

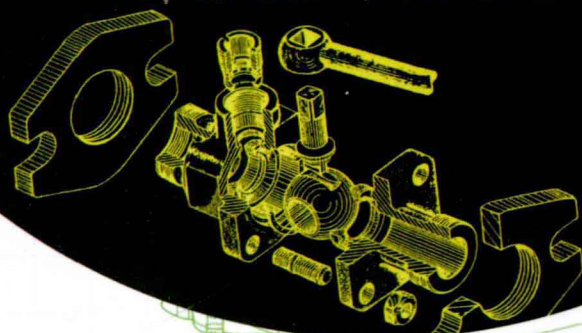
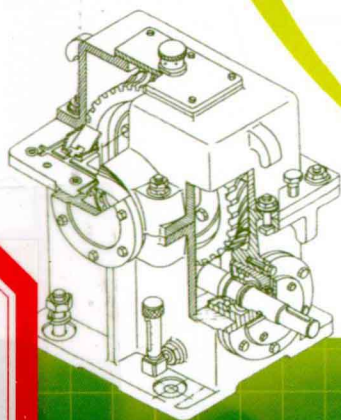


21世纪高职高专“十二五”规划教材

机械零部件 加工与检测

(上册)

主 编/方占萍 薛仰全 张 康 张俊妍



天津大学出版社

TEL: 022-23512222 FAX: 022-23512222

21 世纪高职高专“十二五”规划教材

机械零部件加工与 检测（上册）

主 编：方占萍 薛仰全

张 康 张俊妍

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书是按照“基于工作过程情境化教学”模式编写的,全书内容都是按照典型零件的加工与检测的完整工作过程编排的。

本书在介绍了机械加工基础知识的基础上,选择了典型的轴类、套类、回转体类、轮廓类、型腔类、箱体类、复合类机械零件为例,深入浅出地介绍了典型零件的普通机床与数控机床的加工与检测过程,以任务驱动、情境教学的方式设计了教学内容,每个学习情境都包括丰富的拓展知识和巩固与提高内容。

本书适合作为普通高等院校和职业院校的机电一体化技术、机械制造及自动化、风能与动力技术、数控技术、模具设计与制作等专业的教材,也可作为中职学校学生和企业技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械零部件加工与检测.上册/方占萍等主编.——天津:
天津大学出版社,2012.1

21世纪高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5618-4241-6

I. ①机… II. ①方… III. ①机械元件—加工—高等职业教育—教材
②机械元件—检测—高等职业教育—教材 IV. ①TH16 ②TH13

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第280209号

出版发行 天津大学出版社

出 版 人 杨欢

地 址 天津市卫津路92号天津大学内(邮编:300072)

电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742

网 址 publish.tju.edu.cn

印 刷 廊坊市长虹印刷有限公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 185mm×260mm

印 张 10.75

字 数 268千

版 次 2012年2月第1版

印 次 2012年2月第1次

定 价 22.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请向我社发行部联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

掌握机械零部件的加工与检测技术是高职高专机械类专业学生的一项必要的职业技能要求。然而，企业对制造类人才的要求常常和学校的培养结果不相适应，从而直接导致了学生毕业后不能很好地胜任其承担的工作。究其原因，很大程度上是由于高职教育缺乏与生产相适应的专门教材，鉴于此，我们组织多位具有企业工作经验，又多年从事本专业教学工作的“双师型”教师共同编写了本书。

本书在安排上，采用的是以典型零部件的工艺、程序编制及加工实施的工作过程为参照系，将金属材料的知识及检测知识贯穿其中，以典型零件为载体，体现工学结合，按照工作过程对教学内容进行设计，是一本体现典型零部件加工的基于工作过程系统化的教材。

本书的目标是让读者具备机械零部件加工的基础知识，学习普通机床、数控机床典型零部件加工工艺编制方法，学习操作普通机床、数控机床，学习各种典型零件的检测方法。

本书的突出特点是：以典型的机械零部件为载体，培养学生的方法能力、专业能力、社会能力，在教材的编写过程中，大量采用任务导向的教学方法，突出了与机械加工实际和应用相结合，强化了与后续课程的联系和衔接。本教材既能明显提高学生解决工程实际问题的能力，实现学生毕业与就业的“零距离”对接，又能为学生可持续发展和创新能力的提高打下坚实的基础。

本书由张俊妍老师谋篇策划，编写分工如下：上册学习情境一由张康编写，学习情境二由张康、方占萍编写，学习情境三由薛仰全编写，学习情境四、五、六由方占萍编写；下册学习情境七由张俊妍编写，学习情境八、九由薛仰全编写，学习情境十、十一由陈晓斐编写，学习情境十二、十三、十四由赵吉虎编写。

