

教育部高职高专规划教材

# 工程材料与材料成形工艺

王纪安 主编

高等教育出版社

## 内容提要

本书是根据教育部制定的《高职高专教育工程材料与成形工艺基础课程教学基本要求》，结合高职高专教学改革的实践经验，以适应 21 世纪培养高等技术应用性人才的要求编写的。本书以培养生产第一线需要的高等技术应用性人才为目标，将理论课与实训、实验进行整合，三位一体，形成强化应用的具有高职高专特点的新的教材体系；建立工程材料和材料成形工艺与现代机械制造过程的完整概念；充分重视新材料、新工艺、新技术的引入；重视综合性、应用性和实践性；全面贯彻最新国家标准。

全书共 13 章，1~4 章讲述工程材料的性能、结构与凝固、强化与处理，5~7 章讲述金属材料、非金属材料、新型材料与材料的质量控制，8~12 章讲述铸造、锻压、焊接和胶接、钳工和机械加工、非金属材料的成形工艺，13 章为材料与成形工艺选择。

本书是高职高专机械类专业的通用教材，可同时应用于课堂教学、实训与实验等教学环节，也可供有关工程技术人员、企业管理人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

工程材料与材料成形工艺/王纪安主编. —北京:高等教育出版社, 2000  
教育部高职高专规划教材  
ISBN 7-04-008725-1

I. 工… II. 王… III. 工程材料-成形-高等学校: 技术学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 28980 号

工程材料与材料成形工艺  
王纪安 主编

---

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

电 话 010-64054588

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

邮政编码 100009

传 真 010-64014048

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京地质印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 23

字 数 550 000

版 次 2000 年 8 月第 1 版

印 次 2000 年 8 月第 1 次印刷

定 价 19.50 元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

**版权所有 侵权必究**

# 前 言

本书是根据教育部制定的《高职高专教育工程材料与成形工艺基础课程教学基本要求》，结合高职高专教学改革的实践经验，以适应 21 世纪培养高等技术应用性人才的要求编写的，是高职高专教育机械类专业的通用教材。本书可同时应用于课堂教学、实训与实验（金工实习与金工实验）等教学环节，也可供有关工程技术人员、企业管理人员参考。

全书共 13 章，1~4 章讲述工程材料的性能、结构与凝固、强化与处理，5~7 章讲述金属材料、非金属材料、新型材料与材料的质量控制，8~12 章讲述铸造、锻压、焊接和胶接、钳工和机械加工、非金属材料的成形工艺，13 章为材料与成形工艺选择，每章都安排了习题与思考题，并附有综合性实验指导。

本书编写具备如下特点：

(1) 以培养生产第一线需要的高等技术应用性人才为目标，将理论课与实训、实验进行整合，三位一体，形成强化应用的具有高职高专特点的新的教材体系。

(2) 建立工程材料和材料成形工艺与现代机械制造过程的完整概念。

(3) 建立大材料的概念，在整体上形成金属材料与非金属材料并重的格局。

(4) 充分重视新材料、新工艺、新技术的引入。如增加了新型材料、表面工程技术、胶接技术及其他正在发展的成形技术的介绍等。

(5) 重视综合性、应用性和实践性。本书安排了综合性实验、成形工艺实训要求等内容，强调培养学生的技术应用能力。

(6) 全面贯彻最新国家标准。

(7) 为培养学生的基本素质，适当引入技术经济分析和质量管理的概念，贯彻环境保护和可持续发展的观点。

参加本书编写的有承德石油高等专科学校丁德全（第 1 章、第 2 章），王纪安（第 3 章、第 5 章、第 6 章、第 7 章、第 9 章、第 11 章），苏海青（第 4 章、第 10 章），柴增田（第 8 章），天津职业大学沈兴东（第 12 章、第 13 章）。全书由王纪安教授主编并负责统稿，由郑州工业高等专科学校杨慧智教授主审。书中金相图片由大连理工大学徐卫平提供。

正值世纪之交，高职高专教育迅速发展并发生着深刻变革，课程体系与教学内容的改革也正处于积极研究和探索之中。本书的编写力求适应教育的改革和发展，但由于水平有限，书中不足之处在所难免，恳切希望广大读者批评指正。

本书编写得到了全国有关院校专家、老师的大力支持，并参考了大量有关文献资料，在此一并表示衷心的感谢。

编者

2000 年 5 月

# 第1章 工程材料与机械制造过程

## 1.1 材料及其成形工艺的历史发展

材料是人类文明生活的物质基础。综观人类利用材料的历史,可以清楚地看到每一类重要新材料的发现和应用,都会引起生产技术的革命,大大加速社会文明发展的进程。人类社会所谓石器时代、青铜器时代和铁器时代就是按生产活动中起主要作用的工具材料划分的。

在远古时代,人类的祖先是以前石器为主要工具的。他们在不断改进石器和寻找石料的过程中发现了天然铜块和铜矿石,并在用火烧制陶器的生产中发现了冶铜术,后来又发现把锡矿石加到红铜里一起熔炼,制成的物品更加坚韧耐磨,这就是青铜。公元前 5000 年人类进入青铜器时代。公元前 1200 年左右,人类进入铁器时代。开始使用的是铸铁,后来制钢工业迅速发展,成为 18 世纪产业革命的重要内容和物质基础。

中华民族在材料生产及其成形加工工艺技术方面,历史上有辉煌的成就。我国原始社会后期开始有陶器,早在仰韶文化和龙山文化时期,制陶技术已经很成熟。我国的青铜冶炼开始于夏代,到了距现在 3 000 多年前的殷商、西周时期,技术已达当时世界高峰,用青铜制造的工具、食具、兵器和车马饰,得到普遍应用。河南安阳武官村发掘出来的商代青铜大方鼎,高 133 cm,长 110 cm,宽 78 cm,重达 875 kg,在大鼎的里面铸有“司母戊”三个字,在大鼎的四周,有蟠龙等组成的精致花纹。铸造这样大型的青铜器物,需要有很大的铸造场所,要求各个工种协同操作,密切配合,充分反映出我国古代青铜冶炼和铸造成形的高超技艺。湖北江陵楚墓中发现的埋藏 2 000 多年仍金光闪闪的越王勾践宝剑,陕西临潼秦皇陵陪葬坑发现的工艺复杂、制作精美的铜车马等,都显示了当时制作工艺的精细。春秋战国时期的《周礼考工记》关于钟鼎和刀剑不同的铜锡配比记载反映出当时已经掌握青铜成分与性能的关系。用现代技术对古代宝剑进行检验,揭开了宝剑在阴暗潮湿的地下埋藏 2 000 多年仍保持通体光亮锋利异常的奥妙,越王剑是经过了硫化处理,秦皇陶俑剑采用了铬盐氧化法的钝化处理,这些表面处理技术在现代仍是重要的防护方法。

春秋战国时期,我国开始大量使用铁器,白口铸铁、麻口铸铁、可锻铸铁相继出现。1953 年从河北兴隆地区发掘出来的战国铁器遗址中,就有浇铸农具用的铁模子,说明当时已掌握铁模铸造技术。随后出现了炼钢、锻造、钎焊和退火、淬火、正火、渗碳等热处理技术。直到明朝之前的 2 000 多年间,我国钢铁生产及金属材料成形工艺技术一直在世界上遥遥领先。

