

# 机械加工工艺及现代制造技术

Jixie Jiagonggongyi Ji Xiandai Zhizaojishu

主 编：徐耀信

副主编：冯 鉴

参 编：郭世伟 陶林 杨德友

主 审：杨治国

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

-----  
图书在版编目 ( C I P ) 数据

机械加工工艺及现代制造技术 / 徐耀信主编. —成都 :  
西南交通大学出版社, 2005.2

ISBN 7-81104-021-2

. 机... . 徐... . 机械加工—工艺 . TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 001175 号  
-----

## 机械加工工艺及现代制造技术

主编 徐耀信

责任编辑	刘莉东
封面设计	本格设计
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	(028) 87600564 87600533
邮 编	610031
网 址	<a href="http://press.swjtu.edu.cn">http://press.swjtu.edu.cn</a>
电子邮箱	<a href="mailto:cbsxx@swjtu.edu.cn">cbsxx@swjtu.edu.cn</a>
印 刷	四川森林印务有限责任公司
开 本	787 mm × 1 092 mm 1/16
印 张	20.75
字 数	511 千字
版 次	2005 年 2 月第 1 版
印 次	2005 年 2 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 7-81104-021-2/TG · 008
定 价	29.80 元

图书如有印装问题 本社负责退换  
版权所有 盗版必究 举报电话:(028)87600562

# 前 言

机械制造技术，在人类历史的长河中为人类的发展和进步做出了重大贡献。它的内涵十分丰富而广泛，这方面的论著及教材更是众多。现在，科技的飞跃，使世界面貌日新月异，而且在机械制造技术方面也是被其覆盖、渗透，深得其益。由此应运而生的现代制造技术正不断创造、发展、应用。学习机械工程各专业的学生都必须学习机械制造技术的知识，才能使自己设计的产品结构更合理，更便于制造；能够根据不同的产品，选择合理的机械加工方法，制定正确的工艺流程，达到高效率、高质量的目的。

如何使学生掌握好常规机械加工工艺方法的基础知识，为适应未来需要，深刻领会现代制造技术的精髓，成为具有创新能力的人和人才市场竞争中取胜的佼佼者，是我们站在讲台上的这些人经常思考的问题。因此我们几位一直从事教学工作的老、中、青三代人，依据现实情况及多年的教学实践心得，搜集资料，分析思考，撰写出这本“机械加工工艺及现代制造技术”。根据机械类专业宽口径培养的目标，以重基础、少学时、低重心、新知识、宽面向的教育改革思路为指导，精化常规的机械加工工艺方法，突出重点，学以致用。注重分析论述现代制造技术，与现代科技接轨，并根据目前高校课程整合的实际，从保证产品质量为切入点，融入互换性的知识。为辅助学习，在常规机械加工工艺方法后还附有复习思考题。

全书注重培养学生分析问题和认识问题的能力。因为教学时间是有限的，而学生毕业后终身继续学习的时间是无限的，只有注重了能力的培养，学生今后才能根据不同的现实情况，深入分析，合理解决机械制造中的各种问题，在提高制造效率及质量上达到良好的效果。

本书由徐耀信教授任主编和统稿，编写绪论、第十六~十八章；冯鉴副教授任副主编，编写第五~八章、第十一~十五章；郭世伟编写第一~三章；陶林编写第四章，并在部分初稿编写过程中，承担了文字编排和绘图工作；杨德友编写第九章、第十章、第十九章。四川大学杨治国教授主审。

本书在编写过程中一直得到学校及同事们的支持，以及西南交通大学出版社的鼓励、帮助。在此对有关部门及同仁们的关心，主审的精心审阅表示衷心感谢。

由于许多新技术在不断深化完善，我们认识及水平的局限，使管窥之见，未及全面，本书不足及错误之处难免，望广大读者批评指正。

编 者

2005年1月

# 目 录

绪 论	1
第一节 机械制造技术的发展及在国民经济中的地位	1
第二节 课程的主要内容和学习目的	2
第三节 学习的方法和特点	3

## 第一篇 机械加工工艺的主要方法

第一章 热加工工艺及压力加工	5
第一节 铸造生产	5
第二节 锻压生产	21
第三节 焊接生产	38
第二章 冷加工工艺	64
第一节 金属切削加工基础知识	64
第二节 切削机床的基础知识	77
第三节 各种表面的机械加工方法	93
第三章 保证机械产品质量的方法	111
第一节 互换性的基础知识	111
第二节 机械加工精度	157
第三节 机械加工表面质量	172
第四节 机械装配工艺	182
第五节 机械加工工艺流程的制订	190
第四章 特种加工	202
第一节 概 述	202
第二节 电火花加工	203
第三节 电化学加工	207
第四节 超声波加工	210
第五节 激光加工	211

