

参 见 条

D

铊 见放射性药物；超导材料
 德银 见铜合金
 涤纶 见聚酯纤维
 苊衍生物 见荧光增白剂
 碘化氢 见碘化合物
 碘值 见脂肪和脂油；羧酸
 电工陶瓷材料 见陶瓷
 电化学分析 见分析方法
 电泳沉积 见涂装过程
 电子探针 见分析方法
 电子自旋共振谱 见分析分法
 淀粉酶 见酶 1. 工业酶
 淀粉酶制剂 见酶 1. 工业酶
 丁苯橡胶 见橡胶 2. 合成橡胶
 丁二酸 见二元羧酸
 丁基橡胶 见橡胶 2. 合成橡胶
 丁腈橡胶 见橡胶 2. 合成橡胶
 丁酸 见羧酸
 丁烷 见烃
 铥 见稀土元素
 氩 见氩系气体
 毒杀芬 见杀虫剂
 毒重石 见钡和钡化合物
 独居石 见铈和铈化合物；钍和钍化合物
 短杆菌酪酐 见抗生素

对氨基苯磺酸 见磺化；苯胺及其衍生物

对苯二甲酸 见苯二甲酸及其它苯多羧酸

多粘菌素 见抗生素

多糖 见碳水化合物

E

铑 见铂族金属

萸 见稠环芳烃

萸醌染料 见萸醌及其衍生物；还原染料；分散染料；酸性染料

儿茶酚 见苯二酚

二苯甲酮 见酮

二苯甲烷及三苯甲烷 见染料及染料中间体；阳离子染料及碱性染料

二苯醚 见醚

二芳基胺 见联苯胺和其它二苯基二胺

二甘醇 见乙二醇及缩乙二醇

二甲基甲酰胺 见甲酸及其衍生物；脂肪族酰胺

二氯甲苯 见氯代烃

二糖 见碳水化合物

二性霉素 见抗生素

二氧化硫 见硫化合物

二乙醇胺 见链烷醇胺

目 录

主 词 条

D	
刀具材料	1
氘和氚	19
导电聚合物	41
等离子体技术	71
地热能	83
碲和碲化合物	101
碘	113
碘化合物	119
电池	133
电镀	237
电发光材料及器件	271
电化学生产过程	295
电解机械加工	345
电绝缘	355
电连接器	393
电炉	407
电渗析	429
电石	439
电线电缆被覆层	447
电子化工材料	465
电子陶瓷材料	515
淀粉和淀粉制品	527
丁醇	543
丁二醇类	555
丁二烯	573
γ -丁内酯	591
丁醛	599
丁烯	621
丁烯醛	647
丁烯酸	657
豆和豆制品	665
毒理学	699
多甲基苯	729
多肽	741
多元醇	759
多元酚	779
多组分纤维	789
E	
呋啉类化合物	805
葱醌及其衍生物	825
二甲苯和乙苯	881
二甲苯聚合物	901
二聚酸	911
二硫化碳	921
二醛	933
二氧化硅	941
二氧化碳	1009
二元醇	1021
二元羧酸	1037
F	
发电	1069

目 录

主 词 条

D	
刀具材料	1
氘和氙	19
导电聚合物	41
等离子体技术	71
地热能	83
碲和碲化合物	101
碘	113
碘化合物	119
电池	133
电镀	237
电发光材料及器件	271
电化学生产过程	295
电解机械加工	345
电绝缘	355
电连接器	393
电炉	407
电渗析	429
电石	439
电线电缆被覆层	447
电子化工材料	465
电子陶瓷材料	515
淀粉和淀粉制品	527
丁醇	543
丁二醇类	555
丁二烯	573
γ -丁内酯	591
丁醛	599
丁烯	621
丁烯醛	647
丁烯酸	657
豆和豆制品	665
毒理学	699
多甲基苯	729
多肽	741
多元醇	759
多元酚	779
多组分纤维	789
E	
呋啉类化合物	805
葱醌及其衍生物	825
二甲苯和乙苯	881
二甲苯聚合物	901
二聚酸	911
二硫化碳	921
二醛	933
二氧化硅	941
二氧化碳	1009
二元醇	1021
二元羧酸	1037
F	
发电	1069

