

制造工程

训练

(第二版)

寇化瑜 / 主编



ZHIZAO GONGCHENG
XUNLIAN



电子科技大学出版社

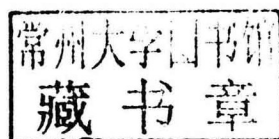
制造工程

训练 | (第二版)

寇化瑜 / 主编

ZHIZAO GONGCHENG

XUNLIAN



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

制造工程训练 / 寇化瑜主编. —成都: 电子科技大学出版社, 2012.6

ISBN 978-7-5647-1164-1

I. ①制… II. ①寇… III. ①机械制造工艺—高等学校—教学参考资料 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 114416 号

内 容 提 要

全书共 9 章。内容包括常规制造技术、板料成形技术、数控加工技术、特种加工技术以及实训实例和训练报告。

本教材在传授基本知识的同时,着重强化了工艺能力、操作技能的培养,特别加强了机箱机柜及面板的外观造型,数控加工、特种加工等数控工艺的编程、加工等方面的内容。

制造工程训练

寇化瑜 主编

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: 郭蜀燕

责任编辑: 杨仪玮

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 四川川印印刷有限公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 19.5 字数 500 千字

版 次: 2012 年 6 月第一版

印 次: 2012 年 6 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-1164-1

定 价: 38.00 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。

制造工程

ZHIZAO GONGCHENG
XUNLIAN BAOGAO

训练报告

(第二版)

学 院 _____

班 级 _____

姓 名 _____

学 号 _____

成 绩 _____

教师签名 _____

批改日期 _____

_____ 年 _____ 月 _____ 日



电子科技大学出版社

前 言

随着教育教学改革的逐渐深入,我国高等理工科教育的人才培养正由知识型向能力型转化,高等学校由主要重视知识传授向重视知识、能力、素质和创新思维综合发展的培养方向迈进。不少高校都对学生的工程实践教学进行了有益的探索。电子科技大学的制造工程训练课程在长期实践的基础上,用“模块串联”的实训方式,形成了多学科知识交叉融合、机电结合、开放型的实践教学体系。为进一步适应教育教学改革的新形势和课程改革的教学要求,以培养学生工程实践能力为目的,特编写了本教材。

全书分4篇共9章。每一篇即为一个实训教学模块。模块与模块相对独立,但又相互依托,逐块提高,使训练具有连贯性,获取知识的过程自然而连续,步步紧扣不断深入。学生对获取知识和技能有期待感,对自己的实训作品有期待感,提高了学生的学习兴趣,变被动学习为主动学习,从而也提升了工程训练的效果。

每篇即每个教学模块后都有实训实例,以串联本模块知识。“综合训练”实训实例以应用在整个训练课程中学到的知识和技能,自行设计制造装配一个小产品。从方案论证、材料选择、编制工艺到成本核算、性价比、编写产品使用说明书,让学生经历产品的完整生产过程,培养学生综合应用知识去分析问题和解决问题的能力。

本教材由寇化瑜主编。参与编写工作的有朱明、郭娟、熊寿林。

全书采用的参考文献列于书后并致谢意。

寇静琦和陈莉参与了部分文字整理和资料收集,在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,欢迎读者批评和指正。

编 者

2012年4月8日

目 录

第一篇 常规制造技术

第一章 工程材料及热处理.....	3
第一节 金属材料的性能.....	3
第二节 常用金属材料.....	8
第三节 钢的热处理.....	13
第二章 毛坯制造.....	17
第一节 铸造.....	17
第二节 锻压.....	33
第三节 焊接.....	37
第三章 切削加工.....	52
第一节 切削加工基本知识.....	52
第二节 车工.....	63
第三节 刨工、铣工和磨工.....	86
第四节 钳工.....	103
实训实例一.....	123

第二篇 板料成形技术

第四章 板料冲压.....	131
第一节 板料冲压的基本工序.....	131
第二节 数控冲压.....	133
第三节 机箱、机柜及面板制作的基本知识.....	139
第五章 注射成型.....	152
实训实例二.....	155

