

21 世纪普通高等院校规划教材——机械类

机械 制造实践

JIXIE ZHIZAO SHIJIAN

主 编 廖映华
副主编 张良栋 赵 虎 赵献丹



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

21 世纪普通高等院校规划教材 —— 机械类

机械制造实践

主 编 廖映华

副主编 张良栋 赵 虎 赵献丹

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书按照国家教委工程材料与机械制造基础课程教学指导委员会制定的相关教学基本要求以及新的国家标准编写,反映了培养应用型工程技术人才实践教学的特点。全书共分9章,主要内容包括:工程材料及热处理,铸造,锻压,焊接,切削加工基础知识,车削,刨削、铣削和磨削,钳工,先进制造技术。为了突出应用、便于自学,在相关章节中安排了零件的结构工艺分析,并在每章后附有思考题与习题。

本书可作为高等院校机械类、近机类及非机械类各本科专业机械制造实践或金工实习的基本教材,也可供高职、高专、成人教育等院校相关专业选用。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造实践 / 廖映华主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2009.9
21 世纪普通高等院校规划教材. 机械类
ISBN 978-7-5643-0424-9

I. 机… II. 廖… III. 机械制造—高等学校—教材
IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 158883 号

21 世纪普通高等院校规划教材——机械类

机械制造实践

主编 廖映华

*

责任编辑 李芳芳

封面设计 墨创文化

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: 15.875

字数: 395 千字 印数: 1—3 000 册

2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-0424-9

定价: 26.80 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

前 言

机械制造实践是一门实践性很强的技术基础课，它以实践教学为主，学生必须进行独立操作，在保证贯彻教学基本要求的前提下，要积极创造条件，使教学尽可能与生产相结合。其主要任务是使学生了解机械制造的一般过程，熟悉机械零件的常用加工方法及其所用主要设备的工作原理与典型结构，夹具、量具的使用以及安全操作技术；了解机械制造工艺知识和一些新工艺、新技术在机械制造中的应用；对简单零件初步具有选择加工方法和进行工艺分析的能力，具有独立完成简单零件加工制造的实践能力；使学生在劳动、质量和经济观念，理论联系实际和科学作风等基本素质方面受到培养和锻炼。

本书作为机械制造实践的基本教材，编写时按照国家教委工程材料与机械制造基础课程教学指导委员会制定的相关教学基本要求以及新的国家标准，并结合编者多年的教改经验和教学实际情况，提高起点，注重实践，加强基础，拓宽知识面，反映了培养应用型工程技术人才实践教学的特点。全书在精选传统加工工艺方法的同时，增加了特种加工、精密制造、数控加工、CAD/CAM 等先进制造技术；对于传统工艺，重点介绍其基础知识、工艺设备、工艺方法、工艺分析等内容，以理论指导实践，在培养学生实践能力的基础上，注重培养学生选择加工方法、进行工艺分析和结构分析的初步能力。

本书由四川理工学院机械工程学院机械设计制造系组织编写。本书第 1 章由谢文玲编写，第 2 章由廖映华、黄波编写，第 3 章由张良栋、王汉胜编写，第 4 章由张良栋编写，第 5 章由廖映华编写，第 6 章由赵献丹编写，第 7 章由赵虎、李志荣编写，第 8 章由赵献丹、廖映华编写，第 9 章由孙祥国编写。廖映华负责全书统稿并担任本书主编，张良栋、赵虎、赵献丹担任副主编。

在本书编写过程中，得到四川理工学院机械工程学院、教务处和西南交通大学出版社有关同志的大力支持和热忱帮助，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2009 年 6 月

目 录

第1章 工程材料及热处理	1
1.1 工程材料的基础知识	1
1.2 钢的热处理基础知识	13
1.3 表面处理技术	18
思考题与习题	21
第2章 铸 造	22
2.1 铸造基础知识	22
2.2 铸造设备	24
2.3 砂型铸造工艺	27
2.4 特种铸造简介	46
2.5 铸件结构工艺性	48
思考题与习题	50
第3章 锻 压	51
3.1 锻压成形基础知识	51
3.2 锻造设备	53
3.3 锻造工艺	58
3.4 板料冲压工艺	65
3.5 其他锻压方法	69
思考题与习题	72
第4章 焊 接	74
4.1 手工电弧焊	74
4.2 气焊与气割	85
4.3 焊接缺陷及质量控制	93
4.4 其他焊接方法简介	95
思考题与习题	99
第5章 切削加工基础知识	100
5.1 切削运动及切削用量	100
5.2 金属切削机床基础知识	102
5.3 切削加工中的刀具	108
5.4 机械加工质量	111
5.5 机械加工工艺过程基础	114
5.6 常用计量工具	120
思考题与习题	128

第6章 车 削	129
6.1 车削加工范围和特点	129
6.2 车削加工装备	130
6.3 车削的基本操作	142
6.4 典型零件的车削工艺	154
思考题与习题	157
第7章 刨削、铣削和磨削	158
7.1 刨削加工	158
7.2 铣削加工及齿形加工	165
7.3 磨削加工	176
思考题与习题	185
第8章 钳 工	187
8.1 钳工设备	187
8.2 钳工基本操作	189
8.3 机器的装配和拆卸	211
8.4 典型零件的钳工工艺	215
思考题与习题	217
第9章 先进制造技术	219
9.1 概 述	219
9.2 特种加工	220
9.3 精密加工	223
9.4 数控加工	228
9.5 CAD/CAM 技术	240
思考题与习题	246
参考文献	247