## 第二篇 数控技术

第五章 数控机床及其特点 .....	214
第一节 数控机床的概念 .....	214
第二节 数控机床的组成 .....	215
第三节 数控机床的特点 .....	216
第四节 数控机床的分类 .....	217
第五节 典型数控机床 .....	220
第六章 数控编程 .....	224
第一节 概 述 .....	224
第二节 数控编程中有关标准及代码 .....	227
第三节 程序的结构与格式 .....	231
第四节 机床坐标系和运动方向 .....	234
第五节 数控系统的准备功能和辅助功能 .....	237
第六节 程序编制中的数值计算 .....	239
第七章 数控加工中心机床 .....	242
第一节 数控加工中心机床的功能与分类 .....	242
第二节 自动换刀装置 .....	243
第三节 立式加工中心 .....	253
第四节 卧式加工中心 .....	254
第八章 自动编程系统 .....	255
第一节 自动编程概述 .....	255
第二节 MASTER CAM 自动编程软件概述 .....	259

## 第三篇 微型机械及纳米技术

第九章 微型机械定义及应用 .....	266
第一节 微型机械的定义 .....	266
第二节 微机电系统的发展趋势 .....	266
第十章 纳米技术 .....	268
第一节 纳米技术应用途径 .....	268
第二节 纳米制造技术及纳米测量 .....	270

## 第四篇 超精密加工

第十一章 精密和超精密切削加工 .....	281
第一节 精密和超精密切削加工概述 .....	281
第二节 精密和超精密切削加工方法 .....	282
第三节 精密和超精密切削加工特点 .....	282
第四节 精密及超精密加工的应用 .....	283
第十二章 金刚石刀具超精密切削加工 .....	284
第一节 超精密切削加工 .....	284
第二节 金刚石刀具超精密切削机理及特点 .....	285
第三节 金刚石超精密加工举例 .....	287
第十三章 超精密磨削加工 .....	289
第一节 超精密磨削概述 .....	289
第二节 精密和超精密砂轮磨削 .....	289
第三节 精密和超精密砂带磨削 .....	290
第十四章 精密和超精密研磨 .....	292
第十五章 精密和超精密抛光 .....	294

## 第五篇 机械制造系统自动化技术

第十六章 成组技术 .....	296
第一节 成组技术的意义 .....	296
第二节 零件分类编码系统 .....	297
第三节 零件成组分类方法 .....	300
第四节 成组工艺过程分析及方法 .....	302
第五节 成组生产的组织形式 .....	304
第十七章 计算机辅助工艺过程设计 (CAPP) .....	305
第一节 意 义 .....	305
第二节 CAPP 的结构组成 .....	305
第三节 应用原理 .....	306
第四节 CAPP 的基础技术 .....	307
第五节 基本方法 .....	307
第六节 样件法 CAPP 的基本原理 .....	308

第十八章 计算机辅助制造 (CAM) .....	313
第一节 计算机辅助制造的含义和功能 .....	313
第二节 CAM 数据库 .....	314
第三节 CAD/CAM 技术的应用 .....	316
第十九章 智能制造系统 .....	318
第一节 智能制造系统的定义及意义 .....	318
第二节 智能制造系统的功能及组成 .....	319
参考文献 .....	323

# 绪 论

## 第一节 机械制造技术的发展及在国民经济中的地位

机械产品是信息与知识经济时代高新技术的应用载体，而大千世界林林总总的机械产品来源于机械制造业。机械制造业为人类的生存、生产、生活提供了各种设备，是国民经济中极其重要的基础产业。而机械工业的发展和进步，在很大程度上又取决于机械制造技术的发展和进步。

