



金属切削加工

3.1 金属切削原理

3.1.1 切削运动和切削用量

金属切削刀具和工件按一定规律作相对运动,通过刀具上的切削刃切除工件上多余的(或预留的)金属,从而使工件的形状、尺寸精度及表面质量都合乎预定要求,这样的加工称为金属切削加工。

1. 切削过程中工件上的加工表面

车削加工是一种最典型的切削加工方法,如图 3-1 所示,普通外圆车削加工中,由于工件的旋转运动和刀具的连续进给运动,工件表面的一层金属不断地被车刀切下来并转变为切屑,从而加工出所需要的工件新表面。在新表面的形成过程中,工件上有 3 个不断变化着的表面:

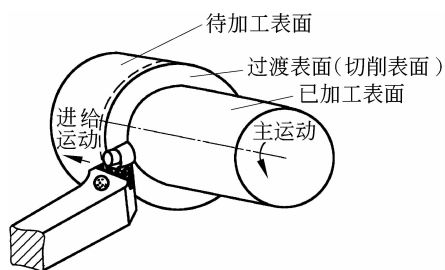


图 3-1 外圆车削运动和加工表面

- (1) 待加工表面,即将被切除的表面;
- (2) 已加工表面,已被切去多余金属而形成符合要求的工件新表面;
- (3) 过渡表面,由主切削刃正在切削的表面,它是待加工表面向已加工表面过渡的表面。

