

| 高等职业院校“十三五”课程改革优秀成果规划教材 |

金属工艺实训

● 主编 宋金虎

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等职业院校“十三五”课程改革优秀成果规则教材

金属工艺实训

主 编：宋金虎

副主编：陈伟栋 傅晓庆

参 编：卢洪德 刁希莲 刘新平

侯文志 董 雪

内 容 提 要

金属工艺实训（也称金工实训、金工实习）是高职高专机械类、近机械类各专业的重要实践教学环节。本书按照金属工艺学和实训教材的教学要求编写，在内容上“与实际岗位工作内容紧密结合、融入国家职业资格标准”，在形式上“充分体现基于典型工作过程”的职业教育理念。

本书内容包括金属工艺实训基础知识，铸造，锻压，焊接，钳工，车削加工，铣削加工，刨削、拉削与镗削，磨削加工九个项目，依据由浅入深、由易到难的教学原则进行编排。每个项目按照项目导入、相关知识、项目实施和知识扩展的形式编排；每个项目开始设有项目目标，后面附有思考与实训。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、高级技工学校、技师学院、成人教育学院等大专层次的机械类、近机械类各专业金工实训课程的教材，也可供中等专业学校机械类专业的学生选用，同时可作为技术工人培训用书、广大自学者的自学用书及工程技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目（CIP）数据

金属工艺实训/宋金虎主编. —北京：北京理工大学出版社，2016. 12

ISBN 978 - 7 - 5640 - 7567 - 5

I. ①金… II. ①宋… III. ①金属加工 - 工艺学 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 004149 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 15.5

字 数 / 358 千字

版 次 / 2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷

定 价 / 37.00 元

责任编辑 / 张旭莉

文案编辑 / 党选丽

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

前 言

金属工艺实训（也称金工实训、金工实习）是高职高专机械类、近机械类各专业的重要实践教学环节。本书按照金属工艺学和实训教材的教学要求编写，在内容上“与实际岗位工作内容紧密结合、融入国家职业资格标准”，在形式上“充分体现基于典型工作过程”的职业教育理念。

本书内容包括金属工艺实训基础知识，铸造，锻压，焊接，钳工，车削加工，铣削加工，刨削、拉削与镗削，磨削加工九个项目，依据由浅入深、由易到难的教学原则进行编排。每个项目按照项目导入、相关知识、项目实施和知识扩展的形式编排；每个项目开始设有项目目标，后面附有思考与实训。

在编写本书时，我们从职业教育的实际出发，注重实践性、启发性、科学性，做到概念清晰、重点突出，对基础理论部分，以“必需和够用”为原则，以强化应用为重点，体现了面向生产实际、突出职业性精神和职业教育的特点。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、高级技工学校、技师学院、成人教育学院等大专层次的机械类、近机械类各专业金工实训课程的教材，也可供中等专业学校机械类专业的学生选用，同时可作为技术工人培训用书、广大自学者的自学用书及工程技术人员的参考用书。

本书的学习流程设计，符合学生的认知习惯，并充分体现了“基于典型工作过程”的职业教育教学理念。“金属工艺实训”实践性比较强，建议授课教师根据不同教学内容和特点进行现场教学，教学环境可考虑移到专业实训室、企业生产车间，尽量采用“教、学、做”一体的教学模式。

本书由山东交通职业学院宋金虎担任主编，山东交通职业学院陈伟栋和潍坊工商职业学院傅晓庆担任副主编。具体分工如下：项目一由陈伟栋编写，项目二由卢洪德编写，项目三由刁希莲编写，项目四、项目五由宋金虎编写，项目六由刘新平编写，项目七由傅晓庆编写，项目八由侯文志编写，项目九由董雪编写，宋金虎负责全书的统稿、定稿。宏天重工的徐玉平、福田汽车的王道辉、长城建材的王其科对本书的编写提供了技术支持和建设性意见并参加了部分内容的编写，在此深表感谢！另外，本书在编写过程中，参考了许多文献资料，编者谨向这些文献资料的编著者及支持编写工作的单位和个人表示衷心的感谢。

由于新技术、新工艺不断涌现，再加之编者水平有限，书中难免有疏漏和欠妥之处，恳切希望广大读者批评指正，以求改进。

编 者

目 录

项目一 金属工艺实训基础知识	1
一、项目导入	1
二、相关知识	2
(一) 金属材料常识	2
(二) 切削加工的基本知识	9
(三) 常用量具的操作技术	15
三、项目实施	20
(一) 实训准备	20
(二) 机床操作技术	23
(三) 零件加工后的检验	23
四、知识扩展	24
(一) 金属材料现场鉴别方法	24
(二) 机床的安全操作规程	26
思考与实训	26
项目二 铸造	28
一、项目导入	28
二、相关知识	28
(一) 型砂和芯砂	28
(二) 造型及造芯	31
(三) 铸铁的熔炼	33
(四) 浇注、落砂、清理	35
(五) 铸件的结构工艺性及缺陷分析	36
(六) 铸造常见缺陷及控制	39
三、项目实施	43
(一) 实训准备	43
(二) 砂型铸造操作技术	43
四、知识扩展	46
特种铸造	46
思考与实训	48
项目三 锻压	50
一、项目导入	50
二、相关知识	50