回溯数千年，人类文明的发展史，又何尝不是机械制造技术的成长史。远在 4000 多年前，世界上已经开始使用铜合金，而历史悠久的中华民族，早在商代（公元前 1562—公元前 1066 年）就有了相当发达的冶铸青铜技术。春秋时期，我国发明了冶铁技术，开始用铸铁做农具。明朝永乐年间（约 1420 年），铸出了现保存在北京大钟寺内的铜钟，此钟高 6.75 m、直径 3.3 m、重 46.5 t，钟体内外铸满了佛经，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，可远传 40~50 公里。这说明当时铸造的合金配比恰当、工艺先进，显示了铸造技术的卓越成就。我国在三千多年前就已将锻造工艺用于兵器的生产，从出土的文物宝刀名剑分析，当时的中国已掌握了炼钢、锻造、热处理等技术。

在西汉（公元前 206 年至公元 8 年），我们的祖先发明了起重用的辘轳，其中一种还用了差动原理。在汉代，我国不但应用了齿轮、棘轮和轮系，还在车子的构造上作了若干改进，采用铁制或铜制的轴承和轴颈以减少摩擦和损耗。在晋朝（公元 265—417 年），发明了碾米用的水碾，它应用了水轮、轮系、杠杆和凸轮的原理。在此期间还创造出自动报告行车里程的记程鼓车。在汉代已制造出了指南车，在宋代（公元 1027 年）使其构造更加完善，并对其原理作了详细记载，给后人留下了宝贵的历史资料。明、清时期，我国在机械力学、机械工程学方面的研究又有很大进步，并有多本著作传世。这些都说明我国的机械制造及加工工艺在较早年代已达到相当水平，并不断得到发展创新。

近年来，随着世界工业的大发展，科技水平的飞跃提高，世界各国都把提高产业竞争力和发展高新技术、抢占未来经济制高点作为科技工作的主攻方向，对机械工业，特别是制造技术提出了更高的要求。制造技术是生产、竞争、产品革新的一种重要手段，是产业革命及技术改革获得成功的关键因素。从世界历史来看，1769 年瓦特发明了蒸汽机，但当时加工技术十分落后，苦于加工不出高精度的汽缸而得不到推广应用。1775 年，威尔逊成功地改进了一台汽缸镗床，才解决了这一难题。在 1776 年蒸汽机便得到了实际应用，从而迎来了第一次产业革命。这说明每个想成为经济发达、工业水平先进和实力强盛的国家，都必须大力发展机械制造技术。在原有冷加工、热加工传统常规的制造技术的基础上，各式各样的

现代制造技术便应运而生，它汇集运用了计算机技术、微电子技术、控制技术、传感技术、智能技术与机电一体化等多门现代化技术，使机械制造技术往高效率、高质量、精密加工、超精密加工以及自动化方向发展，而过去许多难以制造的更大、更小（如可以进入人体血管的微型机器人）或更精密的产品都纷纷诞生。

建国 50 多年来，我国的机械制造技术，由于党和政府的高度重视，已有了迅速的发展，与世界先进水平的差距在缩小，一些领域正在赶超世界先进水平。我国已建成 100 多个行业的机械制造工业体系，并已制造出一批高、大、小、精、尖、稀的产品。

在这里必须特别指出的是，为了尽快赶超世界先进水平，应“以人为本”，加强培养懂得机械制造技术，尤其是掌握先进制造技术的人才。

## 第二节 课程的主要内容和学习目的

本课程突出理论与实践相结合的教育特色，以增强应用性和加强能力与素质培养为指导，贯彻教学改革和专业结构调整的精神，根据工程实践并考虑到前瞻性和适应未来发展的需要，以机械制造技术为主线，将原来的“金属工艺学”、“金属切削原理与刀具”、“机械制造工艺学”、“金属切削机床”、“互换性与测量技术”几门学科的主要内容浓缩、精练，并着重结合现代制造技术的内容，满足学生学以致用用的需要，以弥补目前常规制造技术和现代制造技术兼存的教材不足之憾。

