

校企合作双元开发新形态“互联网+”创新型教材
高等职业教育机械设计制造类“十四五”优质教材

机械制造基础

(智 媒 体 版)

主 编 许桂云 袁 秋 杨 阳

副 主 编 陈亚茹 柳光利 梅秋平

张海秀 李园奇

企业顾问 宁国松 孙飞 马一龙

主 审 林昌华



西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内容简介

本书以培养适应现代机械制造业发展的高素质应用型技能人才为目标,注重培养学生分析问题、解决问题的能力,使其具备机械创新设计能力和工程实践能力,既保证足够的理论知识深度,又强化专业技能知识实践。本书共 10 个项目,内容包括金属材料的性能及常用金属材料、铁碳合金相图、钢的热处理、铸造成型、塑性成形、非金属材料成形、焊接及热切割、机械零件材料的选择、金属切削加工、特种加工与智能制造等,各项目设置了针对性强的技能训练任务,强化学生实践技能培养,以满足当前及未来制造业发展需要。

本书可供高职高专机械类专业使用,也可用作普通工科应用型高校、成人教育、自学考试等机械类、近机类专业学生的学习指导书,还可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础:智媒体版 / 许桂云,袁秋,杨阳主编. —成都:西南交通大学出版社,2021.4
ISBN 978-7-5643-8008-3

I. ①机… II. ①许… ②袁… ③杨… III. ①机械制造—高等职业教育—教材 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 062760 号

Jixie Zhizao Jichu (Zhimeiti Ban)

机械制造基础(智媒体版)

主编 许桂云 袁秋 杨阳

责任编辑 罗在伟

封面设计 何东琳设计工作室

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)

邮政编码 610031

发行部电话 028-87600564 028-87600533

网址 <http://www.xnjdcbs.com>

印刷 四川森林印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印张 18

字数 469 千

版次 2021 年 4 月第 1 版

印次 2021 年 4 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-8008-3

定价 49.00 元

课件咨询电话:028-81435775

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 PREFACE

“机械制造基础”是高等职业教育机械类专业的一门基础课，本书根据国家关于职业教育强化实践教学的要求，通过校企合作开发教学内容，让学生在完成具体的项目理论知识的过程中，掌握金属材料性能测试、金相组织观察分析、热处理工艺知识、铸造成型及塑性成形工艺方案制定、非金属材料成形注射模具的工作原理及结构特征、焊接与热切割知识、机械零件材料选择原则及方法，了解特种加工及智能制造技术等，成为机械制造加工专业高素质应用型技能人才。

根据《国家职业教育改革实施方案》提出的职业本科教育要注重实践教学、促进校企合作的要求，我校与企业工程技术人员进行深度合作，坚持理论知识够用，提升实践技能的原则，应用“互联网+”技术作为辅助教学手段，对项目重点与难点配置了三维可视化图像及视频，可通过二维码扫码读取，有利学生自学或课前预习、课后复习。

本书共 10 个项目，包括金属材料的性能及常用金属材料、铁碳合金相图、钢的热处理、铸造成型、塑性成形、非金属材料成形、焊接及热切割、机械零件材料的选择、特种加工与智能制造等。每个项目的内容均以实践技能训练为主线，按照基础知识学习、实践技能训练的顺序编写，仿照企业真实的工作环境来设置实践训练项目。

本书由重庆机电职业技术大学许桂云、袁秋、杨阳担任主编，陈亚茹、柳光利、梅秋平、张海秀、李园奇担任副主编，具体编写分工如下：项目一由柳光利编写，项目二、项目三由陈亚茹编写、项目四由梅秋平编写、项目五及项目六由袁秋编写、项目七及项目八由许桂云编写、项目九由张海秀编写，项目十由李园奇编写，杨阳参与项目一、二、三、四编写，许桂云负责统稿。全书由林昌华教授任主审，重庆华数机器人有限公司宁国松、重庆清平机械有限责任公司孙飞、重庆长安汽车股份有限公司马一龙担任企业顾问。

本书可供高职高专机械类专业使用，也可用作普通工科应用型高校、成人教育、自学考试等机械类、近机类专业学生的学习指导书，还可供相关工程技术人员参考。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2021 年 1 月



教材课件



课程标准、教案、日历、试卷

数字资源索引

序号	二维码名称	资源类型	页码
1	材料的强度和塑性	微课	002
2	布氏硬度试验原理	动画	005
3	洛氏硬度试验原理	动画	005
4	维氏硬度试验原理	视频	006
5	摆锤式冲击试验原理	动画	006
6	疲劳测试	视频	007
7	碳钢的分类	微课	009
8	热模锻压机模锻	视频	017
9	纯铝及电解铝	视频	022
10	纯金属的冷却曲线及结晶过程	微课	042
11	典型铁碳合金冷却时组织转变过程分析	微课	055
12	过共析钢的结晶过程	微课	058
13	共析钢中奥氏体的形成过程	动画	067
14	下贝氏体的形成过程	动画	071
15	片状马氏体的形成过程	动画	072
16	感应加热表面淬火	视频	078
17	缩孔和缩松的形成	动画	086
18	合理设置冒口和放置冷铁	动画	087
19	整体模造型	动画	094
20	挖砂造型	动画	095
21	活块造型	动画	095
22	熔模铸造	视频	107

续表

序号	二维码名称	资源类型	页码
23	金属型铸造	视频	107
24	压力铸造	视频	109
25	离心铸造	视频	111
26	金属塑性成形基本加工方法	微课	118
27	自由锻基本工序	视频	124
28	轴杆锻造	视频	126
29	蒸汽—空气模锻锤	视频	128
30	弯曲连杆锻件的锻模	微课	130
31	曲柄压力机工作原理	视频	134
32	导板式单工序落料模	微课	139
33	螺杆式注射机注射成形	视频	149
34	注射模具的结构	微课	150
35	挤出成形原理	视频	154
36	焊条	视频	167
37	焊条电弧焊操作要领	视频	170
38	埋弧焊	视频	171
39	CO ₂ 气体保护焊	视频	174
40	点焊	视频	175
41	对焊	视频	175
42	缝焊	视频	175
43	闪光对焊	视频	176
44	等离子弧焊接	视频	186
45	电渣焊	视频	187

续表

序号	二维码名称	资源类型	页码
46	减速器主要零件选材	微课	210
47	零件表面的形成与切削运动（动画）	动画	220
48	零件表面的形成与切削运动（微课）	微课	220
49	外圆车刀的结构	微课	222
50	金属切削的形成过程	动画	226
51	CA6140 型车床	动画	231
52	钻、扩、铰加工	动画	235
53	顺铣	动画	240
54	逆铣	动画	240
55	电火花加工的原理	微课	249
56	数控电火花成形机及其加工过程	视频	250
57	线切割机床及其加工过程	视频	251
58	激光切割技术	视频	255
59	激光打标技术	视频	256
60	高压水射流切割	视频	261
61	毫克能加工应用	视频	266
62	SLM 金属 3D 打印工艺	视频	271
63	3D 打印典型应用	视频	272



目录

CONTENTS

1	项目 1 金属材料的性能及常用金属材料 ····· 001
	任务 1.1 金属材料性能认知学习 ····· 002
	任务 1.2 常用金属材料认知学习 ····· 009
	任务 1.3 实践技能训练 ····· 031
2	项目 2 铁碳合金相图 ····· 034
	任务 2.1 纯金属的晶体结构与结晶认知学习 ····· 035
	任务 2.2 合金的相结构与结晶认知学习 ····· 043
	任务 2.3 铁碳合金相图认知学习 ····· 051
	任务 2.4 实践技能训练 ····· 061
3	项目 3 钢的热处理 ····· 065
	任务 3.1 钢在加热时的组织转变认知学习 ····· 066
	任务 3.2 钢在冷却时的组织转变认知学习 ····· 068
	任务 3.3 钢的退火与正火认知学习 ····· 072
	任务 3.4 钢的淬火与回火认知学习 ····· 075
	任务 3.5 钢的表面热处理认知学习 ····· 077
	任务 3.6 实践技能训练 ····· 079
4	项目 4 铸造成型 ····· 083
	任务 4.1 铸造成型基础理论学习 ····· 084
	任务 4.2 砂型铸造认知学习 ····· 093

任务 4.3	铸造工艺的设计	096
任务 4.4	砂型铸造铸件结构设计	100
任务 4.5	特种铸造认知学习	106
任务 4.6	了解铸造新技术及发展趋势	113
任务 4.7	实践技能训练	115

5

项目 5 塑性成形

任务 5.1	金属塑性成形基础理论学习	118
任务 5.2	锻造认知学习	123
任务 5.3	冲压认知学习	130
任务 5.4	实践技能训练	141

6

项目 6 非金属材料成形

任务 6.1	常用非金属材料认知学习	145
任务 6.2	塑料的成形认知学习	147
任务 6.3	橡胶的成形认知学习	156
任务 6.4	陶瓷的成形认知学习	158
任务 6.5	实践技能训练	160