第三篇 数控加工技术

第六章 数控加工编程与操作.....	161
第一节 数控程序编制的概念.....	161
第二节 数控车削手工编程实例.....	180

第三节 Master CAM 数控车编程..... 183

第四节 数控车床操作..... 197

第五节 数控铣编程加工方案..... 203

第六节 数控铣床程序代码标准..... 205

第七节 MasterCAM 数控铣编程..... 209

第八节 FANUC 数控铣床的操作..... 221

第九节 加工中心基础知识..... 230

第十节 高速与超高速加工..... 233

实训实例三..... 242

第四篇 特种加工技术

第七章 电火花加工..... 249

第一节 电火花加工原理与特点..... 250

第二节 电火花成型加工的应用及必备条件..... 252

第三节 电火花成型加工工艺..... 253

第四节 电火花加工实例..... 260

第八章 数控线切割加工..... 262

第一节 电火花线切割加工原理与特点..... 263

第二节 零件的线切割加工工艺..... 264

第三节 编程方式指令..... 268

第九章 超声波加工和激光加工..... 272

实训实例四..... 273

实训实例五 综合训练..... 277

参考文献..... 281

附录 制造工程训练报告

第一篇 常规制造技术

常规制造技术主要包括工程材料及热处理、毛坯制造、普通切削加工。全篇内容用钟表榔头串联，通过对钟表榔头的选材、毛坯加工、车削加工、铣削加工、钳工、热处理等实际操作训练，掌握基本的材料选择原则以及基本的加工工艺，同时获得基本的操作技能。



第一章 工程材料及热处理

金属材料在工业中应用很广泛，也是制造机器的最主要材料。这是由于它具有良好的物理、机械性能和用较简便方法就能加工成零件的特性。

机器制造中所用的金属材料以合金为主，很少使用纯金属，原因是合金常比纯金属有更好的机械性能，而且成本较低。只有在为了满足机器上某些特定的如高导电、导热性能要求时，才考虑使用纯金属来制造零件。

合金是由两种以上的金属元素或金属与非金属元素相熔合的产物，具有金属的性质。最常用的合金有以铁为基础的铁碳合金，如碳素钢、合金钢、灰口铸铁等，还有以铜或铝为基础的铜合金和铝合金，如黄铜、青铜、硅铝明等。

为了经济合理地选用材料和正确进行铸造、锻压、焊接及切削加工，必须对常用金属材料的种类、特点和性能有所了解。

第一节 金属材料的性能

金属及合金的性能包括机械、物理、化学和工艺性能。

一、机械性能

金属材料的机械性能主要有弹性、塑性、强度、硬度、冲击韧性等。

1. 弹性

金属在外力的作用下，随着力的增加，可先后发生弹性变形、塑性变形，直至断裂。

通常利用室温下的静拉伸试验来研究金属材料的变形。首先将被测金属材料作为标准试棒，把它装在拉伸试验机上，并缓慢地对试棒施加载荷（外力），使试棒受轴向拉力。随着拉力的增加，试棒逐渐变形伸长，直至拉断（如图 1-1 所示）。在拉伸过程中，试验机自动记录了每一瞬间的载荷 P 和变形量（伸长量） ΔL ，并给出它们之间的关系（如图 1-2 所示），通常称为拉伸曲线。

金属材料受外力作用时产生变形，当外力去掉后能恢复其原来形状的性能，叫做弹性。当材料受外力作用时，其内部也产生了抵抗力，单位横截面积上的抵抗力就称为应力，以 σ 表示：

