

## 金属切削加工基本

### 1.1 金属切削加工的基本知识

#### 1.1.1 切削加工概述

一般情况下,通过铸造、锻造、焊接和各种轧制的型材毛坯精度低、表面粗糙度值大,不能满足零件的使用性能要求,必须进行切削加工才能成为零件。

金属切削加工是通过金属切削刀具与工件之间的相对运动,从毛坯上切除多余的金属,使工件达到规定的几何形状、尺寸精度和表面质量,从而获得合格零件的一种机械加工方法。

金属切削加工分为机械加工和钳工加工两大类。机械加工通常通过各种金属切削机床对工件进行切削加工。机械加工的基本形式有车削、铣削、钻削、镗削、刨削、拉削、磨削、珩磨、抛光以及各种超精加工等。钳工加工则是使用手工切削工具在钳台上对工件进行加工的,其基本形式有划线、錾削、锉削、锯削、刮削、研磨以及钻孔、铰孔、攻螺纹(加工内螺纹)、套螺纹(加工外螺纹)等;此外,机械装配和设备修理也属于钳工工作。

在现代机械制造中,除少数零件采用精密铸造、精密锻造以及粉末冶金或工程塑料压制等方法直接获得零件(有的局部仍需切削加工)外,绝大多数零件仍需通过切削加工,以保证加工精度和表面粗糙度的要求。因此,金属切削加工在机械制造中占有十分重要的地位。在切削加工中,选择合理的加工方法,对于保证产品加工质量、提高生产率和降低成本是非常重要的。

#### 1.1.2 机械零件及其表面的形成

任何机器或机械装置都是由多个零件组成的。组成机械设备的零件虽然多种多样,但最常见的不外乎以下三大类:轴类零件,如传动轴、齿轮轴、螺栓、销等;盘类零件,如齿轮、端盖、挡环、法兰盘等;支架类零件,如连杆、支架、减速箱机体和机盖等。

