

# 第一章 汽车、拖拉机及农用柴油机用钢

汽车和拖拉机零件大都承受动载荷。由于发动机功率的不断增大，热载荷的增加，新工艺的发展以及从设计上进一步降低单位功率的金属消耗量等，对材料提出了更高的要求。现就这些产品的钢材选用时考虑的主要问题，简要地阐述如下：

## 1. 强度、硬度和淬透性：

在设计汽车、拖拉机和农用柴油机零件时，通常首先考虑的是钢的屈服强度或抗拉强度。零件由于所受的载荷不同，金属中除产生拉应力外，还有压应力，扭转应力，弯曲应力和接触应力等。塑性相当大的金属的抗拉和抗压屈服强度大致相等，而脆性金属的抗拉强度则较抗压强度和弯曲强度为低。在设计时，一般以屈服强度或抗拉强度为计算依据。试验证明，钢材的抗拉强度和硬度有对等的对应关系，常可根据硬度来粗略估计其抗拉强度。碳素结构钢和合金结构钢在热轧、退火、正火或调质状态下，如硬度不超过HB500时，其抗拉强度 $\sigma_b$ 约为其布氏硬度值的0.35倍，亦即 $\sigma_b \approx 0.35HB$ 。

汽车和拖拉机零件，由于使用时受力情况不同，对材料各种性能的要求也就不同。在各种零件中，只有少数几种，如汽缸盖螺栓、连杆螺栓等，是在纯拉伸条件下工作的。对于这种零件，所受的力平均分布在整个零件截面上，因此要求用在截面中心处也能完全淬硬的钢来制造。与此相反，对大多数零件来说，它们是在弯曲和扭转等的复合作用下工作的。在这种情况下，零件截面的不同部分所受的力也不相同。如梁弯曲时，最大应力在弯曲部位的最外或最内层；轴扭转时，最大应力则在轴的外表面。有的零件，如汽车的转向节，除被弯曲和扭转外，还受到冲击。对于这一类的零件，它们截面中心部分所受的力很小，甚至等于零，其心部就不需要完全淬硬。有的资料认为只要在零件半径的1/2处，在淬火时能得到约50%的马氏体就可以保证其使用寿命。这样，制造这一类零件的钢就不需要具有很高的淬透性，而选用淬透性不太高的钢来制造，不仅可以减少钢中合金元素的含量，在资源使用和经济上更加合理；而尤其重要的是既保证零件受力最大的部位有足够的强度，同时其心部又有适当的塑性和韧性，保证零件可以承受一定的冲击而不致过早地破损。此外，淬透性高的钢零件，在淬

火时往往产生较大的变形。因此，在选择制造零件用钢时，对钢的淬透性也应选用适当，过高或过低的淬透性均非所宜。

## 2. 疲劳极限：

对汽车、拖拉机和农用柴油机的零件来说，其疲劳极限具有重要的意义。因为这些产品的大多数零件所受的力，无论在数值上或在方向上，总是随时在变化着的。传动系统的所有齿轮和轴都属于此类零件。这些齿轮的轮齿承受着周期性的载荷，轮齿的损坏通常是金属疲劳的结果。变速箱的轴受齿轮之间作用力的影响，在方向不变的情况下，所受的力的大小也经常在变化。其他如后半轴经常承受着反复的扭转力，转向节经常承受反复弯曲力；转向机构的拉杆及某些螺栓则经常承受反复的拉伸与压缩。其他如叶片弹簧、螺旋弹簧、销子、车架等均承受反复的作用力。这些零件的使用寿命与所用金属材料的疲劳极限有很大关系。因此类似上述零件用钢的选择，应充分考虑其疲劳性能。在一般情况下，弯曲疲劳极限与其抗拉强度之比约为0.4~0.6。影响疲劳极限的因素很多，其中以缺口的影响最大。在选择钢材和设计时应当加以注意。对不同成分的钢材，在硬度相同的情况下，其缺口敏感性并不相同。

近二、三十年来，在提高零件的疲劳极限上，采用了许多强化的工艺方法，其中用得较多的是高、中频感应加热淬火、渗氮、软渗氮、离子渗氮、碳氮共渗、喷丸、挤压与滚轧等。

## 3. 韧性：

汽车、拖拉机的轴和其他零件，如杠杆，纵拉杆等联动机件，在运转时经常受到振动，承受冲击载荷，对履带式拖拉机来说尤其严重。因此在选择其用钢时，除了考虑静强度和疲劳极限外，还要考虑其应具有适当的冲击韧性。

## 4. 耐磨性：

汽车、拖拉机和农用柴油机中的不少零件，其损坏或失效是由于零件表面磨损过度造成的。齿轮是在带滑动的滚动摩擦下工作的，特别是在大的压力下产生表层破裂而剥落；如变速箱换挡齿轮，常因换挡时受冲击载荷而造成齿的末端磨损。为了提高零件表面的耐磨性，现在一般采用的热处理方法有：渗碳、碳

氮共渗、渗氮、软渗氮、离子渗氮、高频感应加热淬火等。

#### 5. 切削加工性能:

在一般单件或小批量生产的工厂中, 钢材的切削加工性能在材料选择时, 不一定是主要的考虑因素, 但是在高效能装备和以自动化方式进行大批量和大量生产的工厂中, 钢材切削加工性能的好坏, 就显得特别重要。因为采用切削加工性能好的钢材可以提高劳动生产率, 提高刀具的使用寿命, 有利于自动化生产。

钢的切削加工性能与它的化学成分、金相组织、力学性能(强度、硬度和韧性等)及毛坯的生产方法(铸、锻、热轧、冷拉或预先热处理等)都有关系。自动机床用钢或易切钢所以有良好的切削加工性能, 是由于含有较多的硫或某些其他元素等。稍微提高钢中的硫和锰含量或向钢中添加少量的铅、硒、碲、钙, 可提高钢材的切削加工性能。铝和硅因为易于形成三氧化二铝和二氧化硅, 使钢材切削加工变得困难, 刀具容易变钝; 而其他合金元素如钨、铬、钼、镍等会增加钢的强度和韧性, 所以均使切削加工性能变坏。

具有带状组织的钢, 其切削加工性能不好。中碳结构钢以具有珠光体组织时的切削加工性能为最好,

而高碳钢则以具有球化组织时的切削加工性能为最好。

采用预先热处理方法来改善钢的切削加工性能是很有成效的手段, 通常采用的有退火、正火、正火并高温回火或调质处理。

#### 6. 锻造性能:

要求钢材在锻造时的热塑性能良好, 易于成型, 同时要求锻造后形成的氧化皮很松, 易于脱落和清理。具有良好锻造性能的钢, 可降低锻件的废品率, 在模锻时还可以减少模具的磨损, 延长其使用寿命。汽车、拖拉机和农用柴油机中常用的锻件有优质碳素结构钢和低合金钢, 如35, 40, 45, 40Cr等, 它们的锻造性能都是比较好的。对于钢的锻造性能, 一般来说, 钢中的合金元素愈多, 它的锻造性能就愈差。

#### 7. 焊接性能:

对于某些焊接零件, 如传动轴管, 半轴套管, 驾驶室和某些载重汽车的车架等, 在选择钢材时, 必须考虑钢的焊接性能。钢的焊接性能与钢的碳含量及合金元素含量有关; 碳含量愈高, 焊接性能愈差; 合金元素及杂质元素(磷、硫)含量增加, 也会使焊接性能降低。但有些元素当其含量不高时, 对焊接性能有利, 如钛、铌等。

## 第 1 节 汽车、拖拉机及农用柴油机用钢介绍

汽车、拖拉机和农用柴油机用钢, 按其工艺特点及用途大致可分为八类。

### § 1 渗碳钢

渗碳钢的特点是碳含量较低, 一般在0.10~0.23%为最合适。近年来有把碳含量提高到0.24~0.30%, 而渗碳层厚度相应降低到0.60~0.90毫米的。这样, 不仅可使心部强度增高, 同时并可缩短渗碳时间, 提高生产率。由于渗碳钢要在高温下(900°C以上)长时间保温, 晶粒易于长大, 使钢的性能恶化。为此应选择本质细晶粒钢, 细晶粒钢在渗碳后可直接淬火, 淬火和低温回火后的组织应为细回火马氏体, 其中残余奥氏体较少, 碳化物细小并均匀分布, 没有粗大的碳化物网。一般要求渗碳层中碳的浓度梯度和缓, 碳含量最好在0.8~1.0%范围内。表1-1为常用渗碳钢钢号及用途。