常规机械制造技术方面的分析论述：

热加工工艺及压力加工。铸造生产、锻造生产、焊接生产。

冷加工工艺。金属切削加工的基础知识及使用机床简介，车削、钻削与镗削、铣削、磨削、刨削、插削与拉削、齿轮齿形加工。

保证机械产品质量的方法。互换性的基础知识、机械加工精度、表面质量、机械装配工艺、机械加工工艺规程制订的基本方法。

现代制造技术方面的分析论述：

数控技术。数控编程、数控机床、加工中心简介。

微型机械及纳米技术。微型机械的定义及应用、纳米技术的应用。

特种加工。电火花加工、电火花线切割加工、电化学加工、超声波加工、激光加工。

超精密加工。金刚石刀具、超精密切削加工、超精密磨削加工。

机械制造系统自动化技术。成组技术、计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助制造。

智能制造。智能制造系统的功能及组成、智能制造的发展。

学习时应注意常规的加工方法是制造技术的基础，现代制造技术是制造技术的发展，两者之间有着有机联系。

通过学习应掌握机械制造技术的基本理论与基本方法，熟悉各种加工方法和常用设备，能根据工程实际，正确地选择加工方法、制订工艺规程。了解公差配合的基础知识，学会分析机械加工过程中的问题和找出解决问题的方法。掌握现代制造技术的基本知识，在今后的现场工作中，能根据实际情况进行运用和创新发展。

### 第三节 学习的方法和特点

学习必须有动力，学习还必须有兴趣。对于机械制造技术若孤立地去看待它，可能会枯燥无味，但我们若掌握辩证的方法进一步去分析探讨会发现，某一产品的生产途径绝对不是唯一的，而对其多种多样的制造方法进行对比分析，就会找出各种方法的利弊及可行性，最后优选出符合现实且较为合理的方案。问题在于明确了制造目的，收集现场情况后，能否尽快得到最佳方案，就要看我们掌握机械制造技术知识的程度及分析论证的技巧了。当你能达到轻车熟路、灵活运用这种境地时，肯定是快乐的，对各种各样的制造方法会产生浓厚兴趣，会觉得它们不再枯燥无味，而是奥妙无穷。

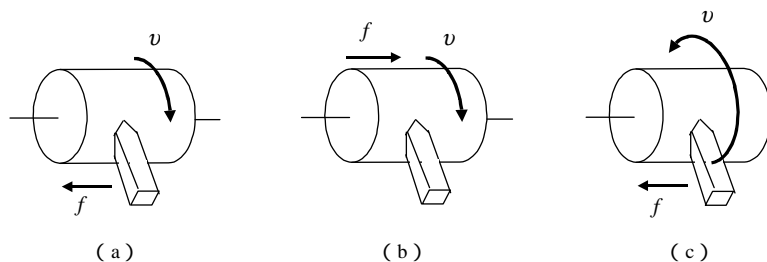
学习本课程还必须注意其实践性、综合性、辩证灵活性等重要特点，并结合金工实习实践及其他相关专业技术课和实验知识学习。平时还应多注意观察现实生活中的各种加工制造方法，关注国内外机械制造技术的发展，打好机械制造技术的基础，不断扩大眼界，开拓思路，了解和掌握现代机械制造技术知识。

# 第一篇 机械加工工艺的主要方法

制造金属零件的基本工艺方法主要有铸造、压力加工、焊接、切削加工和热处理等。在机械制造过程中，通常是先用铸造、压力加工或焊接等方法制成毛坯，再进行切削加工，然后得到所需零件。当然，铸造、压力加工、焊接等工艺方法有时也可直接生产出零件。此外，为了改善零件的某些性能，常要经过热处理等，最后将制成的零件经过装配、调试，合格后才成为机器或其他产品。

大千世界，林林总总的机械制造产品对机械制造业提出了越来越高的要求，而如何寻求最佳的途径去制造所需产品是当前摆在机械制造业面前的重要任务。机械产品某一零件的制造方法决不像“自古华山一条道”是唯一的，而是我们应如何去选择及组合不同的加工方法，以达到降低制造成本、提高生产效率的最佳效果。

以简单的平面加工为例，它可以采取刨、铣、磨、车等方法。方法不同，使用设备不同，工效也就不同。再举最常用的圆柱面加工，它的主运动和进给运动可分别分配给工件和刀具来完成，也可集中由工件或刀具来完成。如下图（a）所示，工件完成主运动  $v$ ，刀具完成进给运动  $f$ ，这就是平时最常用的车床加工圆柱面。图（b）所示为主运动及进给运动均由工件完成，这相当于外圆磨床磨削外圆。此时为了分析方便，将砂轮上的砂粒切削刃视为刀具，实际作主运动的砂轮作回转运动。按其与工件相对回转运动不变的关系，集中于工件的回转运动  $v$  上，可视刀具不动，头架带动工件旋转，并由工作台带动作轴向进给运动。而图（c）是将主运动和进给运动均集中于刀具上，这即为旋风铣加工外圆柱面，铣刀盘上的刀刃绕工件旋转并随刀盘作轴向进给。