我国的金属切削加工工艺发展可追溯到青铜器时代,越王剑的刃口磨得非常精细,可与目前精密磨床得到的产品相媲美。在湖南衡阳出土的相当精致的东汉人字齿轮,说明在汉朝就有了金属机件。明朝出现了简单的切削加工设备。清初(1668 年)曾经用直径约 6.6 m 的嵌齿铣刀,

靠牲畜带动旋转,来铣削天文仪上的铜环。明朝宋应星所著《天工开物》,是举世公认的世界上有  
关金属加工的最早的科学技术著作之一,书中记载了冶铁、铸造、锻造、淬火等各种金属加工的方法,其中记述关于锉刀的制造、翻修和热处理工艺与现在相差无几。古代中国还将胶接技术用于  
器具、工艺品的制造。

上述事实生动地说明了中华民族在材料及其加工方面对世界文明和人类进步作出的卓越贡献。但是到了 18 世纪以后,由于长期的封建统治和闭关自守,严重地束缚了我国生产力的发展,使我国科学技术处于停滞落后状态。

18 世纪 20 年代初先后在欧美发生的产业革命极大地促进了钢铁工业、煤化学工业和石油化学工业的快速发展,各类新材料不断涌现。材料对科学技术的发展发挥着关键性作用,航空工业的发展充分说明了这一点。1903 年世界上第一架飞机所用的主要结构材料是木材和帆布,飞行速度仅 16 km/h;1911 年硬铝合金研制成功,金属结构取代木布结构,使飞机性能和速度获得一个飞跃;喷气式飞机超过音速,高温合金材料制造涡轮发动机起到重要作用;当飞机速度达到 2~3 倍音速时,飞机表面温度会升到 300 ℃,飞机材料只能采用不锈钢或钛合金;至于航天飞机,机体表面温度会高达 1 000 ℃ 以上,只能采用高温合金材料及防氧化涂层;目前,玻璃纤维增强塑料、碳纤维高温陶瓷复合材料、陶瓷纤维增强塑料等复合材料在飞机、航天飞行器上已获得广泛应用。

## 1.2 工程材料的分类及发展趋势

在生活、生产和科技各个领域,用于制造结构件、机器、工具和功能器件的各类材料统称为工程材料。工程材料按其组成特点可分为金属材料、有机高分子材料、无机非金属材料及复合材料四大类。若按材料的使用性能,可分为结构材料与功能材料两大类。结构材料是作为承力结构使用的材料,其使用性能主要是力学性能;功能材料的使用性能主要是光、电、磁、热、声等特殊功能性能。从材料的应用领域来分,它又可分为信息材料、能源材料、建筑材料、机械工程材料、生物材料、航空航天材料等多种类别。

材料、能源和信息技术是现代文明的三大支柱。从现代科学技术发展史中可以看到,每一次重大的新技术发现,往往都有赖于新材料的发展。所谓新材料,主要是指最近发展或正在发展中的具有比传统材料性能更为优异的一类材料。目前世界上传统材料已有几十万种,同时新材料的品种正以每年大约 5% 的速度在增长。金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料及复合材料的新发展给社会生产和人们生活带来巨大的变化。

金属材料的分类见表 1.2.1 所示。由于金属材料工业已形成了庞大的生产能力,并且质量稳定,性能价格比具有一定的优势,所以金属材料仍占据着材料工业的主导地位。

金属材料工业不断发展,许多新金属材料应运而生。例如,传统的钢铁材料不断提高质量、降低成本、扩大品种规格,在冶炼、浇铸、加工和热处理等工艺上不断革新,出现了炉外精炼、连铸连轧、控制轧制等新工艺,微合金钢、低合金高强度钢、双相钢等新钢种不断涌现。在非铁金属及合金方面,出现了高纯高韧铝合金、高温铝合金,高强高韧和高温钛合金,先进的镍基、铁镍、铬基高温合金,铜合金,难熔金属合金及稀贵金属合金等。除此之外,还涌现了其他许多新型高性能金属材料,如快速冷凝金属非晶和微晶材料、纳米金属材料、定向凝固柱晶和单晶合金等。新型

金属功能材料,如磁性材料中的钕铁硼稀土永磁合金及非晶态软磁合金、形状记忆合金、新型铁氧体及超细金属隐身材料、贮氢材料及活性生物医用材料等也正在向着高功能化和多功能化发展。

表 1.2.1 金属材料分类

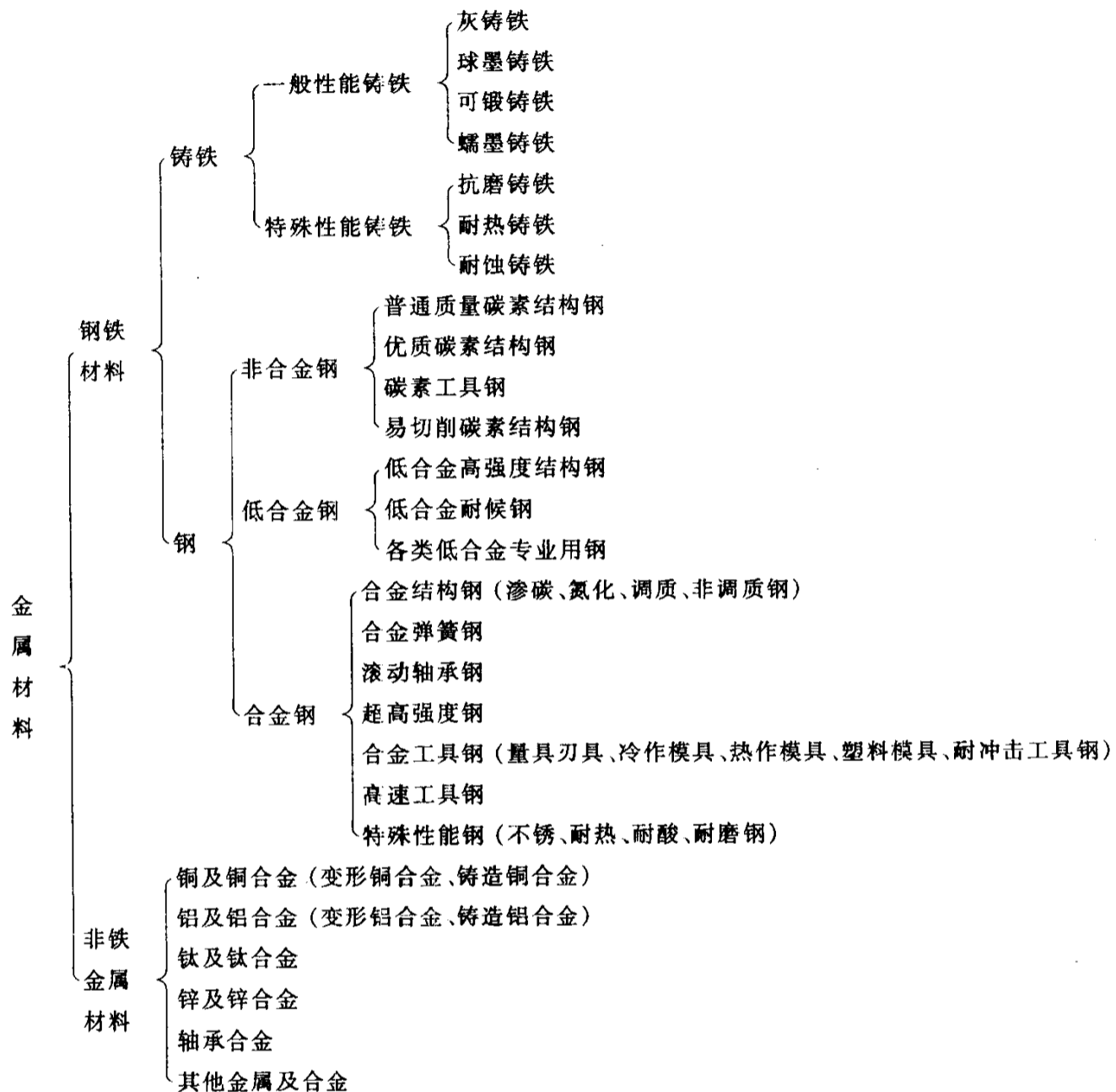
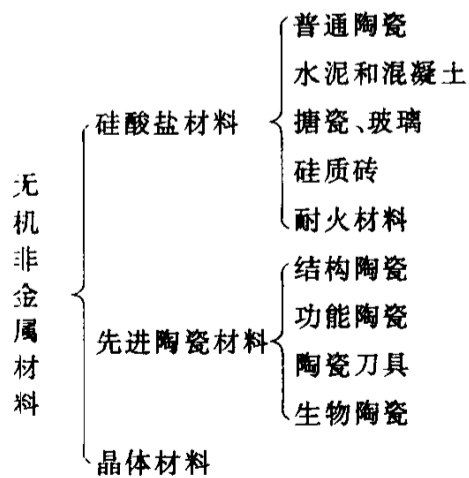