第1章 工程材料及热处理

1.1 工程材料的基础知识

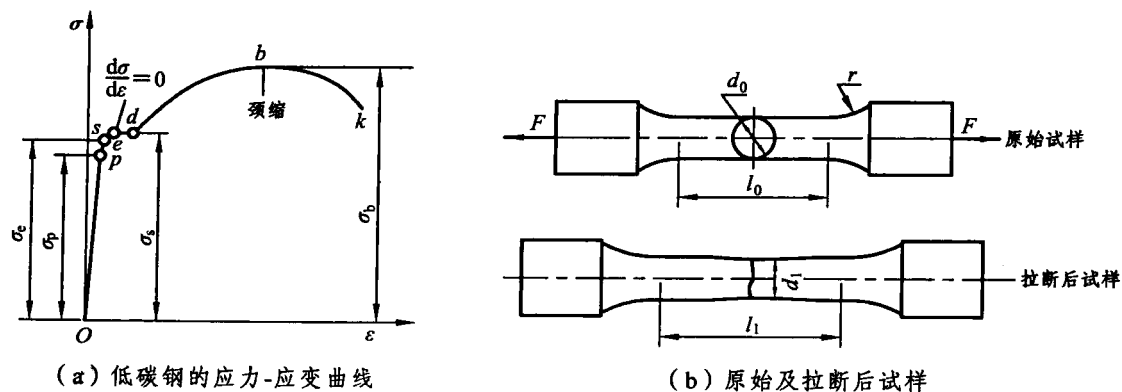
金属材料是应用最广泛的机械工程材料。据统计,在各种机械设备中金属材料所占的比例达 90%以上。金属材料包括纯金属和合金,其性能分为工艺性能和使用性能。使用性能是指机械零件在使用条件下所表现出来的性能,包括机械性能、物理性能、化学性能等,使用性能的好坏决定了金属材料的使用范围、安全可靠性和使用寿命;工艺性能是指机械零件在加工制造过程中所表现出来的性能,包括铸造性能、焊接性能、锻造性能、热处理性能、切削加工性等。工艺性能的好坏决定了金属材料在制造过程中加工成形的适应能力。

机械零件一般都是在常温、常压和非强烈腐蚀性介质中使用,且在使用过程中承受不同载荷的作用。金属材料在载荷作用下所表现出来的抵抗能力,称为机械性能(也称力学性能)。

1.1.1 材料的机械性能

机械零件在工作过程中,当承受不同性质载荷(如拉伸、压缩、扭转、冲击、循环载荷)时,对金属材料要求的机械性能也不同。一般情况下,材料的机械性能是零件设计、选材和工艺评定的主要依据。

常用的机械性能包括强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。这些性能指标可通过标准试验方法测定或直接查阅有关手册获得。静拉伸试验是应用最广泛的机械性能试验方法之一。在标准试样的两端缓慢地施加拉伸载荷,使试样的工作部分受轴向拉力 F ,使试样沿轴向产生伸长。随着 F 值的增大,伸长量也相应增大,直到拉断为止。图 1.1 为低碳钢的应力-应变图,其中 $\sigma = F/A_0$, A_0 为原始试样截面积; $\varepsilon = \Delta l/l_0$, $\Delta l = l_1 - l_0$ 。



F —轴向拉力; d_0 —原始试样直径; d_1 —断口处直径; l_0 —试样标距长; l_1 —试样拉断后标距长

图 1.1 低碳钢的应力-应变图

由于拉伸时的外加载荷是缓慢增加的, 因此测得的性能指标都是静载荷指标。常见的静载荷还有压缩、弯曲、扭转等, 材料承受静载荷时的机械性能指标主要有强度、塑性和硬度等。

1. 刚度与弹性模量

在图 1.1 中, 当试验应力 σ 小于 e 点时, 材料处于弹性范围内, 且 Op 段是直线, 应力与应变成正比, 其比值称为弹性模量, 用 E 表示, 即

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1-1)$$

E 标志着材料反抗弹性变形的能力, 用来表示材料的刚度。 E 值主要取决于材料本身的性能, 一些处理方法 (如热处理、冷热加工、合金化等) 对它影响很小。提高零件刚度的方法是增加横截面面积或改变截面形状。金属的 E 值随温度的升高而逐渐降低。

2. 强 度

强度是指材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。由于载荷的作用方式有拉伸、压缩、弯曲、剪切等形式, 所以强度也分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等。各种强度之间常有一定的联系, 工程中常用零件受拉伸时的屈服强度和抗拉强度作为基本强度指标。

(1) 屈服强度 在图 1.1 中, 当试验应力 σ 超过 e 点时, 试样除产生弹性变形外还会产生塑性变形; 在 sd 段, 应力几乎不增加, 但应变却大量增加, 这种现象称为屈服。 s 点的应力称为屈服强度, 用 σ_s 表示, 即

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (1-2)$$

式中 σ_s —— 屈服强度 (MPa);

F_s —— 拉伸试样屈服时的拉伸力 (N);

