



普通高等院校机械类规划系列教材

徐立新 主编

CAILIAO CHENGXING
JISHU JICHU

材料成形 技术基础



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

普通高等院校机械类规划系列教材

内容简介

本书共分5章，第1章绪论，第2章金属材料，第3章非金属材料，第4章材料成型工艺，第5章材料成型设备。本书可作为高等院校机械类及相关专业教材，也可供从事材料成型工作的工程技术人员参考。

材料成型技术基础

徐立新 主编

牛卫中 主审

1. ①材料成型技术基础 ②材料成型工艺 ③材料成型设备 ④材料成型材料 ⑤材料成型设备 ⑥材料成型工艺 ⑦材料成型材料 ⑧材料成型设备 ⑨材料成型工艺 ⑩材料成型材料 ⑪材料成型设备 ⑫材料成型工艺 ⑬材料成型材料 ⑭材料成型设备 ⑮材料成型工艺 ⑯材料成型材料 ⑰材料成型设备 ⑱材料成型工艺 ⑲材料成型材料 ⑳材料成型设备 ㉑材料成型工艺 ㉒材料成型材料 ㉓材料成型设备 ㉔材料成型工艺 ㉕材料成型材料 ㉖材料成型设备 ㉗材料成型工艺 ㉘材料成型材料 ㉙材料成型设备 ㉚材料成型工艺 ㉛材料成型材料 ㉜材料成型设备 ㉝材料成型工艺 ㉞材料成型材料 ㉟材料成型设备 ㊱材料成型工艺 ㊲材料成型材料 ㊳材料成型设备 ㊴材料成型工艺 ㊵材料成型材料 ㊶材料成型设备 ㊷材料成型工艺 ㊸材料成型材料 ㊹材料成型设备 ㊺材料成型工艺 ㊻材料成型材料 ㊼材料成型设备 ㊽材料成型工艺 ㊾材料成型材料 ㊿材料成型设备

8-87002064

8-87002064

(成教二) 2010年1月

ISBN 978-7-5643-0687-8
定价：35.00元
2010年7月第1版
2010年7月第1次印刷
字数：464千字
印数：1—3 000册

西南交通大学出版社
成都

内 容 简 介

本书共分为 5 篇, 全面介绍了金属材料铸造成形、塑性成形、焊接成形、粉末冶金成形与塑料成形、复合材料成形以及陶瓷成形的基本原理、工艺方法、技术要点和实际应用, 讲述了各种成形工艺的选用原则和方法。为扩展学生的知识面, 在书中还介绍了近年新发展起来的一些先进成形工艺与技术。

本书可作为机械设计制造及其自动化专业、材料成形与控制工程专业及相近专业的专业基础课教材, 也可供这些领域的工程技术人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

材料成形技术基础 / 徐立新主编. —成都: 西南
交通大学出版社, 2010.7
(普通高等院校机械类规划系列教材)
ISBN 978-7-5643-0687-8

I. ①材… II. ①徐… 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 (2010) 第 103378 号

材料成形技术基础

徐立新 主编

*

责任编辑 孟苏成

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 18.75

字数: 464 千字 印数: 1—3 000 册

2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-0687-8

定价: 32.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

普通高等院校机械类规划系列教材
编审委员会名单

(按姓氏音序排列)

主 任	吴鹿鸣				
副主任	蔡 勇	蔡长韬	蔡慧林	董万福	冯 鉴
	侯勇俊	黄文权	李 军	李泽蓉	孙 未
	吴 斌	周光万	朱建公		
委 员	陈永强	党玉春	邓茂云	董仲良	范志勇
	龚迪琛	何 俊	蒋 刚	李宏穆	李玉萍
	刘念聪	刘转华	陆兆峰	罗 红	乔水明
	秦小屿	邱亚玲	宋 琳	付 春	汪 勇
	王海军	王顺花	王 忠	谢 敏	徐立新
	应 琴	喻洪平	张 静	张良栋	张玲玲
	赵登峰	郑悦明	钟 良	朱 江	

总 序

装备制造业是国民经济重要的支柱产业，随着国民经济的迅速发展，我国正由制造大国向制造强国转变。为了适应现代先进制造技术和现代设计理论和方法的发展，需要培养高素质复合型人才。近年来，各高校对机械类专业进行了卓有成效的教育教学改革。和过去相比，在教学理念、专业建设、课程设置、教学内容、教学手段和教学方法上，都发生了重大变化。

