

绪 论

一、汽车材料的应用与发展概况

汽车材料分为制造汽车的材料和工厂为生产零部件或维修作业所必需的辅助材料。其中又可分为金属材料和非金属材料两大类。构成汽车的零件约有两万多个,在这些零件中,使用了各种各样的材料 其中约 86%是金属材料 而在金属材料中 钢铁材料占了 80%。就钢铁材料来说,有普通材料与优质材料之分,汽车则用优质材料制造。所谓优质材料是指具有一定切削性能、铸造性能、锻造性能和热处理性能等,特别是能保证产品加工质量性能的材料。如以切削加工为主的材料,要求有高的切削性能。为此,各国历来使用易切削钢制造汽车齿轮、花键、轴等传动零件。汽车零件中,有不少是不进行表面全部切削加工而局部保留锻造状态的黑皮零件 如曲轴、连杆等。这种钢材要求有较高的锻造性 表面不允许有缺陷 因为汽车零部件的损坏,有很大部分是材料有缺陷造成的,因而要予以特别注意。热处理也是重要的性能之一,经过热处理可以有效地提高材料的性能。

汽车的车体钢板,过去使用的是容易成形的软质钢材。为适应汽车轻量化的需求,高张力钢板正在替代。这种钢板具有成形性好、强度高、并可使厚度减薄等优点。另外,驱动系统齿轮由于高功率输出、轻量化、降低噪声等的需要 对驱动系统齿轮提出了严格的质量要求 强度高、热处理变形小。为达到这一要求,在钢板制造过程中,采用了连续铸造法。这种方法跟以前的铸锭法相比,具有冷却速度快、成分偏析少等优点,可以满足齿轮所要求的强度。汽车是在大自然的各种气候条件和复杂工况下运行的,长期的使用实践表明,锈蚀常常是降低车身使用寿命的主要因素,因此,金属材料的防腐具有极为重要的意义。试验证明,镀锌钢板具有良好的防锈蚀性能。

汽车所用材料 由于节省能源、节省资源、轻量化的需要而有所变化 以非金属材料代替部分金属材料 在金属材料中又以轻金属材料取代部分钢铁 已成为材料应用的 总趋势。在轻金属材料中,铝是轻量化的首选材料。在强力钢板、铝、塑料与一种称为 FRP 的轻量化材料中,铝起了特别重要的作用。由于铝的密度只有铁的 $1/3$ 由铁向铝转换也比较容易 所以把活塞、进气歧管、气缸盖、轿车轮盘等都采用了质量轻的铝合金。镁比铝更轻、且资源丰富 对于易氧化的镁,由于已开发出效率高的锻造工艺,使镁的制造成本下降,但镁的精炼能源为电力 所以其成本比铝高。就非金属材料而言 以东风 EQ1090 型货车为例,汽车所用非金属材料制成的零件约有 400 多种 大概占总零件的 10%左右。美国洛克威尔 (Roc Kwell) 公司的塑料分部研制了一种新型的轻型货车车身,其整体式发动机罩、翼板、车门和驾驶室等都用玻璃钢成形板制成的 从而使整车质量减少约 277kg。美国通用公司的 Convai 分部为重型货车研制了一种复合材料制成的槽形纵梁 其成分为玻璃纤维、石墨和环氧树脂 刚度和强度均与钢相似,而质量减少了 62%。在国外,一辆轿车所用的非金属材料 约占汽车自身质量的 20%左右,如按材料体积计算,约占汽车材料总体积的 60% 以上。轿车碰撞试验研究表明,乘客室必须

具有足够的刚性，以确保撞车时乘员的生命安全，而车辆的前部和后部相对乘客室来说则应富有一定的挠性，以起到吸能缓冲保护乘客室的作用。因此，轿车的前、后保险杠均趋向于采用聚氨酯或聚丙烯等复合材料。总之，从国内外汽车材料的发展来看，为了轻量化及提高安全性和舒适性，非金属材料的用量逐年有所增加，可以预测，这种倾向在今后还会继续。今后的车用材料，也将由金属向非金属的复合材料转化。可以说，汽车的发展是以材料和材料加工工艺的发展为基础的，两者的发展必然是同步的，而层出不穷的新材料和新工艺也为现代汽车的更新提供了必要的条件。汽车工业的发展与“汽车材料”这门课程之间的关系亦越加密切。也迫使汽车维修人员不得不修读汽车材料课程，掌握汽车材料及相关加工工艺知识。

二、本课程的内容、性质与任务

本课程的主要内容，是讨论汽车常用金属材料与非金属材料的基础知识，包括它们的分类、性能、牌号及应用。正确地选择材料的方法。也概括地讨论了汽车钣金专业学生必须了解的一些工艺问题，尤其是热处理知识。

本书内容共分四个部分。第一章金属材料，主要介绍金属的力学物理、化学和工艺性能。碳素钢、合金钢的分类、牌号、性能及其应用。钢的热处理工艺及其应用。铸铁的性能、牌号及应用；钢铁的简易鉴别及防腐措施。第二章有色金属，主要介绍铝合金的性能、牌号和应用以及防腐知识。铜及铜合金的性能、牌号、应用及防腐知识。锌及锌合金的性能、牌号及应用。第三章非金属材料，主要介绍塑料的组成、性能、分类及应用。橡胶、粘结剂、玻璃钢、玻璃、涂料、填料、制冷剂的性能、牌号、及应用。实验部分包括：拉伸实验、硬度试验、铁碳合金平衡组织观察实验、钢的热处理实验。

由上可知，本课程的性质是一门以汽车常用金属材料应用为核心的技术基础课程。

本课程的任务主要是：使学生获得汽车常用金属材料与非金属材料的基本知识；掌握钢铁、常用有色金属的分类、性能、牌号及在汽车上的应用；了解常用钢材的热处理基本理论和工艺方法。掌握工程塑料、橡胶、制冷剂等非金属材料的基本知识。初步具有选择汽车材料和热处理方法的能力。

本课程知识综合性较强，它和力学、物理学、化学、制造工艺等知识都有着密切的联系。因此，在学习本课程前，应对相关课程有一定的基础和回顾。

学习本课程时，在内容上既要注意理解基本概念和基本原理，又要注意掌握工艺特点，逐步熟悉常用技术名词、符号和材料牌号。在学习中不仅要认真学习系统的理论知识，而且要重视实验等实践性教学环节。实践是培养学生观察、分析、动手能力，获得一定的实验技能的重要教学环节。为此，学生必须认真阅读实验课内容，在教师和实验员指导下动手做好实验报告。课后要求学生认真完成教师布置的练习题。练习题侧重于基本概念和综合运用；有一些是生产中的实际问题，它是为了培养将所学的知识灵活运用、提高、分析问题、解决问题能力。

第一章 金属材料

第一节 金属的性能

一辆汽车约由两万多个零件组成 在这些零件中 使用了各种各样的材料 其中 86% 左右是金属材料。金属材料之所以在汽车上得到广泛应用，是由于它具有许多良好的性能。金属的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料在使用条件下所表现出来的性能，其中包括力学性能、物理和化学性能等。工艺性能是指金属材料在制造工艺中，适应各种冷、热加工的性能 包括铸造性、锻造性、焊接性、热处理性和切削加工性等。

一、金属的力学性能

机械零件或工具在使用过程中，要受到各种载荷的作用，金属材料在载荷的作用下所反映出来的性能，称为力学性能。材料的力学性能是设计和制造汽车零件的重要依据，也是控制质量的重要参数。汽车零部件在斯用过程中，往往会受到各种外力的作用，如柴油机上的连杆在工作时不仅受拉力、压力的作用，还要承受冲击力的作用。这些外力作用对金属材料有一定的破坏性，这就要求金属材料必须具有一种抵抗外力作用而不致被破坏的能力，这就是金属材料的力学性能。