(一) 锻造的生产过程	51
(二) 自由锻的基本工序	53
三、项目实施	57
(一) 实训准备	57
(二) 技能训练	59
(三) 锻压操作技术	61
四、知识扩展	63
(一) 胎模锻	63
(二) 模锻	64
(三) 板料冲压	64
思考与实训	70
项目四 焊接	71
一、项目导入	71
二、相关知识	71
(一) 焊条电弧焊的焊接过程和电源要求	72
(二) 焊条电弧焊的设备和工具	72
(三) 焊条电弧焊的工艺	74
三、项目实施	77
(一) 实训准备	77
(二) 焊条电弧焊的操作技术	78
四、知识扩展	79
(一) 气焊	79
(二) 气割	80
思考与实训	81
项目五 钳工	82
一、项目导入	82
二、相关知识	83
(一) 划线	83
(二) 錾削	89
(三) 锯削	93
(四) 锉削	98
(五) 刮削	103
(六) 拆卸	106
(七) 装配	111
三、项目实施	126
(一) 实训准备	126
(二) 操作步骤	127
思考与实训	128
项目六 车削加工	129

一、项目导入	129
二、相关知识	129
(一) 普通卧式车床	129
(二) 车削刀具	131
(三) 工件的安装	132
(四) 车削的特点和加工范围	134
(五) 车外圆	134
(六) 车端面	136
(七) 车台阶	136
(八) 车槽	137
(九) 切断	138
(十) 钻孔	139
(十一) 车孔	141
(十二) 车圆锥	143
(十三) 车螺纹	144
三、项目实施	147
(一) 实训准备	147
(二) 车削加工操作技术	148
四、知识扩展	148
(一) 数控机床的基本概念	148
(二) 数控车床的操作	149
(三) 数控车床加工零件	154
思考与实训	156
项目七 铣削加工	157
一、项目导入	157
二、相关知识	157
(一) 铣床及其附件	157
(二) 铣刀	163
(三) 安装铣刀和工件	164
(四) 铣削用量	166
(五) 铣削方式	167
(六) 铣平面和垂直面	169
(七) 铣斜面与铣阶台面	171
(八) 铣沟槽与切断	173
(九) 利用分度装置进行分度, 在铣床上加工零件	178
三、项目实施	179
(一) 实训准备	179
(二) 操作步骤	180
四、知识扩展	181

(一) 齿轮齿形加工	181
(二) 数控铣床加工特点及组成	184
(三) 数控铣床基本编程方法和控制面板操作	185
(四) 数控机床操作	193
思考与实训	194
项目八 刨削、拉削与镗削	196
一、项目导入	196
二、相关知识	196
(一) 刨削类机床	196
(二) 刨刀及其安装	200
(三) 工件的安装	201
(四) 刨削的特点和加工范围	202
(五) 刨平面	203
(六) 刨 V 形槽与 T 形槽	205
三、项目实施	206
(一) 实训准备	206
(二) 操作步骤	207
(三) 注意事项	207
四、知识扩展	207
(一) 镗削加工	207
(二) 拉削加工	211
思考与实训	214
项目九 磨削加工	215
一、项目导入	215
二、相关知识	215
(一) 磨削运动及磨削用量	215
(二) 砂轮	217
(三) 平面磨削加工	222
(四) 外圆磨削	227
(五) 内圆磨削	230
三、项目实施	233
(一) 实训准备	233
(二) 操作步骤	234
思考与实训	234
参考文献	236

项目一 金属工艺实训基础知识

项目目标

- 了解常用金属材料的种类、性能及其改变性能的方法。
- 掌握常用金属材料的应用范围和选择原则。
- 掌握常用金属材料的热处理特点及其应用范围。
- 掌握机械加工方法的实质、工艺特点和基本原理。
- 了解零件的加工工艺过程。
- 具有选择零件加工方法的能力。
- 学会制定简单的制造工艺规程。
- 掌握各种量具的使用方法。

