



工业和信息化部高职高专“十二五”规划教材立项项目



21 世纪高职高专机电工程类规划教材
21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN JIDIANGONGCHENGLEI GUIHUA JIAOCAI

金工实训

Jingong Shixun

■ 宋金虎 侯文志 主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



工业和信息化部“十二五”规划教材立项项目



21 世纪高职高专机电工程类规划教材

21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN JDIANGONGCHENGLEI GUIHUA JIAOCAI

金工实训

■ 宋金虎 侯文志 主编

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

金工实训 / 宋金虎, 侯文志主编. — 北京: 人民邮电出版社, 2011.10

21世纪高职高专机电工程类规划教材

ISBN 978-7-115-26095-6

I. ①金… II. ①宋… ②侯… III. ①金属加工—实习—高等职业教育—教材 IV. ①TG-45

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第181518号

内 容 提 要

金工实训(也称金工实习)是高职高专机械类、近机械类各专业的重要实践教学环节。该课程在内容上与实际工作紧密结合,在形式上充分体现基于工作过程的职业教育理念。

本书内容包括金工实训基础知识,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,共9个项目。每个项目都按照项目导入、相关知识、项目实施和知识扩展的形式编排,每个项目后面都附有思考与实训题。

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,同时可作为广大自学者的用书及工程技术人员的参考书。

工业和信息化部高职高专“十二五”规划教材立项项目

21世纪高职高专机电工程类规划教材

金工实训

◆ 主 编 宋金虎 侯文志

责任编辑 李育民

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号

邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 14.75

2011年10月第1版

字数: 369千字

2011年10月河北第1次印刷

ISBN 978-7-115-26095-6

定价: 29.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

前言

金工实训（也称金工实习）是高职高专机械类、近机械类各专业的重要实践教学环节。该课程在内容上与实际工作紧密结合，在形式上充分体现基于工作过程的职业教育理念。

本教材共有 9 个项目，其中包括金工实训基础知识，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，每个项目都按照项目导入、相关知识、项目实施和知识扩展的形式编排，每个项目后面都附有思考与实训题。

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，突出职业性的精神，体现了职业教育的特点。

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，同时可作为广大自学者的自学用书及工程技术人员的参考书。

本教材的学习流程设计，符合学生的认知习惯，并充分体现了“基于工作过程”的职业教育教学理念。“金工实训”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、企业生产车间中，尽量采用“教、学、做”一体的教学模式。

本书由宋金虎、侯文志任主编。项目一由刁希莲编写，项目二、项目三由卢洪德编写，项目六由刘新平编写，项目七、项目八、项目九由侯文志编写，项目四、项目五由宋金虎编写并负责全书的统稿、定稿。

本书编写过程中，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

2011 年 8 月

目 录

项目一 金工实训基础知识	1	项目三 锻压	48
一、项目导入	1	一、项目导入	48
二、相关知识	1	二、相关知识	48
(一) 金属材料常识	2	(一) 锻造的生产过程	49
(二) 切削加工的基本知识	9	(二) 自由锻的基本工序	51
(三) 常用量具操作技术	14	三、项目实施	54
三、项目实施	20	(一) 实训准备	54
(一) 实训准备	20	(二) 技能训练	57
(二) 机床操作技术	23	(三) 锻压操作技术	59
(三) 零件加工后的检验	23	四、知识扩展	60
四、知识扩展	23	(一) 胎模锻	60
(一) 金属材料现场鉴别方法	23	(二) 模锻	61
(二) 机床的安全操作规程	25	(三) 板料冲压	62
思考与实训	26	思考与实训	67
项目二 铸造	27	项目四 焊接	68
一、项目导入	27	一、项目导入	68
二、相关知识	28	二、相关知识	68
(一) 型砂和芯砂	28	(一) 焊条电弧焊接过程	69
(二) 造型及造芯	30	(二) 焊条电弧焊的设备和工具	69
(三) 铸铁的熔炼	32	(三) 焊条电弧焊工艺	71
(四) 浇注、落砂、清理	34	三、项目实施	74
(五) 铸件的结构工艺性及缺陷 分析	35	(一) 实训准备	74
(六) 铸造常见缺陷及控制	38	(二) 焊条电弧焊操作技术	75
三、项目实施	41	四、知识扩展	76
(一) 实训准备	41	(一) 气焊	76
(二) 砂型铸造操作技术	41	(二) 气割	77
四、知识扩展	43	思考与实训	78
特种铸造	43	项目五 钳工	80
思考与实训	46	一、项目导入	80
		二、相关知识	80
		(一) 划线	80