本书编写过程中得到了金风科技股份有限公司、东方汽轮机有限公司等企业工程技术人员的大力支持和帮助，他们对本书的编写提出了很多宝贵意见，在此一并表示感谢！

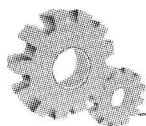
由于编者水平有限，且时间仓促，书中内容难免有不足和疏误，敬请读者批评指正。

编 者

2011 年 10 月

目 录

学习情境一 机械加工基础	1
任务一 工程材料基础	1
一、任务导入	1
二、相关知识	1
三、任务实施	6
四、拓展知识	25
任务二 金属切削的基本知识	26
一、任务导入	26
二、相关知识	26
三、任务实施	33
四、拓展知识	50
五、巩固与提高	63
学习情境二 轴类零件的普通机床加工与检测	65
一、任务导入	65
二、相关知识	66
三、任务实施	68
四、拓展知识	81
五、巩固与提高	83
学习情境三 套类零件的普通机床加工与检测	84
一、任务导入	84
二、相关知识	85
三、任务实施	86
四、拓展知识	98
五、巩固与提高	100
学习情境四 回转体类零件的普通机床加工与检测	101
一、任务导入	101
二、相关知识	102
三、任务实施	115
四、拓展知识	124
五、巩固与提高	125
学习情境五 箱体类零件的普通机床加工与检测	126
一、任务导入	126
二、相关知识	126
三、任务实施	131



四、拓展知识	150
五、巩固与提高	151
学习情境六 车铣复合零件的普通机床加工与检测	152
一、任务导入	152
二、相关知识	153
三、任务实施	158
四、拓展知识	164
五、巩固与提高	164
参考文献	165

任务一 工程材料基础



能力目标

通过对常用工程材料的成分、组织、结构、性能之间的关系及改变材料性能需要采用的工艺手段的分析，初步具备选择常用工程材料的能力及正确选择一般机械零件热处理方法的能力。



知识目标

1. 了解金属材料的力学性能。
2. 了解常用工程材料的选用。

一、任务导入

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指在使用过程中所表现出来的性能，如力学性能、物理性能、化学性能等。工艺性能是指金属材料在各种加工过程中所表现出来的性能，如铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能等。

一般情况下，选用金属材料是以力学性能作为主要依据。金属材料的力学性能是指金属材料在载荷作用下抵抗变形或破坏的能力，常用的力学性能有强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等。

二、相关知识

（一）强度

金属材料在载荷作用下抵抗弹性变形、塑性变形和断裂的能力称为强度。由于载荷



作用方式不同，强度可分为屈服强度、抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。工程上应用最普遍的是屈服强度和抗拉强度，这两个强度指标通常是采用拉伸试验法来测定的。

试验前，将被测金属材料按标准 GB/T 228—2002 规定，制成一定形状和尺寸的拉伸试样。试验时，将标准试样装夹在拉伸试验机上，缓慢加载（静载荷），试样的伸长量随着载荷的增加而增大，直至试样被拉断为止。试验机自动记录装置可将整个拉伸试验过程中的载荷大小与对应的伸长量之间的关系绘成力—伸长量曲线图，图 1-1 所示为退火低碳钢的力—伸长量曲线图。

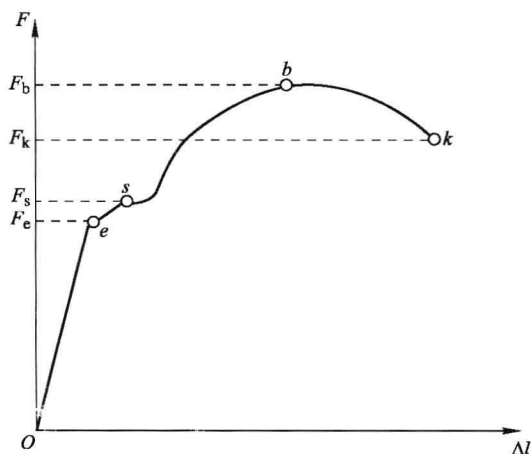


图 1-1 退火低碳钢的力—伸长量曲线图

由图 1-1 可知，当载荷 F 为零时，伸长量 Δl 为零。当载荷由零逐渐增大到 F_e 时，试样的伸长量与载荷成比例增加。此时卸除载荷，试样能完全恢复到原来的形状和尺寸，即试样处于弹性变形阶段。当载荷超过 F_e 时，试样除产生弹性变形外，还出现了塑性变形（或永久变形），即卸除载荷后，试样不能完全恢复到原来的形状和尺寸。当载荷加到 F_s 时，在曲线上开始出现水平（或锯齿形）线段，这表示载荷不增加，试样却继续伸长，这种现象称为“屈服”， s 点称为材料的屈服点。当载荷超过 F_s 后，试样的伸长量又随载荷的增加而增大，此时试样已产生大量的塑性变形。当载荷继续增加到 F_b 时，试样出现局部直径变细的现象，通常称为“缩颈”（即“颈缩”）现象。此时载荷逐渐降低到 F_k 时，试样就在缩颈处被拉断。

金属材料受到载荷作用后，其内部会产生一个与载荷相平衡的抵抗力（即内力），此力的大小与外力相等、方向与外力相反。金属材料单位面积产生的内力称为应力，用 σ 表示。金属材料的强度就是用应力来度量的。