一、项目导入

完成减速器传动轴的选材、加工工艺规程的制定及测量方法的确定。减速器传动轴如图 1.1 所示。

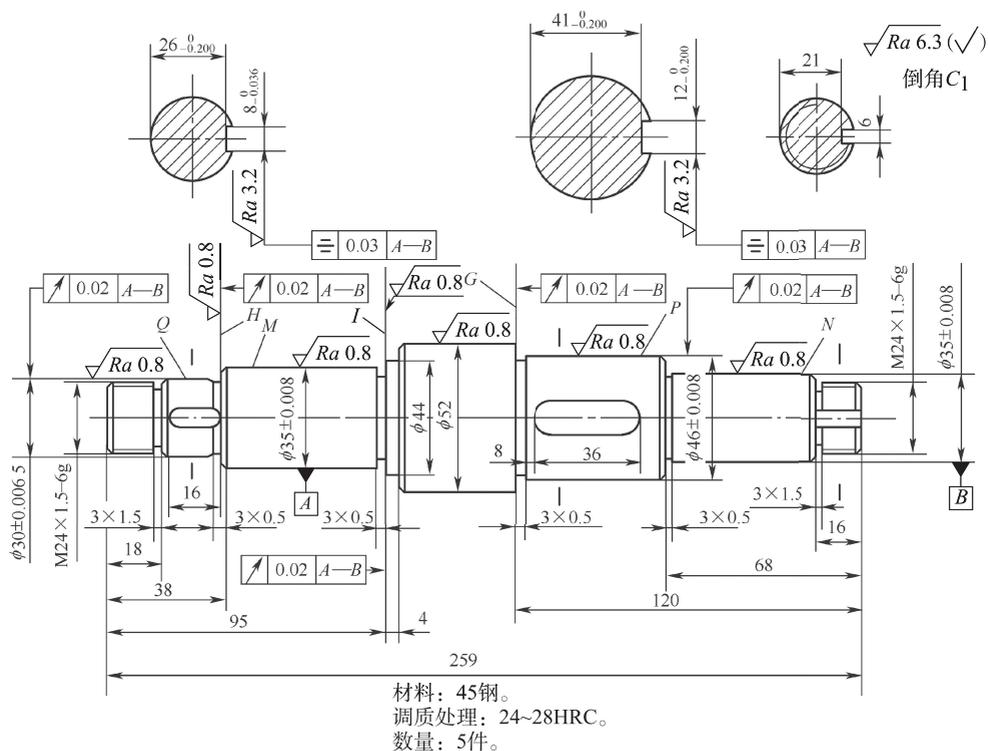


图 1.1 减速器传动轴

二、相关知识

机械零件的选材是一项十分重要的工作。选材是否恰当，特别是一台机器中关键零件的选材是否恰当，将直接影响到产品的使用性能、使用寿命及制造成本。选材不当，严重的可能导致零件的完全失效。

钢的热处理不仅可改进钢的加工工艺性能，更重要的是能充分发挥钢的潜力，提高钢的使用性能，节约成本，延长工件的使用寿命。

一些相同要求的机械零件，可以采用几种不同的加工工艺过程来完成，但总有一种工艺过程在某一特定条件下是最合理的。一个好的加工工艺规程能满足零件的全部技术要求，并且生产率高，生产成本低，劳动条件好。

由于在加工过程中有很多因素影响零件的加工精度，所以同一种加工方法在不同的工作条件下所能达到的精度是不同的。但是，任何一种加工方法，只要精心操作，细心测量，并且选用合适的测量工具，都能使加工精度得到较大的提高。

（一）金属材料常识

1. 金属材料的性能

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在使用过程中表现出来的性能，它包括力学性能和物理、化学性能等；工艺性能是指材料对各种加工工艺适应的能力，它包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。工业中应用最广泛的金属材料是钢铁。

2. 常用金属材料的种类及牌号

（1）碳素结构钢

碳素结构钢的牌号用 Q + 数字表示，“Q”为“屈”汉语拼音首字母，数字表示屈服点数值，如 Q275 表示屈服点为 275 MPa。若牌号后面标注字母 A、B、C、D，则表示钢材质量等级不同，即 S、P 含量不同，A、B、C、D 质量等级依次提高。牌号尾部标字母“F”的表示沸腾钢，标“b”的表示半镇静钢，不标“F”和“b”的为镇静钢。例如，Q235 - A · F 表示屈服点为 235 MPa 的 A 级沸腾钢，Q235 - C 表示屈服点为 235 MPa 的 C 级镇静钢。

碳素结构钢一般情况下都不经热处理，而是在供应状态下直接使用。Q195、Q215、Q235 钢含碳量低，有一定的强度，通常轧制成薄板、钢筋、焊接钢管等，用于桥梁、建筑等钢结构，也可制造普通的铆钉、螺钉、螺母、垫圈、地脚螺栓、轴套、销轴等；Q255 和 Q275 钢强度较高，塑性、韧性较好，可进行焊接，通常轧成型钢、条钢和钢板，做结构件以及用来制造连杆、键、销、简单机械上的齿轮、轴节等。

（2）优质碳素结构钢

优质碳素结构钢的牌号由两位数字，或数字与特征字母组成。以两位数字表示碳的平均质量分数（以万分之几计）。沸腾钢和半镇静钢在牌号尾部分别加字母“F”和“b”，镇静钢一般不标字母。含锰量较高的优质碳素结构钢，在表示碳的平均质量分数的数字后面加锰元素符号。例如， $w_C = 0.50\%$ ， $w_{Mn} = 0.70\% \sim 1.00\%$ 的钢，其牌号表示为“50Mn”。高级优质碳素结构钢在牌号后加字母“A”，特级优质碳素结构钢在牌号后加字母“E”。

优质碳素结构钢主要用于制造机械零件，一般都要经过热处理以提高机械性能，而且根据碳的质量分数不同，有不同的用途。08、08F、10、10F 钢，塑性、韧性好，具有优良的冷成型性能和焊接性能，常冷轧成薄板，用于制作仪表外壳、汽车和拖拉机上的冷冲压件，如汽车车身、拖拉机驾驶室等；15、20、25 钢用于制作尺寸较小、负荷较小、表面要求耐磨、芯部强度要求不高的渗碳零件，如活塞缸、样板等；30、35、40、45、50 钢经热处理（淬火 + 高温回火）后具有良好的综合机械性能，即具有较高的强度和较高的塑性、韧性，用于制作轴类零件；55、60、65 钢经热处理（淬火 + 高温回火）后具有高的弹性极限，常用作弹簧。

（3）碳素工具钢

碳素工具钢的牌号是由“碳”的汉语拼音首字母“T”与数字组成，其中，数字表示钢中碳的平均质量分数（以千分之几计）。对于含锰量较高或高级优质碳素工具钢，其牌号尾部表示方法同优质碳素结构钢。例如，T12 钢表示 $w_C = 1.2\%$ 的碳素工具钢。