表 1.2.2 无机非金属材料的分类

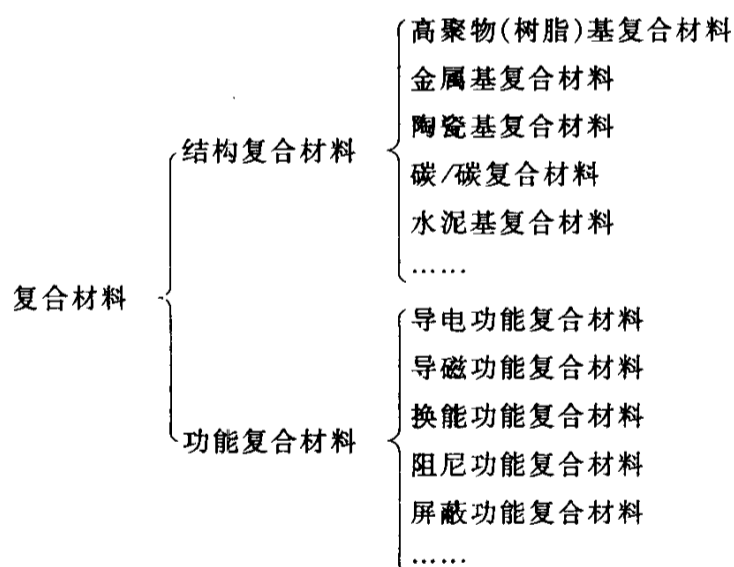


无机非金属材料分类如表 1.2.2 所示。在无机非金属材料方面,由于制备技术的进步,开发出了一批先进陶瓷材料,包括氮化硅、碳化硅、硼化物、氧化铝、赛隆(sialon)等新结构陶瓷材料,其强度和断裂韧度大大优于普通的硅酸盐陶瓷材料,用作高温结构件、耐磨耐腐蚀部件、切削刀具等,其替代金属材料有明显的优点。功能陶瓷是一类利用材料的电、磁、声、光、热、弹性等方面直接的或耦合的效应以实现某种功能的陶瓷,是现代信息、自动化等工业的基础材料。生物陶瓷具有与生物机体较好的相容性和生物活性,用于生物体的矫形修复。从传统的硅酸盐陶瓷到先进陶瓷是陶瓷材料发展史上的重大飞跃。目前,陶瓷科学家还在研究纳米陶瓷,在解决陶瓷的脆性问题上将取得重大突破。

有机高分子材料包括塑料、橡胶、合成纤维、胶粘剂、液晶、木材、油脂和涂料等。人们将那些力学性能好,可以代替金属材料使用的塑料称作工程塑料。由于石油化学工业大规模合成技术的迅速发展,高分子合成材料包括合成纤维、合成橡胶和塑料已成为国家建设和人民生活中必不可少的重要材料。近十年来,随着高压聚合工艺的进步,高分子材料的合成,高性能的合成纤维和工程塑料已进入实用阶段。另一方面人们还可以通过各种手段,使高分子化合物作为物理功能高分子材料、化学功能高分子材料或生物功能高分子材料,例如导电高分子、光功能高分子、液晶高分子、信息高分子材料,离子交换树脂、高分子催化剂、生物高分子、人工脏器、人工骨材料等。

金属、无机非金属材料各有其固有的优点和缺点,而复合材料是由几类不同材料通过复合工艺组合而成的新型材料,它既能保留原组成材料的主要特性,又能通过复合效应获得原组分所不具备的性能,还可以通过材料设计使各组分的性能互相补充并彼此关联,从而获得新的优越性能。复合材料的分类如表 1.2.3 所示。

表 1.2.3 复合材料的分类



结构复合材料由能承受载荷的增强体与能连结增强体为整体材料的基体构成,由不同的增强体和不同的基体即可构成名目繁多的结构复合材料,如高聚物(树脂)基复合材料、金属基复合材料和陶瓷基复合材料等。结构材料复合化成为结构材料发展的一个重要趋势。先进复合材料中树脂基复合材料已经得到广泛的应用,金属基和陶瓷基复合材料正处于发展阶段。同时功能复合材料也处于发展之中,功能复合材料的效能一般优于单质材料,其发展前景是不可估量的。

## 1.3 机械制造工艺的分类及技术发展趋势

### 1.3.1 机械制造工艺流程

机械制造工艺是指将各种原材料、半成品加工成为产品的方法和过程。机械生产过程按其功能不同,主要分为两类:一类是直接改变工件的形状、尺寸、性能及决定零件相互位置关系的加工过程,如毛坯制造、机械加工、热处理、表面保护、装配等,它们直接创造附加价值;另一类是搬运、贮存、检验、包装等辅助生产过程,它们间接创造附加价值。机械制造工艺流程如图 1.3.1 所示。