(二) 铣削	87
(三) 锯削	91
(四) 锉削	96
(五) 刮削	100
(六) 拆卸	103
(七) 装配	108
三、项目实施	122
(一) 实训准备	122
(二) 操作步骤	124
思考与实训	125
项目六 车削加工	126
一、项目导入	126
二、相关知识	127
(一) 普通卧式车床	127
(二) 车削刀具	128
(三) 工件的安装	129
(四) 车削的特点和加工范围	131
(五) 车外圆	131
(六) 车端面	133
(七) 车台阶	134
(八) 车槽	134
(九) 切断	135
(十) 钻孔	137
(十一) 车内孔	138
(十二) 车削圆锥	141
(十三) 车削螺纹	142
三、项目实施	145
(一) 实训准备	145
(二) 车削加工操作技术	146
四、知识扩展	146
(一) 数控机床的基本概念	146
(二) 数控车床的操作	147
(三) 数控车床加工零件	152
思考与实训	154
项目七 铣削加工	155
一、项目导入	155
二、相关知识	155

(一) 铣床及其附件	156
(二) 铣刀	161
(三) 安装铣刀和工件	162
(四) 铣削用量	164
(五) 铣削方式	165
(六) 铣削平面和垂直面	167
(七) 铣削斜面与铣台阶面	169
(八) 铣削沟槽与切断	170
(九) 利用分度装置进行分度， 在铣床上加工零件	175
三、项目实施	176
(一) 实训准备	176
(二) 操作步骤	177
四、知识扩展	178
(一) 齿轮齿形加工	178
(二) 数控铣床加工特点及组成	181
(三) 数控铣床基本编程方法和 控制面板操作	182
(四) 数控机床操作	189
思考与实训	190
项目八 刨削、拉削与镗削	191
一、项目导入	191
二、相关知识	191
(一) 刨削类机床	191
(二) 刨刀及其安装	195
(三) 工件的安装	196
(四) 刨削的特点和加工范围	197
(五) 刨平面	198
(六) 刨 V 形槽与 T 形槽	200
三、项目实施	201
(一) 实训准备	201
(二) 操作步骤	202
(三) 注意事项	203
四、知识扩展	203
(一) 镗削加工	203
(二) 拉削加工	206
思考与实训	209

项目九 磨削加工	210
一、项目导入	210
二、相关知识	210
（一）磨削运动及磨削用量	211
（二）砂轮	212
（三）平面磨削加工	216
（四）外圆磨削	221

（五）内圆磨削	224
三、项目实施	227
（一）实训准备	227
（二）操作步骤	228
思考与实训	229
参考文献	230

项目一

金工实训基础知识

【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。
- 掌握常用金属材料应用范围和选择原则。
- 掌握常用金属材料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

