



SHIERWU PUTONG GAODENG YUANXIAO GUIHUA JIAOCAI

“十二五”普通高等院校规划教材

金工 实习

JINGONG SHIXI

王湘江 等主编



电子科技大学出版社



“十二五”普通高等院校规划教材

金工实习

JINGONG SHIXI

主 编	王湘江	主万强	程 鸿
副主编	滕 凯	李 蕊	王 涛
	景微娜	杨 钢	
参 编	贾 翔	黄元东	



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

金工实习 / 王湘江等主编. —成都: 电子科技大学出版社, 2014.5
ISBN 978-7-5647-2348-4

I. ①金… II. ①王… III. ①金属加工—实习—高等学校—教材 IV. ①TG—45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 090674 号

内 容 简 介

本书是按照教育部工程训练教指委的精神, 依据高等学校金工实习课程教学要求, 结合多年实习教学经验并吸取兄弟院校的成功做法编写而成的。全书共分为 17 章, 包括工程材料基础、切削加工基础知识、车削、铣削、磨削、钳工、铸造、锻压、焊接、数控车削、数控铣削、加工中心、电火花线切割、数控电火花成型、数控等离子弧切割、快速成型和零件制造工艺综合分析。各校可根据本校专业设置的特点和需要合理安排各工种的实习。

本书可作为高等学校机械类、近机械类专业金工实习教材, 非机械类专业可根据专业特点和教学条件, 有针对性地选择其中的实习内容组织教学, 部分内容可供学生自学。本书还可供有关工程技术人员和技术工人参考。

金工实习

主 编 王湘江等

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 曾 艺

责任编辑: 曾 艺

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 全国新华书店经销

印 刷: 北京龙展印刷有限公司

成品尺寸: 210mm×285mm 印张 21.5 字数 580 千字

版 次: 2014 年 5 月第一版

印 次: 2014 年 5 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-2348-4

定 价: 40.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: (028)83202463; 本社邮购电话: (028)83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

21 世纪的高级技术人才,应是复合型、创新型的人才,不仅要具备扎实的理论基础、广博的知识、合理的知识结构,还得具有大工程意识、创新意识、运用规范的工程语言和各种技术信息资源解决工程实际问题的能力。我国高等工程教育领域曾经长期存在重视理论教学、轻视实践教学的错误认识和做法,直接导致学生甚至教师队伍综合实践能力差,严重影响了工程领域创新型人才的培养。近十年来,大力加强实践教学已经成为共识,很多高校都把过去处于辅助地位的实践教学提高到了与理论教学同等重要的位置。

工程训练中心是本科学生工程素质教育和技能教育的实践性教学基地。学生通过亲自动手完成一定的工程训练项目,获得对现代工业生产方式和工艺过程的基本认识,受到生产工艺技术及组织管理能力的基本训练,初步建立起市场、信息、安全、环保等大工程意识。

近年来,科学技术飞速发展,传统工艺技术和生产模式正在向先进制造技术过渡,工程训练(金工实习)课程的教学体系和教学内容已经超出了传统金工实习的形式和内容。结合这些变化及高等院校工程训练系列课程改革和建设的需要,我们编写了该书。

本书的编写遵循“必须”和“够用”原则,根据实践性技术基础课的要求,理论内容作了一定的精简,文字力求简洁易懂。该书重点突出,例证实用,强调实际操作训练,内容上大幅度增加了数控加工的操作介绍和仿真软件、三维造型软件的使用,以便学生了解 CAD/CAM 的原理和技术。

本书以高校工程训练中心常用的实训项目为章节,包括工程材料基础、切削加工基础知识、车削、铣削、磨削、钳工、铸造、锻压、焊接、数控车削、数控铣削、加工中心、数控电火花线切割、数控电火花成型、数控等离子弧切割、快速成型和零件制造工艺综合分析等 17 章。

书中引用并参考了兄弟院校优秀教材的部分内容,在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限,时间仓促,书中难免有不当和错误,敬请读者批评指正。

编 者



目 录

第一章 工程材料基础	(1)
1.1 金属材料的性能	(1)
1.2 常用金属材料	(3)
1.3 钢的热处理工艺	(9)
1.4 常用的非金属材料	(11)
1.5 工程材料的选用原则	(12)
第二章 切削加工基础知识	(14)
2.1 切削加工基础	(14)
2.2 刀具材料及其几何形状	(19)
2.3 常用量具及其使用方法	(22)
2.4 零件加工质量及检验方法	(27)
第三章 车 削	(31)
3.1 车 床	(32)
3.2 刀具及工件的装夹	(39)
3.3 车床的基本操作	(44)
3.4 车端面、外圆和台阶	(46)
3.5 切槽和切断	(47)
3.6 车圆锥面	(49)
3.7 滚 花	(50)
3.8 车成形面	(51)
3.9 孔 加 工	(52)
3.10 车 螺 纹	(53)
3.11 车削的工艺特点	(55)
3.12 车削的质量检验	(55)
3.13 实习产品的加工、工艺编制和加工参数的选择	(57)
第四章 铣削与齿形加工	(61)
4.1 铣削及其四要素	(61)
4.2 铣 床	(62)
4.3 铣刀及其安装	(63)
4.4 铣床的主要附件	(65)
4.5 工件的安装	(67)
4.6 铣削方式	(67)
4.7 铣削工作	(69)
4.8 齿形加工方法简介	(73)
第五章 磨 削 加 工	(76)
5.1 概 述	(76)
5.2 砂 轮	(76)