1. 屈服点和条件屈服强度

试样产生屈服现象时的最小应力称为屈服点，用符号 σ_s (MPa) 表示，有

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$



式中 F_s ——材料屈服时的最小载荷, N;
 S_0 ——试样的原始横截面面积, mm^2 。

有些金属材料(如高碳钢、铸铁等)在拉伸试验中没有明显的屈服现象, 很难测出屈服点。在这种情况下, 工程上采用规定残余伸长应力来反映材料抗屈服的性能, 即试样卸除拉伸力后, 其标距部分的残余伸长达到规定的原始标距百分比时的应力。例如, 规定残余伸长率为 0.2% 时的应力用 $\sigma_{r0.2}$ 表示, 称为条件屈服强度, 通常写做 $\sigma_{0.2}$ (MPa), 则

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_{0.2}}$$

式中 $F_{0.2}$ ——试样卸除拉伸力后, 标距部分的残余伸长为原始标距长度的 0.2% 时的载荷(N)。

屈服点表示金属材料抵抗微量塑性变形的能力。当材料所受应力低于屈服点时, 仅有微量塑性变形产生; 超过屈服点时, 将产生明显的塑性变形。

2. 抗拉强度

试样被拉断前所能承受的最大拉应力称为抗拉强度, 用符号 σ_b (MPa) 表示, 有

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_b}$$

式中 F_b ——试样断裂前所承受的最大载荷, N。

抗拉强度表示金属材料抵抗最大均匀塑性变形或断裂的能力。有些塑性较差的材料, 拉伸试验中往往没有明显的屈服现象, 而抗拉强度比较容易测定, 因此抗拉强度也作为衡量材料强度的一个重要指标。

(二) 塑性

金属材料在载荷作用下产生断裂前所能承受的最大塑性变形的能力称为塑性。在断裂之前, 材料的塑性变形越大, 表示它的塑性越好。常用的塑性指标有断后伸长率(延伸率)和断面收缩率, 它们也是通过对试样进行拉伸试验来测定的。

1. 断后伸长率(延伸率)

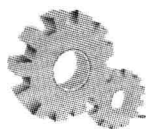
试样被拉断后, 标距的伸长量与原始标距的百分比称为断后伸长率, 用符号 δ 表示。有

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_1 ——试样被拉断时的标距, mm;
 L_0 ——试样的原始标距, mm。

2. 断面收缩率

试样被拉断后, 缩颈处横截面面积的最大缩减量与原始横截面面积的百分比称为断面收缩率, 用符号 ψ 表示。有



$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中 S_1 ——试样缩颈处的横截面面积， mm^2 ；

S_0 ——试样的原始横截面面积， mm^2 。

断后伸长率与断面收缩率都是材料的重要性能指标。它们的数值越大，材料的塑性越好。

（三）硬度

硬度是指金属材料抵抗硬物压入或划伤的能力，即抵抗局部塑性变形和破坏的能力。一般来说，硬度越高，耐磨性越好，强度也越高。

在目前生产中，测定硬度的方法最常用的是压入法硬度试验。它是用一定几何形状的压头，在一定载荷下，压入被测试的金属材料表面，根据被压入后变形程度的大小来测定其硬度值。用同样的压头，在相同载荷作用下，压入金属材料表面时，若压入后变形程度越大，则材料的硬度值越低；反之，硬度值越高。生产中应用最广泛的有布氏硬度和洛氏硬度测试法。

1. 布氏硬度

布氏硬度的测定原理是：用一直径为 D 的硬质合金球作压头，在规定试验力 F 的作用下，压入被测金属表面（见图 1-2），保持规定的时间后卸除试验力，测量被测试金属表面上所形成的压痕直径 d ，用载荷与压痕球形表面积之比作为布氏硬度值，用符号 HBW 表示。布氏硬度试验范围上限为 650HBW。

布氏硬度值由硬度数值、硬度符号和试验条件（球体直径、试验力大小和保持时间）表示。例如，350HBW5/750 表示用直径 5 mm 的硬质合金球在 7.355 kN 试验力下保持 10~15 s 测定的布氏硬度值为 350。硬度值越大，表示被测材料硬度越高。

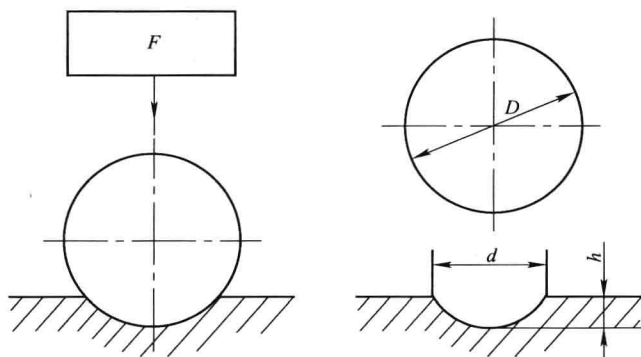
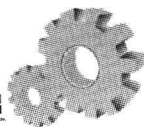


图 1-2 布氏硬度试验原理示意图

2. 洛氏硬度

洛氏硬度的测定原理是用顶角为 120° 的金刚石圆锥压头或直径为 1.588 mm 的淬火钢球压头，在初载荷单独作用以及初载荷和主载荷共同作用下，压入被测金属表面（见图 1-3），