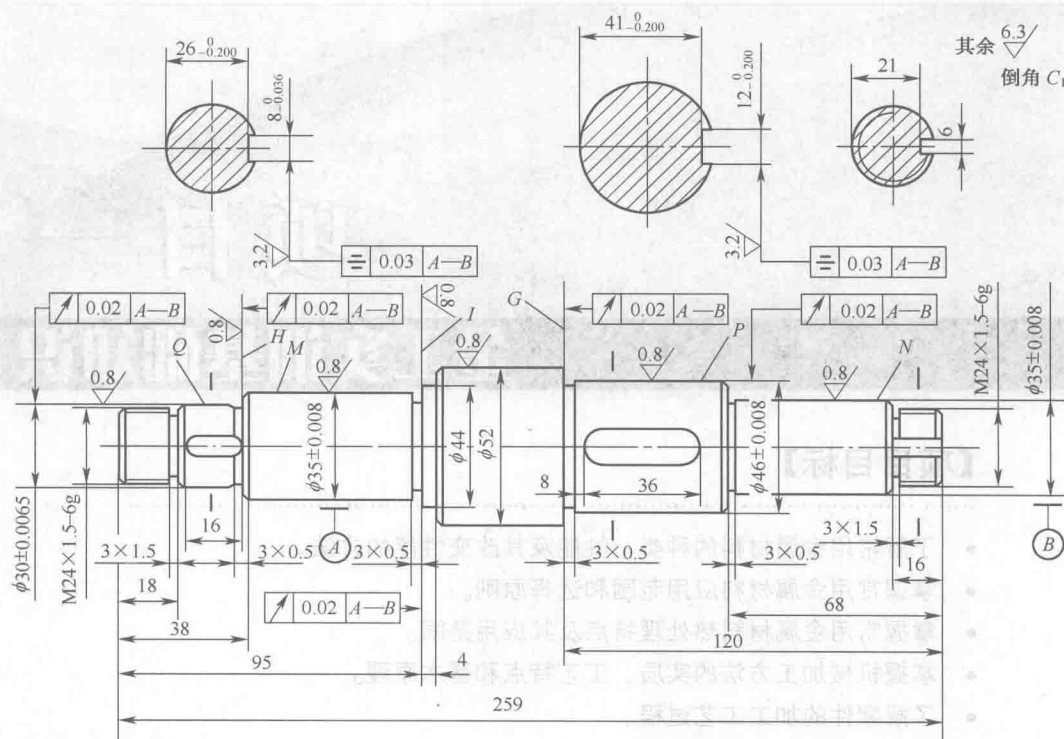
完成减速器传动轴的选材、加工工艺规程的制定及测量方法的确定。减速器传动轴如图 1.1 所示。

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材的潜力，提高钢的使用性能，节约成本，延长工件的使用寿命。

一个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。



材料: 45 钢
调质处理: 24 ~ 28HRC
数量: 5 件

图 1.1 减速器传动轴

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 275MPa。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 “F” 表示沸腾钢, 标 “b” 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 235MPa 的 A 级沸腾钢, Q235-C 表示屈服点为 235MPa 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、条钢和钢板作结构件以及制造连杆、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,或数字与特征符号组成。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符号“F”和“b”,镇静钢一般不标符号。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符号“A”,特级优质碳素结构钢在牌号后加符号“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,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、负荷较轻、表面要求耐磨、心部强度要求不高的渗碳零件,如活塞钢、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。这类钢的牌号是由“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,用于制造要求较高韧性、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 200MPa, σ_b 不小于 400MPa 的铸钢。

铸造碳钢碳的质量分数一般在 0.15%~0.60% 范围内,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方面。

(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345MPa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心部有足够的塑性、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,使大尺寸零件的心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,以阻止渗碳过程中高温、长时间保温条件下晶粒长大。

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 $58\sim 64\text{HRC}$;而心部组织则视钢的淬透性及零件的尺寸的大小而定,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,虽然常用而价廉,但由于存在着淬透性差,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。

调质钢 $w_C=0.25\%\sim 0.5\%$ 。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。

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,淬透性低的调质钢可采用退火;淬透性高的钢,则采用正火加高温回火。例如,40CrNiMo钢正火后硬度在400HBS以上,经高温回火后硬度才能降低到230HBS左右,满足了切削要求。调质钢的最终热处理为淬火后高温回火($500^\circ\text{C}\sim 600^\circ\text{C}$),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。

