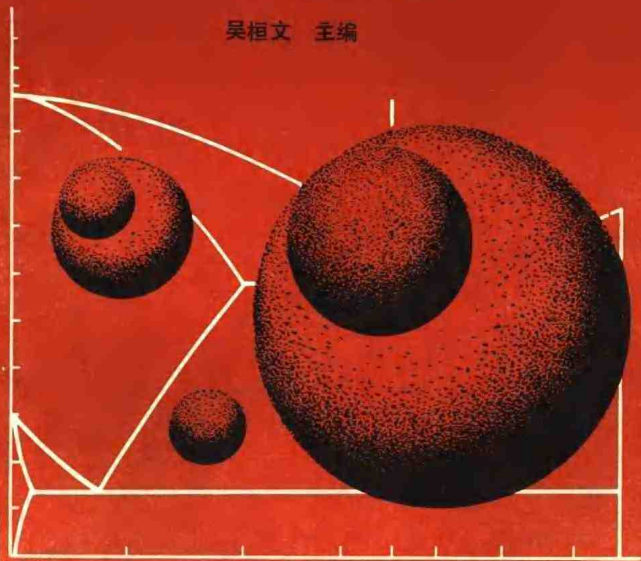


# 热加工工艺 基础

样书

吴桓文 主编



重庆大学出版社

10  
71  
2

工程材料及机械制造基础 (I)

# 热加工工艺基础

吴桓文 主编



重庆大学出版社



4811

## 内 容 提 要

本书按照国家教委《工程材料及机械制造基础》课程指导小组1986年制定的《工程材料及机械制造基础》(Ⅱ)《热加工工艺基础》的基本要求编写。全书共分十四章,包括:铸造、压力加工、焊接、材料和毛坯选择。每章之后附有复习思考题,可供学生复习和讨论。

编者力求精选内容,增加新工艺新技术的比重,增强加工方法的比较。增加了“材料和毛坯选择”、“铸件的检验与质量管理”、“高速高能成形”、“焊接结构设计”等章节内容,引入了经济性和质量管理概念,避免了与金工教学实习内容的重复,并全面地贯彻了新国标。

本书可与吴桓文主编的、由高等教育出版社出版的《机械加工工艺基础》教材配套使用。本书可作为高等工科院校机械类、管理类各专业教材,也可供职工大学、电视大学、函授大学运用,亦可供有关专业的工程技术人员和技术工人参考。

### 热加工工艺基础

吴桓文 主编

责任编辑 蒋怒安 梁涛

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

中国人民解放军重庆通信学院印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:10.75 字数:268千  
1988年6月第1版 1988年6月第1次印刷

印数:1—8000

标准书号: ISBN 7-5624-0113-0 定价: 1.35元  
TG-6

## 前 言

现代科技的伟大成就，无论是发射人造地球卫星、载人的宇宙飞船和航天飞机，还是制造数控机床和工业机器人，都是综合利用了精密机械、光电仪器、计算机技术、自动控制技术等多学科和技术的产物。今日之机械制造由于计算机的日益广泛的应用和工业机器人的推广，正在发生着巨大的变革，建立用计算机控制的无人化的全自动工厂已经不是遥远的梦想。

机械制造业是国民经济的技术装备部，要实现“四化”就要用现代的先进技术装备武装农业、工业、国防和科学技术部门。因而机械工业的发展速度高于整个工业和国民经济发展的速度，即机械工业的发展具有明显的超前性。1951年至1974年，日本国民生产总值的年平均增长速度为9%，整个工业年平均增长速度为13.7%，而机械工业的年平均增长速度则高达19.1%，1951至1975年，苏联国民生产总值年平均增长速度为7.8%，整个工业的年平均速度为9.5%，而机械制造业的平均增长速度达13.1%。就机械工业在整个工业总产值中所占的比重来看，机械工业产值也是远远高于其它工业部门。1977年，发达资本主义国家机械工业产值占36.4%，苏联及东欧国家占44.9%，1979年我国机械工业产值占27.1%。

在机械制造过程中，即使有了优秀的设计，如果没有相应的工程材料和加工技术来加以实现，设计图也只是空中楼阁。《工程材料及机械制造基础》就是讲述机械制造过程中，采用的工程材料以及各种冷热加工方法和技术的——门综合性技术科学，它是构成机械制造这座金字塔的重要基础。

本书按照《工程材料及机械制造基础》(II)——《热加工工艺基础》课程的基本要求编写。考虑到适应现代化生产发展的需要，将传统工艺中有关加工方法的内容尽可能放在《金工实习》中解决，增加新工艺新技术的比重，增强加工方法的比较，增加了“铸件的检验与质量管理”、“焊接结构设计”、“材料和毛坯选择”等内容，引入了经济性的概念，并且全面地贯彻了新国标。