为了反映目前的教育教学改革成果，切实为高校的教育教学服务，西南交通大学出版社联合众多西部高校，共同编写系列适用教材，推出了这套“普通高等院校机械类规划系列教材”。

本系列教材体现“夯实基础，拓宽前沿”的主导思想。要求重视基础知识，保持知识体系的必要完整性，同时，适度拓宽前沿，将反映行业进步的新理论、新技术融入其中。在编写上，体现三个鲜明特色：首先，要回归工程，从工程实际出发，培养学生的工程能力和创新能力；其次，具有实用性，所选取的内容在实际工作中学有所用；再者，教材要贴近学生，面向学生，在形式上有利于进行自主探究式学习。本系列教材，重视实践和实验在教学中的积极作用。

本系列教材特色鲜明，主要针对应用型本科教学编写，同时也适用于其他类型的高校选用。希望本套教材所体现的思想和具有的特色能够得到广大教师和学生的认同。同时，也希望广大读者在使用中提出宝贵意见，对不足之处，不吝赐教，以便让本套教材不断完善。

最后，衷心感谢西南地区机械设计教学研究会、四川省机械工程学会机械设计（传动）分会对本套教材编写提供的大力支持与帮助！感谢本套教材所有的编写者、主编、主审所付出的辛勤劳动！

首届国家级教学名师

西南交通大学教授

吴鹿鸣

2010年5月

前 言

材料成形技术基础课程是按教育部面向 21 世纪工科本科机械类专业人才培养模式改革要求而设置的机械基础系列课程之一。该课程是机械及近机械专业学生必修的一门技术基础课,是研究金属和非金属零件及其毛坯成形过程、原理及特点的一门技术基础课程,其内容包括金属铸造成形、金属塑性成形、金属焊接成形、粉末冶金成形、塑料成形、复合材料成形、陶瓷成形以及有关模具设计、加工制造方面的专业知识。随着国内外净形或近似净形加工技术的发展,材料成形工艺在机械制造行业的重要性日益增强,它不但可以减少机械零件制造的成本,提高其强度和服役寿命,节材、节能,而且使劳动生产率大幅度提高。

本书与机械工程材料、机械制造技术基础、金工实习等课程所用的教材互相配合,合理分工,在学习时要尽量注意各相关课程的交叉和衔接,从机械基础系列课程总体布局上进行内容的整合和优化。本书以对成形件结构特征的分析为主线,在学生金工实习获得的铸、锻、焊、机械加工实践的基础上,围绕一般金属材料、非金属材料、复合材料的基本原理、工艺方法、技术要点及应用,力求较系统地讲述各种金属、非金属毛坯和零件的成形过程,为学生参加工作以后能够结合生产实际情况,合理选择毛坯和零件成形过程,正确分析成形件结构特征打下必要的技术基础。为扩展学生的知识面,书中还介绍了近年新发展起来的一些先进成形工艺与技术。

学生在本课程的学习过程中应注意密切联系生产实际,结合本课程的学习了解某一工厂、某一车间的材料成形工艺的现状与发展动态,进一步掌握材料成形工艺的基本知识,分析各类成形工艺的优缺点及局限性。可针对某一具体零件结合实际情况进行分析和论证,选择恰当的材料成形工艺等。通过现场分析学习,理论联系实际,学生还可以明白某些具体成形工艺(例如挤压与锻造,电阻焊与摩擦焊,压力铸造与一般铸造)的差异,可对零件成形过程中的生产成本及难易程度、提高产品品质的途径、提高生产率的措施等进行分析、评判。

本课程的学习可为学生学习后续课程和从事机械设计、制造及管理工作打下必要的技术基础。学完本课程后,学生应能根据产品的形状、结构、尺寸以及生产实际情况(如设备、工模夹具以及人员素质等)选用合理的成形工艺。

本书由徐立新主编,史雪婷、张媛、韩兴瑞参编。其中徐立新负责全书统稿并撰写前言、绪论、第 1 篇、第 5 篇;史雪婷撰写第 2 篇;张媛撰写第 3 篇;韩兴瑞撰写第 4 篇。