切削加工外圆柱面的不同加工方案

到底采用哪种方法加工，需根据现场机床设备情况、工件质量要求及工效高低等来分析、比较决定。旋风铣工效很高，但需专用的旋风铣机床设备，在应用中，只有加大铣刀盘的轴向进给速度，用来铣削螺纹才有现实意义。磨削外圆，工效较低，但可进行外圆面的精加工，而最普遍通用的是车床车削外圆柱面。

# 第一章 热加工工艺及压力加工

## 第一节 铸造生产

机械制造中最常用的三种金属热加工方法有铸造、锻压和焊接，其产品大多是零件的毛坯。机械制造工程技术人员应该熟悉这些加工的基本方法、工艺特点和应用范围，以便合理设计零件和正确选用加工方法，从而达到优质、高产和低消耗之目的。

### 一、铸造概述

铸造是熔炼金属，制造铸型，并将金属液浇入铸型型腔，凝固后获得一定形状和性能铸件的成形方法。铸件一般都作毛坯用，需经切削加工后才能成为零件。铸造是历史最为悠久的金属成形方法，直到今天铸造在工业生产中仍然应用广泛，铸件所占比重相当大。铸件之所以被广泛应用，是因为其液态成形方法具有如下特点：

铸造的适应性很广。铸造可制造形状复杂且不受工件尺寸、重量限制的毛坯，特别是具有复杂内腔的毛坯，如箱体、汽缸体、机座、机床床身等。工业生产中可用于铸造的金属材料有各种铸铁、非合金钢、低合金钢、合金钢、有色金属等，甚至部分高分子材料、陶瓷材料等也用于铸造生产中。生产出的铸件的大小几乎不限，质量从几克到数百吨，壁厚范围为 0.5 ~ 500 mm 左右。铸造的生产批量不限，从单件、小件，直到大量生产。

铸造有良好的经济性。铸造一般不需要昂贵的设备；铸件的形状和尺寸接近于零件，加工余量小，可节省金属材料，减少切削加工量和切削加工工时，降低制造成本；金属材料来源广泛，可直接利用成本低廉的废机件和切屑等废料进行回炉熔炼。

铸件力学性能较差。铸造因工序多，部分工艺难以控制，所以质量不够稳定，废品率较高。铸件内部偏析较重，铸件的铸态组织晶粒粗大，内部常出现缩孔、缩松、气孔、砂眼等缺陷，所以铸件的力学性能较差。铸造方法常用于制造承受静载荷及压应力的结构件，如箱体、床身、支架等。此外，一些有特殊性能要求的构件，如球磨机的衬板、犁铧、轧辊等也常采用铸造方法制造。

铸造方法可分为砂型铸造和特种铸造两大类。利用砂型生产铸件的铸造方法称为砂型铸造。砂型铸造是最主要的铸造方法，它成本低、灵活性大、适用、操作技术也比较成熟，用这种方法生产的铸件占总产量的 90% 以上。与砂型铸造不同的其他铸造方法，称为特种铸造。特种铸造包括金属型铸造、压力铸造、离心铸造、熔模铸造、低压铸造、陶瓷型铸造、连续铸造和挤压铸造等。特种铸造方法可提高铸件的尺寸精度和表面质量，或提高铸件的物理及力学性能；还可以提高金属的利用率，减少原砂消耗量；改善劳动条件，减少环境污染，便于实现机械化和自动化生产；此外，有些特种铸造方法更适宜高熔点、低流动性、易氧化合金铸件的生产。所以特种铸造发展迅速，正逐步得到广泛的应用。

## 二、铸造工艺基础

常用的铸造合金有铸铁、铸钢、铸造铝合金和铸造铜合金等。合金在铸造成形过程中表现出来的工艺性能，称为合金的铸造性能。合金的铸造性能主要有流动性、收缩性、吸气性和氧化性等。铸件的质量与合金的铸造性能密切相关，其中以流动性和收缩性对铸件质量的影响最大。

