

高等学校试用教材

# 机械制造工程学

上海机械学院 黄克孚 主编  
清华大学 王先逵

机械工业出版社

## 前 言

本书是根据1987年11月全国高等工业学校机械设计及制造专业教学指导委员会所制定的教学计划和1988年3月所审定的课程大纲而编写的。

机械设计及制造专业是一个新专业，机械制造工程学是其主干课之一，是一门新课，学时少、内容多、要求高，编写有较大的难度，其内容包括了《金属切削原理及刀具》、《金属切削机床》、《机械制造工艺学》、《夹具设计原理》等课程的部分内容，我们采用了“典型表面及其组合体加工方法”这一体系将加工方法、工艺、机床、刀具、夹具有机地结合起来。同时将这些课程的基本理论集中于“机械加工基本理论”这一章来讲述，以加强各基本理论之间的联系。由于近年来制造技术有了很大的发展，形成了三个领域，即材料加工从传统加工走向特种加工；材料加工从一般加工走向精密加工和超精密加工；加工技术从手工、机械化走向自动化。因此在内容上增加了精密加工与特种加工、机械制造系统自动化这两章。考虑到机械设计与工艺有密切关系，只有懂得工艺才能搞好设计，因此，为了突出结构工艺性，将其单独列为一章。由于以上的一些考虑，本书主要阐述了机械零件材料与毛坯的选择、机械加工基本理论、典型表面及其组合体加工方法、工艺规程的制订、装配工艺及装配尺寸链、结构工艺性、精密加工与特种加工、机械制造系统自动化等内容。

本书在编写中，力求在内容上广泛而又主次分明，既论述了学科的基本理论与基本知识，又介绍了先进制造技术及近年来的发展，同时注意联系生产实际。文字语句力求通顺简练，概念、定理和定义清楚准确，名词、术语符合国家标准，采用法定计量单位。学生通过讲授、习题、实验和实习后能够具有一定的工艺知识和能力，以便进行正确设计。

参加本书编写的有上海机械学院黄克孚副教授（第一、二、五章），浙江大学崔之光副教授（第三、七章），成都科技大学肖勳泽副教授（第四章），清华大学王先逵教授（第六、八、九章）。由黄克孚、王先逵主编。由大连理工大学王小华教授和陈懋圻教授主审，他们在审阅中提出了许多宝贵意见，使本书的质量得到很大的提高。在本书编写和互审讨论中，上海机械学院潘德龙老师多次参加讨论，提出了不少宝贵的意见和建议。在此一并表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限，书中难免会有许多缺点和错误，恳请广大读者不吝指教。

编者

1988年12月

# 目 录

第一章 绪论 .....	1	§ 5-6 工艺尺寸链 .....	148
§ 1-1 机械设计与工艺的关系 .....	1	§ 5-7 时间定额和提高劳动生产率的 工艺措施 .....	160
§ 1-2 机械加工工艺系统的组成 .....	1	§ 5-8 工艺过程的技术经济分析 .....	164
§ 1-3 机械制造工艺的发展趋势 .....	6	§ 5-9 制订工艺规程及夹具设计举例 .....	166
第二章 机械零件材料与毛坯的 选择 .....	8	第六章 装配工艺及装配尺寸链 .....	177
§ 2-1 机械零件材料的选择 .....	8	§ 6-1 机器的组成和装配工艺 .....	177
§ 2-2 毛坯种类及其选用 .....	15	§ 6-2 机器的装配精度 .....	181
第三章 机械加工基本理论 .....	19	§ 6-3 装配尺寸链 .....	185
§ 3-1 金属切削机理 .....	19	第七章 结构工艺性 .....	205
§ 3-2 切削用量的合理选择 .....	33	§ 7-1 概述 .....	205
§ 3-3 基准与定位原理 .....	34	§ 7-2 毛坯结构工艺性 .....	206
§ 3-4 机械加工质量 .....	46	§ 7-3 零件结构的热处理工艺性 .....	214
第四章 典型表面及其组合体加 工方法 .....	72	§ 7-4 零件机械加工程序的工艺性 .....	215
§ 4-1 外圆表面加工 .....	72	§ 7-5 零部件结构的装配工艺性 .....	220
§ 4-2 孔及孔系加工 .....	93	第八章 精密加工和特种加工 .....	223
§ 4-3 平面加工 .....	107	§ 8-1 概述 .....	223
§ 4-4 型面加工 .....	117	§ 8-2 精密加工和超精密加工方法 .....	227
§ 4-5 螺纹加工 .....	119	§ 8-3 特种加工方法 .....	235
§ 4-6 齿轮加工 .....	122	第九章 机械制造系统自动化 .....	246
§ 4-7 汽车转向节加工举例 .....	132	§ 9-1 机械制造系统自动化的基本概 念 .....	246
第五章 工艺规程的制订 .....	134	§ 9-2 自动生产线 .....	248
§ 5-1 工艺过程及其组成 .....	134	§ 9-3 机床的数字控制 .....	252
§ 5-2 工艺规程的制订 .....	136	§ 9-4 柔性制造系统 .....	265
§ 5-3 工件安装 .....	139	§ 9-5 计算机辅助制造 .....	269
§ 5-4 工艺路线的拟订 .....	142	参考文献 .....	272
§ 5-5 加工余量及工序尺寸的确定 .....	145		

# 第一章 绪 论

## §1-1 机械设计与工艺的关系

机械工业在国民经济的全局中是一个重要的行业，其重要性在于向国民经济的各部门，包括农业、工业等各个方面，提供各种用途的机器。可以说，机械工业的技术水平和现代化的程度，决定了整个国民经济的技术水平和现代化的程度。

经过30多年的努力，我国已经建立起一个规模相当大、门类比较齐全的机械工业体系。但总的说来，我国的机械产品与国外先进水平比较，仍有很大差距，主要体现在机械产品的设计、工艺、管理等方面。这里仅对设计与工艺的关系作一分析。

机械制造工艺是实现产品设计和制造的手段，也是发展品种、提高生产效率、节约能源、降低材料消耗、改善环保、改善管理的重要基础和保证。因此，良好的机械设计不仅应该满足使用者的要求，同时还应满足制造工艺的要求。否则就有可能制造不出机器来，或虽能制造，但很不经济。所以机械设计是设计人员根据使用部门的要求和制造部门的可能，运用有关的科学技术知识，所进行的创造性劳动。