$$\sigma = P/F$$

式中， P ——外力（N）；

F ——横截面积（ m^2 ）；

σ ——应力（Pa）。

拉伸曲线中，外力不超过 P_e 时，外力与变形成正比，这时试棒只产生弹性变形。金属材料保持弹性变形时的最大应力，以 σ_e 表示：

$$\sigma_e = P_e / F_o$$

式中, P_e ——弹性变形极限载荷 (N);
 F_o ——试棒原始横截面积 (m);
 σ_e ——试棒产生弹性变形时的最大应力 (Pa)。

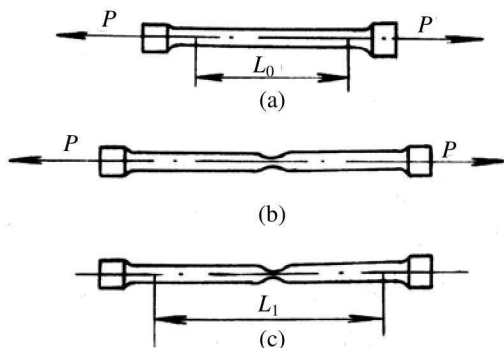


图 1-1 拉伸试棒

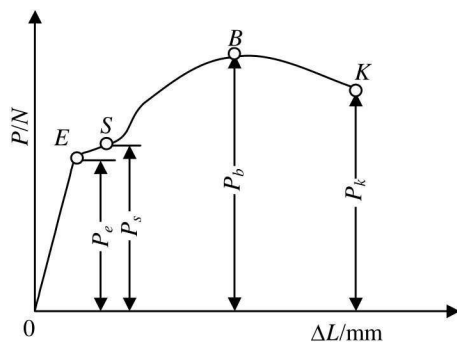


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

2. 塑性

金属材料在外力作用下, 产生永久变形而不致引起破坏的能力, 称为塑性。在外力消失后留下来的这部分不可恢复的变形, 称为塑性变形。当外力增大到 P_s 时, 在 S 点的曲线几乎呈水平线段, 这说明拉力虽不增加, 伸长却继续增加, 这种现象称为“屈服”。通常用屈服极限 (σ_s) 表示金属对开始发生微量塑性变形的抗力。塑性的指标常用延伸率 (δ) 或断面收缩率 (ψ) 表示, 即

屈服极限

$$\sigma_s = P_s / F_o$$

延伸率

$$\delta = \Delta L / L_0 = \frac{L_1 - L_0}{L_0} 100\%$$

断面收缩率

$$\psi = \frac{F_o - F_k}{F_o} 100\%$$

式中, P_s ——屈服极限载荷 (N);
 L_0 ——试棒原始长度 (mm);
 L_1 ——试棒拉断后的长度 (mm);
 F_k ——试棒拉断后断口处的截面积 (m²)。

ψ 、 δ 愈大, 表示材料的塑性愈好。良好的塑性是顺利进行压力加工的重要条件, 塑性差的材料在加工变形过程中容易开裂。

3. 强度

试样在受拉过程中, 从开始加载荷到断裂前所能承受的最大应力, 称为抗拉强度。

$$\sigma_b = P_b / F_o$$

式中, P_b ——试样在拉断前的最大载荷 (N);
 F_o ——试样原始横截面积 (m²);

σ_b ——抗拉强度 (Pa)。

抗拉强度是金属材料机械性能的重要指标，是设计和选材的主要依据之一。

外力增加到最大值 P_b 后，试棒某一部分开始变细，出现了“缩颈”（如图 1-1 (b) 所示），以后变形集中在缩颈附近。由于截面缩小，使试件继续变形所需的外力下降。外力达到 P_k 时，试棒在缩颈处断裂。

4. 硬度

金属材料表面抵抗外物压入的能力，称为硬度。测量硬度常用压入法：把淬硬的钢球或金刚石圆锥压入金属材料的表层，然后根据压痕的面积或深度来确定被测金属的硬度值。常用的硬度指标有布氏硬度和洛氏硬度两种。

(1) 布氏硬度

布氏硬度试验是用载荷为 P 的力，把直径为 D 的钢球压入金属表面（如图 1-3 所示），然后去除载荷，测量钢球在金属表面上所压出的圆形凹陷的直径 d ，据此计算压痕球面积 F ，求出每单位面积所受的力 P/F ，用以作为金属的硬度值，以符号 HB 表示。

$$HB = P / F = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中， P ——压力 (kgf)；

F ——压痕的面积 (mm²)；

D ——球体直径 (mm)；

d ——压痕平均直径 (mm)；

HB ——布氏硬度 (kgf/mm²)。

布氏硬度测量金属材料时，当试验压头为淬火钢球时，硬度符号为 HBS ，适用于布氏硬度值低于 450 的金属材料；当试验压头为硬质合金球时，硬度符号为 HBW ，适用于布氏硬度值为 450~650 的金属材料。

