



渗碳温度低，时间短。中温气体碳氮共渗温度一般为 $820\sim 870^{\circ}\text{C}$ ，保温 $1\sim 2\text{h}$ 后共渗层可达 $0.2\sim 0.5\text{mm}$ ；共渗后需进行淬火和低温回火，以提高表面硬度和耐磨性。与渗碳相比，碳氮共渗温度低，所需时间短，生产效率高，工件变形小，表面具有更高的硬度、疲劳强度和耐磨性。中温气体碳氮共渗主要用于形状复杂，要求变形小的小型耐磨件，如汽车和机床上的各种齿轮等。

低温气体碳氮共渗以渗氮为主，又称软氮化，共渗温度一般为 $500\sim 570^{\circ}\text{C}$ ，共渗时间为 $1\sim 6\text{h}$ ；共渗后快速冷却，可提高零件的耐磨性、疲劳强度和抗咬合性。低温气体碳氮共渗主要用于硬化层要求薄、载荷小，但变形要求严格的各种耐磨件和刀具、量具、模具。

1.4 常用钢铁材料

试讲开始

钢铁材料是生产中应用最为广泛的金属材料，主要是指以铁为基的合金，包括钢和铸铁。按化学成分，钢可分为碳素钢（简称碳钢）和合金钢。碳钢是含碳量（质量分数）在 $0.0218\%\sim 2.11\%$ 之间的铁碳合金，价格低，工艺性能较好；不足之处是强度低，淬透性和热硬性差，仅能满足一般零件和工模具的使用要求。合金钢是在碳钢的基础上特意地加入某些合金元素，使其使用性能和工艺性能得以提高的铁基合金，品种多，应用更为广泛。铸铁是含碳量（质量分数）大于 2.11% ，并含有少量硅、锰、硫、磷等元素的铁碳合金，是历史上使用得较早的材料。

这里重点介绍碳钢和合金钢的分类、成分、性能特点及应用，铸铁和铸钢详见第 2 章内容。

1.4.1 钢的分类及编号方法

钢的种类繁多，为便于生产、研究、使用和管理，需对其分类和编号。根据国家标准《钢分类》（GB/T 13304—2008）和《钢铁产品牌号表示方法》（GB/T 221—2008），并考虑常用的钢分类和编号方法综述如下。

1) 按化学成分分，可分为非合金钢、低合金钢和合金钢三大类。按钢中碳的含量（质量分数）又可分为低碳钢（ $w_{\text{C}} < 0.25\%$ ）、中碳钢（ $w_{\text{C}} = 0.25\% \sim 0.60\%$ ）和高碳钢（ $w_{\text{C}} > 0.6\%$ ）。

2) 按冶金质量分，可分为普通质量钢（ $w_{\text{S}} \leq 0.050\%$ ， $w_{\text{P}} \leq 0.045\%$ ）、优质钢（ $w_{\text{S}} \leq 0.040\%$ ， $w_{\text{P}} \leq 0.040\%$ ）、高级优质钢（ $w_{\text{S}} \leq 0.030\%$ ， $w_{\text{P}} \leq 0.035\%$ ）和特级优质钢（ $w_{\text{S}} \leq 0.015\%$ ， $w_{\text{P}} \leq 0.025\%$ ）。含硫、磷量越少，钢的质量越好。

3) 按用途分，可分为结构钢、工具钢和特殊性能钢。

1. 碳钢的分类和编号方法

碳钢为非合金钢，按用途可分为碳素结构钢、优质碳素结构钢和碳素工具钢。

(1) 碳素结构钢 碳素结构钢的牌号由“Q+数字+质量等级符号+脱氧方法符号”组成。牌号中，“Q”表示“屈”字汉语拼音的首字母，数字代表钢的屈服强度值，质量等级用符号 A、B、C、D、E 表示钢中含硫、磷量依次降低，而质量依次提高；脱氧方法用符号 F、Z 分别表示沸腾钢、镇静钢。例如，Q235AF 表示屈服强度为 235MPa 的 A 级沸腾钢。



(2) 优质碳素结构钢 优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示。两位数字表示钢中平均含碳量（质量分数）的万倍。若钢中锰含量较高（ $w_{\text{Mn}} = 0.70\% \sim 1.2\%$ ），应在钢号后将锰元素标出，如 15Mn、45Mn、65Mn。