金属的力学性能主要指标有强度、硬度、塑性、冲击韧性、疲劳极限等。这些性能指标一般都是按规定把金属材料制成一定形状和尺寸的标准试样，在专门的试验机上通过试验来测定的。这些试验中最常用的是静拉伸试验、硬度试验和冲击试验等。

1. 强度

强度是指金属材料在载荷作用下，抵抗塑性变形和断裂的能力。根据载荷作用方式不同，强度可分为抗拉强度 (σ_b)、抗压强度 (σ_{be})、抗弯强度 (σ_{bb})、抗剪强度 (τ_b)、和抗扭强度 (τ_t) 等五种。

金属材料的抗拉强度和塑性指标可以通过拉伸试验求得。拉伸试验的方法是用静拉力对标准试样进行轴向拉伸，同时连续测量力和相应的伸长，直至断裂。根据测得的数据，即可求出有关的力学性能。

1) 拉伸试验

在国家标准 GB 6397—86) 中 对试样的形状、尺寸及加工要求均有规定 如图 1-1a) 所示为圆柱形拉伸试样。

图中 d_0 是试样的直径。 l_0 为标距长度。根据标距长度与直径之间的关系，试样可分为长试样 $l_0 = 10d_0$ 和短试样 ($l_0 = 5d_0$)。

拉伸试验时 将试样装夹在拉伸试验机上 缓慢加载 直至拉断为止。在拉伸过程中 试验机自动记录载荷与伸长量之间的关系，并得出以载荷为纵坐标，伸长量为横坐标的图形，即拉伸曲线。图 1-1b) 为低碳钢的拉伸曲线。由图可见，低碳钢试样在拉伸过程中，其载荷与伸长

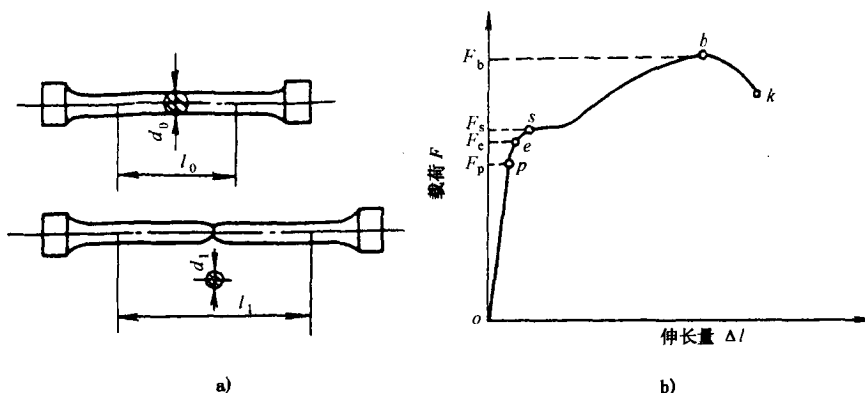


图 1-1 拉伸试样与力-伸长曲线

a) 拉伸试样 b) 力-伸长曲线

量的关系分为以下几个阶段。

弹性变形阶段，当载荷不超过 F_p 时 拉伸曲线 op 为直线段 试样变形完全是弹性的 卸载后试样即恢复原状。这种随载荷的作用而产生、随载荷的去除而消失的变形称为弹性变形。

F_p 为能恢复原始形状和尺寸的最大拉伸力。

屈服阶段 (pes 段) 当载荷超过 F_p 时 若卸载的话 试样的伸长只能部分地恢复 而保留一部分残余变形。这种不能随载荷的去除而消失的变形称为塑性变形。当载荷增加到 F_s 时，图上出现平台或锯齿状，这种在载荷不增加或略有减少的情况下，试样继续发生变形的现象叫做屈服， F_s 称为屈服载荷。屈服后，材料将残留较大的塑性变形。

强化阶段 (sb) 在屈服阶段以后 欲使试样继续伸长 必须不断加载。随着塑性变形增大，试样变形抗力也逐渐增加 这种现象称为形变强化 (或称加工硬化) F_b 为试样拉伸试验时的最大载荷。

缩颈阶段 (be) 局部塑性变形阶段 当载荷达到最大值 F_b 时，试样的直径发生局部收缩 称为“缩颈”。试样变形所需的载荷也随之降低 这时伸长主要集中于缩颈部位 直至断裂。

工程上使用的金属材料，多数没有明显的屈服现象。对于低塑性材料，不仅没有屈服现象 而且也不产生“缩颈”如球墨铸铁等。

2) 强度指标

(1) 屈服点与屈服强度

试样在试验过程中 力不增加 (保持恒定) 仍能继续伸长 变形 时的应力称为屈服点。

汽车上使用的某些金属材料 如高碳钢 铸铁等 在拉伸过程中 没有明显的屈服现象 如图 1-2 所示。国标 GB 228—87 规定 以试样塑性伸长量为试样标距长度的 0.2% 时 材料承受的应力 (即规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ 或规定残余伸长应力 $\sigma_{r0.2}$) 称为“屈服强度”并以符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

当零件工作时所受的力，低于材料的屈服点或规定残余伸长应力，则不会产生过量的塑性变形。材料的屈服点或规定的残余伸长应力越高，允许的工作应力也越高，则零件的截面尺寸及自身质量就可以减少。对大多数零件而言，塑性变形就意味着零件丧失了对尺寸和公差的控制而失效。因此常将 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 确定为材料的许用极限，作为零件的选材和设计的依据。

(2) 抗拉强度

金属材料在拉断前所能承受的最大应力称为抗拉强度。抗拉强度表示材料在拉伸载荷的

作用下的最大均匀变形的抗力。

2. 塑性

金属材料在载荷作用下 断裂前发生塑性变形 永久变形) 而不被破坏的能力称为塑性。塑性是金属能否进行压力加工的主要依据。塑性越好, 越有利于压力加工, 如汽车驾驶室外壳、油底壳、油箱等零件的成形加工, 因变形量很大, 必须选用具有较好塑性的金属材料, 否则压力加工时就不易成形。

金属材料的 σ 和 ψ 值越大, 表示材料的塑性越好; σ 和 ψ 的值越小 表示材料的塑性越差 脆性越大。

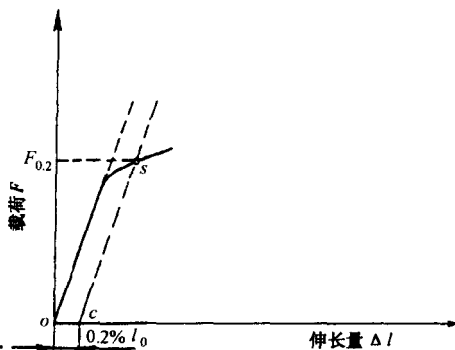


图 1-2 铸铁的力-伸长曲线

3. 硬度

硬度是指金属材料抵抗局部变形 特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。硬度是一个综合的物理量, 硬度值的大小就是金属对塑性变形抵抗力的大小。通常, 材料的硬度越高, 耐磨性越好, 故常将硬度值作为衡量材料耐磨性的重要指标之一。硬度的测定常用压入法。在硬度试验机上, 把规定的压头压入金属材料表面层, 然后根据压痕的面积或深度确定其硬度值。根据压头和压力不同, 常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度两种。

(1) 布氏硬度

布氏硬度是在布氏硬度试验机上测得的, 以符号 HB 表示。

布氏硬度试验是用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球, 以相应的试验载荷 F 压入被测金属表面 保持规定的时间 然后卸去试验载荷 在金属表面留下球形压痕 测量出在金属表面上留下压痕直径 d 的大小, 并计算出球面压痕的面积, 布氏硬度值用球面压痕单位面积上所受的平均压力表示 (即所加载荷与压痕面积的比值)。用淬火钢球做压头时, 布氏硬度用符号“HBS”表示 用硬质合金球做压头时 布氏硬度用符号“HBW”表示。