不同形状的切削刃与不同的切削运动组合,即可形成各种工件表面,如图 3-2 所示。

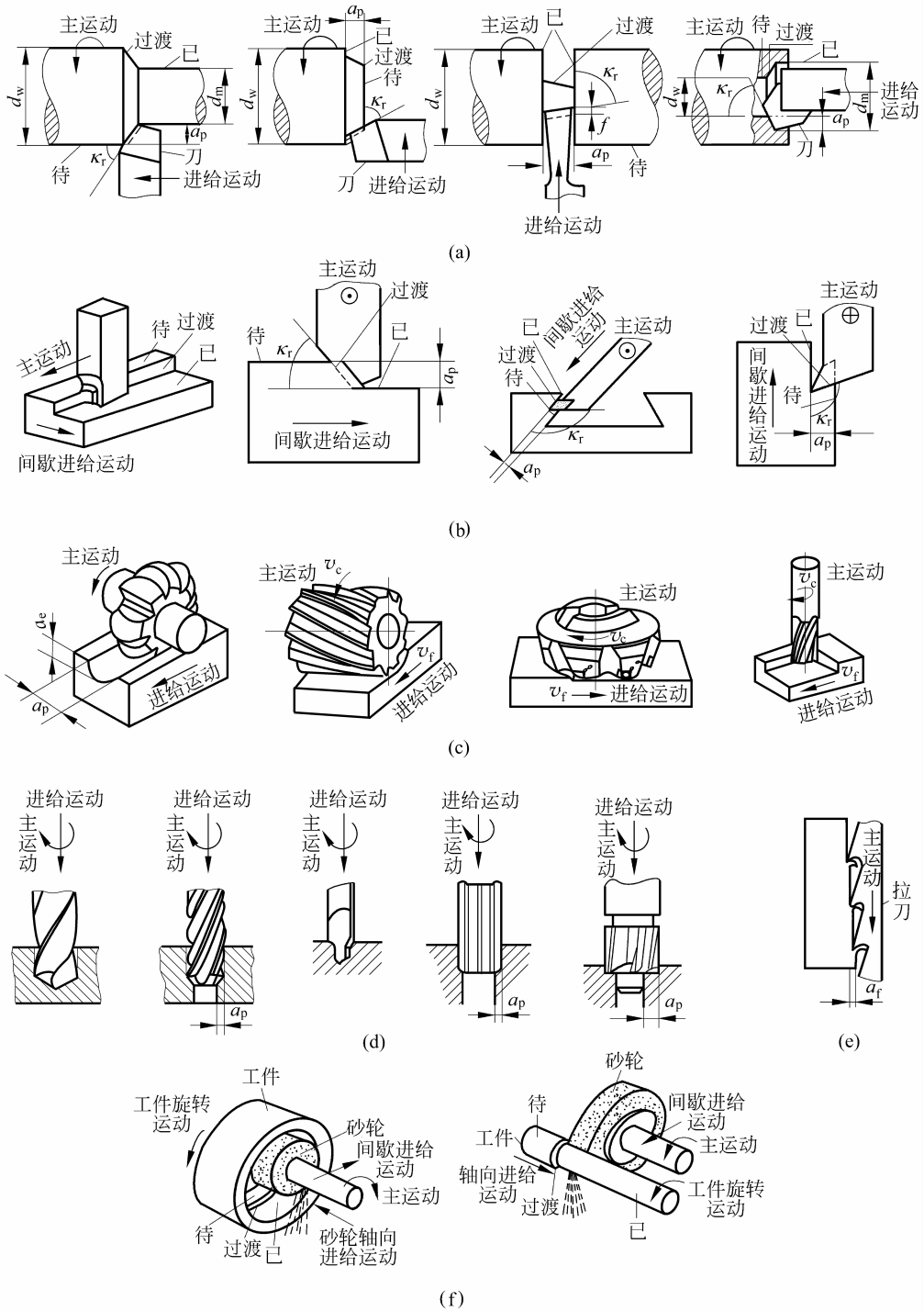


图 3-2 各种切削加工的切削运动和加工表面

2. 主运动、进给运动和合成切削运动

各种切削加工中的运动单元,按照它们在切削过程中所起的作用,可以分为主运动和进给运动,而这两个运动的向量和称为合成切削运动。所有切削运动的速度及方向都是相对于工件定义的。

(1) 主运动:切削加工中刀具与工件之间主要的相对运动,它使刀具的切削刃切入工件材料,使被切金属层转变为切屑,从而形成工件新表面,一般地,主运动速度比较高,消耗的功率也比较大。如图 3-2 所示,在车削时,工件的回转运动是主运动;在钻削、铣削和磨削时,刀具或砂轮的回转运动是主运动;在刨削时,刀具或工作台的往复直线运动是主运动。

(2) 进给运动:配合主运动使切削加工过程连续不断地进行,同时形成具有所需几何形状的已加工表面的运动,进给运动可能是连续的,也可能是间歇的。

(3) 合成切削运动:由同时进行的主运动和进给运动合成的运动。

3. 切削用量三要素

切削速度、进给量和切削深度称为切削用量三要素。在大多数实际加工中,由于进给速度远小于主运动速度,切削速度一般指主运动速度。

(1) 切削速度 v_c

主运动为回转运动时,切削速度的计算公式如下:

$$v_c = \frac{\pi dn}{1000} \quad (\text{m/s 或 m/min}) \quad (3-1)$$

式中, d 为工件或刀具上某一点的回转直径,mm; n 为工件或刀具的转速,r/s或r/min。在生产中,磨削速度的单位习惯上用m/s,其他加工的切削速度单位用m/min。

由于切削刃上各点的回转半径不同(刀具的回转运动为主运动时),或切削刃上各点对应的工件直径不同(工件的回转运动为主运动时),因而切削速度也就不同。考虑到切削速度对刀具磨损和已加工表面质量有影响,在计算切削速度时,应取最大值,如外圆车削时用待加工表面直径 d_w 代入公式计算待加工表面上的切削速度,内孔车削时用已加工表面直径 d_m 代入公式计算已加工表面上的切削速度,钻削时计算钻头外径处的速度。

(2) 进给速度 v_f 、进给量 f 和每齿进给量 $f_{\text{齿}}$

进给速度 v_f 是单位时间内的进给位移量,单位是 mm/s(或 mm/min),进给量 f 是工件或刀具每回转一周时二者沿进给方向的相对位移,单位是 mm/r。