### § 2 调质钢

对调质钢的要求, 主要是淬透性, 以保证零件调质处理后达到一定的强度要求。这一类钢为碳含量0.30~0.60%的中碳碳素结构钢和合金结构钢, 调质钢的热处理主要是淬火和高温回火, 使其具有索氏体或索氏体-屈氏体组织。这种组织使钢的强度和塑性之间有良好的配合。碳素结构钢淬透性差, 一般用在性能要求不高或截面不大的零件上。合金结构钢比碳素结构钢有较好的淬透性, 经调质后比碳素钢有更好的综合力学性能。调质钢一般多在调质状态下使用, 但也有再经过高频感应加热表面淬火, 提高其表面硬度, 用以制造在重载荷和冲击条件下工作要求耐磨的零件。工厂里常采用这种方法来代替渗碳钢, 因为调质钢经调质处理后, 再加上表面淬火, 那就不仅心部有较高的强度和韧性, 还有较高的表面硬度和较好的

耐磨性。采用这种方法不但可以提高劳动生产率,降低成本,对于某些零件来说还提高了质量。表1-2为常用调质钢钢号及其用途。

续表 1-1

表 1-1 常用渗碳钢钢号及用途

钢 号	用 途
20	制造汽车上渗碳和碳氮共渗零件:手刹车蹄片、杠杆轴、变速箱的变交叉、杆、传动被动齿轮、气阀挺杆、凸轮轴、转向拉杆的球碗等,以及拖拉机上的凸轮轴、悬挂平衡器轴、平衡器内外衬套、柴油机输油泵活塞等
30	用于受力不大的零件,一般在正火状态及热处理后应用,也可用来制造碳氮共渗零件
20Mn	制造汽车上渗碳件:齿轮、活塞销、凸轮轴、气阀挺杆、拉杆、悬挂吊杆、离合器铰链、汽门锁片及拖拉机上的摇臂轴、变速箱的闭锁轴、变速轴及止动销等
15Cr	用于在磨损条件下工作的零件:气阀挺杆、活塞销、变速操纵杆用的螺栓、横向拉杆轴衬套、滚轮轴、球头销及球碗等及拖拉机上的小齿轮、转向拉杆球销等
20Cr	用于制造汽车上的万向十字轴、变速器十字轴、滑动离合器、差速器十字轴、气阀挺杆、转向节主销、转向拉杆球头销等及拖拉机上的机油泵轴和齿轮、变速箱止动销、后桥连接接头等
20CrMnTi	制造重要的传动零件:变速箱的轴及各种齿轮、滑动齿套、万向节十字轴、离合器轴、球头销、前桥半轴等
30CrMnTi	制造截面较大的齿轮和心部强度要求特别高的渗碳齿轮
20CrMnMo	制造汽车前桥半轴和各种齿轮及大型拖拉机上的末端传动齿轮
20MnVB 20Mn2TiB	与20CrMnTi近似,用于制造汽车上的部分常啮合齿轮
25MnTiBRE	与20CrMnTi、20CrMo近似,用于制造拖拉机齿轮及其他渗碳零件

钢 号	用 途
20SiMnVB	与20CrMnTi、20CrMo、20CrNi近似,用于制造各种传动零件及其他渗碳零件
20MnMoVB	与20CrMnTi及20CrNi近似,用于制造汽车上的齿轮、前桥半轴及其他渗碳和碳氮共渗零件
20MnMoB	与18Cr2Ni4W和20Cr2Ni4A近似,用于制造重型汽车的减速器和差速器齿轮。又与12CrNi3A相近,用于制造重型汽车变速箱齿轮及其他渗碳零件
24S.MnMoV	与12CrNi3A、20Cr2Ni4A近似,用于制造汽车上的各种齿轮、球头销及其他渗碳和碳氮共渗零件
12CrNi3A 20CrNi3A	制造重型汽车的半轴套管、万向节十字轴、制动棘轮、刹车凸轮轴和减速器,差速器的齿轮等
12Cr2Ni4A	制造前桥半轴、外半轴等
18Cr2Ni4WA	制造柴油机喷油泵的喷油咀和齿轮等

表 1-2 常用调质钢钢号及其用途

钢 号	用 途
30	制造拖拉机的标准件:螺母、双头螺栓等
35	制造汽车和拖拉机上的螺钉、螺母、变速箱换挡杆、变速箱换挡叉和油泵轴、传动轴的万向节叉、凸缘叉等,以及拖拉机上的车架、前梁等
40	制造汽车和拖拉机的连杆、变速箱的变速轴等各种轴类零件,机油泵齿轮和轴、凸轮轴、齿轮、离合器操纵杆、离合器轮毂等
45	制造汽车上的汽缸盖螺栓、连杆螺母、垫圈、键、蜗杆轴、花键轴套、拖曳钩、滑动叉、差速器十字轴、曲轴、凸轮轴、离合器踏板轴及拖拉机后桥轴、变速箱内的各种换挡叉轴及换挡叉、机油泵齿轮及轴、半轴、飞轮齿圈、连杆及盖、气门摇臂轴、气门挺杆、活塞销、钢板销、末端传动

续表 1-2

钢 号	用 途
45	被动齿轮、悬挂平衡杆、内外衬套、组成式的履带板和履带板销等
50	制造汽车上的转向节销、离合器片、车轮锁圈及拖拉机上的履带板销、行星齿轮轴、支重台车轴等
30Mn	制造拖拉机后轮轴、离合器杠杆等
40Mn 45Mn	制造汽车上的半轴、万向节、头轴、分配轴、前轴、连杆、曲轴、制动杠杆及拖拉机上的飞轮齿圈、支重轮轴、导向轮轴等
35Mn2	制造强度与韧性要求较高的汽车发动机连杆盖螺栓、汽缸盖螺栓及拖拉机上的曲轴、半轴等
45Mn2	制造在较重载荷下工作的零件，如曲轴、连杆及盖、进气阀、杠杆，各种轴类零件，各种重要螺栓，如连杆盖螺栓、飞轮螺栓、差速器壳螺栓、半轴螺栓等
30Cr	制造汽车上的转向齿轮轴、前轴、转向节臂、转向拉杆、转向直拉杆臂等
40Cr	制造汽车连杆盖螺栓、汽缸盖螺栓、离合器传动销、滚动轴承止推环、进气阀、转向蜗杆、变速箱齿轮、变速箱第一轴、第二轴、传动轴花键轴、半轴、转向节、转向节臂等及拖拉机气阀摇臂、油泵齿轮、导向轮轴、后桥半轴、后轮轴、曲轴、柴油泵轴套、液泵泵偏心轴、驱动轮螺栓等
45Cr	制造拖拉机曲轴、进气阀、变速箱第一轴、第二轴、变速轴止动销、变速叉和操纵杆、后桥轴、前轮轴、行星齿轮轴、末端传动被动齿轮等
35SiMn 42SiMn	制造汽车上的螺栓、小轴、半轴、高频感应加热淬火齿轮及拖拉机的进气阀，以及用来制造部分轴类、齿轮类零件和重要用途的螺栓等时，与40Cr钢近似
35CrMo 42CrMo	用来制造重型汽车的曲轴及连杆螺栓，连杆，中、后桥半轴等

续表 1-2

钢 号	用 途
30Mn2MoW 40Mn2MoW	用来制造重型汽车的前桥内外半轴、转向节、后半轴等
40CrMnMo	与40CrNi、40CrNiMo近似，用作汽车上高级调质钢的零件，如半轴、转向节、传动轴花键轴等
40MnB 45MnB 40MnVB	与40Cr、45Cr近似，用作调质零件，如转向节、转向拉臂、变速箱第二轴、传动轴花键轴等

### § 3 高、中频感应加热淬火用钢

以下介绍的高、中频感应加热淬火用钢仅指中碳的碳素结构钢和合金结构钢的普通用钢和表面淬火用钢（低淬透性钢）；工具钢、轴承钢等应用于高、中频感应加热热处理者不在讨论范围内。