保持规定的时间后卸除主载荷，根据残余压痕深度增量来确定金属材料的硬度。

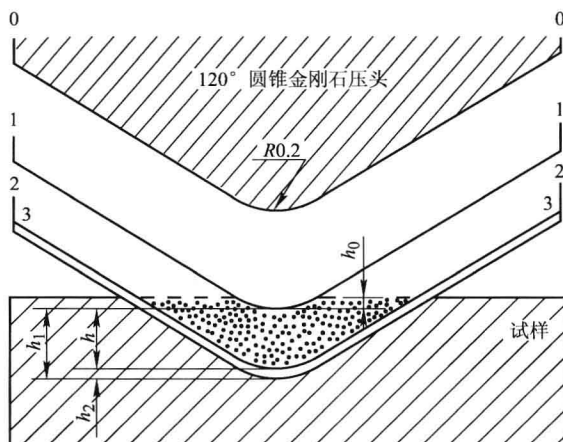


图 1-3 洛氏硬度试验原理示意图

在图 1-3 中，0-0 位置为圆锥压头的初始位置，即压头没有与被测金属表面接触时的位置；1-1 为在初载荷 98.07 N 作用下，压头压入深度 h_0 位置；2-2 为加入主载荷后，压头压入深度 h_1 位置；卸除主载荷后，被测金属弹性变形恢复，使得压头向上回升 h_2 ，处于 3-3 位置。因此，可以用压头受主载荷作用实际压入被测金属表面产生塑性变形的压痕深度值的大小来衡量被测金属的硬度。压痕深度值 h 越大，则被测金属的硬度越低；反之，则越高。为适应习惯上数值越大，硬度越高的概念，常用一常数 K 减去 $h/0.002$ 作为洛氏硬度值，用符号 HR 表示，洛氏硬度值可直接从硬度计表盘上读出。有

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

式中 K ——常数，当用金刚石作压头时 $K=100$ ，当用淬火钢球作压头时 $K=130$ 。

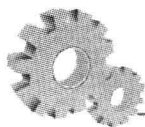
洛氏硬度表示的方法是在符号前写出硬度值，如 60HRC，常用洛氏硬度的试验条件及应用范围见表 1-1。

表 1-1 常用洛氏硬度的试验条件及应用范围（摘自 GB/T 230.1—2004）

硬度符号	压头类型	应用范围	初试验力/N	主试验力/N	总试验力/N	应用举例
HRA	金刚石圆锥	20~88HRA	98.07	490.3	588.4	硬质合金、淬表面火层、渗碳层等
HRB	直径 1.5875 mm 球	20~100HRB	98.07	882.6	980.7	有色金属、退火钢、正火钢等
HRC	金刚石圆锥	20~70HRC	98.07	1 373	1 471	调质钢、淬火钢

（四）硬度与抗拉强度的关系

由于硬度反映了金属材料在局部范围内对塑性变形的抗力，因此材料的硬度与强度之间有一定内在联系，强度越高，塑性变形抗力越大，硬度值也越高。因此，可以根据材料的硬度值大致估计材料的抗拉强度。其经验公式如下：



低碳钢 (<176HBW)	$\sigma_b \approx 3.6 \times \text{HBW} \text{ (MPa)}$
高碳钢 (>175HBW)	$\sigma_b \approx 3.45 \times \text{HBW} \text{ (MPa)}$
合金调质钢	$\sigma_b \approx 3.25 \times \text{HBW} \text{ (MPa)}$
灰铸铁	$\sigma_b \approx \text{HBW} \text{ (MPa)}$

（五）冲击韧性

强度、塑性、硬度都是在静载荷作用下测量的力学性能指标。实际上，许多机器零件和工具常常都是在冲击载荷作用下工作的。有些零件，除了需要满足静载荷作用下的强度、塑性和硬度外，还必须具有足够的抵抗冲击载荷的能力。

金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力称为冲击韧性，金属材料的冲击韧性可以通过冲击试验测定。

摆锤式一次冲击试验是目前工程技术上应用最普遍的一种方法，即将被测金属材料制成标准冲击试样，在专门的摆锤试验机上进行测试。试验时，将试样放在试验机的支座上，将质量为 m 的摆锤提升到一定高度 h_1 ，使之获得一定的能量，然后让摆锤自由下落冲断试样，试样冲断后，摆锤继续向前回升到高度 h_2 ($h_1 > h_2$)。在此过程中摆锤的势能差就是冲断试样所消耗的能量，即试样在冲击载荷一次作用下被冲断时所吸收的功，称为冲击吸收功，用 A_{KU} 或 A_{KV} 表示，单位为 J (焦耳)。用冲击吸收功除以试样底部横截面面积就得到冲击韧度，用符号 α_{KU} 或 α_{KV} (J/cm^2) 表示，即

$$\alpha_{KU} (\alpha_{KV}) = \frac{A_{KU} (A_{KV})}{S}$$

式中 S ——试样缺口底部横截面面积， cm^2 。

冲击韧度越大，则材料的韧性越好；反之，则韧性越差，即脆性越大。

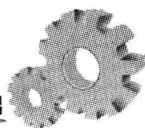
（六）疲劳强度

许多机械零件，如发动机曲轴、连杆、齿轮、弹簧等，经常会受到大小和方向作周期性变化的载荷作用，这种载荷称为交变载荷。在交变载荷的作用下，零件所承受的最大应力值虽然远小于其屈服点，但经过多次循环后，零件在无显著的外观变形情况下却会发生断裂，这种断裂称为疲劳断裂。断裂往往是突然发生的，因此具有很大的危险性，常常会造成严重事故。