(3) 碳素工具钢 碳素工具钢的牌号用“T+数字(+A)”表示。牌号中，“T”为“碳”字汉语拼音的第一个字母，数字代表钢的平均含碳量（质量分数）的千倍；在数字后面有字母“A”时，表示为高级优质碳素工具钢；若钢中锰含量较高，应在钢号后将锰元素标出，如 T8MnA。

2. 合金钢的分类和编号方法

按钢中含合金元素的总量（指质量分数，下同），合金钢分为低合金钢（合金元素总量低于 5%）、中合金钢（合金元素总量为 5%~10%）、高合金钢（合金元素总量高于 10%）。按用途，合金钢可分为合金结构钢、合金工具钢和特殊性能钢。

(1) 合金结构钢 合金结构钢的牌号用“两位数字+合金元素符号+数字(+A)”表示。牌号中，前面两位数字表示钢中平均含碳量（质量分数）的万倍；合金元素符号后的数字表示该元素平均含量（质量分数）的百倍；若为高级优质钢，在牌号末尾加 A。

当合金元素的平均含量（质量分数）小于 1.5% 时，钢号中一般只标出元素符号，不标明含量；当合金元素的平均含量（质量分数）为 1.50%~2.49%、2.50%~3.49%、3.50%~4.49%…则在元素符号后面相应地标以 2、3、4、…；若为高级优质钢、特级优质钢，在其钢号后加符号“A”、“E”，以区别于一般优质钢。

(2) 低合金高强度结构钢 低合金高强度结构钢牌号用“Q+规定的最小上屈服强度值+交货状态代号+质量等级符号（B、C、D、E）”表示。例如，Q355ND，“Q”表示“屈”字汉语拼音的首字母，355 表示规定的最小上屈服强度值为 355MPa，N 表示交货状态为正火或正火轧制，D 表示质量等级为 D 级。

(3) 滚动轴承钢 滚动轴承钢的牌号用“G+Cr+数字+其他合金元素符号”表示。牌号中，字母“G”为“滚”字汉语拼音字头，表示为滚动轴承钢类，高碳铬轴承钢的含碳量不标出，Cr 元素符号后面的数字表示平均含铬量（质量分数）的千倍。例如，GCr15 表示平均含铬量（质量分数）为 1.5% 的滚动轴承钢。

(4) 合金工具钢 合金工具钢的牌号用“一位数字+合金元素符号+数字”表示。牌号中，当 $w_{\text{C}} < 1.0\%$ 时，用一位数字表示钢中平均含碳量的千倍，如 9SiCr 的平均含碳量为 0.90%；当 $w_{\text{C}} \geq 1.0\%$ 时，含碳量不标出，如 CrWMn；合金元素符号后的数字表示该元素平均含量（质量分数）的百倍。

(5) 不锈钢和耐热钢 不锈钢和耐热钢用规定的化学元素符号和表示各元素含量的阿拉伯数字表示。用两位或三位数字表示碳含量最佳控制值，只规定碳含量上限的，当 $w_{\text{C}} \leq 0.1\%$ ，以上限值的 3/4 表示碳含量，否则以 4/5 表示碳含量。规定碳含量上、下限的，以平均含碳量乘以 100 表示。合金元素含量以元素符号及阿拉伯数字表示。合金元素符号后的数字表示该元素平均含量（质量分数）的百倍；例如，20Cr13 不锈钢的平均含碳量为 0.20%，含铬量为 13%；06Cr19Ni10 不锈钢的含碳量小于 0.1%，平均含铬量为 18%~20%、平均含镍量为 8%~10%。

1.4.2 结构钢

用于制作各种工程构件和机器零件的钢，统称为结构钢。按化学成分，可分为碳素结构



钢、优质碳素结构钢、合金结构钢。合金结构钢是在优质碳素结构钢的基础上特意地加入一些合金元素而制成的钢种，合金元素总量（质量分数）一般不大于5%，常用于制作重要的工程结构件和机器零件，包括低合金高强度结构钢、合金渗碳钢、合金调质钢、合金弹簧钢和滚动轴承钢。

碳素结构钢容易冶炼，工艺性好，价格低，但含硫、磷量较高，可满足一般工程构件和机械零件的要求，应用广泛。这类钢一般在热轧正火态（交货状态）下使用，不经热处理。

碳素结构钢中含碳量低，按强度等级分类，等级越高，塑性越低。级别较低的 Q195、Q215 和 Q235，塑性好，有一定强度，可制造受力不大的零件，如螺钉、螺母、垫圈、焊接件、冲压件及建筑构件等，其中以 Q235 钢应用最广泛。级别高的 Q275，强度较高，可代替 30、40 钢制作承受中等载荷的零件，如小轴、销子、连杆、农机零件等，降低成本。

