了许多新的铸造方法,如低压铸造、陶瓷型铸造、连续铸造等。诸多现代铸造新技术及铸造机械化、自动化应用使铸造生产水平和铸件的质量显著提高。

与其他零件成形工艺相比,铸造成形具有工艺灵活性大、材料适应性强、生产成本低等特点,可以生产各种形状、尺寸的毛坯,特别适宜制造具有复杂内腔的零件,如箱体、缸体、叶片、叶轮等。铸件的尺寸可小至几毫米,大至几十米;重量可以小至几克,大到数百吨。能够适应大多数金属材料的成形,对不宜锻压和焊接的材料,铸造具有独特的优点。铸造原材料来源丰富,价格低廉,铸件形状接近于零件,既节约金属材料,又可减少切削加工量。一般铸件在机器中占总质量的40%~80%,而其制造成本只占机器总成本的25%~30%。但铸造生产也存在不足。如铸造组织疏松、晶粒粗大,易产生多种缺陷(缩孔、缩松、气孔等),因此铸件一般用于受力不大或受简单静载荷(特别适合于受压应力)的零件,如箱体、床身、支架、机座等,如图1-1所示。此外,铸造工序较多,且难以控制尺寸精确和表面质量,使得铸件废品率较高;生产环境差,工人劳动强度较大。

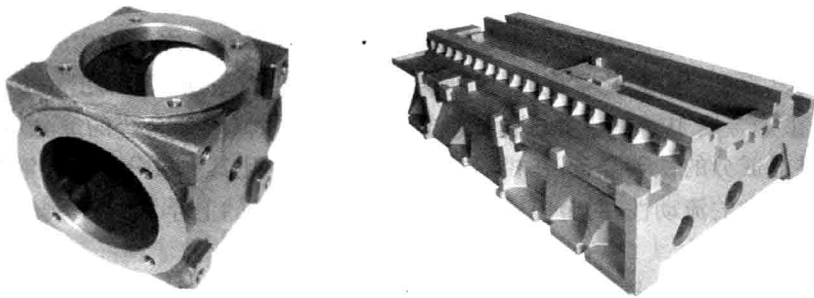


图 1-1 生产中常用铸件

随着铸造技术的发展,铸造生产的机械化、自动化水平不断提高,铸造工艺的不足之处逐渐得以克服。各种铸造新工艺和新方法的应用使得铸造质量、精度、成品率显著提高,生产成本也大为降低,铸造成形技术正向着精密化、大型化、高质量、自动化和清洁化的方向发展。

1.1 铸造成形理论基础

铸件是由液态金属在铸型中凝固冷却而成。因此,铸造合金的液态结构、性质、结晶凝固特点以及在铸造过程中表现出来的工艺性能(也称为铸造性能,包括充型流动性、收缩性、偏析、气体及夹杂物等)对铸件的质量有极为重要的影响,是制定合理的铸造工艺,获得理想铸件的重要依据。

1.1.1 金属的凝固

1) 液态金属的结构与性质

液态金属是通过加热将金属由固态熔化转变为熔融状态而得到的。熔化后的液态金属由许多呈有序排列且强烈游动的小原子集团所组成,集团中的原子存在很大的能量起伏、结构起伏和剧烈的热运动,温度越高,原子集团尺寸越小,游动越快。所有的原子集团都处在瞬息万变的状态,时大时小,时聚时散,时有时无。这些结构特点决定了液态金属的热膨胀、热导率、粘度、表面张力等特性。这些物理性质对金属的浇注、凝固过程及铸件质量都有很大影响。

(1) 液态金属的热胀冷缩

绝大多数金属的液态密度都比固态时小,如 Cu 为 7.93 g/cm^3 , Zn 为 6.92 g/cm^3 ,这是由于液态时金属原子的热运动加剧,原子排列中空位和空穴增多,体积也较固态明显膨胀。同理,几乎所有的金属,凝固时体积都要缩小,如 Al 凝固时的体收缩为 6.6%, Cu 为 2.6%。这一特性对铸件的形成过程十分重要,并受到合金的种类、成分等的影响。

(2) 液态金属的比热容和导热系数

金属的过热热量与过热温度和比热容有关。比热容大的金属在过热温度相同时,含有较多的热量,保持液态时间长,流动性好。同样,液态金属的热导率(导热系数)对流动性影响也较大,导热系数大的合金,热量散失快,保持液态的时间短,流动阻力增加,流动性差。