近年来高、中频感应加热淬火在机械制造业中得到了广泛的应用，它的优点是加热时间短，生产率高，工艺易于控制，还可以安排在机械加工生产线上进行流水生产和自动化。由于加热速度快，因而避免了热处理过程中的过热，晶粒长大、表面氧化、脱碳等缺点，并降低零件的变形程度。经过高、中频感应加热淬火后的零件，不但提高了零件表面的耐磨性，更重要的是在零件表面上形成残余压应力，大大地提高了零件表面的疲劳极限。因此有可能用普通的碳素结构钢和合金结构钢以及表面淬火用钢来代替贵重的合金钢，而且不降低零件的质量和使用寿命，同时也简化了热处理工艺。

对于高、中频感应加热淬火普通用钢最主要的是考虑其碳含量。适宜的碳含量是高、中频感应加热淬火普通用钢的重要条件，过高的碳含量在热处理时可能会产生开裂；过低的碳含量又会使硬度达不到要求。所以，高中、频感应加热淬火普通用钢碳含量的选择原则，是在满足硬度和组织要求的条件下，碳含量愈低愈好，这样就不易产生淬火开裂。一般情况下，碳含量为0.40~0.60%，在某些情况下，如零件在干磨损的条件下，碳含量可提高到0.60~0.70%。为保证零件硬度均匀，质量稳定，高、中频感应加热淬火普通用钢常采用碳含量范围较窄的“精选钢”，例如凸轮轴用钢的碳含量一般采用的精选范围为0.42~0.47% C。

当用高、中频感应加热淬火用钢代替渗碳钢以提高耐磨性或提高调质钢的抗疲劳性能时,其碳含量要求不同。代替渗碳钢零件的钢,由于表面要求硬度高,在采用普通钢时,应精选碳含量较高的钢,其碳含量为0.50~0.55%,甚至可高达0.70%;若采用表面淬火用钢时,其碳含量更可高达1.15%。欲提高调质零件的耐磨性时,采用普通钢的碳含量范围为0.37~0.43%;而在采用表面淬火用钢时,含碳量则可高达0.63%。

对于高、中频感应加热淬火普通钢的其他一些要求是:

(1) 零件表面不得有脱碳或贫碳现象,否则会形成软点或硬度达不到要求;

(2) 零件表面不得有微裂缝等缺陷;

(3) 钢的原始组织对高、中频感应加热淬火零件的质量有很大影响,晶粒度应均匀而细小,一般要求细于六级。因此高、中频感应加热淬火的零件,应进行预先热处理,以获得良好的原始组织。调质处理所得较细的索氏体组织是较为理想的高、中频感应加热淬火的原始组织,但调质工艺比较复杂,周期长,成本高,所以大部分用正火来代替调质作预先热处理。

钢中如果有条带或大块的铁素体存在,经高、中频感应加热淬火后,会造成软点或硬度不均匀,所以高、中频感应加热淬火用钢在淬火前不应作退火处理。

在正确选择淬火层轮廓的情况下,采用高、中频感应加热表面淬火可以大大提高零件的疲劳寿命,而现行的高、中频感应加热淬火普通钢在某些情况下是较难达到沿轮廓淬火的(如中模数的齿轮)。再者欲使薄壁零件稳定地达到一定的硬化层深度和良好的金相组织也是相当困难的,在有些情况下,甚至无法达到,这主要是由于实现较小深度的完全淬火有困难。

积累的经验 and 试验的数据表明,建立专门的表面淬火用钢,就能够使高、中频感应加热淬火的优越性充分地显示出来。

对于表面淬火用钢应满足以下的要求:

(1) 由于淬火层一般都不是很深的,所以就不一定要求有高的淬透性。

(2) 为了保证钢制零件经表面淬火后,有最高的硬度,应能容许采用喷水淬火或流水淬火,亦即快速冷却时,不致在淬火表面上产生淬火裂缝。

(3) 为了提高淬火零件表面的耐磨性和接触疲劳极限,应提高钢中的碳含量,以切削加工条件所容许而又不产生钢的淬火开裂倾向为限度。

上述条件,只要限制钢中的锰、硅和其他残余元素的含量,并加入强碳化物形成元素(如钛、钒等),和在炼钢时采用专门的脱氧工艺,以消除钢对淬火开裂的敏感性,是可以做到的,例如低淬透性钢55Tid<sup>①</sup>,60d<sup>①</sup>等。前者适用于制造齿轮模数不大于5的齿轮,后者则适用于制造齿轮模数为5~8的齿轮。

表1-3列有常用的高、中频感应加热淬火用钢及其用途。表1-4,表1-5及表1-6,分别为几种普通用钢及表面淬火用钢高、中频感应加热淬火后的抗弯、扭转抗切强度,冲击韧性和疲劳极限。

表 1-3 常用高、中频感应加热淬火用钢及其用途

钢 号	用 途
35	用于汽车、拖拉机变速箱换挡叉和油泵轴等
40	用于汽车、拖拉机变速轴、齿轮和凸轮等
45	用于汽车、拖拉机和农用柴油机曲轴、凸轮轴,汽车和拖拉机半轴,汽车变速箱的各种换挡叉轴及机油泵齿轮和轴,以及各种凸轮等
50	用于拖拉机支重台车轴
45Mn2	用于齿轮,与40Cr钢近似
40Cr	用于汽车、拖拉机的齿轮。汽车后半轴、变速箱第二轴、传动轴花键轴等
40MnB 45MnB	用于汽车变速箱第二轴、传动轴、花键轴等
35CrMo	用于重型汽车的曲轴等
55Tid	用于拖拉机的中等模数齿轮及轴等,与20CrMnTl钢近似
60d	用于拖拉机及汽车的大模数齿轮,如拖拉机的末端传动齿轮,与30CrMnTl钢近似

① d表示低淬透性钢。55Tid,60d钢,以前曾习惯上写做55DTi,60D,现按GB221-63规定精神加以更正。

表 1-4 几种钢高频感应加热淬火后的抗弯及扭转抗切强度

钢号	高频感应加热淬火工艺	抗弯强度		硬度 HRC	扭转抗切强度	
		$\sigma_{bb}$ , kG/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{pb}$ , kG/mm <sup>2</sup>		$\tau_b$ , kG/mm <sup>2</sup>	$\tau_p$ , kG/mm <sup>2</sup>
40①	920℃淬火, 190±10℃回火	450	255	56	160	94
45①	850℃淬火, 150℃回火	—	—	57	200	114
	850℃淬火, 225℃回火	—	—	51	164	104
40Cr①	960℃淬火, 190±10℃回火	460	260	—	172	96
55Tid②	840℃淬火, 190±10℃回火	370	—	58	164	—
60d②		220	—	—	164	—

① 弯曲试样尺寸为 $\phi 10 \times 100$ 毫米, 扭转试样尺寸为 $\phi 12$ 毫米。

② 弯曲试样尺寸为 $3 \times 25 \times 80$ 毫米, 扭转试样外径为10毫米, 内径为6毫米, 长为60毫米。

表 1-5 几种钢高频感应加热淬火后的冲击韧性

钢号	原始状态	淬火层深度, mm	回火温度, ℃	冲击值, $\alpha_K$ kG·m/cm <sup>2</sup>
40	正火	—	—	4.7
	正火	1.5	200	2.4
	正火	2.5	200	2.5
	调质	—	580	13.6
	调质	1.5	200	9.4
	调质	2.5	200	9.2
40Cr	调质	—	600	11.0
	调质	1.5	200	9.8
	调质	2.5	200	8.6
55Tid①	深层感应加热淬火	透热	190	9
60d①	深层感应加热淬火	同上	190	8

① 冲击试样尺寸为 $\phi 8 \times 55$ 毫米。

## §4 弹簧钢

为了保证弹簧的正常使用, 尤其是在高载荷下, 要求制造弹簧用的钢具有高强度、高弹性极限和弯曲疲劳极限, 以及足够的韧性和塑性。为了满足这些要求, 弹簧钢除首先要有较高的碳含量、纯度和高的冶炼质量外, 还应具有良好的热处理工艺性能, 如保证稳定的淬透性, 不易脱碳和石墨化等。弹簧钢按其化学成分可分为碳素弹簧钢和合金弹簧钢两大类。按供应状态的力学性能, 弹簧钢亦可分为如下两类:

(1) 在供应状态就具有了弹簧成品所需要的力学性能的钢, 如碳素弹簧钢丝和重要用途的弹簧钢丝。在加工后只需要进行低温回火, 以消除冷拉和卷绕时所产生的应力。

(2) 热轧或退火状态供应的弹簧钢, 当加工制造成弹簧后, 需进行热处理(淬火及中温回火)以获得所需要的性能。

表 1-6 几种钢高频感应加热淬火后之弯曲疲劳极限

钢号	热处理状态	$\sigma_{-1}$ , kG/mm <sup>2</sup>	数值比较, %
40	原始状态(正火)	29.0	100.0
	淬火层深度1.5mm, 200℃回火	44.3	152.8
	淬火层深度1.5mm, 350℃回火	41.3	142.4
	淬火层深度2.5mm, 200℃回火	36.7	126.6
	淬火层深度2.5mm, 350℃回火	36.3	125.2
	调质(850℃淬火, 580℃回火)	41.8	144.0
	调质+淬火层深度1.5mm, 200℃回火	40.0	137.9
	调质+淬火层深度1.5mm, 350℃回火	45.0	155.2
	调质+淬火层深度2.5mm, 200℃回火	36.5	125.7
	调质+淬火层深度2.5mm, 350℃回火	44.0	151.8

续表 1-5

钢 号	热 处 理 状 态	$\sigma_{-1}$ , kG/mm <sup>2</sup>	数值比较, %
40Cr	供应状态	32.8	100.0
	调质 (900℃ 淬火, 600℃ 回火)	47.3	144.0
	调质 + 淬火层深度1.5 mm, 200℃ 回火	56.5	172.0
	调质 + 淬火层深度1.5 mm, 350℃ 回火	58.8	179.0
	调质 + 淬火层深度2.5 mm, 200℃ 回火	66.5	203.0
	调质 + 淬火层深度2.5 mm, 350℃ 回火	57.5	175.0
50Cr	原始状态 (正火)	35.6	100.0
	淬火层深度1.0 mm, 180℃ 回火	46.2	130.0
	原始状态 (正火) ①	19.8	56.0
	淬火层深度1.0 mm, 180℃ 回火①	49.0	138.0
	淬火层深度1.0 mm, 350℃ 回火①	43.5	123.0
55Tid	原始状态	17.5	100.0
	深层感应加热淬火 (850℃ 淬火)	41.7	236

① 试样直径为  $\phi 18$  毫米, 具有圆弧缺口, 圆弧缺口深 0.40 毫米, 缺口底部  $r 0.3$  毫米。

文化大革命以来, 在弹簧钢方面研制出了几种新的钢种。这些钢种与原弹簧钢种相比的不同之处是含有我国富有的合金元素。显著地改进了钢的综合性能。这些新牌号的弹簧钢, 具有较高的淬透性, 较高

的强度和屈强比, 韧性、塑性好, 回火脆性不敏感, 脱碳倾向小, 疲劳寿命高等特点。因此是制作重型汽车、越野汽车的钢板弹簧及螺旋弹簧较理想的材料。表 1-7 所列为常用弹簧钢的力学性能和用途。

表 1-7 常用弹簧钢的力学性能及用途

钢 号	热 处 理 制 度			力 学 性 能				用 途
	淬火温度	淬火剂	回火温度	$\sigma_{0.2}$ , kG/mm <sup>2</sup>	$\sigma_b$ , kG/mm <sup>2</sup>	$\delta_{10}$ , %	$\psi$ , %	
	℃		℃	不 小 于				
65	840	油	500	80	100	9	35	汽车上各种螺旋弹簧
75	820	油	480	90	110	7	30	
85	820	油	480	100	115	6	30	
65Mn	830	油	540	80	100	8	30	
55SiMnVB	860	油	460	125	140	5	35	汽车上各种螺旋弹簧及钢板弹簧
55Si2Mn	870	油	460	120	130	6	30	直径或厚度小于10 mm 的各种螺旋弹簧及钢板弹簧
60Si2Mn	870	油	480	120	130	5	25	厚度为10~12 mm 的钢板弹簧
55SiMnMoV①	880	油	560	130	140	7	35	直径或厚度大于12 mm 的各种螺旋弹簧及钢板弹簧
55SiMnMoVNb①	880	油	520	130	140	7	35	
60Si2MnBRE①	870	油	460	140	160	5	20	
50CrMn	840	油	490	110	130	5	35	中型及重型汽车气门弹簧及钢板弹簧

续表 1-7

钢 号	热 处 理 制 度			力 学 性 能				用 途
	淬火温度 °C	淬火剂	回火温度 °C	$\sigma_{0.2}$ , kG/mm <sup>2</sup>	$\sigma_b$ , kG/mm <sup>2</sup>	$\delta_{10}$ , %	$\psi_1$ %	
50CrVA	850	油	520	110	130	10③	40	同上及拖拉机的柴油泵柱塞弹簧和喷油嘴弹簧
45CrNiMoVA②	860	油	460	135	150	7③	35	汽车上悬挂部分元件——扭力杆
45SiMnMoVA②	890	油	500	136	145	10③	38	
重要用途 65Mn 弹簧钢丝	冷卷后, 340°C回火			—	—	—	—	轻型及中型载重汽车的汽门弹簧
碳素弹簧钢丝, Ⅲ组	冷卷后, 250~320°C回火			—	—	—	—	拖拉机密封弹簧和弹簧挡环
碳素弹簧钢丝, Ⅱa组	同 上			—	—	—	—	拖拉机转向离合器大小弹簧和压紧弹簧, 变速杆弹簧, 分离杆弹簧, 推杆大小弹簧, 支重轮和导向轮密封弹簧, 活塞销锁环等
碳素弹簧钢丝, Ⅱ组	同 上			—	—	—	—	拖拉机输油泵拖杆弹簧, 输油泵活塞弹簧, 气阀弹簧, 气阀挡环等
碳素弹簧钢丝, Ⅰ组	同 上			—	—	—	—	拖拉机柴油泵止回阀弹簧, 调速器内外弹簧, 起动机活塞销锁环等

① GB1222-75 标准外的新钢号。

② 45CrNiMoVA 系 YB 6-71, 合金结构钢标准中钢号; 45SiMnMoVA 系新发展的合金结构钢非标准钢号。

③ 系  $\delta_5$  数值。

## §5 冷 冲 压 用 钢

### (一) 冷冲压用钢的分类

汽车和拖拉机用的冷冲压钢大致可分为两类:

#### 1. 薄钢板:

厚度小于或等于 4 毫米, 一般用来制造车身、驾驶室、发动机罩、翼子板等不承受载荷的各种覆盖零件。这类钢有着良好的深冲压性能。常用的钢号有 08, 08F, 08A1, 10 及 10F 等。较普遍采用的是 08A1, 08F 及 10F 钢板。要求偏析和夹杂物愈低愈好。

#### 2. 厚钢板:

厚度大于 4 毫米, 用来制造承受一定载荷的零件, 如大梁、横梁等。这类钢既要求有良好的冲压性能, 又要求有一定的强度和承受冲击的能力。常用的钢号有 09MnREL, 16MnL, 08, 10, 25, 35 等。

### (二) 冷冲压用钢的质量要求

冷冲压用钢的冲压性能与成型性能的好坏, 除了与工艺条件, 如拉伸力、变形速度与变形量、钢板厚薄、间隙大小、润滑剂等因素有关外, 更重要的是与钢材供应时的质量有密切的关系。对冷冲压用钢的要求如下:

#### 1. 化学成分:

对冷冲压用钢来说, 碳是一个提高强度, 降低塑性的元素。所以冷冲压性能的好坏与碳含量有关, 碳含量低有助于深冲压, 因此深冲压用的钢板碳含量一般应在 0.1% 以下。碳含量较高的, 仅可作一般冲压件用。凡与铁能形成固溶体的元素如硅 (沸腾钢的硅  $\leq 0.03\%$ , 镇静钢的为常量)、铬 ( $< 0.15\%$ )、磷等应保持在最低的容许含量内。

#### 2. 力学性能:

(1) 屈强比 ( $\sigma_s/\sigma_b$ ) 愈小, 塑性愈好, 有利于冲压, 这对深冲压件有很重要的意义。根据生产汽车前后翼子板的经验, 屈强比最好小于0.65。