机械产品的设计质量，不仅包括强度和结构的设计质量，还应包括材料和工艺的设计质量。如若材料选择和加工工艺不当，就会造成机械零件早期失效和加工费用昂贵等。

由于产品及其零部件的制造包括毛坯生产、切削加工、热处理和装配等许多生产阶段，而各个生产阶段又都是有机地联系在一起，因此结构设计时，必须使零部件在各个生产阶段都具有良好的结构工艺性。当它们之间产生矛盾时，应统筹安排，综合考虑，找出主要问题，予以妥善解决。所以设计人员应较全面地具备这方面的知识。

综上所述，优秀的设计人员除了必须掌握有关设计计算和专业知识外，还应掌握工艺方面的知识，以便进行产品总体设计和零部件结构设计时，将生产中可能出现的问题，尽量解决在设计的图纸上，使所设计的零部件，在保证产品使用性能的前提下，根据已定的生产规模，采用生产率高、劳动量小、材料消耗少和生产成本低的方法制造出来。

## §1-2 机械加工工艺系统的组成

机械制造系统是由信息系统、物质系统和能量系统组成的，其相互之间由信息流、物质流和能量联系起来，如图1-1所示。

在一个加工工序中，机械加工工艺系统是由机床、刀具、夹具和工件四个要素组成，它们相互联系，互为影响，如图1-2所示。因此，为了保证机械加工工序质量、产量和降低工序成本，必须从这四个要素的“整体”出发，分析和研究各种有关问题，以实现该系统的最佳工艺方案。现将组成机械加工工艺系统的常用机床、刀具和夹具分别简述如下：

### 一、机床

根据机床的加工性质和所用刀具的不同，通用机床分为车床、钻床、镗床、磨床、齿轮

加工机床、螺纹加工机床、铣床、刨床（插床）、拉床、电加工机床、切断机床、其它机床十二大类。今把通用机床型号简述如下：

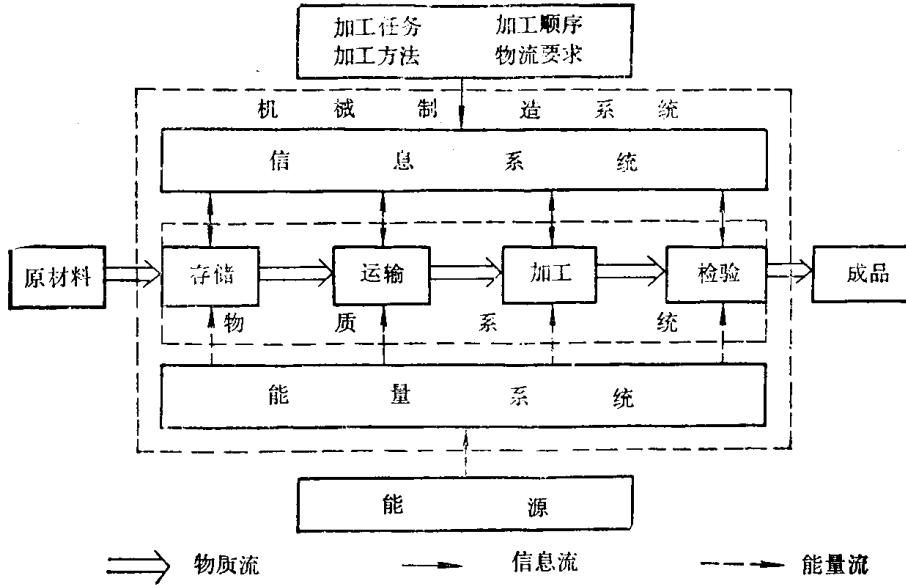


图1-1 机械制造系统

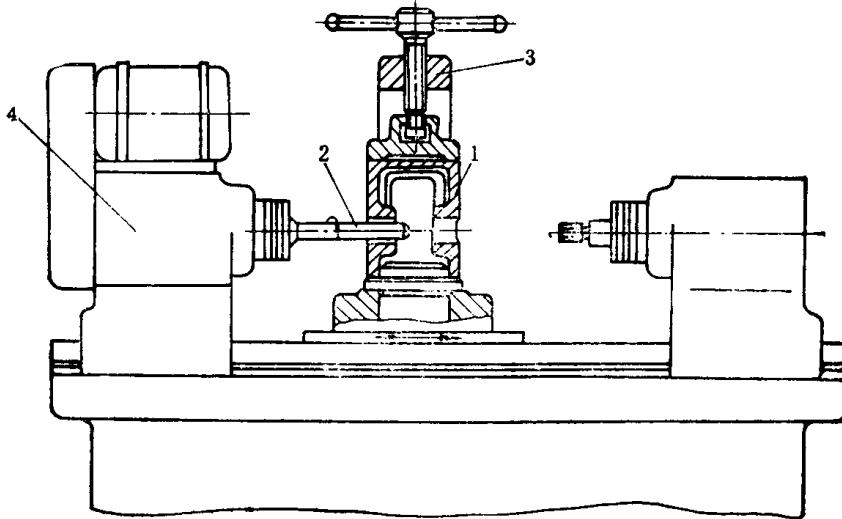
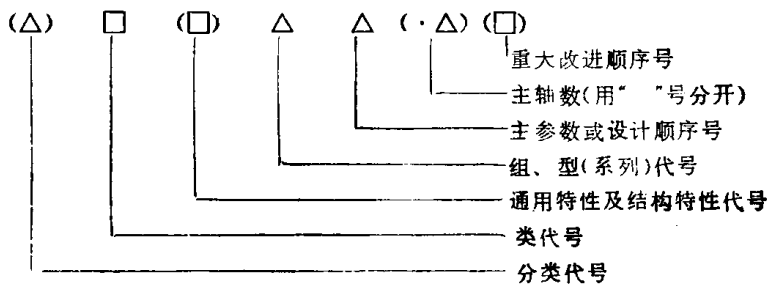


图1-2 镗活塞销孔

1—工件 2—刀杆 3—夹具 4—机床

(一) 表示方法



- 注：1. 有“( )”的代号或数字，当无内容时则不表示，若有内容时应不带括号。
- 2. 有“□”符号者，为大写汉语拼音字母。
- 3. 有“△”为阿拉伯数字。

## (二) 机床的分类代号

用汉语拼音字母表示，在型号中居首位。机床分类代号见表1-1。

表1-1 机床分类代号

类	车	钻	镗	磨			齿 轮 加 工 机 床	螺 纹 加 工 机 床	铣 床	刨 (插) 床	拉 床	电 加 工 机 床	切 断 机 床	其 它 机 床
别	床	床	床	床										
代 号	C	Z	T	M	2M	3M	Y	S	X	B	L	D	G	Q