对于刨削、插削等主运动为往复直线运动的加工,虽然可以不规定间歇进给速度,但要规定间歇进给的进给量,单位为 mm/dst(毫米/双行程)。对于铣刀、铰刀、拉刀、齿轮滚刀等多刃刀具(齿数用 z 表示),还应规定每齿进给量 $f_{\text{齿}}$,单位是 mm/齿。

进给速度 v_f 、进给量 f 和每齿进给量 $f_{\text{齿}}$ 有如下关系:

$$v_f = fn = f_{\text{齿}} zn \quad (\text{mm/s 或 mm/min}) \quad (3-2)$$

(3) 切削深度(背吃刀量) a_p

对于图 3-2 所示的车削和刨削来说,切削深度(或称背吃刀量) a_p 为工件上已加工表面和待加工表面间的垂直距离,单位为 mm。

外圆车削时切削深度:

$$a_p = (d_w - d_m)/2 \quad (\text{mm}) \quad (3-3)$$

对于钻削:

$$a_p = d_m/2 \quad (\text{mm}) \quad (3-4)$$

3.1.2 刀具材料、几何形体与角度参数、切削层参数

1. 刀具材料

1) 刀具材料应具备的基本性能

在切削过程中,刀具切削部分与切屑、工件相互接触的表面上承受着很大压力和强烈摩擦,刀具在高温、高压以及冲击和振动下切削,因此刀具材料必须具备下述基本性能。

(1) 硬度。刀具材料的硬度应高于工件材料的硬度,常温硬度应在 62HRC 以上。

(2) 耐磨性。耐磨性表示刀具抵抗磨损的能力,通常硬度高耐磨性也高,此外耐磨性还与基体中硬质点晶粒的粗细程度、分布的均匀程度以及化学稳定性有关。

(3) 强度和韧性。为了承受切削力、冲击和振动,刀具材料应具备足够的强度和韧性,强度用抗弯强度表示,韧性用抗冲击值表示,刀具材料的强度和韧性越高,则硬度和耐磨性也就较差,这两个方面的性能常常是相逆的。

(4) 耐热性。刀具材料应在高温下仍保持较高的硬度、耐磨性、强度和韧性。

(5) 减摩性。刀具材料的减摩性越好,则刀面上的摩擦系数就越小,既可以减小切削力和降低切削温度,还能抑制刀-屑界面处冷焊的形成。

(6) 导热性和热膨胀系数。刀具材料的导热系数越大,散热越好,有利于降低切削区温度而提高刀具使用寿命;线膨胀系数小,可减小刀具的热变形和对尺寸精度的影响。

(7) 工艺性和经济性。为了便于刀具的制造,刀具材料应具有良好的可加工性(锻、轧、焊接、切削加工、可磨削性和热处理等),刀具材料的价格应低廉,便于推广使用。

2) 高速钢

高速钢是在高碳钢中加入了大量的钨(W)、钼(Mo)、铬(Cr)、钒(V)等合金元素,这些元素是强烈的碳化物形成元素,与碳形成高硬度的碳化物,提高了钢的耐磨性和淬透性,高速钢经淬火并三次回火后,由于弥散硬化效果进一步提高了硬度和耐磨性。

高速钢在 600℃ 以上时,其硬度下降而失去切削性能,切削中碳钢时,切削速度可达 30m/min 左右。高速钢的最大优点是强度、韧性和工艺性能好,且价格便宜,因此广泛用于复杂刀具和小型刀具的制造。

按化学成分高速钢可分为钨系、钨钼系等,按切削性能可分为普通高速钢和高性能高速钢,常用普通高速钢的牌号有 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 等。W18Cr4V 属钨系高速钢,使用普遍,其综合机械性能和可磨削性好,用于制造包括复杂刀具在内的各类刀具;W6Mo5Cr4V2 属钨钼系高速钢,具有碳化物分布均匀、韧性好、热塑性好的特点,但其可磨削性比 W18Cr4V 略差。