任何一个零件又都是由若干个基本表面组成的。组成零件的基本表面及其形成如图 1-1 所示,主要有以下几种。

##### (1) 圆柱面

圆柱面是以直线为母线,以圆为轨迹,且母线垂直于轨迹所在平面作旋转运动所形成

的表面(见图 1-1(a))。

### (2) 圆锥面

圆锥面是以直线为母线,以圆为轨迹,且母线与轨迹所在平面相交成一定角度作旋转运动所形成的表面(见图 1-1(b))。

### (3) 平面

平面是以直线为母线,以另一直线为轨迹作平移运动所形成的表面(见图 1-1(c))。

### (4) 成形表面

成形表面是以曲线为母线,以圆为轨迹作旋转运动或以直线为轨迹作平移运动所形成的表面(见图 1-1(d)和图 1-1(e))。

不同的表面需要采用不同的加工方法,加工零件必须合理地、按顺序加工出各个表面。

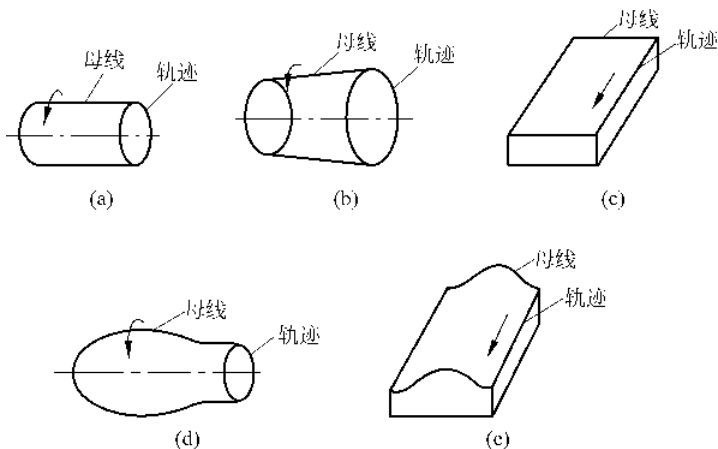


图 1-1 零件的表面及其组成

## 1.1.3 切削运动

### 1. 切削运动

在金属切削加工中,刀具和工件间必须完成一定的切削运动,才能从工件上切去一部分多余的金属层。切削运动是为了形成工件表面所必需的、刀具与工件之间的相对运动。

各种切削加工的切削运动,都是由直线运动和回转运动这样一些简单的基本运动单元组合而成的。不同数目的运动单元,按照不同大小的比值、不同的相对位置和方向进行组合,即构成各种切削加工的运动。例如,刨削和拉削等为一个直线运动;圆盘拉刀加工为一个回转运动;车削、铣削、钻削、镗孔、铰孔、车螺纹等为一个回转运动和一个直线运动组合,也是目前应用最广泛的一种组合形式;锯削、仿形刨削为两个直线运动组合;铣削回转体表面为两个回转运动组合;铣螺旋槽、铣螺旋纹、磨外圆、磨内圆、滚刀滚齿轮等为两个回转运动和一个直线运动组合,这也是目前应用很广泛的一种运动组合形式;此外还有其他一些运动组合形式及切削加工方法。

切削运动按其作用不同,分为主运动和进给运动,如图 1-2 所示。

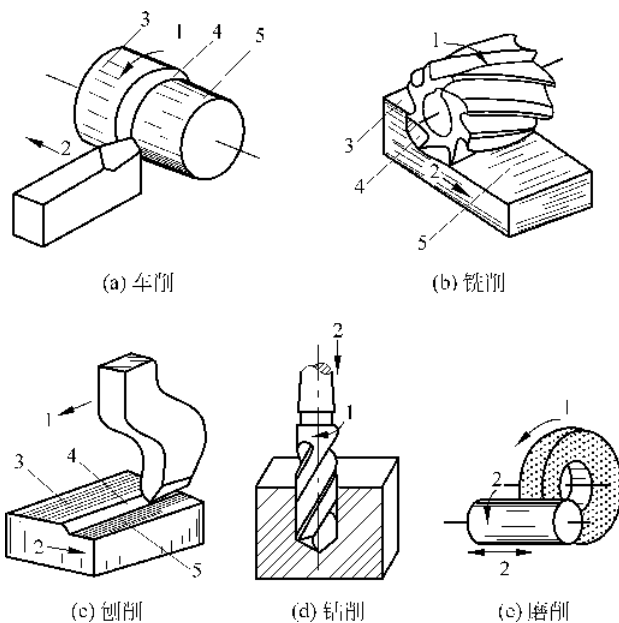


图 1-2 切削运动和加工表面

1—主运动；2—进给运动；3—待加工表面；4—过渡表面；5—已加工表面

### (1) 主运动

主运动是指直接切除工件上的多余金属层使之成为切屑以形成工件新表面的运动，这是切削加工所必需的刀具与工件之间最主要、最基本的相对运动。切削过程中，必须有且只有一个主运动，它的速度最高，消耗的功率最大。主运动可以是直线运动，也可以是旋转运动。车削的主运动是工件的旋转运动；铣削和钻削的主运动是刀具的旋转运动；磨削的主运动是砂轮的旋转运动；刨削的主运动是刀具（牛头刨床）或工件（龙门刨床）的往复直线运动等。

刀具切削刃上选取点相对于工件的主运动的瞬时速度称为切削速度，用矢量  $v_c$  表示。对于回转体工件或旋转类刀具而言，在转速一定时，由于切削刃上各点的回转半径不同，因而切削速度也不同。在计算时，应以最大的切削速度为准。

### (2) 进给运动

进给运动是指使新的切削层金属不断地投入切削，从而切出整个工件表面的运动。进给运动可以是一个或者多个，切削过程中有时也可以没有单独的进给运动，例如拉削加工。进给运动的速度较小，消耗的功率也较小。进给运动可以是连续运动，也可以是间断运动；可以是直线运动，也可以是旋转运动。车削的进给运动是刀具的移动；铣削的进给运动是工件的移动；钻削的进给运动是钻头沿其轴线方向的移动；内、外圆磨削的进给运动是工件的旋转运动和移动等。