本书由兰州交通大学牛卫中教授担任主审,他在审稿中提出了一些宝贵的意见并订正了个别错误。在本书的调研、编写过程中还得到了兰州交通大学机电工程学院材料科学与工程系全体同仁与很多院校、科研单位领导和同仁们的大力支持和热情帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中疏漏和错误在所难免,恳切希望专家、读者批评指正。

编 者

2010 年 5 月

目 录

绪 论	1
第 1 篇 金属铸造成形工艺	
第 1 章 铸造成形工艺的理论基础	5
1.1 概 述	5
1.2 液态金属成形工艺基础	6
思考与练习	17
第 2 章 常用铸造合金及其熔炼	19
2.1 铸铁件的生产	19
2.2 铸钢件的生产	32
2.3 非铁合金铸件的生产	35
思考与练习	37
第 3 章 金属的铸造成形工艺	38
3.1 砂型铸造	38
3.2 特种铸造	44
3.3 常用铸造方法的选择	54
思考与练习	56
第 4 章 砂型铸造工艺设计	57
4.1 砂型铸造工艺方案的确定	57
4.2 铸造工艺参数的确定	60
4.3 浇注系统和冒口	64
4.4 零件的铸造工艺图的制订及铸件图举例	67
思考与练习	70
第 5 章 铸件的结构设计	73
5.1 铸件设计的内容	73
5.2 铸件结构设计应考虑的其他方面	78
思考与练习	81
第 2 篇 金属塑性成形工艺	
第 6 章 金属塑性成形的工艺理论基础	84
6.1 概 述	84
6.2 金属的塑性变形	85

6.3 塑性变形理论及假设	88
6.4 影响塑性变形的因素	89
思考与练习	91
第7章 锻造成形工艺	93
7.1 自由锻	93
7.2 模 锻	102
思考与练习	112
第8章 板料的冲压成形工艺	114
8.1 分离工序	115
8.2 成形工序	121
8.3 冷冲压模具	128
8.4 冲压工艺过程实例分析	131
思考与练习	134
第9章 其他塑性成形方法	135
9.1 挤 压	135
9.2 拉 拔	137
9.3 辊 轧	137
9.4 旋 压	138
9.5 塑性成形新工艺、新技术简介	139
9.6 计算机在塑性成形加工中的应用	141
9.7 常用塑性成形方法的选择	141
思考与练习	143
第3篇 金属焊接成形工艺	
第10章 焊接成形工艺的理论基础	144
10.1 焊接成形工艺的分类及特点	144
10.2 焊接化学冶金	145
10.3 焊接接头的组织和性能	147
10.4 焊接缺陷及控制	149
10.5 焊接检验	153
思考与练习	154
第11章 熔焊工艺	155
11.1 焊条电弧焊	155
11.2 气体保护焊	162
11.3 埋弧焊	165
11.4 其他熔焊方法简介	168

思考与练习	173
第 12 章 压焊、钎焊工艺	174
12.1 电阻焊	174
12.2 摩擦焊	178
12.3 扩散焊	180
12.4 超声波焊	181
12.5 钎 焊	182
思考与练习	184
第 13 章 金属材料的焊接性	185
13.1 金属的焊接性及其评定方法	185
13.2 碳钢的焊接	187
13.3 低合金高强度结构钢的焊接	188
13.4 不锈钢的焊接	190
13.5 铸铁的焊接	192
13.6 有色金属的焊接	193
思考与练习	195
第 14 章 焊接结构的工艺设计	197
14.1 焊接结构的特点及常用材料	197
14.2 焊接接头及其设计	198
14.3 焊接应力与变形	202
14.4 典型焊接结构的工艺设计举例	207
思考与练习	208

第 4 篇 材料的其他成形工艺

第 15 章 粉末冶金成形	210
15.1 粉末冶金工艺	211
15.2 粉末冶金制品的结构工艺性	223
15.3 粉末冶金成形件的缺陷分析	226
15.4 粉末冶金新工艺、新技术简介	228
思考与练习	231
第 16 章 塑料成形	232
16.1 塑料成形的理论基础	232
16.2 注射成形工艺及模具设计	237
16.3 塑料的其他成形工艺	243
16.4 塑料制品的结构工艺性	247
思考与练习	253