布氏硬度的单位为 N/mm^2 但习惯上只写明硬度值而不标出单位 布氏硬度试验不宜测量成品件或薄板材料的硬度。

(2) 洛氏硬度

洛氏硬度与布氏硬度一样采用压入法测定硬度。两者的区别是洛氏硬度是以顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 $\phi 1.588mm$ 的淬火钢球作压头 施加相应载荷后 测定金属表面压痕的深度 以压痕深度来表示洛氏硬度值。

4. 冲击韧性

前面讨论的都是静载荷条件下测得的力学性能指标。实际上汽车大多数零件在运行中承受的外载荷不是静载荷, 而是突然施加的冲击载荷。如汽车发动机中的活塞、活塞销、连杆、曲轴等零件在气缸中受气体燃烧膨胀时产生的气体压力作用, 这种气体燃烧膨胀产生的外载荷就是突然的冲击载荷。又如汽车起步、停车、加速、紧急制动时 汽车变速器中的齿轮、传动轴, 后桥中的半轴、差速器齿轮等零件受到的载荷均属于冲击载荷。由于冲击载荷所引起的应力和变形要比静载荷引起的大得多。所以在制造这类零件时, 必须考虑材料抵抗冲击载荷的能力。金属材料抵抗冲击载荷而不致破坏的性能, 称为冲击韧性。

金属材料韧性的好坏可用冲击韧度来衡量, 冲击韧度值越大, 韧性就越好。

5. 疲劳强度

某些汽车零件 如曲轴、连杆、齿轮、轴承、弹簧等 在工作过程中各点的应力随时间做周期

性变化，这种随时间做周期性变化的应力，称为交变应力（也称循环应力）。在交变应力作用下，虽然零件所承受的应力低于材料的屈服强度，但经过较长时间工作而产生裂纹或突然发生断裂，这种现象称为金属的疲劳。

疲劳破坏是机械零件失效的主要原因之一。据统计，在机械零件断裂中大约有 80% 以上是由于疲劳引起的。例如，发动机轴瓦的装配和预紧，以及螺栓在工作中的承载，使其应力状态处于变化的压应力下同时发生拉伸应力，这种交变应力的长期作用，当达到材料的疲劳极限时，就发生断裂损坏。由于疲劳破坏前没有明显的变形而突然断裂，所以，疲劳破坏经常造成重大事故。疲劳破坏不同于静强度破坏。静强度破坏是整体断裂，而疲劳破坏往往首先在零件表面，有时也可能在零件内部某一局部区域产生裂纹，继之裂纹扩展直至断裂。尽管疲劳载荷有各种不同的类型，但疲劳破坏有共同的特点，即引起疲劳断裂的应力很低，常常低于材料的屈服强度，疲劳断裂时并没有明显的宏观塑性变形，断裂前没有预兆，而是突然地破坏。疲劳破坏的宏观断口可明显地分成疲劳裂纹的策源地及扩展区（光滑部分）和最后断裂区（毛糙部分），如图 1-3 所示。

机械零件之所以产生疲劳断裂，是由于材料表面或内部有缺陷（夹杂、划痕、尖角等），使这些地方的局部应力大于屈服强度，从而产生局部塑性变形而导致断裂。

凡使零件表面和内部不容易生成裂纹，或裂纹生成后不容易扩展的任何因素，都将不同程度的提高疲劳强度，具体地说，主要从以下几方面考虑。

1) 设计方面 尽量使零件避免尖角、缺口和截面突变，以避免应力集中及其引起的疲劳裂纹。

2) 材料方面 通常应使晶粒细化，减少材料内部存在的夹杂物和由于热加工不当而引起的缺陷，如疏松、气孔和表面氧化等。晶粒细化使晶界增多，从而对疲劳裂纹的扩展起更大的阻碍作用。材料内部缺陷，有的本身就是裂纹，有的在循环应力作用下会发展成裂纹。

3) 机械加工方面 降低零件表面粗糙度，因为表面刀痕、碰伤和划痕都是疲劳裂纹的策源地。

4) 零件表面强度方面 可采用化学热处理、表面淬火、喷丸处理和表面涂层等，使零件表面造成压应力，以抵消或降低表面拉应力引起疲劳裂纹的可能性。

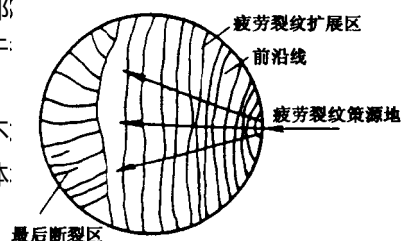


图 1-3 疲劳断裂宏观断口示意图

二、金属的物理、化学性能及工艺性能

1. 物理性能

金属材料的物理性能是指金属固有的属性，主要包括密度、熔点、导热性、导电性和热膨胀性等。

（1）密度

某种物质单位体积的质量称为该物质的密度。金属的密度即是单位体积金属的质量。

密度是金属材料的特性之一。按照密度的大小，金属可分为轻金属和重金属。密度小于 5g/cm^3 的金属为轻金属，密度大于 5g/cm^3 的金属为重金属。在常用金属材料中，铜的密度为 8.96g/cm^3 ，铁的密度为 7.87g/cm^3 ，属重金属，钛的密度为 4.51g/cm^3 ，铝的密度为 2.70g/cm^3 ，属轻金属。

金属材料的密度直接关系到由它所制成设备的自重和效能。在汽车工业中，为了增加有

效装载质量，尽量采用轻质材料；某些高速运动的零件如发动机中的活塞等。要求尽量减小质量以减小其惯性力，宜采用强度较高、密度较小的金属材料如铝合金来制造等。

(2)熔点

金属和合金从固态向液态转变的温度称为熔点，常以摄氏度 $^{\circ}\text{C}$ 表示。

金属都有固定的熔点。在常用金属材料中钨的熔点最高，可用于制造灯丝、加热元件等耐高温零件。锡铅的熔点较低，可用于制造熔断丝、防火安全阀等零件。合金的熔点决定于它的成分，例如钢和生铁虽然都是铁碳合金，但由于含碳量不同，熔点也不同。同时，熔点也是金属和合金的铸造、热处理、焊接的重要工艺参数，例如金属的铸造温度、熔焊温度都必须高于它的熔点，热处理的温度必须低于其熔点。

(3)导电性

金属能够传导电流的性能称为导电性。衡量金属材料导电性的指标是电阻率，以符号 ρ 表示，单位为 $\Omega\cdot\text{cm}$ 。

所有金属都是电导体，电阻率越小，金属导电性越好。金属导电性以银为最好，其次是铜和铝，合金的导电性比纯金属差。导电性好的金属如铜、铝，适于做导电材料，导电性差的合金如镍-铬合金、铁-铬-铝合金，常用于制造汽车仪表中的电阻元件。

(4)导热性

金属材料传导热量的性能称为导热性。导热性的大小通常用热导率来衡量。热导率的符号是 λ ，单位是 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。热导率越大，金属的导热性越好。金属的导热能力以银为最好，铜、铝次之。合金的导热性比纯金属差。导热性是金属材料重要性能之一，在制定焊接、铸造、锻造和热处理工艺时，必须考虑材料的导热性，防止金属材料在加热或冷却过程中形成过大的内应力，以免金属材料变形或破坏。导热性好的金属散热也好，因此在制造汽车散热器、热交换器与活塞等零件时，要选用导热性好的金属材料。