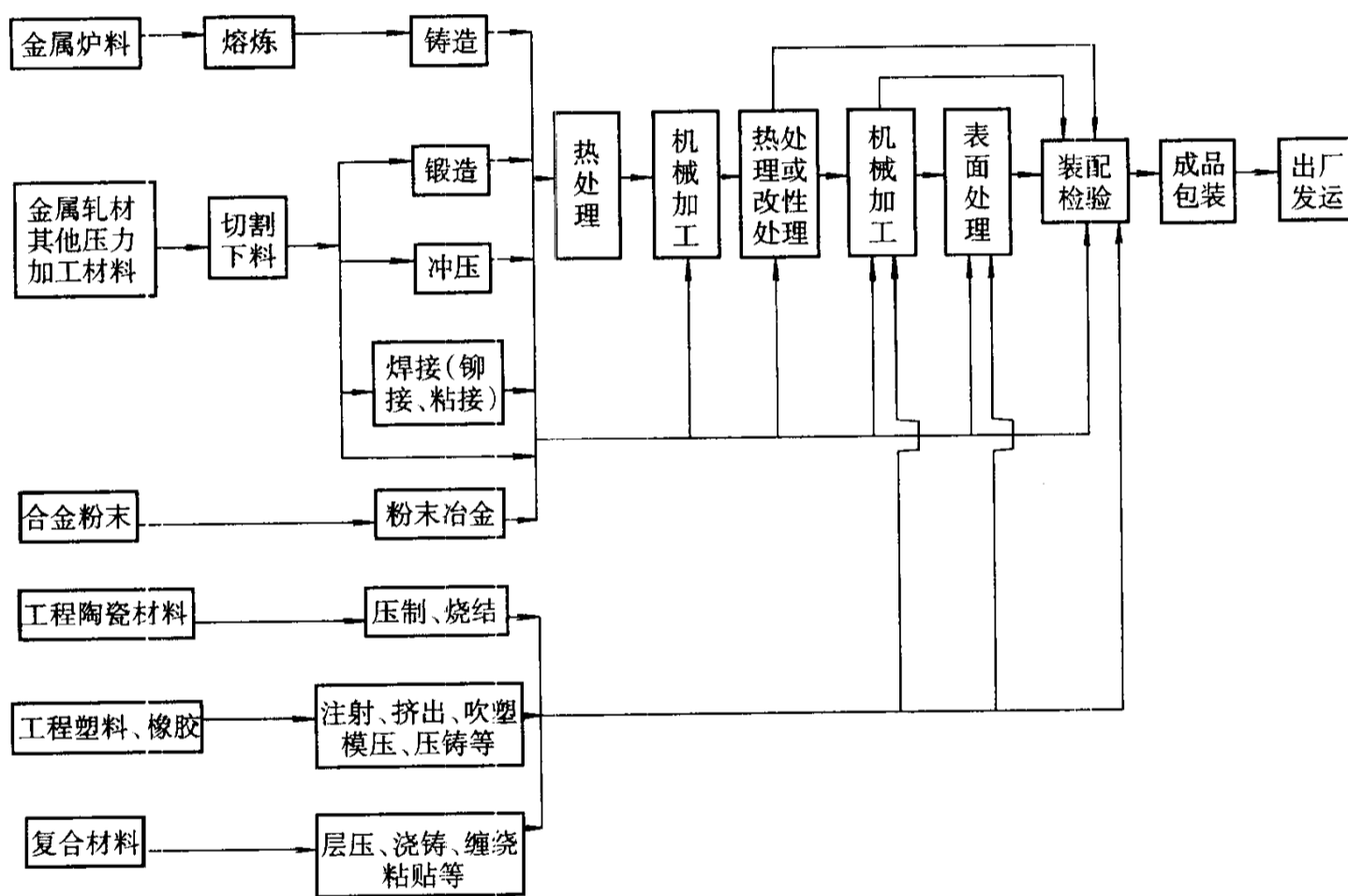


图 1.3.1 机械制造工艺流程图

机械工业生产的原材料主要是以钢铁为主的金属结构材料,包括由冶金工厂直接供应的棒、板、管、线材、型材等(经切割、焊接、冲压、锻造或下料后直接进行机械加工);也包括生铁、废钢、铝锭、电解铜板等(二次熔化后进行铸造或铸锭后锻造等)。随着机械工程材料结构的不断调整,各种特种合金、金属粉末、工程塑料、复合材料和工程陶瓷材料的应用比例也不断扩大。

金属毛坯和零件的成形一般有铸造、锻压、冲压、焊接和轧材下料等五种常用方法(轧材下料又常用作锻压和焊接的准备工序);其他材料(如合金粉末、工程陶瓷、工程塑料等)另有各自的特殊成形方法。



随着毛坯精密成形工艺(又称少、无切屑工艺)的发展,毛坯与零件的界限越来越小。有的毛坯成形(如精铸、压铸、精锻等)后,已接近或达到零件的最终形状和尺寸精度。随着复合工艺的出现,采用两种以上方法制造毛坯的铸-锻、铸-焊、锻-焊、冲-焊、铸-锻-焊结构零件也不断出现。

零件的机械加工指采用切削、磨削和特种加工等方法,逐步改变毛坯的形状、尺寸及表面质量,使其成为合格零件的过程。根据加工余量的大小及所能达到的精度,一般分粗加工和精加工两种。

金属材料的热处理可分为预备热处理和最终热处理。前者一般在毛坯成形后粗加工前进行;后者一般在粗加工后精加工前进行。部分热处理工艺(表面热处理和化学热处理)往往也作为表面保护的具体措施。毛坯成形工艺本身通过对材料的成分、组织、致密度、纯净度的调整,也兼有材料改性的功能,还可能利用铸、锻、焊等毛坯成形后的余热实施热处理工艺。

材料电镀、转化膜、气相沉积、热喷涂、涂装等表面处理工艺,一般在零件精加工后装配前进行,用以改变零件表面的力学性能及物理化学性能,使其具有符合要求的强韧性、耐磨性、耐蚀性及其他特种性能。热喷涂后还常需进行精加工。除油除锈、磷化、底漆、涂装等常在加工工序间进行。通过表面抛光、光亮镀层、涂层着色、美术装饰漆膜等方法达到表面装饰的目的。

在加工工艺过程中,有大量主体工序(如造型、熔化浇注、冲压、锻造、焊接、淬火回火、电镀、切削等),同时,也有大量的辅助工序(如毛坯打磨、焊补、去毛刺;成形加工中的消除应力退火;电镀涂装前的表面预处理等)。在工艺装备中要有相应的辅助工装(如浇包、砂箱、焊接辅具、加热炉的进出料装置、淬火槽、锻造操作机、清洗机、夹具、工位器具等)和工艺材料(如造型原砂、粘结剂、造型涂料、球化剂、变质剂、焊条、焊剂、保护气体、热处理熔盐、电镀添加剂、氧化处理剂、涂装涂料、热喷涂粉末、切削液等)配合。辅助工序、辅助工装和工艺材料对产品质量往往具有重大甚至决定性影响。

在机械制造生产过程中,各种物料(原材料、工件、成品、工具、辅助材料、废品废料等)的搬运和贮存,材料产品和工艺过程的检测和质量监控,生产过程中各种信息的传递和控制都是贯穿于整个机械制造工艺过程的,是保证生产工艺过程的正确实施、提高产品质量稳定性、提高经济效益的重要环节。

### 1.3.2 机械制造工艺分类

我国现行的机械行业标准“JB/T 5992—92 机械制造工艺方法分类与代码”,将工艺方法按大类、中类、小类分类,见表 1.3.1。

表 1.3.1 工艺方法类别划分及其代码(JB/T 5992—92)

大类		中类		小 类 代 码									
代码	名称	代码	名称	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
				小 类 名 称									
0	铸 造	01	砂型铸造		湿型铸造	干型铸造	表面干型铸造	自硬型铸造					其他
		02	特种铸造		金属型铸造	压力铸造	离心铸造	熔模铸造	壳型铸造	实型铸造	连续铸造		其他