第 17 章 复合材料成形	255
17.1 复合材料的分类及强化机理	255
17.2 复合材料的成形工艺	256
思考与练习	264
第 18 章 陶瓷成形	265
18.1 陶瓷材料的分类、性能及用途	265
18.2 特种陶瓷的成形	268
思考与练习	275

第 5 篇 材料成形方法选择

第 19 章 材料成形方法选择	276
19.1 毛坯的分类及生产特点	276
19.2 材料成形方法选择的原则与依据	277
19.3 材料成形方法选择举例	281
思考与练习	284
参考文献	286

第 4 章 材料成形工艺

1.1 绪论	1
1.2 材料成形工艺的分类	2
1.3 材料成形工艺的发展	3
1.4 材料成形工艺的选择	4
1.5 材料成形工艺的改进	5
1.6 材料成形工艺的总结	6
1.7 材料成形工艺的展望	7
1.8 材料成形工艺的参考文献	8
1.9 材料成形工艺的思考与练习	9
1.10 材料成形工艺的参考文献	10
1.11 材料成形工艺的思考与练习	11
1.12 材料成形工艺的参考文献	12
1.13 材料成形工艺的思考与练习	13
1.14 材料成形工艺的参考文献	14
1.15 材料成形工艺的思考与练习	15
1.16 材料成形工艺的参考文献	16
1.17 材料成形工艺的思考与练习	17
1.18 材料成形工艺的参考文献	18
1.19 材料成形工艺的思考与练习	19
1.20 材料成形工艺的参考文献	20

绪论

材料是上米生产生活的物质基础。材料的发展推动上米社会的进步。上米是日用佳品。

材料成形技术基础是机械类专业用工程材料课程及机器零件成形工艺原理的综合技术

材料成形技术主要包括金属铸造成形技术、金属塑性成形技术、金属焊接成形技术和非

2. 我国材料成形技术发展概况

我国的铸造、锻造生产历史悠久，是世界上最早应用铸造和锻造技术的国家之一。^[12]

近十年来以来,随着我国国民经济持续快速发展,钢铁工业产需迅猛增长,近十年来

我国目前 钢铁 铸件 十国 但不是强国 主要存在的问题是：企业数量多，但规模小。

对机械装备的大力投资, 我们有信心让我国的铸、锻、焊技术走在世界前列。

3. 材料成形技术的作用和地位

材料成形技术在汽车、铁路、航空航天、石油化工、桥梁、冶金、机床、兵器、仪器仪表、家用电器、农业机械、工程机械、动力机械、起重机械等制造业中, 起着极为重要的作用。它是实现这些行业中的铸件、锻件、焊件、钣金件、塑料件和复合材料件等生产的主要方式和方法。机械制造过程中铸造、锻压、焊接、冲压和轧制型材是常见的金属毛坯成形方法, 而其他材料的成形方法则各不相同。

铸造属于液态成形技术, 是将液态合金注入铸造模型中使之冷却、凝固而获得铸件产品。采用铸造方法可以生产铸铁件、铸钢件, 各种铝、铜、镁、钛及锌等有色合金铸件, 我国已铸造出重约 315 t 的大型厚板轧机的铸钢构架, 还铸出大型水轮机转子等复杂铸件。还可以铸造壁厚为 0.3 mm、长度为 12 mm、质量为 12 g 的小型铸件。铸造在工业生产中获得了广泛应用, 在一般机械设备中, 铸件占整个机械设备重量的 40%~90%, 如在机床和内燃机中铸件重量占 70%~90%, 在风机、压缩机中铸件重量占 60%~80%, 汽车的铸件重量占 40%~60%, 拖拉机的铸件重量占 50%~70%。

锻造与冲压属于塑性成形技术, 是在锻压机器的外力作用下将加热后或在室温下的固态金属通过模具成形为所需锻件或冲压件产品。采用塑性成形方法, 既可以生产钢锻件、钢板冲压件、各种有色金属及其合金的锻件和板料冲压件, 还可以生产塑料件和橡胶制品。塑性成形加工的零件和制品, 其比例在汽车和摩托车中占 70%~80%, 在拖拉机及农业机械中约占 50%, 在航空航天中占 50%~60%, 在仪表中约占 90%, 在家用电器中占 90%~95%, 在工程与动力机械中占 20%~40%。