优质碳素结构钢中 S、P 含量较低，比碳素结构钢的力学性能好，经适当热处理后，可用于制造各种机械零件。钢中的碳含量不同，适用范围有所差别。

低碳成分的优质碳素结构钢强度低，塑性和韧性好，具有良好的冷冲压性能和焊接性能。其中，08、08F、10、10F 钢等，主要用于制作冷冲压件、焊接件，如仪器仪表外壳、汽车车身等；15、20、25 钢等，常用于制作受力不大但要求具有高韧性的机械零件或结构件，以及心部强度要求不高的渗碳零件，如齿轮、销子等。

中碳成分的优质碳素结构钢，如 30、35、40、45、50、55 钢，经调质处理后具有良好的综合力学性能，用于制作要求强度和韧性都较高的零件，如轴类、连杆类。对于要求表面具有高耐磨性的零件，应在调质后再经“表面淬火+低温回火”处理。这类钢在机械制造中应用最广泛，其中以 45 钢应用最广。

高碳成分的优质碳素结构钢，如 60、65、70、65Mn 钢，经“淬火+中温回火”处理后，具有较高的强度、硬度和弹性，一定的耐磨性，主要用于制作弹簧、垫圈等弹性元件和耐磨零件。

1. 低合金高强度结构钢

低合金高强度结构钢主要用于制作在大气和海洋中工作的大型焊接结构件，如建筑、桥梁、车辆、船舶、输油和输气管道、压力容器及其他钢结构。性能要求具有高的强度（一般屈服强度值不低于 300MPa），良好的塑性、韧性、冲压性能和焊接性能，低的韧脆转变温度和良好的耐蚀性。

低合金高强度结构钢的含碳量（质量分数）低（一般不大于 0.2%），以保证使用性能要求；合金元素含量（质量分数）总和一般不大于 2.5%，以 Mn 元素为主，产生固溶强化；加入少量 Ti、V、Nb、Re 等，以细化晶粒，提高强韧性。

低合金高强度结构钢以屈服强度等级分类，共有 8 个等级：Q355、Q390、Q420、Q460、Q500、Q550、Q620、Q690。一般在热轧空冷的供货状态下使用，必要时可进行正火处理。

2. 合金渗碳钢

合金渗碳钢指经过渗碳热处理后使用的低碳合金结构钢，主要用于制作承受交变载荷，并在冲击载荷和严重摩擦磨损条件下工作的零件，如汽车变速器和重型机床变速箱的齿轮、活塞销、内燃机的凸轮轴等。这类零件要求表面具有高的硬度和耐磨性，而心部具有良好的



韧性和足够的强度以承受冲击。一般渗碳件表面渗碳层淬火后硬度大于等于 58HRC, 心部达 30~45HRC。

合金渗碳钢的含碳量一般为 $w_c = 0.15\% \sim 0.25\%$, 属于低碳, 以保证零件心部良好的塑性和韧性; 主要合金元素为 Cr、Ni、Mn、B, 起固溶强化和提高淬透性的作用; 微量元素 V、Ti、W、Mo 的加入, 可防止渗碳时过热, 细化晶粒, 提高耐磨性; 热处理工艺一般采用表面渗碳后直接淬火, 再低温回火。

典型牌号及用途:

(1) 低淬透性渗碳钢 如 15、20、20Cr 钢, 经渗碳淬火后, 心部强韧性较低, 适于制作尺寸和冲击载荷较小的耐磨零件, 如活塞销、凸轮、滑块、小齿轮等。

(2) 中淬透性渗碳钢 常用牌号有 20CrMnTi、20SiMnVB, 主要用于制作承受中等载荷、要求足够冲击韧性和耐磨性的汽车变速器和拖拉机变速箱的齿轮、轴类等零件。

(3) 高淬透性渗碳钢 常用牌号有 18Cr2Ni4WA、20Cr2Ni4A, 主要用于制作大截面、高负荷的重要耐磨件, 如飞机、坦克的曲轴、大模数齿轮等。

应用举例: 用 20CrMnTi 钢制造汽车变速器齿轮, 常用的加工工艺路线为下料→锻造→正火→粗、半精加工→渗碳、淬火+低温回火→喷丸处理→加工花键→磨削加工。