(5)热膨胀性

金属材料随着温度变化而膨胀、收缩的特性称为热膨胀性。一般来说，金属受热时膨胀而体积增大，冷却时收缩而体积缩小。

热膨胀性的大小用线胀系数 α_l 和体胀系数 α_v 来表示。

热膨胀性也是金属材料的一个重要特性。例如，一些精密的测量工具，像千分尺、块规等，为了保持其高度的准确性，就要用线胀系数很小的金属来制造。异种金属焊接时，就要考虑它们的热膨胀系数是否接近，以免因热膨胀量不等而使零件变形甚至损坏。在铸造汽车零件时，为了确保零件尺寸，减少和避免缩孔及疏松等铸造缺陷，必须考虑体积收缩可能引起开裂而采取一定的措施；在汽车维修中，活塞在缸套间上下运动以及转动轴与轴承间的配合，也要用线胀系数值来控制其间隙尺寸。

2.化学性能

化学性能是指在室温或高温条件下抵抗各种化学腐蚀的能力，一般包括耐腐蚀性、抗氧化性和化学稳定性。

(1)耐腐蚀性

金属在常温下抵抗氧、水蒸气及其他介质侵蚀的能力，称为耐腐蚀性能，钢铁在潮湿的空气中生锈是最常见的腐蚀现象。一般人们采用改变金属材料成分和采用各种表面处理方法（如油漆、电镀等）来增强金属材料的耐腐蚀性。

腐蚀对金属材料的危害很大，不仅使金属材料本身受到损失，严重时还会使汽车零部件遭

到破坏。因此 提高金属材料的耐腐蚀性能 可对于节省金属消耗 延长材料使用寿命 具有现实的经济意义。

(2) 抗氧化性

金属材料在加热时抵抗氧化作用的能力，称为抗氧化性。金属材料的氧化随温度升高而加速 例如钢材在铸造、锻造、热处理、焊接等热加工作业时 造成材料过量的损耗和形成各种缺陷。常在工件的周围造成一种保护气氛，避免金属材料的氧化或还原气氛。在高温下工作的零部件 如发动机的气门、活塞等零件 必须采用抗氧化性好的材料制造。

(3) 化学稳定性

化学稳定性是金属材料的耐腐蚀性和抗氧化性的总称。金属材料在高温下的化学稳定性称为热稳定性。在高温条件下的零件，如发动机的气门工作在高温高压的环境，需要选择热稳定性好的材料制造。

3. 工艺性能

工艺性能是指金属材料对不同加工工艺方法的适应能力。它包括铸造性能、锻压性能、焊接性和切削加工性、冲压性能等。

(1) 铸造性能

金属及合金铸造成形获得优良铸件的能力称为铸造性能。金属材料可以通过铸造制成各种零件 如汽车上的曲轴、凸轮轴、气缸体、气缸套等均是由铸造而成的。

铸造性能主要包括流动性、收缩性和偏析性等。流动性是指熔融金属的流动能力，流动性好的金属，容易充满铸型，铸造出细薄精致的铸件。收缩性是指铸件凝固和冷却过程中，其体积和尺寸收缩的程度。收缩率越小，铸造质量越好。偏析是指化学成分和组织不均匀，偏析越严重 铸件各部分的性能越不均匀 铸件质量越差。

(2) 锻造性能

金属材料利用锻压加工方法成形的难易程度称为锻造性能。锻造性能的好坏主要同金属的塑性和变形抗力有关。塑性越好，变形抗力越小，金属的锻造性能就越好。例如黄铜和铝合金在室温状态下就有良好的锻造性能。碳钢在加热状态下锻造性能较好。铸铁则不能锻压。

(3) 焊接性

焊接性是指金属材料对焊接加工的适应性。也就是在一定的焊接工艺条件下，获得优质焊接接头的难易程度。

低碳钢焊接性好，焊接时不需采取特殊的工艺措施就能获得良好的焊接接头。中碳钢含碳量高，焊接性差，近焊缝区易产生淬硬组织和冷裂纹。高碳钢和铸铁等焊接性更差，不宜作为焊接件。焊接时要根据不同的材料，采取不同的工艺措施，以获得高质量的焊件。

(4) 切削加工性

金属材料接受切削加工的难易程度称为切削加工性能。切削加工性能一般从切削后的表面粗糙度以及刀具寿命等几方面来衡量。影响切削加工性的因素主要有工件的化学成分、组织状态、硬度、韧性、导热性和变形强化等。一般认为金属材料具有适当硬度 $HBS170 \sim 230$ 和足够的脆性时较易切削。所以 铸铁比钢切削加工性能好，一般碳钢比高合金钢切削加工性能好。

(5) 冲压成形性

汽车壳体是用冲压的方法制成的，用于冲压的金属必须具有较好的冲压成形性。检验金属材料冲压成形性的方法叫杯突试验。它是用规定的钢球或球形冲头，顶压夹紧在压模内的试样，直至产生第一个裂纹为止，这时的压入深度叫杯突深度。杯突深度不小于规定时，

就认为试验合格。材料能承受的杯突深度越大，则冲压成形性越好。用于冲压的金属材料必须具有较好的冲压成形性。

第二节 碳 素 钢

在工程材料中以铁(Fe)为基础的铁碳合金统称为钢铁材料。钢铁材料是当今现代汽车工业中使用最为广泛的工程材料。据统计，在汽车产品中，钢铁材料约占80%，有色金属约占6%，塑料及其他材料约占14%。

钢按化学成分可分为碳素钢(新国标称非合金钢，简称碳钢)和合金钢。碳钢是含碳量小于2.11%的铁碳合金。实际使用的碳钢，其含碳量一般不超过1.4%，而且除了铁、碳为其主要成分外，还含有少量锰、硫、硅、磷等常存杂质元素。合金钢是在碳钢的基础上特意加入某些合金元素而得到的钢种。由于碳钢容易冶炼，价格便宜，具有较好的力学性能和工艺性能，可以满足一般工程机械、普通机械零件、工具的使用要求，因此在汽车工业中得到广泛应用。

一、铁碳合金

1. 铁碳合金的基本组织

在液态铁碳合金中，铁和碳可以无限互溶；在固态铁碳合金中，碳可溶于铁中形成固溶体；如铁素体和奥氏体；还可以形成由固溶体和化合物(Fe_3C)组成的混合物，如渗碳体。

铁素体、奥氏体、渗碳体均是铁碳合金的基本相。

(1) 铁素体

碳溶解在 α 铁中形成的固溶体称为铁素体(又称 α 固溶体)，通常用F表示。 α 铁溶解碳的能力很小，随温度的不同而不同。在0℃时溶解度仅为0.006%，在727℃时溶解度最大达0.0218%。

铁素体含碳很少，与纯铁相似，铁素体的强度、硬度不高，但具有良好的塑性和韧性。铁素体的显微组织与纯铁相同，呈均匀明亮的多边形晶粒。

(2) 奥氏体

碳溶解在 γ 铁中形成的固溶体称为奥氏体(又称 γ 固溶体)，通常用A表示。 γ 铁溶解碳的能力比 α 铁大，在1148℃时溶解度最大达2.11%。温度降低时，溶解度也降低，在722℃时溶解度为0.77%。稳定的奥氏体在钢内存在的最低温度是722℃。奥氏体的硬度较低，塑性很好，是绝大多数钢种在高温进行压力加工时所要求的组织。奥氏体的显微组织，晶粒呈多边形，晶界较铁素体平直。

(3) 渗碳体

铁与碳形成的稳定化合物 Fe_3C 称为渗碳体，它的含碳量为6.69%。渗碳体硬度很高，而塑性极差，几乎为零，是一个硬而脆的组织。渗碳体在碳钢中起主要的强化作用，钢中含碳量越高，渗碳体所占的比重越大，则强度越高，而塑性越低。渗碳体在一定条件下会发生分解，形成石墨状的自由碳。