焊接属于连接成形技术, 是将数个坯件或零件通过焊接方法连接为一个整体构件而获得焊接产品。采用连接技术, 既可以对同种材料进行连接, 也可以对异种材料进行连接。焊接技术在钢铁、桥梁、建筑、汽车、机车车辆、舰船、航空航天飞行器、电站、石油化工设备、机床、工程机械、电器与电子产品、城市高架或地铁、油和气远距离传输管道、高能粒子加速器等许多重大工程中, 都占有十分重要的地位。

其他材料成形技术, 如注塑是采用注射成型机将粒状塑料连续输入到成型机的料筒并加热熔融使其呈黏流态, 由料筒中的螺杆或柱塞通过喷嘴注入到闭合的模具型腔中, 经过保压和冷却固化定型而得到塑料制品。塑料产品、陶瓷产品、复合材料产品等已在民用和工业产品中广泛应用。

总之, 材料成形技术是制造技术的一个重要领域, 金属材料约有 70% 以上需经铸、锻、焊成形加工才能获得所需的制品, 非金属材料也主要依靠成形工艺才能加工成半成品或最终产品。以载重汽车为例, 一辆汽车由数十个部件、上万个零件装配而成。其中发动机上的气缸体、气缸套、气缸盖、离合器壳体、手动变速箱壳体、后桥壳体、活塞、化油器壳体、油泵壳体等, 系采用铸铁、铸铝和铝合金压铸工艺生产; 连杆、曲轴、气门、齿轮、同步器、万向节、十字轴、半轴、前桥等, 系采用模锻工艺生产; 驾驶室顶棚、车门、前盖板、挡泥板、侧围板、后围板、车厢、油箱、底盘上的大梁、横梁、保险杠、轮毂等零件, 系采用冲压工艺和焊接工艺联合生产; 仪表板(部分汽车)、方向盘、灯罩(部分)等, 系采用注塑成形; 而轮胎为橡胶压制件。总之, 一辆汽车中有 80%~90% 的零件是采用成形方法生产的。

4. 材料成形技术的特点

材料成形技术中最主要的成形方法有铸造、锻造、冲压、焊接与注塑等。与机械切削加工工艺(冷加工)相比较,材料成形技术的特点如下:

(1) 材料一般在热态下成形。材料在热态下(固态或液态)通过模具或模型,在机器外力或材料自重作用下成形为所需制件,制件留有一定的机械加工余量或机械加工余量为零,形状与最终零件产品相似或完全相同。

(2) 材料利用率高。对于相同的零件产品,当采用棒料或块料金属为毛坯时,需要通过车、铣、刨、磨、钻、镗等方法将多余的金属切削掉,从而得到所需零件产品;而当采用铸、锻件为毛坯进行切削加工时,则仅将其加工余量切削掉即可。以常见的锥齿轮、汽车轮胎螺母为例,当采用第一种工艺生产时,其材料的利用率分别仅为 41%、37%;当采用第二种工艺生产时,材料的利用率分别为 68%、72%;当采用精密成形工艺生产时,材料利用率分别为 83%、92%。可见,采用普通成形工艺时,材料利用率比切削加工时分别提高了 27%、35%;而采用精密成形工艺时则分别提高了 42%、55%。其一般规律是,零件形状越复杂,采用成形工艺时的材料利用率越高。

(3) 产品性能好。这主要是由于采用成形技术时,材料尤其是金属材料中的纤维组织沿零件的轮廓形状分布,纤维连续,而切削加工时则将金属纤维割断;其次,材料是在外力或自重下处于以压应力为主的应力状态下成形,有利于提高材料的成形性能和材料的内在质量,如强度、疲劳寿命等。以锥齿轮为例,采用模锻工艺生产同采用切削加工相比,其强度、抗弯疲劳寿命均提高 20%,而热处理变形降低了 30%,这将有利于提高其使用寿命。

(4) 产品尺寸规格一致,生产率高。许多材料成形工艺通过机械化或自动化可实现大批量乃至大规模生产,对于大批量生产的机电与家电产品更能获得价廉物美的效果。以锥齿轮和汽车轮胎螺母为例,同采用切削加工相比其生产率提高了 2 倍和 3 倍。