预备热处理采用正火, 目的是改善锻造组织, 提高硬度, 改善切削加工性。

最终热处理采用渗碳, 直接淬火, 再低温回火。渗碳使齿面含碳量增加, 心部仍保持低碳。淬火后, 齿面硬度可达 58~64HRC, 满足高的硬度和耐磨性要求, 而心部保持较低的硬度 (30~42HRC)、足够的强度和良好的韧性; 最后, 低温回火消除淬火应力, 稳定组织。

3. 合金调质钢

合金调质钢指经过调质处理后使用的中碳合金结构钢, 广泛用于制作受力较复杂的重要零件, 如机床主轴、火车发动机曲轴、汽车后桥半轴等轴类零件, 以及连杆、螺栓、齿轮等。调质件受力复杂, 要求具有良好的综合力学性能, 即高的强度、良好的塑性和韧性; 此外, 还要求具有高的淬透性。

合金调质钢的含碳量为 $w_c = 0.25\% \sim 0.5\%$, 属于中碳, 保证热处理后具有高的强度和良好的韧性; 主要加入 Cr、Ni、Mn、Si 等合金元素, 起到固溶强化和提高淬透性的作用。

合金调质钢的预备热处理通常采用完全退火或正火, 最终热处理为调质处理, 可获得回火索氏体组织, 使钢件具有良好的综合力学性能。对于除要求良好综合力学性能外, 还要求表面具有高的硬度和耐磨性的零件, 调质处理后还需进行表面淬火和低温回火。

典型牌号及用途:

(1) 低淬透性调质钢 常用牌号有 40Cr、40MnB、40MnVB 等, 广泛用于制作一般尺寸的重要零件, 如连杆、螺栓、机床主轴和齿轮等。

(2) 中淬透性调质钢 常用牌号有 38CrMoAlA、40CrMn、42CrMo 等, 主要用于制作截面较大、承受较重载荷的零件, 如内燃机曲轴、连杆、变速器的主动轴等。

(3) 高淬透性调质钢 多半为铬镍钢, 如 40CrNiMoA。铬与镍适当配合, 可大大提高淬透性, 并能获得优良的综合力学性能, 用于制作大截面、承受重负荷的重要零件, 如汽轮机主轴、压力机曲轴、航空发动机曲轴等。

应用举例: 用 40Cr 制作拖拉机的连杆或螺栓, 常用的加工工艺路线为下料→锻造→退



火或正火→粗加工→调质处理→精加工→装配。

预备热处理采用退火或正火，可改善锻造组织，细化晶粒，调整硬度，便于切削加工，并为淬火做好组织准备。最终热处理为调质处理，即先在 830℃ 加热保温后油淬，再加热到 525℃ 高温回火水冷（防止回火脆性），使用状态组织为回火索氏体，具有良好的综合力学性能。

若采用 40Cr 钢制造机床齿轮时，齿面要求高的硬度和耐磨性，工艺流程一般为：下料→锻造→正火→机加工→调质处理→精加工→齿面表面淬火+低温回火→磨削。

4. 合金弹簧钢

合金弹簧钢是用于制作弹簧等弹性零件的合金结构钢。弹簧是机器、车辆和仪表中的重要零件，主要在交变载荷下工作并承受冲击、振动，起到缓冲和减振作用，要求具有高的弹性极限和屈强比，高的疲劳强度，足够的塑性和韧性。

合金弹簧钢的含碳量一般为 $w_c = 0.5\% \sim 0.7\%$ 。若碳含量过高，钢的塑性和韧性降低，疲劳极限也降低。主要加入合金元素 Mn、Si，以提高淬透性，提高强度和屈强比。常用牌号有 60Si2Mn、50CrVA 等。

合金弹簧钢的热处理采用“淬火+中温回火”，可获得回火屈氏体，硬度在 42~48HRC，具有高的弹性极限、屈强比和足够的韧性。

根据加工成形的不同，弹簧可分为热成形弹簧和冷成形弹簧。一般，截面尺寸大于 10mm 或形状复杂的弹簧（如汽车、拖拉机、火车的板簧等）采用热成形方法；截面尺寸小于 10mm 的弹簧采用冷成形方法，其热处理工艺有所不同。