(4) 珠光体

铁素体和渗碳体的机械混合物称为珠光体，通常用P表示。由于珠光体是由硬的渗碳体片和铁素体片相间组成的混合物，故它的强度较好，其力学性能介于铁素体和渗碳体之间。

2. 铁碳合金的分类

在铁碳合金相图中 根据含碳量、组织转变和性能特点 常分为三类 即：

1)工业纯铁

成分在 P点左面 $\omega_c < 0.0218\%$ 的铁碳合金 其室温组织为铁素体或铁素体和三次渗碳体。

2 钢

成分在 P点和E点之间 $\omega_c = 0.0218\% \sim 2.11\%$ 的铁碳合金 其特点是高温固态组织为具有良好塑性的奥氏体。根据含碳量及室温组织的不同，又可分为：

(1)共析碳钢 $C = 0.77\%$ 的铁碳合金 室温组织为珠光体。

(2)亚共析碳钢 $0.0218\% < C < 0.77\%$ 的铁碳合金，室温组织为铁素体和珠光体。

(3)过共析碳钢 $0.77\% < C < 2.11\%$ 的铁碳合金，室温组织为珠光体和二次渗碳体。

3白口铁

成分在 E点和F点之间 $C = 2.11\% \sim 6.69\%$ 的铁碳合金 其特点是液态结晶时都有共晶转变，生成莱氏体，根据含碳量及室温组织的不同，又可分为：

(1)共晶白口铁 成分在 C点 ($C = 4.3\%$) 的铁碳合金 室温组织为变态莱氏体。

(2)亚共晶白口铁 成分在 C点左面 ($2.11\% < \omega_c < 4.3\%$) 的铁碳合金。室温组织为变态莱氏体、珠光体和二次渗碳体。

(3)过共晶白口铁 成分在 C点右面 ($4.3\% < \omega_c < 6.69\%$) 的铁碳合金。室温组织为变态莱氏体和一次渗碳体。

二、碳钢的分类与编号

为了便于生产、使用和管理，对品种繁多的钢必须进行分类与编号。钢的分类方法很多，根据 GB/T 13304—91《钢分类》国家标准 同时又考虑常用钢产品分类和编号方法 对几种主要的分类与编号方法加以介绍。

1. 钢的分类

1)按钢中含碳量分类

(1)低碳钢 含碳量 $\leq 0.25\%$ 。

(2)中碳钢 含碳量在 $0.25\% \sim 0.60\%$ 之间。

(3)高碳钢 含碳量 $\geq 0.60\%$ 。

2)按钢的质量分类

由于硫、磷为钢中有害杂质 所以钢的质量主要根据硫、磷的含量分类。

(1)普通质量钢 钢中硫含量 $\leq 0.035\% \sim 0.050\%$ ，磷含量 $\leq 0.035\% \sim 0.045\%$

(2)优质碳素钢 其硫、磷含量均 $\leq 0.035\% \sim 0.040\%$

(3)高级优质碳素钢 硫含量 $\leq 0.02\% \sim 0.03\%$ 磷含量 $\leq 0.025\% \sim 0.035\%$

(4)特级优质碳素钢 硫含量 $\leq 0.015\%$ 磷含量 $\leq 0.025\%$

3)按钢的用途分类

(1)碳素结构钢 可以用于制造汽车零件 如齿轮、轴类、螺钉、螺母、连杆等。这类钢一般属于低碳钢和中碳钢。

(2)碳素工具钢 主要用于制造各种刀具、量具和模具。这类钢含碳量较高，一般属于高碳钢。

(3)特殊性能钢 指具有某种特殊的化学或物理性能的钢 如不锈钢、耐热钢、耐磨钢等。

4) 按钢的冶炼方法分类

按冶炼方法和设备的不同,碳钢可分为平炉钢、转炉钢和电炉钢三大类。前两类钢因炉衬材料不同,又可分为酸性和碱性两类。电炉钢还可分为电弧炉钢、电渣炉钢、感应炉钢、真空感应炉钢和电子束炉钢等。

按钢液脱氧程度和浇注制度不同,碳钢又可分为沸腾钢(炼钢末期,仅用 Mn-Fe 合金脱氧,用字母 F 表示)、镇静钢(用 Mn-Fe 、 Si-Fe 及铝粉充分脱氧,以字母 Z 表示)、半镇静钢(用 Mn-Fe 和铝粉脱氧,用字母 b 表示)和特殊镇静钢(以字母 TZ 表示)。

5) 按成材方法分类

(1) 铸造碳钢 将熔炼好的钢液,直接浇铸成制品,这种材料叫铸造碳钢。铸造碳钢的强度、塑性、韧性较好,常用于制造一些重要铸件。

(2) 轧制碳钢 是采用轧制(包括辊、辗、抽、拉)方法制成的各种形状的钢材,如圆钢、钢板、钢管、工字钢、角钢、槽钢等。

(3) 锻造碳钢 是用钢锭锻制而成的钢材,一般其表面不是光平的,而带有锤打痕迹。

2. 碳钢的编号方法

(1) 碳素结构钢

碳素结构钢牌号表示方法由代表屈服点屈字的汉语拼音字母(Q)、屈服点数值、质量等级符号(A 、 B 、 C 、 D)及脱氧方法符号(F 、 b 、 Z 、 TZ)四个部分按顺序组成。例如 $\text{Q235-A}\cdot\text{F}$ 即表示屈服点为 235N/mm^2 , A 等级质量的沸腾钢。 F 、 b 、 Z 、 TZ 依次表示沸腾钢、半镇静钢、镇静钢、特殊镇静钢,一般情况下符号 Z 与 TZ 在牌号表示中可以省略。

(2) 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢牌号用两位数字表示,两位数字表示钢中平均碳的质量分数的万倍。例如 45 钢,表示平均含碳量为 0.45% ; 08 钢表示平均含碳量为 0.08% 。优质碳素结构钢按锰的质量分数不同,分为普通锰(锰含量 $= 0.25\% \sim 0.8\%$)和较高锰(锰含量 $= 0.70\% \sim 1.2\%$)钢两组。较高锰的优质碳素结构钢牌号后加“ Mn ”,如 45Mn。

(3) 碳素工具钢

碳素工具钢牌号冠以“ T ”(“ T ”为“碳”字的汉语拼音首位字母)后面的数字表示平均含碳的质量分数的千倍。碳素工具钢分优质和高级优质两类。若为高级优质钢,则在数字后面加“ A ”字。例如 T8A 钢表示平均含碳量为 0.8% 的高级优质碳素工具钢。对含较高锰的(含锰量 $= 0.40\% \sim 0.60\%$)的碳素工具钢,则在数字后加“ Mn ”,如 T8Mn 、 T8MnA 等。

(4) 铸造碳钢

铸造碳钢牌号用“ ZG ”代表铸钢二字汉语拼音首位字母,后面第一组数字为屈服点数值,单位 N/mm^2 ; 第二组数字为抗拉强度,单位 N/mm^2 。例如 ZG200-400 表示屈服点 σ_s 或 $\sigma_{0.2} \geq 200\text{N/mm}^2$, $\sigma_b \geq 400\text{N/mm}^2$ 的铸造碳铸件。

3. 钢中常存杂质元素对性能的影响

钢中常存杂质元素主要是硅、锰、磷和硫(还有非金属杂质等),这些杂质元素对钢的性能有一定影响。

(1) 硅的影响

硅是来自生铁和炼钢时作为脱氧剂加入钢中的。硅与钢液中的 FeO 能结成密度较小的硅酸盐以炉渣的形式被除去,从而消除 FeO 夹杂对钢的不良影响。脱氧后残留的硅,大多溶入铁素体中,使铁素体强化,从而提高钢的强度。硅作为杂质元素时,其质量分数一般不超过

0.5%.