碳素工具钢生产成本较低，加工性能良好，可用于制造低速、手动刀具及常温下使用的工具、模具、量具等。在使用前要进行热处理（淬火 + 低温回火）。

碳素工具钢的常用牌号有 T7、T8，用于制造要求有较高韧性、能承受冲击负荷的工具，如小型冲头、凿子、锤子等；T9、T10、T11 用于制造要求有中等韧性的工具，如钻头、丝锥、车刀、冲模、拉丝模、锯条等；T12、T13 钢具有高硬度、高耐磨性，但韧性低，用于制造不受冲击的工具，如量规、塞规、样板、锉刀、刮刀、精车刀等。

（4）铸造碳钢

许多形状复杂的零件，很难通过锻压等方法加工成形，用铸铁时性能又难以满足需要，此时常用铸钢铸造获取铸钢件，所以，铸造碳钢在机械制造，尤其是重型机械制造业中的应用非常广泛。

铸钢的牌号是由铸钢代号“ZG”与表示力学性能的两组数字组成，第 1 组数字代表最低屈服点，第 2 组数字代表最低抗拉强度值。例如，ZG200 - 400 表示 $\sigma_s (\sigma_{0.2})$ 不小于 200 MPa， σ_b 不小于 400 MPa 的铸钢。

铸造碳钢碳的质量分数一般在 0.15% ~ 0.60%，过高则塑性差，易产生裂纹。铸钢的铸造性能比铸铁差，主要表现在铸钢流动性差，凝固时收缩比大且易产生偏析等现象。

（5）低合金高强度结构钢

低合金钢是一类可焊接的低碳低合金工程结构钢，主要用于房屋、桥梁、船舶、车辆、铁道、高压容器等工程结构件。其中，低合金高强度钢是结合我国资源条件（主要加入锰）而发展起来的优良低合金钢之一。钢中 $w_C \leq 0.2\%$ （低碳具有较好的塑性和焊接性）， $w_{Mn} = 0.8\% \sim 1.7\%$ ，辅以我国富产资源钒、铌等元素，通过强化铁素体、细化晶粒等作用，使其具备了高的强度和韧性、良好的综合力学性能、良好的耐腐蚀性等。

低合金高强度结构钢通常是在热轧经退火（或正火）状态下供应的，使用时一般不进行热处理。低合金高强度结构钢分为镇静钢和特殊镇静钢，在牌号的组成中没有表示脱氢方法的符号，其余表示方法与碳素结构钢相同。例如，Q345A 表示屈服强度为 345 MPa 的 A 级低合金高强度结构钢。

(6) 机械结构用合金钢

机械结构用合金钢主要用于制造各种机械零件，是用途广、产量大、钢号多的一类钢，大多数需经热处理后才能使用。机械结构用合金钢的牌号由数字与元素符号组成。用两位数字表示碳的平均质量分数（以万分之几计），放在牌号头部。合金元素含量表示方法为：平均质量分数 $< 1.5\%$ 时，牌号中仅标注元素，一般不标注含量；平均质量分数为 $1.5\% \sim 2.49\%$ 、 $2.5\% \sim 3.49\%$ 、……时，在合金元素后相应写成 2、3、……。例如，碳、铬、镍的平均质量分数分别为 0.2% 、 0.75% 、 2.95% 的合金结构钢，其牌号表示为“20CrNi3”。高级优质合金钢和特级优质合金钢的表示方法同优质碳素结构钢。

①合金渗碳钢。用于制造渗碳零件的钢称为渗碳钢。渗碳钢中 $w_C = 0.12\% \sim 0.25\%$ ，低的碳含量保证了淬火后零件芯部有足够的塑性、韧性。主要合金元素是铬，还可加入镍、锰、硼、钨、钼、钒、钛等元素。其中，铬、镍、锰、硼的主要作用是提高淬透性，使大尺寸零件的芯部淬火和回火后有较高的强度和韧性；少量的钨、钼、钒、钛能形成细小、难溶的碳化物，以阻止渗碳过程中在高温、长时间保温条件下晶粒的长大。

预备热处理为正火，最终热处理一般采用渗碳后直接淬火或渗碳后二次淬火加低温回火的热处理。

渗碳后的钢件，表层经淬火和低温回火后，获得高碳回火马氏体加碳化物，硬度一般为 $58 \sim 64 \text{ HRC}$ ；而芯部组织则视钢的淬透性及零件的尺寸大小而定，可得低碳回火马氏体 ($40 \sim 48 \text{ HRC}$) 或珠光体加铁素体组织 ($25 \sim 40 \text{ HRC}$)。

20CrMnTi 是应用最广泛的合金渗碳钢，用于制造汽车与拖拉机的变速齿轮、轴等零件。

②合金调质钢。优质碳素调质钢中的 40、45、50 钢，虽然常用且价廉，但由于存在淬透性差、耐回火性差、综合力学性能不够理想等缺点，所以，对重载作用下同时又受冲击的重要零件必须选用合金调质钢。

合金调质钢中 $w_C = 0.25\% \sim 0.5\%$ 。合金调质钢中主要加入的合金元素是锰、硅、铬、镍、钼、硼、铝等，主要作用是提高钢的淬透性；钼能防止高温回火脆性；铝能加速渗氮过程。另外，加入少量的钨、钒、钛，可细化晶粒。