金属材料经受无数次交变载荷作用而不引起断裂的最大应力值称为材料的疲劳强度。实际试验时不可能进行无数次的应力循环，因此规定：对于钢材，将当应力循环次数达到 10^7 次时，零件仍不断裂的最大应力作为它的疲劳强度；对于有色金属和某些超高强度钢，将当应力循环次数为 10^8 次时，零件仍不断裂的最大应力作为它的疲劳强度；且对称循环应力的疲劳强度用 σ_{-1} 表示。

三、任务实施

非合金钢是指质量分数 $w_C < 2.11\%$ ，并含有少量 Si、Mn、S、P 等杂质元素的铁碳合金，



在施行新的钢分类标准以前称为碳素钢（简称碳钢），它是各个工业部门中普遍使用的材料。

（一）非合金钢的分类

非合金钢的分类方法主要有以下三种：

① 根据含碳量（碳的质量分数）分为低碳钢（ $w_C < 0.25\%$ ）、中碳钢（ $0.25\% \leq w_C \leq 0.60\%$ ）和高碳钢（ $w_C > 0.60\%$ ）；

② 根据主要质量等级分为普通质量非合金钢（ $w_S \leq 0.045\%$ ， $w_P \leq 0.045\%$ ）、优质非合金钢（ $w_S \leq 0.035\%$ ， $w_P \leq 0.035\%$ ）和特殊质量非合金钢（ $w_S \leq 0.020\%$ ， $w_P \leq 0.030\%$ ）；

③ 根据钢的用途不同分为碳素结构钢、碳素工具钢和铸造碳钢。

此外，按冶炼时钢水的脱氧程度不同，又分为沸腾钢（脱氧不完全）、镇静钢（脱氧较完全）和半镇静钢（脱氧程度介于沸腾钢和镇静钢之间）。

（二）非合金钢的牌号、性能及主要用途

1. 碳素结构钢

（1）普通碳素结构钢

普通碳素结构钢的牌号用“Q+数字+质量级别+脱氧方法符号”表示。其中“Q”为钢材屈服点“屈”字的汉语拼音字首；数字表示其最小屈服点值；质量级别分别用A、B、C、D表示，其中A级质量等级最低，D级质量等级最高；脱氧方法符号分别用F、b、Z、TZ表示沸腾钢、半镇静钢、镇静钢、特殊镇静钢，通常镇静钢和特殊镇静钢的符号（Z和TZ）可以省略。例如牌号Q235-AF表示屈服点 ≥ 235 MPa的A级沸腾钢。普通碳素结构钢的牌号、性能及主要用途见表1-2。

表 1-2 普通碳素结构钢的牌号、性能及主要用途

新 牌 号	旧 牌 号	主 要 性 能	用 途 举 例
Q195	A1、B1	具有高的塑性、韧性和焊接性能，良好的压力加工性能	用于制造地脚螺栓、犁铧、烟筒、屋面板、铆钉、低碳钢丝、薄板、焊管、拉杆、吊钩、支架、焊接结构
Q215	A2、C2		
Q235	A3、C3	具有良好的塑性、韧性和焊接性能、冷冲压性能以及一定的强度，好的冷弯性能	广泛用于一般要求的零件和焊接结构，如受力不大的拉杆、销、轴、螺钉、螺母、套圈、支架、机座、建筑结构、桥梁等
Q255	A4、C4	具有较好的强度、塑性和韧性，较好的焊接性能和冷、热压力加工性能	用于制造要求强度不太高的零件，如螺栓、键、摇杆、轴、拉杆和钢结构用各种型钢、钢板等
Q275		具有较高的强度，较好的塑性和切削加工性能以及一定的焊接性能，小型零件可以淬火强化	用于制造要求较高的零件，如齿轮、轴、链轮、键、螺栓、螺母、农机用型钢、输送链和链节

（2）优质碳素结构钢

优质碳素结构钢的牌号一般用两位数字表示，这两位数字表示钢中碳的平均质量分数的万分之几。如35钢，表示碳的平均质量分数为0.35%的优质碳素结构钢。若钢中锰的质量分数较高（0.7%~1.2%）时，则在牌号后面加上锰的化学元素符号（Mn），例如35Mn。优质碳素结构钢的牌号、性能及主要用途见表1-3。