### （一）合金的流动性和充型能力

#### 1. 合金的流动性

流动性指金属液的流动能力，是影响金属液充型能力的主要因素之一。金属液的流动性好，充型能力就强，容易获得尺寸准确、外形完整和轮廓清晰的铸件，避免产生冷隔和浇不足等缺陷。同时，有利于金属液中非金属夹杂物和气体的排出，以避免产生夹渣和气孔等缺陷；由于在凝固过程中金属液的补缩，可避免产生缩孔和缩松等缺陷。

流动性的影响因素主要有浇注温度、化学成分、铸型的充填条件等。

浇注温度对流动性的影响。浇注温度高，金属液所含的热量多，在同样的冷却条件下，金属保持液态的时间长。同时，在金属液停止流动前传给铸型的热量也多，导致铸型的温度升高，使金属的冷却速度降低，从而使金属液的流动性增强。另外，浇注温度高，金属液的粘度降低，都有利于流动性的提高；但浇注温度过高会使金属的吸气量和总收缩量增大，反而会增加铸件产生其他缺陷的可能性。因此，在保证足够流动性的条件下，浇注温度应尽可能低些。灰铸铁的浇注温度一般为  $1\ 250 \sim 1\ 350\ ^\circ\text{C}$ ，工程用铸造碳钢的浇注温度为  $1\ 500 \sim 1\ 550\ ^\circ\text{C}$ 。

合金成分对流动性的影响。成分不同的合金具有不同的结晶特点，其流动性也不同。其中纯金属和共晶成分的合金流动性最好。这是由于它们是在恒温下结晶的。根据温度的分布规律，结晶时从表面开始向中心逐层凝固，结晶前沿较为平滑，对尚未凝固的金属流动阻力小，因而流动性较好。其他合金的凝固过程是在一段温度范围内完成的，在这个温度范围内，同时存在固、液两相，固态的树枝状晶体会阻碍金属液的流动，从而使流动性变差。因此，凝固温度范围小的合金流动性好，凝固温度范围大的合金流动性差。在常用的铸造合金中，铸铁的流动性好，铸钢的流动性差。

铸型的充填条件对流动性的影响。铸型中凡能增加金属液流动阻力和提高冷却速度的因素均使流动性降低。如内浇道横截面小、型腔表面粗糙、型砂透气性差均增加金属液的流动阻力，降低流速，从而降低金属液的流动性。铸型材料导热快、金属液的冷却速度增大，也会使金属液的流动性下降。

#### 2. 合金的充型能力

是指液态合金充满铸型型腔，获得形状完整、轮廓清晰铸件的能力。充型能力不足时，易产生浇不到、冷隔等缺陷，从而造成废品。

合金的流动性是影响充型能力的主要因素。铸型也影响合金的充型能力，充型时铸型的阻力会阻碍合金液的流动，而铸型与合金液间的热交换又将影响合金保持流动的时间。此外，浇注温度和充型压力等工艺条件也会改变合金的充型能力。

## （二）合金的收缩性

### 1. 收缩的基本概念

合金在液态凝固和冷却至室温的过程中，产生体积和尺寸减小的现象，称为收缩。收缩是铸造合金本身的物理性质，是铸件中缩孔、缩松、裂纹、变形、残余内应力产生的基本原因。合金从浇注温度冷却到室温要经过液态收缩、凝固收缩和固态收缩三个相互联系的阶段。

液态收缩是指金属液从浇注温度冷却到凝固开始温度的体积收缩，此时的收缩表现为型腔内液面的降低。合金液的过热度越大，则液态收缩也越大。

凝固收缩是指金属液在凝固阶段的体积收缩，该阶段一般仍表现为型腔内液面的降低。

固态收缩是指金属从凝固终止温度冷却到室温而发生的体积收缩。固态体积收缩表现为三个方向尺寸的线收缩。

合金的液态收缩和凝固收缩阶段，合金体积减小，通常用体积收缩率来表示。型腔内液面降低，它们是形成铸件缩孔和缩松缺陷的基本原因。合金的固态收缩，主要表现为铸件外部尺寸的变化，通常用线收缩率来表示，该阶段是铸件产生内应力、变形和裂纹等缺陷的主要原因。

### 2. 影响收缩的因素

主要有化学成分、浇注温度、铸件结构和铸型条件等。

化学成分。不同的合金其收缩率也不同。碳素钢的总体积收缩率为 12% ~ 13%；白口铸铁为 12% ~ 14%；灰铸铁为 6% ~ 8%。铸钢的线收缩率为 2% 左右；灰铸铁为 1% 左右。