对于强度和硬度较高的难加工材料,采用普通高速钢刀具的切削效果不理想,切削速度不能超过 30m/min,因此需要采用新技术措施来改善高速钢刀具的切削性能。

(1) 改变高速钢的合金成分。调整普通高速钢的基本化学成分和添加其他合金元素,

使其机械性能和切削性能显著提高,这就是高性能高速钢。高性能高速钢可用于切削高强度钢、高温合金、钛合金等难加工材料,例如:加钴形成钴高速钢(M42),它的特点是综合性能好,硬度接近70HRC,高温硬度也居前,可磨削性也好,但由于含有钴元素,所以价格较贵;加铝形成铝高速钢(W6Mo5Cr4V2Al),它是无钴高速钢,优点是无钴而成本低,缺点是可磨削性略低于M42,且热处理温度较难控制。几种高速钢的性能见表3-1。

表3-1 几种高速钢性能的比较

钢种	常温硬度 HRC	高温硬度 HV(600℃)	抗弯强度 R_{bb} /GPa	冲击韧性 /(K/J)
W18CrV	62~65	~520	~3.50	30
110W1.5Mo9.5Cr4VCo8(M42)	67~69	~602	2.70~3.80	23~30
W6Mo5Cr4V2Al(501)	68~69	~602	3.50~3.80	20
W10Mo4Cr4V3Al(5F6)	68~69	~583	~3.07	20
W12Mo3Cr4V3Co5Si	69~70	~608	2.40~2.70	11
W6Mo5Cr4V5SiNbAl(B201)	66~68	~526	~3.60	27

(2) 采用粉末冶金技术。采用一般电炉炼钢法得到的高速钢,其金相组织中含有粗大的碳化物偏析,容易造成刀刃的崩刃失效,完全消除碳化物偏析的方法是采用粉末冶金技术,即将高频感应炉熔炼的钢液用惰性气体雾化成粉末,再经热压成坯,最后轧制或锻造成形。粉末冶金高速钢的韧性和硬度较高,可磨削性能显著改善,材质均匀,热处理变形小,适合于制造各种精密刀具和复杂刀具。

(3) 采用表面化学渗入法。典型的表面化学渗入法是渗碳,渗碳后刀具表面硬度、耐磨性提高,但脆性增加,减小脆性的办法是同时渗入多种元素,如渗硼可降低脆性并提高抗粘结性,渗硫可减小表面摩擦,渗氮可提高热硬性。

(4) 采用表面涂覆硬质薄膜技术。在真空条件下,用PVD法(物理气相沉积)将TiC和TiN等耐磨、耐高温、抗粘结的材料薄膜(3~5 μ m)涂覆在高速钢刀具表面上,经过涂层后的刀具耐磨性和使用寿命提高3~7倍,切削效率提高30%,用于制造形状复杂的刀具,如钻头、丝锥、铣刀和齿轮刀具等。

3) 硬质合金

硬质合金是高硬度、难熔金属碳化物(主要是WC、TiC等,又称高温碳化物)微米级的粉末,用钴或镍作黏结剂烧结而成的粉末冶金制品,允许切削温度高达800~1000℃,切削中碳钢时,切削速度可达100~200m/min。硬质合金是目前最主要的刀具材料之一,由于硬质合金工艺性差,所以主要用于制造简单刀具,而制造复杂刀具时采用在金属材料刀体上钎焊或组装硬质合金刀片的结构方式。

在硬质合金中碳化物所占比例越大,则硬度越高,反之,碳化物比例减小,黏结剂比例增大,则硬度低,但抗弯强度提高;碳化物的粒度越细,则有利于提高硬质合金的硬度和耐磨性,但当黏结剂含量一定时,如碳化物粒度减小,则碳化物颗粒的总表面积加大,使黏结剂厚度减薄,从而降低了合金的抗弯强度,反之,则使合金的抗弯强度提高,而硬度降低;碳化物粒度的均匀性也影响硬质合金的性能,粒度均匀的碳化物可形成均匀的黏结层,防止产生裂纹,在硬质合金中添加TaC(碳化钽)能使碳化物粒度均匀和细化。