7

项目 7 焊接及热切割

任务 7.1	焊接及热切割方法基础理论学习	164
任务 7.2	熔焊认知学习	165
任务 7.3	压焊认知学习	174
任务 7.4	钎焊认知学习	178
任务 7.5	焊接质量分析	180
任务 7.6	焊接结构工艺设计	182
任务 7.7	了解焊接技术的新发展	186
任务 7.8	实践技能训练	190

8

项目 8 机械零件材料的选择 193

- 任务 8.1 零部件的失效形式认知学习 194
- 任务 8.2 学习选择材料的原则 199
- 任务 8.3 典型零件的选材 202
- 任务 8.4 毛坯成形方法及材料选择 207
- 任务 8.5 常见机械零件材料选择示例 210
- 任务 8.6 实践技能训练 211

9

项目 9 金属切削加工 214

- 任务 9.1 金属切削机床认知学习 215
- 任务 9.2 车削加工认知学习 230
- 任务 9.3 钻、镗削加工认知学习 234
- 任务 9.4 刨、插、拉削和铣削加工认知学习 237
- 任务 9.5 磨削加工认知学习 241
- 任务 9.6 实践技能训练 244

10

项目 10 特种加工与智能制造 246

- 任务 10.1 特种加工基础理论学习 247
- 任务 10.2 电火花加工认知学习 248
- 任务 10.3 激光加工认知学习 252
- 任务 10.4 电子束加工认知学习 256
- 任务 10.5 高压水射流切割认知学习 259
- 任务 10.6 超声波加工认知学习 261
- 任务 10.7 豪克能加工认知学习 263
- 任务 10.8 3D 打印认知学习 267
- 任务 10.9 智能制造认知学习 273
- 任务 10.10 实践技能训练 274

参考文献 276

项目 1

金属材料的性能及常用金属材料

知识目标

- 掌握金属材料常用的性能指标。
- 熟悉常用金属材料的成分、分类、牌号、主要性能及用途。
- 了解材料成分对其性能的影响。

技能目标

- 熟练掌握金属材料力学性能的基本概念。
- 能够根据零件的使用条件，选择性能指标适合的材料。
- 能够根据材料的牌号，判断其所属种类、性能特点、应用场合。

任务导航

- 任务 1.1 金属材料性能认知学习。
- 任务 1.2 常用金属材料认知学习。
- 任务 1.3 实践技能训练。

任务 1.1 金属材料性能认知学习

人类文明的发展和社会的进步与金属材料的关系十分密切。继石器时代之后出现的铜器时代、铁器时代，均以金属材料的应用为显著标志。如今，种类繁多的金属材料已成为人类社会发展的物质基础。金属材料的性能一般分为使用性能和工艺性能。所谓使用性能，是指机械零件在使用条件下金属材料表现出来的性能，包括力学性能、物理性能和化学性能等。金属材料使用性能的好坏，决定了它的使用范围与使用寿命。所谓工艺性能，是指机械零件在加工制造过程中，金属材料在一定的冷、热加工条件下表现出来的性能。金属材料工艺性能的好坏，决定了它在制造过程中加工成形的适应能力。由于加工条件不同，要求的工艺性能也就不同，如铸造性能、可焊性、可锻性、热处理性能、切削加工性等。

1.1.1 使用性能

1.1.1.1 力学性能

材料的力学性能是指材料在不同环境（温度、介质、湿度）下，承受各种外加载荷（拉伸、压缩、弯曲、扭转、冲击、交变应力等）时所表现出的力学特征。衡量材料力学性能的主要指标有强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。材料的力学性能是零件设计、材料选择及工艺评定的主要依据。

1. 强度和塑性

材料在外力作用下抵抗永久变形和破坏的能力称作强度。根据外力性质不同，强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等。当承受拉力时，强度性能指标主要表现为屈服强度和抗拉强度。塑性是指材料在断裂前发生永久变形的能力。常用的塑性指标有断后伸长率（延伸率）和断面收缩率。

材料的强度指标和塑性指标是通过拉伸试验测定的。拉伸试验的试件要按国家标准规定的形状和尺寸，做成标准试样，以便比较不同材料的实验结果。对于金属材料，通常采用如图 1-1 所示的圆柱形标准试样。低碳钢是工程上使用最广泛的材料，同时，低碳钢试样在拉伸试验中所表现出的变形与抗力间的关系也比较典型。

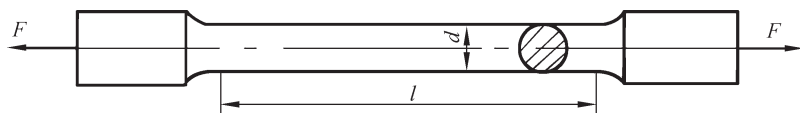


图 1-1 标准拉伸试样



材料的强度和塑性

下面就以低碳钢的拉伸试验为例，介绍材料的强度指标和塑性指标。

在拉伸试验机上夹紧试样两端，缓慢施加轴向载荷，使之发生变形直至断裂。通过试验可以得到拉力与试样伸长量之间的关系曲线（即拉伸图）。试样的拉伸图与试样的几何尺寸有关，为了消除试样几何尺寸的影响，将拉伸过程中试样所受的力转化为试样单位面积上所受的力

(称为应力), 试样伸长量转化为试样单位长度上的伸长量(称为应变), 得到应力-应变曲线, 如图 1-2 所示, 其形状与拉伸图完全一致。

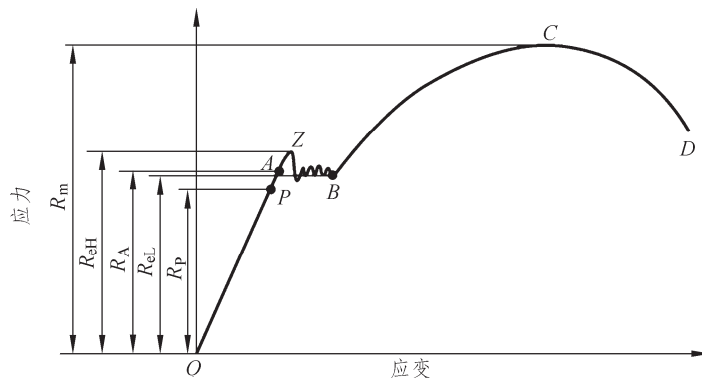


图 1-2 低碳钢的应力-应变曲线

低碳钢的拉伸试验大致可分为以下 4 个阶段。

(1) 弹性阶段。由图 1-2 可知, 应力-应变曲线中 OP 段为一条倾斜直线, 此时应力和应变成比例关系, P 点所对应的应力为保持这种比例关系的最大应力, 称为比例极限, 用 R_p 表示。图中的 PA 段, 应力超过比例极限 R_p , 应力与应变不再是线性关系。但当应力不超过 A 点所对应的应力时, 卸载后, 变形仍可完全消失, 这种变形为弹性变形, R_A 称为弹性极限。

材料在 OP 段, 其应力和应变成正比, 其比值称为弹性模量, 用 E 表示, 单位为 MPa 。刚度是指材料在受力时抵抗弹性变形的能力, 是材料产生弹性变形难易程度的表征。材料的刚度通常用弹性模量 E 来衡量。弹性模量越大, 材料产生一定量的弹性变形所需的应力就越大, 表明材料越不易产生弹性变形, 即材料的刚度大。如果材料的刚度不足, 则易发生过大的弹性变形而产生失效。弹性模量的大小主要取决于材料的本性, 一些处理方法(如热处理、合金化、冷热加工等)对它影响很小。常见金属的弹性模量见表 1-1。

表 1-1 常见金属的弹性模量

单位: MPa

金属	弹性模量 E	金属	弹性模量 E
铝 (Al)	72 000	铁 (Fe)	214 000
铜 (Cu)	132 400	镍 (Ni)	210 000
镁 (Mg)	45 000	钛 (Ti)	118 000

(2) 屈服阶段。当应力超过 A 点增加到某一数值时, 在应力-应变曲线上出现锯齿形线段 ZB , 此时应力几乎不变, 而应变却显著增大, 暂时失去抵抗变形的能力, 这种现象称为屈服或流动。若卸去外加载荷, 则试样会留下不能恢复的残余变形, 这种不能随载荷去除而消失的残余变形称为塑性变形。在金属材料呈现屈服现象时, 在试验期间发生塑性变形而力不增加的应力点称为屈服点, 其所对应的强度称为屈服强度, 应区分为上屈服强度 R_{eH} 和下屈服强度 R_{eL} , 单位为 MPa 。