(2) 塑性愈高, 冲压性能愈好。深冲压用08Al冷轧薄钢板的伸长率 ( $\delta_{10}$ ) 可高达44%以上。对大梁车架用钢板伸长率 ( $\delta_{10}$ ) 的要求虽较低, 亦在17%以上。

(3) 硬度与塑性有着一定的关系, 硬度低者, 塑性好; 硬度高者, 塑性较差。因此硬度低的钢板可作深冲压件, 硬度较高的仅可作一般的冲压件。

### 3. 显微组织:

球化组织冲压性能较珠光体冲压性能为好。碳化物沿晶界分布时性脆, 冲压时易于开裂。而三次碳化铁的出现容易造成脆性。带状组织和非金属夹杂物, 对冷冲压均不利。晶粒最好呈圆饼形, 晶粒度应均匀, 一般薄钢板最适宜的晶粒度为6~7级, 厚钢板(非深冲压钢板)可大到5级。粗的或过细的晶粒, 对冲压皆不利, 前者在深冲压时易产生裂缝, 并导致

冲压件表面呈桔皮状; 后者钢板的弹性较大, 冲压时易损坏模子或使零件开裂。用作冷冲压的钢板, 不容许有夹层。

### 4. 时效性能:

一般热轧及冷轧后退火的低碳钢板, 特别是沸腾钢钢板, 由于有屈服伸长, 在冲压时会在表面上某些部位产生滑移线, 形成“流线”、“水波纹”等缺陷, 严重影响冲压件的表面质量。这种缺陷, 对某些冲压件, 如汽车车身、电镀零件等是绝对不允许存在的。通常是采用“平整”措施, 使钢板产生约1%的变形以消灭屈服伸长来防止这种缺陷的产生的。但由于应变时效作用, 经平整后的钢板, 在存放一定时间后, 屈服伸长又将出现。为了解决这一问题, 要求冲压用钢板的时效敏感性愈小愈好。沸腾钢的时效敏感倾向较严重, 因此一般避免用沸腾钢轧制深冲压钢板。

表1-8列示常用冷冲压钢板的力学性能及用途。

表 1-8 常用冷冲压钢板的力学性能及用途

钢 号	屈服点 $\sigma_s$ , kG/mm <sup>2</sup>	抗拉强度 $\sigma_b$ , kG/mm <sup>2</sup>	伸长率 $\delta_{10}$ , %	硬度, HB		用 途 举 例
			不小于	不大于		
A2, A2F	22	34~42	26	—	—	拖拉机发动机翼子板、驾驶室底板、前后边板、各种支架角板等
A3, A3F	24	38~47	21	—	—	
08Al	22	26~35	42	—	—	车厢、驾驶室、发动机罩、风扇叶片、散热器护罩等覆盖零件
08F	—	28~30	30	100	—	
08, 10, 10F	—	28~42	27	108	—	
25	—	40~55	23	138	—	汽车大梁、横梁、车架及保险杠等
35	—	50~65	18	161	—	
09MnREL	25	38	27	—	—	
12MnL	30	45	17	—	—	
16MnL, 16MnREL	36	52	20	—	—	

注: 1. 表列数值系综合 GB 700-65, GB 710-65, YB 149-70, YB 205-63, YB 215-64 及其他有关标准规定而成。表列屈服点数值, 除 08Al 钢者外, 均为最小值; 抗拉强度数值, 除列有范围者外, 亦均为最小值。

2. 表列伸长率数值, 除 08Al 钢者外, 均系对普通拉延级钢而言; 深拉延及最深拉延级钢的伸长率均较表列数值有不同程度的提高。

3. 薄板及较厚钢板的伸长率, 较表列数值有不同程度的提高或降低; 详细规定可参阅各有关标准。

4. 表列 08Al 钢的屈服点为最高允许值。所列 08Al 钢的性能仅适用于复杂 (F) 拉延级的 1.2 毫米冷轧薄板; 对其他拉延级及厚度的薄板性能, 可参阅 YB215-64。

## § 6 冷镦、冷挤压用钢

在现代化的汽车和拖拉机制造业中, 广泛地采用

冷镦工艺来生产互换性较高的标准件, 如螺钉、销钉、螺栓、螺母及圆头螺钉等; 采用冷挤压工艺来生产那些原先需要切削加工的零件, 如活塞销、球头

销、轮胎螺母等。它们的优点是材料利用率高，生产率高，适合于成批和大量生产，成本低。由于生产中每个零件的压缩比（或变形量）都比较高，最高变形量达80%左右，而且大多数是一次成形，因此要求冷镦、冷挤压用钢具有很高的塑性，高的表面质量，不容许有细发纹，以便零件在冷塑性变形过程中易于成型，而不致产生裂缝，同时又要保证成型后的零件得到高的精确度。钢材的表面质量和内部缺陷是在冷镦、冷挤压时形成开裂的主要因素，尤其钢材的表面质量更为重要。

钢的碳含量对冷镦、冷挤压用钢的性能有很大影响。随着碳含量的提高，钢的强度、硬度升高，塑性降低，冷镦、冷挤压性能就差。所以钢中碳含量超过0.25%时，对冷镦变形较大的零件，应先将冷镦用钢进行球化退火处理，以改善其塑性。对冷挤压变形较大的零件来说，有时为了降低冷挤压的变形抗力，在冷挤压前还应将毛坯进行软化热处理，以更好地改善钢的塑性。钢的显微组织对钢的冷镦、冷挤压性能而言，以球化组织最好，珠光体较差。

冷镦、冷挤压用钢的表面不容许有任何肉眼可见的重皮、折叠、疵疤、刻痕、微裂缝等缺陷。否则会在冷镦、冷挤压时产生裂缝。钢材表面脱碳层深度应严格控制，一般不超过直径的1.5%。钢的内部不容许有严重的夹杂物、夹层、疏松、缩孔和显著的偏析存在。这些缺陷都是导致冷镦、冷挤压零件报废的原因。

有关冷镦及冷挤压用钢钢种及性能，可参阅YB 534-65，冷镦钢；及本手册第三篇（下册第一分册）中有关章节。

## §7 易切结构钢

### （一）易切结构钢的种类

在机械制造业中，切削加工仍是一种主要工艺。随着机械工业和近代技术的发展，切削加工正走向精密化、高速化和自动化大量生产。为此，对钢材的切削加工性能的要求也越来越高，这就促使了易切钢的出现。向钢中添加硫，炼制成含硫易切钢，是易切结构钢中最先的一类钢种，其次出现的就是含铅、硒、碲、钙的易切结构钢种。易切结构钢大体上可分为四类，即硫易切结构钢，铅易切结构钢，硒、碲易切结构钢，和钙易切结构钢。

#### 1. 硫易切结构钢：

向钢中加入0.08~0.30%的硫，使在钢中以硫化锰（MnS）的形态存在。硫化锰在切削过程中，除可起到缺口作用，使切屑断碎外，还可起到润滑作用。因而使钢材的切削加工性能得到改善。切削速度可达40~50米/分。

MnS经轧制后，沿着压延方向伸长，因此加剧钢材力学性能的异向性，使横向性能明显降低，所以含硫易切结构钢，只可用作一些强度和韧性要求不高的零件。

#### 2. 铅易切结构钢：

向钢中加入0.15~0.35%的铅，能显著提高钢的切削加工性。铅并不溶于钢中，而在钢中以微粒状分布。它之所以能改善切削加工性能，主要是铅的熔点很低（327°C），切削时由于工具和切屑之间的强烈摩擦，使钢中的铅粒以熔融状态浸出，此种熔融的铅除可直接起到润滑作用外，还可使被切部分的加工硬化现象趋于缓和，同时促使被切部分加速流动，于是大大改善了钢材的断屑性能，从而使钢材的切削加工性能明显提高。切削速度可达60米/分。

含铅易切钢在低速下加工，其切削加工性能较为理想。它不适于在高速下加工，这是由于在高速切削时，切削温度升高，钢中的铅粒熔融渗出，与氧化合成PbO，它侵蚀工具钢中的钨，会加速刀具的破坏。它的另一弱点是接触疲劳强度很低。这是由于零件承受较大的脉冲载荷时，零件表面温度迅速升高，瞬间即达到铅的熔点，随后就在表面以微小的铅粒熔融渗出，促进零件的点蚀破坏，所以含铅易切结构钢不适于制造承受较大接触压力的零件。