(5) 一般成形制件的尺寸精度、表面粗糙度不如切削加工出的零件。因为在热态下成形时,因金属毛坯的氧化和热胀冷缩等因素,其制件尺寸和表面粗糙度受到影响。另外,成形时因模具或模型的磨损、弹性变形等因素,也会影响到制件的尺寸和表面粗糙度。

因此,对于金属零件的生产,一般是先采用材料成形工艺获得具有一定机械加工余量和尺寸精度的毛坯,然后再通过机械切削加工获得最终产品。

5. 材料成形技术的发展趋势

机械制造业是国民经济的支柱产业。近年来,随着科学技术的发展,机械产品的更新换代速度加快,产品对材料成形技术提出了更高更新的要求。随着新能源、新材料、计算机技术、智能化等新技术的不断引入,为机械制造技术提供了更加广阔的发展空间。随着经济的全球化,要求制造企业对市场反应更敏捷化。在制造业的发展中,先进制造技术的发展趋势则起着关键作用。

新型材料的出现使传统的铸、锻、焊、热、切削加工工艺的技术构成逐渐发生了变化,即一方面要对传统的成形工艺不断改造,另一方面要引用新的工艺设备。通过采用新型的工艺材料,改善工艺条件,优化工艺参数等途径,实现加工工艺的高效化、精密化、强韧化和轻量化,形成优质、高效、低耗、轻污染的先进适用工艺。如使焊接技术从以“焊钢”为中心,发展成同时焊接各种异型材料,使单一的焊接技术发展成为焊接-连接技术,使固态焊接、

扩散连接、特种钎焊等焊接技术在工程塑料、工程陶瓷、复合材料的焊接-连接技术上更加体现其优越性。发展以气体保护自动焊或埋弧自动焊取代手工焊条焊接；以可控气氛热处理和真空热处理取代氧化气氛中的热处理；以无氰电镀取代有氰电镀；以涂层刀具、超硬刀具、机夹刀具代替普通刀具；以数控加工代替普通机床加工等。

新的能源出现，使得“自由成形”成为现实。激光、电子束、离子束、超声波、电磁、射流等技术形成了全新的特种加工技术，使得熔炼、焊接、切割、热处理、表面处理等工艺在生产效率和加工精度等方面得到了大幅度提高。

材料成形技术的另一个发展方向就是复合成形技术，工艺有铸锻复合、锻焊复合、铸焊复合和不同塑性成形方法的复合等。如液态模锻复合成形工艺，它是将一定量的液态金属注入金属模膛，然后施以机械静压力，使熔融或半熔融的金属在压力下结晶凝固，并产生少量的塑性变形，从而获得所需制件。它综合了铸、锻两种工艺的的优点，尤其适合于锰、锌、铜、镁等有色金属合金零件的成形加工，近年来发展很快。

信息技术正在向制造技术注入和融合，促进着制造技术的不断发展；设计技术在不断现代化的同时，设计不仅只是单纯追求某项性能指标的先进和高低，而是注意考虑市场、价格、安全、美学、资源、环境等方面的影响；成形及改进制造技术向精密、精确、少能耗、无污染方向发展，成形技术正在从制造工件的毛坯、从接近零件的形状向直接制造工件即精密成形或净成形的方向发展。此外，工艺将由技艺发展为工程科学，使工艺设计由经验判断走向定量分析，工艺模拟将广泛用于金属切削和产品制造过程，使产品设计完成时，成形制造的准备工作的同时也完成。随着先进制造技术的不断进步，冷热加工之间，加工、检测、物流、装配过程之间，设计、材料应用、加工制造之间，其界限将逐渐淡化，并逐渐走向一体化。例如，计算机集成制造系统（CIMS）把计算机辅助设计（CAD）系统、计算机辅助制造（CAM）系统和生产管理信息系统（MIS）综合成一个有机整体，实现了机械制造过程高度自动化，极大地提高了劳动生产效率和社会经济效益。机器人加工工作站及 FMS 的出现，使加工、检测过程和物流过程融为一体，精密成形技术则淡化了冷热加工的界限。受环境和资源的限制，绿色制造将成为 21 世纪制造业的重要特征，这包括产品的回收和循环再制造。在产品真正制造出来以前，先在虚拟制造环境中生成产品原形代替传统的硬样品进行试验，对其性能和可制造性进行预测和评价，从而缩短了产品的设计与制造周期，降低了成本，提高了系统快速响应市场变化的能力，也是发展趋势之一。各种新技术的紧密结合，将使先进制造生产模式获得不断发展。