对没有明显屈服现象的材料, 国家标准规定取试样产生 0.2% 的塑性应变时的应力值作为该材料的名义屈服强度, 用 $R_{p0.2}$ 表示。机械零件在使用时, 一般不允许发生塑性变形, 所以屈服强度是衡量材料强度的一个重要指标。

(3) 强化阶段。屈服阶段后,材料抵抗变形的能力有所恢复,在应力-应变曲线上自 B 点开始继续升高到 C 点为止。这种材料又恢复抵抗变形的能力的现象称为材料的强化。曲线最高点 C 对应的应力值用 R_m 表示,称为材料的抗拉强度,单位为 MPa,它是材料所能承受的最大应力。抗拉强度是衡量材料强度的另一个重要指标。

屈服强度与抗拉强度的比值称为屈强比。其值越大,越能发挥材料的潜力,减小结构的自重;其值越小,零件工作时的可靠性越高;其值太小,材料强度的有效利用率就会降低。因此,低合金结构钢的屈强比一般取 0.65 ~ 0.75。

(4) 颈缩阶段。应力达到抗拉强度后,在试样的某一局部范围内,截面突然急剧缩小,这种现象称为颈缩。颈缩后,材料完全丧失承载能力,因而应力-应变曲线为一急剧下降曲线 CD ,直至试样被拉断。试样拉断后,弹性变形消失,塑性变形保留下来。根据拉断后的有关尺寸定义以下两个塑性指标:

① 断后伸长率:指试样拉断后标距长度的伸长量与原始标距长度的百分比,用 A 表示,即

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 L_0 ——试样原始标距长度 (mm);

L_u ——试样拉断后最终标距长度 (mm)。

断后伸长率的数值和试样标距长度有关。短试样的断后伸长率大于长试样的断后伸长率,所以相同试样的断后伸长率才能进行比较。

② 断面收缩率:指断后试样横截面面积最大缩减量与原始横截面面积的百分比,用 Z 表示,即

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 S_0 ——试样原始横截面面积 (mm²);

S_u ——试样拉断后最终截面面积 (mm²)

断后伸长率 A 和断面收缩率 Z 越大,则表明材料的塑性越好。两者相比,用断面收缩率表示塑性比断后伸长率更接近真实变形。

金属材料具有一定的塑性才能进行各种变形加工。另一方面,材料具有一定的塑性,可以提高零件的使用可靠性,防止零件突然断裂破坏。

2. 硬 度

材料局部抵抗硬物压入其表面的能力称作硬度。固体对外界物体入侵的局部抵抗能力,是比较各种材料软硬的指标。由于规定了不同的测试方法,所以有不同的硬度标准。各种硬度标准的力学含义不同,相互不能直接换算,但可通过试验加以对比。硬度分为以下 3 种:

(1) 划痕硬度,主要用于比较不同物质的软硬程度。其方法是选一根一端硬一端软的棒,将被测材料沿棒划过,根据出现划痕的位置确定被测材料的软硬。定性地说,硬物体划出的划痕长,软物体划出的划痕短。

(2) 压入硬度,主要用于金属材料的比较。其方法是用一定的载荷将规定的压头压入被测材料,以材料表面局部塑性变形的大小比较被测材料的软硬。由于压头、载荷以及载荷持续时间不同,压入硬度有多种,主要是布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度和显微硬度等几种。

(3) 回跳硬度,也主要用于金属材料的比较。其方法是用一个特制的小锤从一定高度自由下落冲击被测材料的试样,并以试样在冲击过程中储存(继而释放)应变能的多少(通过小锤

的回跳高度测定) 确定材料的硬度。

硬度试验设备简单, 操作方便, 一般不需要破坏零件或构件, 而且对于大多数金属材料而言, 硬度与其他的力学性能(如强度等)以及工艺性能(如切削加工性、焊接性等)之间存在着一定的对应关系。因此, 在工程上, 硬度被广泛地用以检验原材料和热处理件的质量, 鉴定热处理工艺的合理性以及作为评定工艺性能的参考。

① 布氏硬度: 用一定大小的载荷 F 将直径为 D 的硬质合金球压入被测材料的表面, 保持规定时间后卸去载荷, 测量被测试样表面上所形成的压痕直径 d ,

用载荷值和压痕面积之比定义硬度值, 用符号 HB 表示。布氏硬度的试验原理如图 1-3 所示, 布氏硬度 HB 的计算式为

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-3)$$

布氏硬度试验的优点是具有较高的测量精度, 数据重复性好, 与强度之间存在一定的换算关系。缺点是不能测试较硬的材料; 压痕较大, 不适于成品检验。通常用来检验铸铁、有色金属、低合金钢等原材料和调质件的硬度。

② 洛氏硬度: 是以压痕塑性变形深度来确定硬度值的指标, 以 0.002 mm 作为一个硬度单位。在洛氏硬度试验中采用不同的压头和不同的试验力, 会产生不同的组合, 对应于洛氏硬度不同的标尺。常用的有 3 个标尺, 其应用涵盖了几乎所有常用的金属材料。

洛氏硬度 (HR) 测试, 当被测样品过小或者布氏硬度 (HB) 大于 450 时, 就改用洛氏硬度计量。洛氏硬度的试验原理如图 1-4

示, 用一个顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.587 5 mm/3.175 mm/6.35 mm/12.7 mm 的钢球, 在一定载荷下压入被测材料表面, 由压痕深度求出材料的硬度。最常用的三种标尺为 A、B、C, 即 HRA、HRB、HRC, 要根据实验材料硬度的不同, 选用不同硬度范围的标尺来表示。

HRA: 采用 60 kg 重载荷和钻石锥压入器求得的硬度, 用于硬度较高的材料。例如: 钢材薄板、硬质合金。

HRB: 采用 100 kg 重载荷和直径 1.587 5 mm 淬硬的钢球求得的硬度, 用于硬度较低的材料。例如: 软钢、有色金属、退火钢等。

HRC: 采用 150 kg 重载荷和钻石锥压入器求得的硬度, 用于硬度较高的材料。例如: 淬火钢、铸铁等。

洛氏硬度试验操作简便、迅速, 测量硬度值范围大, 压痕小, 可直接测量成品和较薄工件。但由于试验载荷较大, 洛氏硬度试验不宜用来测定极薄工件及氮化层、金属镀层等的硬度。而且由于压痕小, 对内部组织和硬度不均匀的材料, 其测定结果波动较大, 故需在不同位置测试多点的硬度值, 最后取其算术平均值。洛氏硬度无单位, 各标尺之间没有直接的对应关系。

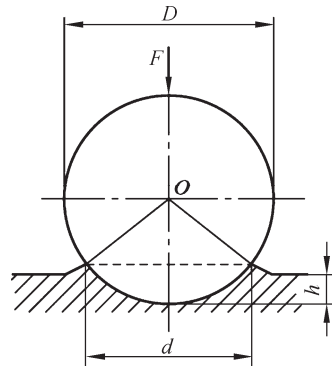


图 1-3 布氏硬度试验原理



布氏硬度
试验原理

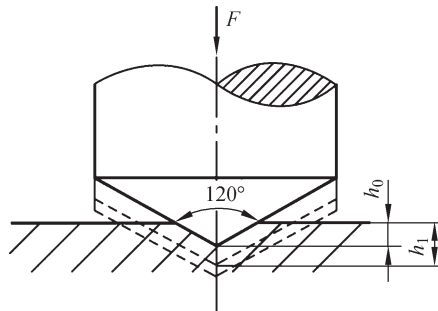
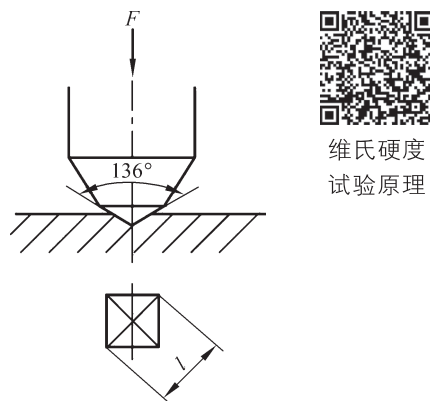


图 1-4 洛氏硬度试验原理



洛氏硬度
试验原理

③ 维氏硬度：与布氏硬度基本相同，也是根据压痕单位面积上的载荷来计算硬度值；所不同的是维氏硬度试验所用压头是一个相对面夹角为 136° 的金刚石四棱锥体，在规定载荷 F 作用下压入被测试样表面，保持定时间后卸除载荷，测量压痕对角线长度 l ，进而计算出压痕表面积，最后求出压痕表面积上的平均压力，即为金属的维氏硬度值，用符号 HV 表示。在实际测量中，并不需要进行计算，而是根据所测 l 值，直接查表得到所测硬度值。维氏硬度的试验原理，如图 1-5 所示。