由于钢中的铅以微粒状分布，含铅易切结构钢的方向性不显著，力学性能几乎不存在异向性。与含硫易切结构钢的强度相比，它具有较高的强度值，可以用来制造较重要的一些零件。

#### 3. 硒、碲易切结构钢：

钢中加入微量的硒或碲，它们能在钢中形成在轧制时不易变形的化合物（其中以碲的效果最显著），因此使钢的方向性也不显著。微量的硒、碲之所以能改善钢的切削加工性能，是由于产生缺口效应和润滑作用。其机理与含硫易切结构钢相似。

由于硒、碲等是稀有的贵重元素，价格较高，一般很少使用。只有一些较高级的合金钢，如含有0.15~0.25%硒的不锈钢和含有0.05%碲的轴承钢等，才加以应用。

#### 4. 钙易切结构钢:

含钙易切结构钢是在脱氧过程中,用含钙的脱氧剂,如Ca-Si, Fe-Si-Ca等进行脱氧所得到的钢种。钢中的钙含量在0.0005~0.01%范围之内,一般在0.002%左右。这种钢最大的特点是通过调整脱氧反应产物的形态和组成来改善钢的切削加工性,而不是象硫、铅易切结构钢那样靠加入一定量的硫、铅来改善钢的性能。也应该指出,在钙易切钢中加入硫、铅等元素,仍可进一步改善钢的切削加工性。

对钙易切结构钢的切削机理与对硫、铅等易切结构钢的不同。在切削钙易切结构钢的过程中,由于切屑的剧烈变形,在切屑下部产生1100~1500°C的高温,使钢内在脱氧反应中产生的一些低熔点氧化物夹杂软化或熔融,而附着于刀具的切削面(前倾面或后隙面)上形成一种特殊的薄膜(主要由2~3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub>所组成),对刀具起到润滑作用,从而降低刀具的磨损,使刀具寿命大为提高。

含钙易切结构钢除了具有较好的切削加工性外,还有其他若干特点,如钢材较纯净,淬透性和力学性能(包括疲劳极限)等与普通钢的相同或近似,因而不需要改变热处理工艺,耐磨性较好,焊接性与普通钢相同。因此,钙系易切结构钢是很有发展前途的。

#### (二) 易切结构钢钢号和性能

在汽车和拖拉机的生产中,需要大量的、各种品种规格的易切结构钢,以便在不增加设备和人员的条件下,提高需要切削加工的机器零件,如各种标准件、轴类及齿轮等的生产效率。

目前钢厂生产和供应的,主要是硫易切结构钢。表1-9及表1-10分别列示热轧和冷拉硫易切结构的室温力学性能等。

表 1-9 硫易切结构钢热轧材的纵向力学性能

钢号	抗拉强度 $\sigma_b$	伸长率 $\delta_5$	面缩率 $\psi$	硬 度
	kG/mm <sup>2</sup>			
Y 12	42~57	22	36	167
Y 15	40~55	22	36	160
Y 20	46~61	20	30	170
Y 30	52~67	15	25	187
Y40Mn	60~75	14	20	207

表 1-10 硫易切结构钢冷拉材的纵向力学性能

钢号	抗拉强度 $\sigma_b$ , kG/mm <sup>2</sup>			伸长率 $\delta_5$	硬 度
	钢材尺寸, mm				
	<20	20~30	>30	%	HB
Y 12	55~80	55~75	52~70	7.0	167~229
Y 15	52~80	52~75	50~70	7.0	152~217
Y 20	62~80	57~76	54~73	7.0	167~229
Y 30	64~84	60~80	55~77	6.0	174~229
Y 40Mn <sup>①</sup>	60~80			17	179~229

① 表列Y 40 Mn的性能,系冷拉后经再结晶退火(高温退火)处理者的性能。

## §8 气 阀 用 钢

随着内燃机向高载荷、高速度、高输出功率等方向的发展,气阀的使用条件越来越苛刻。因此对气阀材料各种性能的要求也愈益严格。

内燃机气阀从结构上来看,有整体阀(阀头和阀杆用同一材料)和焊接阀(阀头和阀杆用不同的材料焊接而成)。为了降低气阀工作温度,有采用以装有金属钠冷却的空心阀(即在阀头中空部位填入占空心容积40~60%的金属钠)。钠受热熔化后依靠其循环冷却作用,可降低阀头温度约100°C。但空心阀的制造工艺复杂,所以多数排气阀都是实体阀。

### (一) 工作条件

#### 1. 工作温度:

进气阀工作温度一般为300~600°C。排气阀的温度一般为650~900°C;汽油机气阀的最高温度在阀颈部位,而柴油机的最高温度则在阀盘中心。

#### 2. 受力状态:

气阀除承受交变的拉压载荷外,当阀头存在温度梯度以及阀面堆焊合金和气阀材料存在热膨胀时,在阀面产生切向应力,常使阀盘产生径向裂缝。由于气阀的高速运动和频繁起动,除了机械应力疲劳外,在气阀头部还存在热疲劳。

#### 3. 燃料燃烧产物的腐蚀:

为了提高汽车发动机的出力和增加压缩比,常向汽油中加入四乙基铅、溴化铅等作为抗爆剂,燃烧后生成PbO。柴油中含有钒、硫、钠等元素,燃烧后产生V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S等。排气阀在有这些燃烧产

物的气氛条件下工作，将遭受到强烈的氧化和腐蚀作用。特别是在气阀降落表面与气阀座相接触的斜面上将遭到严重的腐蚀破坏，而这种破坏会导致气阀降落到气阀座上的气密性破坏，引起漏气，局部温度提高和加速气体腐蚀的过程。排气阀与进气阀相比，是在更繁重更恶劣的条件下工作。

**(二) 对钢材的要求**

气阀用钢应该具有下列的性能：

1. 具有较高的室温和高温强度、持久强度、硬度和耐磨性；
2. 具有良好的抗燃气腐蚀性和抗氧化性；
3. 在工作期间保持尺寸稳定和不变形；
4. 有高的导热系数，而线膨胀系数应和导管材料的大致相近；
5. 具有良好的冷、热变形和切削加工性能及焊接性能。

**表 1-11 我国气阀用钢的钢号和用途**

钢 号	用 途	附 注
40Cr 4Cr9Si2 4Cr10Si2Mo 4Cr14Ni14W2Mo	进气阀 进、排气阀 进、排气阀 排气阀	国标和冶标 钢种
3Cr13Ni7Si2 (21I72) 5Cr21Mn9Ni4N(21-4N) 8Cr20Si2Ni (En59)	排气阀 汽油机排气阀 进、排气阀	试制的国外 钢种
40Mn2SiAlV 50Mn2Si2Al3WV TF-1 TF-2 TF-3 LF320	进气阀 排气阀 排气阀 排气阀 排气阀 排气阀	研制的新钢 种

**表 1-12 常用气阀钢常规热处理制度及力学性能**

钢 号	热 处 理	金 相 组 织	屈服强度	抗拉强度	伸长率	面 缩 率
			$\sigma_{0.2}$ , kG/mm <sup>2</sup>	$\sigma_b$ , kG/mm <sup>2</sup>	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %
40Cr	850℃ 油淬, 500℃ 水或油冷	索氏体	80	100	9	45
4Cr9Si2	1000~1060℃ 油淬, 720~780℃ 油冷	索氏体 + 碳化物	60	90	19	50
4Cr10Si2Mo	1010~1040℃ 油淬, 720~760℃ 空冷	索氏体 + 碳化物	70	90	10	35
4Cr14Ni14W2Mo	820~850℃ 时效	奥氏体 + 沉淀析出碳化物	32	72	20	35