（1）热成形弹簧 这类弹簧多用热轧钢丝或钢板，采用热态成形，成形后利用余热进行淬火，再进行中温回火，使弹簧具有高的弹性极限和疲劳强度。例如，用 60Si2Mn 制造汽车板簧的加工工艺路线一般为：下料→加热压弯成形→淬火+中温回火→喷丸处理。

弹簧在热处理后常进行喷丸处理，使其表面产生残余压应力状态，可进一步提高疲劳强度，延长使用寿命。如板簧经喷丸处理，使用寿命提高 5~6 倍。

（2）冷成形弹簧 这类弹簧用铅浴索氏体化处理的冷拉钢丝或油淬回火钢丝冷圈成形。成形后只需进行去应力退火处理（250~300℃，保温 1h），以消除内应力，稳定尺寸。由于冷拉过程中会产生加工硬化，弹簧的强度大大提高。

5. 滚动轴承钢

滚动轴承钢用于制作各类滚动轴承的内、外套圈和滚动体（滚珠、滚针、滚柱）等，属于专用结构钢。滚动轴承在周期性交变载荷的作用下工作，应具有高的接触疲劳强度，高而均匀的硬度和耐磨性，足够的韧性和良好的淬透性，同时还应具有一定的耐蚀性和良好的尺寸稳定性。

按化学成分特点，滚动轴承钢可分为高碳铬轴承钢和高碳无铬轴承钢两大类。

（1）高碳铬轴承钢 高碳铬轴承钢的含碳量一般为 $w_c = 0.95\% \sim 1.15\%$ ，保证形成足够的铬碳化物强化相，提高强度、硬度及耐磨性。合金元素以 Cr 为主，提高淬透性和接触疲劳强度，细化晶粒。对大尺寸轴承，加入 Si、Mn 以进一步提高淬透性。常用牌号有 GCr15、GCr15SiMn。GCr15 用于制作中、小型轴承，GCr15SiMn 主要用于制作大型轴承零件。

从化学成分看，滚动轴承钢属于工具钢范畴，也常用于制作各种精密量具、冲压模具、丝杠、冷轧辊和高精度的轴类等耐磨零件。



(2) 高碳无铬轴承钢 为节省铬,在高碳钢中加入 Mo、V 而得到无铬轴承钢,常用牌号有 GMnMoVRe、GSiMnMoV 等,其性能与 GCr15 相近。

滚动轴承钢的热处理采用球化退火、淬火和低温回火。其中,球化退火作为预备热处理,获得球状珠光体,可细化组织,降低硬度 ($<210\text{HBW}$),改善可加工性,并为后续淬火做好组织准备;淬火和低温回火作为最终热处理,是决定滚动轴承钢力学性能的重要热处理工序。例如, GCr15 钢的淬火温度应严格控制在 $840\pm 10^{\circ}\text{C}$,回火温度一般在 $150\sim 160^{\circ}\text{C}$,可获得“回火马氏体+细小颗粒状碳化物+少量残留奥氏体”组织,具有高的硬度疲劳强度和良好的耐磨性,并可消除淬火应力。对精密轴承零件,为了将残留奥氏体量降低到最低程度,提高尺寸稳定性,常采用淬火后冷处理,并进行时效处理。

1.4.3 工具钢

工具钢是用来制作各种刀具、模具和量具的钢种,按化学成分分为碳素工具钢、低合金工具钢、高合金工具钢等。按用途分为刃具钢、模具钢和量具钢,但实际应用界限并非绝对。

1. 刃具钢

刃具钢主要用于制作各种切削加工用刀具,如车刀、刨刀、铣刀、钻头、铰刀、锯条等。切削刀具的种类繁多,根据其工作条件,要求刃具钢应具备的基本性能是:

- 1) 高的硬度。金属切削刀具的硬度一般在 60HRC 以上。
- 2) 高的耐磨性。一般情况,硬度越高,耐磨性越好,但钢的耐磨性还与钢中碳化物的性质、数量、大小和分布有关。细小弥散分布在基体上的碳化物,可提高钢的耐磨性。
- 3) 高的热硬性。热硬性是指刃具钢在高温下保持高硬度的能力,是衡量刃具钢使用性能的重要指标。在切削加工过程中,刀具刃部温度有时可高达 600°C 以上。
- 4) 足够的强度和韧性。为防止刀具折断或崩刃,刀具应具有足够的强度和韧性。