(1) 硬质合金的分类和性能

目前大部分硬质合金是以WC为基体,并分为WC-Co(YG类)、WC-TiC-Co(YT类)、WC-

TaC(NbC)-Co(YA类)以及 WC-TiC-TaC(NbC)-Co(YW类)等类别,表 3-2 列出了国内常用各类合金的分类代号、成分和性能,表底的注解说明了硬质合金分类代号的表示方法。

表 3-2 硬质合金成分和性能

合金分类 代号	各成分的含量/%					物理机械性能							相近 ISO 牌号
	WC	TiC	TaC (NbC)	Co	硬 度		抗弯强度 R_{bb}/GPa	冲击韧性 (K/J)	导热系数 k /[W/(m·°C)]	线膨胀系 数 $\alpha / 10^{-6}$	密度 $\rho /$ (g/cm ³)		
					HRA	HRC							
WC 基 合 金													
WC+Co	YG3	97	—	—	3	91	78	1.10	—	87.9	—	14.9~ 15.3	K01 K05
	YG6	94	—	—	6	89.5	75	1.40	2.6	79.6	4.5	14.6~ 15.0	K15 K20
	YG8	92	—	—	8	89	74	1.50	—	75.4	4.5	14.4~ 14.8	K30
	YG3X	97	—	—	3	92	80	1.00	—	—	4.1	15.0~ 15.3	K01
	YG6X	94	—	—	6	91	78	1.35	—	79.6	4.4	14.6~ 15.0	K10
WC+ TaC (NbC) +Co	YG6A (YA6)	91~ 93	—	1~3	6	92	80	1.35	—	—	—	14.4~ 15.0	K10
WC+ TiC+ Co	YT30	66	30	—	4	92.5	80.5	0.90	0.3	20.9	7.00	9.35~ 9.7	P01
	YT15	79	15	—	6	91	78	1.15	—	33.5	6.51	11.0~ 11.7	P10
	YT14	78	14	—	8	90.5	77	1.20	0.7	33.5	6.21	11.2~ 12.7	P20
	YT5	85	5	—	10	89.5	75	1.30	—	62.8	6.06	12.5~ 13.2	P30
WC+ TiC+ TaC (NbC) +Co	YW1	84	6	1	6	92	80	1.25				13.0~ 13.5	M10
	YW2	82	6	4	8	91	78	1.50				12.7~ 13.3	M20
TiC 基 合 金													
TiC+ WC+ Ni-Mo	YN10	15	62	1	Ni12 Mo10	92.5	80.5	1.10				6.3	P05
	YN05	8	71		Ni7 Mo14	93	82	0.90				5.9	P01

注: Y——硬质合金; G——钴,其后数字表示含钴量; X——细晶粒合金; T——TiC,其后数字表示 TiC 含量;
A——含 TaC(NbC)的钨钴类合金; W——通用合金; N——以镍、铜作黏结剂的 TiC 基合金。

硬质合金的主要性能如下述。

① 硬度。由于 WC、TiC 等的硬度很高,所以合金的硬度也很高,一般在 89~93HRA 之间;硬质合金的硬度随着温度的升高而降低,在 700~800℃时,大部分合金保持着相当于高速钢的常温硬度;合金的高温硬度主要取决于碳化物在高温下的硬度,故 WC-TiC-Co 合

金的高温硬度比 WC-Co 合金高,添加 TaC(或 NbC)能提高高温硬度。

② 抗弯强度和韧性。常用硬质合金的抗弯强度在 0.9~1.5GPa 范围内,黏结剂含量越高,则抗弯强度也越高,随着 TiC 含量的增加抗弯强度下降;硬质合金是脆性材料,冲击韧性仅为高速钢的 1/30~1/8,韧性不足是硬质合金的一大弱点,故硬质合金刀具一般将合金刀片焊接或夹固在刀体上使用,只有一些小的复杂刀具才做成整体的,WC-TiC-Co 类的韧性低于 WC-Co 类。