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、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。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。

弹簧钢 $w_C = 0.45\% \sim 0.7\%$ 。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,弹簧钢中还加入了钨、钼、钒等,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。

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“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, $w_{Cr} = 1.5\%$ 的轴承钢,其牌号表示为“GCr15”。

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,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、耐磨性,铬的作用是提高了淬透性,增加回火稳定性。

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“A”字)。GCr15 为常用的轴承钢,具有高的强度、耐磨性和稳定的力学性能。

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。合金元素表示方法与结构钢相同。

合金工具钢通常以用途分类,主要分为量具刀具钢、耐冲击工具钢、冷作模具钢、热作模具钢、无磁工具钢和塑料模具钢。

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和韧性。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(高速钢),主要用于制造高速切削刀具,在切削温度高达 600°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、铬、钒,主要是提高热硬性,铬主要是提高淬透性。热处理特点主要是高的加热温度(1200°C 以上),高回火温度(560°C 左右),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。牌号表示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”,例如 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(1000°C 淬火加 750°C 高温回火);3Cr13 和 4Cr13 可制作强度较高、高硬、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 1100°C 水淬固溶化处理(加热 1000°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。近年应用最多的是 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),高锰可以保证固溶化处理获得单相奥氏体。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,随变形量的增大,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,心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 含量较多。

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、内燃机的汽缸、汽缸套、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自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通过在加热过程中石墨化获得。

① 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,在基体中起割裂作用、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”两字汉语拼音字首)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 $\sigma_b \geq 300\text{MPa}$ 的灰铸铁。由于灰铸铁的性能特点及生产简便,灰铸铁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零件,如汽缸体、缸盖、机座、床身等。

灰铸铁的热处理常用去应力退火。铸件凝固冷却时,因壁厚不同等原因造成冷却不均,会产生内应力,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,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,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,仍比钢差。此外,球墨铸铁仍有灰铸铁的一些优点,如较好的减震性、减摩性、低的缺口敏感性、优良的铸造性和切削加工性等。

但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”两字汉语拼音字首)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 $\sigma_b \geq 600\text{MPa}$ 、 $\delta \geq 3\%$ 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(又称黑心可锻铸铁)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。

可锻铸铁牌号由“KT”(“可铁”两字汉语拼音字首)和代表类别的字母(H、Z)及后面两组数字组成。其中,H代表“黑心”,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,KTH 370—12代表 $\sigma_b > 370\text{MPa}$ 、 $\delta \geq 12\%$ 的黑心可锻铸铁(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”(“蠕铁”两字的汉语拼音字首)加一组数字组成,数字表示最低抗拉强度。例如,RuT300表示 $\sigma_b \geq 300\text{MPa}$ 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) 钢的退火。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(炉冷、坑冷、灰冷)进行冷却的一种操作。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)及机加工的残余内应力。

(2) 钢的正火。将工件加热到 A_{c3} 或 A_{ccm} 以上 $30^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$, 保温后从炉中取出在空气中冷却的热处理工艺称为正火。与退火的区别是冷速快, 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) 钢的淬火。淬火就是将钢件加热到 A_{c3} 或 A_{c1} 以上 $30^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$, 保温一定时间, 然后快速冷却 (一般为油冷或水冷), 从而得马氏体的一种操作。因此淬火的目的是获得马氏体。但淬火必须和回火相配合, 否则淬火后得到了高硬度、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) 淬火钢的回火。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。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 $150^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$, 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 $350^{\circ}\text{C}\sim 500^{\circ}\text{C}$, 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 $500^{\circ}\text{C}\sim 650^{\circ}\text{C}$, 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, 通过刀具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件, 刀具与工件之间所作的相对运动称为切削运动。根据对切削加工过程所起作用的不同, 切削运动可分为主运动和进给运动。