第1篇 金属铸造成形工艺

第1章 铸造成形工艺的理论基础

1.1 概 述

铸造是将液态金属（一般为合金）在重力或外力作用下浇注到具有与零件形状、尺寸相适应的铸型型腔中，待其凝固冷却后，获得所需形状、尺寸与性能的毛坯或零件的方法。它是毛坯或机器零件成形的重要方法之一。

用铸造方法获得的毛坯或零件统称铸件。铸件一般是毛坯，需经切削加工后才能成为零件。

1.1.1 铸造成形的特点

金属材料在液态下一次成形的性质使其具有很多优点：

(1) 适应性广，材料、大小、形状几乎不受限制。凡能熔化成液态的金属材料几乎均可用于铸造。工业上常用的金属材料，如铸铁、碳素钢、合金钢、非铁合金等，均可在液态下成形，特别是对于不宜压力加工或焊接成形的材料，该生产方法具有特殊的优势。质量可从零点几克到数百吨，壁厚可从1 mm到1 000 mm。如小到零点几克的钟表零件，大到数百吨的轧钢机机架，均可铸造成形。

(2) 工艺灵活性大，适合制造形状复杂、特别是内腔形状复杂的铸件。如形状复杂的箱体、机床床身、机架、阀体、泵体、叶轮、气缸体、螺旋桨铸件等。

(3) 生产成本较低。铸件与最终零件的形状相似、尺寸相近，加工余量小，可减少切削加工量。精密铸件可以省去切削加工，直接用于装配。生产中的金属废料和废件，可以回炉重熔，提高了材料的利用率。铸造设备的投资少，所用的原材料来源广泛且价格较低，因此降低了产品的成本。

铸造成形的主要缺点是：液态金属直接凝固成形的零件，组织疏松、晶粒粗大，铸件内部常有缩孔、缩松、气孔等缺陷产生，导致铸件力学性能，特别是冲击性能较低。另外，铸件表面粗糙，尺寸精度不高。一般来说，铸造工作环境较差，工人劳动强度大。

随着特种铸造技术的发展，铸件质量已有了很大的提高，工作环境也有了进一步改善。

铸造在工业生产获得了广泛应用，铸件所占的比重相当大。在一般机械设备中，铸件

占整个机械设备重量的 40%~90%，如在机床和内燃机上铸件重量占 70%~90%，汽车铸件重量约占 40%~60%，拖拉机的铸件重量占 50%~70%。在国民经济其他各个部门中，也广泛采用铸件。铸铁件的应用最广，其产量占铸件总产量的 70%以上。

1.1.2 铸造成形的分类

铸造从铸型材料、造型方法来分，可分为砂型铸造和特种铸造两大类。砂型铸造适用于金属材料、大小、形状和批量不同的各种铸件，成本低廉，由砂型铸造生产的铸件占铸件总产量的 90%以上。特种铸造是指砂型铸造以外的铸造工艺，常见的有熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造和离心铸造等。特种铸造在铸件品质、生产率等方面优于砂型铸造，但其使用有局限性，成本也比砂型铸造高。

1.2 液态金属成形工艺基础

合金在铸造过程中所表现出来的工艺性能，称为合金的铸造性能，主要包括合金的流动性、收缩性、吸气性以及成分偏析性等。这些性能对铸件的品质有很大的影响。因此，合金的铸造性能是选择铸造合金材料、确定铸造工艺方案、进行铸件结构设计的依据之一。

1.2.1 熔融合金的流动性及充型

液态合金充满型腔是获得形状完整、轮廓清晰的合格铸件的保证。将液态合金充满型腔的能力称为合金的充型能力。若液态合金的充型能力不足，铸件将产生浇不到、冷隔等缺陷。影响合金充型能力的因素很多，凡影响液态合金在铸型中的流动时间和流动速度的因素，都会影响其充型能力，其中主要的是合金的流动性、浇注条件和铸型的填充条件等。