5.3	平面磨床及其磨削工作	(79)
5.4	外圆磨床及其磨削工作	(81)
第六章	钳工与装配	(86)
6.1	划 线	(86)
6.2	锯 削	(90)
6.3	锉 削	(93)
6.4	钻削及螺纹加工	(96)
6.5	装 配	(102)
6.6	钳工操作实例	(105)
6.7	钣金加工	(106)
6.8	粘接	(113)
第七章	铸 造	(120)
7.1	概 述	(120)
7.2	砂型铸造工艺	(121)
7.3	造 型	(124)
7.4	合金的熔炼与浇注	(128)
7.5	铸件的落砂、清理和缺陷分析	(130)
7.6	特 种 铸 造	(132)
第八章	锻 压	(137)
8.1	概 述	(137)
8.2	自由锻造	(137)
8.3	模 锻	(141)
8.4	板料冲压	(143)
第九章	焊 接	(146)
9.1	概 述	(146)
9.2	焊条电弧焊	(147)
9.3	气焊与气割	(153)
9.4	其他焊接方法	(157)
9.5	焊 接 检 验	(160)
第十章	数 控 车 削	(162)
10.1	数控技术和数控机床	(162)
10.2	数控编程基础	(165)
10.3	数 控 车 削	(169)
10.4	数控车床编程基础	(173)
10.5	数控车床操作(FANUC oi 系统及 GSK980TD 系统)	(181)
10.6	加 工 实 例	(188)
第十一章	数 控 铣 削	(191)
11.1	数控铣削基础	(191)
11.2	数控铣削编程基础	(196)
11.2	两种软件(MasterCAM 软件、PowerMILL 软件)及应用	(225)
11.4	数控铣床操作	(267)

11.5	加工实例	(274)
第十二章	加工中心	(277)
12.1	加工中心简介	(277)
12.2	加工中心编程基础	(280)
12.3	加工中心操作	(281)
12.4	数控加工仿真系统基本操作方法	(283)
第十三章	电火花线切割	(303)
13.1	线切割加工的原理、特点及应用范围	(303)
13.2	电火花线切割机床的型号及组成部分	(304)
13.3	数控电火花线切割编程简介	(305)
13.4	YH 线切割编程控制系统	(307)
13.5	编程系统操作实例	(309)
13.6	BMXP 线切割编程系统简介	(311)
13.7	电火花线切割加工的安全技术规程	(313)
第十四章	数控电火花成型	(315)
14.1	基本原理与特点	(315)
14.2	数控电火花成型加工机床	(316)
14.3	数控电火花成型的发展趋势	(318)
第十五章	数控等离子弧切割	(320)
15.1	概 述	(320)
15.2	等离子弧切割参数与工艺	(321)
15.3	数控等离子切割的发展趋势	(323)
第十六章	快速成型	(325)
16.1	快速成型的原理、特点及应用范围	(325)
16.2	快速成型加工主要工艺	(326)
16.3	F-printA 三维打印/快速成型系统简介	(327)
16.4	快速成型加工发展方向	(331)
第十七章	零件制造工艺综合分析	(332)
17.1	制造工艺概述	(332)
17.2	机械加工工艺规程的制订	(337)
17.3	典型零件的制造工艺分析	(339)
参 考 文 献		(349)

第一章 工程材料基础

1.1 金属材料的性能

金属是制造机器零件和工具的主要材料。金属分为纯金属和合金。由于纯金属的强度和硬度一般都较低,价格较高,所以在机械制造中使用的主要是合金。合金是由一种金属元素与另一种或几种元素熔合成的金属材料。金属又可分为黑色金属和有色金属。钢铁材料称为黑色金属,除钢铁以外的金属和合金,统称为有色金属,故也将金属分为钢铁和非铁金属。

金属材料的性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料在使用过程中表现出来的特性,包括力学性能、物理性能和化学性能等。使用性能决定了金属材料的应用范围、安全可靠性和使用寿命。工艺性能是指材料对各种加工工艺适应的能力,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。

1. 强度

强度是指金属在外力的作用下抵抗变形和断裂的能力。金属材料的强度是用应力来度量的,即单位面积上的内力称为应力,用 σ 表示。根据外力不同,强度分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度等。

抗拉强度是在对金属做拉伸试验时测定的。试验时,将加工成如图 1-1(a)所示的试样夹装在拉伸试验机上,随着拉力的增加,试样相应伸长。当拉力比较小时,试样只产生弹性变形,即外力去除以后,变形消失,试样恢复为原长。当拉力增加到一定程度时,试样除产生弹性变形外,还产生塑性变形,即外力去除以后,试样不能恢复为原长,有一部分变形残留为永久变形。拉力增加愈多,塑性变形量愈大。当拉力增加到某一数值时,在试样某处“缩颈”,最后在缩颈处断裂,如图 1-1(b)所示。拉伸试验可测定金属的屈服强度和抗拉强度等强度指标。

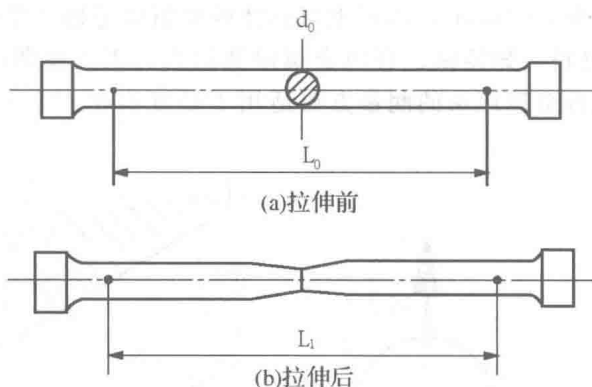


图 1-1 低碳钢拉伸试样

(1) 屈服强度 σ_s

材料开始产生明显塑性变形时的最低应力值,单位是 Mpa。

$$\sigma_s = F_s / S_0 \quad (1.1)$$

式中: F_s ——屈服时的最小载荷, N;