本书是在重庆大学经过两届试用后加以修改补充而成的。前言、第一、五、十四章由吴桓文编写，第二、三、四章由涂履中、吴桓文编写，第六、七、八、九章由陈开宗编写，第十、十一、十二、十三章由赵月望编写，全书由吴桓文担任主编，并负责统稿。

本书由聂让焜副教授审阅，在编写过程中钱渝城教授、聂雨松副教授、林为干副教授提供了宝贵的资料，本书责任编辑蒋恂安、梁涛为提高本书质量作了大量工作，在此一并致谢！

本书可供高等工科院校机械类、管理类各专业作为讲课教材，也可供职工大学、业余大学、函授大学选用及有关专业的工程技术人员和技术工人参考。

由于编者水平所限，书中难免出现错误和不妥之处，诚恳希望广大读者批评指正。

主 编 者

1987年10月

# 目 录

<b>第一章 绪 论</b> .....	( 1 )
§ 1-1 机械制造的发展简史.....	( 1 )
§ 1-2 机器的构成及所用材料.....	( 4 )
§ 1-3 机械制造的程序.....	( 6 )
§ 1-4 机械零件的制造方法.....	( 7 )
<b>第二章 铸造合金</b> .....	( 10 )
§ 2-1 合金的铸造性能.....	( 10 )
§ 2-2 铸铁.....	( 14 )
§ 2-3 铸钢.....	( 19 )
§ 2-4 铸造有色合金.....	( 20 )
<b>第三章 砂型铸造</b> .....	( 25 )
§ 3-1 机器造型概述.....	( 25 )
§ 3-2 铸造工艺简图.....	( 26 )
§ 3-3 铸件结构设计原则.....	( 30 )
<b>第四章 其它铸造方法</b> .....	( 37 )
§ 4-1 金属型铸造.....	( 37 )
§ 4-2 压力铸造.....	( 38 )
§ 4-3 低压铸造.....	( 39 )
§ 4-4 熔模铸造.....	( 40 )
§ 4-5 壳型铸造.....	( 41 )
§ 4-6 离心铸造.....	( 42 )
§ 4-7 各种铸造方法的比较.....	( 43 )
<b>第五章 铸件的检验与质量管理</b> .....	( 45 )
§ 5-1 铸件的检验.....	( 45 )
§ 5-2 铸件的质量管理.....	( 47 )
<b>第六章 金属的塑性变形</b> .....	( 54 )
§ 6-1 金属塑性变形的基本理论.....	( 54 )
§ 6-2 金属的可靠性.....	( 58 )
§ 6-3 金属的加热.....	( 60 )
§ 6-4 超塑性的概念.....	( 62 )
<b>第七章 锻 造</b> .....	( 64 )
§ 7-1 自由锻造.....	( 64 )
§ 7-2 模型锻造.....	( 71 )
§ 7-3 胎模锻造.....	( 75 )
§ 7-4 先进锻造方法.....	( 75 )

§ 7-5 合金钢的锻造特点	( 78 )
<b>第八章 板料冲压</b>	( 80 )
§ 8-1 冲压设备与模具	( 80 )
§ 8-2 冲压基本工序	( 83 )
§ 8-3 冲压件结构工艺性	( 87 )
<b>第九章 其它压力加工方法</b>	( 90 )
§ 9-1 轧制	( 90 )
§ 9-2 挤压	( 92 )
§ 9-3 高速高能成形	( 96 )
<b>第十章 弧焊理论基础</b>	( 101 )
§ 10-1 概述	( 101 )
§ 10-2 焊接电弧	( 102 )
§ 10-3 手弧焊机	( 104 )
§ 10-4 手工电弧焊过程及其特点	( 106 )
§ 10-5 电焊条	( 107 )
§ 10-6 焊接接头金属组织与性能	( 110 )
§ 10-7 焊接应力与变形	( 112 )
<b>第十一章 现代焊接方法</b>	( 117 )
§ 11-1 电弧焊和电渣焊	( 117 )
§ 11-2 电阻焊和摩擦焊	( 121 )
§ 11-3 钎焊	( 126 )
§ 11-4 其它特种焊接方法	( 127 )
<b>第十二章 常用金属材料的焊接</b>	( 133 )
§ 12-1 金属材料焊接性的概念	( 133 )
§ 12-2 钢材的焊接	( 134 )
§ 12-3 铸铁的焊接与焊补	( 136 )
§ 12-4 有色金属的焊接	( 137 )
§ 12-5 异种金属的焊接	( 139 )
<b>第十三章 焊接结构设计</b>	( 142 )
§ 13-1 焊接结构的特点和设计要求	( 142 )
§ 13-2 焊接结构的合理设计	( 143 )
§ 13-3 机器焊接结构设计	( 149 )
<b>第十四章 材料和毛坯选择</b>	( 154 )
§ 14-1 材料的选择	( 154 )
§ 14-2 毛坯的选择	( 156 )
§ 14-3 材料与毛坯选择示例	( 160 )
<b>参考文献</b>	( 163 )