切削刃上选取点相对于工件的进给运动的瞬时速度称为进给速度，用矢量  $v_f$  表示。

切削加工过程中，为了实现机械化和自动化，提高生产效率，一些机床除切削运动外，还需要辅助运动，例如切入运动、空程运动、分度转位运动、送夹料运动以及机床控制运动等。

### (3) 合成切削运动

主运动和进给运动可以由刀具或工件分别完成,或者由刀具单独完成。主运动和进给运动可以同时进行,如车削、铣削等;也可以交替进行,如刨削、插削等。主运动和进给运动同时进行,刀具切削刃上某一点相对于工件的合成运动称为合成切削运动。合成切削运动的瞬时速度用矢量 $\boldsymbol{v}_c$ 表示, $\boldsymbol{v}_c = \boldsymbol{v}_c + \boldsymbol{v}_f$ 。切削刃上各点处的合成速度矢量不一定相等。

$\boldsymbol{v}_c$ 和 $\boldsymbol{v}_f$ 所在的平面称为工作平面,以 $P_{fc}$ 表示。

在工作平面内,同一瞬时主运动方向与合成切削运动方向之间的夹角称为合成切削速度角,以 $\eta$ 表示,如图1-3所示。

由 $\eta$ 角的定义可知

$$\tan \eta = \frac{v_f}{v_c} = \frac{f}{\pi d} \quad (1-1)$$

式中: $d$ ——随着车刀进给而不断变化着的切削刃选定点处工件的旋转直径;

$f$ ——进给量。

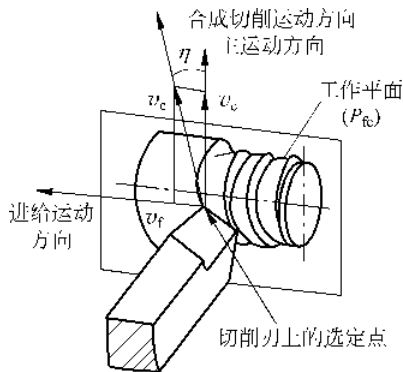


图 1-3 合成切削运动速度角

## 2. 工件上的表面

在切削运动的作用下,工件上的金属层不断地被刀具切削并转变为切屑,从而加工出所需要的工件新表面。在这一新表面的形成过程中,工件上始终存在着三个不断变化的表面,如图1-2所示,即

待加工表面:工件上有待切除金属层的表面。

已加工表面:工件上被刀具切除多余金属后形成的新表面。

过渡表面:在待加工表面和已加工表面之间由切削刃正在切削的那个表面。它将在下一次切削过程中被切除。

### 1.1.4 切削要素

切削要素包括切削用量和切削层横截面要素。

#### 1. 切削用量

切削用量是指切削加工过程中切削速度、进给量和背吃刀量(切削深度)三个要素的总称。它表示主运动和进给运动量,用于调整机床的工艺参数。

##### (1) 切削速度

切削速度 $v_c$ 是指切削刃上选定点相对于工件的主运动的瞬时线速度,单位为m/s或m/min。主运动是旋转运动时,切削速度的计算公式如下:

$$v_c = \frac{\pi dn}{1000} \quad (1-2)$$

式中: $d$ ——完成主运动的刀具或工件的最大直径,单位为mm;