合金调质钢锻造毛坯应进行预备热处理，以降低硬度，便于切削加工。合金元素含量低、淬透性低的合金调质钢可采用退火；淬透性高的合金调质钢，则采用正火加高温回火。例如，40CrNiMo 钢正火后硬度在 400 HBS 以上，经高温回火后硬度才能降低到 230 HBS 左右。满足了切削要求，调质钢的最终热处理为淬火 + 高温回火 ($500 \text{ }^\circ\text{C} \sim 600 \text{ }^\circ\text{C}$)，以获得回火索氏体组织，使钢件具有高强度、高韧性相结合的良好综合力学性能。

如果除了要求钢件具备良好的综合力学性能外，还要求表面有良好的耐磨性，则可在调质后进行表面淬火或渗氮处理。

合金调质钢主要用来制造受力复杂的重要零件，如机床主轴、汽车半轴、柴油机连杆螺栓等。40Cr 是最常用的一种调质钢，有很好的强化效果。38CrMoAl 是专用渗氮钢，经调质和渗氮处理后，表面具有很高的硬度、高耐磨性和疲劳强度，且变形很小，常用来制造一些精密零件，如镗床镗杆、磨床主轴等。

③合金弹簧钢。合金弹簧钢主要用于制造弹簧等弹性元件，如汽车、拖拉机、坦克、机车车辆的减振板簧和螺旋弹簧、钟表发条等。

合金弹簧钢中 $w_c = 0.45\% \sim 0.7\%$ 。常加入硅、锰、铬等合金元素，主要作用是提高淬透性，并提高弹性极限。硅使弹性极限提高的效果很突出，也使钢加热时易表面脱碳；锰能增加淬透性，但也使钢的过热和回火脆性倾向增大。另外，合金弹簧钢中还加入了钨、钼、钒等合金元素，它们可减少硅锰弹簧钢脱碳和过热的倾向，同时可进一步提高弹性极限、耐热性和耐回火性。

合金弹簧钢的热处理一般是淬火加中温回火，获得回火托氏体组织，具有高的弹性极限和屈服强度。60Si2MnA 是典型的合金弹簧钢，广泛用于汽车、拖拉机上的板簧、螺旋弹簧等。

④滚动轴承钢。滚动轴承钢主要用来制造各种滚动轴承元件，如轴承内外圈、滚动体等。此外，还可以用来制造某些工具，如模具、量具等。

滚动轴承钢有自己独特的牌号。牌号前面以字母“G”（滚）为标志，其后为铬元素符号 Cr，其质量分数以千分之几表示，其余与合金结构钢牌号规定相同。例如， $w_{Cr} = 1.5\%$ 的滚动轴承钢，其牌号表示为“GCr15”。

滚动轴承钢在工作时承受很高的交变接触压力，同时滚动体与内外圈之间还产生强烈的摩擦，并受到冲击载荷的作用以及大气和润滑介质的腐蚀作用。这就要求轴承钢必须具有高而均匀的硬度和耐磨性，高的抗压强度和接触疲劳强度，足够的韧性和对大气、润滑剂的耐蚀能力。为获得上述性能，一般 $w_c = 0.95\% \sim 1.15\%$ ， $w_{Cr} = 0.4\% \sim 1.65\%$ 。高碳是为了获得高硬度、高耐磨性；铬的作用是增加淬透性，增加回火稳定性。

滚动轴承钢的纯度要求很高，磷、硫含量限制极严，故它是一种高级优质钢（但在牌号后不加字母“A”）。GCr15 为常用的滚动轴承钢，具有高的强度、耐磨性和稳定的力学性能。

滚动轴承钢的热处理包括预备热处理（球化退火）和最终热处理（淬火与低温回火）。

(7) 合金工具钢

合金工具钢与合金结构钢基本相同，只是含碳量的表示方法不同。当 $w_c < 1.0\%$ 时，牌号前以千分之几（一位数）表示；当 $w_c \geq 1.0\%$ 时，牌号前不标数字。合金元素的表示方法与合金结构钢相同。

合金工具钢通常以用途分类，主要分为量具刀具钢、冷作模具钢、热作模具钢等。

①量具刀具钢。主要用于制造形状复杂、截面尺寸较大的低速切削刀具和机械制造过程中控制加工精度的测量工具，如卡尺、块规、样板等。

量具刀具钢碳的质量分数高，一般为 $w_c = 0.9\% \sim 1.5\%$ ，合金元素总量少，主要有铬、硅、锰、钨等，用来提高淬透性，获得高的强度、耐磨性，保证高的尺寸精度。

该钢的热处理与非合金（碳素）工具钢基本相同：预备热处理采用球化退火，最终热处理采用淬火（油淬、马氏体分级淬火或等温淬火）加低温回火。9SiCr 是常用的低合金量具刀具钢。

②冷作模具钢。用于制作使金属冷塑性变形的模具，如冷冲模、冷挤压模等。冷作模具工作时承受大的弯曲应力、压力、冲击及摩擦，因此要求具备高硬度、高耐磨性和足够的强度与韧性。热处理采用球化退火（预备热处理），淬火后低温回火（最终热处理）。

③热作模具钢。用于制作高温金属成形的模具，如热锻模、热挤压模等。热作模具工作时承受很大的压力和冲击，并反复受热和冷却。因此，要求模具钢在高温下具有足够的强度、硬度、耐磨性和韧性，以及良好的耐热疲劳性，即在反复的受热、冷却循环中，表面不