表 1-3 优质碳素结构钢的牌号、性能及主要用途

牌 号	主要性能特点	用 途 举 例
08F	优质沸腾钢，强度、硬度低，塑性极好，深冲压、深拉延性好，冷加工性、焊接性好，成分偏析倾向大，实效敏感性大，故冷加工时，可采用消除应力热处理或水韧处理，防止冷加工时断裂	易轧成薄板、薄带、冷变形材、冷拉钢丝，用作冲压件、压延件，各类不承受载荷的覆盖件、渗碳、渗氮，制作各类套筒、靠模、支架等
20	强度、硬度稍高于 15F、15 钢，塑性、焊接性都好，热轧或正火后韧性好	制作不太重要的中、小型渗碳、碳氮共渗件以及锻压件，如杠杆轴、变速箱变速叉、齿轮以及重型机械拉杆、钩环等
30	强度、硬度较高，塑性好，焊接性良好，可在正火或调质后使用，适于热锻、热压，切削加工性良好	用于受力不大，温度<150℃的低载荷零件，如丝杠、拉杆、轴键、齿轮、轴套筒等，渗碳件表面耐磨性好，可作耐磨件
45	最常用的碳调质钢，综合力学性能良好，淬透性差，水淬时易产生裂纹。小型件宜采用调质处理，大型件宜采用正火处理	主要用于制造强度高的运动件，如汽轮机叶轮、压缩机活塞、轴、齿轮、齿条、蜗杆等；焊接件注意焊前预热，焊后去应力退火
65	热处理或冷作硬化后具有较高强度与弹性，焊接性不好，易形成裂纹，可切削性差，冷变形塑性低，淬透性不好，一般采用油淬，其特点是在相同组态下疲劳强度可与合金弹簧钢相当	宜用于制造截面、形状简单和受力小的扁形或螺旋弹簧零件，如气门弹簧、弹簧环等；也宜用于制造高耐磨性零件，如轧辊、曲轴、凸轮及钢丝绳等
85	含碳量最高的结构钢，强度、硬度比其他高碳钢高，但弹性略低，其他性能与 65 钢相近。淬火性不好	用于制造铁道车辆、扁形板弹簧、圆形螺旋弹簧、钢丝、钢带等
40Mn	淬透性略高于 40 钢，热处理后强度、硬度韧性比 40 钢略高，冷变形时塑性中等，可切削性好，焊接性低，具有过热敏感性和回火脆性，水淬易裂	用于制造耐疲劳件、曲轴、辊子、轴、连杆以及高应力下工作的螺钉、螺母等
65Mn	强度、硬度、弹性和淬火性均比 65 钢高，具有过热敏感性和回火脆性，水淬有形成裂纹倾向。退火后可切削性尚可，冷变形塑性低，焊接性差	用于制造中等载荷的板弹簧，直径 7~20 mm 螺旋弹簧和弹簧垫圈、弹簧环，高耐磨性零件，如磨床主轴、弹簧卡头、精密机床丝杆、犁、切刀、螺旋滚子轴承上的套环、铁道钢轨等

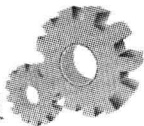
2. 碳素工具钢

碳素工具钢中碳的质量分数在 0.65%~1.35%之间，全都属于优质级或高级优质碳素钢。这类钢具有高硬度和高耐磨性，主要用于制造刀具、量具和模具，如制作手用锯条、锉刀等。

碳素工具钢的牌号用“T+数字”表示。其中“T”为碳素工具钢“碳”字的汉语拼音字首，数字表示钢中碳的平均质量分数的千分之几。若为高级优质碳素工具钢，则在数字后面加符号“A”。例如 T8 表示碳的平均质量分数为 0.8%的优质碳素工具钢，T8A 则表示碳的平均质量分数为 0.8%的高级优质碳素工具钢。碳素工具钢的牌号、性能及主要用途见表 1-4。

表 1-4 碳素工具钢的牌号、性能及主要用途

牌 号	主 要 性 能	硬 度			用 途 举 例
		退火状态	试样淬火		
		HBS	淬火温度/℃ 冷却介质	HRC	
T7 T7A	热处理后具有较高的强度、韧性和相当的硬度，淬透性和热硬性差，淬火时变形	≤187	800～820 水	≥62	制造承受撞击、振动，要求韧性较好，硬度中等且切削能力不高的各种工具，如小尺寸风动工具，木工用的凿和锯，剪铁皮的剪子，手用大锤、钳工锤头及销轴等
T8 T8A	淬火回火后，硬度较高、耐磨性良好，强度、塑性不高，淬透性差，加热时易过热、易变形，热硬性低，承受冲击的能力低	≤187	780～800 水	≥62	制造切削刃口在工作中不变热、硬度和耐磨性较高的工具，如木材加工用的斧、凿、锯片，简单形状的模具和冲头、打眼工具，台虎钳口及弹簧片、销子等