由于载荷和钢球直径是定值，所以测量时只要测出压痕的直径 d ，再根据直径查表，就可求出 HBS (HBW) 值。

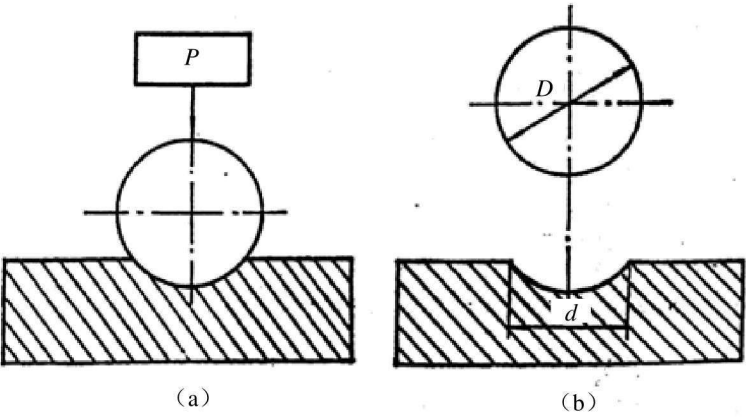


图 1-3 布氏硬度试验原理

(2) 洛氏硬度

洛氏硬度试验是用顶角 120° 的金刚石圆锥或直径 1.588mm 的钢球作压头，在初载荷 P_0

及总载荷（初载荷 P_0 + 主载荷 P_1 ）下分别作为下压头压入被测材料表面（如图 1-4（a）、图 1-4（b）所示），然后卸除主载荷，在初载荷下测量压痕深度残余增量 e ，计算硬度值（如图 1-4（c）所示）。试验时，可通过洛氏硬度计上的刻度盘直接读出洛氏硬度值。

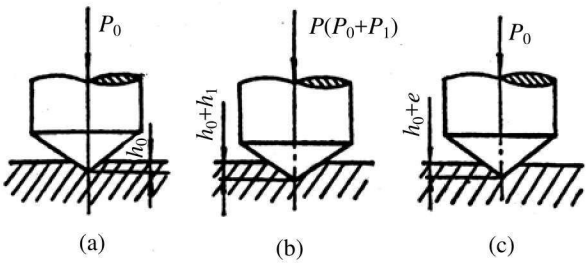


图 1-4 洛氏硬度试验原理

根据所用的压头和载荷不同，洛氏硬度有几种硬度标尺，常用的有 A、B、C 三种。洛氏硬度值用符号 HR 表示，符号后面加字母表示所使用的标尺，硬度值写在字母后面。例如，HRC70 表示用 C 标尺测定的洛氏硬度值为 70（如表 1-1 所示）。

表 1-1 三种洛氏硬度标尺的试验条件和应用范围

符号	压头	初载荷/kgf (N)	主载荷/kgf (N)	测量范围	应用范围
HRA	顶角 120° 的金刚石圆锥	10 (98.1)	50 (490.3)	60~85	硬质合金或表面处理过的零件等
HRB	直径 1.588mm 的钢球	10 (98.1)	90 (882.6)	26~100	退火钢、灰铸铁及有色金属等
HRC	顶角 120° 的金刚石圆锥	10 (98.1)	140 (1373)	20~67	淬火钢、调质钢等

三种标尺的硬度值 HRA 、 HRB 、 HRC 的计算公式如下：

$$HRA(HRC) = 100 - \frac{e}{0.002}$$

$$HRB = 130 - \frac{e}{0.002}$$

式中， e 为卸除主载荷后，在初载荷下的压痕深度残余增量（mm）。

洛氏硬度与布氏硬度可以利用查表的方法互相进行换算。

硬度试验方法简便易行、测量迅速，不需要特别试样，试验后零件不被破坏，因此在工业生产中应用十分广泛。

硬度也是机械性能的一项重要指标，可根据测得的硬度值估计出材料的耐磨性和近似抗拉强度。一般来说，硬度值较高的耐磨性能好。

由于硬度反映金属材料在局部范围内对塑性变形的抗力，故硬度与强度之间有一定的关系。对未淬硬的钢，就数值说，其大致关系为

$$\sigma_b \approx \frac{10}{3} HB$$

5. 冲击韧性

金属材料抵抗冲击载荷而不破坏的能力，称为冲击韧性。冲击韧性的测定是在冲击试验机上（如图 1-5 所示）用一定高度的摆锤将试样打断（如图 1-6 所示）。测出打断试样所需的冲击功 A_k (J)，再用试样断口处的截面积 F (cm²) 去除，所得的商即为冲击韧性值 a (J/cm²)，即