S_0 ——试样初始截面积, mm^2 。

(2) 抗拉强度 σ_b

材料在拉断前所承受的最大应力,即

$$\sigma_b = F_b / S_0 \quad (1.2)$$

式中: F_b ——试样断裂前所承受的最大载荷, N。

2. 塑性

塑性是指金属在外力的作用下产生塑性变形而不致破坏的能力。金属的塑性大小常以拉伸试验时测定的伸长率或断面收缩率表示。

(1) 伸长率 δ

伸长率是试样拉断以后的试样伸长量与原始长度比值的百分比, 即

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1.3)$$

式中: L_1 ——试样拉断以后的长度, mm。

L_0 ——试样原始长度, mm

(2) 断面收缩率 ψ

断面收缩率是试样拉断后断口处面积的缩减量与原始截面面积比值的百分数, 即

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1.4)$$

式中: S_1 ——试样断口处最小截面积, mm^2 ;

S_0 ——试样初始截面积, mm^2 。

金属的 δ 和 ψ 值愈大, 表示承受塑性变形的能力愈大。具有良好塑性的金属有利于进行锻造、冲压和焊接。拉伸试验中塑性变形不明显的金属称为脆性材料, 如灰铸铁、淬火的高碳钢等。

3. 硬度

硬度是指金属抵抗其他更硬物体压入其表面的能力。硬度愈高的材料, 其耐磨性也愈好。金属材料质量检测主要用压入法进行硬度试验, 而其中应用最为广泛的是布氏硬度和洛氏硬度试验。

(1) 布氏硬度试验

布氏硬度测量如图 1-2 所示。用直径为 D 的淬火钢球(或硬质合金球)压头, 在压力 F 的作用下压入金属表面, 使其表面留下一个有一定深度的、直径为 d 的压痕。此压痕的陷凹表面积为 S , 从几何关系中可求得 $S = 2\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})$ 。压痕单位面积上承受的压力 F/S 称为布氏硬度。

布氏硬度的单位为 MPa 或 kgf/mm^2 , 习惯上只标注硬度值而不标注单位。用钢球压头的测量方法适用于硬度值在 450 以下的材料, 如铸铁、有色金属以及退火、正火或调质状态的钢材, 测得的硬度值用符号 HBS 表示。用硬质合金球压头的测量方法适用于硬度值在 450~650 较硬的材料, 测得的硬度值用符号 HBW 表示。

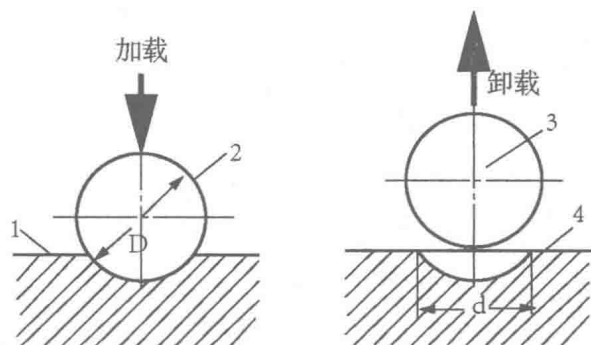


图 1-2 布氏硬度测量

(a) 加载 (b) 卸载

1、4—被测金属 2、3—压头

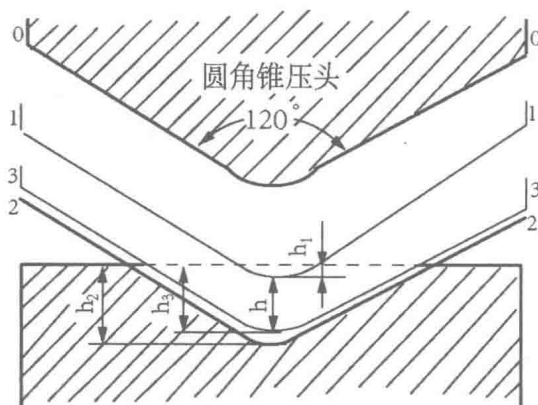


图 1-3 洛氏硬度测量

0、1、2、3—压头位置

h 、 h_1 、 h_2 、 h_3 —压入深度

(2) 洛氏硬度试验



洛氏硬度的测定是用顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588mm 的淬硬钢球作压头，以相应的载荷压入试样表面，由压痕深度确定其硬度值，如图 1-3 所示。压入愈浅，硬度愈高。洛氏硬度以 HR 表示，根据压力大小和压头不同，有 HRA、HRB 和 HRC 等，应用最广的是 HRC。

洛氏硬度与布氏硬度值的关系近似为： $1\text{HRC}=10\text{HBS}$ 。

洛氏硬度法的优点是，可直接在硬度计的刻度盘上读出硬度值，简便迅速，软硬材料均可测量，且压痕小，可以在成品上测量，所以在热处理车间广泛应用。由于测量数据不稳定，故同一产品需要测量多点，取其平均值。