易热疲劳（龟裂）。另外，还应具有良好的导热性和高淬透性。

为了达到上述性能要求，热作模具钢的 $w_c = 0.3\% \sim 0.6\%$ 。若含碳量过高，则塑性、韧性不足；若过低，则硬度、耐磨性不足。加入的合金元素有铬、锰、镍、钼、钨等。其中铬、锰、镍主要作用是提高淬透性；钨、钼提高耐回火性；铬、钨、钼、硅还能提高耐热疲劳性。预备热处理为退火，以降低硬度，利于切削加工；最终热处理为淬火加高温回火。

(8) 高速工具钢

高速工具钢（简称高速钢）主要用于制造高速切削刀具，在切削温度高达 $600\text{ }^\circ\text{C}$ 时硬度仍无明显下降，能以比低合金工具钢更高的速度进行切削。

高速工具钢具有高的碳含量（ $w_c = 0.7\% \sim 1.2\%$ ），但在牌号中不标出；高的合金含量（合金元素总质量分数 $> 10\%$ ）。加入的合金元素有钨、钼、钒、铬，其中钨、钼、钒主要是提高热硬性，而铬主要是提高淬透性。热处理特点主要是高的加热温度（ $1\ 200\text{ }^\circ\text{C}$ 以上）、高回火温度（ $560\text{ }^\circ\text{C}$ 左右）和高的回火次数（3 次）。采用高的淬火加热温度是为了让难溶的特殊碳化物能充分溶入奥氏体，最终使马氏体中钨、钼、钒等元素的含量足够高，保证热硬性足够高；高回火温度是因为马氏体中的碳化物形成元素含量高，阻碍回火，因而耐回火性高；多次回火是因为高速钢淬火后残余奥氏体量很大，多次回火才能消除。正因为如此，高速钢回火时的硬化效果很显著。

(9) 特殊性能钢

特殊性能钢指具有某些特殊的物理、化学、力学性能，因而能在特殊的环境、工作条件下使用的钢。主要包括不锈钢、耐热钢、耐磨钢。

① 不锈钢。在腐蚀性介质中具有抗腐蚀性能的钢，一般称为不锈钢。铬是不锈钢获得耐蚀性的基本元素。其牌号表示方法与合金结构钢基本相同，只是当 $w_c \leq 0.08\%$ 及 $w_c \leq 0.03\%$ 时，在牌号前分别冠以“0”及“00”，如 0Cr19Ni9。

a. 铬不锈钢。这类钢包括马氏体不锈钢和铁素体不锈钢两种类型。其中，Cr13 型属马氏体不锈钢，可淬火获得马氏体组织。Cr13 型铬的质量分数平均为 13% ， $w_c = 0.1\% \sim 0.4\%$ 。1Cr13 和 2Cr13 可制作塑性、韧性较高，受冲击载荷，在弱腐蚀条件下工作的零件（ $1\ 000\text{ }^\circ\text{C}$ 淬火加 $750\text{ }^\circ\text{C}$ 高温回火）；3Cr13 和 4Cr13 可制作强度较高、硬度高、耐磨，在弱腐蚀条件下工作的弹性元件和工具等（淬火加低温回火）。

当含铬量较高（ $w_{Cr} \geq 15\%$ ）时，铬不锈钢的组织为单相奥氏体，如 1Cr17 钢，耐蚀性优于马氏体不锈钢。

b. 铬镍不锈钢。这类钢中 $w_{Cr} = 18\% \sim 20\%$ ， $w_{Ni} = 8\% \sim 12\%$ ，经 $1\ 100\text{ }^\circ\text{C}$ 水淬固溶化处理（加热 $1\ 000\text{ }^\circ\text{C}$ 以上保温后快冷），在常温下呈单相奥氏体组织，故称为奥氏体不锈钢。奥氏体不锈钢无磁性，耐蚀性优良，塑性、韧性、焊接性优于别的不锈钢，是应用最为广泛的一类不锈钢。由于奥氏体不锈钢固态下无相变，所以不能热处理强化，冷变形强化是有效的强化方法。目前应用最多的是 0Cr18Ni10。

② 耐热钢。耐热钢是指在高温下具有热化学稳定性和热强性的钢，它包括抗氧化钢和热强钢等。热化学稳定性是指钢在高温下对各类介质化学腐蚀的抗力；热强性是指钢在高温下对外力的抗力。

对这类钢的主要要求是优良的高温抗氧化性和高温强度。此外，还应有适当的物理性能，如热膨胀系数小和良好的导热性，以及较好的加工工艺性能等。

为了提高钢的抗氧化性，加入合金元素铬、硅和铝，在钢的表面形成完整的稳定的氧化物保护膜。但硅、铝含量较高时钢材变脆，所以一般以加铬为主。加入钛、铌、钒、钨、钼等合金元素来提高热强性。常用的牌号有 3Cr18Ni25Si2、Cr13、1Cr18Ni9Ti 等。