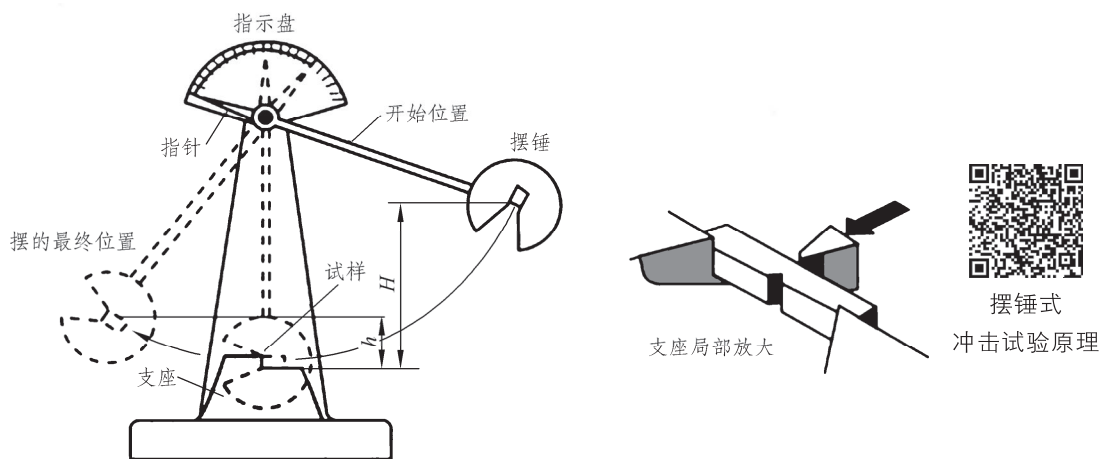
维氏硬度
试验原理

图 1-5 维氏硬度试验原理

维氏硬度试验对试样表面质量要求较高，测试方法较为麻烦，但因所施加的试验载荷小，压入深度较浅，故可测定较薄或表面硬度值较大材料的硬度。维氏硬度试验测定的硬度为 $0 \sim 1000$ HV，且连续性好，准确性高，弥补了布氏硬度因压头变形不能测高硬度材料及洛氏硬度受试验载荷与压头直径比的约束而硬度值不能换算的不足。

3. 冲击韧性

强度、塑性、硬度都是在静载荷作用下测量的静态力学性能指标。许多零部件和工具在使用中要受到冲击载荷的作用，冲击载荷是在很短的时间内以很大的速度作用在构件上的载荷。材料在冲击载荷作用下吸收塑性变形功和断裂功的能力，称为冲击韧性，用 a_k 表示，反映材料内部的细微缺陷和抗冲击性能。工程上常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定材料抵抗冲击载荷的能力，试验原理如图 1-6 所示。



摆锤式
冲击试验原理

图 1-6 摆锤式冲击试验原理

试验时，将试样放在试验机两支座上。将质量为 m 的摆锤升至一定高度 H ，使它获得的位能为 mgH ；再将摆锤释放，冲断试样后摆锤在另一边的高度为 h ，相应位能为 mgh 。冲断试样前后的能量差即为摆锤对冲击试样所做的功，称为冲击吸收功 A_k ，即 $A_k = mgH - mgh$ ，单位为 J 。试验时，冲击吸收功的数值可从冲击试验机的指示盘上直接读出。冲击韧性是指冲断试样时，在缺口处单位面积上所消耗的冲击吸收功，即 $a_k = A_k / S_0$ ，单位为 J/cm^2 或 kJ/m^2 。

实践表明，冲击韧性对材料的一些缺陷很敏感，能够灵敏地反映出材料品质、宏观缺陷和显微组织方面的微小变化，是生产上用来检验冶炼、热加工所得到的半成品和成品质量的有效方法之一。

材料的 a_k 值越大，韧性就越好；材料的 a_k 值越小，脆性就越大。研究表明，材料的 a_k 值随试验温度的降低而减小。当温度降至某一数值或范围时， a_k 值会急剧下降，材料则由韧性状态转变为脆性状态，这种转变称为冷脆转变，相应的温度称为冷脆转变温度。材料的冷脆转变温度越低，说明其低温冲击性能越好，允许使用的温度范围越大。因此，对于寒冷地区的桥梁、车辆等机件所用材料，必须进行低温（一般为 -40°C ）冲击弯曲试验，以防止材料发生低温脆性断裂。

4. 疲 劳

(1) 疲劳的概念。许多机械零件，如轴、齿轮、轴承、叶片、弹簧等，在工作过程中各点的应力随时间做周期性的变化。这种随时间做周期性变化的应力称为交变应力（也称循环应力）。在交变应力作用下，虽然零件所承受的应力低于材料的屈服强度，但经过较长时间的工作后产生裂纹或突然发生完全断裂的现象称为金属的疲劳。疲劳破坏是机械零件失效的主要原因之一。据统计，在机械零件失效中有 80% 以上属于疲劳破坏，而且疲劳破坏前没有明显的变形，所以疲劳破坏经常造成重大事故，所以对于轴、齿轮、轴承、叶片、弹簧等承受交变载荷的零件要选择疲劳强度较好的材料来制造。



疲劳测试

疲劳断裂的过程是一个损伤积累的过程。起初，在零件的表面或内部存在一些薄弱环节（如微裂纹），随着交变应力循环次数的增加，裂纹沿零件的某一截面向深处扩展，至某时刻剩余截面承受不了所受的应力，便会突然断裂。即零件的疲劳断裂过程可分为裂纹产生、裂纹扩展和瞬间断裂三个阶段。

(2) 疲劳强度。在测定材料的疲劳强度时要用较多的试样，在不同循环应力作用下进行试验，作出疲劳曲线（材料所受交变应力 S 与其断裂前的应力循环次数 N_f 的关系曲线），如图 1-7 所示。

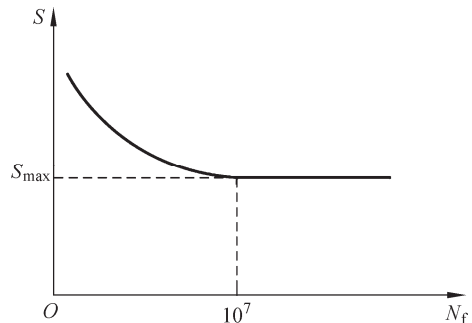


图 1-7 疲劳曲线

由图 1-7 可以看出，交变应力值越低，断裂前的循环次数越多；当应力降低到某一值后，曲线近乎水平直线，这表示当应力低于此值时，材料可经受无数次应力循环而不断裂。试样承受无数次应力循环或达到规定的循环次数才断裂的最大应力称为材料的疲劳强度。在疲劳强度的试验中，循环次数不可能无穷大，因此规定以一定的循环次数作为基数，超过这个基数就认为不再发生疲劳破坏。常用钢材的循环基数为 10^7 ，有色金属和某些超高强度钢材的循环基数为 10^8 。影响疲劳强度的因素很多，除设计时在结构上注意减小零件应力集中外，改善零件表面粗糙度和进行热处理（如高频淬火、表面形变强化、化学热处理以及各种表面复合强化等）也是提高疲劳强度的方法。钢的疲劳强度为抗拉强度的 40%~50%，有色金属的疲劳强度为抗拉强度的 25%~50%。

1.1.1.2 物理性能和化学性能

材料的物理、化学性能虽然不是结构件设计的主要参数，但在某些特定情况下却是必须加以考虑的因素。

1. 物理性能

材料的物理性能包括密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性和磁性等。各种机械零件由于用途不同，对材料的物理性能要求也有所不同。

(1) 密度。材料单位体积的质量称为密度。密度是材料的特性之一，工程上通常用密度来计算零件毛坯的质量。材料的密度直接关系到由它所制成的零件或构件的质量或紧凑程度，这对于要求减轻机件自重的航空和宇航工业制品（如飞机、火箭）具有特别重要的意义。用密度小的铝合金制作的零件质量比用钢材制作的同样零件质量要轻 $1/4 \sim 1/3$ 。

(2) 熔点。材料由固态转变为液态时的温度称为熔点。金属都有固定的熔点，而合金的熔点取决于成分，例如钢是铁和碳组成的合金，含碳量不同，熔点也不同。对于热加工材料，熔点是制定热加工工艺的重要依据之一，如铸铁和铸铝熔点不同，它们的熔炼工艺有较大区别。

(3) 导热性。导热性是材料传导热量的性能。导热性是工程上选择保温或热交换材料的重要依据之一，也是确定机件热处理保温时间的一个参数。如果热处理件所用材料的导热性差，则在加热或冷却时，表面与心部会产生较大的温差，造成不同程度的膨胀或收缩，进而导致机件破裂。一般来说，金属材料的导热性远高于非金属材料，而合金的导热性比纯金属差。

(4) 热膨胀性。热膨胀性指材料随温度变化体积发生膨胀或收缩的特性。一般材料都具有热胀冷缩的特点。在工程实际中，许多场合要考虑热膨胀性。制定热加工工艺时，应考虑材料热膨胀的影响，尽量减少工件的变形和开裂等。