$$a_k = A_k / F$$

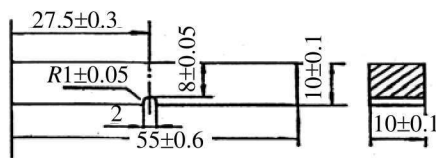


图 1-5 冲击试验

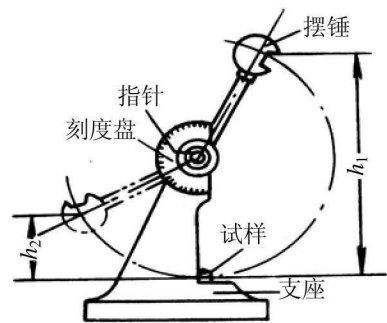


图 1-6 摆锤冲击试验

二、物理、化学性能

金属材料的物理性能有密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。

三、工艺性能

金属材料制成零件时，要经过铸造、锻压、焊接及切削加工等过程。

工艺性能往往是由物理性能、化学性能、机械性能综合作用所决定的，不能单用一个性能参数表示。金属材料的工艺性能主要有制造性能、焊接性能、热处理性能以及切削加工性能。材料工艺性能的优劣不仅影响产品的生产效率和成本，而且影响产品的质量。

在铸造生产中，要求选用铸造性能良好的金属，在熔化后浇注能顺利地充满型腔，减少甚至避免出现应力、变形、裂纹、缩孔和气孔等缺陷，获得力学性能优良、尺寸准确、轮廓清晰的铸件。

在锻造生产中，要求选用锻造性能良好的金属。要求金属加热后塑性好，变形抗力小，可锻温度范围宽，不易产生裂纹，从而获得高质量的锻件。

在焊接生产中，要求得到优质的焊接接头。这不仅要求选择合适的焊条，而且要求焊缝及其相邻部位不易产生应力和裂纹，焊缝中不易出现气孔、夹渣和其他焊接缺陷。

在热处理生产中，要求材料具有良好的热处理性能，以便材料热处理后能获得晶粒细小、组织均匀、性能优良的产品。

在车削、铣削和刨削等采用刀具的切削加工中，材料过硬（如淬火钢）、过软（如低碳钢）、过韧（如钛合金）都不好加工，只有硬度适中的材料（如铸铁、中碳钢、易切钢）才较好加工；而对于磨削，只有采用砂轮加工才能解决高硬度材料的加工问题。切削加工工艺性好的材料，加工时切削抗力小，切屑容易从工件上脱落并容易清理，不但加工效率高，刀具寿命长，而且表面质量好。

第二节 常用金属材料

工业用的金属材料分为两大类：一类是黑色金属，即钢和铸铁；另一类是有色金属，即钢铁以外的金属材料如铜、铝及其合金。含碳量小于 2.11% 的铁碳合金称为钢，又称碳素钢；含碳量大于 2.11% 的铁碳合金称为铸铁。

一、碳素钢

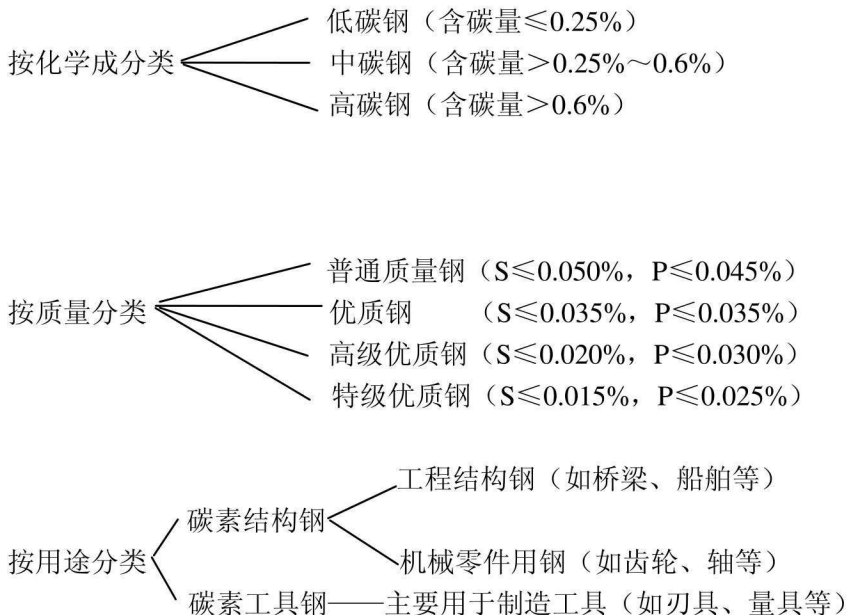
碳素钢的含碳量小于 1%，随着含碳量的增加，钢的强度、硬度增加，塑性、韧性降低。但当含碳量大于 1% 时，随含碳量的增加，钢的强度开始下降，塑性、韧性也降低，所以工业上应用的碳素钢的含碳量一般不大于 1.4%。