③ 导热系数。由于 TiC 的导热系数低于 WC,所以 WC-TiC-Co 合金的导热系数比 WC-Co 合金低,并随着 TiC 含量的增加而下降,例如 YG6 的导热系数比 YT15 大一倍多。

④ 线膨胀系数。硬质合金的线膨胀系数比高速钢小得多,WC-TiC-Co 合金的线膨胀系数大于 WC-Co 合金,且随 TiC 含量增加而增大。

⑤ 抗冷焊性。硬质合金与钢发生冷焊的温度高于高速钢,WC-TiC-Co 合金与钢发生冷焊的温度高于 WC-Co 合金。

(2) 硬质合金的选用

正确选用适当类别的硬质合金对于发挥其效能具有重要意义(表 3-3)。

表 3-3 各种硬质合金的应用范围

合金分类代号	应用范围	
YG3X	硬度↑ 抗弯强度、 韧性、 进给量 ↓ 耐磨性、 切削速度	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		
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↑ 抗弯强度、 韧性、 进给量 ↓ 耐磨性、 切削速度	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↑ 抗弯强度、 韧性、 进给量 ↓ 耐磨性、 切削速度	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		

切削铸铁及其他脆性材料时,由于形成崩碎切屑,切削力集中在切削刃上,局部压力很大,并具有一定的冲击性,所以宜选用抗弯强度和韧性较好的 WC-Co 合金;WC-Co 类合金与钢料摩擦时,其抗月牙洼磨损能力比 WC-TiC-Co 合金差,因此 WC-Co 类合金不宜用于高速切削普通钢料,而应选用 WC-TiC-Co 类合金;由于高温合金、不锈钢等难加工材料中含有钛,导热系数低,切削温度高,容易产生冷焊,因而要求刀具中不含钛,并具有良好的导热性,因此切削高温合金、不锈钢等难加工材料应选用不含钛的 WC-Co 合金并采用较低的切削速度。

精加工时宜选用含钴少、硬度高的合金,如 YG3 或 YT30;粗加工或有冲击载荷时,宜选用含钴多、抗弯强度大的合金,如 YG8 或 YT5。

(3) 新型硬质合金

① 添加碳化钽(TaC)、碳化铌(NbC)的硬质合金。在 WC-Co 合金中添加少量 TaC 或 NbC 可显著提高常温硬度、高温硬度、高温强度和耐磨性,而抗弯强度略有降低,表 3-3 中的 YG6A 就是这种合金;在 TiC 含量少于 10% 的 WC-TiC-Co 合金中,添加少量 TaC 或 NbC,可以获得较好的综合机械性能,既可加工铸铁、有色金属,又可加工碳素钢、合金钢,也适合于加工高温合金、不锈钢等难加工材料,从而有“通用合金”之称,表 3-3 中的 YW1、YW2 就是这种合金。

② 涂层硬质合金。在 YG8、YT5 这类韧性、强度较好但硬度、耐磨性较差的刀具表面上用 CVD 法(化学气相沉积法)涂上晶粒极细的碳化物(TiC)、氮化物(TiN)或氧化物(Al_2O_3)等,可以解决刀具硬度、耐磨性与强度、韧性之间的矛盾。TiC 硬度高,耐磨性好,线膨胀系数与基体相近,所以与基体结合比较牢固;TiN 的硬度低于 TiC,与基体结合稍差,但抗月牙洼磨损能力强,且不易生成中间层(脆性相),故允许较厚的涂层; Al_2O_3 涂层的高温化学性能稳定,适用于更高速度下的切削;目前多用复合涂层合金,其性能优于单层。由于涂层材料的线膨胀系数总大于基体,故表层存在残余应力,抗弯强度下降,所以涂层硬质合金适用于各种钢料、铸铁的精加工和半精加工及负荷较轻的粗加工。