# 第一章 緒 论

## §1-1 机械制造的发展简史

勤劳智慧的中国人民，历史上在冶铸技术和机械制造技术方面有过辉煌的成就。在商朝（公元前16~11世纪）已是青铜器全盛时期，当时青铜冶铸技术精湛，在河南安阳武官村出土的司母戊大方鼎，是商朝的大型铜铸件，鼎重875kg，其上花纹精致。战国时制剑技术已相当高明，说明当时已掌握了锻造和热处理技术。到了17世纪中叶（1668年），我国曾经应用直径近2丈的镶齿铣刀，由牲畜带动旋转，用以铣削天文仪器上的铜环。

明朝宋应星所著《天工开物》一书，论述了冶铁、铸钟、锻造、淬火等各种金属加工的方法，它是世界上有关金属加工的最早的科学著作之一。

但是，由于我国历史上长期的封建统治，严重地束缚了科学技术的发展，造成了落后的局面。

从世界上出现第一台金属切削机床以来，至今不过两百多年的历史，以下着重介绍这部机械制造的近代史。

1775年，英国的威尔肯逊（J. wilkinson）为了制造瓦特发明的蒸汽机，制造了汽缸镗床，这台金属制成的机床的问世，标志着人类用机器代替人的手工操作的“机械化”时代的开始。随后相继出现了各种类型的金属切削机床和刀具，推动了工业社会的向前发展。

伴随着生产的发展，要求进一步提高生产效率，保证产品质量，减少生产工人，改善劳动条件，降低产品成本，这就提出了自动化的要求。自动化的初期阶段，是用机械的运动来代替人们的体力劳动，实现单台机床的自动化，例如，把工件在机床上的装卸、各种开关和手柄的操纵等操作，都用凸轮产生的纯机械指令来代替，这就是自动机床。后来进一步实现了工件在工序之间传输的自动化，用自动传送带把多台自动机床连接成一条加工线，按照一定的程序和节拍自动地进行加工，构成自动生产线。1924年英国莫里斯汽车公司（Morris Motors）建立了自动线，为大批量生产部门如汽车、拖拉机制造厂实现自动化开辟了广阔的前景。

1952年美国麻省理工学院（MIT）的帕森斯（J. parsons）制成了世界上第一台三座标数字控制立式铣床。数控机床的出现，解决了中、小批量生产实现自动化的问题。面中小批量生产的产品，在机械制造业中所占比重为75~85%，这就具有很大的经济意义。随着计算机技术的发展和自动编程语言的出现，1958年美国的卡尼和特雷克公司（Kearney & Trecker）制造了带有自动换刀装置（ATC）的数控机床（“加工中心”），1960年美国的本迪克斯（Bendix）公司制成了能根据加工条件的变化（如切削力、切削扭矩、刀具磨损、材料的硬度不匀等），自动调整切削用量，使机床保持在最佳状态下工作的“自适应数控铣床”，把数控机床提高到一个新的水平。

计算机进入机械制造领域，将自动化推向高级阶段，不仅要代替人们的体力劳动，而且还要代替人们部分的脑力劳动。1968年研制成功的计算机直接数控（DNC）系统，实现了用一

台大型计算机来控制许多台数控机床，又称群控系统(图1-1)。群控系统既较经济，可靠性又高，便于维修。而柔性的DNC系统，可以实现用一台计算机控制在不同的机床上加工不同形状和不同工艺路线的零件，这种自动化系统适用于多品种生产，通常称为柔性制造系统(FMS)。

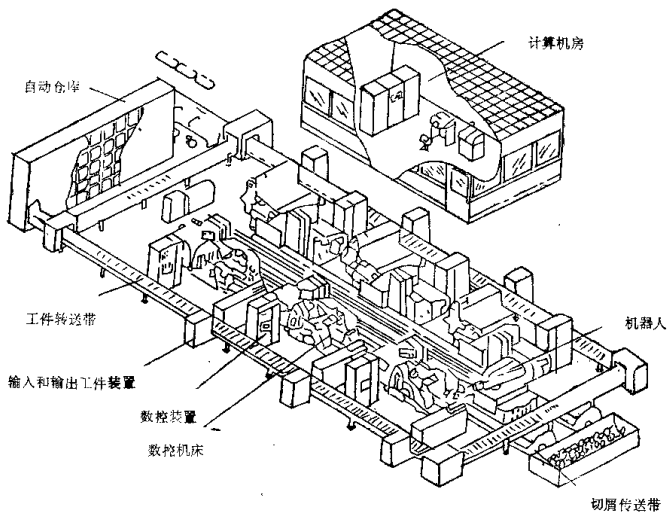


图1-1 群控系统

小型计算机数控(CNC)系统，由于70年代微型计算机的开发和应用，使得数控机床价格大为降低，便于推广。目前工业发达国家的数控机床产量已占机床产量的五分之一，产值的二分之一。