(2) 锰的影响

锰也来自生铁和炼钢时作为脱氧剂加入的。锰从 FeO 中夺取氧形成 MnO 进入炉渣。锰还能与硫化合成 MnS 因而减少硫对钢的有害影响 改善钢的热加工性能。脱氧后残留的锰大部分溶于铁素体和渗碳体,使钢的强度和硬度得到提高。因此锰是一种有益元素。锰作为杂质元素 其质量分数一般不超过 1%。

(3) 硫的影响

硫是由生铁和燃料带入的有害杂质,在铁中溶解度极小,与铁形成 FeS 。 FeS 与 Fe 能形成低熔点 熔点为 985°C 的共晶体 ($\text{Fe} + \text{FeS}$) 且分布在晶界上。当钢在 $1000 \sim 1200^\circ\text{C}$ 压力加工时 由于低熔点共晶体熔化 使钢材在压力加工时沿晶界开裂 这种现象称为热脆。因此 钢中硫的质量分数必须严格控制。

硫虽然产生热脆,但对改善钢材的切削加工性能却有利。含硫量较多的钢,可形成较多的 MnS 在切削加工中 MnS 能起断屑作用,可改善钢的切削加工性。

(4) 磷的影响

磷是由生铁带入钢中的杂质。磷能全部溶于铁素体,提高了铁素体的强度、硬度。但在室温下钢的塑性、韧性急剧下降而变脆,这种现象称为冷脆。磷也降低钢的焊接性,当磷含量较高时 易产生裂纹。所以 磷是一种有害杂质元素 应严格控制磷在钢中的含量。

三、碳素结构钢

碳素结构钢主要是用于制造各种机械零件和各种工程构件,按钢的品质,又可分为碳素结构钢和优质碳素结构钢。

1. 碳素结构钢

碳素结构钢是一种杂质含量较大,质量不高的热轧碳素钢。这类钢应确保力学性能符合标准规定,化学成分也应符合一定要求。一般在供应状态下使用,但也可根据需要在 使用前对其进行热加工或热处理。碳素结构钢的硫、磷含量较多,但由于冶炼容易,工艺性好,价格便宜,在力学性能上一般能满足普通机械零件及工程构件的要求,因此用量很大,约占钢材总量的 70% 左右。

碳素结构钢一般以热轧空冷状态供应。其中牌号 Q195 与 Q275 碳素结构钢是不分质量等级的 出厂时既保证力学性能 又保证化学成分。而 Q215 、 Q235 、 Q255 牌号的碳素结构钢 当质量等级为 ‘A’ ‘B’ 级时,只保证力学性能,化学成分可根据需方要求做适当调整;而 Q235 的 ‘C’ ‘D’ 级 则力学性能和化学成分都应保证。

Q195 钢的碳质量分数很低 塑性好 在性能上也能满足汽车中普通板焊的要求 因而应用较普遍。它通常轧制成各种钢板和型材供应 如黑铁皮、白铁皮 镀锌薄钢板、马口铁、镀锡薄钢板 等 也可用来代替优质碳素结构钢 08 钢或 10 钢 制造轮辐、轮辋、轮圈、前保险杠及支架等冲压件、焊接结构件。

Q275 钢属于中碳钢 强度较高 可代替 30 钢、40 钢用于制造较重要的某些零件,以降低原材料成本。

其余三个牌号中的 A 级钢,一般用于不经锻压、热处理的工程结构件或普通零件 如受力不大的铆钉、螺钉、螺母等。B 级钢常用以制造稍为重要的机械零件和做汽车车身用钢板,并可代替相应含碳量的优质碳素结构钢。但是,随着汽车轻量化的发展,碳素结构钢在汽车上的

应用逐步被低合金高强钢所替代。

2. 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢供应时 既保证化学成分 又保证力学性能 与碳素结构钢相比 所含磷、硫等杂质较少 其磷、硫含量不大于 0.035% 一般都是在热处理后使用。

优质碳素结构钢品种很多，其性能主要取决于含碳量。这类钢随钢号数字增加，其碳的含量增加，钢的强度也随之增加，而塑性指标随之降低。

根据优质碳素结构钢含碳量的不同，分为低碳钢、中碳钢和高碳钢。

低碳钢的含碳量 $\leq 0.25\%$ 由于含碳量低 因而机械强度低 硬度低 但塑性、韧性高 可锻性和焊接性均好，冷塑性变形能力高。在汽车上用途较多，用量也大，主要作为汽车车身薄板和部分中板材料。08F、10F 钢的含碳量低、塑性好 焊接性能好，一般不采用热处理 而在热轧或冷轧供货状况下，应用冷、热加工等方法。主要用于制造汽车车身、驾驶室及其底板、前围车门、散热器罩等冲压件和焊接件。

15、20、25 钢属于渗碳钢。这类钢强度较低，但塑性和韧性较高，焊接性及冷冲压性都好。可以制造各种受力不大，但要求高韧性的零件，同样也可用做冷冲压件和焊接件。渗碳钢经渗碳、淬火 + 低温回火后 表面硬度可达 HRC60 以上 耐磨性好 而心部具有一定的强度和韧性，可用来制作汽车变速操纵杆、倒车轴、钢板销等要求表面耐磨并能承受冲击载荷的零件。随着汽车轻量化发展 正在采用高强钢 或塑料及其复合材料 逐步替代低碳钢 特别是用以制造汽车车身、驾驶室、车门、翼板等车身外表的冲压件和焊接件。

中碳钢的含碳量为 0.30% ~ 0.60% 机械强度、硬度较高、塑性、韧性稍低 热锻、热压性能良好，冷作变形能力较好，切削性能较佳，但焊接性较差。由于含碳量较高，可采用热处理强化 属于调质钢，30、35、40、45、50、55 钢经淬火 + 高温回火后 具有良好的综合力学性能，一般用于制造汽车曲轴、凸轮轴、曲轴正时齿轮、机油泵齿轮、连杆及连杆螺母、车轮螺栓、离合器传动销、变速器叉轴等强度、塑性和韧性都较高的零件。这类钢在机械制造中应用最广泛，其中以 45 钢更为突出。

高碳钢的含碳量 $> 0.6\%$ ，经热处理可得到良好的韧性和高强度。60、65、70 钢属于弹簧钢 经淬火 + 中温回火后可获得高的规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.01}$ 。高碳钢在汽车上应用不多，主要用于制造各种弹簧等弹性零件及耐磨零件，如转向节接头弹簧，汽油泵弹簧及各种卡环、销片、垫圈等。

优质碳素结构钢中较高含锰的一组牌号 (15Mn ~ 70Mn)，其性能和用途与普通锰的一组对应牌号相同，但其淬透性略高一些。

四、碳素工具钢

碳素工具钢含碳量在 0.65% ~ 1.35% 范围内，是用于制造工具的高碳钢。按冶炼质量的要求不同，可分为优质碳素工具钢与高级优质碳素工具钢两类。牌号后加 “A” 的属高级优质碳素工具钢。高级优质碳素工具钢的硫、磷及非金属夹杂物含量比优质碳素工具钢低，机械性能较好。

碳素工具钢 在机械加工前一般进行球化退火 硬度 $\leq \text{HBS}217$ 。作为刀具 最终热处理为淬火 (一般为 760 ~ 780℃) + 低温回火 (180℃) 其硬度可达 HRC60 ~ 65 耐磨性和加工性都较好。各种牌号的碳素工具钢经淬火后的硬度相差不大，但是随着含碳量的增加，钢的硬度、耐磨性增加 韧性则降低。另外 碳素工具钢的热硬性差 当刃部温度高于 250℃ 时 其硬度和耐