(3) 液态金属的粘度和表面张力

粘度表征的是液体在层流运动时,妨碍着液体流动的各液层之间的内摩擦阻力。液态金属的粘度与其温度、压力、化学成分及杂质含量等有关。几乎所有金属的粘度都随温度的升高而降低,液态金属中固态杂质的数量愈多,粘度也愈大。同一合金的成分不同,粘度也有差别。如共晶成分的铁碳合金,在相同条件下,其粘度要比其他成分的低。液态金属的粘度对金属在铸型中的流动性,对金属中的气体、夹杂物、熔渣的上浮,以至对铸件的补缩均有明显的影响。

液态金属表面张力的大小,对液态金属的充型及是否能获得轮廓清晰的健全铸件影响较大。相同条件下,表面张力小的液态金属较表面张力大的有利于充型。特别是有些薄壁铸件,表面张力对其轮廓清晰程度的影响较为明显,在充型时需要保证一定的附加压力以克

服表面张力,这在制定铸造工艺时要加以考虑。

2) 液态金属的凝固(方式)

金属或合金在铸型中由液态转变为固态的过程称为凝固。铸造的实质是液态金属逐步冷却凝固而成形。液态金属或合金凝固后一般得到晶体组织,因而金属的凝固又称为结晶。液态合金的凝固与结晶,是铸件形成过程的关键问题,其在很大程度上决定了铸件的铸态组织及某些铸造缺陷(如浇不足、缩孔、缩松、裂纹等)的形成,冷却凝固对铸件质量,特别是铸件力学性能,起决定性的作用。所以,认识铸件凝固规律及控制途径,对于防止铸造缺陷,提高铸件性能是十分重要的。

在铸件凝固过程中,沿垂直铸型型壁的断面上一般存在三个区域,即固相区、凝固区和液相区,其中,对铸件质量影响较大的主要是液相和固相并存的凝固区的宽窄。依据凝固区的宽窄,通常将铸件的凝固方式分为三种类型:逐层凝固方式、糊状凝固(或称体积凝固)方式和中间凝固方式,如图 1-2 所示。

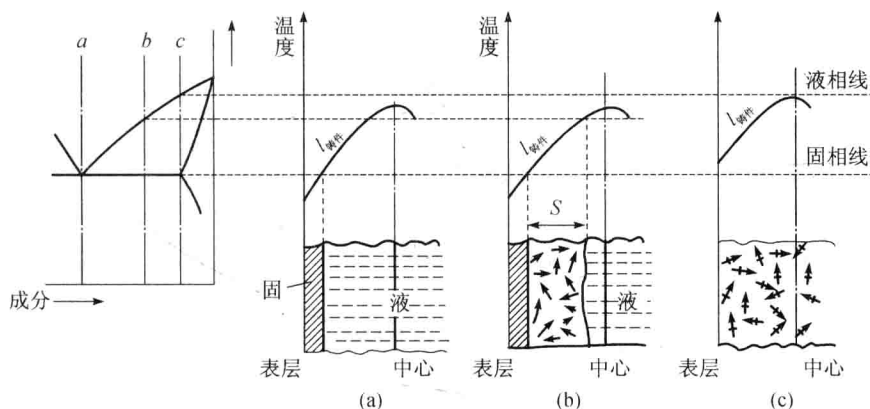


图 1-2 铸件的凝固方式

(1) 逐层凝固方式

恒温下结晶的纯金属或共晶成分合金在凝固过程中其铸件断面上因不存在液、固并存的凝固区(图 1-2a),断面上的固相和液相由一条界线(凝固前沿)清楚地分开。随着温度的下降,固体层不断加厚,逐步达到铸件中心,这种情况称为逐层凝固方式。

(2) 糊状凝固方式

如果合金的结晶温度范围很宽,或因铸件断面温度分布较平坦,则在铸件凝固的某段时间内,铸件表面温度尚高于固相线,没有固体层,其液、固并存的凝固区域很宽,甚至贯穿整个铸件断面,如图 1-2(c)。这种凝固方式与水泥类似,即先呈糊状而后固化,故这种情况称为糊状凝固方式。

(3) 中间凝固方式

如果合金的结晶温度范围较窄,或因铸件断面的温度梯度较大,铸件断面上液、固并存的凝固区域宽度介于前二者之间时,则属于中间凝固方式,如图 1-2(b)。

铸件的凝固方式与铸造缺陷密切相关。一般来说,逐层凝固时,合金的充型能力强,便于防止缩孔和缩松等铸造缺陷;糊状凝固时,难以获得组织致密的铸件。

3) 影响铸件凝固方式的因素

铸件的凝固方式取决于凝固区域宽度,凝固区域宽度又由合金结晶温度间隔和铸件断面温度梯度两个因素决定。这两个因素共同影响凝固方式。合金的结晶温度范围仅与它的化学成分有关,而铸件的温度梯度却与合金和铸型的热物理特性、浇注条件、铸件结构等诸多因素相关。