(5) 导电性。材料的导电性常用电阻的变形率来表示，电阻率表示单位长度、单位面积导体的电阻。电阻率越低，材料的导电性越好。金属通常具有较好的导电性，其中最好的是银，铜和铝次之。金属具有正的电阻温度系数，即随温度升高电阻增大。含有杂质或受到冷变形会导致金属的电阻上升。

2. 化学性能

金属及合金的化学性能指它们在室温或高温时抵抗各种介质化学侵蚀的能力，主要有耐腐蚀性和抗氧化性。

(1) 耐蚀性。腐蚀是材料在外部介质作用下发生失效现象的主要原因。材料抵抗各种介质腐蚀破坏的能力称为耐蚀性。一般来说，非金属材料的耐蚀性高于金属材料。在金属材料中，碳钢、铸铁的耐蚀性较差，而不锈钢、铝合金、铜合金、钛及其合金的耐蚀性较好。

(2) 抗氧化性。材料抵抗高温氧化的能力称为抗氧化性。抗氧化性强的金属材料常在表面形成一层致密的保护性氧化膜，阻碍氧的进一步扩散，这类材料的氧化随时间的变化一般遵循抛物线规律，而多孔疏松或挥发性氧化物材料的氧化则遵循直线规律。

耐蚀性和抗氧化性统称为材料的化学稳定性。高温下的化学稳定性称为热化学稳定性。在高温下工作的热能设备（如锅炉、汽轮机、喷气发动机等）上的零件应选择热稳定性好的材料制造；在海水、酸、碱等腐蚀环境中工作的零件，必须采用化学稳定性良好的材料，如化工设备通常采用不锈钢来制造。

1.1.2 工艺性能

工艺性能是指材料适应加工工艺要求的能力。按加工方法的不同，可分为铸造性、可锻性、焊接性、切削加工性及热处理工艺性能等。在设计零件和选择工艺方法时，都要考虑材料的工艺性能，以降低成本，获得质量优良的零件。

1. 铸造性

铸造性是指浇注铸件时,材料能充满比较复杂的铸型并获得优质铸件的能力。对于金属材料而言,评价铸造性好坏的主要指标有金属液体的流动性、收缩率、偏析倾向等。流动性好、收缩率小、偏析倾向小的材料其铸造性也好。一般来说,共晶成分的合金铸造性好。

2. 可锻性

可锻性是指材料是否易于进行压力加工的性能,可锻性的好坏主要以材料的塑性和变形抗力来衡量。

3. 焊接性

焊接性是指材料是否易于焊接在一起并能保证焊缝质量的性能,一般用焊接接头出现各种缺陷的倾向来衡量。低碳钢具有优良的焊接性,而铸铁和铝合金的焊接性很差。

4. 切削加工性

切削加工性是指材料是否易于切削加工的性能。它与材料种类、成分、硬度、韧性、导热性及内部组织状态等许多因素有关。适于切削的材料硬度为 160~230HBW。切削加工性好的材料,切削容易,刀具磨损小,加工表面光洁。

在金属材料的性能中,力学性能往往是选材的主要标准。但对于某些有特殊性能要求的零件,物理、化学性能又可能成为主要考虑的因素。材料的工艺性能往往也会影响到材料的选择,故在选材时要综合考虑。

任务 1.2 常用金属材料认知学习

1.2.1 碳 钢

碳钢是指含碳量 ω_C 在 0.021 8%~2.11% 的铁碳合金,也叫碳素钢。实际使用的碳钢中除铁和碳两种元素外,还有少量的硅、锰、硫、磷等元素。一般碳钢中含碳量越高则硬度越大,强度也越高,但塑性越低。

目前工业上所使用的钢铁材料中,碳钢占有很重要的地位。由于碳钢容易冶炼和加工,并具有一定的力学性能,在一般情况下,它能够满足工农业生产的需要,并且价格低廉,所以应用非常广泛。



碳钢的分类

1.2.1.1 碳钢的分类

碳钢的分类方法很多,下面只介绍几种常用的分类方法。

1. 按照冶炼时脱氧方法分类

根据冶炼时脱氧方法的不同,碳钢可分为沸腾钢、半镇静钢、镇静钢和特殊镇静钢。

2. 按碳的质量分数分类

- (1) 碳的质量分数 $\leq 0.25\%$ 为低碳钢。
- (2) 碳的质量分数为 $0.25\% \sim 0.60\%$ 为中碳钢。

(3) 碳的质量分数 $>0.60\%$ 为高碳钢。

3. 按钢的用途分类

(1) 碳素结构钢：主要用于制造各类工程构件（如桥梁、船舶、建筑物等）及各种机器零件（如齿轮、螺钉、螺母、连杆等）。它多属于低碳钢和中碳钢。

(2) 碳素工具钢：主要用于制造各种刀具、量具和模具。这类钢中碳的含量较高，一般属于高碳钢。

(3) 特殊性能钢：包括不锈钢、耐磨钢、耐热钢等。

4. 按钢中有害杂质的含量分类

按钢中有害杂质硫、磷的含量，碳钢可分为以下几种：

(1) 普通碳素钢：钢中硫的质量分数 $\leq 0.055\%$ ，磷的质量分数 $\leq 0.045\%$ 。

(2) 优质碳素钢：钢中硫和磷的质量分数均为 $0.035\% \sim 0.040\%$ 。

(3) 高级优质碳素钢：钢中硫的质量分数为 $0.020\% \sim 0.030\%$ ，磷的质量分数为 $0.030\% \sim 0.035\%$ 。

1.2.1.2 碳钢的牌号、性能及主要用途

钢材牌号，又称钢铁产品牌号，一般采用汉语拼音字母，化学元素符号和阿拉伯数字相结合表示钢材产品名称、用途、特性和工艺的方法。

1. 普通碳素结构钢

普通碳素结构钢又称普通碳素钢，含碳量 ω_C 为 $0.06\% \sim 0.22\%$ ，以小于 0.25% 最为常用，属于低碳钢。其牌号由代表屈服强度的字母Q、屈服强度值（单位为MPa）、质量等级符号（A、B、C、D）及脱氧方法符号（F、b、Z、TZ）4个部分按顺序组成。质量等级符号反映了普通碳素结构钢中有害元素硫、磷含量的高低，其中，A级钢，硫、磷质量分数最高，A、B、C、D表示钢材质量依次提高。脱氧方法符号F、b、Z、TZ分别代表沸腾钢、半镇静钢、镇静钢、特殊镇静钢。例如Q235-A·F即表示屈服强度为235 MPa的A级沸腾钢。

普通碳素结构钢的应用范围非常广泛，大部分用作焊接、铆接或栓接的钢结构件，少数用于制作各种机器部件。强度较低的Q195、Q215钢用于制作低碳钢丝、钢丝网、屋面板、焊接钢管、地脚螺栓和铆钉等。Q235钢具有中等强度，并具有良好的塑性和韧性，而且易于成形和焊接。这种钢多用作钢筋和钢结构件，另外还用作铆钉、铁路道钉和各种机械零件，如螺栓、拉杆、连杆等。是应用最广的普通碳素结构钢。图1-8所示为Q235H型钢。强度较高的Q255、Q275钢用于制作各种农业机械，也可用作钢筋和铁路鱼尾板。



图 1-8 Q235H 型钢

2. 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢是含碳量小于 0.8% 的碳素钢，这种钢中所含的硫、磷及非金属夹杂物比普通碳素结构钢少，机械性能较为优良。

优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示，即是钢中平均含碳量的万分位数。例如，20号钢表示平均含碳量为 0.20% 的优质碳素钢。当钢中锰的质量分数为 $0.7\% \sim 1.2\%$ 时，应在牌号后面

加上元素符号，如 50Mn。若为沸腾钢，则在数字后加“F”，如 08F 表示碳的质量分数为 0.08%的沸腾钢。

优质碳素结构钢产量较大，用途较广，一般多轧（锻）制成圆、方、扁等型材、板材和无缝钢管。主要用于制造一般结构及机械结构零、部件以及建筑结构件和输送流体用管道。图 1-9 所示为 45 钢制造的传动齿轮。优质碳素结构钢一般都要经过热处理，以提高力学性能。根据碳的质量分数不同，优质碳素结构钢有不同的用途，其牌号及用途见表 1-2。