续表

大类		中类		小 类 代 码										
代码	名称	代码	名称	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
				小 类 名 称										
1	压力加工	11	锻造		自由锻	胎模锻	模锻	平锻	墩锻	辗锻			其他	
		12	轧制			冷轧	热轧							
		13	冲压		冲裁	弯曲	成形	精整						
		14	挤压		冷挤压	温挤压	热挤压							其他
		15	旋压		普通旋压	变薄旋压								
		16	拉拔		冷拔	热拉拔								
		19	其他		其他成形方法									
2	焊 接	21	电弧焊		无气体保护电弧焊	埋弧焊	熔化极气体保护电弧焊	非熔化极气体保护电弧焊	等离子弧焊				其他电弧焊	
		22	电阻焊		点焊	缝焊	凸焊		电阻对焊				其他	
		23	气焊		氧-燃气焊	空气-燃气焊	氧-乙炔喷焊						气割	
		24	压焊		超声波焊	摩擦焊	锻焊	高机械能焊	扩散焊		气压焊	冷压焊		
		27	特种焊接		铝热焊	电渣焊	气电立焊	感应焊	光束焊	电子束焊	储能焊	螺柱焊		
		29	钎焊		硬钎焊			软钎焊				钎接焊		
3	切削加工	31	刀具切削	车削	铣削	刨削	插削	钻削	镗削	拉削	刮削		其他	
		32	磨削	砂轮磨削	砂带磨削		珩磨	研磨	超精加工				其他	
		34	钳加工	划线	手工锯削	錾削	锉削	手工刮削	手工打磨	手工研磨	平衡		其他	
4	特种加工	41	电物理加工		电火花加工	电子束加工	离子束加工	等离子加工			激光加工	超声加工	其他	
		42	电化学加工		电解加工				电铸				其他	
		43	化学加工											
		46	复合加工		电解磨削	加热机械切削		振动切削	超声研磨		超声电火花加工			
		49	其他		高压水切割		爆炸索切割							
5	热处理	51	整体热处理		退火	正火	淬火	淬火与回火	调质	稳定化处理	固溶处理	时效		
		52	表面热处理		表面淬火	物理气相沉积	化学气相沉积	等离子体化学气相沉积						
		53	化学热处理		渗碳	碳氮共渗	渗碳	氮碳共渗	渗其他非金属	渗金属	多元共渗	熔渗		
6	覆盖层	61	电镀		镀单金属	镀合金	镀复合层	镀复合材料层						
		62	化学镀		无电流镀		接触镀							

续表

大类		中类		小 类 代 码									
代码	名称	代码	名称	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
				小 类 名 称									
6	覆盖层	63	真空沉积		化学气相沉积	物理气相沉积	离子溅射	离子注入					
		64	热浸镀										
		65	转化膜		化学转化	电化学转化							
		66	热喷涂		熔体热喷涂	燃气热喷涂	电弧喷涂	等离子喷涂	电热喷涂	激光喷涂	喷焊		
		67	涂装		手工涂	喷涂	浸涂	淋涂	机械辊涂	电泳			
		69	其他		包覆	衬里	搪瓷	机械镀					
8	装配与包装	81	装配		部件装配	总装							
		82	试验与检验		试验	检验							
		85	包装		内包装	外包装							
9	其他	91	粉末冶金		轴向压实	等静压压实	挤压与轧制						
		92	冷作		弯形	膨胀	收缩	整形					
		93	非金属材料成形		聚合材料成形	橡胶材料成形	玻璃成形	复合材料成形					
		94	表面处理		清洗	粗化	光整	强化					
		95	防锈		水剂防锈	油剂防锈	气相防锈	环境封存防锈	可剥性塑料防锈				
		96	缠绕		弹簧缠绕	绕组绕制							
		97	编织		筛网编织								
		99	其他		粘接	铆接							

### 1.3.3 机械制造工艺的技术进展

铸造、锻压、焊接、热处理、机械加工等传统的常规成形工艺至今仍是量大面广、经济适用的技术,因此,常规工艺的不断改进、提高具有很大的技术经济意义。通过改进工艺设备、采用新型工艺材料、完善检测控制系统、改善工艺条件、优化工艺参数等途径,实现高效化、精密化、强韧化、轻量化,以形成优质、高效、低耗,少无污染的先进适用工艺。如以气体保护自动焊或埋弧自动焊取代手工焊条焊接;以树脂等自硬砂造型取代粘土砂造型;以热模锻压力机锻造取代蒸气锤、空气锤锻造;以可控气氛热处理或真空热处理取代氧化气氛中的热处理;以水溶性或粉末涂装取代油漆涂装;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。常规工艺经过优化后,能够扩展原有的工艺效果,使得诸如下料和加工、毛坯制造和零件加工、粗加工和精加工、冷加工和热加工、成形与改性等工艺,在界限上

趋于淡化,在功能上趋于交叉。如精密冲裁、精密切割的功能不止限于下料,一直扩展至粗加工甚至部分精加工领域。无余量精密制造、接近最终形状的精密塑性成形等基本可取代粗加工,甚至可以做到直接装配。常规工艺的不断优化,取得了非常明显的技术经济效果。

近些年来,机械产品更新换代的速度不断加快,对制造工艺提出了更高更新的要求;新能源、新材料、微电子、计算机等高新技术的不断引入,为新型加工方法的出现提供了技术储备。因此,机械制造新型成形加工方法也不断地出现和发展。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变化。如使焊接技术从以“焊钢”为中心时代,逐渐进入同时焊接各种非铁金属乃至非金属时代,使单一的焊接技术演变成焊接-连接技术。在焊接-连接工程塑料、复合材料、工程陶瓷、单晶微晶非晶金属材料时,固态焊接、扩散连接、特种钎焊比传统的熔化焊显示出明显的优越性。新型材料的应用也导致某些崭新加工技术的产生,如加工超塑性材料的超塑成形、等温锻造、扩散焊接;加工陶瓷材料的热压成形。粉浆浇注、注射成形;沉积 TiN、TiC、人造金刚石等超硬薄膜用的气相沉积。

激光、电子束、离子束、分子束、等离子体、微波、超声波、电液、电磁、高压水射流等新能源或能源载体的引入,形成了多种崭新的特种加工及高密度能切割、焊接、熔炼、锻压、热处理、表面保护等加工工艺。激光、等离子、高压水射流切割技术与数控技术相结合使加工精度、切口质量和生产效率大幅度提高,已从一种下料手段转变为一种崭新的成形加工方法,即“自由成形制造”。

随着机械加工精度不断提高,出现了精密加工和超精密加工,其主要方式有超精密切削,超精密磨削与磨料加工。制造超大规模集成电路、光电器件等的基本加工工艺是微细加工,它不仅加工精度极高,而且加工尺寸十分微小,甚至包括尺寸小于  $1\mu\text{m}$  的材料制造和加工。它的主要工艺方法有光刻、刻蚀、沉积、外延生长、扩散、离子注入及封装。微细加工的发展还导致一门崭新的学科——微机械的产生。应用微机械技术可制造出微量级尺寸的机械器件,如微型传感器、静电驱动的微型马达、微型齿轮、微型轴承、微型机械手、微型机器人等。

将两种以上加工方法复合应用(工艺及设备复合)形成一些复合加工技术。如超声振动切削、液态模锻(铸造+热挤压)、连续铸挤(连续铸造+挤压)、超塑成形-扩散连接等加工方法。