碳素钢中除含铁、碳两种主要元素外，还有少量的硅（Si）、锰（Mn）、硫（S）、磷（P）等。

其中，S 和 P 是有害杂质，可使钢的性能变脆，而 Si 和 Mn 有降低钢的脆性、提高钢的强度的作用。

1. 碳素钢的分类

碳素钢主要有以下几种分类方法：



2. 碳素钢的编号、性能及用途

我国的钢材编号采用国际化学符号、汉语拼音字母和阿拉伯数字相结合的方法表示。下面介绍几种常用钢材的编号。

(1) 碳素结构钢

这类钢的编号由代表屈服点的字母 Q、屈服点数值、质量等级符号、脱氧方法符号 4 个部分按顺序组成。钢的质量等级分为 4 级，用字母 A、B、C、D 表示。其中 A 级钢的硫

含量不大于 0.05%，磷含量不大于 0.045%；B 级钢的硫、磷含量均不大于 0.045%；C 级钢的硫、磷均不大于 0.040%；D 级钢的硫磷含量均不大于 0.035%。沸腾钢在钢的编号尾部加“F”，半镇静钢在钢的编号尾部加“b”，镇静钢不加字母。

普通碳素结构钢塑性好，有一定的强度，通常轧制成钢板、钢筋、钢管等，可作桥梁、建筑物等的构件用，也可制成普通螺钉、螺帽、铆钉等。

碳素结构钢一般情况下在热轧状态使用，不再进行热处理。

(2) 优质碳素结构钢

钢的编号为两位阿拉伯数字，表示平均含碳量（以万分之几计），若平均含碳量小于千分之一，则数字前补零。钢中含锰量较高（0.70%~1.00%）时，在数字后加锰元素符号“Mn”。沸腾钢、半镇静钢以及专门用途的优质碳素结构钢，应在编号中特别标出。如锅炉钢在编号尾部加“g”，压力容器用钢在编号尾部加“R”，焊条用钢在编号头部加“H”。

08、10、15、20、25 号钢含碳量低、强度小而塑性好，易于冲压与焊接，常制成薄钢板，用做冲压件和焊接件，还可用来制造渗碳的零件。

30、35、40、45、50 号钢含碳量适中，综合机械性能和切削加工性能均较好，可用于制造齿轮、轴等零件。其中以 40、45 号钢应用最广。

55、60、65、70 号钢含碳量较高，淬火后有较高的强度、弹性和耐磨性，主要用于制造凸轮、板弹簧、螺旋弹簧和钢丝绳等。

(3) 碳素工具钢

在编号头部用“T”表示碳素工具钢，其后跟阿拉伯数字，表示平均含碳量（以千分之几计）。钢中含锰量较高时，在数字后加元素符号“Mn”，若为高级优质碳素工具钢，则在编号尾部加“A”。

此类钢含碳量在 0.7%以上，淬火和低温回火后有很高的硬度和耐磨性。

碳素工具钢有 T7、T8、T9…T13 等。钢号增大，含碳量增加，钢的强度、硬度及耐磨性提高，塑性、韧性降低。一般 T7、T8 用于制造中等硬度、韧性较高的工具，如冲头、铰子等工具；T9~T11 用于制造高硬度、中等韧性的工具，如丝锥、钻头等；T12、T13 具有高的硬度和耐磨性，但韧性差，用于制造量具、锉刀等。