A_0 —— 拉伸试样原始横截面面积 (mm^2)。

屈服强度是材料在外力作用下开始产生塑性变形的最低应力值。金属材料中除低碳钢和中碳钢等少数金属外, 大多数金属材料 (如合金钢、铜合金、铝合金等) 拉伸时没有明显的屈服现象。因此, 对这些金属材料, 通常以发生 0.2% 残余变形时的应力作为屈服强度, 又称条件屈服强度, 用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

(2) 抗拉强度 由图 1.1 可知, 试样被拉断前的最大承载能力出现在 b 点, 此时的应力值称为抗拉强度或强度极限, 是金属材料在拉伸载荷下抵抗最大均匀塑性变形的能力或者拉断前所能承受的最大应力, 用 σ_b 表示, 即

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (1-3)$$

式中 σ_b —— 抗拉强度 (MPa);

F_b ——试样在断裂前所承受的最大拉力 (N)。

当材料所受的外应力大于其抗拉强度时, 将会发生断裂。

σ_s 和 σ_b 是选材的两个重要指标。由于大多数零件在工作时都不允许产生塑性变形, 所以在设计零件及构件时一般都以 σ_s 来校核强度。若零件在工作时只要求使用中不断裂, 如一般机床的连接螺栓, 则以 σ_b 来校核强度, 但应采用较大的安全系数。

3. 塑性

塑性是指金属材料在载荷作用下, 产生塑性变形 (永久变形) 而不被破坏的能力。常用的塑性指标是延伸率 (δ) 和断面收缩率 (ψ), 即

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 A_1 ——拉伸试样断口处的横截面面积 (mm^2)。

δ 和 ψ 的值越大, 表示材料的塑性越好。塑性好的材料, 不仅能顺利地进行轧制、锻压等成形工艺, 而且即使工件偶然过载, 也可因塑性变形而防止其忽然断裂; 工件的应力集中处, 也可因塑性变形使应力松弛, 从而使工件不至于过早断裂。所以大多数机械零件除要求具有较高的强度外, 还必须具有一定的塑性。一般情况, 延伸率达 5% 或断面收缩率达 10% 的材料, 即可满足大多数零件的使用要求。

4. 硬度

硬度是指材料表面局部区域内抵抗变形或断裂的能力, 是衡量材料软硬的判据。是一个综合的物理量, 也是工业上质量检验、工艺设计最常用的试验方法。材料的硬度越高, 耐磨性就越好, 故常将硬度值作为衡量材料耐磨性的重要指标之一。工程上常用的硬度指标有布氏硬度 (HB)、洛氏硬度 (HR) 和维氏硬度 (HV) 等。目前生产中硬度测试应用最广的方法是压入法, 即用一定的压力将压头缓慢压入被测工件表面, 使材料局部塑性变形而形成压痕, 然后根据压力大小、压痕面积或压痕深度确定其硬度。从这个意义来说, 硬度是反映材料表面反抗其他物体压入的能力。

(1) 布氏硬度 HB 布氏硬度是用一定的载荷 F , 将直径为 D 的硬质合金球体压入被测材料的表面 (见图 1.2), 保持一定时间后卸去载荷, 得到直径为 d 的压痕, 试验压力 $F(\text{N})$ 除以压痕面积 $A(\text{mm}^2)$ 所得的值即为布氏硬度, 用 HB 表示, 即

$$\text{HB} = \frac{F}{A} \quad (1-6)$$

在测定布氏硬度时, 由于试验力 F 和直径 D 都是定值, 所以实际上并不需要进行上述计算, 只要先测得压痕直径 d , 再根据 d 值查有关表格即可确定其 HB 值。

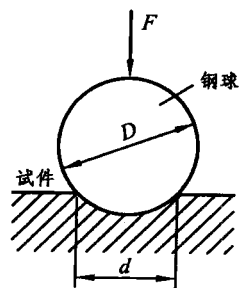


图 1.2 布氏硬度试验示意图

国标（GB/T 231.1—2002）规定，布氏硬度的测量均采用硬质合金球作压头，用符号“HBW”表示，适用于硬度≤650 HBW 的材料。

布氏硬度试验的优点在于因压痕面积大，测量结果误差小，且与强度之间有很好的对应关系，故有代表性和重复性。缺点是对金属表面的损伤较大，不易测试太薄工件的硬度，也不适于测定成品件的硬度。布氏硬度试验常用来测定原材料、半成品及性能不均匀的材料（如铸铁）硬度。

根据测试的材料，布氏硬度值 HB 与该材料的抗拉强度 σ_b 之间有以下近似经验关系：

对于低碳钢 $\sigma_b \approx 0.36 \text{ HB}$

对于高碳钢 $\sigma_b \approx 0.34 \text{ HB}$

对于合金调质钢 $\sigma_b \approx 0.325 \text{ HB}$

对于灰口铸铁 $\sigma_b \approx 0.10 \text{ HB}$

(2) 洛氏硬度 HR 洛氏硬度是以顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm 的淬火钢球作压头，以规定的试验力 F 使其压入试样表面。试验时，先加初试验力 (F_0) 压入深度 h_1 ，再加主试验力 (F_1) 压入深度 h_2 ，然后卸除主试验力，保留初试验力。由于材料的弹性恢复（恢复深度为 h_3 ），压入深度减小为 h ，以 h 作为洛氏硬度值的计算深度。洛氏硬度试验原理如图 1.3 所示。