③ 细晶粒和超细晶粒硬质合金。一般硬质合金中晶粒的大小均大于 $1\mu m$,如使晶粒细化到小于 $1\mu m$,甚至小于 $0.5\mu m$,则耐磨性有较大改善,刀具使用寿命可提高 1~2 倍,添加 Cr_2O_3 可使晶粒细化,这类合金可用于加工冷硬铸铁、淬硬钢、不锈钢、高温合金等难加工材料。

④ TiC 基和 Ti(C,N)基硬质合金。一般硬质合金属于 WC 基,TiC 基合金是以 TiC 为主体成分,以镍、钼作黏结剂,TiC 含量达 60%~70%,与 WC 基合金比较,它的硬度较高,抗冷焊磨损能力较强,热硬性也较好,但韧性和抗塑性变形的能力较差,性能介于陶瓷和 WC 基合金之间,如表 3-2 中的 YN10 和 YN05,它们适合于碳素钢、合金钢的半精加工和精加工,其性能优于 YT15 和 YT30。在 TiC 基合金中进一步加入氮化物形成 Ti(C,N)基硬质合金,强度、韧性、抗塑性变形的能力均高于 TiC 基合金。

⑤ 添加稀土元素的硬质合金。在 WC 基合金中,加入少量稀土元素,有效地提高了合金的韧性、抗弯强度和耐磨性,适用于粗加工。

⑥ 高速钢基硬质合金。以 TiC 或 WC 作硬质相(占 30%~40%),以高速钢作黏结剂(占 60%~70%),用粉末冶金工艺制成,其性能介于硬质合金和高速钢之间,具有良好的耐磨性和韧性,特别是大大改善了工艺性,适合于制造复杂刀具。

4) 超硬刀具材料

(1) 陶瓷

① 复合氧化铝陶瓷。在 Al_2O_3 基体中添加高硬度、难熔碳化物(如 TiC),并加入一些其他金属(如镍、钼)进行热压而成的一种陶瓷,其抗弯强度为 0.8GPa 以上,硬度达到 $93\sim 94\text{HRA}$;在 Al_2O_3 基体中加入 SiC 和 ZrO_2 晶须而形成晶须陶瓷,大大提高了韧性。

② 复合氮化硅陶瓷。在 Si_3N_4 基体中添加 TiC 等化合物和金属 Co 等进行热压,制成复合氮化硅陶瓷,其机械性能与复合氧化铝陶瓷相近。

陶瓷具有很高的高温硬度,在 1200°C 时硬度尚能达到 80HRA ,化学稳定性好,与被加工金属亲和作用小,但陶瓷的抗弯强度和冲击韧性较差,对冲击十分敏感,目前多用于各种金属材料的半精加工和精加工,适合于淬硬钢、冷硬铸铁的加工。陶瓷的原料在自然界中容易得到,且价格低廉。

(2) 金刚石

金刚石分天然和人造两种,它们都是碳的同素异构体,其硬度高达 10000HV ,是自然界中最硬的材料,天然金刚石质量好,但价格昂贵,人造金刚石是在高温高压条件下,借助于某些合金的触媒作用,由石墨转化而成的。金刚石能切削陶瓷、高硅铝合金、硬质合金等难加工材料,还可以切削有色金属及其合金,但不能切削铁族材料,因为碳元素和铁族元素有很强的亲和性,碳元素向工件扩散,加快刀具磨损。当温度大于 700°C 时,金刚石转化为石墨结构而丧失硬度。天然金刚石刀具的刃口可以磨得很锋利,对有色金属进行精密和超精密切削时,表面粗糙度 R_a 可达到 $0.01\sim 0.1\mu\text{m}$ 。金刚石车刀的晶体刀片黏结结构和刀具角度可参考图 3-3。