(1) 碳素工具钢 含碳量为 $w_{\text{C}}=0.65\%\sim 1.35\%$,属于高碳,具有高的硬度和良好的耐磨性。

碳素工具钢成本低,加工工艺性好,但热硬性差,刃部工作温度不能超过 200°C ;淬透性低,尺寸大的不能淬透,形状复杂的水淬容易变形和开裂。因此,主要用于制造钳工、木工等手工工具,以及形状简单、受力不大的刀具和磨具。

碳素工具钢的热处理工艺采用球化退火、淬火和低温回火。一般,机加工之前进行球化退火(T7 钢可采用完全退火),可获得球状珠光体组织,可降低硬度 ($\leq 217\text{HBW}$),改善可加工性,并为淬火做组织准备;机械加工成形之后进行淬火和低温回火,提高硬度(可达 60~65HRC)和耐磨性,并消除淬火应力。

这类钢淬火后的硬度相近,但随含碳量增加,未溶渗碳体增多,耐磨性提高,韧性下降。例如, T7、T8 钢多用于制作承受冲击负荷的工具,如凿子、锤子; T9~T11 钢多用于制作要求中等韧性的工具,如手工锯条; T12、T13 耐磨性最高,但韧性最低,多用于制作不受冲击负荷的铰刀、刮刀等。T7A~T13A 属于高级优质碳素工具钢,由于淬火时产生裂纹的倾向较小,多用于制作形状较为复杂的刀具。

(2) 低合金工具钢 为克服碳素工具钢热硬性差、淬透性低、易变形开裂等缺点,在碳素工具钢的基础上加入少量的合金元素(一般总质量分数不超过 3%~5%),制造了低合



金工具钢。

低合金工具钢含碳量一般为 $w_c = 0.75\% \sim 1.50\%$ ，保证高硬度，并形成足够的合金碳化物，提高耐磨性。主要加入 Si、Cr、Mn，起固溶强化作用，可提高硬度和淬透性；少量 Mo、W、V 的加入，可细化晶粒，形成特殊碳化物，进一步提高硬度和耐磨性。其热处理工艺与碳素工具钢相同，采用球化退火、淬火+低温回火。

常用牌号有 9SiCr、CrWMn、9Mn2V 钢，主要用于制作形状复杂、尺寸不大的低速切削刀具，如铣刀、拉刀、板牙、丝锥、钻头、铰刀等。例如，9SiCr 具有高的淬透性和回火稳定性，工作温度可达 300°C ；9SiCr 多采用分级淬火或等温淬火，减少变形，适宜制造形状复杂的薄刃刀具，如板牙、丝锥、钻头等。CrWMn 钢的含碳量（质量分数）为 $0.90\% \sim 1.05\%$ ，同时加入 Cr、W、Mn，可使其达到更高的硬度（ $64 \sim 66\text{HRC}$ ）和耐磨性，但其热硬性不如 9CrSi；CrWMn 钢热处理后变形小，故称微变形钢，主要用于制造较精密的低速刀具，如长铰刀、拉刀等。

（3）高速钢 高速钢是高速切削用钢的代名词，是一种高合金工具钢，具有高的强度、硬度，良好的耐磨性和淬透性，尤其是热硬性好，工作温度可达 600°C ，硬度仍保持在 60HRC 以上。

高速钢的含碳量为 $w_c = 0.7\% \sim 1.65\%$ ，保证高硬度，并与 W、V 等形成特殊碳化物或合金渗碳体，保证具有高的耐磨性和良好的热硬性；合金元素以 Cr、W、Mo、V 为主，且总量大（大于 10% ），起细化晶粒作用，提高钢的耐磨性、淬透性和热硬性。

最常用牌号是 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2。其中，W18Cr4V 的过热敏感性小，易刃磨，但由于热塑性差，适于制作一般高速切削刀具，如车刀、铣刀、铰刀等，不适于制作薄刃刀具；W6Mo5Cr4V2 的耐磨性、韧性和热塑性要好些，适于制作要求耐磨性和韧性有很好配合的高速刀具，如丝锥、齿轮铣刀、插齿刀等。

高速钢的热处理工艺采用球化退火、淬火、三次回火。下面以 W18Cr4V 制作盘形齿轮铣刀为例来说明。

高速钢制作刀具的加工工艺路线一般为：下料→锻造（反复镦粗，三镦三拔）→等温球化退火→机加工→淬火（ 1280°C ）→ 560°C 三次回火→喷砂→磨削。

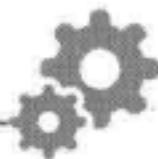
1) 锻造。在加工过程中，反复锻造的目的是打碎高速钢铸态组织中的粗大碳化物，使其均匀分布，改善钢的性能。