由于 h 数值很小，且材料越硬其数值就越小，故用此值表示硬度与习惯不符，一般确定每 0.002 mm 深度为一个硬度单位，同时根据锥或球两类不同的压头各采用一个常数 K （用金刚石圆锥体时， $K=0.2 \text{ mm}$ ；用钢球时， $K=0.26 \text{ mm}$ ）。洛氏硬度按下式计算

$$\text{HR} = \frac{K - h}{0.002}$$

(1-7)

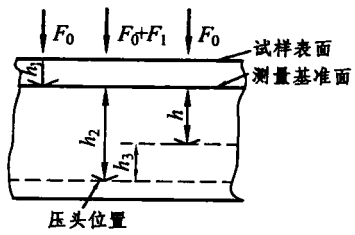


图 1.3 洛氏硬度试验原理图

根据压头的材料及压头所加的载荷不同又可分为 HRA、HRB、HRC 三种，其中 HRC 应用最广。这三种洛氏硬度标尺的试验条件和应用举例如表 1.1 所示。

洛氏硬度值可以在洛氏硬度机的刻度盘上直接读出，而不必再采用式 (1-7) 计算。洛氏硬度适于各种硬度值的测量，其测量操作简便迅速，并可直接读数，而且表面压痕小，可用于较薄材料或成品检测，是目前工厂应用最为广泛的试验方法。缺点是由于压痕小，测得的数值不够准确，通常要在试样的不同部位测定三次以上，取其平均值为该材料的硬度值。

表 1.1 洛氏硬度试验力及应用范围（GB/T 230—2004）

硬度符号	压头类型	总试验力/N	测量范围	应用范围
HRA	金刚石圆锥	588.4	20~88 HRA	硬质合金、表面淬火层或渗碳层
HRB	直径 1.588 mm 钢球	980.7	20~100 HRB	有色金属和退火钢、正火钢等
HRC	金刚石圆锥	1471	20~70 HRC	调质钢、淬火钢等

(3) 维氏硬度 HV 维氏硬度的试验原理与布氏硬度相似，所不同的是压头采用夹角为

136°的金刚石正四棱锥体，以选定试验力压入试样表面后，按规定保持一定时间后卸除试验力，测量压痕两对角线长度。维氏硬度值用四棱锥压痕单位面积上所承受的平均压力表示，符号 HV。维氏硬度值比布氏、洛氏硬度值精确，压入深度浅，但测定过程比较麻烦，适于测定金属镀层、薄片金属及化学热处理后的表面硬度，其结果精确可靠。当试验力小于 1.961 N 时，可用于测量金相组织中不同相的硬度。

5. 疲劳强度

以上几项性能指标都是金属材料在静载荷（载荷缓慢地由零增加到某一定值后保持不变或变动很不显著）作用下的性能指标。而许多零件和制品在工作时经常承受大小及方向变化的交变载荷，在这种载荷反复作用下，材料常处在低于其屈服强度的应力下就会发生断裂，这种现象称为“疲劳”。例如各种气阀上的弹簧经常发生折断，就是由于工作时弹簧产生疲劳。据统计，在机械零件断裂失效中有 80% 以上属于疲劳断裂。金属材料在规定次数（一般钢铁材料取 10^7 次，有色金属、不锈钢取 10^8 次）的交变载荷作用下，而不至引起断裂的最大应力称为疲劳极限（或疲劳强度），用 σ_{-1} 表示。

疲劳断裂产生的原因一般是由于材料表面与内部的缺陷（夹杂、划痕、尖角等）造成局部应力集中，形成微裂纹，这种微裂纹随应力循环次数的增加而逐渐扩展，使零件的有效承载面积逐渐减小，以致最后承受不起所加载荷而忽然断裂。

通过合理选材，改善材料的结构外形，避免应力集中，减小材料和零件的缺陷，降低零件的表面粗糙度，对表面进行强化等措施，可以提高材料的疲劳强度。

6. 冲击韧性

以很大速度作用于机件上的载荷称为冲击载荷。许多机械零件在工作时要承受冲击载荷，如曲轴、连杆、柴油机活塞、冲模、锻模等。在这种情况下，材料的性能指标不能仅用静载荷下的机械性能指标进行衡量，而必须考虑金属材料抵抗冲击载荷的能力。材料抵抗冲击载荷作用而不被破坏的能力称为冲击韧性。工程上常用一次摆锤冲击带缺口的试样来测试材料抵抗冲击载荷的能力，如图 1.4 所示。

试验时，将试样放在试验机两支座上，将质量为 m 的摆锤抬到 h_1 高度，使摆锤具有势能 $m h_1 g$ (g 为重力加速度)。然后释放摆锤，摆锤将试样冲断后将向另一方向升高到 h_2 高度，这时摆锤具有势能 $m h_2 g$ 。试样断口处单位面积上所消耗的功即为冲击韧性值，用符号 a_k 表示，即