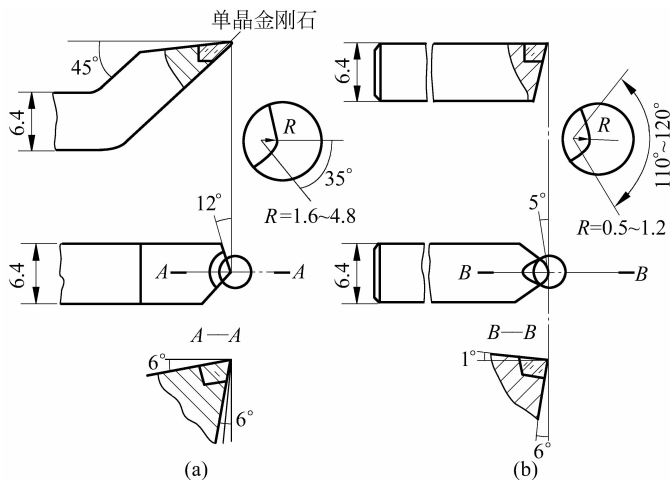


图 3-3 金刚石刀具

(3) 立方氮化硼

六方氮化硼经高温高压处理转化为立方氮化硼(CBN),其硬度仅次于金刚石,为 8000HV ,热稳定性和化学惰性优于金刚石,可耐 $1300\sim 1500^\circ\text{C}$ 的高温,用于切削淬硬钢、冷硬铸铁、高温合金等,切削速度比硬质合金高 5 倍。立方氮化硼刀片采用机械夹固或焊接方法固定在刀体上。立方氮化硼性脆易崩刃,宜用于平稳切削。

5) 刀具材料按用途分类标识方法

刀具制造商根据不同的切削用途,分析确定刀具应具备的性能,设计刀具材料组分、结构和制造工艺,研发各种牌号的切削刀具,刀具用户则按照自己的切削用途,选购相应牌号的切削刀具,或向刀具制造商提出新切削用途的刀具研发需求,因此,切削用途既是刀具制造商研发制造刀具的直接目标,也是刀具用户选用刀具的基本依据,刀具材料按用途分类标识,既符合刀具材料研发规律,也体现以用户为关注焦点,为用户服务的企业运营理念。

(1) 刀具材料按用途分类标准

参照 ISO513:2004 国际标准,我国制定了 GB/T 2075—2007 硬切削刀具材料(包括硬质合金、陶瓷、金刚石、氮化硼)按用途分类的国家标准。见表 3-4,标准规定了 6 个用途大组,依照不同的被加工工件材料划分,分别用标识字母符号(P、M、K、N、S、H)和识别颜色(蓝、黄、红、绿、褐、灰)表示。每个用途大组分成为若干用途小组,用分类数字号表示:随分类号增大,刀具材料韧性增加,切削进给量增加;随分类号减小,耐磨性增加,切削速度增加。

表 3-4 硬切削材料的分类和用途

用途大组			用途小组			
字母符号	识别颜色	被加工材料	硬切削材料		变化趋势	
P	蓝色	钢:除不锈钢外所有带奥氏体结构的钢和铸钢	P01 P10 P20 P30 P40 P50	P05 P15 P25 P35 P45	↑a	↓b
M	黄色	不锈钢:不锈奥氏体钢或铁素体钢,铸钢	M01 M10 M20 M30 M40	M05 M15 M25 M35	↑a	↓b
K	红色	铸铁:灰铸铁,球状石墨铸铁,可锻铸铁	K01 K10 K20 K30 K40	K05 K15 K25 K35	↑a	↓b
N	绿色	非铁金属:铝,其他有色金属,非金属材料	N01 N10 N20 N30	N05 N15 N25	↑a	↓b
S	褐色	超级合金和钛合金:基于铁的耐热特种合金,镍、钴、钛合金	S01 S10 S20 S30	S05 S15 S25	↑a	↓b