续表

牌 号	主 要 性 能	硬 度			用 途 举 例
		退火状态	试样淬火		
		HBS	淬火温度/℃ 冷却介质	HRC	
T8Mn T8MnA	性能和 T8、T8A 相近， 但锰使其淬透性比 T8、 T8A 好，淬硬层较深			≥62	用途和 T8、T8A 相似
T10 T10A	韧性较好，强度较高， 热硬性差，淬透性不好， 淬火变形较大	≤197	760~780 水	≥62	制造切削条件较差、耐磨性较高、不受 强烈振动、要求一定韧性和锋利的工具， 如铣刀、车刀、钻头、丝锥、机用细木工 具、拉丝模、冲孔模等
T12 T12A	硬度和耐磨性高，韧性 较低，淬透性不好，淬火 变形较大	≤207		≥62	制造冲击小、切削速度不高、高硬度的 各种工具，如铣刀、车刀、钻头、丝锥、 板牙、锯片、小尺寸的冷切边模及冲孔模， 高硬度、冲击小的机械零件等
T13 T13A	碳钢硬度和耐磨性最 不好的工具钢，且韧性较 差，不能承受冲击力	≤217		≥62	制作要求极高硬度，但不受冲击的工具， 如刮刀、剃刀、拉丝工具、刻锉刀纹 工具、雕刻用工具、钻头、锉刀等

3. 铸造碳钢

铸造碳钢（简称“铸钢”）的牌号用“ZG+两组数字”表示。其中“ZG”为“铸钢”两字的汉语拼音字首，第一组数字表示其最低屈服点值，第二组数字表示其最低抗拉强度值。例如 ZG230-450 表示屈服点 $\sigma_s=230$ MPa、抗拉强度不小于 450 MPa 的工程用铸造碳钢。

一般工程用铸造碳钢中碳的质量分数在 0.15%~0.60%之间，铸造碳钢主要用于制作强度和韧性要求较高、形状复杂、难以用压力加工方法成型的铸钢件。铸造碳钢的牌号、化学成分、力学性能及主要用途见表 1-5。

表 1-5 铸造碳钢的牌号、化学成分、力学性能及主要用途

牌 号	主要化学成分质量分数/%					室温下力学性能					性能特点及用途举例
	C	Si	Mn	P	S	σ_s ($\sigma_{0.2}$) /MPa	σ_b /MPa	δ %	ψ %	A_{KU}/J ($\alpha_{KU}/J \cdot cm^{-2}$)	
	不大于					不小于					
ZG200-400	0.20	0.50	0.80	0.40	200	400	25	40	30 (60)	有良好的塑性、韧性和焊接性。用于制作受力不大、要求韧性好的各种机械零件，如机座、变速箱壳体等	
ZG230-450	0.30		230		450	22	32	25 (45)	有一定的强度和较好的塑性、韧性，焊接性良好。用于制作受力不大、要求韧性好的各种机械零件，如机座、轴承盖、底板、阀体等		
ZG270-500	0.40		270		500	18	25	22 (35)	有较高的强度和较好的硬度，铸造性良好，焊接性良好，切削性好。用于制作轧钢机架、轴承座、连杆、箱体、曲轴、缸体等		
ZG310-570	0.50		310		570	15	21	15 (30)	强度和切削性良好，塑性、韧性较低。用于制作载荷较大的零件，如大齿轮、缸体、制动轮等		
ZG340-640	0.60	0.60			340	640	10	18	10 (20)	强度、硬度和耐磨性高，切削性良好，焊接性差，流动性好。裂纹敏感性较大。用于制作齿轮、棘轮等	



（三）低合金钢和合金钢

在碳钢中有目的地加入一定量合金元素所得到的钢称为低合金钢和合金钢。在合金钢中，通常加入的合金元素有：锰（ $w_{\text{Mn}} > 0.8\%$ ）、硅（ $w_{\text{Si}} > 0.4\%$ ）、铬、钨、镍、钼、钒、铝、铜、钛、铌及稀土元素等。这些元素在合金钢中可以提高钢的力学性能及钢的淬透性，改善钢的工艺性能或得到某种特殊的物理、化学性能，因而可以大大扩展其应用范围。合金钢按用途可分为合金结构钢、合金工具钢、特殊用途钢。

1. 低合金高强度结构钢

低合金高强度结构钢是在低碳钢（ $w_{\text{C}} < 0.2\%$ ）的基础上加入少量（ $\leq 5\%$ ）合金元素制成的钢，其牌号也用“Q+数字”表示。其含义与普通碳素结构钢相同，如 Q345 表示最低屈服点值为 345 MPa 的低合金高强度结构钢。若牌号后面有字母 A、B、C、D、E，也表示质量等级，如 Q345B 表示最低屈服点值为 345 MPa 的 B 级低合金高强度结构钢。

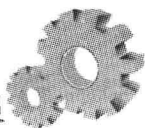
低合金钢通常在热轧退火（或正火）状态下使用。它的强度比普通低碳钢要高 10%~20%，所以称为低合金高强度钢。它具有较好的塑性、韧性以及良好的焊接性和耐蚀性，目前广泛应用于桥梁、车辆、船舶、建筑、容器等方面，其主要目的是为了减轻结构的自身重量，保证使用的可靠性和耐久性。常用低合金钢的牌号、化学成分、力学性能及主要用途见表 1-6。