将计算机辅助设计(CAD)系统、计算机辅助制造(CAM)系统和生产管理中的管理信息系统(MIS)综合成一个有机整体，就形成了计算机集成制造系统。这种系统更加完善，它能管理企业的各种业务活动，显著地减少了人对生产活动的参预，甚至出现了无人化生产活动，这就是采用了多级计算机控制的“无人化全自动工厂”。日本的富士通—法纳克公司已经建成一座生产数控机床伺服电机的无人化工厂。这个厂从元件制造到组装，从厂内搬运到仓库，全部实现了自动化。

据国际生产技术会议(CIRP)对今后加工技术发展动向的调查，认为到1990年将会有50%的机床实现数控，到2000年可实现生产过程的全面自动化。一个以计算机控制的高度自动化的时代，不久即将到来。



生产机械化和自动化简史，请参看表1-1。

表1-1 生产机械化和自动化简史

年 代	制 造 工 艺	
1775	威尔肯逊 (J. Wilkinson) —— 汽缸镗床	(英国)
1797	亨兹雷 (H. Maudslay) —— 车床	(英国)
1817	龙门刨床	(英国)
1818	惠特尼 (E. Whitney) 卧式铣床 布兰查德 (T. Blanchard) —— 机械式仿形车床	(美国) (美国)
1830	钻 床	(英国)
1835	惠特沃斯 (J. Whitworth) —— 自动机 插 床	(英国) (英国)
1836	牛头刨床	(美国)
19世纪40年代	转塔车床	(美国)
1861~1862	万能磨床	(美国)
1864	外圆磨床	(美国)
19世纪70年代	螺纹加工自动机床	(美国)
1895	多轴自动车床	(美国)
1898	齿轮机床 (滚齿机)	(美国)
1900	拉 床	(美国)
1913	福特 (H. Ford) —— 传送机装配线	(美国)
1923	靠模仿形铣床	(美国)
1924	自动线——莫里斯汽车公司 (Morris Motors)	(英国)
1925	珩 磨 机	(美国)
1930	研 磨 机	(美国)
1935	超精加工机床	(美国)
1946	米特洛凡诺夫 (С. П. Мирфанов) —— 成组技术	(苏联)
1950	制造汽车活塞的传送自动化	(苏联)
1952	帕森斯 (J. Parsons) —— 数控铣床	(美国麻省理工学院)
1954	工业机器人——德沃尔 (G. C. Devol)	(美国)
1955	自动编程语言APT 生产滚珠轴承工厂的全自动化	(美国) (苏联)
1958~1959	加工中心——卡尼和特雷克公司 (Kearny & Trecker)	(美国)

续 表

年 代	制 造 工 艺
1960	自适应控制铣床 —— 本迪克斯公司 (Bendix) (美国)
1963	计算机辅助设计(CAD) —— 萨瑟兰 (I. E. Sutherland) (美国)
1968	DNC系统24 —— 莫林斯公司 (Molins) (英国) 群控系统 —— 国营铁路大宫厂 (日本)

## §1-2 机器的构成及所用材料

任何一台机器总是由若干个零件组装而成, 为了满足使用要求, 各种零件具有不同的几何形状和尺寸, 有不同的精度和表面质量要求, 并且选用不同的材料制成。为要加工出各种零件, 应采用各种不同的加工方法。机械的种类繁多, 现以最常见的机器——汽车为例, 来加以说明。

### 一、机器的构成

一辆汽车是由车身、发动机、驱动装置、车轮等部分构成的。汽车的各部分应具有合适的形状。例如欲减少空气的阻力和使外形美观, 轿车车身应当具有流线型。图 1-2 为轿车的车身总成。图中示出了各部分的名称、所用材料和加工方法。如图上标注的发动机罩(钢板、冲压), 表示该部分名称为发动机罩, 所用材料是钢板, 采用冲压方法制成。由图可知, 采用的加工方法有铸造、锻造、冲压、注塑成形等。此外还有些加工方法在图上尚未能表示出来, 如焊接(用于板与板的连接、油箱的焊接)、机械加工(切削、磨削)和特种加工(喷嘴咀小孔可采用激光加工)。