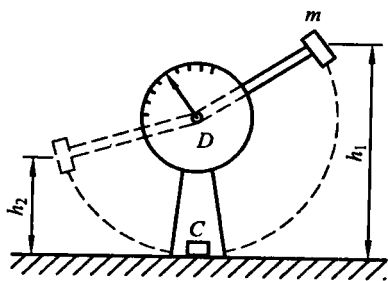


图 1.4 冲击试验原理图

$$a_k = \frac{A_k}{A} \text{ (J/cm}^2\text{)} = \frac{A_k}{A} \times 10^{-2} \text{ (MJ/m}^2\text{)} \quad (1-8)$$

式中 A_k —— 冲断试样所消耗的冲击功 (J), $A_k = m (h_1 - h_2) g$;
 A —— 试样折断处的横截面积 (cm^2)。

冲击韧性值越大, 金属材料的冲击韧性就越好, 其受到冲击时就越不易断裂。

1.1.2 常用的工程材料

材料的发展标志着人类社会文明的进步与生产水平的提高, 史学家甚至根据使用的材料将历史时代划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代。随着现代工业技术的发展, 材料已成为 21 世纪的三大支柱之一, 越来越多的材料已被发现并应用。

材料的种类繁多, 据粗略统计, 目前世界上的材料已达 40 余万种。在工程中使用的材料叫做工程材料, 包括机械工程材料、土建工程材料、电工材料、电子材料等。其中机械工程材料主要是指用于机械结构和机械零件, 并且主要要求机械性能的工程材料, 包括金属材料、有机高分子材料、无机非金属材料 and 复合材料。

金属材料在机械工程中应用最广泛, 主要是因为金属材料具有许多优良的使用性能和加工工艺性能, 矿藏丰富, 而且可以通过成分配制、工艺方法、热处理等方法来改变其内部组织结构, 从而达到改善其性能的目的。在机械设备中金属材料约占所用材料的 90% 以上, 其中又以钢铁材料占绝大多数。

1. 金属材料及其特征

金属材料是指以金属元素或以金属元素为主构成的具有金属特性的材料的统称, 包括纯金属、合金、金属间化合物和特种金属材料等。

金属材料由金属键(个别含有一定的共价键)结合而成, 具有与非金属完全不同的特性。金属中有自由电子存在, 当金属受到外加电场作用时, 自由电子将沿电场方向作定向运动形成电流, 所以金属具有良好的导电性; 金属除依靠内部的正离子的振动传递热量外, 自由电子的运动也能传递热量, 因此金属具有良好的导热性; 对金属施加很大的外力时, 其正离子将沿着一定的方向发生相对移动, 自由电子也随之移动, 离子间仍保持着牢固地结合, 所以在一定的外力作用下金属会发生一定的永久变形而不破裂, 这就是金属具有良好塑性的原因。利用金属良好的塑性, 可以对金属进行各种塑性加工。当温度升高时, 金属中的正离子振动增强, 自由电子运动受阻, 电阻增大, 使金属具有正的电阻温度系数。另外, 金属中的自由电子容易吸收可见光而被激发到较高能级, 当它跳回原来的能级时, 又将所吸收的可见光重新辐射出来, 所以金属不透明且有光泽。

2. 金属材料的分类

金属材料通常分为黑色金属、有色金属和特种金属材料。

① 黑色金属: 包括铁、锰、铬或以它们为主形成的合金。

② 有色金属: 除铁、铬、锰以外的所有金属及其合金, 通常分为轻金属、重金属、贵金属、稀有金属和稀土金属等。有色合金的强度和硬度一般比纯金属高, 并且电阻大、电阻温度系数小。

③ 特种金属材料：包括不同用途的结构金属材料 and 功能金属材料，如非晶态金属材料、准晶、微晶、纳米晶金属材料等，以及隐身、超导、形状记忆、耐磨、减振阻尼等功能金属材料。

3. 常用金属材料

1) 碳素钢

碳素钢是指含碳量低于 2.11%，并含有少量硅、锰以及磷、硫等杂质的铁碳合金。当含碳量超过 1% 时，随着含碳量增加，不仅钢的塑性、韧性降低，其强度也下降，而脆性急剧上升，并且使加工困难，失去生产和使用价值，因此工业上使用的碳素钢其含碳量一般不超过 1.4%。

(1) 碳素钢的分类。

① 按含碳量分类。

a. 低碳钢（含碳量 $< 0.25\%$ ）。低碳钢的塑性、韧性、可焊性良好，但强度较低。其中尤以含碳量低于 0.10% 的 08F, 08AL 等，由于其具有良好的拉伸性能和焊接性能而被广泛地用作深冲件，如汽车、制罐等，20G 则是制造普通锅炉的主要材料，此外，低碳钢也广泛地作为渗碳钢，用于机械制造业。

b. 中碳钢（含碳量为 $0.25\% \sim 0.6\%$ ）。中碳钢的强度较高，塑性、可焊性稍低，多在调质状态下使用，用于机械制造工业的零件。

c. 高碳钢（含碳量为 $> 0.6\%$ ）。高碳钢具有高的强度、硬度和良好的弹性，但塑性和可焊性差，多用于制造弹簧、齿轮、轧辊等。根据含锰量的不同，又可分为普通含锰量（ $0.25\% \sim 0.8\%$ ）和较高含锰量（ $0.7\% \sim 1.0\%$ 和 $0.9\% \sim 1.2\%$ ）两种。锰能改善钢的淬透性，强化铁素体，提高钢的屈服强度、抗拉强度和耐磨性。通常在含锰量高的钢的牌号后附加标记“Mn”，如 65Mn, 70Mn，以区别于正常含锰量的碳素钢。