1.2 常用金属材料

1. 碳素钢

碳素钢是一种含碳量小于 2% ，并含有少量硅、锰、硫、磷等杂质元素的铁碳合金。硫、磷使钢产生脆性，是有害的元素。碳的含量对钢的力学性能有很大的影响。随着含碳量的增加，钢的硬度不断提高，塑性和韧性不断下降。强度也是随着含碳量的增加而提高，但当含碳量超过 1% 后，强度呈下降趋势。

碳钢根据含碳量分为低碳钢、中碳钢和高碳钢。低碳钢含碳量小于 0.25% ，塑性和韧性高，但强度较低。中碳钢含碳量为 $0.25\%\sim 0.6\%$ ，是制造机器零件最常用的钢材。高碳钢含碳量大于 0.6% ，经过热处理后，具有较高的硬度和较好的耐磨性，主要用来制造工具。

常用碳钢的牌号是根据其用途和质量确定的，主要有以下三类：

(1) 普通碳素结构钢

普通碳素结构钢牌号的表示方法是：由屈服点“屈”字汉语拼音的第一个字母“Q”、屈服点数值(Mpa)、质量等级符号(A、B、C、D)及脱氧方法符号(F 为沸腾钢，Z 为镇静钢)等四部分按顺序组成。如 Q235AF 表示屈服强度值为 235MPa 、质量为 A 级的沸腾钢。这类钢一般轧制成各种规格供应，主要用来制作各种型钢、薄板、冲压件、工程结构件以及受力不大的机械零件，如螺栓、螺母、小轴、键等。表 1-1 列出了这类钢的常用牌号、主要性能及用途。

表 1-1 普通碳素结构钢的牌号、主要性能及用途

类别	主要性能特点	常用的牌号	用途举例
普通碳素结构钢	含碳量低，含 S、P 等杂质较多，硬度较低，有一定强度，塑性较好，价格低廉	Q195、Q215A、Q215B 等	用于制作钉子、铆钉、垫块及轻载荷的冲压件
		Q235A、Q235B、Q235C、Q235D 等	用于制作小轴、拉杆、连杆、螺栓、螺母、法兰等不重要的零件
		Q275 等	用于制作拉杆、连杆、转轴、心轴、齿轮和键

(2) 优质碳素结构钢

这类钢的硫、磷含量较低，材质比普通碳钢好，广泛用来制造机器零件。其牌号以两位数字或数字与特征符号组成，如 08、10、15F、20、70、75 等。数字表示钢中平均含碳量的万分数，例如，45 钢表示钢中平均含碳量为 0.45% 。沸腾钢在牌号尾部加符号 F，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平均含碳量的数字后面加锰元素符号。例如含碳量为 0.50% 、含锰量为 $0.70\%\sim 1.00\%$ 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”。表 1-2 列出了这类钢的常用牌号、主要性能及用途。

表 1-2 优质碳素结构钢的牌号、主要性能及用途

类别	主要性能特点	常用的牌号	用途举例
优 质 碳 素 结 构 钢	属低碳钢，塑性、韧性好，具有优良的冷成形性能和焊接性能	08.08F、10、10F、15、15F、20、25	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
	属中碳钢，具有良好的综合力学性能，即具有较高的强度和较高的塑性、韧性	30.35、40、45、50、55等	主要用于制作各种轴类零件，也用于制作各种受力较大的零件（如连杆、齿轮）
	属高碳钢，强度、硬度较高，特别是弹性较好	60.65、70、75、80、85等	用于制造弹簧、弹簧圈、轧辊、各种垫圈、凸轮及钢丝绳
	性能与相应正常含锰量的各种钢基本相同，强度稍高，淬透性好	40Mn、50Mn、60Mn、65Mn、70Mn等	用于制造螺栓、螺母、螺钉、杠杆、刹车踏板；还可以制造在高应力下工作的细小零件，如农机钩环、链等

(3)碳素工具钢

这类钢含碳量为 0.65%~1.3%。在退火状态的硬度为 190~210HBS，便于加工。经过淬火以后，硬度高达 62HRC 以上，主要用来制造刀具、模具和量具。其牌号有 T7、T8……T13 等。代号“T”后面的数字表示钢中平均含碳量的千分数，若牌号后加字母“A”，加 T8A、T13A 等，则表示高级优质钢。钢号中的数字愈大，表示含碳量愈高，则硬度愈高，耐磨性愈好，但脆性也愈大。表 1-3 列出了这类钢的常用牌号、主要性能及用途。

表 1-3 碳素工具钢的牌号、主要性能及用途

类别	主要性能特点	常用的牌号	用途举例
碳 素 工 具 钢	含碳量较高（0.65%~1.35%），含 S、P 等杂质较少，热处理后可获得较高的硬度及耐磨性	T7、 T7A、 T8、 T8A、 T8Mn、 T8Mn A 等	用于承受冲击、韧性较好、硬度适当的工具，如扁铲、手钳、大锤、木工工具
		T9、 T9A、 T10、 T10A、 T11、 T11A 等	用于不受剧烈冲击、高硬度、耐磨的工具，如车刀、刨刀、丝锥、钻头、手锯条
		T12、 T12A、 T13、 T13A 等	用于不受冲击、高硬度且要求更高耐磨性的工具，如锉刀、刮刀、丝锥、精车刀、量具

2. 合金钢

合金钢是在碳钢的基础上加入合金元素（如锰、硅、铬、镍等）所炼成的钢。合金元素总量小于 5% 的称为低合金钢，总量大于 10% 的称为高合金钢。按用途不同，合金钢分为结构钢、工具钢和特殊性能钢三类。