## (三) 机床的特性代号

当某类型机床，除有普通型式外，还有某种通用特性时，则在类代号之后加上相应的通用特性代号。机床通用特性代号见表1-2。

表1-2 机床通用特性代号

通用特性	高 精 度	精 密	自 动	半 自 动	程 序 控 制	轻 型	万 能	简 式
代 号	G	M	Z	B	K	Q	W	J

## (四) 机床的组别和型别代号

机床的组别和型别用两位数字表示。每类机床按用途、性能、结构相近或有派生关系分为若干组，每组中又分若干型。

金属切削机床的类、组、型划分及其代号，可参见有关“通用机床统一名称及类、组、型划分表”。

下面以机床型号为例说明如下：

CM6132是工件最大车削直径为320mm的精密普通车床。

XK5040是工作台工作面宽度为400mm的数控立式升降台铣床。

M1432A是工件最大磨削直径为320mm，经过第一次重大改进设计的万能外圆磨床。

## 二、刀具

### (一) 刀具类型

按刀具用途和加工方法分有下列几种类型：

1) 切刀 它包括车刀、刨刀、插刀、镗刀、成形车刀、自动机床和半自动机床用的切刀以及专用机床用的特种切刀。

2) 孔加工刀具 它是从实体材料上加工孔以及对已有的孔进行加工的刀具，它包括钻头、扩孔钻、铰钻、铰刀、复合孔加工刀具等。

3) 拉刀 它用来加工各种形状的通孔、平面以及成形表面等，它是一种高生产率的多齿刀具，广泛用于大量和成批生产。

4) 铣刀 在铣床、镗床上用来加工各种平面、侧面、台肩、成形表面以及作切断之用。铣刀种类很多，其中绝大多数做成尖齿的，如圆柱铣刀与端铣刀。成形铣刀多数做成铲齿的。

5) 螺纹刀具 它用于加工各种内、外螺纹。如螺纹车刀与梳刀、丝锥、板牙、螺纹铣刀、螺纹切头和搓丝板与滚丝轮等。

6) 齿轮刀具 它用于加工各种渐开线齿轮和各种非渐开线齿形的工件。它包括：齿轮滚刀、插齿刀、剃齿刀、蜗轮刀具、锥齿轮刀盘和花键滚刀等。

7) 磨具 它包括砂轮、砂带、砂瓦和油石等，其中以砂轮用得最多。

图1-3所示为刀具的基本类型。

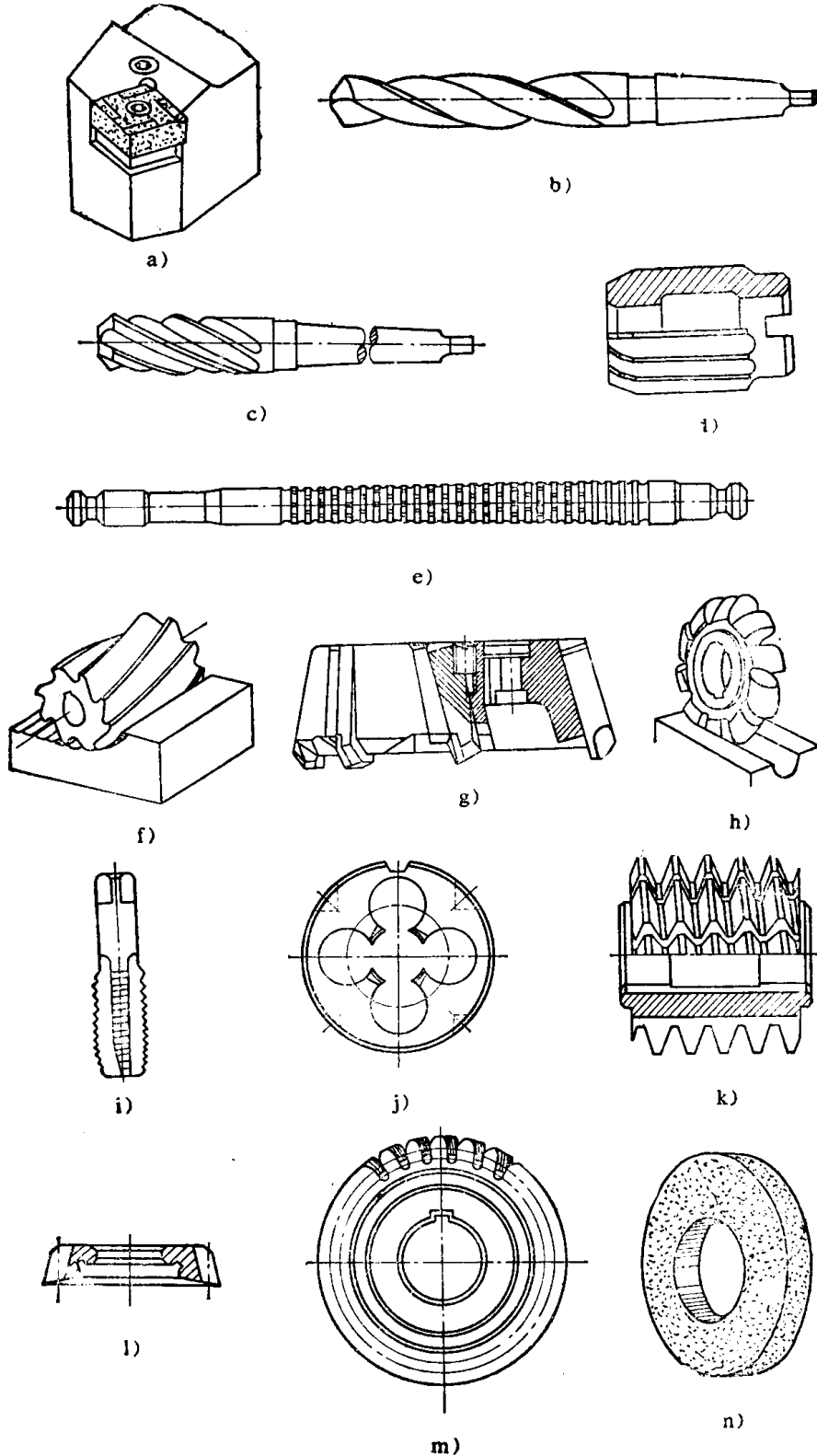


图1-3 刀具的基本类型

- a) 机夹式外圆车刀 b) 麻花钻 c) 扩孔钻 d) 铰刀 e) 圆孔拉刀 f) 圆柱铣刀 g) 端铣刀  
h) 成形铣刀 i) 丝锥 j) 板牙 k) 齿轮滚刀 l) 插齿刀 m) 剃齿刀 n) 平形砂轮