表 1-6 常用低合金钢的牌号、化学成分、力学性能及主要用途

牌 号		化学成分（质量分数）/%				钢材 厚度 /mm	力 学 性 能			冷 弯 试 验	用 途 举 例
新标准	旧标准	C	Si	Mn	其他		σ_b / MPa	σ_s / MPa	$\delta\%$	a （试件 厚度） d （心棒 直径）	
Q295	09Mn2	≤ 0.12	0.20~0.60	1.40~1.80	—	4~10	450	300	21	180℃ $d=2a$	油槽、油 罐、机车车 辆、梁柱等
Q345	14MnNb	0.12~0.18	0.20~0.60	0.80~1.20	0.15~0.50 (Nb)	≤ 16	500	360	20		油罐、锅 炉、桥梁等
	16Mn	0.12~0.20	0.20~0.60	1.2~1.60	—	≤ 16	520	350	21		桥梁、船 舶、车辆、 压力容器、 建筑结构
	16MnCu	0.12~0.20	0.20~0.60	1.25~1.50	0.20~35 (Cu)	≤ 16	520	350	21		桥梁、船 舶、车辆、 压力容器、 建筑结构
Q390	15MnTi	0.12~0.18	0.20~0.60	1.25~1.50	0.12~0.20 (Ti)	≤ 25	540	400	19	180℃ $d=3a$	船舶、压 力容器、电 站设备
	15MnV	0.12~0.18	0.20~0.60	1.25~1.50	0.04~0.14 (V)	≤ 25	540	400	18		船舶、压 力容器、桥 梁、车辆、 起重机械

2. 合金结构钢

合金结构钢主要包括合金渗碳钢、合金调质钢、合金弹簧钢、滚动轴承钢等。



(1) 合金渗碳钢

合金渗碳钢是在低碳钢的基础上加入铬、锰、镍、钛、钒等合金元素制成的钢，其牌号用“两位数字+合金元素符号+数字”表示。其中前两位数字表示钢中碳的平均质量分数的万分之几，合金元素符号表示钢中所含的合金元素，合金元素符号后面的数字表示其平均含量的百分数，并规定合金元素的平均含量 $<1.5\%$ 时，则只标出元素符号，而不标出数字；当合金元素的平均含量在 $1.5\%\sim 2.5\%$ 之间、 $2.5\%\sim 3.5\%$ 之间时，在元素后面相应标出2、3。如20Mn2表示碳的平均质量分数为 0.20% ，锰的平均质量分数为 2% 的合金渗碳钢（硅锰钢）。如果是高级优质合金结构钢，则在牌号的末尾加符号“A”，例如18Cr2Ni4WA。

合金渗碳钢通常经渗碳、淬火及低温回火后使用，主要用于表面要求高硬度、高强度、高耐磨性，心部具有较高韧性，且能承受冲击载荷的零件，如变速齿轮、齿轮轴、活塞销等。常用合金渗碳钢的牌号、化学成分、力学性能及主要用途可查阅GB/T 3077—1999（合金钢）。

(2) 合金调质钢

合金调质钢通常是指经调质处理后使用的中碳合金钢，其碳的质量分数在 $0.25\%\sim 0.50\%$ 之间。合金调质钢牌号的表示方法与合金渗碳钢相同，也用“两位数字+合金元素符号+数字”表示。

合金调质钢主要用于要求高硬度、良好塑性与韧性相配合的重要零件，如主轴、曲轴、连杆螺栓、重要齿轮等。如有些零件还要求工作表面有较高的硬度和耐磨性时，经调质处理后，可再进行表面感应加热淬火加低温回火。常用合金调质钢的牌号、化学成分、热处理及性能可查阅GB/T 3077—1999（合金钢）。其中应用较广泛的合金调质钢有40Cr、40MnVB、30CrMnSi、20MnVB、12CrNi3等。

(3) 合金弹簧钢

用于制造各种弹簧或弹性零件的合金钢称为合金弹簧钢，其碳的质量分数一般在 $0.45\%\sim 0.70\%$ 之间。合金弹簧钢牌号的表示方法与合金渗碳钢相同，也用“两位数字+合金元素符号+数字”表示。

常用合金弹簧钢的牌号、化学成分、热处理、性能及主要用途可查阅GB/T 1222—1984（弹簧钢）。其中应用最广泛的是硅锰类合金弹簧钢（硅锰弹簧钢），如55Si2Mn、60Si2Mn，它们广泛用于制造汽车、拖拉机、机车车辆的螺旋弹簧和板簧及其他高应力下工作的重要弹簧。

(4) 滚动轴承钢

用于制造滚动轴承中的滚动体（滚珠、滚柱、滚针）和套圈的合金钢称为滚动轴承钢，其碳的质量分数一般在 $0.95\%\sim 1.15\%$ 之间，以便淬火后得到高碳马氏体，保证滚动轴承钢具有高硬度和高强度。

滚动轴承钢牌号用“G+Cr+数字”表示。其中“G”是“滚”字汉语拼音首位字母，“Cr”是合金元素铬的化学元素符号，数字表示钢中铬的平均质量分数的千分之几。如GCr15表示铬的平均质量分数为 1.5% 的滚动轴承钢。

滚动轴承钢中元素铬的质量分数一般在 $0.40\%\sim 1.5\%$ 之间，其作用是提高钢的淬透性，并形成弥散分布的碳化物，从而提高钢的耐磨性和接触疲劳强度。对于大型轴承，还加入元素锰、硅等，以进一步提高钢的淬透性。