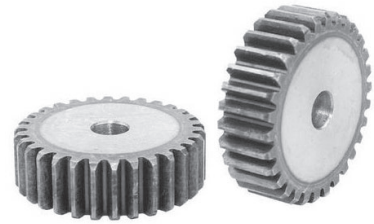


图 1-9 传动齿轮

表 1-2 优质碳素结构钢的牌号及用途

牌号	用途
10	用于制造锅炉管、油桶顶盖、钢带、钢丝、钢板、型材及机械零件
10F	
20	用于制造承受较小应力而要求韧性好的各种机械零件，如拉杆、轴套、螺钉、起重钩；也用于制造在 60 MPa、450 °C 以下非腐蚀介质中使用的管子等；还可以用于制造心部强度不大的渗碳与碳氮共渗零件，如轴套或链条的滚子、轴以及不重要的齿轮、链轮等
15F	
35	用于制造热锻的机械零件、冷拉和冷锻的钢材、钢管以及机械零件，如转轴、曲轴、轴销、拉杆、连杆、横梁、星轮、套筒、轮圈、钩环、垫圈、螺钉、螺母等；还可用来制造汽轮机机身、轧钢机机身、飞轮等
40	用于制造机器的运动零件，如辊子、轴、曲柄销、传动轴、活塞杆、连杆、圆盘等
45	用于制造蒸汽涡轮机、压缩机、泵的运动零件；还可以用来代替渗碳钢制造齿轮、轴、活塞销等零件，但零件须经高频感应加热或火焰加热表面淬火，并可用作铸件
55	用于制造齿轮、连杆、轮圈、轮缘、扁弹簧及轧辊等，也可用作铸件
65	用于制造气门弹簧、弹簧圈、轴、轧辊、各种垫圈、凸轮及钢丝绳等
70	用于制造弹簧

3. 碳素工具钢

碳素工具钢中 $\omega_C=0.65\% \sim 1.35\%$, $\omega_{Si} \leq 0.35\%$, $\omega_{Mn} \leq 0.4\%$ (T8Mn 中, $\omega_{Mn}=0.40\% \sim 0.60\%$)。碳素工具钢中 S、P 的含量均较少，属于优质钢。碳素工具钢的牌号以“T”加数字表示，“T”表示碳素工具钢，数字表示钢中平均含碳量的千分数。如 $\omega_C=0.8\%$ 的碳素工具钢，其钢号为“T8”。若为高级优质碳素工具钢，则在其钢号后加“A”，如“T10A”。

碳素工具钢生产成本较低，原材料来源方便；易于冷、热加工，在热处理后可获得相当高的硬度；在工作受热不高的情况下，耐磨性也较好，因而得到广泛应用。这类钢的钢号有 T7, T7A, T8, T8A, …, T13A, 共 8 个钢种、16 个牌号。含碳量越高，则碳化物含量越多，耐磨性就越高，但韧性就越差。因此，受冲击的工具应选用含碳量低的工具钢。一般冲头、凿子要选用 T7、T8 等，车刀、钻头可选用 T10 钢，而精车刀、锉刀则选用 T12、T13 等。图 1-10 为 T10 钢制造的钻头。

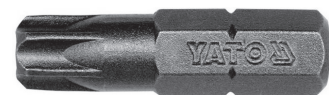


图 1-10 钻头

4. 铸 钢

许多形状复杂的零件不便通过锻压等方法加工成形，用铸铁时性能又难以满足需求，此时常常选用铸钢，因此，铸钢在机械制造尤其是重型机械制造业中应用非常广泛，图 1-11 所示为用铸钢制造的联轴器。根据 GB/T 5613—1995《铸钢牌号表示方法》中的规定，铸钢的牌号有两种表示方法。以强度表示的铸钢牌号是由铸钢两字的汉语拼音首字母“ZG”与表示力学性能的两组数字组成，第一组数字代表最低屈服强度，第二组数字代表最低抗拉强度。例如，ZG200—400 表示屈服强度不小于 200 MPa，抗拉强度不小于 400 MPa。



图 1-11 联轴器

1.2.2 合金钢

碳钢具有冶炼工艺简单、易加工、价格低等优点，因而得到了广泛的应用。但是碳钢具有淬透性低、回火稳定性差、基本组成相强度低等缺点，因而其应用受到了一定的限制。为了克服碳钢存在的不足，在冶炼优质碳钢的同时可以有目的地加入一定量的一种或几种金属或非金属元素，这类元素统称为合金元素，这类含有合金元素的钢统称为合金钢。

1.2.2.1 合金钢的分类

合金钢种类繁多，为了便于生产、选材、管理及研究，根据某些特性，从不同角度出发可以将其分成若干种类。

1. 按合金元素含量分类

- (1) 低合金钢：合金元素总含量 $\leq 5\%$ 。
- (2) 中合金钢：合金元素总含量为 $5\% \sim 10\%$ 。
- (3) 高合金钢：合金元素总含量 $\geq 10\%$ 。

2. 按合金元素分类

有铬钢、锰钢、铬锰钢、铬镍钢、铬镍钼钢、硅锰钼钒钢等。

3. 按主要用途分类

(1) 合金结构钢：主要用于制造各种机械零件、工程结构件等，合金结构钢可分为机械制造用钢和工程结构用钢等。

(2) 合金工具钢：主要用于制造刀具、模具、量具等，合金工具钢可分为刀具钢、模具钢、量具钢三类。

(3) 特殊性能钢：具有特殊物理或化学性能，主要用于制造除要求具有一定的机械性能外，还要求具有特殊性能的零件。特殊性能钢可分为抗氧化用钢、不锈钢、耐磨钢、易切削钢等。

1.2.2.2 合金结构钢

合金结构钢按用途可分为工程用钢和机器用钢两大类。

工程用钢主要用于制造各种工程结构，它们大都是用普通低合金钢制造。这类钢冶炼简便、成本低，满足工程用钢批量大的要求，使用时一般不进行热处理。

而机器用钢一般都经过热处理后使用，主要是用于制造机器零件，它们大多是用合金结构

钢制造。按其用途和热处理特点，机器用钢又分为调质钢、渗碳钢、易切削钢、弹簧钢、轴承钢、耐磨钢等。

1. 合金结构钢的牌号

合金结构钢的牌号通常是以“数字+元素符号+数字”的方法来表示。牌号中起首的两位数字表示钢的平均含碳量的万分数，元素符号及其后的数字表示所含合金元素及其平均含量的百分数。若合金元素含量小于1.5%，则不标其含量。当其平均含量为1.5%~2.49%、2.5%~3.49%时，相应标注为2、3。如18Cr2Ni4W表示碳的平均质量分数为0.18%，铬的质量分数为2%，镍的质量分数为4%，钨的质量分数为1.5%。对于高级优质钢，在牌号尾部增加符号“A”，如38CrMoAlA。

易切削钢在钢号前加“Y”（“易”字声母）字，如Y12、Y40Mn、Y40CrSCa，其含碳量和合金元素含量均与结构钢编号一样，如Y40CrSCa，表示易切削钢的成分为： $\omega_C=0.4\%$ ， $\omega_{Cr}<1.5\%$ ，S、Ca为易切削元素，一般情况下 $\omega_S=0.05\% \sim 0.3\%$ ， $\omega_{Ca}<0.015\%$ 。

滚动轴承钢的编号是在钢号前加“G”（“滚”字声母），其后数字为钢中平均含铬量的千分数，含碳量大于等于1.0%时不标出，如GCr15、GCr9等钢中铬的含量分别为1.5%和0.9%。

2. 普通低合金结构钢

普通低合金结构钢是在碳素结构钢的基础上，加入少量的合金元素发展起来的。从成分上看其为低碳低合金钢种，满足大型工程结构（如大型桥梁、压力容器及船舶等）减轻结构重量，提高可靠性及节约材料的需要。

与低碳钢相比，低合金结构钢不但具有良好的塑性、韧性及焊接工艺性，而且具有较高的强度、较低的冷脆转变温度和良好的耐蚀性。因此，用低合金结构钢代替低碳钢可以减少材料和能源的损耗，减轻工程结构件的自重，增加可靠性。

普通低合金结构钢主要用来制造各种要求强度较高的工程结构，如船舶、车辆、高压容器、输油输气管道、大型钢结构等，在建筑、石油、化工、铁道、造船、机车车辆、锅炉容器、农机农具等许多方面都得到了广泛的应用。

Q345（16Mn）钢是应用最广、用量最大的低合金高强度结构钢，其综合性能好，广泛用于制造石油化工设备、船舶、桥梁、车辆等大型钢结构，我国的南京长江大桥（见图1-12）即采用了Q345制造。Q390含有V、Ti、Nb等元素，强度高，可用于制造高压容器等。Q460含有Mo和B，正火后组织为贝氏体，强度高，可用于制造石化工业中的中温高压容器等。