浇注温度。浇注温度越高，液态收缩量就越大。因此，在生产中多采用高温出炉和低温浇注的措施来减小收缩量。

铸件结构和铸型条件。铸件在凝固和冷却的过程中并不是自由收缩，而是受阻收缩。这是因为铸件的各个部分冷速不同，相互制约而对收缩产生收缩阻力。例如，当铸件结构设计不合理或型砂、芯砂的退让性差时，铸件就容易产生收缩阻力。因此，铸件的实际线收缩率比自由线收缩率要小些。

### 3. 缩孔与缩松的形成及预防

#### （1）缩孔和缩松的形成

金属液在铸型内凝固的过程中，由于补缩不良，在铸件最后凝固的部分将形成缩孔，其形成过程如图 1.1 所示。缩孔通常都隐藏在铸件上部或最后凝固部位，有时经机械加工才会暴露出来。

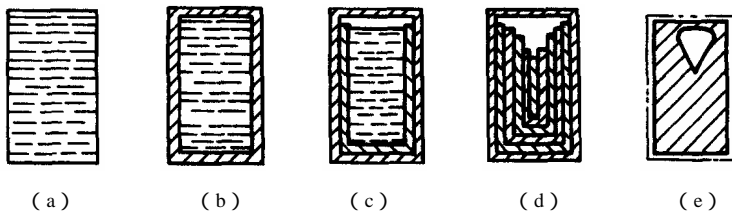


图 1.1 铸件缩孔形成过程示意图

具有较大结晶温度区间的合金，其结晶是在铸件截面上一定宽度的区域内同时进行的，先形成的树枝状晶体彼此相互交错，将金属液分割成许多小的封闭区域。如图 1.2 所示，封

闭区域内的金属液凝固时得不到补充，则形成许多分散的小缩孔。这种在铸件缓慢凝固区出现的很细小的分散孔洞称为缩松。

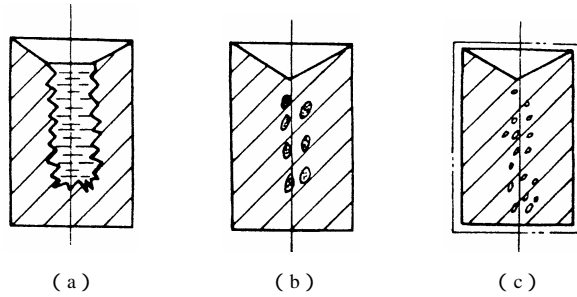


图 1.2 缩松形成示意图

缩孔和缩松不仅减少铸件受力的有效面积，而且在缩孔部位易产生应力集中，使铸件的力学性能显著降低，因此，在生产中应尽量避免。

### (2) 缩孔的预防

预防缩孔的方法称为补缩。对形状简单的铸件，可将浇口设置在厚壁处，适当扩大内浇道的截面积，利用浇道直接进行补缩，如图 1.3 所示。

实践证明，只要合理控制铸件的凝固，使之实现顺序凝固，就可获得没有缩孔的致密铸件。所谓顺序凝固，是使铸件按“薄壁—厚壁—冒口”的顺序进行凝固的过程，通过增设冒口或冷铁等一系列措施，可使铸件远离冒口的部位先凝固，然后是靠近冒口的部位凝固，最后才是冒口本身凝固。按照这个顺序，使铸件各个部位的凝固收缩均能得到金属液的充分补缩，最后将缩孔转移到冒口之中。冒口为铸件的多余部分，在铸件清理时切除，即可得到无缩孔的铸件。图 1.4 为冒口补缩示意图。

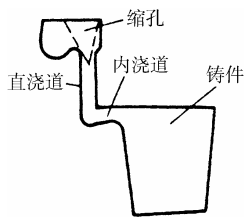


图 1.3 浇道直接补缩示意图

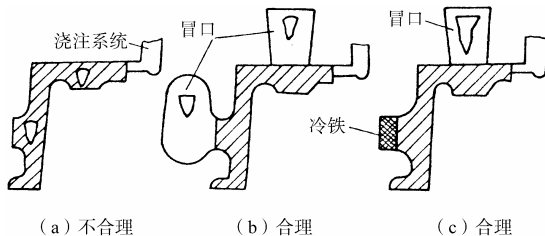


图 1.4 顺序凝固与冒口补缩示意图

### (3) 铸造应力、变形和裂纹的形成与预防

铸件在凝固和冷却过程中由于收缩不均匀和相变等因素而引起的内应力称为铸造应力。铸造应力分为收缩应力、热应力和相变应力。收缩应力是由于铸型、型心等阻碍铸件收缩而产生的内应力；热应力是由于铸件各部分冷却、收缩不均匀而引起的；相变应力是由于固态相变，造成各部分体积发生不平衡变化而引起的。