② 按质量等级分类。

a. 普通碳素钢：钢中有害杂质磷、硫的含量分别为 $\leq 0.05\%$ 和 $\leq 0.045\%$ ，包括甲类钢（A 类钢，保证力学性能）、乙类钢（B 类钢，保证化学成分）和特类钢（C 类钢，保证力学性能和化学成分），如 Q235A, Q235B, A235C, Q235D 等。

b. 优质碳素钢：有害杂质磷、硫的含量均 $\leq 0.04\%$ 。

c. 高级优质碳素钢：有害杂质磷、硫的含量均 $\leq 0.03\%$ ，如 45A。

③ 按钢的用途分类。

a. 碳素结构钢：一般属低碳钢和中碳钢，用于制造各种结构件和机器零件。

b. 碳素工具钢：一般属高碳钢，用于制造刀具、量具、模具等。

(2) 碳素钢的牌号及用途。与合金钢相比，碳钢冶炼方便，价格低廉，产量大，且具有优良的锻造性、焊接性和切削加工性能，能满足许多场合机械加工用钢的要求，故在工业中应用非常广泛。碳素钢的牌号及用途如表 1.2 所示。

表 1.2 碳素钢的牌号及用途

名 称		钢号举例	用 途	说 明
碳 素 钢	普通碳素 结构钢	Q195, Q215, Q235, Q255, Q275 Q235A.F	炼制过程比较简单, 生产费用较低, 价格便宜, 广泛地应用于工程建筑、车辆、船舶及一般的桥梁、容器等金属结构; 也常用于制造要求不高的机器零件, 如螺钉、螺栓、螺母、垫圈以及手柄、小轴等	钢号由代表钢屈服点的“屈”字汉语拼音字首 Q 和屈服点强度数值 (单位 MPa) 组成, 必要时标注质量等级 A, B, C, D, E 级及脱氧方法 (F- 沸腾钢; b- 半镇静钢; Z- 镇静钢; TZ- 特殊镇静钢); 在牌号中若为 Z 和 TZ 则予以省略
	优质碳素 结构钢	08F, 45, 65, 40Mn	08~20 用于冲压件、焊接件及导套、挡块等耐磨件; 25~50 钢属于调质钢, 主要用于制造齿轮、蜗杆、连杆和各种轴类零件; 65~70 则是碳素弹簧钢, 制作各种弹性元件	钢号用两位数字表示平均含碳量的万分数, 钢号末尾标注“A”, 表示高级优质碳素结构钢
	碳素 工具钢	T8, T10, T12, T8A	具有较高的硬度和耐磨性, 主要用于制造刀具、量具和模具	“T”表示碳素工具钢; “T”后数字表示平均含碳量的千分数, 若为高级优质碳素工具钢, 则在其牌号后加符号 A
	铸 钢	ZG200-400 ZG230-450 ZG340-640	主要用于受冲击负荷作用的形状复杂件, 如箱体、轧钢机架、重载大型齿轮、飞轮等	“ZG”即铸钢两字的汉语拼音字首, “ZG”后的两组数字, 前一组数字表示铸件的屈服强度(σ_s 或 $\sigma_{0.2}$)的最低值, 后一组数字表示抗拉强度(σ_b)的最低值

2) 合金钢

合金钢是在普通碳素钢的基础上添加适量的一种或多种合金元素而构成的铁碳合金。根据添加元素的不同, 并采取适当的加工工艺, 可获得高强度、高韧性、耐磨、耐腐蚀、耐低温、耐高温、无磁性等特殊性能。

合金钢的主要合金元素有硅、锰、铬、镍、钼、钨、钒、钛、铌、锆、钴、铝、铜、硼、稀土等。其中钒、钛、铌、锆等在钢中是强碳化物形成元素, 只要有足够的碳, 在适当条件下, 就能形成对应的碳化物, 当缺碳或在高温条件下, 则以原子状态进入固溶体中; 锰、铬、钨、钼为碳化物形成元素, 其中一部分以原子状态进入固溶体中, 另一部分形成置换式合金渗碳体; 铝、铜、镍、钴、硅等为非碳化物形成元素, 一般以原子状态存在于固溶体中。这几种方式都可以不同程度地提高合金钢的强度、硬度和耐磨性等。

(1) 合金钢的分类。

① 按合金元素含量分类。

- a. 低合金钢: 合金元素总量的含量 < 5%。
- b. 中合金钢: 合金元素总量的含量为 5%~10%。
- c. 高合金钢: 合金元素总量的含量 > 10%。

② 按用途分类。

- a. 合金结构钢：用于制造各种性能要求较高的机械零件和工程附件，包括渗碳钢、调质钢、弹簧钢、轴承钢。
- b. 合金工具钢：用于制造各种性能要求较高的刀具、量具和模具，包括刀具钢、模具钢、量具钢。
- c. 特殊性能钢：有特殊物理和化学性能的钢，如不锈钢、耐热钢、耐磨钢、磁钢等。