计算机数值模拟技术在铸造、锻压、焊接等传统工艺中开始得到应用,它可以预测缩孔、裂纹等缺陷的位置,提出防止措施,确定工艺规范,优化工艺方案,从而确保毛坯件的质量。计算机辅助工艺设计(CAPP)使传统热加工工艺由技艺逐步发展为一门名副其实的工程科学。材料成形及处理各生产环节采用高效专用设备和先进工艺,普遍实现了工艺专业化和机械生产自动化。

微电子、计算机、自动化技术与工艺及设备相结合,形成了从单机到系统,从刚性到柔性,从简单到复杂等不同档次的多种自动控制加工技术,使传统工艺面貌发生显著、本质的变化。应用新型传感器、无损检测等工艺过程自动监控技术及可编程控制器、微机等新型控制装置可实现系统的自适应控制和自动化控制。为适应产品更新换代周期短、品种规格多样化的需要,高效柔性加工系统获得了较快发展。计算机集成制造系统(CIMS)借助计算机技术,将产品设计、制造(CAD/CAM)和管理信息集成于交互式网络中,形成一个有机整体,实现机械制造过程高度自动化,极大地提高了劳动生产率和社会经济效益。

### 1.3.4 机械制造技术系统

近年来“工艺”概念及工艺工作的内容不断扩展,由狭义到广义,由局部到整体,由断续零散到成套系统,使现代的“工艺”概念逐步演变成以整个制造过程为服务对象,以提高质量、效率、效益、竞争力为目标,包括物质流、信息流和能量流的完整的先进制造技术体系,即“机械制造技术系统”,如图 1.3.2 所示。

引入工业工程(IE)、系统管理(SMI)和系统生产技术(SPJ)的原理和方法,将生产过程中的物流、能量流与信息流经过一定的系统化及某种形式和程度的结合,集成成为一种新的生产技术体制——机械制造技术系统,它具有“自动化、柔性化、高效化”的综合效果特征。

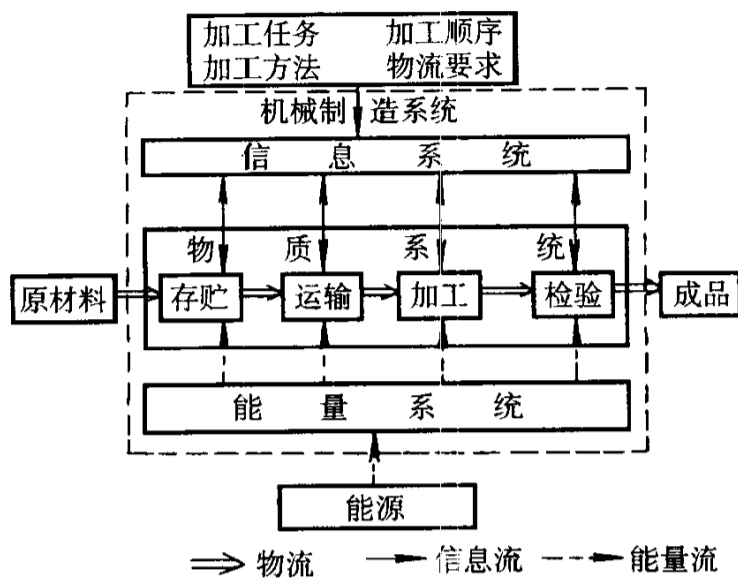


图 1.3.2 机械制造技术系统框图

## 1.4 工程材料的生产过程概述

### 1.4.1 钢铁材料的生产过程

钢铁材料是以铁元素为主要成分,同时含有碳和其他元素的金属材料,工业上按碳的质量分数分为工业纯铁、钢和生铁三类。现代钢铁联合企业的生产流程是:高炉炼铁→铁水预处理→氧气转炉炼钢→炉外精炼→连铸→钢坯热装热送→连轧。现代化新型电炉钢厂以废钢为原料采用电炉炼钢。钢材的一般生产流程见图 1.4.1 所示。

#### 1. 生铁的生产过程

自然界中的铁主要以铁矿石形式存在,通过铁矿勘探—采矿—矿石破碎—选矿—精矿粉烧结和球团化—高炉炼铁等过程生产出铁水。高炉炼铁的主要原料是铁矿石、焦炭、石灰石和空气。炼铁时,把铁矿石、焦炭和石灰石按一定配比从高炉炉顶加入炉内,同时把预热过的空气从炉腹底部的进风口鼓入炉内。因为炉料由上向下落,热的气体由下向上升,它们在炉内能够充分接触,使反应得以顺利进行。铁矿石中的铁被还原出来,少量来自矿石和燃料(焦炭)中的杂质元素(如 Si、Mn、S、P 和 C 等)在高温下溶于铁里,成为生铁。铁水可直接送去炼钢或铸成生铁块,作为炼钢或铸铁的原料。高炉生铁可分为两类:一类为铸造生铁,主要用于铸件生产,硅的质量分数较高,断口呈暗灰色;另一类为炼钢生铁,主要用作炼钢原料,硅的质量分数较低,断口呈白色。

#### 2. 炼钢

炼钢的基本原料是炼钢生铁和废钢,根据工艺要求,还需加入各种铁合金或金属,以及各种造渣剂和辅助材料。原材料的优劣对钢的质量有一定的影响,而炼钢设备和冶炼工艺对钢的性能也有一定的影响。所以应按钢种和质量要求正确合理地选择炼钢炉,并制订相应的冶炼工艺。