磨性会显著降低。同时 钢的淬透性也低 水中淬透临界直径约为 20mm 并容易产生淬火变形和开裂。因此，碳素工具钢大多用于制造刃部受热程度较低的手工具和低速、小进给量的机用工具，亦可制作尺寸较小的模具和量具。

五、铸 钢

汽车上有某些零件是用铸钢铸造而成的。铸钢一般用于制造形状复杂，力学性能要求较高的机械零件。由于零件形状复杂，很难用锻造或机械加工的方法制造。又由于力学性能要求较高，也不能用铸铁来铸造。铸钢的含碳量一般在 0.20% ~ 0.60% 之间。含碳量过高 则钢的塑性差，在铸造时易产生裂纹。一般工程用铸钢有 ZG200 - 400、ZG230 - 450、ZG270 - 500、ZG310 - 570、ZG340 - 640 五个牌号，不同牌号的铸钢。用于不同情况的零件。例如：

ZG200 - 400 有良好的塑性、韧性和焊接性。用于制造受力不大，要求具有一定韧性的机械零件 如机座、变速器壳等。

ZG230 - 450 有一定的强度和较好的塑性、韧性 焊接性良好 切削性尚可。用于制造承受载荷不大 要求韧性的各种机械零件 如钻座、外壳、轴承盖、底板、阀体等。

ZG270 - 500 有较高的强度和较好的塑性，铸造性能良好，焊接性能尚好，切削加工性欠佳 用途广泛 用于制造轴承座、连杆、箱体、曲轴、缸体等。

ZG310 - 570 强度和切削加工性良好，塑性和韧性较低，用于制作承受载荷较高的各种机械零件 如大齿轮、缸体、制动轮等。

ZG340 - 640 有高的强度、硬度和耐磨性、切削加工性等 焊接性能较差 流动性好 裂纹敏感性较大 可用于制作齿轮 棘轮等。

第三节 合 金 钢

一、合金钢的概念

工程技术的迅速发展，对工业用钢的性能提出越来越高的要求。一般碳钢难以满足较高的工程要求。在这种情况下，人们试探在碳钢中加入某些元素，以图改善钢的性能，于是产生了合金钢。

合金钢就是在碳钢的基础上，为获得某种特定性能，有目的地加入一种或多种元素所得到的钢种。常用的合金元素有：铬 (Cr)、锰 (Mn)、镍 (Ni)、硅 (Si)、铝 (Al)、硼 (B)、钨 (W)、钼 (Mo)、钒 (V)、钛 (Ti)、钴 (Co) 及稀土元素 Re 等。与碳钢相比 合金钢的性能有显著提高 能提供多种性能 多种用途 因此 随着现代汽车工业发展和汽车性能的不断提高 合金钢在汽车制造中的用量比率正在逐年增长。

1. 合金元素在钢中的作用

合金元素在钢中的作用是非常复杂的，它对钢的相变、组织和性能产生很大影响。下面仅简述其几个最基本的作用。

(1) 形成合金铁素体

绝大多数合金元素（除铅外）都能溶于铁素体，形成合金铁素体。由于合金元素与铁的品格类型和原子半径的差异，引起铁素体的晶格畸变，产生因溶强化，使铁素体的强度、硬度提高，但塑性和韧性有下降趋势。合金元素对铁素体的韧性影响和它们的溶解度有关。例如：

硅、锰能显著提高铁素体强度、硬度，但当 $\text{Si} > 0.6\%$ 、 $\text{Mn} > 1.5\%$ 时，将降低其韧性。而铬、镍这两个元素，在适量范围内 ($\text{Cr} \leq 2\%$ 、 $\text{Ni} \leq 5\%$)，不但可提高铁素体的硬度，而且能提高其韧性。为此，在合金钢中，为了获得良好强化效果，对铬、镍、硅和锰等合金元素要控制在一定量范围内。

(2) 形成合金碳化物

作为碳化物形成元素，在元素周期表中都是位于铁左边的过渡族金属元素，离铁越远，则其与碳的亲和力越强，形成碳化物能力越大，形成的碳化物越稳定。钒、铌、钽、钛为强碳化物形成元素，铬、钼、钨为中强碳化物形成元素，锰为弱碳化物形成元素。强碳化物形成元素，即使含量较少，但只要钢中有足够的碳，就倾向于形成特殊碳化物，即具有简单晶格的间隙相碳化物，如 WC 、 Mo_2C 、 VC 、 TiC 等。中强碳化物形成元素，只有当其含量较高（大于 5%）时，才倾向于形成特殊碳化物，即具有复杂晶格的碳化物，如 Cr_{23}C_6 、 Cr_7C_3 、 $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$ 等。铬、钼、钨在钢中含量不大，等于 0.5% ~ 3% 时，形成合金渗碳体，如 $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$ 、 $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$ 等。锰一般是溶于钢中渗碳体，形成合金渗碳体 $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$ 。

合金渗碳体较渗碳体略为稳定，硬度也高，是一般低合金钢中碳化物的主要存在形式。特殊碳化物特别是间隙相碳化物，比合金渗碳体具有更高的熔点、硬度与耐磨性，并且更稳定，不易分解。当钢中存在弥散分布的特殊碳化物时，将显著增加钢的强度、硬度与耐磨性，而不降低韧性，这对提高工具的使用性极为有利。

(3) 阻碍奥氏体的晶粒长大

凡合金元素都减缓钢在加热时的奥氏体晶粒长大。钒、钼、钽等形成稳定的碳化物，铝在钢中形成的 AlN 、 Al_2O_3 的细小质点，都能强烈地阻碍奥氏体晶粒长大。所以合金钢除锰钢外，在淬火加热时不易过热，有利于获得细马氏体，提高加热温度，使奥氏体中溶入更多的合金元素，以改善钢的淬透性和力学性能。

(4) 提高钢的淬透性

除钴外，所有的合金元素都能提高钢的淬透性。因此合金钢在获得同样淬硬层深度的情况下，可以采用冷却能力较低的淬火介质，这样可以减少形状复杂零件在淬火时的变形和开裂。在淬火条件相同的条件下，合金钢可获得较深的淬硬层，能使大截面的零件获得均匀一致的组织，从而得到较高的力学性能。

常用提高淬透性的合金元素有钼、锰、铬、镍、硅和硼等。微量的硼（0.0005% ~ 0.003%）即能明显提高淬透性。

(5) 提高钢的回火稳定性

淬火钢在回火时，抵抗软化的能力称为回火稳定性。不同的钢在相同温度回火后，强度、硬度下降也不同，下降少的其回火稳定性较高。

在回火过程中，由于合金元素阻碍马氏体分解和碳化物聚集长大过程，使回火的硬度降低过程缓慢，从而提高钢的回火稳定性。由于合金钢的回火稳定性比碳钢高，若要得到相同的回火硬度时，则合金钢的回火温度就比同样含碳量的碳钢要高，回火时间也长，从而可以充分消除内应力。当回火温度相同时，合金钢的强度、硬度都比碳钢高。例如，欲达到硬度 HRC 为 40 ~ 45，则 40 钢回火温度为 360℃ 左右，40Cr 钢的回火温度为 420℃。这样可使 40Cr 钢比 40 钢具有较高的塑性与韧性。又例如，300℃ 回火后硬度，T10 钢为 HRC52 左右，9SiCr 钢为 HRC62 左右。这样 9SiCr 钢比 T10 钢具有较高的热硬性。金属材料在高温（大于 550℃）下保持高硬度（大于等于 HRC60）的能力，称为热硬性。这种性能对工具钢和热加工模具非常重要，可以提高