表1-11列举我国气阀钢的钢号和用途。表1-12是几种常用气阀钢的常规热处理制度及相应的力学性能。

**(三) 气阀的表面防护**

为提高气阀阀面的耐热、抗蚀和耐磨性能，达到延长气阀使用寿命，常用下述各种金属表面防护技术。

**1. 阀面堆焊耐热合金：**

这是目前高性能排气阀普遍采用的一种表面防护法。堆焊的方法有手工焊、氩弧焊、等离子金属粉末喷焊和铸造耐热合金圈中频加热钎焊等。被堆焊的金

属有钴基的、镍基的和铁基的。经堆焊合金后气阀的使用寿命可显著地提高。

**2. 气阀渗铝：**

钢铁表面经渗铝后，能显著改进其抗氧化性，耐热性和耐磨性。经渗铝后的气阀，其寿命可比原来未经渗铝的提高2~3倍。近年来在渗铝工艺上有了许多改进，如已实用的高频加热喷铝法和气相渗铝法等。

**3. 阀杆表面化学热处理：**

对于气阀杆部为增加其耐磨性，近来在工艺上采用镀铬、软渗氮以及离子渗氮等工艺。

**第 2 节 汽车、拖拉机和农用柴油机主要零件的热处理**

**§ 1 曲 轴**

曲轴是发动机中最主要的零件之一，它承受发动机周期性变化着的气体压力，活塞连杆组的往复惯性

力、回转惯性力和曲柄间的扭转力等的作用，这些力在轴颈表面造成很高的单位压力；在高速的发动机中，还有扭转振动的影响。因此制造曲轴的材料要求具有高的强度和适当的冲击韧性，同时轴颈表面承

受磨损，因此轴颈部分需要有高的耐磨性。

汽车、拖拉机和柴油机的曲轴大都采用中碳结构钢制造，并在轴颈或轴颈和轴颈圆角处进行局部表面淬火，以提高其耐磨性及疲劳极限。在大量生产的工厂中，为了保证工艺上的稳定性和获得高的热处理质

量，常要求选用碳含量范围较窄的“精选钢”（C 0.42~0.47% 或 0.45~0.50%）。近来，由于铸造和热处理技术的进步，在发动机上采用稀土镁球墨铸铁曲轴的日益增多。实际运行结果证明，效果良好，同时制造成本亦因而显著地降低。表 1-13 为几种发动

表 1-13 发动机曲轴选用材料、技术条件及其热处理举例

发动机型号	选用材料牌号	技 术 条 件	热 处 理
CA-10B	45	内部硬度：HB163~197 表层硬度：HRC55~63 深 度：3~4.5 mm	正火：860±10℃ 中频表面淬火，自行回火
BJ492Q	45①	内部硬度：HB179~228 表层硬度：HRC58~63 深 度：3.5~5.5 mm	正火：880±10℃ 中频表面淬火，自行回火
东方红 54/75	45①	内部硬度：HB207~241 表层硬度：HRC55~63 深 度：≥3.5 mm	调质：840±10℃水淬 600±10℃回火 中频表面淬火，自行回火
4115	45①	内部硬度：HB207~241 表层硬度：≥HRC55 深 度：≥3.5 mm	调质：840±10℃水淬 640±10℃回火 中频表面淬火，自行回火
6140	35CrMo	内部硬度：HB216~269 表层硬度：HRC53~58 深 度：3~5 mm	调质：870±10℃油淬 560±10℃回火 中频表面淬火，自行回火
12V190B	35CrMo	内部硬度：正火，≤HB217 调质，HRC27~32 渗氮层深度：≥0.40 mm	正火：900±10℃ 调质：890±10℃油淬 560±10℃回火 表面二段渗氮：第一段，505±5℃ 第二段，515±3℃
新 195	QT60-2	表层硬度：HRC46~50 深 度：3~4 mm	正火：910±10℃ 中频表面淬火，自行回火
新 195	铜钼稀土球墨铸铁	内部硬度：HB229~260 表层硬度：HRC55~60 深 度：1.8~2.0 mm	正火：900~980℃ 回火：550~620℃ 高频表面淬火
EQ240	QT60-2	铸态，基体组织： 珠光体 ≥70%，渗碳体+磷共晶 ≤5%，球化率 ≥3 级 表层硬度：HRC≥52	中频表面淬火
NJ-130	QT60-2	铸态，基体组织： 珠光体 ≥90%，碳化物 ≤3% 球化率 ≥3A 级 硬度：HB250~302	1. 910±10℃喷雾冷却，550~600℃ 回火 2. ②970±10℃保温，炉冷至 890±10℃ 均温后喷雾冷却

① 选择碳含量为 0.42~0.47% 的钢材；

② 铸态组织中的碳化物超过 5% 时采用。

机曲轴选用材料、技术条件及其热处理举例。

弹簧等零件传来的惯性力，气阀的推力及由凸轮传来的扭力等的复杂作用；由于零件相互间存在间隙，凸轮还承受一定程度的冲击载荷。凸轮与气阀挺杆是一

## §2 凸 轮 轴

凸轮轴经常承受滚轮、推杆、摇杆、挺杆、气阀

对摩擦副，因此凸轮部分还承受变化着的挤压力与挺

表 1-14 发动机凸轮轴常用材料、技术条件及其热处理

发动机型号	材料牌号	技 术 条 件	热 处 理
CA-10B	45①	内部硬度：HB163~196 表层硬度：凸轮、轴颈、偏心轮 HRC55~63 齿轮，HRC45~58 表层深度：2~5 mm	正火：860±10℃ 中频表面淬火，自行回火
BJ492Q	45①	内部硬度：HB187~228 表层硬度：凸轮、轴颈、偏心轮 HRC55~63 齿轮，HRC51~59 表层深度：2~5 mm，但齿轮、偏心轮可 达7.5 mm	调质：850±10℃水淬 640±10℃回火 中频表面淬火，自行回火
东方红54/75	45①	内部硬度：HB156~217 表层硬度及深度： 凸轮、轴颈，HRC56~63，2.3~8.3 mm 轴肩，HRC≥35，1.5~5.3 mm	正火：870±10℃ 中频表面淬火，自行回火
4115	45①	内部硬度：HB163~217 凸轮、轴颈表层硬度及深度： HRC56~63，2~5 mm	正火：870±10℃ 中频表面淬火，自行回火
12V190B	45②	内部硬度：HB241~286 表层硬度：凸轮、轴颈等，HRC55~60 花键，HRC40~50 深 度：凸轮，轴颈，2~3 mm	正火：880±10℃ 调质：860±10℃淬火 530±10℃回火 中频表面淬火，150±10℃回火
6120	20	表面渗碳：表层硬度HRC58~62 深 度：1.40~1.80 mm	930±10℃渗碳后缓冷 800±10℃盐水淬火 230±10℃回火
NJ-130	QT60-2	铸态，基体组织： 珠光体≥90%，球化率≥3A级 硬度 HB250~302 表层硬度，HRC45~55 凸轮、偏心轮表面硬化层深度2~4mm 凸轮顶部可达8mm	同表 1-13 所列 NJ-130 型汽车发动机曲 轴，另加中频表面淬火及 290±10℃回 火
4110	QT60-2	硬度 HRC 38~48	等温淬火： 加热温度，860±10℃ 等温盐浴淬火温度，270±10℃

① 碳含量为 0.42~0.47%；

② 碳含量为 0.43~0.48%。

杆的摩擦。所以要求材料具有高的硬度、强度和适当的韧性以及高耐磨性。

过去凸轮轴的材料多采用渗碳钢制造，轴颈与凸轮部分是通过渗碳、淬火、低温回火，以提高其硬度和耐磨性。但是这样的工艺不但复杂，而且适应不了高速发动机的使用要求，受到了一定的限制。现在发动机的凸轮轴大都采用中碳结构钢制造，并经局部表面高、中频淬火处理。

近年来，合金铸铁和球墨铸铁的凸轮轴有了一定的发展，并将凸轮和轴颈部分进行不同程度的表面淬火。经过适当处理的铸铁凸轮轴在耐磨性方面并不亚于钢制的凸轮轴，甚至在某些场合优于钢制的凸轮

轴。表1-14所列几种类型发动机凸轮轴常用材料、技术条件及其热处理。

### §3 连 杆

连杆连接活塞和曲轴，把汽缸内的气体爆发力传递给曲轴，驱使曲轴回转。连杆在工作中作复合平面运动，除受气体爆发力外，还承受往复惯性力和旋转惯性力。所以连杆在工作中处于一种很复杂的应力状态，除拉压应力外，还有纵向弯曲应力。