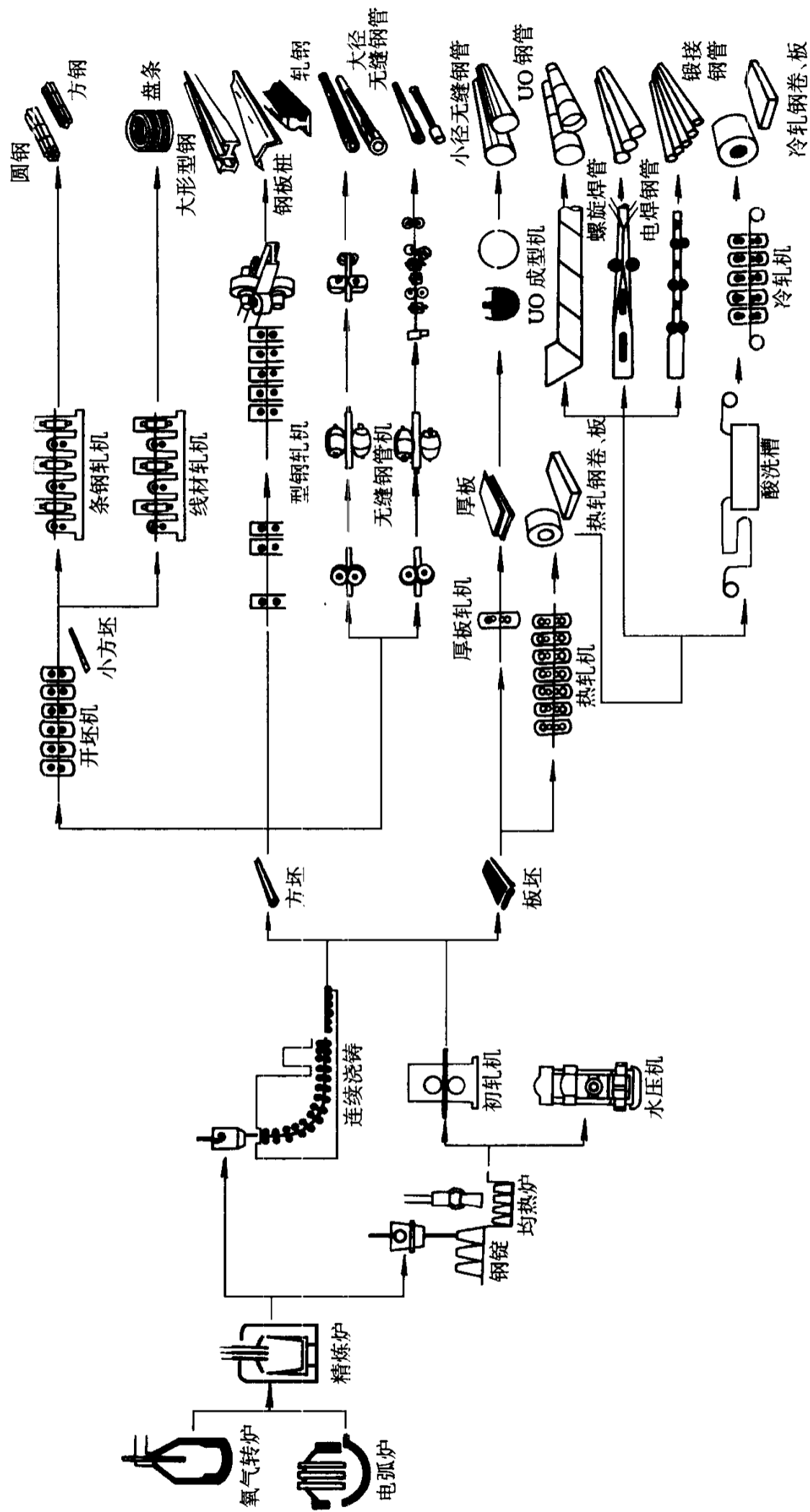


图 1.4.1 钢材的生产流程示意图

用于大量生产的炼钢炉主要有氧气转炉、高功率和超高功率电弧炉,还有平炉和普通功率电弧炉。为了满足特殊需要还应用电渣炉、感应炉、电子束炉、等离子炉等。现代炼钢工艺中,几种主要炼钢炉只是作为初炼炉,其主要功能是完成熔化和初调钢液成分和温度,而钢的精炼和合金化是在炉外精炼装备中完成的。炉外精炼是提高钢材内在质量,保证连铸机正常运行的关键技术。多种炉外精炼技术可实现脱碳、脱硫、脱磷、脱氧、去除微量有害杂质和夹杂物变性等功能。

脱氧工艺及钢水脱氧程度与钢的凝固结构、钢材性能、质量有密切关系。当加入足够数量的强脱氧剂(Si、Al),使钢水脱氧良好,在钢锭模内凝固时不产生 CO 气体,钢水保持平静,这样生产的钢称镇静钢。如果控制脱氧剂种类和加入量(主要是锰)使钢液中残留一定量的氧,在凝固过程中形成 CO 气泡逸出而产生沸腾现象,这样生产的钢称沸腾钢。脱氧程度介于镇静钢和沸腾钢之间的钢,称半镇静钢。这三类钢的钢锭内部结构见图 1.4.2 所示。国家标准规定,普通质量非合金钢按沸腾钢、镇静钢和半镇静钢生产和供应;合金钢除个别钢种外,一般都是镇静钢。沸腾钢由于容易生产,钢锭无缩孔,成材率高,且板材表面质量好,所以一直在钢产量中占有一定比例;但由于它不适于连铸,不能在钢包中脱硫和进行钙处理,内部质量满足不了用户对均质性和纯洁度的高要求,故产量和用途受到限制。

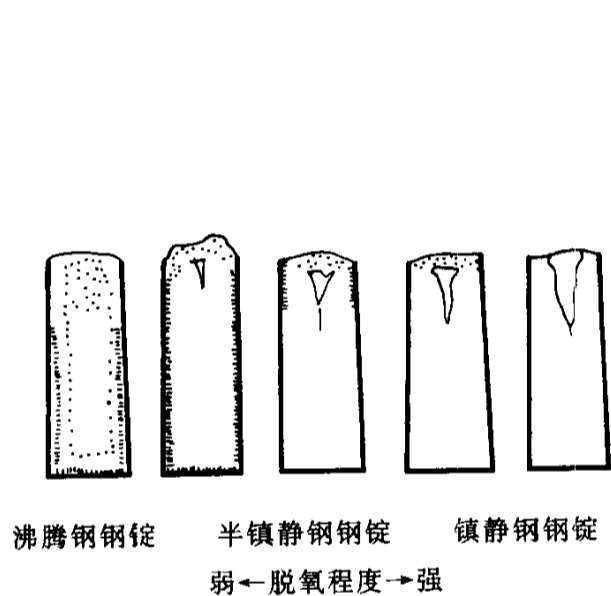


图 1.4.2 沸腾钢、半镇静钢、镇静钢的钢锭内部结构示意图

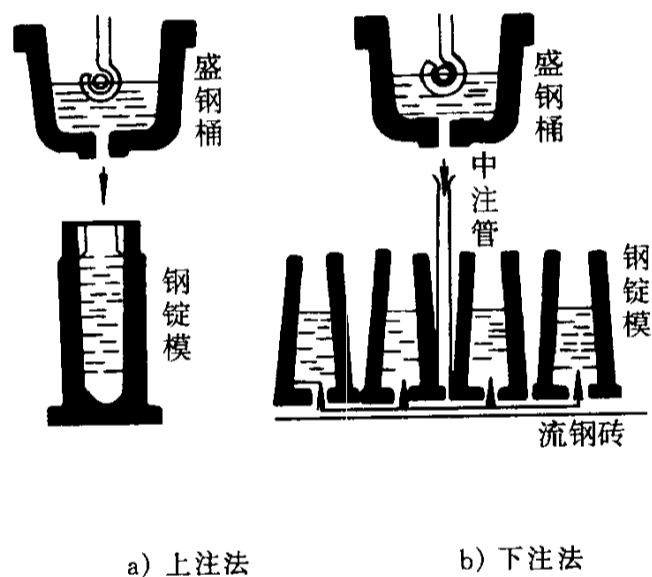


图 1.4.3 上注法和下注法模铸示意图

### 3. 钢的浇铸

钢的浇铸分为模铸和连续浇铸。模铸是将钢水注入钢锭模内,待凝固脱模后成为钢锭。模铸分上注钢锭和下注钢锭,其浇注方法见图 1.4.3 所示。上注锭的工艺操作简单,外来夹杂物少,钢水收得率高,但浇注时钢水飞溅影响钢锭的表面质量,增加修磨工作量。下注锭的表面质量好,但带入外来杂物的机会多。由于模铸钢锭是间歇生产,生产率低,随着连续浇铸技术的发展,其所占的比例将逐渐减小。但机械工业中所需要的大锻件还需用大的模铸锭(或经特殊处理,如电渣重熔等)来制造。

钢的连续浇铸是将钢水从钢包经过中间包浇入连铸机的结晶器中,从结晶器的另一端连续拉出钢锭,再经过二次冷却和矫直而得到连铸坯(见图 1.4.4)。连铸是钢铁工业发展的趋势,世界范围内连铸比逐年提高,先进的钢厂已达到全连铸水平。和传统的模铸相比,连铸可简化生产工序,提高生产效率;增高金属收得率;直接热送轧制以降低能耗;铸坯质量好,内部组织均匀、致