## (二) 刀具材料

在金属切削过程中, 刀具要承受较大的切削力、机械摩擦和切削热, 所以刀具材料应具有高的红硬性、良好的耐磨性、及相应的强度和韧性。除上述基本要求外, 刀具材料还应具备较佳的工艺性能, 如焊接、锻、轧、切削加工和可磨削性、热处理工艺性等, 以便制作刀具。

国内外常用的刀具材料有: 碳素工具钢、合金工具钢、高速工具钢、铸造合金、硬质合金、陶瓷、超硬材料——金刚石和立方氮化硼烧结体。它们的主要性能及用途见表1-3。

表1-3 各类刀具材料主要性能及用途

切削刀具材料		碳素工具钢	合金工具钢	高速工具钢	铸 造 合 金	硬质合金	陶 瓷	天然金刚石
弹性模量MPa		210000	210000	210000		420000~ 630000	420000	900000
硬 度	室 温	HRC63~65	HRC63~66	HRC63~70 (HRA83~87)	HRC60~65 (HRA81~84)	HRA89~94	HRA92~94	HK0000
	高 温	—	—	HRC50~58 (HRA76~80)	HRC48~58 (HRA75~80)	HRA82~87	HRA90	HK8000
	760℃	—	—	HRC17~30	HRC40~43 (HRA70~75)	HRA77~85	HRA87	—
机 械 性 能	抗弯强度 MPa	~2200	~2400	2500~4000	1400~2800	900~2450	450~800	210~490
	冲击韧性 $a_k$	加 强			加 强			
	耐 磨 性	加 强						
	热 导 率 $\lambda$ W·(m·k) <sup>-1</sup>	~41.868	~41.868	27.2142 ~0.065	—	20.934~ 83.736	19.259~ 37.681	146.538
典 型 车 削 条 件 加 工 45 钢	前角 $\gamma_0$	+5°~+30°	+5°~+30°	+5°~+30°	0°~+20°	-6°~+10°	-15°~-5°	-5°~ +5°
	切削速度 $v$ m·min <sup>-1</sup>	8	8~10	25~35	25~80	100~300	160~760	加工铝合金 180~3800
用 途		作手动工具 如锯条、锉刀 等	作低速成型 刀具, 如丝锥、 板牙、铰刀等	用于钻头、铣 刀、车刀、刨刀、 拉刀、齿轮刀具 等	—	作车刀刀 头、铣刀等	作车刀刀 头, 适于连续 切削脆性金属	用于有色 金属的高精 度、低粗糙 度切削, 700 ~800℃易 碳化

## 三、夹具

### (一) 分类

机床夹具是在机床上用以准确、迅速地安装工件或刀具, 并保证工件与刀具间正确的相对位置的一种工艺装备。因此机床夹具可分为两大类, 一类是用以安装工件, 通称为夹具, 另一类是用以安装刀具, 通称为辅具。

按照夹具的通用化程度, 可以分为:

1) 通用夹具 在通用机床上一一般都附有通用夹具, 如车床上的三爪卡盘和四爪卡盘, 铣床上的平口钳、分度头和回转台等。它们适应性强, 无需调整或稍加调整就可用于不同的工件。主要用于单件、小批生产。



2) 专用夹具 它是针对某一种工件的某一工序而专门设计的, 所以结构紧凑, 使用维修方便。它的设计与制造周期较长。当产品更换时, 无法重复使用。适用于批量大的生产。

3) 成组夹具 若工件批量小, 为每种工件设计专用夹具不经济, 而通用夹具又不能满足加工质量或生产率的要求, 这时可采用成组工艺, 按工件形状、尺寸和工艺的共性分组, 为每组工件设计组内通用的专用夹具。

4) 组合夹具 是由各种标准元件组装而成。它在使用上具有专用夹具的优点, 而当产品更换时, 夹具不会报废。因为它可以拆开, 其元件可清洗入库, 留待组装新的夹具。在新产品试制和单件、小批生产中, 使用组合夹具可以缩短生产准备时间, 减少专用夹具品种。

## (二) 组成

夹具种类繁多, 结构多变, 但其结构是由下列几个部分组成:

### 1. 定位装置

使工件在夹具中处于正确位置。

### 2. 夹紧装置

保证加工过程中工件定位的稳定性和可靠性。

### 3. 对刀元件

确定刀具相对于工件的正确位置并引导刀具进行加工。

### 4. 夹具体

将夹具的所有部分联成一个整体, 并与机床有关部分连接, 以确定夹具相对于机床的位置。

### 5. 其它元件及装置

如定向键、手柄以及根据夹具特殊功用需要具有的一些装置, 如分度装置等。

图1-4所示是一个铣床夹具结构图。工件以外圆柱面及端面分别与定位元件V形块1及支承套7接触定位。转动手柄带动偏心轮3回转, 使V形块2移动, 夹紧和松开工件。定向键6与机床工作台上的T形槽配合确定了夹具与机床间的相互位置。对刀块4是对刀元件。夹具体5将所有部分连成整体, 并与机床工作台连接。

夹具各组成部分并不是每个夹具都必须具备的。但一般说来, 定位装置、夹紧装置和夹具体是夹具的基本组成部分。

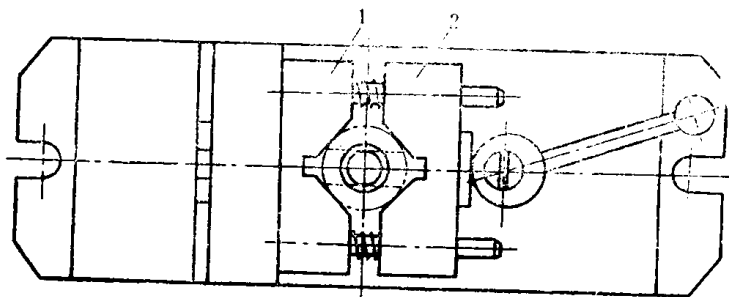
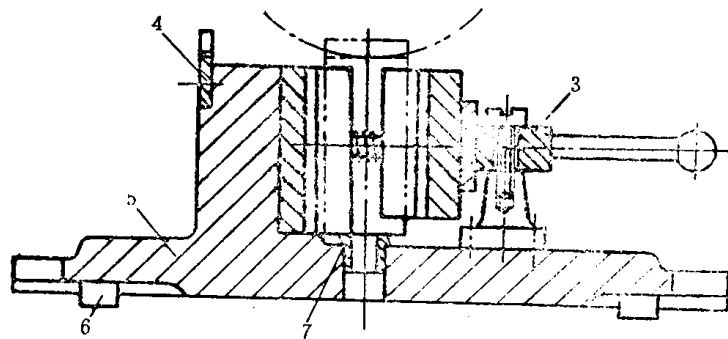