(1)合金结构钢

合金结构钢的钢号由“数字+元素+数字”三部分组成，如 45Mn2 和 16Mn 等。前面两位数字表示平均含碳量的万分数。合金元素以化学符号表示，当此元素平均含量小于 1.5% 时，只标出元素符号而不标明含量；当其平均含量不小于 1.5% 或不小于 2.5% 时，则在元素后面标出 2 或 3。如 16Mn 钢，



表示平均含碳量为 0.16%、平均含锰量小于 1.5% 的低合金钢。

合金结构钢按用途可分为机器零件用钢和工程结构用钢。机器零件用钢根据用途可分为合金渗碳钢、合金调质钢、合金弹簧钢和滚动轴承钢四种，常用的钢有 15Cr、20Cr、20CrMnTi、40Cr、40MnB、42MnVB、55Si2Mn 等，低碳合金钢用来制造需要渗碳的零件，中碳合金钢用来制造重要的调质零件或重要的弹簧等；常用的工程结构用钢的牌号有 09MnV、16Mn、15MnV、15MnW 等，其中 16Mn 是我国产量最大、各种性能配合较好的钢材，应用最广，工程结构用钢的强度比同样含碳量的普通碳钢的强度有明显提高，而成本与普通碳钢相近，所以工程结构用钢在桥梁、船舶、高压容器、石油化工设备、农业机械中应用广泛。

(2) 合金工具钢

合金工具钢是制造刀具、量具和模具的重要材料，经过适当的热处理以后，能获得相当高的硬度、耐磨性及其他性能。合金工具钢的牌号表示方法与结构钢相似，不同之处是，当合金工具钢平均含碳量不小于 1% 时，含碳量不标出；当含碳量小于 1% 时，钢号前的数字表示平均含碳量的千分数。工具钢的最后热处理多采用淬火与低温回火，以保证硬度和耐磨性。此外，其材质要求很严，合金工具钢都是高级优质钢。由于工作条件不同，合金工具钢可分为刃具钢、模具钢和量具钢。

低合金刃具钢主要用来制造切削速度不高、形状较复杂的刀具（如丝锥、板牙、钻头、铰刀等），也可用来制造量具和冷作模具。常用的钢有 9SiCr、9Mn2V、CrWMn 等。这类钢比碳素工具钢有更高的耐磨性和热硬性（达 $250^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ ）。热硬性是指刃部受热升温仍然维持高硬度（60HRC 以上）的一种特性。低合金刃具钢的另一个优点是可以用油作淬火剂，热处理开裂和变形的倾向较小，所以适于制造形状较复杂的刀具。

高速钢是热硬性、耐磨性很高的高合金工具钢，热硬性可达 600°C 左右，能长期保持刃口锋利，可在比低合金工具钢更高的切削速度下工作，最常用的钢有 W18Cr4V（钨系高速钢）和 W6Mo5Cr4V2（钨钼系高速钢）。高速钢目前广泛用来制造多种形状复杂的刀具（如成形铣刀、拉刀等）。

硬质合金的硬度和耐磨性均很高，热硬性可达 $850^{\circ}\text{C} \sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，硬质合金刀具的切削速度可比高速钢高 4~7 倍，是很重要的刀具材料。硬质合金是一种用碳化物粉末与钴粉末混合压形后烧结而成的粉末冶金材料，性脆，韧性差，故大都是制成简单形状的刀片再焊接在刀体上，或者用机械方法夹装在刀体上。不能用它取代高速钢来整体制造形状复杂的刀具，如齿轮刀具、拉刀等。目前常用的硬质合金刀片有两类：一类是钨钴类（YG 类），常用的有 YG8、YG6、YG3 等，后面数字表示钴粉含量的百分数，其余为碳化钨粉末的含量；另一类是钨钛钴类（YT 类），常用的有 YT5、YT15、YT30 等，后面数字表示碳化钛粉末的含量，其余为碳化钨粉末和钴粉末的含量。YG 类硬质合金的韧性较好，适于加工铸铁、青铜等脆性材料；YT 类硬质合金的耐热性较好，适于加工钢件。

3. 铸钢

铸钢主要用于制造形状复杂，具有一定强度、塑性和韧性的零件。碳是影响铸钢性能的主要元素，随着碳质量分数的增加，屈服强度和抗拉强度均增加，而且抗拉强度比屈服强度增加得更快，但当碳的质量分数大于 0.45% 时，屈服强度很少增加，而塑性、韧性却显著下降。所以，在生产中使用最多的是 ZG230—450、ZG270—500、ZG310—570 三种。铸钢的牌号、主要性能及用途如表 1-4 所示。

表 1-4 铸钢的牌号、主要性能及用途

类别	主要性能特点	牌号	用途举例
铸钢	低碳铸钢，韧性及塑性均好，但强度和硬度较低，低温冲击韧度大，脆性转变温度低，导磁、导电性能良好，焊接性好，但铸造性差	ZG200—400(ZG(15))	机座、电气吸盘、变速箱体等受力不大，但要求韧性好的零件
		ZG230—450(ZG(25))	用于载荷不大、韧性好的零件，如轴承盖、底板、阀体、箱体、侧架等
	中碳铸钢，有一定的韧性及塑性，强度和硬度较高，切削性能良好，焊接性尚可，铸造性能比低碳钢好	ZG270—500(ZG(35))	应用广泛，用于制作飞轮、车辆车钩、机架、水压机缸等
		ZG310—570(ZG(45))	用于重载荷零件，如联轴器、大齿轮、气缸、机架、制动轮等
	高碳铸钢，具有高强度、高硬度及高耐磨性，塑性、韧性低，铸造、焊接性均差，裂纹敏感性较大。	ZG340—640(ZG(55))	起重运输机齿轮、联轴器、齿轮、车轮、叉头