2) 球化退火。预备热处理采用等温球化退火，安排在锻造后、机加工前进行，是先将工件加热到 $860 \sim 880^\circ\text{C}$ 保温，然后冷却到 $720 \sim 750^\circ\text{C}$ 等温进行珠光体转变，再炉冷至 550°C 左右，出炉空冷，硬度为 $207 \sim 225\text{HBW}$ 。

3) 淬火和回火。高速钢优异的性能必须选择正确的淬火、回火工艺才能发挥出来。与其他钢的淬火、回火工艺相比，高速钢的淬火温度高（ $1250 \sim 1300^\circ\text{C}$ ），回火温度高（ 560°C ），回火次数多（三次），硬度可达 $62 \sim 65\text{HRC}$ ，满足刀具对高的硬度、热硬性和良好耐磨性的要求。

2. 模具钢

（1）冷作模具钢 用于制作使金属在冷态下变形的模具，如冲压模、冷镦模、拉丝模、冷轧辊等，性能要求具有高的硬度和良好的耐磨性，较高的强度和韧性，淬透性好，热处理变形小。



对于尺寸小、形状简单、工作负荷不大的模具,可采用碳素工具钢(如 T8A、T10A)和低合金工具钢(9Mn2V、9SiCr、CrWMn 等)制造。

对于重载、尺寸大和形状复杂的冷作模具,应采用 Cr12 型冷作模具钢制作,典型牌号是 Cr12、Cr12MoV,其含碳量 w_c 在 1.0% 以上,主要合金元素是 Cr、Mo、W、V 等,其中含铬量(质量分数)高达 12%,具有淬透性好、热处理变形小、耐磨性好等特点。

冷作模具钢的热处理工艺采用球化退火、淬火和低温回火。球化退火作为预备热处理,在反复锻造之后、机加工前进行;最终热处理一般为淬火和低温回火,可获得高的硬度和良好的耐磨性。热处理后硬度一般在 60HRC 以上。

(2) 热作模具钢 用于制作使金属热成形的模具,如热锻模、热挤压模和压铸型。由于热作模具在反复受热和冷却的条件下工作,所以比冷作模具有更高的性能要求:①高的强度和良好的韧性,即要求综合力学性能好;②良好的导热性和高的淬透性;③良好的热硬性、抗氧化性和热疲劳抗力。热作模具工作时,型腔温度高达 400~600℃,且反复加热冷却,要求在高温下保持高的强度和韧性的同时,还能承受反复加热和冷却的作用。

热作模具钢的含碳量为 $w_c=0.3\% \sim 0.6\%$,常加入的合金元素有 Cr、Mn、Si、Mo、W、V 等,具有良好的热疲劳性能和耐磨性,良好的强韧性和淬透性。

常用牌号有 5CrNiMo、5CrMnMo 和 3Cr2W8V 等。5CrNiMo 综合性能好,主要用于制造形状复杂、受冲击载荷大的大型热锻模;5CrMnMo 中以 Mn 代替 Ni,价格降低但强度并未降低,塑性、韧性及淬透性不如 5CrNiMo,一般用于中、小型(截面尺寸在 300mm 以下)热锻模;3Cr2W8V 具有高的回火稳定性,广泛用于压铸型及热挤压模的制造。

热作模具钢的热处理工艺采用完全退火(或等温退火)、淬火和高温回火。退火作为预备热处理,在反复锻造之后、机加工之前进行;最终热处理一般为“淬火+高温回火”,获得良好的综合力学性能,热处理后硬度一般在 39~54HRC。

3. 量具钢

量具钢是用于制造量具的钢,制造的量具包括卡尺、千分尺、量块、塞尺等。量具在使用过程中主要会受到磨损,因此,其主要性能要求是:①工作部分有高的硬度和良好的耐磨性,以防止在使用过程中因磨损而失效;②组织稳定性高,在使用过程中尺寸稳定,以保证高的尺寸精度;③良好的磨削加工性。

最常用的量具用钢为碳素工具钢和低合金工具钢。碳素工具钢,淬透性差,变形大,常用于制作尺寸小、形状简单、精度要求低的量具。低合金工具钢,淬透性较好,变形小,耐磨性好;其中,CrWMn 钢淬透性较好,淬火变形小,主要用于制造高精度且形状复杂的量规和量块。