③耐磨钢。对耐磨钢的主要性能要求是很高的耐磨性和韧性。高锰钢能很好地满足这些要求，它是目前最重要的耐磨钢。

耐磨钢高碳高锰，一般 $w_C = 1.0\% \sim 1.3\%$ ， $w_{Mn} = 11\% \sim 14\%$ 。高碳可以提高耐磨性（过高时韧性下降，且易在高温下析出碳化物），高锰可以保证固溶处理后获得单相奥氏体。单相奥氏体塑性、韧性很好，开始使用时硬度很低，耐磨性差，当工作中受到强烈的挤压、撞击、摩擦时，工件表面迅速产生剧烈的加工硬化（加工硬化是指金属材料发生塑性形变时，随变形度的增大，所出现的金属强度和硬度显著提高，塑性和韧性明显下降的现象），并且还发生马氏体转变，使硬度显著提高，芯部则仍保持为原来的高韧性状态。

耐磨钢主要用于运转过程中承受严重磨损和强烈冲击的零件，如车辆履带板、挖掘机铲斗等。Mn13 是较典型的高锰钢，应用最为广泛。

(10) 铸铁

含碳量大于 2.11% 的铁碳合金称为铸铁，工业上常用的铸铁的成分范围： $w_C = 2.5\% \sim 4.0\%$ 、 $w_{Si} = 1.0\% \sim 3.0\%$ 、 $w_{Mn} = 0.5\% \sim 1.4\%$ 、 $w_P = 0.01\% \sim 0.50\%$ 、 $w_S = 0.02\% \sim 0.20\%$ ，有时还含有一些合金元素，如 Cr、Mo、V、Cu、Al 等。可见，在成分上铸铁与钢的主要区别是铸铁的碳和硅含量较高，杂质元素 S、P 含量也较高。

虽然铸铁的机械性（抗拉强度、塑性、韧性）较低，但是由于其生产成本低廉，具有优良的铸造性、可切削加工性、减震性及耐磨性，因此，在现代工业中仍得到了普遍的应用。典型的应用是制造机床的床身，内燃机的气缸、气缸套、曲轴等。

根据碳在铸铁中存在的形式及石墨的形态，可将铸铁分为灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁和蠕墨铸铁等。灰铸铁、球墨铸铁和蠕墨铸铁中石墨都是由液体铁水在结晶过程中获得的，而可锻铸铁中石墨则是由白口铸铁在加热过程中石墨化而获得。

①灰铸铁。灰铸铁由片状石墨和钢的基体两部分组成。因石墨化程度不同，得到铁素体、铁素体 + 珠光体、珠光体 3 种不同基体的灰铸铁。

灰铸铁的性能主要决定于基体组织以及石墨的形态、数量、大小和分布。因石墨的力学性能极低，在基体中起割裂、缩减作用，片状石墨的尖端处易造成应力集中，使灰铸铁的抗拉强度、塑性、韧性比钢低很多。为提高灰铸铁的力学性能，在浇注前向铁水中加入少量孕育剂（常用硅铁和硅钙合金），使大量高度弥散的难熔质点成为石墨的结晶核心，灰铸铁得到细珠光体基体和细小均匀分布的片状石墨组织，这样的处理称为孕育处理，得到的铸铁称为孕育铸铁。孕育铸铁强度较高，且铸件各部位截面上的组织和性能比较均匀。

灰铸铁的牌号由“HT”（“灰铁”两字的汉语拼音首字母）及后面一组数字组成。数字表示最低抗拉强度 σ_b 值。例如，HT300 代表抗拉强度 $\sigma_b \geq 300$ MPa 的灰铸铁。由于灰铸铁的性能特点及生产简便，其产量占铸铁总产量的 80% 以上，应用广泛。常用的灰铸铁牌号是 HT150、HT200，前者主要用于机械制造业承受中等应力的一般铸件，如底座、刀架、阀体、水泵壳等；后者主要用于一般运输机械和机床中承受较大应力和较重要的零件，如气缸体、缸盖、机座、床身等。

灰铸铁的热处理常用去应力退火的方法。铸件在凝固冷却时,因壁厚不同等因素会造成冷却不均而产生内应力,或工件要求精度较高时,都应进行去应力退火。铸件较薄截面处,因冷却速度较快,会产生白口,使切削加工困难,所以应进行退火,使渗碳体分解,以降低硬度。为了提高铸件表面硬度和耐磨性,应进行表面淬火,常用的方法有火焰淬火、感应淬火等。

②球墨铸铁。球墨铸铁的组织按基体组织不同,分为铁素体球墨铸铁、铁素体+珠光体球墨铸铁、珠光体球墨铸铁和贝氏体球墨铸铁4种。

由于石墨呈球状,其表面积较小,因此大大减少了对基体的割裂和尖口敏感作用。球墨铸铁的力学性能比灰铸铁高得多,强度与钢接近,屈强比($\sigma_{0.2}/\sigma_b$)比钢高,塑性、韧性虽然大为改善,但仍比钢差。此外,球墨铸铁仍有灰铸铁的一些优点,如较好的减振性、减摩性,低的缺口敏感性以及优良的铸造性和切削加工性等。

由于球墨铸铁存在收缩率较大、白口倾向大、流动性稍差等缺陷,故它对原材料和熔炼、铸造工艺的要求比灰铸铁高。

球墨铸铁的牌号由“QT”(“球铁”两字的汉语拼音首字母)及后面两组数字组成。第1组数字表示最低抗拉强度 σ_b ;第2组数字表示最低断后伸长率 δ 。例如,QT600-3代表 $\sigma_b \geq 600$ MPa、 $\delta \geq 3\%$ 的球墨铸铁。