图1-4 铣床夹具结构图

1—V形块 2—V形块 3—偏心轮 4—对刀块  
5—夹具体 6—定向键 7—支承套

## §1-3 机械制造工艺的发展趋势

### 一、材料发展对制造工艺的影响

随着产品性能和结构要求的提高, 对材料性能提出愈来愈高的要求。而材料机械性能的

提高对制造工艺的发展又有很大的影响。尤其是出现了高强度钢以后，用传统的车削、铣削、磨削等方法很难加工。因此，相继出现各种新工艺，如电火花加工、电化学加工、电子束加工、激光加工等。由此可见，机械制造工艺的发展与材料性能的发展是密切相关的。

## 二、制造精度的发展

1770年制造第一台蒸汽机汽缸时所使用的机床，其加工精度约为1mm。后来，随着产品性能要求的不断提高，加工方法的不断改进，制造精度也不断提高。在80年代的今天，由于综合利用现代化先进技术，超精密加工的精度正从微米级工艺向纳米级工艺发展。

## 三、自动化

20世纪初，美国亨利·福特(H. Ford)运用劳动分工概念，首先建立大量生产汽车的自动化生产系统。这是机械制造自动化的开端。50年代初，由于计算机技术的发展，出现第一台数控(Numerical Control)机床。60年代后，出现用小型计算机或微处理机(Microprocessor)控制的各种计算机数控(Computer Numerical Control或Microcomputer Numerical Control)机床、适应性控制(Adaptive Control)系统以及把数台数控机床连成一个系统，由一台计算机进行过程监控的直接数控(Direct Numerical Control)系统。这种NC, CNC, DNC系统具有相当的柔性(Flexibility)，能适应不同形状和尺寸的多品种、小批量零件的生产，使单件、小批量生产有可能利用成组技术组成自动化的成批生产，以提高劳动生产率。在NC、CNC、DNC系统和计算机技术的基础上，目前正在发展柔性制造系统和柔性制造单元(FMC)，它是未来“无人工厂”的基本模块。

## 第二章 机械零件材料与毛坯的选择

### §2-1 机械零件材料的选择

#### 一、机械零件材料应用概况

机械零件材料一般分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料等四大类。因各有特性，所以用途有所不同。

##### (一) 金属材料

金属材料具有优良的综合机械性能，强度高，韧性和耐疲劳性好，可用来制造各种重要的机械零件和工程结构。此外其生产比较经济，所以机械工业中应用最广的仍是金属材料尤其是各种钢铁。以金属切削机床的材料为例，金属切削机床工作条件较好，它不在高温或极低温度下工作，也没有腐蚀性环境的影响，因此选材时不必考虑温度和介质材料提出的特殊要求。其次，机床工作时受力比较平稳，很少有较大的过载或冲击载荷，机床零件的受力一般也比较小，因此绝大多数零件选材时，主要考虑刚度问题。所以一台机床虽有几百种零件，但大部分零件都是使用一般的碳钢或铸铁。选用各种合金钢制造的零件为数不多。根据粗略统计，一般机床中铸铁用量占机床自重70%左右，各种碳钢占20%左右，余下是合金钢和少量的有色金属，塑料和陶瓷在机床中的用量微乎其微。

汽车的工作条件要比机床差得多，受力非常复杂，经常过载或受到较大的冲击。其次，汽车的工作环境相当恶劣，要在变化很大的温度（ $-75\sim 45^{\circ}\text{C}$ ）、湿度以及尘土飞扬的条件下工作，因此对汽车零件材料提出较高的要求。当前要提高汽车性能，除改进结构设计外，选用性能良好的材料是一个重要的途径。如采用低合金高强度钢，提高材料的比强度（材料的强度/重量），从而减轻汽车的自重，提高重量利用系数（载重量/车辆自重），降低油耗和汽车的成本。图2-1为EQ140汽车的用材情况。其中各种钢占汽车用材的大部分，其次为铸铁，除了橡胶与木材外，其它非金属材料用量都不大。

此外，如锅炉、汽轮机和燃气轮机有很多零件都是在高温下工作，应根据零件的工作温度和应力大小选用合适的耐热钢及高温合金等。这些零件在高温下工作腐蚀严重，所用材料应具有一定的耐蚀性。

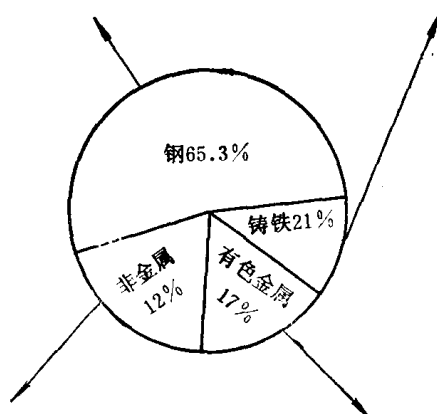
##### (二) 高分子材料

高分子材料主要包括合成树脂、合成橡胶和合成纤维三大类。其中以合成树脂产量最大，应用最广，用它制成的塑料，几乎占全部三大合成材料的68%。

塑料在适当的温度及压力下，能塑造成各种形状的制品。它具有质轻、绝缘、减摩、耐磨、自润滑、耐腐蚀、美观等特点，而且成型工艺简便、生产效率高。

塑料有热塑性塑料和热固性塑料两大类。前者受热后软化、熔融，冷却后凝固，并可反复多次而化学结构基本不变。后者可在常温或受热后起化学反应，固化成型，再加热时不可逆。

钢	占钢类材料的重量分数	占全车重的分数	铸 铁	占铸铁类材料的重量分数	占全车重的分数
低合金高强度钢	36.1%	22.9%	灰口铸铁	46%	9.7%
普通碳钢	28.8%	18.8%	球墨铸铁	40.6%	8.5%
合金钢	15.2%	9.9%	可锻铸铁	8.0%	1.7%
硼 钢	14.1%	9.2%	紧密铸铁	1.4%	0.03%
其 它	6.8%	—	其 它	4%	0.08%