GCr15 钢的耐磨性和尺寸稳定性都较好,用得最多。

此外,有时将渗碳钢经渗碳淬火或渗氮钢经氮化处理后制作精度不高、耐冲击的量具,也用冷作模具钢制作要求精密的量具,在腐蚀介质中使用的量具则用不锈钢制作。

为了保证量具的精度,生产中必须合理选材并正确选择热处理工艺。

1.4.4 不锈钢

通常所说的不锈钢是不锈钢和耐酸钢的总称。不锈钢是指能抵抗大气腐蚀的钢;耐酸钢是指能抵抗化学介质腐蚀的钢。根据目前常用不锈钢的组织特点,可分为奥氏体不锈钢、铁



素体不锈钢和马氏体不锈钢。

1. 奥氏体不锈钢

奥氏体不锈钢的碳含量较低， $w_C < 0.12\%$ ， $w_{Cr} = 17\% \sim 25\%$ ， $w_{Ni} = 8\% \sim 11\%$ ，常用牌号有 12Cr18Ni9、06Cr19Ni10、06Cr18Ni11Ti。这类不锈钢的使用状态组织为单相奥氏体，且常加入 Ti 或 Nb，以防止晶间腐蚀，耐蚀性很好，并具有良好的塑性和低温韧性，以及良好的加工硬化能力和焊接性，无磁性，但强度和硬度较低。生产中，通常采用形变强化提高其强度。

奥氏体不锈钢在常用不锈钢中用量最大（占 65%~70%），尤其是在化工和食品行业，用于制作耐氧化性酸（如硝酸、有机酸）的贮槽、容器，碱、盐工业中的机械零件，医疗器械及仪器仪表。

2. 铁素体不锈钢

铁素体不锈钢的碳含量 $w_C < 0.15\%$ ，铬 $w_{Cr} = 12\% \sim 30\%$ ，碳含量降低，铬含量有相应地提高，常用牌号有 10Cr17、10Cr17Mo、022Cr18Ti 等。铁素体不锈钢通常在退火态下使用，使用态组织为单相铁素体，其耐蚀性、塑性、焊接性均优于马氏体不锈钢，但强度低，不能通过热处理强化。

铁素体不锈钢主要用于制作对耐蚀性要求高而对力学性能要求不高的部件，如化工设备中的容器和管道（硝酸的吸收塔和热交换器、接触醋酸蒸气的附件等）。

3. 马氏体不锈钢

马氏体不锈钢的碳含量一般为 $w_C = 0.1\% \sim 0.4\%$ ，可提高钢的强度和耐磨性；铬含量为 $w_{Cr} = 12.0\% \sim 18.0\%$ ，可强化基体，提高淬透性和耐蚀性，空冷可得到马氏体组织，因此称为马氏体不锈钢，主要牌号有 12Cr13、20Cr13、30Cr13、40Cr13 和 68Cr17。

12Cr13 和 20Cr13 的碳含量较低，常采用淬火和高温回火处理，以获得具有良好综合力学性能的回火索氏体组织，抗大气、蒸气等介质腐蚀的能力强，常用于制作受氧化性介质腐蚀并承受冲击的零件，如汽轮机叶片、水压机阀、蒸汽机管附件、螺栓、螺母等。

30Cr13、40Cr13 的碳含量较高些，通常采用淬火和低温回火处理，可获得回火马氏体组织，具有较高的强度、硬度（可达 50HRC）和较好的耐磨性，耐蚀性相对差些，常用于制作医疗器械、刀具、测量工具、热油泵轴、不锈钢轴承和弹簧等，在弱腐蚀性条件下工作并要求高强度和高耐磨性的耐蚀零件。

68Cr17 和 95Cr18 不锈钢的碳含量高，钢中会形成大量碳化物，因此铬含量也会相应提高，用于制作要求一定耐蚀性并具有较高耐磨性的刀具和不锈钢轴承。

1.5 常用有色金属材料

试讲结束

在金属材料中，除钢、铸铁属于黑色金属之外，其余金属材料统称为有色金属。有色金属材料具有许多钢铁材料所不具备的性能，如优良的物理、化学和力学性能，是工业生产中不可或缺的工程材料，在航空航天、航海、化工、电器、食品机械等领域得到广泛应用。本节主要介绍铝及铝合金、铜及铜合金和轴承合金。