4. 铸铁

铸铁是碳含量分数大于 2.11%，并含有较多 Si、Mn、S、P 等元素的铁碳合金。铸铁的生产工艺和生产设备简单，价格便宜，具有许多优良的使用性能和工艺性能，所以应用非常广泛，是工程上最常用的金属材料之一。铸铁按照碳存在的形式可以分为：白口铸铁、灰口铸铁、麻口铸铁；按铸铁中石墨的形态可以分为：灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁。常见灰铸铁的牌号及其用途如表 1-5 所示。

表 1-5 常见灰铸铁的牌号及其用途

牌号	力学性能		用途举例
	σ_b /MPa	HBS	
HT100	130	110~166	适用于载荷小、对摩擦和磨损无特殊要求的不重要的零件，如防护罩、盖、油盘、手轮、支架、底板、重锤等
	100	93~140	
	90	87~131	
HT150	175	137~205	适用于承受中等载荷的零件，如机座、支架、箱体、刀架、床身、轴承座、工作台、带轮、阀体、飞轮、电动机座等
	145	119~179	
	130	110~166	
HT200	220	157~236	适用于承受较大载荷和要求一定气密性或耐腐蚀性等较重要的零件，如汽缸、齿轮、机座、飞轮、床身、汽缸体、活塞、齿轮箱、刹车轮、联轴器盘、中等压力阀体、泵体、液压缸、阀门等
	195	148~222	
	170	134~200	
HT250	270	175~262	
	240	164~247	
	220	157~236	

牌号	力学性能		用途举例
	σ_b /MPa	HBS	
HT300	290	182~272	适用于承受高载荷、耐磨和高气密性的重要零件,如重型机床、剪床、压力机、自动机床的床身、机座、机架、高压液压件、活塞环、齿轮、凸轮、车床卡盘、衬套、大型发动机的汽缸体、缸套、汽缸盖等
	250	168~251	
	230	161~241	

5. 钢铁材料的现场鉴别

(1) 火花鉴别

火花鉴别是将钢铁材料轻轻压在旋转的砂轮上打磨,观察迸射出的火花形状和颜色,以判断钢铁成分的方法。被测材料在砂轮上磨削时产生的全部火花称为火花束,常由根部、中部、尾部三部分组成,如图 1-4 所示。

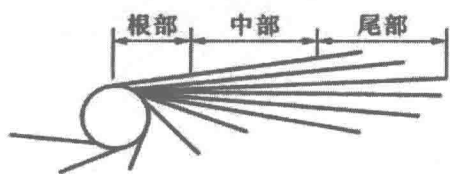


图 1-4 火花束

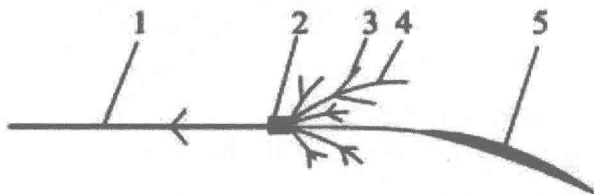
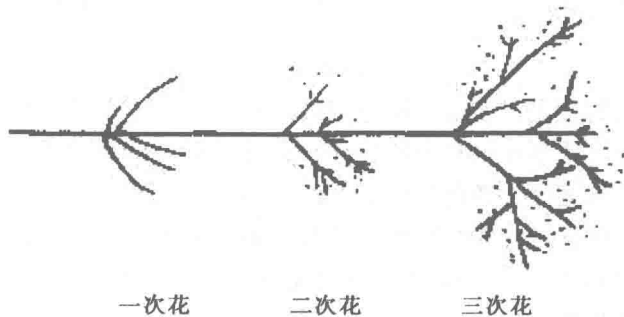


图 1-5 流线

1—流线；2—节点；3—芒线；4—爆花；5—尾花

火花束中由灼热发光的粉末形成的线条状火花称为流线,每条流线都由节点、爆花和尾花等组成,如图 1-5 所示。节点就是流线上火花爆裂的原点,呈明亮点。爆花就是节点处爆裂的火花,由许多小流线(芒线)及点状火花(花粉)组成,通常可分为一次、二次、三次等,如图 1-6 所示。尾花就是流线尾部的火花。钢的化学成分不同,尾花的形状也不同,通常尾花可分为狐尾花(含钨)和枪尖尾花(含钼)等。



一次花 二次花 三次花

图 1-6 爆花的形式

碳素钢的含碳量越高,则流线越多,火花束变短,爆花增加,花粉也增多,火花亮度增加,硬度越高,三种钢火花比较如图 1-7~图 1-9、表 1-6 所示。

表 1-6 20、45、T12 钢火花对比

钢铁名称	火花特征
20	火花束长，颜色橙黄带红，流线成弧形，芒线多叉，为一次爆花，如图 1-7 所示
45	火花束稍短，颜色橙黄，颜色较细长且多，芒线多叉，花粉较多，为二次爆花，如图 1-8 所示
T12	火花束短粗，颜色暗红，流线细密，碎花，花粉多，为多次爆花，如图 1-9 所示