非 金 属	占非金属类材料的重量分数	占全车重的分数	有 色 金 属	占有色金属类材料的重量分数	占全车重的分数
橡 胶	54.2%	6.5%	铜 合 金	38.1%	0.06%
木 材	30%	3.6%	铅	29.1%	0.05%
油 漆	6.5%	0.8%	铝 合 金	16.5%	0.03%
塑 料	4.4%	0.5%	锌 合 金	10.5%	0.02%
玻 璃	2.7%	0.3%	钛 合 金	5.7%	0.01%
石 棉	2.07%	0.2%	其 它	0.1%	—
其 它	0.2%	0.022%			

图2-1 EQ240汽车用材统计图

在机械工业中塑料可制造下列各种零件：

- 1) 一般结构零件 如罩壳、支架、盖板、挡板、手柄、手轮、油管、垫片等；
- 2) 减摩、耐磨及传动件 如轴承、轴瓦、蜗轮、蜗杆、齿轮、凸轮、辊子、活塞环、轴器等；
- 3) 耐腐蚀件 如化工容器、管道、泵、阀等；
- 4) 绝缘件 如插头、插座、电容器、电子电讯元件等；
- 5) 密封件 如各种动、静密封圈等；
- 6) 透明件 如仪表壳、灯罩、液面计等；

### (三) 陶瓷材料

陶瓷材料是无机非金属固体材料中的一类。常用的陶瓷材料有：

#### 1. 传统陶瓷

传统陶瓷主要是指粘土制品。一般用作日用陶瓷、建筑陶瓷、卫生陶瓷，以及工业上应用的低压和高压电瓷、耐酸陶瓷、过滤陶瓷等。

#### 2. 特种陶瓷

特种陶瓷是指一些具有各种特殊力学、物理或化学性能的陶瓷。如电容器陶瓷、压电陶瓷、磁性陶瓷、电光陶瓷和高温陶瓷等。

### 3. 金属陶瓷

金属陶瓷是由金属同陶瓷组成的非均质复合材料。金属热稳定性高、韧性好，但易氧化和高温强度不高；而陶瓷硬度和耐火度高，耐蚀性强，但热稳定性低，脆性大。因此，若将两者结合，则有可能获得强度、韧性、高温强度和耐蚀性好的材料。采用不同组成的金属和陶瓷，以及改变它们的组成比例，可以作为工具材料、高温结构材料和耐蚀材料。其中以陶瓷为主的多为工具材料，如常用的各种牌号的硬质合金；金属含量较高的常作为结构材料，如作为高温结构材料使用的碳化钛金属陶瓷，可望用作涡轮喷气发动机燃烧室、叶片、涡轮盘，以及航空、航天装置中的某些耐热构件。

#### (四) 复合材料

复合材料是由两种或两种以上性质不同的材料用特殊的方法复合而成的新型工程材料。它的最大优越性是可改善或克服各个组成材料的弱点，充分发挥它们的优点；可按照构件的结构和受力要求，进行材料的最佳设计；可得到单一材料不易具备的性能或功能，或在同一时间里发挥不同功能的作用。复合材料主要应用于高强度机械零件如风扇叶片、齿轮；化工容器和衬里如储油罐、油槽车、电解槽、压力容器；船艇、汽车车身、大型发动机罩壳；耐腐蚀结构件如泵、阀、管道；轴承材料和绝缘材料等。

随着机械工业的发展，对材料的性能、使用效率和寿命提出越来越高的要求，因而在材料的应用和研究上出现一些新的趋势。一是材料的应用上，以非金属代替部分金属材料，在金属材料中以非铁金属代替部分钢铁材料，以硅锰合金钢代替铬镍合金钢等。二是材料的使用效率不断提高。如民航材料的消耗，在50年代平均每小时每旅客每千米为0.76kg（波音同温层飞机），到70年代仅为0.31kg（协和机）。材料消耗的减少主要是由于进行了优化设计、合理选择材料和制订正确的制造工艺等，因而提高了材料的使用效率和寿命。三是不断提高材料的性能。

## 二、零件选材的一般原则

机械零件设计不仅是结构设计，还应包括材料与工艺的设计。一个优秀设计不仅要考虑材料能够适应零件的工作条件，使零件经久耐用，而且要求材料有良好的工艺性和经济性。下面将分别讨论选用材料的各项原则。

### (一) 材料的使用性能

材料的使用性能是指零件在使用状态下材料应具有机械性能、物理性能或化学性能等。不同的零件所要求的使用性能也不一样。一般机械零件常将机械性能作为选用材料的主要依据。因此，在设计零件时，应根据零件的工作条件、损坏形式找出主要机械性能的指标，然后决定选用的材料，这是保证零件寿命和可靠性的先决条件。

### (二) 材料的工艺性能

材料的工艺性能表示材料加工的难易程度。与使用性能相比，工艺性能一般处于次要地位。有时材料即使使用性能良好，但若加工困难，或者加工费用太高，也是不可取的。因此在某些情况下，工艺性能也可能成为主要考虑因素。