(1) 合金的结晶温度范围

合金的结晶温度范围愈小,凝固区域愈窄,愈倾向于逐层凝固。例如:砂型铸造时,低碳钢为逐层凝固;高碳钢因结晶温度范围很宽,为糊状凝固。

(2) 铸件断面的温度梯度

在合金结晶温度范围已定的前提下,凝固区域的宽窄取决于铸件断面的温度梯度(图 1-3 中)。若铸件的温度梯度由小变大($T_1 \rightarrow T_2$),则其对应的凝固区由宽变窄($S_1 \rightarrow S_2$)。铸件的温度梯度主要取决于:

① 合金的性质 合金的凝固温度越低、导热系数越大,结晶潜热越大,铸件内部温度均匀化能力就越大,温度梯度就越小(如多数铝合金)。

② 铸型的蓄热能力 铸型蓄热系数越大,对铸件的激冷能力就越强,铸件温度梯度就越大。

③ 浇注温度 浇注温度越高,因带入铸型中热量增多,铸件的温度梯度就越小。

④ 铸件的壁厚 厚壁铸件比之薄壁件含有更多的热量,凝固时,厚壁件与铸型界面的温差比之薄壁件减少愈多,所以,铸件壁厚越大,温度梯度就减小。

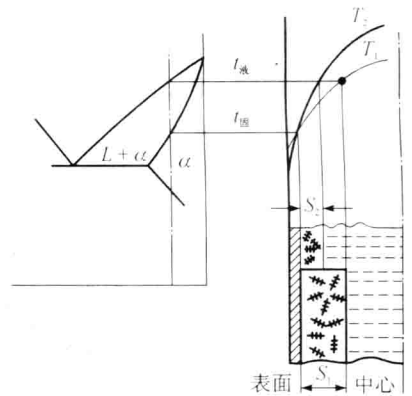


图 1-3 温度梯度对凝固区域的影响

通过以上讨论可以得出:倾向于逐层凝固的合金(如灰铸铁、铝硅合金等)便于铸造,应尽量选用;当必须采用倾向于糊状凝固的合金(如:锡青铜、铝铜合金、球墨铸铁等)时,可考虑采用适当的工艺措施(例如,选用金属铸型铸造),以减小其凝固区域。

1.2.2 金属与合金的铸造性能

金属与合金的铸造性能是指铸造成形过程中获得外形准确、内部健全铸件的能力,是材料的一项重要工艺性能。铸造性能通常用金属液的充型能力、收缩性等衡量。掌握金属与合金的铸造性能,对采取合理的工艺措施,防止缺陷,提高铸件质量有重要意义。

1) 合金的充型能力

液态合金充满铸型、获得形状完整、轮廓清晰铸件的能力,称为液态合金的充型能力。充型能力不足,会使铸件产生浇不足或冷隔等缺陷。如图 1-4 所示,所谓浇不足是指铸件的形状不完整;冷隔则是指铸件上某处由于两股或两股以上金属液流未熔合而形成的接缝。充型能力首先取决于液态金属本身的流动能力(即流动性),同时又受外界条件,如铸型性质、浇注条件、铸件结构等因素影响。延长液态金属在铸型中的流动时间、加快流动速度,都可以提高合金的充型能力。

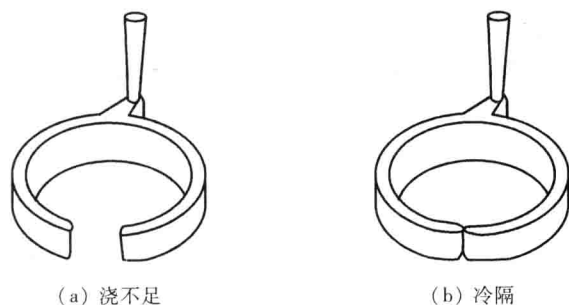


图 1-4 铸件缺陷示意图

影响合金充型能力的主要因素：

(1) 合金的流动性

合金的流动性是指液态合金自身的流动能力，它是影响充型能力的重要因素。流动性好的金属，浇注时金属液容易充满铸型的型腔，能获得轮廓清晰、尺寸精确、薄而形状复杂的铸件；还有利于金属液中夹杂物和气体的上浮排出。相反，金属的流动性差，则铸件易出现冷隔、浇不足、气孔、夹渣等缺陷。通常用浇注的螺旋形试样的长度来衡量合金的流动性。如图 1-5 所示的螺旋形试样，其截面为等截面的梯形，试样上隔 50 mm 长度有一个凸点，以便于计量其长度。合金的流动性愈好，其长度就愈长。