### 二、制造机器用的材料

制造汽车使用了多种材料, 从重量构成比来看: 钢铁占75~85%, 有色金属占5%, 非金属材料占10~20%, 大多为金属材料, 而在金属材料中, 钢铁使用最广, 这是由于钢铁的机械强度较高, 价格又较便宜。钢铁材料中有钢板、型钢和铸铁。钢板采用冲压成形, 用于制造发动机罩、车身和大梁。圆钢采用锻造、热处理、切削加工等方法来制造曲轴、齿轮、弹簧等零件。铸铁用于铸造汽缸体、差速器壳体等。

有色金属中铜、锌、镍、铅、锡、铝等及其合金, 在机器上常采用。在汽车上铝合金用得最多, 如用作发动机活塞、变速箱壳体、汽缸盖等; 铜合金用于散热器; 铅锡与钢构成的合金用作轴承合金; 锌用作车门手柄(表面电镀)。

在非金属材料中常用的有塑料、橡胶、玻璃和陶瓷等。塑料由于具有耐腐蚀、绝缘性能好、易于成型、比重小、价格低廉等优点, 得到了广泛的应用, 如采用注塑成型的方法制造方向盘、冷却风扇和仪表板; 轮胎和散热器软管采用合成橡胶; 钢化玻璃一般用作窗玻璃。在日本还制成了金属陶瓷的发动机。

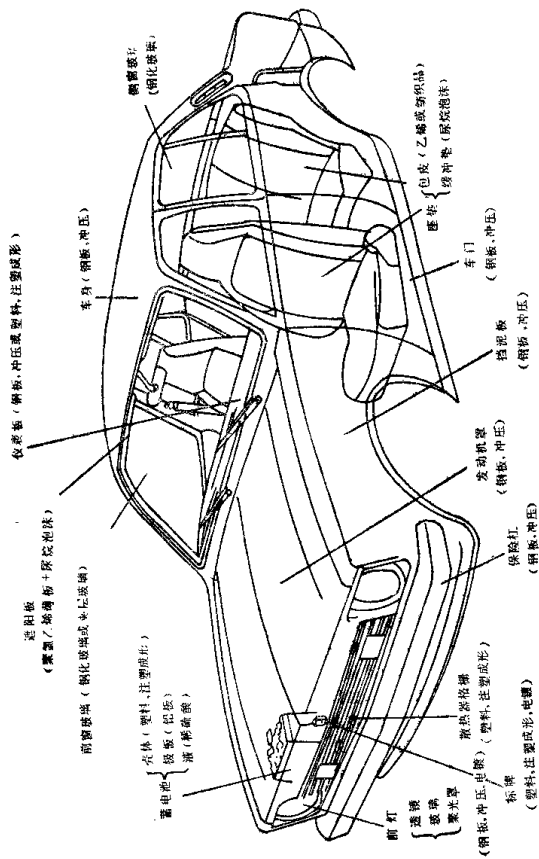


图1-2 轿车的车身总成图

### §1-3 机械制造的程序

要制造一台机器，首先应当有设计图。一项好的设计，应当技术上是先进的，经济上是合理的，能充分满足使用要求。一般说来，新产品从设计到投放市场应用，要经历以下的过程。构思→基础研究→开发研究→评价试验→批量试制→产品设计→制造。这是一个较长的过程，对于复杂的产品，这一过程可能要花几年的时间 and 巨额的经费。近来由于计算机辅助设计（CAD）和计算机辅助制造（CAM）的发展，这一过程正在缩短。

构思、发明、发现均属于探索性的研究，是极为重要的第一阶段。为了实现构思，必须进行若干的基础研究，待基础研究完成后，在归纳这些研究成果的基础上，进入到开发研究阶段，制造出机构或机械进行试验，直至获得满足要求的结果为止。再研究其是否适用，修改不合理部分的设计，经过实用性评价试验后，把具有实用价值的试制品投入批量试制，解决制造过程中出现的问题。若产品只进行小批量生产，则研制过程到此为止。若产品需要进行大量生产，则在批量试制后，还必须进一步进行既能充分发挥产品机能，又能使产品成本最低的大量生产的设计（包括工艺过程设计、工模具设计、自动线设计等），并投入大批量生产，制造出的产品，经试验合格后，即可出售，供用户使用。