材料所要求的工艺性能是从零件制造的工艺路线中提出的。下面将讨论各类材料的一般工艺路线和有关的工艺性能。

## 1. 金属材料的工艺性能

### (1) 工艺路线

金属材料（主要是钢铁）的加工工艺路线如图2-2所示，大体可分为三类：

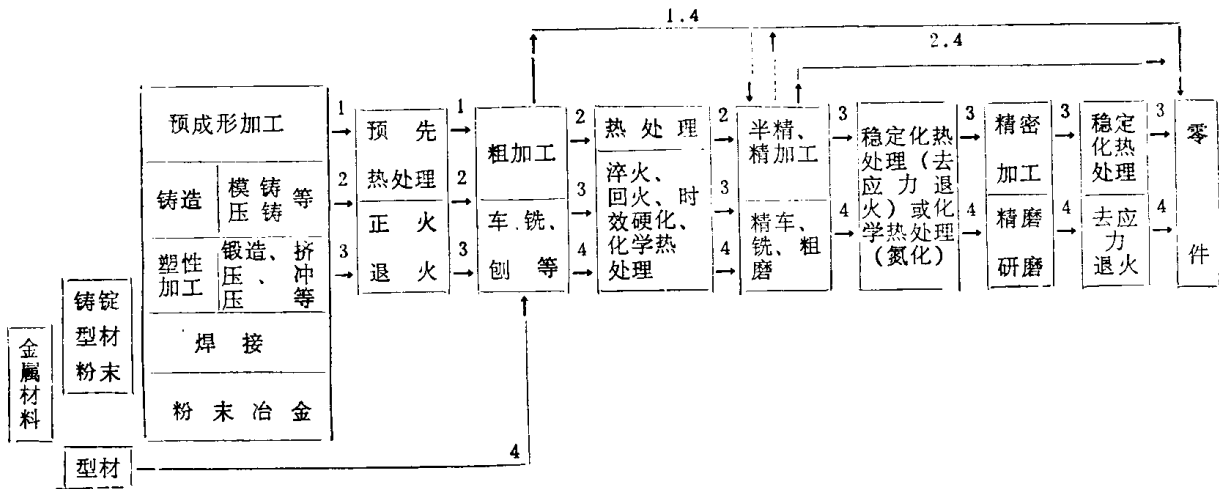


图2-2 金属材料的加工工艺流程

1) 性能要求不高的一般零件 毛坯→正火或退火→切削加工→零件。即图2-2中工艺路线1和4。毛坯由铸造或锻压获得。这时的正火或退火不仅改善毛坯的加工性能和消除铸造、锻造的组织缺陷，还赋予零件必需的机械性能，因而也是最终热处理。如果直接采用型材加工，则因材料出厂前已经过退火或正火，可不必再进行热处理。这类零件性能要求不高，一般用铸铁、碳钢等制造，其工艺性能都较好。

2) 性能要求较高的零件 毛坯→预先热处理（正火或退火）→粗加工→最终热处理（淬火、回火、固溶时效或渗碳处理等）→精加工→零件。即图2-2中的工艺路线2和4。预先热处理是为了改善机械加工性能，并为工序中的热处理做好准备。大部分性能要求较高的零件，如各种合金钢、高强铝合金制造的轴、齿轮等，均采用这种工艺路线，它们的工艺性能有差别，因此要重视工艺性能的分析。

3) 要求很高的精密零件 毛坯→预先热处理（正火或退火）→粗加工→最终热处理（淬火、回火、固溶时效或渗碳）→精加工→稳定化处理或氮化→精密加工→稳定化处理→零件。这类零件，（如精密丝杠、镗床主轴等）除要求有较高的使用性能外，还要有高的尺寸精度和低的表面粗糙度值。因此大多采用图2-2中的工艺路线3或4，在精加工后进行一次或多次精密加工及尺寸的稳定化处理。耐磨性要求高的零件还需进行氮化处理。同时，应注意材料的质量。

### (2) 工艺性能

由于金属材料的加工工艺复杂，所以要求的工艺性能较多，现分别简述如下：

1) 铸造性能 一般按流动性、收缩和偏析等综合评定。各种金属材料的铸造性能见表2-1。由此可见铸造铝合金和铜合金的铸造性能优于铸铁和铸钢，铸铁又优于铸钢，而铸铁中又以灰口铸铁为最好。

2) 塑性加工性能 它是指钢材承受冷热变形的能力，它与加工方法有关。如材料塑性好，成型性和加工表面质量好，不易产生裂纹，这是冷冲压性能良好的标志。所以薄壁冲压件大多采用低碳、低硫、低磷的细晶粒钢。而锻造性能则包括接受热变形的能力、抗氧化性

可加工的温度范围以及热脆性倾向等。所以在碳钢中，低碳钢的可锻性最好，中碳钢次之，高碳钢较差。低合金钢的可锻性近于中碳钢，高合金钢较差。许多高温合金由于高温强度很高，锻造困难，所以常采用铸造生产。铝合金虽可锻成各种形状，但它的塑性较差，锻造温度范围窄，所以可锻性并不很好。而铜合金的可锻性一般较好。

表2-1 各种金属材料铸造性能的比较

材 料	流 动 性	收 缩 性		偏 析 倾 向	其 它
		体收缩	线收缩		
灰口铸铁	好	小	小	小	铸造内应力也小
球墨铸铁	稍差	大	小	小	易形成缩孔、缩松，白口倾向小
铸 钢	差	大	大	大	导热性差，易发生冷裂
铸造黄铜	好	小	较小	较小	易形成集中缩孔
铸造铝合金	尚好	小	小	较大	易吸气、氧化

3) 焊接性能 它是以焊缝区强度不低于基体金属和不产生裂纹作为材料焊接性能优劣的标准。各种金属材料的焊接性能相差很大。铝合金极易氧化，需要在氩气保护中焊接，焊接性能不好。铜合金导热性极高，一般只能用钎焊的方法焊接。灰口铸铁基本上不能焊接或只用于修补一些缺陷。通常焊接的主要对象是钢材。低碳钢和含碳量低于0.18%的合金钢有较好的焊接性能，含碳量大于0.45%的碳钢和含碳量大于0.35%的合金钢的焊接性能较差。含碳量和合金元素含量越高，焊接性能越差。

4) 切削加工性能 一般是用刀具耐用度为60min的切削速度 $v_{60}$ 表示。 $v_{60}$ 越高，则切削加工性能越好。如以45钢的 $v_{60}$ 为标准，其它牌号材料与其相比较所得的比值 $K_r$ 就表示该材料的相对切削加工性。因此 $K_r$ 越大，切削加工性能越好。表2-2是常用材料的切削加工性能的比较。

表2-2 常用材料切削加工性能的比较

等 级	切削加工性能	$K_r$	代 表 性 材 料
1	很容易加工	8~20	铝、镁合金
2	易加工	2.5~3.0	易切削钢
3	易加工	1.6~2.5	30钢正火
4	一般	1.0~1.5	45钢、灰口铸铁
5	一般	0.7~0.9	35钢(轧材)、2Cr13调质
6	难加工	0.5~0.65	65Mn钢调质，易切削不锈钢
7	难加工	0.15~0.5	1Cr18Ni9Ti、W18Cr4V
8	难加工	0.04~0.14	耐热合金 钴合金

5) 热处理工艺性能 包括淬透性、变形开裂倾向、过热敏感性、回火脆性倾向、氧化脱碳倾向、冷脆性等，这些性能与材料成分有关。通常铝合金的热处理要求较严，它的淬火加热温度离熔点很近，所以温度的波动必须保持在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 之内。铜合金只有很少几种可以用