影响流动性的因素有很多，如合金的种类、成分和结晶特征及其他物理量等。

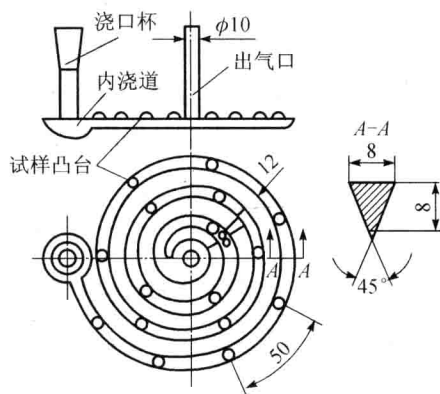


图 1-5 螺旋形标准试样

表 1-1 常用铸造合金的流动性

铸造合金		铸型材料	浇注温度/℃	螺旋线长度/mm
灰铸铁	$w_{C+Si} = 6.2\%$	砂型	1 300	1 800
	$w_{C+Si} = 5.2\%$	砂型	1 300	1 000
	$w_{C+Si} = 4.2\%$	砂型	1 300	600
硅黄铜		砂型	1 100	1 000
铝硅合金		金属型	700	750
铸钢	$w_C = 0.4\%$	砂型	1 600	100

① 合金的种类 合金的流动性与合金的熔点、导热系数、粘度等物理参数有关。不同种类的合金具有不同的流动性，根据流动性试验测得的螺旋线长度(表 1-1)，常用铸造合金中，灰铸铁、硅黄铜的流动性较好，铝合金次之，铸钢较差。

② 合金的成分和结晶特征 同类合金中，化学成分不同，合金的结晶特征不同，其流动性也不一样。图 1-6 为铁碳合金的化学成分与其流动性的关系曲线。可见，纯铁和共晶铸

铁的流动性较好。亚共晶铸铁的成分愈接近共晶成分,其流动性愈好。铸钢的熔点高,钢液的浇注温度较高,在铸型中散热很快,迅速结晶出的树枝晶会使钢液很快失去流动能力,因而其流动性比铸铁差。

纯金属和共晶合金是在恒温下进行结晶的,液态合金从铸型表面到中心逐层凝固,凝固层的内表面光滑,对液态合金的流动阻力小,故流动性好,如图 1-7(a) 所示,尤其是共晶合金的凝固温度最低,延长了合金处于液态的时间,因而流动性最好。此外,其他成分的合金均是在一定宽度的温度范围内结晶的,即在其已结晶层和纯液态区之间存在一个液、固两相共存的区域,使得已结晶层的内表面粗糙,所以非共晶成分的合金流动性变差,如图 1-7(b) 所示。且随合金成分偏离共晶点愈远,其结晶温度范围愈宽,流动性愈差。

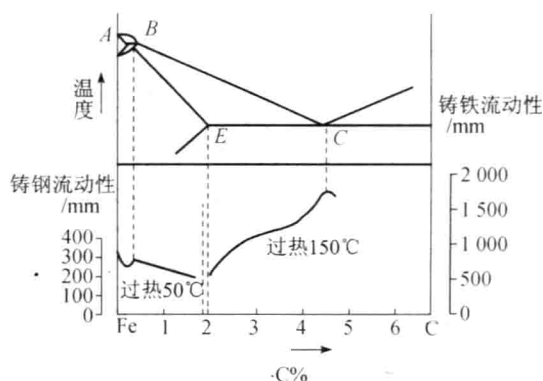
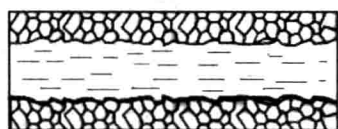
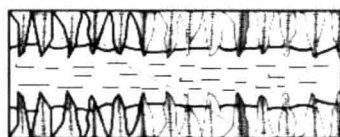


图 1-6 铁碳合金含碳量与流动性的关系



(a) 在恒温下凝固



(b) 在一定的温度范围内凝固

图 1-7 不同结晶特征合金的流动性

③ 杂质和含气量 液态金属中出现的固体杂质将使熔体的粘度增加,合金的流动性下降。如灰铁中锰和硫,多以 MnS (熔点 $1650^{\circ}C$) 的形式悬浮在铁液中,阻碍铁液的流动,使流动性下降。