1.2.1.1 熔融合金的流动性

1. 流动性

熔融合金在液态下的流动能力，称为熔融合金的流动性。合金流动性差，铸件易产生浇不到、冷隔、气孔和夹杂等缺陷。合金流动性好，合金的充型能力就强，有利于充满型腔，也就越易于铸出轮廓清晰的薄壁复杂铸件，有利于液态合金中气体和非金属夹杂物上浮与排出，利于对铸件进行补缩。

衡量合金的流动性，是将液态合金浇入螺旋形流动性试样所形成的铸型中，冷凝后，测出浇注试件的实际螺旋线长度。为便于测定，在标准试样上每隔 50 mm 设置一个凸台标记，如图 1.1 所示。在相同的工艺条件下，螺旋线越长，合金的流动性就越好。常用合金的流动性数值见表 1.1。其中，在常用的铸造合金中，灰铸铁、硅黄铜的流动性较好，铝合金的流动性居中，铸钢的流动性较差。影响合金流动性的因素有化学成分和铸型及浇注条件。

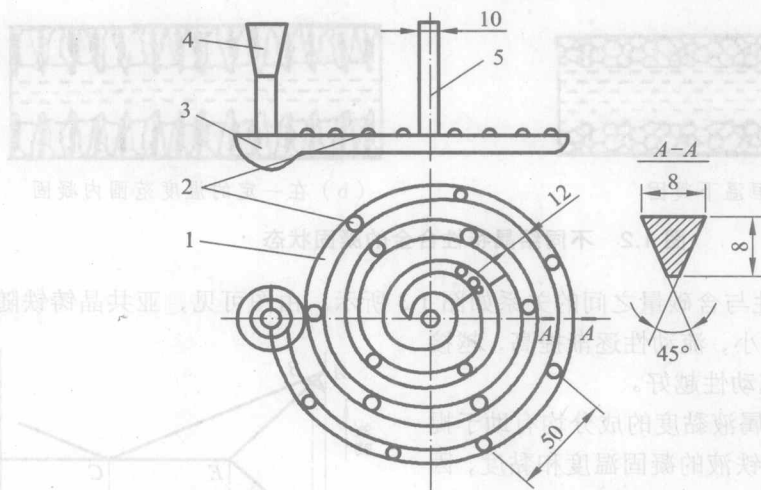


图 1.1 螺旋形金属液体流动性试样

1—试样铸件；2—试样凸台；3—内浇道；4—浇口杯；5—冒口

表 1.1 常用合金的流动性（砂型，试样截面 8 mm×8 mm）

合金种类	元素含量	铸型种类	浇注温度/°C	螺旋线长度/mm
灰铸铁	$w_{C+Si} = 6.2\%$	砂型	1 300	1 800
	$w_{C+Si} = 5.9\%$	砂型	1 300	1 300
	$w_{C+Si} = 5.2\%$	砂型	1 300	1 000
	$w_{C+Si} = 4.2\%$	砂型	1 300	600
铸钢	$w_C = 0.4\%$	砂型	1 600	100
		砂型	1 640	200
锡青铜	$w_{Sn} \approx 10\%, w_{Zn} \approx 2\%$	砂型	1 040	420
硅黄铜	$w_{Si} = 1.5\% \sim 4.5\%$	砂型	1 100	1 000
铝硅合金（硅铝明）		金属型（300 °C）	680 ~ 720	700 ~ 800
镁合金（含 Al 和 Zn）		砂型	700	400 ~ 600

2. 影响合金流动性的因素

(1) 化学成分。不同化学成分的合金，因结晶特性、黏度不同，其流动性也不同。纯金属和共晶成分的合金的结晶特点是在恒温下凝固，凝固是由铸件壁表面向中间层推进，凝固后的表面比较平滑[见图 1.2 (a)]，对未凝固合金液体的流动阻力较小，金属流动的距离长。另外，在相同的浇注温度下，由于共晶成分合金凝固温度最低，相对来说，液态金属的过热度大，推迟了液态金属的凝固。因此，共晶成分合金的流动性最好。亚共晶合金的结晶特点是在一个温度范围内凝固，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，树枝状晶使凝固前沿的液固界面粗糙[见图 1.2 (b)]，增加了对合金流动的阻力。合金的凝固温度范围越大，树枝晶越发达，其流动性也越差。