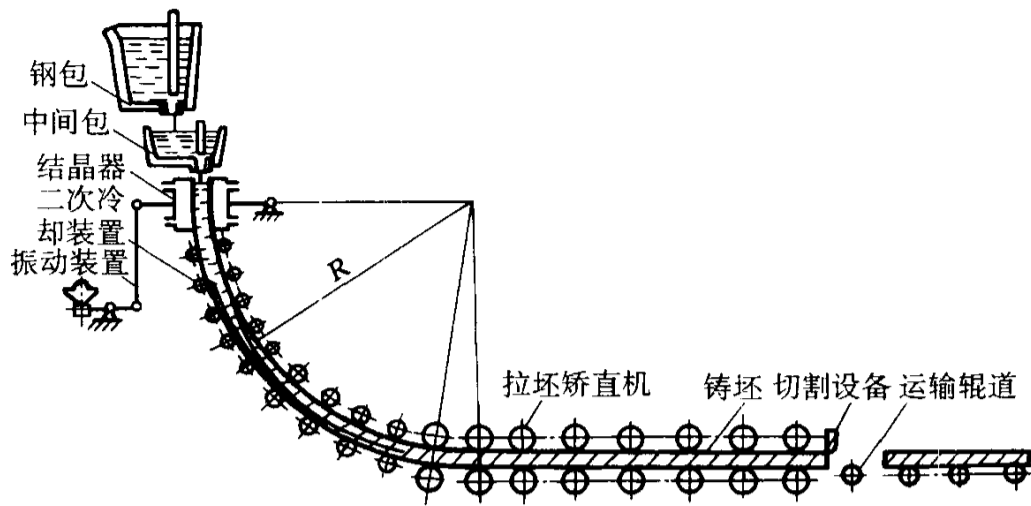


图 1.4.4 弧形连铸机示意图

密,偏析少,性能稳定,连铸坯轧出的板材横向性能优于模铸,深冲性能也有所改善。

#### 4. 钢的压力加工

钢锭或连铸坯经过压力加工得到各种形状和规格的钢材。塑性变形有助于消除铸态组织中的粗晶粒、孔隙和疏松,并能减轻偏析。经热压力加工的钢材其塑性优于铸态。在钢材实际生产中,往往有一个供消除铸态组织或保证获得某种性能所必需的加工量,锻压时为开坯锻压比,轧制时为开坯压缩比。

生产钢材的压力加工方法,主要有轧制、拉拔、锻造,以及精铸、摆锻、挤压等。轧制是坯料通过转动的轧辊而变形。轧制可采用各种形式的轧机,表 1.4.1 列出部分典型轧制方法。采用具有不同孔型的轧辊可得到所需要的各种形状的钢材。经过轧制成型的钢的工业品分为大型型

表 1.4.1 部分钢材轧制方法

图 示	轧制钢材	图 示	轧制钢材	图 示	轧制钢材
二辊式 	初轧、轨梁,中、厚板,钢坯连轧,叠轧薄板,冷轧薄板,平整	多辊式 	薄带和箔材冷轧	斜辊式 	无缝管穿孔均整
三辊式 	轨梁,大、中、小型型材,线材,开坯	万能式 	板坯初轧,中、厚板,带钢	三辊斜轧式 	无缝管轧管,无缝管穿孔
劳特式 	中、厚板,叠轧薄板粗轧	万能式 	宽边钢梁,大、中型型钢	轮箍轧机 	轧制车轮轮箍



钢、棒材、中小型型钢、盘条、钢筋、扁平成品(薄板、厚板、钢带、宽扁钢)、钢管、中空型材、中空棒材及其他特种形状钢材等。热轧钢材的原料主要是钢锭和连铸坯。钢锭先进行初轧,开坯成各种规格的方坯、扁坯、板坯等钢坯。钢坯轧制成钢材,通常先以大压下量进行粗轧,以减少轧制道次,提高产量;再以小压下量进行精轧,以达到良好的表面质量和精确的尺寸。钢材轧制后,按不同技术条件,分别经酸洗、铲磨、矫直、定尺和平整等精整工序,才供用户使用。

钢材热轧的效率,产量大,成本低,是生产各种钢材最主要的方法。但在高温下钢表面产生氧化皮,使热轧钢材表面粗糙,尺寸波动大。所以,生产表面质量优良和尺寸精确的板、管、带以及薄壁管、薄钢带等精细产品,采用冷轧方法。冷轧,一般用热轧退火和酸洗后的坯料。

轧制方法不断在发展,纵轧成型、斜轧成型、横轧成型、齿轮轧制、车轮与轮箍轧制、钢球轧制等各种特种轧制生产率高,金属消耗少,产品质量好。近年开发的连铸连轧,即钢液连续浇铸与连续轧制,有很好的前景。

在热轧过程中,通过对坯料加热、轧制和冷却的合理控制,使塑性变形与固态相变相结合,以获得良好的晶粒组织,使钢材具有优异的综合性能,这种轧制技术称为控制轧制。其特点是既能生产出强度、韧性兼优的钢材,又可省去轧后的热处理工序,节约能耗。控制轧制工艺主要用于含有微量元素(Nb、V、Ti)的低碳钢种。

拉拔是钢材由拉力通过有一定倾角的锥形拉模而变形。拉拔的产品有直径较粗的管材、棒材等,也有直径较细的线材、钢丝等。其断面通常为圆形,但也有各种异型制品。

锻造是把坯料放在成对工(模)具之间,由冲击或静压使坯料达到预期的形状。锻造的适应性强,能生产形状复杂的制品,还能生产特大型锻件。高合金钢钢锭由于塑性很低,难以热轧开坯,必须先用锻造使之在一定条件下缓慢变形,才能进行轧制。锻造对于改善合金钢组织,特别是消除网状碳化物,其效果优于轧制;尽管锻造生产率低,能耗大,但当质量上有特殊要求或难于轧制成形的情况下仍需采用它。精锻和摆锻则是高效率生产难变形合金的加工工艺。

挤压是将被加热的坯料放进挤压筒内,在强大外力的作用下,使其通过挤压筒一端的模孔中挤出成形。挤压加工的优点是能够加工塑性低的钢和合金材料;其主要缺点是成材率低,劳动生产率低,单产投资和成本高。

#### 1.4.2 有机高分子材料的生产过程

在工程中使用的有机高分子材料主要是人工合成的高分子聚合物(简称高聚物)。有机分子是由碳原子与其他基团结合形成的,高聚物是通过聚合反应由低分子有机化合物单体结合而形成的。

##### 1. 基本有机原料生产

有机高分子材料(包括各种塑料、合成纤维、合成橡胶等)都是以基本有机原料为基础加工生产出来的。基本有机原料根据其产品在有机化学工业中所起的作用和相互关系,大致可以分为两类:

a. 基础有机原料 它们是有机化学工业的基础。一般是从天然的原料资源(农林产品、煤、石油和天然气等)开始,经过一次化学加工和适当的物理处理得到的。包括乙烯、丙烯、丁二烯、乙炔、苯、甲苯、二甲苯、萘等十余种。

b. 基本有机原料 它们主要是由第一类基础有机原料经过进一步化学加工而得到的产品。