为了防止或减少铸件产生收缩应力，应提高铸型和型心的退让性。如在型砂中加入适量的锯末或在芯砂中加入高温强度较低的特殊粘结剂等，都可以减少其对铸件收缩的阻力。

预防热应力的基本途径是尽量减少铸件各部分的温度差，使其尽可能均匀冷却。设计铸件时，应尽量使其壁厚均匀，避免铸件产生较大的温差。此外，在铸造工艺上可采用同时凝固原则。

为了减小铸件变形，防止开裂，应合理设计铸件的结构，力求铸件壁厚均匀，形状对称；合理设计浇冒口、冷铁等，使铸件冷却均匀；采用退让性好的型砂和芯砂；浇注后不要过早落砂；铸件在清理后应及时进行去应力退火。

### (三) 合金的吸气性和氧化性

合金在冶炼和浇注时吸收气体的能力称为合金的吸气性。如果液态时吸收气体多，则在凝固时，侵入的气体若来不及逸出，就会形成气孔、白点等缺陷。为减小合金的吸气性，可缩短熔炼时间，选用烘干过的炉料，提高铸型和型心的透气性，降低造型材料中的含水量和对铸型进行烘干等。

合金的氧化性是指合金液与空气接触，被氧化，形成氧化物。氧化物若不及时清除，在铸件中就会出现夹渣缺陷。

## 三、砂型铸造

砂型铸造是实际生产中应用最广泛的一种铸造方法，其基本工艺过程如图 1.5 所示。而图 1.6 则为齿轮毛坯的砂型铸造图。

铸件的形状和尺寸主要取决于造型和造芯，而铸件的化学成分则取决于熔炼。所以，造型、造芯和熔炼是铸造生产中的重要工序。

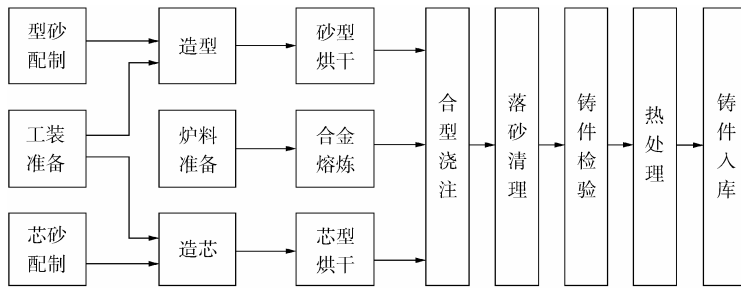


图 1.5 砂型铸造工艺过程

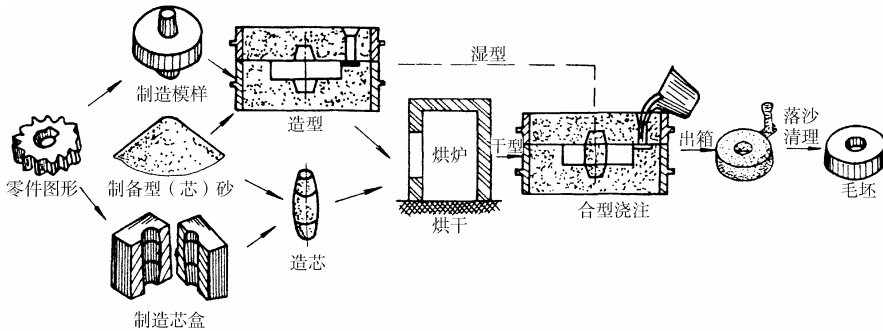


图 1.6 齿轮毛坯的砂型铸造简图

### (一) 造型

造型是指用型砂及模样等工艺装备制造铸型的过程。造型时用模样形成铸型的型腔，在浇注后形成铸件的外部轮廓。在造型过程中，造型材料的好坏，将对铸件的质量起着决定性