连杆的损坏形式主要是疲劳断裂，断口的部位除与结构设计有关外，与冶炼、锻造、热处理质量等有很大关系。一般地说，连杆的疲劳损坏常常发生在连

表 1-15 连杆常用材料、技术条件及其热处理

发动机型号	材料牌号	技 术 条 件	热 处 理
CA-10B	40	硬度 HB 207~241	调质：820±10℃ 淬火 610±10℃ 回火
NJ-130	45	硬度 HB 228~269	调质：820±10℃ 淬火 600±10℃ 回火
东方红 54/75	45	硬度 HB 217~289	调质：820±10℃ 淬火 600±25℃ 回火
4115	45①	硬度 HB 217~289	调质：850±10℃ 淬火 570±10℃ 回火
BJ492Q	45Mn2	硬度 HB 228~269	调质：850±10℃ 淬火 610±10℃ 回火
6135	40Cr	硬度 HB 223~280	高温形变热处理： 锻造后在975±25℃直接油淬至200℃， 出油， 665±10℃ 回火
12V190B	35CrMo	硬度 HRC 29~34	预先正火：900±10℃ 调质：890±10℃ 淬火 580±10℃ 回火
6140	35CrMo	硬度 HB 250~293	调质：860±10℃ 淬火 600±15℃ 回火
6120	40CrMo	硬度 HB 229~283	预先正火：870±10℃ 调质：860±10℃ 淬火 680±10℃ 回火
4110	QT60-2	正火硬度 HB 240~300 抗拉强度 $\sigma_b \geq 60 \text{ kG/mm}^2$ 伸长率 $\delta \geq 2\%$ 冲击韧性 $a_K \geq 1.5 \text{ kG}\cdot\text{m/cm}^2$	正火：920±10℃ 回火：550±10℃

① 碳含量为 0.42~0.47%。

杆上的三个高应力区：杆部中间、小头和杆部的过渡区、大头和杆部的过渡区。有时疲劳断口也会出现在大头和小头外端的两侧处。这往往是由于零件磨损过度，间隙增大，引起连杆端部两侧弯曲应力加剧的结果。

连杆的截面形状由于实际应力分布的需要而设计成“I”字形、梅花形等。这种复杂截面的形状增大了热处理时形成淬火开裂的倾向。所以在连杆的选材上，除了须注意材质具有较高的抗拉强度、疲劳极限和韧性以及适当的淬透性外，还应考虑到钢的形成淬火开裂的敏感性。

目前，汽车、拖拉机和农用柴油机连杆常用的材料大都为40、45钢，但也有用40Cr、45Mn2、35CrMoA等合金结构钢的。球墨铸铁连杆的应用也得到了发展。表1-15中所列为连杆常用材料、技术

条件及其热处理。

#### §4 连杆螺栓

连杆螺栓是发动机中承受载荷较大的零件之一，它承受很大的具有冲击性的迅速变化着的拉力。发动机在运转中，连杆螺栓的折断，往往会引起破坏性事故。因此在设计、选材和制造上应特别注意。由于连杆螺栓外形尺寸往往受到地位的限制，所以必需选择有较高的强度和冲击韧性，以及有较好淬透性的钢种来制造。

连杆螺栓所用钢材，一般均为中碳合金结构钢，如35CrMo、40Cr、45Mn2、40CrNi等。近年来，也有应用低碳合金结构钢（如20MnV、20CrMnMo）经热处理成低碳马氏体的连杆螺栓。表1-16所列为连杆螺栓常用材料，技术条件及其热

表 1-16 连杆螺栓常用材料、技术条件及其热处理

发动机型号	钢 号	技 术 条 件	热 处 理
CA-10B	40Cr	硬度 HB 255~285	调质：860±10℃ 淬火 590±10℃ 回火
BJ-492Q	40Cr①	硬度 HRC 27~34	调质：860±10℃ 淬火 580±10℃ 回火
丰收-27	40Cr	硬度 HB 241~285	调质：860±10℃ 淬火 600±10℃ 回火
东方红 54/75	40Cr	硬度 HB 293~352	预先正火：840±10℃ (硬度 HB 170~241) 调质：870±10℃ 淬火 530±10℃ 回火
NJ-130	45Mn2	硬度 HRC 27~34	调质：820±10℃ 淬火 540±10℃ 回火
6140	35CrMo	硬度 HRC 28~33	调质：860±10℃ 淬火 610±10℃ 回火
12V190B	20CrMnMo	硬度 HRC 35~40	预先正火：880±10℃ 调质：880±10℃ 淬火 480±10℃ 回火

① 碳含量为 0.37~0.40%。

处理。

#### §5 活 塞 销

活塞销是连接活塞和连杆的重要零件，在运动时相当于双点支梁，承受具有冲击性的交变弯曲载荷；

它长期在摩擦条件下工作，由于润滑条件较差，承受的摩擦力也较大。

活塞销的损坏形式主要是表面磨损，有时也有断裂现象，一般与工艺因素或材质有关。例如，淬火开裂或原材料有带状组织，常导致活塞销产生早期疲劳

开裂。又如，当活塞销渗碳硬化层面积超过全销横截面面积的25~30%时，活塞销的疲劳极限即下降。

因此对活塞销的材料有以下的要求：

- (1) 要有足够的强度包括疲劳极限，和韧性；
- (2) 要有高的耐磨性；
- (3) 工作时变形小。

活塞销的材料，为了满足上述条件的要求，一般多采用渗碳钢，用切削加工或冷挤压的方法来制造，但也有用中碳钢或表面淬火用钢（低淬透性钢）经高频表面淬火来代替渗碳钢而制成的活塞销。

为了提高活塞销的强度，韧性和耐磨性，在渗碳后采用两次淬火及低温回火的热处理工艺，效果较

表 1-17 活塞销常用材料、技术条件及热处理

发动机型号	钢 号	技 术 条 件	热 处 理
CA-10B	15Cr	内部硬度 HRC $\leq$ 38 表面硬度 HRC 58~63 共析层深度 0.5~0.9 mm	渗碳：930 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C，炉冷至900 $^{\circ}$ C出炉空冷 淬火：840 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C 油淬 回火：200 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C
NJ-130	20Cr	表面硬度 HRC 58~65 渗碳层深度 0.8~1.2 mm	渗碳：930 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C，空冷 一次淬火：940 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C 油淬 二次淬火：790 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C 盐水淬 回火：190 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C
东方红 54/75	20CrMnMo	表面硬度 HRC 58~63 渗碳层深度 1.40~1.90 mm	渗碳：940 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C，空冷 淬火：860 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C 油淬 回火：200 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C
6140	20CrMnTi	表面硬度 HRC 60~64 内、外表面渗碳层深度1.10~1.70 mm	渗碳：920 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C，渗层深度达到要求后 炉冷到880 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C出冷，坑冷 淬火：860 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C 油淬，继续在-(60~70) $^{\circ}$ C冷处理 回火：180 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C
12V190B	12CrNi3A	内部硬度 HRC $\leq$ 38 表面硬度 HRC 58~66 渗碳层深度 1.10~1.70 mm	渗碳：930 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C，渗层深度达到要求后 炉冷到850 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C出炉，坑冷；继 续在660 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C回火 一次淬火：890 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C 油淬 二次淬火：820 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C 油淬 回火：180 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C

表 1-18 几种发动机进气阀常用材料、技术条件及热处理

发动机型号	钢 号	技 术 条 件	热 处 理
NJ-130	40Cr	硬度：阀体 HRC 30~37 阀杆端部 3~5 mm 内 HRC $\geq$ 45	调质：840 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C 油淬 520 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C 水冷 阀杆端部高频表面淬火，190 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C回火
东方红 54/75	38CrSi	硬度：阀体 HB 269~311 阀杆端部 2.5~4.5 mm 内 HRC $\geq$ 43	调质：930 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C 油淬 675 $\pm$ 25 $^{\circ}$ C 水冷 阀杆端部高频表面淬火，190 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C回火
12V190B	4Cr9Si2	硬度：阀体 HRC 27~34 阀面 HRC 43~52 阀杆端部 HRC $\geq$ 50	调质：1030 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C 油淬 670 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C 油冷 阀面堆焊：用堆 807 焊条阀杆端部高频 表面淬火，190 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C 回火