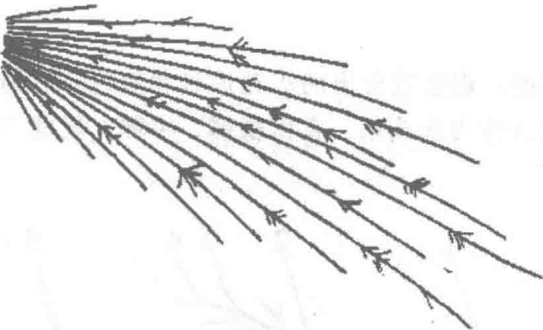


图 1-7 20 钢火花

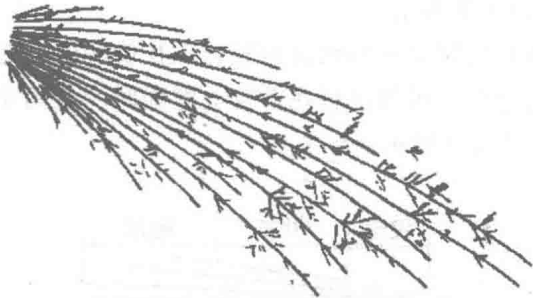


图 1-8 45 钢火花

铸铁的火花束较粗，颜色多为橙红带橘红，流线较多，尾部较粗，下垂成弧形，花粉较多，火花试验时手感较软，一般为二次爆花，HT200 火花特征如图 1-10 所示。

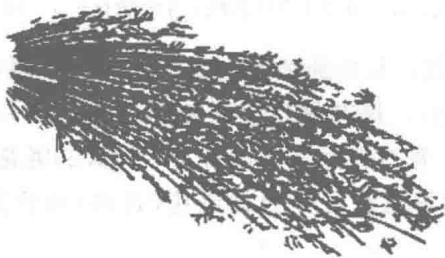


图 1-9 T12 钢火花

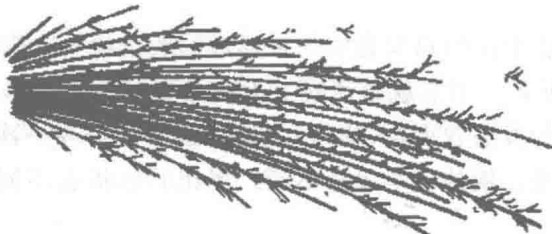


图 1-10 HT200 火花

(2)断口鉴别

材料或零部件因受某些物理、化学或机械因素的影响而导致破断所形成的自然表面称为断口。生产现场常根据断口的自然形态来断定材料的韧脆性，也可据此判定相同热处理状态的材料含碳量的高低。若断口呈纤维状、无金属光泽、颜色发暗、无结晶颗粒、且断口边缘有明显的塑性变形特征，则表明钢材具有良好的塑性和韧性，含碳量较低；若材料断口齐平、呈银灰色、具有明显的金属光泽和结晶颗粒，则表明材料金属脆性断裂；而过共析钢或合金钢经淬火及低温回火后，断口常呈亮灰色，具有绸缎光泽，类似于细瓷器断口特征。

(3)色标鉴别

生产中为了表明金属材料的牌号、规格等，在材料上需做一定的标记，常用的标记方法有涂色、打印、挂牌等。金属材料的涂色标志是以表示钢种、钢号的颜色，涂在材料一端的端面或外侧。成捆交货的钢应涂在同一端的端面上，盘条则涂在卷的外侧。具体的涂色方法在有关标准中做了详细的规定，生产中可以根据材料的色标对钢铁材料进行鉴别。

(4)声响鉴别

生产现场有时也采用敲击辨音来区分材料。例如，当原材料钢中混入铸铁材料时，由于铸铁的减振性较好，敲击时声音较低沉，而钢材敲击时则可发出较清脆的声音。我们可根据钢铁敲击时声音的不同，对其进行初步鉴别，但有时准确性不高。而当钢铁之间发生混淆时，因其声音比较接近，常采

用其他鉴别方法进行判别。

若要准确地鉴别材料，在以上几种生产现场鉴别的基础上，一般还可采用化学分析、金相检验、硬度试验等实验室分析手段对材料进行进一步的鉴别。

1.3 钢的热处理工艺

热处理是把钢件在固态下加热到一定的温度并进行保温后，以一定的冷却速度冷到室温，以改变钢的内部组织，从而获得所需性能的一种工艺方法。热处理的目的在于改善钢件的使用性能或工艺性能，不改变其形状和尺寸。常用的热处理工艺有淬火、回火、退火、正火和表面热处理等。

根据热处理工序的作用可分为预先热处理和最终热处理两大类。预先热处理包括退火和正火，一般安排在铸造、锻造、焊接之后，切削加工之前，目的在于消除前一工序所造成的某些缺陷，或改善切削加工性能，或为最终热处理作组织准备。最终热处理一般都安排在零件加工的后期，包括淬火、回火和表面热处理等，目的在于获得零件最后所需要的组织，使零件性能达到规定的技术指标。

1. 淬火

淬火是把钢件加热到 760℃~820℃(高碳钢约 760℃，中碳钢约 820℃)、保温后迅速冷却的热处理工艺。淬火后获得淬火组织，使钢件具有高的硬度和较好的耐磨性。

影响淬火质量的主要因素是淬火加热温度、冷却剂的冷却能力及零件投入冷却剂中的方式。一般情况下，常用非合金钢的加热温度取决于钢中碳含量。淬火保温时间主要根据零件的有效厚度来确定。零件进行淬火冷却所使用的介质叫做淬火介质。水最便宜且冷却能力较强，适合于尺寸不大、形状简单的碳素钢零件的淬火。油也是一种常用的淬火介质。早期采用动、植物油脂。目前工业上主要采用矿物油，如机油、柴油等，多用于合金钢的淬火。此外还必须注意零件浸入淬火冷却剂的方式。如果浸入方式不当，会使零件因冷却不均而导致硬度不均，产生较大的内应力，发生变形，甚至产生裂纹。