同样,熔融金属中含气量越少,合金的流动性越好。

(2) 浇注条件

① 浇注温度 浇注温度对合金充型能力的影响极为显著。浇注温度越高,液态合金带入铸型的热量越多,在铸型中保持液态流动的能力愈强,且使液态合金的粘度及其与铸型之间的温度差都减小,从而改善了流动性,提高了充型能力。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,以防产生浇不足和冷隔。但是浇注温度过高,又会使液态合金吸气严重、收缩增大,反而易使铸件产生其他缺陷,如气孔、缩孔、缩松、粘砂和晶粒粗大等。故在保证液态合金流动性足够的前提下,浇注温度应尽可能低。

② 充型压力 金属液在流动方向上所受的压力越大,则流速越大,充型能力就越好。因此,常采用增加浇道的高度或人工加压的方法(如压力铸造、低压铸造等)来提高液态合金的充型能力。

(3) 铸型的充型条件

液态合金充型时,铸型的阻力及铸型对合金的冷却作用,都将影响合金的充型能力。铸

型中凡能增大液态合金流动阻力、降低流速和加快其冷却的因素,均会降低其充型能力。如铸型型腔过窄、预热温度过低、排气能力太差及铸型导热过快等,均使液态合金的充型能力降低。

(4) 铸件结构

铸件的壁愈薄、结构形状愈复杂,液态合金的充型能力愈差。应采取适当提高浇注温度、提高充型压力和预热铸型等措施来改善其充型能力。

2) 合金的收缩

(1) 合金收缩的过程

合金从浇注、凝固直至冷却到室温的过程中,其体积或尺寸缩减的现象,称为收缩。收缩是合金固有的物理特征,但如果在铸造过程中,不能对收缩进行控制,常常会导致铸件产生缩孔、缩松、变形和裂纹等缺陷。因此,必须研究合金的收缩规律,以获得合格的铸件。

如图 1-8 所示,铸造合金从浇注到铸型开始到冷却至室温,经历了三个收缩阶段:

① 液态收缩 液态合金从浇注温度到开始凝固的液相线温度之间,合金处于液态下的收缩。它使型腔内液面下降。

② 凝固收缩 即从凝固开始温度到凝固终了温度之间,合金处于凝固过程的收缩。在一般情况下,凝固收缩仍主要表现为液面的下降。

③ 固态收缩 即从凝固终了温度至室温之间,合金处于固态下的收缩。此阶段的收缩表现为铸件线性尺寸的减小。

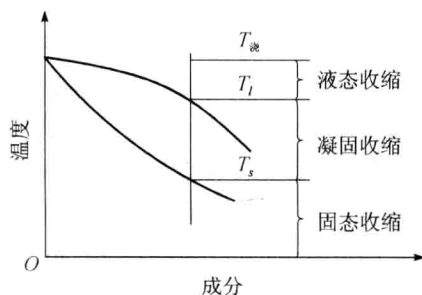


图 1-8 合金收缩的三个阶段

合金的总收缩为上述三种收缩的总和。合金的液态收缩和凝固收缩表现为合金体积的缩减,常用体积收缩率表示,是形成铸件缩孔和缩松缺陷的基本原因。合金的固态收缩,直观地表现为铸件轮廓尺寸的减小,因而常用铸件单位长度上的收缩量,即线收缩率来表示,是铸件产生内应力、变形和裂纹的基本原因。

(2) 影响合金收缩的因素

合金的实际收缩率与其化学成分、浇注温度、铸件结构和铸型条件有关。

① 化学成分 不同合金的收缩率不同,在常用铸造合金中,铸钢收缩率最大,而灰铸铁最小,这是因为灰铸铁中的碳在凝固过程中以石墨析出,石墨的比容大,产生体积膨胀,部分抵消了合金的收缩。灰铸铁中的碳、硅含量越高,其石墨化能力越强,故灰铸铁的收缩率越小;而硫可阻碍石墨析出,使灰铸铁收缩率增大。

② 浇注温度 浇注温度越高,过热度越大,合金的液态收缩增加,因而总收缩率就越大。

③ 铸件结构和铸型条件 铸件在铸型中的凝固收缩往往不是自由收缩而是受阻收缩,其阻力来源于两个方面:铸件各个部分的冷却速度不同,引起各部分收缩不一致,相互约束而产生阻力;铸型和型芯对收缩的机械阻力。因此,铸件的收缩率比自由收缩率要小一些。铸件结构越复杂,铸型硬度越高,铸件的收缩阻力就越大,铸件的收缩减小,但铸造应力