热处理强化。碳钢的淬透性差，强度不够高，容易过热而晶粒粗大，淬火时容易变形与开裂。所以制造大截面、形状复杂和高强度的淬火零件，常选用合金钢。但合金钢的锻造、切削加工等工艺性能较差。

## 2. 高分子材料的工艺性能

高分子材料的加工工艺路线比较简单，如图2-3所示，其中变化较多的是成形工艺，主要成形工艺的比较见表2-3。高分子材料切削加工性能较好，与金属基本相同。缺点是导热性差，在切削过程中工件温度急剧升高，使它变焦（热固性材料）或变软（热塑性材料）。

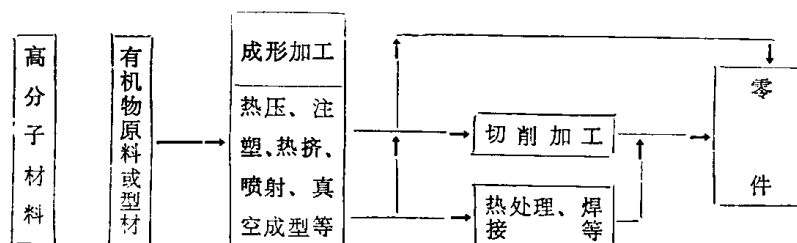


图2-3 高分子材料的加工工艺路线

表2-3 高分子材料主要成形工艺的比较

工 艺	适用材料	形 状	表面粗糙度 参 数 值	尺 寸 精 度	模 具 费 用	生 产 率
热 压	范围较广	复杂形状	很 小	好	高	中 等
注射成型	热塑性塑料	复杂形状	很 小	非常好	很 高	高
热挤成型	热塑性塑料	棒 类	小	一 般	低	高
真空成型	热塑性塑料	棒 类	一 般	一 般	低	低

## 3. 陶瓷材料的工艺性能

陶瓷材料的加工工艺路线也比较简单如图2-4所示，主要工艺就是成形，表2-4为各种成形工艺的比较。陶瓷材料成形后，除了可以用碳化硅或金刚石砂轮磨削加工外，几乎不能进行任何其它加工。

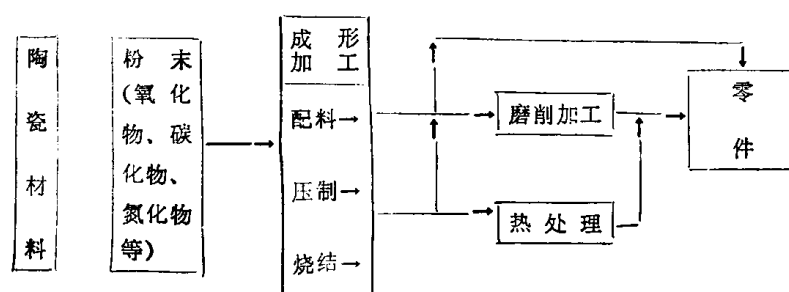


图2-4 陶瓷材料的加工工艺路线

### (三) 材料的经济性

材料的经济性是指选用的材料不仅应价格便宜，更重要的是使产品的总成本最低，以取得最大的经济效益。

随着工业的发展，资源和能源问题日渐突出，特别是大批量生产的零件，所用材料应符合国家资源和供应情况。例如，我国缺钴，应尽量采用不含或少含钴的钢或合金。此外，还应注意生产所用材料时能源的消耗，尽量选用耗能低的材料。



表2-4 陶瓷材料各种成形工艺的比较

工 艺	优 点	缺 点
粉浆成型	可做形状复杂件、薄塑件，成本低	收缩大，尺寸精度低，生产率低
压制成型	可做形状复杂件，有高密度和高强度，精度较高	设备较复杂，成本高
挤压成型	成本低，生产率高	不能做薄塑件，零件形状须对称
可塑成型	尺寸精度高，可做形状复杂件	成本高

在金属材料中，铸铁和碳钢的价格比较低廉，因此在满足零件使用性能的前提下，应尽量采用价格低廉、加工性能较好的铸铁（尤其是球墨铸铁）和碳钢。在必须采用合金钢时，应尽量选用我国资源丰富的合金钢系统，如锰钢、锰硅钢等钢种。此外，同一产品中使用的钢材种类和型号应尽可能集中，以便于采购和生产管理。

总之，选材的经济性不仅反映在材料的成本上，还要考虑到材料的供应能力、运输条件以及材质的稳定性等方面。应在满足零件使用性能的条件下，做到高产优质、少消耗、低成本。

### 三、典型零件选材分析

下面对几种典型机械零件的用材情况进行讨论和分析。

#### （一）齿轮类零件的选材

齿轮是一种应用很广的机械零件，它主要用于传递转矩和调节速度。下面以机床和汽车两类齿轮为例进行分析。

##### 1. 机床齿轮

机床齿轮担负传递动力、改变运动速度和方向的任务，工作条件较好，转速中等，载荷不大，工作平稳无强烈冲击。按照经验，一般可选中碳钢制造。中碳钢调质后心部有足够的强度及韧性，能承受较大的弯曲应力和冲击载荷。表面采用高频淬火强化，硬度可达HRC52左右，提高了耐磨性，也提高了抗疲劳破坏的能力。它的工艺路线为：

下料→锻造→正火→粗加工→调质→精加工→高频淬火及回火→精磨。

##### 2. 汽车齿轮

汽车齿轮主要分装在变速箱和差速器中。变速箱中齿轮改变发动机和传动轴的速比，差速器中齿轮增加转矩，并调节左右两车轮的转速。发动机的动力均通过齿轮传到半轴，推动汽车运行。由于汽车齿轮受力较大，受冲击频繁，在耐磨性、疲劳强度、心部强度和冲击韧性等方面的要求均比机床齿轮为高。一般用调质钢高频淬火不能满足要求，所以都选用低碳钢渗碳淬火，渗碳后表面含碳量增加，保证淬火后得到高硬度，提高耐磨性和接触疲劳强度。在我国采用最多的渗碳淬火材料是20Cr或20CrMnTi。由于合金元素提高了淬透性，淬火、回火后还可使心部获得较高的强度和足够的冲击韧性。为了进一步提高齿轮的耐用性，热处理后还可以采用喷丸处理，使表层压应力增大。渗碳齿轮的工艺路线为：

下料→锻造→正火→切削加工→渗碳、淬火及低温回火→喷丸→磨削加工。

#### （二）轴类零件的选材

轴是各种机器中最基本的零件。大多数轴的主要作用是承受载荷和传递动力，下面举几个典型例子，说明轴的选材情况。