2. 回火

将淬火钢重新加热到某一温度、保温后在空气中或油中冷却的工艺称为回火。因为淬火组织脆性大，存在淬火内应力，若钢件淬火后直接磨削加工，容易出现裂纹，精密零件和工具在使用过程中易引起变形而失去精度，所以钢件经过淬火之后必须进行回火处理，以降低脆性和内应力，并获得具有不同要求的力学性能。回火分为低温回火、中温回火和高温回火三种，如表 1-7 所示。

表 1-7 回火的种类和应用

回火种类	回火温度	应用场合
低温回火	150℃~250℃	用于要求硬度高、耐磨性好的零件，如各类高碳工具钢、低合金工具钢制作的刃具，冷变形磨具、量具，滚珠轴承及表面淬火件等
中温回火	350℃~450℃	主要用于各类弹簧、热锻模具及某些要求较高强度的轴、轴套、刀杆的处理
高温回火	500℃~650℃	生产中通常把淬火加高温回火的处理称为调质处理。对于各种重要的结构件，特别是在交变载荷下工作的零件，如连杆、螺栓、齿轮、轴等都需经过调质处理后再使用

3. 退火

退火是把钢件放在炉中加热到一定的温度、保温以后进行缓慢冷却(通常随炉冷却)的热处理工艺。



退火态的组织基本上接近平衡组织。退火的主要目的是降低材料硬度,改善其切削加工性,细化材料内部晶粒,均匀组织及消除毛坯在成型(锻造、铸造、焊接)过程中所产生的内应力,为后续的机械加工和热处理做好准备。

根据退火的目的不同,最常用的有完全退火和去应力退火两种:完全退火简称退火,加热温度为 $800^{\circ}\text{C}\sim 900^{\circ}\text{C}$,适用于低、中碳钢件;去应力退火是将工件加热到 $500^{\circ}\text{C}\sim 650^{\circ}\text{C}$,保温1~3小时后随炉缓慢冷却到室温的低温退火,用于消除锻压件、焊件和铸铁件的内应力。消除铸铁件内应力的另一方法是自然稳定化处理(自然时效),将铸铁件在露天长期放置(数月乃至数年),使内应力缓慢松弛,从而使尺寸稳定。

4. 正火

把钢件在炉内加热到 $800^{\circ}\text{C}\sim 900^{\circ}\text{C}$ 、保温后在空气中冷却的热处理工艺称为正火。由于正火的冷却速度稍快于退火,经正火后的零件,其强度和硬度较退火零件要高,且操作简便,生产周期短,能量耗费少,故在可能的条件下,应优先考虑采用正火处理。但消除应力不如退火。正火主要用于以下几方面:

(1)对于要求不高的结构零件,可作最终热处理。正火可细化晶粒,正火后组织的力学性能较高。而大型或复杂零件淬火时,可能有开裂危险,所以正火可作为普通结构零件或大型、复杂零件的最终热处理。

(2)改善低碳钢和低碳合金钢的切削加工性。一般认为硬度在160~230 HBS范围内,金属的切削加工性好。硬度过高时,不但加工困难,刀具还易磨损;而硬度过低时切削容易“粘刀”,也使刀具发热和磨损,且加工零件表面粗糙度大。低碳钢和低碳合金钢退火后的硬度一般都在160 HBS以下,因而切削加工性不良。正火可以提高其硬度,改善切削加工性。

(3)消除过共析钢中的二次渗碳体,为球化退火作好组织准备。这是因为正火冷却速度较快,二次渗碳体来不及沿奥氏体晶界呈网状析出。

5. 表面热处理

当有些零件要求表面硬而耐磨、心部具有足够的韧度时,可采用表面热处理。表面热处理分为表面淬火和化学热处理两大类。

表面淬火是将工件表层淬硬、心部仍然保持未淬火状态的一种局部淬火。方法是通过快速加热使工件表层迅速达到淬火温度,然后立即喷水冷却,只使表层得到淬火。表面淬火以中碳钢和中碳合金钢为宜。含碳量过低,淬火层硬度就不高;含碳量过高,则表层易淬裂,且心部韧度不足。根据表面加热方法不同,可分为火焰表面淬火和高频感应加热表面淬火(如图1-11所示)。火焰加热表面淬火简单易行,但淬火层深度和加热温度不易掌握,容易过热,质量不稳定。高频感应加热淬火质量好,生产率高,适用于大量生产。

化学热处理是使零件表层渗入某些元素,以改变零件表层的化学成分和组织的热处理工艺。化学热处理可提高表面的硬度、耐磨性、耐腐蚀性、抗氧化性等。化学热处理有渗碳、氮化、碳氮共渗、渗铬和渗铝等,其中以渗碳应用最广。向钢制零件(如齿轮)表层渗入碳原子以提高表层含碳量的工艺称为渗碳。渗碳方法有固体渗碳法和气体渗碳法。气体渗碳如图1-12所示,用煤油或甲醛为渗碳剂,工件装入密闭的炉膛内,加热温度约 930°C ,保温3~8小时,煤油在炉内高温下分解产生活性碳原子,渗入工件表面层,渗碳层的含碳量可达0.85%~1.05%。渗碳以低碳钢和低碳合金钢为宜。渗碳后的零件经淬火和低温回火后,表层因含碳量高可获得高硬度(58~62HRC),心部因含碳量低仍保持着高的韧度。