$n$ ——主运动的转速,单位为r/s或r/min。

在生产中,磨削速度的单位用m/s,其他加工的切削速度单位习惯用m/min。

## (2) 进给量

进给量  $f$  是指工件或刀具的主运动每转或每一行程刀具与工件两者在进给运动方向上的相对位移量,单位是 mm/r。

主运动是往复直线运动时为每往复一次的进给量。

进给速度  $v_f$  是指刀具切削刃上选定点相对于工件进给运动的瞬时速度。进给量  $f$  与进给速度  $v_f$  之间的关系为

$$v_f = fn \quad (1-3)$$

## (3) 背吃刀量

背吃刀量  $a_p$  也写作  $a_{sp}$ ,是指工件已加工表面和待加工表面之间的垂直距离,单位是 mm。

## 2. 切削层横截面要素

切削层是指在切削过程中刀具的刀刃在一次走刀中所切除的工件材料层。切削层的轴向剖面称为切削层横截面,如图 1-4 所示。

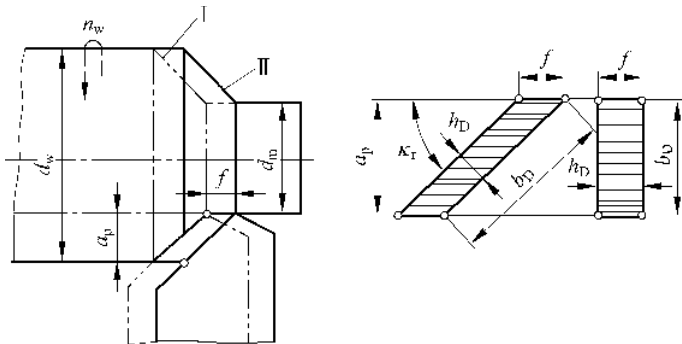


图 1-4 纵车外圆时的切削层要素

切削层的横截面要素是指切削层的横截面尺寸,包括切削层公称宽度  $b_D$ 、切削层公称厚度  $h_D$  和切削层公称横截面积  $A_D$  三个要素。

### (1) 切削层公称宽度 $b_D$

切削层公称宽度是指刀具主切削刃与工件的接触长度,单位是 mm。

### (2) 切削层公称厚度 $h_D$

切削层公称厚度是指刀具或工件每移动一个进给量  $f$  时,刀具主切削刃相邻的两个位置之间的垂直距离,单位是 mm。

### (3) 切削层公称横截面积 $A_D$

切削层公称横截面积即切削层横截面的面积,单位是  $\text{mm}^2$ ,可以表示为

$$A_D \approx b_D \cdot h_D = a_p \cdot f \quad (1-4)$$

## 1.2 金属切削刀具

### 1.2.1 刀具材料

在切削过程中,刀具直接承担切除工件余量和形成已加工表面的任务。刀具切削性

能的优劣,取决于构成刀具切削部分的材料、几何形状和刀具结构。然而,无论刀具结构如何先进,几何参数如何合理,如果刀具材料选择不当,都将不能正常工作,刀具材料对刀具的使用寿命、加工质量、加工效率和加工成本影响极大。新型刀具材料的出现和采用,常常使刀具耐用度成倍、几十倍地提高,而且使一些难加工材料的切削加工成为可能。因此,应当重视刀具材料的正确选择和合理使用,重视新型材料的研制。

### 1. 刀具材料应具备的性能

在切削加工时,刀具切削部分与切屑、工件相互接触,承受着很大的压力和强烈的摩擦,刀具在高温下进行切削的同时,还承受着切削力、冲击和振动,工作条件十分恶劣,因此刀具材料必须满足以下基本要求。

#### (1) 高的硬度和耐磨性

这是满足刀具抵抗机械摩擦磨损的需要。刀具切削部分的硬度,一般应在 60HRC 以上。耐磨性则是材料硬度、强度、化学成分、显微组织等的综合效果,组织中碳化物、氮化物等硬质点的硬度越高、颗粒越小、数量多且呈均匀弥散状态分布,则耐磨性越高。

#### (2) 足够的强度和韧性

这是满足刀刃在承受重载荷及机械冲击时不致破损的需要。切削时,刀具切削部分要承受很大的切削力、冲击和振动,为避免崩刃和折断,刀具材料应具有足够的强度和韧性。

#### (3) 高的耐热性

这是满足刀具热稳定性的需要。刀具的耐热性又称为热硬性,即刀具材料在高温下必须能保持高的硬度、耐磨性、强度和韧性,才能完成切削任务。材料的耐热性越好,允许的切削速度也就越高。