① 主运动。主运动是切下切屑所需要的最基本的运动。它可以是旋转运动, 也可以是直线运动。它是切削运动中速度最高、消耗功率最大的运动。任何切削过程必须有一个, 也只有一个主运动。它可由工件完成, 也可由刀具完成。

② 进给运动。进给运动是使金属层不断投入切屑, 从而加工出完整表面所需要的运动。进给运动可能有一个或几个。运动形式有平移的、旋转的, 有连续的、间歇的。

(2) 切削要素。切削要素包括切削用量要素和切削层尺寸平面要素。下面以车削加工为例, 介绍这些要素。

① 切削用量要素。车削加工时形成 3 种表面: 待加工表面、已加工表面和过渡表面。这 3 种表面的形成, 涉及 3 个基本参数, 即切削速度、进给量、背吃刀量。此 3 个基本参数称为切

削用量三要素。

a. 切削速度。切削速度是指在进行切削加工时,刀具切削刃选定点相对于工件主运动的瞬时速度,用 v_c 表示,单位为 m/s 。

车削加工时主运动为旋转运动,切削速度为最大线速度。

$$v_c = \frac{\pi dn}{1000 \times 60}$$

式中 d ——工件待加工表面直径, mm ; n ——工件转速, r/min 。

b. 进给量。进给量是指刀具在进给运动方向上相对工件的位移量,用“ f ”表示,单位为 mm/r 。

车削加工时刀具的进给量为工件每转一转刀具沿进给运动方向移动的距离。

c. 背吃刀量。背吃刀量(切削深度)是指待加工表面与已加工表面的垂直距离,用“ a_p ”表示,单位为 mm 。车削圆柱时:

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2}$$

式中 d_w ——待加工表面直径, mm ; d_m ——已加工表面直径, mm 。

② 切削层尺寸平面要素(几何参数)。切削层是指由切削部分只产生一圈过渡表面的动作所切除的工件材料层。

a. 切削层公称厚度。切削层公称厚度是在同一瞬间的切削层横截面积与其公称切削层宽度之比,用符号“ h_D ”表示,单位为 mm 。切削层公称厚度代表了切削刀的工作负荷。

b. 切削层公称宽度。切削层公称宽度是指在切削层尺寸平面内,沿切削刃方向所测得的切削层尺寸,用“ b_D ”表示,单位为 mm 。切削层公称宽度通常等于切削刀的工作长度。

c. 切削层公称横截面积。切削层公称横截面积是在给定瞬间,切削层在切削层尺寸平面内的实际横截面积,用“ A_D ”表示,单位为 mm^2 。它等于切削层公称厚度与切削层公称宽度的乘积,也等于切削深度与进给量的乘积。即

$$A_D = h_D b_D = a_p f$$

当切削速度一定时,切削层公称横截面积代表了生产率。

2. 金属切削刀具

刀具由切削部分和刀柄部分组成。切削部分(即刀头)直接参加切削工作,而刀柄用于把刀具装夹在机床上。刀柄一般选用优质碳素结构钢制成,切削部分必须由专门的刀具材料制成。为了保证切削工作得以顺利进行,刀具切削部分有严格的几何形状要求。

(1) 刀具材料。刀具工作时,其切削部分承受着冲击、振动,较高的压力和温度,剧烈的摩擦。因此刀具材料应具备高硬度、高耐磨性,用来承受切削过程中的剧烈摩擦,减少磨损;同时还要有足够的强度和韧性,以承受切削力和冲击载荷;要有高的热硬性、良好的工艺性和经济性等。

常用的刀具材料有碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、硬质合金、陶瓷、超硬材料等。机械制造中应用最广的刀具材料是高速钢和硬质合金。

(2) 车刀切削部分的几何参数。要使刀具能顺利地切削工件,刀具不但要有一定的性能,而且要有合理的几何形状。刀具种类很多,形状各异,其中车刀是最基本的刀具,其他刀具都