图 1-12 南京长江大桥

3. 合金渗碳钢

合金渗碳钢是指经过渗碳热处理后使用的低碳合金结构钢，具有外硬内韧的性能，用于承受冲击的耐磨件，如汽车、拖拉机中的变速齿轮，内燃机上的凸轮轴、活塞销等。

渗碳钢中碳的质量分数一般为 0.10%~0.25%，经过渗碳后，零件的表面变为高碳，而心部仍为低碳，因而零件心部具有足够的塑性和韧性抵抗冲击载荷。

为了改善切削加工性，渗碳钢的预先热处理一般采用正火工艺，渗碳钢件的最终热处理应为渗碳后淬火加低温回火。具体的淬火工艺根据钢种而定。合金渗碳钢一般都是渗碳后直接淬火，而渗碳时易过热的钢种，如 20 钢和 20Cr 等，在渗碳之后直接空冷（正火），以消除过热组织，而后再进行加热淬火和低温回火。热处理后的组织是：表层为高碳回火马氏体和碳化物及少量残留奥氏体，硬度为 58~62 HRC；心部为低碳回火马氏体（完全淬透时），硬度为 40~50 HRC，但多数情况下，心部为少量低碳回火马氏体和屈氏体与铁素体的混合组织，硬度为 25~35 HRC，从而使心部具有高韧性。

常用渗碳钢按照淬透性大小可分为低淬透性渗碳钢、中淬透性渗碳钢、高淬透性渗碳钢三类。

（1）低淬透性渗碳钢，有 20Cr、20Mn2 等，典型钢种为 20Cr。这类钢合金元素的质量分数较低，淬透性差，零件水淬临界直径小于 25 mm，渗碳淬火后，心部韧性较低，只适于制造受冲击载荷较小的耐磨零件，如活塞销、凸轮、滑块、小齿轮等。图 1-13 所示为 20Cr 制造的活塞销。



图 1-13 活塞销

（2）中淬透性渗碳钢，有 20CrMnTi、20CrMn、20CrMnMo、20MnVB 等，典型钢种为 20CrMnTi。这类钢合金元素的质量分数较高，透性较好，零件油淬临界直径为 25~60 mm，渗碳淬火后有较高的心部强度，主要用于制造承受中等载荷、要求足够冲击韧性和耐磨性的汽车、拖拉机齿轮等零件，如汽车变速齿轮、花键轴套、齿轮轴等。

（3）高淬透性渗碳钢，有 18Cr2Ni4WA、20Cr2Ni4A 等，典型钢种为 20Cr2Ni4A。这类钢合金元素的质量分数更高，淬透性很高，零件油淬临界直径大于 100 mm，淬火和低温回火后心部有很高的强度，主要用于制造大截面、高载荷的重要耐磨件，如飞机、坦克中的曲轴、大模数齿轮等。

4. 合金调质钢

合金调质钢是指经过调质处理（淬火+高温回火）后使用的中碳合金结构钢，主要用于制造在多种载荷（如扭转、弯曲、冲击等）下工作，受力比较复杂，要求具有良好综合力学性能的重要零件，如汽车、拖拉机、机床等上的齿轮、轴类件、连杆、高强度螺栓等。它是机械结构用钢的主体。合金调质钢的最终热处理为调质处理，以获得回火索氏体组织，具有良好的综合力学性能；对于某些受冲击的表面耐磨零件，也可在调质后进行表面淬火并低温回火，或调质后氮化处理。而对于大截面的碳素调质钢零件，往往使用正火代替调质处理。

按淬透性的高低，合金调质钢大致可以分为低淬透性合金调质钢、中淬透性合金调质钢、高淬透性合金调质钢三类。

（1）低淬透性合金调质钢，包括 40Cr、40MnB、40MnVB 等，典型钢种是 40Cr。这类钢的合金元素总的质量分数较低，淬透性不高，油淬临界直径为 30~40 mm，广泛用于制造一般尺寸的重要零件，如轴、齿轮、连杆螺栓等。图 1-14 所示为 40Cr 制造的高强度双头螺栓。



图 1-14 双头螺栓

(2) 中淬透性合金调质钢, 包括 35CrMo、38CrMoAl、40CrNi 等, 典型钢种为 40CrNi, 这类钢的合金元素总的质量分数较高, 油淬临界直径为 40~60 mm, 用于制造截面较大、承受较重载荷的重要件, 如内燃机曲轴、变速箱主动轴、连杆等。加入 Mo 不仅可以提高淬透性, 还可防止出现第二类回火脆性。

(3) 高淬透性合金调质钢, 包括 40CrNiMoA、40CrMnMo、25Cr2Ni4WA 等, 典型钢种为 40CrNiMoA。这类钢的合金元素总的质量分数最高, 淬透性也高, 零件油淬临界直径为 60~100 mm, 多为铬镍钢。高淬透性调质钢用于制造大截面、承受重载荷的重要件零件, 如汽轮机主轴、叶轮、压力机曲轴、航空发动机曲轴等。

5. 合金弹簧钢

合金弹簧钢是用于制造弹簧或者其他弹性零件的钢种。弹簧一般是在交变应力下工作, 常见的破坏形式是疲劳破坏, 因此, 合金弹簧钢必须具有高的屈服强度和屈强比、弹性极限、抗疲劳性能, 以保证弹簧有足够的弹性变形能力并能承受较大的载荷。同时, 合金弹簧钢还要求具有一定的塑性与韧性, 一定的淬透性, 不易脱碳及不易过热。一些特殊弹簧还要求有耐热性、耐蚀性或在长时间内具有稳定的弹性。中碳钢和高碳钢都可作弹簧使用, 但因其淬透性和强度较低, 只能用来制造截面较小、受力较小的弹簧。合金弹簧钢则可用于制造截面较大、屈服强度较高的重要弹簧。

弹簧钢中碳的质量分数一般为 0.5%~0.70%。以满足高弹性、高强度的性能要求。加入的合金元素主要是 Si、Mn、Cr, 作用是强化铁素体、提高淬透性和耐回火性。但加入过多的 Si 会造成钢在加热时表面容易脱碳, 加入过多的 Mn 容易使晶粒长大。加入少量的 V 和 Mo 可细化晶粒, 从而进一步提高强度并改善韧性。此外, 它们还有进一步提高淬透性和耐回火性的作用。

具有代表性的弹簧钢有 65Mn、70 钢、55Si2Mn、60Si2Mn、50CrVA 几种。

(1) 65Mn、70 钢, 这两种钢可用于制造截面直径小于 15 mm 的小型弹簧, 如坐垫弹簧、发条、弹簧环、刹车弹簧、离合器簧片等。

(2) 55Si2Mn、60Si2Mn, 这类钢中加入了 Si、Mn 元素, 提高了钢的淬透性, 可用于制造直径为 20~25 mm 的弹簧, 如汽车、拖拉机、机车上的减振板簧和螺旋弹簧、气缸安全阀簧(工作温度小于 230 °C)。图 1-15 所示为用 60Si2Mn 制造的减振板簧。



图 1-15 减振板簧

(3) 50CrVA, 不仅淬透性高, 还有较高的热强性, 适于制造工作温度在 350~400 °C 下的重载大型弹簧, 如阀门弹簧、气门弹簧。

6. 滚动轴承钢

滚动轴承钢是用于制造滚动轴承的滚动体和内外套圈的专用钢, 通常在淬火状态下使用。滚动轴承在工作中需承受很高的交变载荷, 滚动体与内外圈之间的接触应力大, 同时又工作在润滑剂介质中。因此, 滚动轴承钢具有高的抗压强度和抗疲劳强度, 具有一定的韧性、塑性、耐磨性和耐蚀性, 钢的内部组织、成分均匀, 热处理后有良好的尺寸稳定性。常用的滚动轴

钢含碳 0.95%~1.10%、含铬 0.40%~1.60%的高碳低铬轴承钢,如 GCr6、GCr9、GCr15 等。其中用量最大的是 GCr15,图 1-16 所示为用 GCr15 制造的深沟球轴承。

为了满足轴承在不同工作情况下的使用要求,还发展了特殊用途的轴承钢,如制造轧钢机轴承用的耐冲击渗碳轴承钢、航空发动机轴承用的高温轴承钢和在腐蚀介质中工作的不锈钢轴承钢等。从化学成分看,滚动轴承钢属于工具钢范畴,所以这类钢也经常用于制造各种精密量具、冷冲模具、丝杠、冷轧辊和高精度的轴类等耐磨零件。

7. 易切削钢

易切削钢是指在钢中加入一定数量的一种或几种如硫、磷、铅、钙、硒、碲等易切削元素,以改善其切削性能的合金钢。易切削钢能降低切削力和切削热,减少刀具磨损,提高工件、刀具的寿命,改善排屑性能,提高切削速度。

自动机床加工的零件大多选用低碳易切削钢,对切削性能要求高的可选用含硫较高的 Y15,需要焊接的可选低硫的 Y12,对强度要求较高的可选用 Y20 或 Y30,车床丝杠可选用 Y40Mn。Y12Pb 广泛用于精密仪表行业,如制造手表、照相机齿轮、轴类等。新研制的 Y40CrSca 适用于高速切削,具有良好的切削加工性能。