(2) 合金钢的牌号及用途如表 1.3 所示。

表 1.3 合金钢的牌号及用途

名称	分类	钢号举例	用 途	说 明
合 金 钢	合金结构钢	低合金结构钢 16Mn, 15MnV, 18MnMoNb	桥梁、船舶、车辆、农业、机械、起重设备等的构件和零件	数字表示含碳量的万分数，化学元素符号表示主加元素，后面的数字表示所加元素的百分数
		渗碳钢 20CrMnTi 20Cr2Ni4A	表面要求高硬度，能耐磨并承受冲击载荷的零件，如活塞销	
		调质钢 40CrNiMo, 35CrMo, 45Mn2	经调质处理后，可获得良好的综合机械性能，用于制造各种重要的承受冲击载荷或负荷较大的机械零件，如进气阀	
		弹簧钢 65Mn, 60Si2Mn, 65Si2MnWA	用于各种机器和仪表，制作减缓振动和冲击的零件，如汽车板簧	
		滚动轴承钢 GCr15, GSiMnMoV	制作滚动轴承的内圈、外圈、滚动体及冷冲模、冷轧辊等	G 表示滚动轴承钢，不标含碳量，Cr 的含量用千分数表示，其他合金元素及含量表示同合金结构钢
		易切削结构钢 Y30, Y15Pb	切削加工生产线	Y 表示易切削结构钢，数字表示含碳量的万分数
	合金工具钢	刀具钢 9SiCr, W18Cr4V, W6Mo5Cr4V2	用于制造尺寸较大、形状复杂及高速切削的金属切削刀具，如丝锥、铣刀、滚刀、拉刀、铰刀、车刀等	数字表示含碳量的千分数（含碳量≥1%时不予标出），化学元素符号表示主加元素，后面的数字表示所加元素的百分数；刀具钢中一些钢号不标含碳量，其后为合金元素符号，后面的数字表示所加元素的百分数，当元素含量<1.5%时，只标明元素符号，不标含量
		模具钢 Cr12, 5CrNiMo, Cr12MoV	制作冷作模具和热作模具，如热锻模、热压模、冷冲模、冷挤压模、拉丝模等	数字表示含碳量的千分数（但有一些钢不标含碳量），化学元素符号表示主加元素，后面的数字表示所加元素的百分数
		量具钢 CrWMn, 9Mn2V, CrMn	制造各种测量工具，如卡尺、千分尺等	
	特殊性能钢	不锈钢 1Cr13, 1Cr18Ni9Ti	医疗器械、各种腐蚀介质中使用的设备零件、容器、管道等	
		耐热钢 15CrMo 4Cr10Si2Mo	锅炉吊钩、内燃机进气阀	
		耐磨钢 ZGMn13	挖掘机的铲斗、防弹钢板等	

3) 铸 铁

铸铁是含碳量大于 2.11% 的铁碳合金。工业用铸铁一般含碳量为 2%~4%。碳在铸铁中多以石墨形式存在，有时也以渗碳体形式存在。除碳外，铸铁中还含有 1%~3% 的硅，以及锰、磷、硫等元素。合金铸铁还含有镍、铬、钼、铝、铜、硼、钒等元素。碳、硅是影响铸铁显

微组织和性能的主要元素。铸铁的抗拉强度、塑性、韧性较钢差，且无法进行锻造，但它具有一些独特的性能，所以在工业上仍得到了广泛的应用。常见的铸铁有：

① 灰口铸铁。灰口铸铁含碳量较高（2.7%~3.6%），碳主要以片状石墨形态存在，断口呈灰色，简称灰铁。其熔点低（1 145 °C~1250 °C），凝固时收缩量小，抗压强度和硬度接近碳素钢，减振性好。常用于制造机床床身、气缸、箱体等结构件。

灰口铸铁的牌号由“HT”加数字组成，“HT”表示灰口铸铁，数字代表最低抗拉强度值（MPa），主要牌号有 HT150，HT200，HT250 等。

② 白口铸铁。白口铸铁碳、硅含量较低，碳主要以渗碳体（ Fe_3C ）的形式存在，断口呈银白色。凝固时收缩大，易产生缩孔、裂纹。硬度高、脆性大，难以进行切削加工，不能承受冲击载荷。多用作可锻铸铁的坯件和制作耐磨损的零部件，如轧辊、犁铧、机车车辆的车轮等。

③ 可锻铸铁。可锻铸铁由白口铸铁经石墨化退火处理后获得，石墨呈团絮状分布。其组织性能均匀，耐磨损，与灰口铸铁相比，有较高的塑性和韧性，因此得名可锻铸铁。但实际上，可锻铸铁并不能锻造。可锻铸铁常用于制造形状复杂，能承受强动载荷的零件，如汽车、拖拉机的后桥外壳、管接头、低压阀门、钢管脚手架接头等。

可锻铸铁的牌号由“KTH”或“KTZ”加两组数字组成，其中“KT”表示可锻铸铁，“H”表示黑心铁素体基体，“Z”表示珠光体基体，后面的两组数字分别表示最低抗拉强度（MPa）和最低延伸率（%），主要牌号有 KTH350-10，KTZ550-04 等。

④ 球墨铸铁。球墨铸铁是在浇注前向铁水中加入适量的球化剂和孕育剂，使石墨呈球状析出而得到的，简称球铁。由于球状石墨对金属基体的割裂作用小，因此有较高强度和较好韧性、塑性，有些已接近钢的水平。用于制造内燃机、曲轴、连杆、齿轮及农机具等。