机械制造的程序示意图，如图1-3所示。

设计人员在进行设计之前，必须了解对所设计的机械有哪些功能要求，对于不同的机械其设计要求的不同。例如设计汽车，要求其具有控制和操纵性能好、燃料消耗少、动力性能好、安全而又舒适、噪音和振动小等性能。设计人员则按照机械的设计要求，进行总体设计和零、部件设计。在零件设计时，要根据零件的几何形状、尺寸和工作条件，选择零件的材料，决定加工方法和技术要求。如轿车车身采用钢板冲压成形，变形程度大，因而车身材料需选易于变形的低碳钢板。又如为了减小活塞往复运动时产生的惯性力，以及发动机各汽缸活塞由于惯性力大小的不同而产生的振动，活塞一般采用铝合金制造，而且对活塞的重量制定了较严格的公差要求（活塞按重量进行分组装配）。再如对于汽缸体、汽缸盖之形状复杂的零件，则采用铸造毛坯、并且选用铸造性能好的材料（铸铁，硅铝合金）。

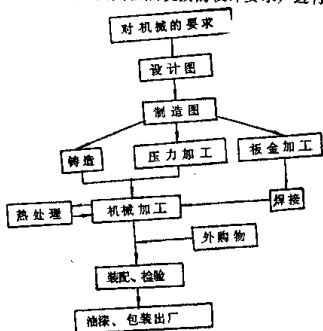


图1-3 机械制造程序示意图

设计图不能直接用于制造，还必须根据设计图绘出制造图（铸件图、锻件图、工艺卡片等），交给有关的车间进行制造。一般说来，用铸造、压力加工和焊接生产的零件，需要经过热处理以消除内应力、改善组织、提高性能，然后经过切削加工才能达到零件的精度和表面粗糙度要求。热处理工序应安排在切削

加工之前、工序之中或工序之后进行，它在改善材料的组织性能方面起着重要的作用。

当加工零件由于技术方面或经济方面的原因在本厂加工不适宜时，就应向外厂订货或购买市场上的成品。将零件集中送装配时，往往还需要进行一定的切削加工（如配钻、配铰）和手工加工（配刮、配研）。一台复杂的机器往往是经过组件装配、部件装配，再进行总装。为了提高装配质量和效率，在大量生产中应使装配工作实现自动化。国外在汽车装配线上大量使用机器人。

## §1-4 机械零件的制造方法

制造机械零件时，将原料或毛坯加工成所需要的形状和尺寸的工件，把这类工序称为加工，而把改变金属的组织性能的工序称为处理（渗碳、渗氮、退火、正火、淬火等均为处理）。

机器零件的加工方法，可按不同的观点进行分类。

### 一、按照加工手段分类

1. 除去加工——从表面上除去一部分材料的加工。切削、磨削、电火花加工、超声波加工等属于这类加工。

2. 变形加工——使坯料改变其形状的加工。铸造、压力加工（锻造、冲压、挤压等）属于这类加工。

3. 粘附加工——在表面上粘附其它物质的加工。焊接、粘接、电镀、喷镀等属于这类加工。

### 二、按照加工时所用能量分类

按照加工时所用能量的不同，可把加工方法按表1-2进行分类。

表1-2 加工方法按所用能量分类表

加工所用能量	加工方法
机械能	切削、磨削、冷压力加工、超声波加工
液力能	液体抛光，液力成形
电热能	电火花加工、电子束加工、离子束加工
热能	铸造、焊接、热压力加工、真空镀膜
电磁能	电磁成形
电化学能	电解磨削、电解抛光、电镀
化学能	化学腐蚀加工、化学研磨、爆炸加工
光能	激光加工

以上的分类只是粗略的，实际上有的加工方法要使用两种或两种以上的能量。如进行热压力加工既要热能，又需要机械能。电解磨削既需要电能、化学能，也需要机械能。

制造机械零件主要的加工方法有铸造、压力加工、焊接、切削加工和特种加工。以下概略地介绍一下这些加工方法。

**铸造** 把熔化金属浇入铸型，待其冷却凝固后，以得到所需形状和尺寸的零件的加工方法。铸造而成的零件称为铸件。铸件常需经过切削加工后，才能作为机器零件使用。铸造可以制造形状复杂，特别是具有复杂内腔的铸件，如箱体、机座、机床床身等。大多数工业材料均可铸造，因而应用很广，在各种机械中，铸件所占的比重很大。如按重量计算，在机床或内燃机中，铸件占70~90%，拖拉机中铸件占70%左右。

铸件所用的铸型有砂型和金属型。砂型铸造时，为了作出砂型，首先要制造模型，而模型的制造很费时，特别是在生产件数少时，模型的价格在铸件生产成本中占了很大的比例，因而降低模型的造价是很重要的。铸铁和铸钢通常采用砂型铸造，有色金属及其合金一般用金属型铸造，而塑料大多采用与压铸的工作原理相同的注塑成形，在金属型中注塑成形。