#### (4) 良好的导热性和较小的膨胀系数

这是提高加工精度的需要。在其他条件相同的情况下,刀具材料的导热系数越大,则由刀具传出的热量越多,有利于降低切削温度、提高刀具耐用度。线膨胀系数小,则刀具的热变形小,加工误差也小。

#### (5) 稳定的化学性能和良好的抗粘结性能

这是提高刀具抗化学磨损的需要。刀具材料的化学性能稳定,在高温、高压下,才能保持良好的抗扩散、抗氧化的能力。刀具材料与工件材料的亲和力小,则刀具材料的抗粘结性能好,粘结磨损小。

#### (6) 良好的工艺性能和经济性

这是为了便于使用和推广的需要。刀具材料具有良好的工艺性能,可以进行锻、轧、焊接、切削加工和磨削、热处理等,则方便制造加工,满足各种加工的需要。同时,刀具材料还应具备良好的综合经济性,即材料价格及刀具制造成本不高,资源丰富,耐用度高,则使分摊到每个工件的刀具成本不高,从而有利于推广应用。

常用的刀具材料主要有工具钢(包括碳素工具钢、合金工具钢和高速钢)、硬质合金、陶瓷和超硬刀具材料(金刚石、立方氮化硼)四大类。目前使用量最大的刀具材料是高速钢和硬质合金。碳素工具钢和合金工具钢是早期使用的刀具材料,由于耐热性较差,现在已较少使用,主要用于手工工具或低速切削刀具,如锉刀、拉刀、丝锥和板牙等。

## 2. 高速钢

### (1) 高速钢的特点

高速钢是加入了 W、Mo、Cr、V 等合金元素的高合金工具钢,其合金元素 W、Mo、Cr、V 等与 C 化合形成高硬度的碳化物,使高速钢具有较好的耐磨性。W 和 C 的原子结合力很强,提高了马氏体受热时的分解稳定性,使钢在 550~600℃ 时仍能保持高硬度,增加了钢的热硬性。Mo 的作用与 W 基本相同,并能细化碳化物晶粒,提高钢中碳化物的均匀性,从而提高钢的韧性。V 与 C 的结合力比 W 的更强,V 使钢的热硬性提高的作用比 W 更强烈。W 和 V 的碳化物在高温时起到有力地阻止晶粒长大的作用。Cr 在高速钢中的主要作用是提高淬透性,也可提高回火稳定性和抑制晶粒长大。

高速钢具有高的强度和高的韧性,具有一定的硬度(热处理硬度在 62~66HRC)和良好的耐磨性,其红硬温度可达 600~660℃。它具有较好的工艺性能,可以制造刃形复杂的刀具,如钻头、丝锥、成形刀具、铣刀、拉刀和齿轮刀具等。刃磨时切削刃易锋利,故又名锋钢。

高速钢根据切削性能,可分为普通高速钢和高性能高速钢;根据化学成分,可分为钨系、钨钼系和钼系高速钢;根据制造方法,可分为熔炼高速钢和粉末冶金高速钢。

### (2) 普通高速钢

普通高速钢工艺性能好,切削性能可满足一般工程材料的常规加工要求。常用的品种有:

① W18Cr4V 钨系高速钢。也称 18-4-1, W、Cr、V 的含量分别为 18%、4% 和 1%(以后不加特别说明,均指质量分数)。它具有较好的综合性能和刃磨工艺性,可制造各种复杂刀具,但强度和韧性不够,精加工寿命不太高,且热塑性差,因此现在应用正在减少。