高速切削工具的切削寿命。

2.合金钢的分类与编号

1)合金钢的分类

合金钢的种类繁多，为了便于使用和管理，必须进行分类和编号。常用的分类方法有以下几种。

(1)按用途分类

合金结构钢 用来制造各种零件和构件的合金钢称为合金结构钢。合金结构钢可进一步分为低合金结构钢、合金渗碳钢、合金调质钢、合金弹簧钢、滚动轴承钢等。

合金工具钢 用于制造各种工具的合金钢称为合金工具钢。根据工具的用途不同，又分为刃具钢、模具钢和量具钢等。

特殊性能合金钢 有某些特殊的物理、化学性能的合金钢称为特殊性能合金钢（简称特殊性能钢或特殊钢）包括不锈钢、耐热钢、耐磨钢等。

(2)按合金元素含量分类

低合金钢 合金元素总量小于 0.5%。

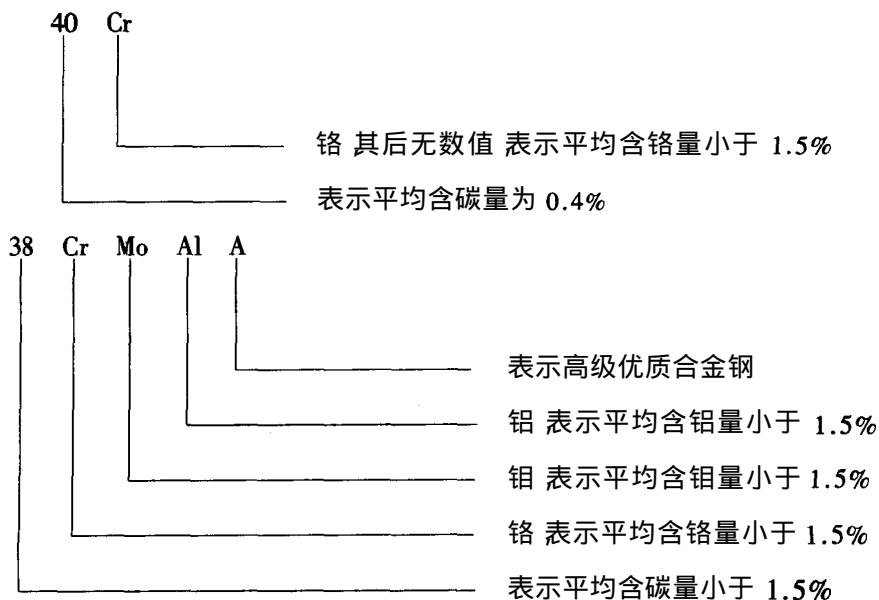
中合金钢 合金元素总量 5% ~ 10%。

高合金钢 合金元素总量大于 10%。

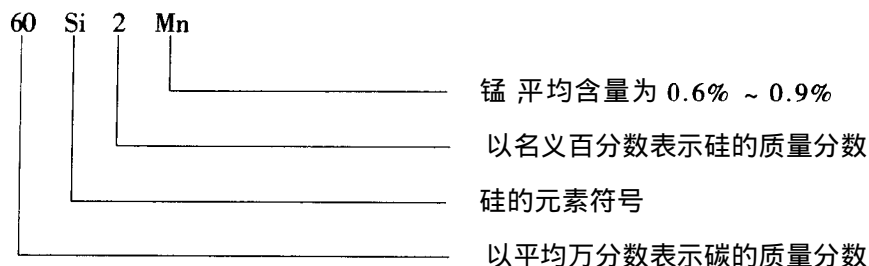
2)合金钢的编号方法

(1)低合金结构钢 其牌号由代表屈服点的汉语拼音字母（Q），屈服点数值，质量等级符号（A、B、C、D、E）三个部分按顺序排列组成。例如 Q390A 表示屈服点 $\sigma_s = \text{MPa}$ 质量等级 A 的低合金结构钢。

(2)合金结构钢其牌号由“两位数字 + 元素符号 + 数字”三部分组成。前面两位数字代表钢中平均含碳量的质量分数的万倍，元素符号表示钢中所含的合金元素，元素符号后面的数字表示该元素平均质量分数的百倍。合金元素的平均质量分数为 1.5% 时，一般只标明元素而不标明数值当平均质量分数为 1.5% ~ 2.5%、2.5% ~ 3.5%…… 时，则在合金元素后面相应地标出 2、3、4……。如果是高级优质钢 则在牌号的末尾加‘A’表示。例如：

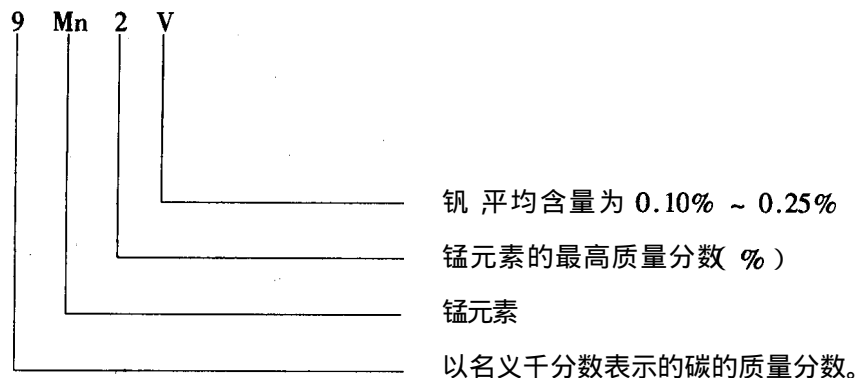


合金弹簧钢的牌号表示方法同合金钢。例如：

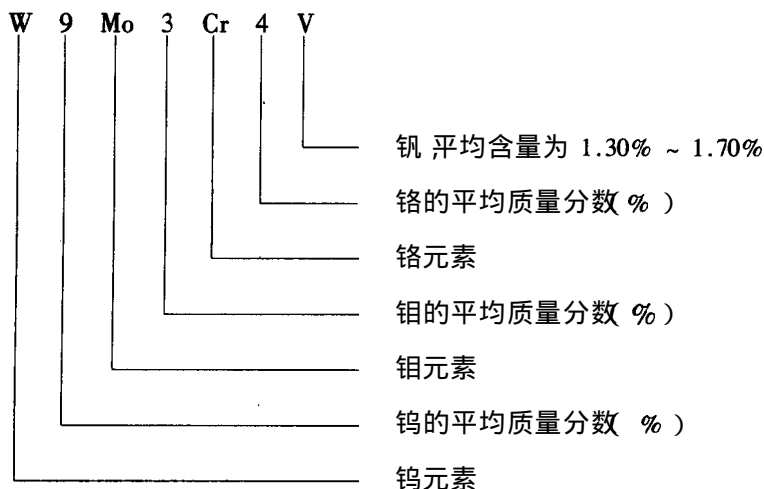


(3)滚动轴承钢 在牌号前面加“G”(“滚”字汉语拼音的首位字母)后面数字表示平均铬的质量分数的千倍,其碳的含量不标出。铬轴承钢中若含有除铬外的其他合金元素时,这些元素的表示方法同一般的合金结构钢。滚动轴承钢都是高级优质钢,但牌号后不加“A”。例如:GCr15 钢 就是平均铬的质量分数为 15%的滚动轴承钢。

(4)合金工具钢 这类钢的编号方法与合金结构钢基本相同,区别仅在于:当碳的质量分数小于 1%时 用一位数字表示碳的质量分数的千倍 当碳的质量分数大于等于 1.0%时 则不予标出。例如：



高速工具钢和一些高合金钢,其碳的质量分数无论多少均不标出。因合金工具钢及高速工具钢都是高级优质钢,所以它的牌号后面也不必再标“A”。例如：



(5)不锈钢与耐热钢 这类钢牌号前面数字表示碳的质量分数的千倍。当碳的质量分数小于等于 0.03%及碳的质量分数小于等于 0.08% 时 则牌号前面冠以“o”及“oo”表示。例如：