球墨铸铁的力学性能好,又易于熔铸,经合金化和热处理后,可代替铸钢、锻钢,制作受力复杂、性能要求高的重要零件,在机械制造中得到广泛应用。

球墨铸铁的热处理与钢相似,但因含碳、硅量较高,有石墨存在,热导性较差,因此,球墨铸铁进行热处理时,加热温度要略高,保温时间要长,加热及冷却速度要相应地减慢。

③可锻铸铁。可锻铸铁组织与石墨化退火方法有关,可得到两种不同基体的铁素体可锻铸铁(又称黑芯可锻铸铁)和珠光体可锻铸铁。

由于石墨呈团絮状,对基体的割裂和尖口作用减轻,故可锻铸铁的强度、韧性比灰铸铁提高很多。

可锻铸铁的牌号由“KT”(“可铁”两字的汉语拼音首字母)和代表类别的字母(H、Z)及后面两组数字组成。其中,H代表“黑芯”,Z代表珠光体基体。两组数字分别代表最低抗拉强度 σ_b 和最低断后伸长率 δ 。例如,KTH370-12表示 $\sigma_b > 370$ MPa、 $\delta \geq 12\%$ 的黑芯可锻铸铁(铁素体可锻铸铁)。可锻铸铁主要用于形状复杂、要求强度和韧性较高的薄壁铸件。

④蠕墨铸铁。蠕墨铸铁的石墨组织为蠕虫状,其形态介于球状和片状之间,它比片状石墨短、粗,端部呈球状。蠕墨铸铁的基体组织有铁素体、铁素体+珠光体、珠光体3种。

蠕墨铸铁的力学性能介于灰铸铁和球墨铸铁之间。与球墨铸铁相比,有较好的铸造性、良好的热导性、较低的热膨胀系数。

蠕墨铸铁的牌号由“RuT”(“蠕”字的汉语拼音加“铁”字的汉语拼音首字母)加一组数字组成,数字表示最低抗拉强度。例如,RuT300表示 $\sigma_b \geq 300$ MPa的蠕墨铸铁。

⑤合金铸铁。合金铸铁是指常规元素硅、锰高于普通铸铁规定含量或含有其他合金元素,具有较高力学性能或某些特殊性能的铸铁。主要有耐磨合金铸铁、耐热合金铸铁、耐蚀合金铸铁。

3. 钢的热处理

钢的热处理是指将钢在固态下进行加热、保温和冷却,以改变其内部组织,从而获得所

需要性能的一种工艺方法。它包括退火、正火、淬火和回火。

(1) 退火

退火是将工件加热到临界点以上或在临界点以下某一温度保温一定时间后,以十分缓慢的冷却速度进行冷却(如炉冷、坑冷、灰冷)的一种操作工艺。根据钢的成分、组织状态和退火目的不同,退火工艺可分为完全退火、等温退火、球化退火、去应力退火等。

退火主要用于消除铸件、锻件、焊接件、冷冲压件(或冷拔件)及机加工件的残余内应力。

(2) 正火

正火是将工件加热到 A_{c3} 或 A_{cm} 以上 $30\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,保温后从炉中取出在空气中进行冷却的热处理工艺。其与退火的区别是冷却速度快、组织细、强度和硬度有所提高。当钢件尺寸较小时,正火后组织为 S,而退火后组织为 P。

(3) 淬火

淬火是将钢件加热到 A_{c3} 或 A_{c1} 以上 $30\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,保温一定时间,然后快速冷却(一般为油冷或水冷),从而得到马氏体的一种操作工艺。淬火的目的是获得马氏体。淬火必须和回火相配合,否则淬火后虽然得到了高硬度、高强度,但韧性、塑性低,不能得到优良的综合机械性能。最常用的淬火方法有单液淬火法(单介质淬火)、双液淬火法(双介质淬火)、分级淬火法和等温淬火法 4 种。

(4) 回火

回火是将淬火钢重新加热到 A_{c1} 点以下的某一温度,保温一定时间后,冷却到室温的一种操作工艺。回火的目的是降低淬火钢的脆性,减少或消除内应力,使组织趋于稳定并获得所需要的性能。

钢的回火按回火温度范围可分为以下 3 种:

①低温回火。回火温度范围为 $150\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$,回火后的组织为回火马氏体,内应力和脆性有所降低,但保持了马氏体的高硬度和高耐磨性。主要应用于高碳钢或高碳合金钢制造的工具、模具、滚动轴承及渗碳和表面淬火的零件。

②中温回火。回火温度范围为 $350\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$,回火后的组织为回火托氏体,具有一定的韧性和较高的弹性极限及屈服强度。主要应用于各类弹簧和模具等。

③高温回火。回火温度范围为 $500\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 650\text{ }^{\circ}\text{C}$,回火后的组织为回火索氏体,具有强度、硬度、塑性和韧性都较好的综合力学性能。广泛应用于汽车、拖拉机、机床等机械中的重要结构零件,如轴、连杆、螺栓等。通常在生产上将淬火与高温回火相结合的热处理称为“调质处理”。

(二) 切削加工的基本知识

金属切削加工是指在机床上利用刀具,通过其与工件之间的相对运动,从工件上切下多余的余量,从而形成已加工表面的加工方法。

1. 切削运动和切削要素

(1) 切削运动

为了切除工件上多余的金属,以获得形状精度、尺寸精度和表面质量都符合要求的工