② W6Mo5Cr4V2 钨钼系高速钢。也称 6-5-4-2, W、Mo、Cr、V 的含量分别为 6%、5%、4% 和 2%。它具有较好的综合性能和刃磨工艺性。由于 Mo 的作用,其碳化物呈细小颗粒状且均匀分布,故刀具抗弯强度和冲击韧性都高于钨系高速钢,并具有较好的热塑性,适于制作热轧刀具,如麻花钻头,也可用于制造大尺寸刀具。但有脱碳敏感性大和淬火温度窄、热处理工艺较难掌握等缺点。

③ W9Mo3Cr4V 钨钼系高速钢。也称 9-3-4-1, W、Mo、Cr、V 的含量分别为 9%、3%、4% 和 1%。这是根据我国资源研制的牌号。其抗弯强度与韧性均比 6-5-4-2 好。高温热塑性也很好,而且淬火过热、脱碳敏感性小,有良好的切削性能。

### (3) 高性能高速钢

高性能高速钢是在普通型高速钢中增加 C、V 元素,并添加 Co、Al 等合金元素的新钢种。其常温硬度可达 67~70HRC,耐磨性和耐热性有显著提高,能用于不锈钢、耐热钢和高强度钢等难加工材料的切削加工。下面介绍其中主要的几种:

① W6Mo5Cr4V3(M3)高钒高速钢。由于将含 V 量提高到 3%~5%,从而提高了钢的耐磨性。一般用于切削高强度钢。但其刃磨性能比普通高速钢差。

② W2Mo9Cr4VCo8(M42)钴高速钢。它具有良好的综合性能,加入 Co 元素后可提高钢的高温硬度和抗氧化能力,因此可以提高切削速度。其用于切削高温合金、不锈钢等难加工材料。但含 Co 量高,故价格昂贵(约为 W18Cr4V 的 8 倍)。

③ W6Mo5Cr4V2Al(501)铝高速钢。铝高速钢是我国独创的新型高速钢种,它是在普通高速钢中加入了少量的铝,可提高高速钢的耐热性和耐磨性,具有良好的切削性能,

耐用度比 W18Cr4V 大 1~4 倍,价格低廉,与普通高速钢的价格接近。但其磨削性差,淬火温度范围窄,氧化脱碳倾向大,热处理工艺要求较严格。

#### (4) 粉末冶金高速钢

粉末冶金高速钢是把高频感应炉熔炼好的高速钢钢水置于保护气罐中,用高压惰性气体(如氩气)雾化成细小的粉末,然后用高温(1100℃)、高压(100MPa)压制、烧结而成。它克服了一般熔炼方法产生的粗大共晶偏析的缺陷,热处理变形小,韧性、硬度较高,耐磨性好。用它制成的刀具,可切削各种难加工材料。和熔炼高速钢比较,粉末冶金高速钢具有如下优点:

① 由于可获得细小而均匀的结晶组织,完全避免了碳化物的偏析,从而提高了钢的硬度和强度;

② 由于物理力学性能各向同性,可减少热处理变形与应力,因此可用于制造精密刀具;

③ 由于钢中的碳化物细小均匀,使磨削加工性得到显著改善;

④ 粉末冶金高速钢提高了材料的利用率。

粉末冶金高速钢目前应用较少,原因主要在于其成本较高,其价格相当于硬质合金。因此主要用来制成各种精密刀具和形状复杂的刀具,如拉刀、切齿刀具,以及加工高强度钢、镍基合金、钛基合金等难加工材料用的刨刀、钻头、铣刀等刀具。

#### (5) 高速钢刀具的表面涂层

高速钢刀具表面涂层处理的目的是在刀具表面形成硬度高、耐磨性好的表面层,以减少刀具磨损,提高刀具的切削性能。高速钢刀具表面涂层的方法有蒸汽处理、低温气体氮碳共渗、辉光离子渗氮等。此外还可采用真空溅射的方法在刀具表面沉积一层 TiC 或 TiN(厚约 10 $\mu$ m),使刀具表面形成一层高硬度的薄膜,以提高刀具的耐用度。这种工艺要求在高真空、500℃的环境下进行。