**压力加工** 在金属材料上施加外力，就会产生变形。当由于外力作用，在材料内产生的应力超过金属材料的屈服极限时，则产生永久性的塑性变形。利用金属能在不破坏的情况下，产生塑性变形的性质，以进行加工的加工方法称为塑性加工，又称为压力加工。锻造、冲压、轧制、拉丝和挤压均属于压力加工方法。压力加工制成的零件，具有较高的机械性能。在机器设备中，凡承受重载荷的零件，如主轴、连杆、重要齿轮等都是用锻造制成毛坯，再经切削加工而成。压力加工可在热态或冷态下进行。一些易于变形的合金（低碳钢、铝合金等）可在常温下进行加工，如冷冲压、冷拉丝等。

**焊接** 在两块分离的金属之间加热或加压，或既加热又加压，促使原子间相互扩散与结合，从而牢固地连接成一个整体的加工方法。焊接既用来制造各种金属结构（桥梁、电视塔），也用来制造各种零件（机床床身、机座）。采用铸-焊，锻-焊复合工艺，用小型的铸、锻设备可生产大型零件，降低了成本。在新产品试制或单件小批生产时，以焊代铸常能收到良好的经济效益。

**切削加工** 用切削刀具从毛坯上切去多余的部分，从而获得图纸要求的形状、尺寸和表面粗糙度的机器零件的加工方法。切削加工通常都在金属切削机床上进行，所用机床有车床、钻床、刨床、铣床、磨床、齿轮加工机床等。机械制造中，绝大多数零件，特别是精度和表面粗糙度要求较高的零件，一般都要进行切削加工。在各种类型的机械制造厂中，切削加工占全部工艺劳动量的三分之一以上。切削加工时，所用的切削刀具材料的硬度必须高于工件材料的硬度。广义的切削加工包括采用车刀、铣刀、钻头之类刀具进行加工的切削加工（狭义的切削加工）和采用磨粒（微刃刀具）进行的磨削加工。磨削加工既包括用磨轮进行的加工，也包括用磨条（珩磨、超精加工）和磨粒（研磨）进行的加工。

磨削可以加工很硬的材料如淬火钢、硬质合金等。磨削加工的零件精度高，表面光洁，故磨削常用于零件的精加工。镜面磨削的加工精度可达IT5或IT5以上，表面粗糙度 $R_a$ 可达0.008 $\mu\text{m}$ 。随着精密铸造和精密锻造的发展，使铸件与锻件的精度大为提高，甚至某些精密铸件和锻件在直接进行磨削后，即可送交装配，因而磨床在机床中所占比重正不断增加。在工业发达的国家，磨床在机床的总台数中已占30~40%。

**特种加工** 采用电热能、电化学能、光能和声、机械能等物理-化学加工方法来进行的加工。特种加工主要是用于高强度、高硬度、高脆性或高韧性的难加工材料的加工（如钛合金、耐热钢、硬质合金、金刚石、宝石）和各种特殊型面（如涡轮发动机叶片、锻模型腔）

以及狭缝、微孔的加工。在上述情况下，采用切削加工方法很难或根本无法加工。由于特种加工是采用各种物理-化学能来进行加工，工具与工件通常并不接触，或不需要使用工具，不依赖机械力切除材料，因而工具的硬度与工件材料的硬度无关。

综上所述，机械零件的加工有很多种加工方法。究竟选用哪些加工方法，这就需要考虑被加工零件的材料、形状和尺寸，加工要求，加工零件的数量，加工设备和加工成本等多项因素。在选择加工方法时，应特别注意降低成本，选用既能保证加工质量，而单价成本又是最低的加工方案。

## 复 习 思 考 题

1. 我国古代劳动人民在金属加工工艺方面取得哪些辉煌成就？近三四十年在机械制造方面有哪些重大发展？我国与世界先进水平相比，存在哪些差距？
2. 制造机器常用哪些工程材料？为什么近来非金属材料 and 复合材料在机器制造中应用越来越多，你能举出一些应用实例吗？
3. 试简述一台机器的设计制造过程，如何才能缩短一台机器的设计制造过程？

## 第二章 铸造合金

制造铸件的材料大多数是合金。铸造合金应具有符合使用要求的机械性能、物理性能和化学性能。把铸造合金先熔炼成液体，再浇入铸型，冷却后才形成一定形状的铸件。在此过程中合金有一系列化学、物理变化影响铸件质量，作为铸造用的合金还必须具有适合铸造的性能。

### §2-1 合金的铸造性能

合金的铸造性能是指氧化性、吸气性、流动性、收缩、偏析等。若合金易氧化、吸气，流动性差，收缩大和偏析严重，就很难铸出合格的铸件。相反，合金的铸造性能良好，则不需采取特别工艺措施便可获得合格的铸件。