图 1-16 深沟球轴承

1.2.2.3 合金工具钢

合金工具钢,是在碳素工具钢基础上加入铬、钨、钼、钒等合金元素以提高淬透性、韧性、耐磨性和耐热性的一类钢种。它主要用于制造量具、刀具、耐冲击工具和冷、热模具及一些特殊用途的工具。合金工具钢按用途可分为合金刃具钢、合金模具钢和合金量具钢。

1. 合金工具钢的牌号

合金工具钢牌号的表示方法与合金结构钢相似,基本组成为“一位数字(或无数字)+元素符号+数字”,其平均含碳量是用质量分数的千倍表示,当碳的质量分数 $\omega_C \geq 1.0\%$ 时,钢号中不标出。例如,9SiCr 的成分为 $\omega_C=0.9\%$, $\omega_{Si}<1.5\%$, $\omega_{Cr}<1.5\%$; Cr、W、Mn 的成分分别为 $\omega_C \geq 1.0\%$, ω_{Cr} 、 ω_W 、 ω_{Mn} 均小于 1.5%。高速钢如 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 等,碳的质量分数均小于 1.0%,但不标明其数字;合金元素含量与合金工具钢的标注方法相同,如 W18Cr4V 的成分为 $\omega_C=0.7\% \sim 0.8\%$, $\omega_W=18\%$, $\omega_{Cr}=4\%$, $\omega_V<1.5\%$ 。合金工具钢均属于高级优质钢,但钢号后不加“A”字。属于这一编号方法的钢种还有不锈钢、奥氏体型和马氏体型耐热钢。

2. 合金刀具钢

合金刀具钢主要用于制造切削刀具,如车刀、铣刀、钻头、丝锥、板牙等。刀具钢经热处理之后应具有高硬度、高耐磨性、高红(热)硬性、高淬透性、足够的韧性和塑性。

合金刀具钢有两类:一类是低合金刀具钢,用于低速切削,其工作温度低于 300 °C;另一类是高速钢,用于高速切削,工作温度高达 600 °C。

(1) 低合金刀具钢,典型牌号为 9SiCr 和 CrWMn。9SiCr 的淬透性高,油中淬火最大直径为 60 mm,经 230 °C~250 °C 回火后硬度仍不低于 60 HRC,常用于制造薄刃刀具和冷冲模等,工作温度小于



图 1-17 圆板牙

300 °C，图 1-17 所示为用 9SiCr 制造的圆板牙。CrWMn 含有较多的碳化物，有较高的硬度和耐磨性，淬透性也较高，淬火后有较多残留奥氏体，工件变形很小，但其热硬性不如 9SiCr，常用于制造截面较大、切削刃受热不高、要求变形小、耐磨性高的刀具，如长丝锥、长铰刀、拉刀等，也常用作量具钢和冷作模具钢。

(2) 高速钢，主要有两种，一种为钨系 W18Cr4V（简称 18-4-1），另一种为钨-钼系 W6Mo5Cr4V2（简称 6-5-4-2）。前者的热硬性高，过热倾向小；后者的耐磨性、热塑性和韧性较好，适于制造要求耐磨性与韧性配合良好的薄刃细齿刀具。

3. 合金模具钢

模具是机械、仪表等工业部门中的主要加工工具。专门用于制造各种模具的钢材称为模具钢。根据使用状态，模具钢可分为两大类：一类是用于冷成形的冷作模具钢，工作温度不超过 300 °C；另一类是用于热成形的热作模具钢，模具表面温度可达 600 °C。

(1) 冷作模具钢，适用于制作在室温下对金属进行变形加工的模具，包括冷冲模、冷锻模、冷挤压模、拉丝模、落料模等，图 1-18 所示为用冷作模具钢制造的冷冲模。冷作模具应具有高的硬度和耐磨性，以承受很大的压力和强烈的摩擦；具有较高的强度和韧性，以承受很大的冲击和载荷，保证尺寸的精度并防止崩刃。截面尺寸较大的模具要求具有较高的淬透性，而高精度模具则要求热处理变形小。

根据冷作模具的工作条件可选用碳素工具钢，如 T8A、T10A、T12A 等，制造载荷大、尺寸小、形状简单的模具。合金工具钢，如 9SiCr、CrWMn、GCr15 等，可制造载荷、尺寸较大，形状较复杂，批量不很大的模具。而载荷大、形状复杂、变形要求小的大型冷作模具应选用 Cr12 型钢，如 Cr12MoV 等。

(2) 热作模具钢，适用于制造在受热状态下对金属进行变形加工的模具，包括热锻模、压铸模、热锻模、热挤压模、高速锻模等，图 1-19 所示为用热作模具钢制造的热锻模。

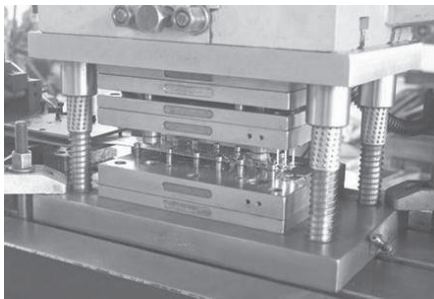


图 1-18 冷冲模

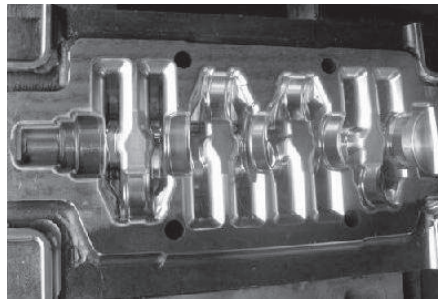


图 1-19 热锻模



热模锻压机
模锻

在热作模具钢工作时经常会接触炽热的金属，型腔表面温度高达 400 ~ 600 °C。因此，热作模具钢的主要性能要求是具有优异的综合力学性能、抗热疲劳性和高的淬透性等。

热作模具钢中，最常用的是 5CrMnMo 和 5CrNiMo，制造中、小型热锻模（模具有效高度小于 400 mm）一般选用 5CrMnMo，制造大型热锻模（模具有效高度大于 400 mm）多选用 5CrNiMo，5CrNiMo 的淬透性和抗热疲劳性比 5CrMnMo 好。热挤压模和压铸模冲击载荷较小，但因模具与热态金属长时接触，对热硬性和热强性要求较高，常选用 3Cr2w8v、4Cr5MoSiV、4Cr3Mo3V 等钢种。其中 4Cr5MoSiV 是一种空冷硬化的热模具钢，广泛应用于制造模锻锤的锻模和热挤压模以及铝、铜及其合金的压铸模等。

4. 合金量具钢

用于制造各种测量工具如游标卡尺、千分尺、块规、塞规等的合金钢称为合金量具钢，如图 1-20 所示。



图 1-20 各种测量工具

量具在使用过程中必须保持自身尺寸的稳定性，因此，量具钢必须具有高硬度、高耐磨性、较高的尺寸稳定性、良好的耐蚀性。

一般非精密量具可选用碳素工具钢（如 T10A、T12A），对于精密量具，应选用 CrWMn、GCr15 等。如 CrWMn 其淬透性较高，淬火变形小，可用于制作高精度且形状复杂的量规及块规；GCr15 耐磨性及尺寸稳定性好，可用于制作高精度块规、千分尺。在腐蚀性介质中使用的量具可使用铬不锈钢（如 4Cr13、9Cr18 等）制造。

1.2.2.4 特殊性能钢

特殊性能钢是指具有特殊物理和化学性能的专用钢，如不锈钢、耐热钢、耐磨钢、低温钢等。这些钢往往用在特殊工况条件下，故应具有某些特殊的性能。

1. 不锈钢

不锈钢是指耐空气、蒸汽、水等弱腐蚀介质和酸、碱、盐等化学侵蚀性介质腐蚀的钢，又称不锈耐酸钢。实际应用中，常将耐弱腐蚀介质腐蚀的钢称为不锈钢，而将耐化学介质腐蚀的钢称为耐酸钢。由于两者在化学成分上的差异，前者不一定耐化学介质腐蚀，而后者则一般均具有不锈性。不锈钢的耐蚀性取决于钢中所含的合金元素。

不锈钢常按组织状态分为：马氏体不锈钢、铁素体不锈钢、奥氏体不锈钢、奥氏体-铁素体（双相）不锈钢及沉淀硬化不锈钢等。图 1-21 所示为食品级奥氏体不锈钢——304 不锈钢。另外，不锈钢还可按成分分为：铬不锈钢、铬镍不锈钢和铬锰氮不锈钢等。



图 1-21 304 不锈钢制品

2. 耐热钢

耐热钢是指在高温下具有较高的强度和良好的化学稳定性的合金钢。耐热钢按其性能可分为抗氧化钢（又称高温不起皮钢）和热强钢两类。抗氧化钢一般要求具有较好的化学稳定性，