涂层高速钢是一种复合材料,基体是强度高、韧性好的高速钢,而表层是具有高硬度、高耐磨性的其他材料。涂层高速钢刀具的切削力小、切削温度下降约 25%,切削速度、进给量可提高一倍左右,刀具寿命显著提高。

几种常用高速钢的牌号与物理力学性能参见表 1-1。

表 1-1 常用高速钢的牌号与物理力学性能

类别	牌 号	硬度 /HRC	抗弯强 度/GPa	冲击初度/ MJ·m <sup>-2</sup>	高温硬度 (600℃)/HRC	磨 削 性 能
普通 高速 钢	W18Cr4V	62~66	≈3.34	0.294	48.5	好,普通刚玉砂轮能磨
	W6Mo5Cr4V2	62~66	≈4.6	≈0.5	47.48	较 W18Cr4V 差一些, 普通刚玉砂轮能磨
	W14Cr4VMn-RE	64~66	≈4	≈0.25	48.5	好,与 W18Cr4V 相似
高 性 能 高 速 钢	高碳 9W18Cr4V	67~68	≈3	≈0.2	51	好,普通刚玉砂轮能磨
	高砷 W12Cr4VMo	63~66	≈3.2	≈0.25	51	差
	超 W6Mo5Cr4V2Al	68~69	≈3.42	≈0.3	55	较 W18Cr4V 差些
	硬 W10Mo4V3Al	68~69	≈3	≈0.25	54	较差
	W6Mo5Cr4V5SiNbAl	66~68	≈3.6	≈0.27	51	差
	W12Cr4V3Mo3Co5Si	69~70	≈2.5	≈0.11	54	差
W2Mo9Cr4VCo8(M42)	66~70	≈2.75	≈0.25	55	好,普通刚玉砂轮能磨	

### 3. 硬质合金

#### (1) 硬质合金的组成与性能

硬质合金是由高硬度、高熔点的金属碳化物和金属粘结剂,经过粉末冶金工艺制成的。硬质合金刀具中常用的碳化物有 WC、TiC、TaC、NbC 等,粘结剂有 Co、Mo、Ni 等。

常用的硬质合金中含有大量的 WC、TiC,因此硬度、耐磨性、耐热性均高于高速钢。常温硬度达 89~94HRA,红硬温度高达 800~1000℃。切削钢时,切削速度可达 220m/min 左右。在合金中加入了熔点更高的 TaC、NbC 后,可使红硬温度提高到 1000~1100℃,切削钢的切削速度进一步提高到 200~300m/min。但是硬质合金的抗弯强度低、韧性差,怕冲击振动,工艺性能较差,不易做成形状复杂的整体刀具。

硬质合金的物理力学性能取决于合金的成分、粉末颗粒的粗细以及合金的烧结工艺。在硬质合金中,金属碳化物所占比例大,则硬质合金的硬度就高,耐磨性也好;反之,若粘结剂的含量高,则硬质合金的硬度就会降低,而抗弯强度和冲击韧性则有所提高。当粘结剂的含量一定时,金属碳化物的晶粒越细,则硬质合金的硬度越高。合金中加入 TaC、NbC 有利于细化晶粒,提高合金的耐热性。

#### (2) 普通硬质合金的分类、牌号及其使用性能

普通硬质合金按其化学成分与使用性能分为四类:钨钴类、钨钴钛类、钨钴钛钽(铌)类和碳化钛基类。

① 钨钴类(YG 类)硬质合金。YG 类硬质合金相当于 ISO 标准的 K 类,主要由 WC 和 Co 组成,其常温硬度为 88~91HRA,切削温度可达 800~900℃,常用的牌号有 YG3、YG6、YG8 等。YG 类硬质合金的抗弯强度和冲击韧性较好,不易崩刃,适合切削脆性材料,如铸铁。YG 类硬质合金的刃磨性较好,刃口可以磨得较锋利,同时导热系数较大,可以用来加工不锈钢和高温合金钢等难加工材料、有色金属及纤维层压材料。但是,YG 类硬质合金的耐热性和耐磨性较差,因此一般不用于普通碳钢的切削加工。合金中含 Co 量愈高,韧性愈好,适于粗加工;含 Co 量少者适合精加工。