#### 一、合金的流动性

##### 1. 合金流动性概念

液态合金充填铸型的能力称为流动性。流动性好的合金，容易铸造出外形完整、轮廓清晰的薄壁铸件，不会产生浇不足、冷隔等缺陷。此外，还有利于金属液体中的气体及非金属夹杂物上浮，避免在铸件中产生气孔、夹渣等缺陷。流动性好，对补缩也有利。

在生产中，常用如图 2-1 所示的螺旋试样来测定合金的流动性，所得试样长度愈长，合金的流动性就愈好。

表 2-1 为几种铸造合金的流动性。从表中可以看出：铸铁与硅黄铜流动性最好，硅铝明次之，铸钢最差。同类合金化学成分不同，其流动性不同。化学成分相同，提高浇注温度，流动性增加。

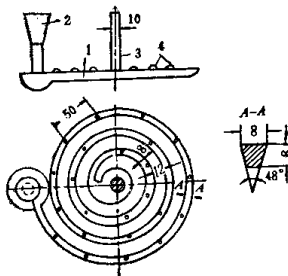


图 2-1 螺旋形试样

1—试样 2—浇口 3—出气口 4—试样凸点

##### 2. 影响合金流动性的因素

1) 化学成分 纯金属和共晶成分合金，结晶在恒温下进行，从表面开始向中心逐层凝固，凝固层的内表面比较平滑，对尚未凝固的液态合金流动的阻力小，故其流动性好。其它成分的合金，结晶是在一段温度区间内完成的，即经过液相与固相并存的双相区间，在此区间内，初生的树枝状结晶阻碍着液态合金的流动，故流动性差。合金的结晶温度范围越宽，流动性越差。

铸铁中的硫会降低其流动性，它与锰化合生成高熔点的  $MnS$  (熔点  $1620^{\circ}C$ )，阻碍铁水的流动。磷与  $Fe$ 、 $Fe_3C$  形成低熔点的共晶，能提高铁水的流动性。

2) 浇注温度 浇注温度高，液态合金的粘度降低，保持液态的时间长，传给铸型的热量多，铸型与液态合金温差小，液态合金的冷却速度下降，因而合金的流动性提高。但浇注



表2 1 几种铸造合金的流动性

合金种类	铸型种类	浇注温度(°C)	螺旋线长度(mm)	
铸铁: C+S <sub>1</sub> =6.2%	砂型	1300	1800	
			5.9%	1300
			5.2%	1000
			5.0%	900
			4.2%	600
铸钢: C=0.4% C=0.4%	砂型	1600 1640	190	
			200	
铝	金属型	680	400	
硅铝明	(预热 300°C)	680~720	700~800	
镁合金	砂型	700	400~600	
锡青铜ZQS <sub>10</sub> -2	砂型	1040	420	
ZQS <sub>3</sub> -7-5-1		980	195	
硅黄铜		1100	1000	

温度过高,铸件易产生缩孔、气孔、粘砂等缺陷。因此,在保证流动性的前提下,浇注温度应尽可能低些。对于形状复杂的薄壁铸件,为避免产生冷隔和浇不足等缺陷,可适当提高浇注温度。

3) 铸型工艺 铸型中凡是减小金属冷却速度和液态合金流动阻力的因素,均可提高流动性。如液态合金在湿砂型中的流动性比在干砂型中的流动性低10~20%;在金属型中的流动性又比在砂型中的流动性低20~25%。此外,增加内浇口的截面积和直浇口的高度,亦能提高流动性。

根据流动性对铸件质量的影响,在设计铸件时要注意以下几点:①在几种可供选择的合金中,应选机械性能符合要求而流动性又较好的合金。②铸件的壁厚不能小于该合金的最小壁厚。同一合金铸造方法不同,其最小壁厚也不相同(可以从手册中查到)。③铸件壁厚变化应缓慢,避免细长且薄的结构。

## 二、合金的收缩

铸造合金在凝固、冷却的过程中,减小其体积或长度的现象称作收缩。铸造合金由高温 $t_0$ 降到低温 $t$ 时的体收缩率和线收缩率可用下式表示:

$$E_{\text{体}} = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\%$$

$$E_{\text{线}} = \frac{L_0 - L}{L_0} \times 100\%$$

式中  $E_{\text{体}}$ 、 $E_{\text{线}}$  分别表示被测试合金的体收缩率和线收缩率;

$V_0$ 、 $L_0$  分别表示被测试合金在高温 $t_0$ 时的体积( $\text{cm}^3$ )和长度(mm);

$V$ 、 $L$  分别表示被测试合金温度降至 $t$ 时的体积( $\text{cm}^3$ )和长度(mm)。

具有结晶温度范围的合金,从浇注温度冷却到室温要经过三个收缩阶段:液态收缩、凝固收缩、固态收缩。合金的液态收缩和凝固收缩是铸件产生缩孔和缩松的原因,常用体收缩