二、合金钢

为了提高钢的性能，有意识地在钢中加入一些合金元素，这种钢就称为合金钢。合金钢的品种繁多，常按用途将其分为三大类：合金结构钢、合金工具钢、特殊性能钢。

1. 合金结构钢

这类钢的编号采用“两位数字+化学元素符号+数字”的方法表示。编号头部的两位数字表示平均含碳量（以万分之几计），化学元素符号表示钢中所含的合金元素，紧跟元素符号后面的数字表示该合金元素平均含量（以百分之几计）。若合金元素的平均含量小于 1.50%，则含量一般不予标出；若合金元素的平均含量为 1.50%~2.49%、2.50%~3.49%、3.50%~4.49%…则相应地标以 2、3、4…若为高级优质合金结构钢，则在编号尾部加“A”。

采用合金结构钢来制造各类重要机械零件，除了它们有较高的强度或较好的韧性外，还在于合金元素的加入改善了钢的热处理性能，增大了钢的淬硬层深度，因此，为充分发挥合

金元素的作用，使用合金结构钢一般都要经过热处理。

2. 合金工具钢

这类钢的编号采用“数字（或无数字）+化学元素符号+数字”的方法表示。编号头部的数字表示钢中平均含碳量（以千分之几计），当含碳量 $\geq 1.00\%$ 时不标出。化学元素符号及随后的数字含义和合金结构钢相同。

合金工具钢按用途可分为刃具钢、量具钢、模具钢。

合金工具钢淬火易得到深度的淬硬层，变形小，工作温度在 350°C 以下能保持高的硬度和耐磨性，所以合金工具钢多用来制造形状复杂、精度要求较高、尺寸变化小的各种模具、较低速刀具和量具等。

常用来制造刀具的合金工具钢有 9SiCr、9Mn2、9Mn2V、CrWMn 等，它们都是合金元素含量在 $3\%\sim 5\%$ 以下的低合金工具钢。

常用来制造冷冲模的合金工具钢有 Cr12、Cr12W、Cr12MoV 等。

高精度的塞规和精密量具如块规等用 CrMn、CrWMn、GCr15 等合金工具钢制造。

3. 特殊性能钢

这类钢的编号方法基本上和合金工具钢相同。编号头部的数字表示平均含碳量（以千分之几计），一般用一位数字表示。若平均含碳量小于千分之一，则用“0”表示；若平均含碳量 $\leq 0.03\%$ ，则用“00”表示。

钢中加入其他合金元素达到一定程度后，钢的组织 and 性能将发生某种特殊变化，从而获得具有特殊性能的合金钢，如不锈钢、磁钢等。

不锈钢具有抵抗空气、水、酸、碱等介质腐蚀作用的能力。不锈钢含有较高的铬和镍，且含碳量较低，有铬不锈钢和铬镍不锈钢两类。铬镍不锈钢的主要编号有 0Cr18Ni9、1Cr18Ni9、0Cr18Ni9Ti 和 1Cr18Ni9Ti 等，无磁性、耐蚀性、塑性和韧性均较好。

软磁钢含硅 $3\%\sim 4.5\%$ ，含碳量则很低，具有高的磁导率，常以片状制造变压器、电机等的铁芯，即所谓的硅钢片。

表 1-2 是部分常用钢材的编号举例。

表 1-2 常用钢材编号示例

类别	牌号	解释
碳素结构钢	Q215—A	屈服点为 215MPa 的 A 级镇静钢
	Q235—A.F	屈服点为 235MPa 的 A 级沸腾钢
优质碳素结构钢	08F	平均含碳量为 0.08% 的沸腾钢
	20g	平均含碳量为 0.20% 的锅炉钢
	45	平均含碳量为 0.45% 的优质碳素结构钢
碳素工具钢	T8	平均含碳量为 0.8% 的碳素工具钢
	T10A	平均含碳量为 1.0% 的高级优质碳素工具钢
合金结构钢	16Mn	平均含碳量为 0.16%、平均含锰量小于 1.50% 的低合金结构钢
	40Cr	平均含碳量为 0.40%、平均含铬量小于 1.50% 的合金结构钢
	60Si2MnA	平均含碳量为 0.60%、平均含硅量 2%，平均含锰量小于 1.50% 的高级优质合金结构钢