球墨铸铁的牌号由“QT”加两组数字组成，其中“QT”表示球墨铸铁，后面的两组数字分别表示最低抗拉强度（MPa）和最低延伸率（%），主要牌号有 QT500-7，QT800-2 等。

⑤ 蠕墨铸铁。蠕墨铸铁是在一定成分的铁水中加入一定量的蠕化剂（稀土、镁钽、镁钙的铁合金）及少量孕育剂形成的，石墨呈蠕虫状分布。蠕墨铸铁的力学性能优于灰口铸铁，其导热性、铸造性、减振性、切削加工性均优于球墨铸铁，是一种具有良好综合性能的铸铁，常用于制造一些结构复杂、承受热循环载荷、组织致密、强度要求高的铸件，如缸盖、液压阀、制动盘、刹车鼓等。

蠕墨铸铁的牌号由“RuT”加数字组成，其中“RuT”表示蠕墨铸铁，后面的数字表示最低抗拉强度（MPa），主要牌号有 RuT260，RuT420，RuT380 等。

⑥ 特殊性能铸铁。特殊性能铸铁是指具有某些特性的铸铁。根据用途可分为耐磨铸铁、耐热铸铁、耐蚀铸铁等。这类铸铁大部分都属于合金铸铁，在机械制造上应用也较为广泛，用于制造矿山、化工机械和仪器、仪表等的零部件。

1.1.3 工程材料的选用

合理地选择和使用材料是一项十分重要的工作，选材时，应以零件最主要的性能要求作为主要依据，即首先要考虑的是材料的使用性能应能够适应零件的工作条件，使零件经久耐用；其次要求材料有较好的加工工艺性能，如铸造性能、焊接性能、锻造性能、热处理性能、

切削加工性等, 以便提高机械零件的生产率; 另外还应考虑材料的经济性, 从而达到降低成本的目的。

一般来说, 选材都是以材料的使用性能, 尤其是机械性能为主要依据。选材的基本步骤如图 1.5 所示。选材时应充分考虑到零件的工作条件、失效形式及相应的性能要求等。

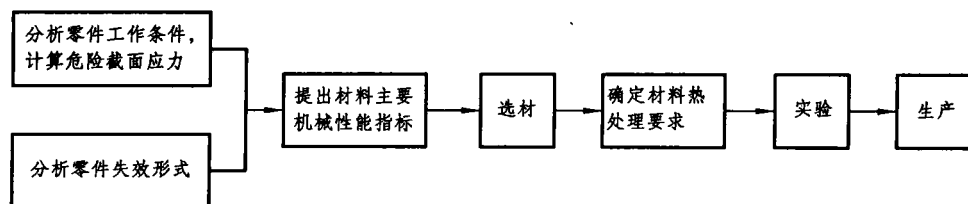


图 1.5 按机械性能选材的基本步骤

1. 常见的材料选择方法

(1) 以要求较高综合力学性能为主时的选材。在机械制造中有相当多的结构零件, 如轴、杆、套类零件等, 在工作时均不同程度地承受着静、动载荷的作用, 其失效形式可能为变形失效和断裂失效, 所以这类零件要求具有较高的强度和较好的塑性与韧性, 即良好的综合力学性能。

(2) 以疲劳强度为主时的选材。疲劳破坏是零件在交变应力作用下最常见的破坏形式, 如发动机曲轴、齿轮、弹簧及滚动轴承等零件的失效, 大多数是因疲劳破坏引起的。

(3) 以抗磨损为主时的选材。可分为两种情况: 一是磨损较大、受力较小的零件, 其主要失效形式是磨损, 故要求材料具有高的耐磨性, 如钻套、各种量具、刀具、顶尖等; 二是同时受磨损及交变应力作用的零件, 其主要失效形式是磨损、过量的变形与疲劳断裂, 如传动齿轮、凸轮等。

2. 几种常见零件的材料选择

1) 轴类零件的选材

轴类零件是机械设备中最主要的零件之一, 也是影响机械设备的精度和寿命的关键零件。其作用是支承回转零件并传递运动和转矩, 是影响运行精度和寿命的关键件。轴可分为转轴 (如车床主轴、带轮的轴等)、芯轴 (如火车轴轮、自行车前轴、汽车前轴等) 和传动轴 (如车床上的光杠等) 三类。根据不同的用途, 不同轴的尺寸相差可能会很大, 如手表中摆动轴最小处只有 $\phi 0.085 \text{ mm}$, 而汽轮机转子轴可达 $\phi 1\ 000 \text{ mm}$ 以上。轴主要用来承受各种载荷和传递动力。

(1) 工作条件: 轴类零件的工作载荷一般为扭转和弯曲疲劳载荷, 在轴颈处承受摩擦磨损。

(2) 失效形式: 疲劳、过载断裂、过量变形和轴颈过度磨损。

(3) 性能要求: 足够的抗拉强度和刚度, 适当的冲击韧性和高的疲劳强度, 对轴颈处受摩擦的部分要求高硬度和高耐磨性。工艺上要求有良好的切削加工性和淬透性。

(4) 轴类零件的材料选择:

① 轻载、低速、不重要的轴 (如芯轴、联轴节、拉杆、螺栓等), 可选用 Q235, Q255, Q275 等普通碳素结构钢, 可不进行热处理。