② 钨钴钛类(YT 类)硬质合金。YT 类硬质合金相当于 ISO 标准的 P 类,主要由 WC、TiC 和 Co 组成,其常温硬度为 89~93HRA,切削温度可达 800~1000℃,常用的牌号有 YT5、YT15、YT30 等。YT 类硬质合金中加入 TiC,使其硬度、耐热性、抗粘结性和抗氧化能力均有所增强,从而提高了刀具的切削速度和刀具耐用度。但由于 YT 类硬质合金的抗弯强度和冲击韧性较差,故主要用于切削一般切屑呈带状的普通碳钢及合金钢等塑性材料。合金中含 TiC 量较多者,适合精加工;反之含 TiC 较少者则适合粗加工。

③ 钨钴钛钽(铌)类(YW 类)硬质合金。YW 类硬质合金相当于 ISO 标准的 M 类,它是在普通硬质合金中加入了 TaC 或 NbC 等稀有难熔金属碳化物,从而提高了硬质合金的韧性和耐磨性,使其具有较好的综合切削性能。YW 类硬质合金主要用于不锈钢、耐热钢的加工,也适用于普通碳钢和铸铁的切削加工,因此被称为通用型硬质合金。常用的牌号有 YW1、YW2 等。

④ 碳化钛基类(YN类)硬质合金。YN类硬质合金相当于ISO标准的P类,又称为金属陶瓷。它是以TiC为主要成分、以Ni和Mo为粘结剂的硬质合金。它具有很高的硬度;与工件材料的亲和力较小,不易形成屑瘤;可采用较高的切削速度,切削速度可达300~400m/min;耐热性好,在1000~1300℃高温下仍能进行切削。因此,它适用于高速精加工普通钢、工具钢和淬硬钢。但YN类硬质合金抗塑性变形能力差,抗崩刃性差,只适合连续切削。

各种硬质合金的应用见表1-2。

表1-2 各种硬质合金的应用范围

牌号	应用范围	
YG3X	硬度、耐磨性、切削速度 ↑ ↓ 抗弯强度、韧性、进给量	铸铁、有色金属及其合金的精加工、半精加工;不能承受冲击载荷
YG3		铸铁、有色金属及其合金的精加工、半精加工;不能承受冲击载荷
YG6X		普通铸铁、冷硬铸铁、高温合金的精加工、半精加工
YG6		铸铁、有色金属及其合金的半精加工和粗加工
YG8		铸铁、有色金属及其合金、非金属材料的粗加工,也可用于断续切削
YG6A		冷硬铸铁、有色金属及其合金的半精加工,亦可用于高锰钢、淬硬钢的半精加工和精加工
YT30	硬度、耐磨性、切削速度 ↑ ↓ 抗弯强度、韧性、进给量	碳素钢、合金钢的精加工
YT15		碳素钢、合金钢在连续切削时的粗加工、半精加工,亦可用于断续切削时精加工
YT14		
YT5		碳素钢、合金钢的粗加工,可用于断续切削
YW1	硬度、耐磨性、切削速度 ↑ ↓ 抗弯强度、韧性、进给量	高温合金、高锰钢、不锈钢等难加工材料及普通钢料、铸铁、有色金属及其合金的半精加工和精加工
YW2		高温合金、高锰钢、不锈钢等难加工材料及普通钢料、铸铁、有色金属及其合金的粗加工和半精加工
YN05	硬度、耐磨性、切削速度 ↑ ↓ 抗弯强度、韧性、进给量	高速精加工合金钢、淬硬钢、高温合金、高锰钢等
YN10		