参 见 条

D

铊 见放射性药物；超导材料
 德银 见铜合金
 涤纶 见聚酯纤维
 苊衍生物 见荧光增白剂
 碘化氢 见碘化合物
 碘值 见脂肪和脂油；羧酸
 电工陶瓷材料 见陶瓷
 电化学分析 见分析方法
 电泳沉积 见涂装过程
 电子探针 见分析方法
 电子自旋共振谱 见分析分法
 淀粉酶 见酶 1. 工业酶
 淀粉酶制剂 见酶 1. 工业酶
 丁苯橡胶 见橡胶 2. 合成橡胶
 丁二酸 见二元羧酸
 丁基橡胶 见橡胶 2. 合成橡胶
 丁腈橡胶 见橡胶 2. 合成橡胶
 丁酸 见羧酸
 丁烷 见烃
 铥 见稀土元素
 氩 见氩系气体
 毒杀芬 见杀虫剂
 毒重石 见钡和钡化合物
 独居石 见铈和铈化合物；钍和钍化合物
 短杆菌酪酐 见抗生素

对氨基苯磺酸 见磺化；苯胺及其衍生物
 对苯二甲酸 见苯二甲酸及其它苯多羧酸
 多粘菌素 见抗生素
 多糖 见碳水化合物

E

铑 见铂族金属
 萘 见稠环芳烃
 萘醌染料 见萘醌及其衍生物；还原染料；分散染料；酸性染料
 儿茶酚 见苯二酚
 二苯甲酮 见酮
 二苯甲烷及三苯甲烷 见染料及染料中间体；阳离子染料及碱性染料
 二苯醚 见醚
 二芳基胺 见联苯胺和其它二苯基二胺
 二甘醇 见乙二醇及缩乙二醇
 二甲基甲酰胺 见甲酸及其衍生物；脂肪族酰胺
 二氯甲苯 见氯代烃
 二糖 见碳水化合物
 二性霉素 见抗生素
 二氧化硫 见硫化化合物
 二乙醇胺 见链烷醇胺

daoju cailiao

刀具材料 Cutting Tool Materials

周家宝 上海工业大学机械系

1.	碳素工具钢和合金工具钢	3	3.1.2.	钨钛钴类硬质合金	10
1.1.	碳素工具钢	3	3.1.3.	通用型硬质合金	10
1.2.	合金工具钢	4	3.2.	新型硬质合金	11
2.	高速钢	4	3.2.1.	超细颗粒硬质合金	11
2.1.	普通高速钢	4	3.2.2.	碳化钛基硬质合金	11
2.2.	高性能高速钢	4	3.3.	镀层硬质合金	12
2.2.1.	钴高速钢	4	3.4.	钢结硬质合金	13
2.2.2.	铝高速钢	7	4.	陶瓷	13
2.2.3.	高钒高速钢	7	4.1.	陶瓷的化学成分和物理、机械性能	13
2.3.	粉末冶金高速钢	7	4.2.	陶瓷刀具的应用	15
2.4.	高速钢刀具的表面镀层	7	5.	金刚石	15
3.	硬质合金	8	6.	立方氮化硼	16
3.1.	常用硬质合金的种类和选用	8	7.	与刀具有关的安全措施	16
3.1.1.	钨钴类硬质合金	10	参考文献		16

在机床上,使用金属切削刀具切除工件毛坯上多余的金属,形成切屑而排离工件,从而使工件的形状、尺寸和表面质量都合乎预定的要求,这样的加工统称为金属切削加工。在切屑形成过程中,切削区内的金属将产生巨大的塑性变形,刀具同切屑和切削面将产生剧烈的摩擦。刀具在切削过程中所承受的切削阻力每 1mm^2 切削面积可达 2000N ,切削温度高达 1000°C 。此外,刀具工作表面将不断地同新鲜形成的切屑及切削面相接触,产生粘结、扩散等相互作用。因此,为保证顺利高效地切除金属,刀具材料应当具备以下几方面的性能:

(1) 硬度 刀具材料的硬度必须高于工件材料的硬度。常温硬度须在HRC 62以上,高温下也要求保持较高的硬度。

(2) 强度和冲击韧性 为了承受切削力、切削振动和冲击,刀具材料应具有足够的强度和冲击韧性。一般地说,强度用抗弯强度($\sigma_{0.2}$)表示,冲击韧性用冲击值(a_k)表示。

(3) 耐磨性 耐磨性表示抵抗磨损的能力。它除了同刀具材料的机械性能、组织结构和化学成分有关之外,

还受刀具材料的化学稳定性和化学惰性的影响。一种良好的刀具材料要求既具有较高的抗磨料磨损的能力,又具有较好的抗粘结磨损、扩散磨损和氧化磨损的能力。

(4) 工艺性和成本 为了便于刀具制造,刀具材料应具有较好的可加工性,包括锻、焊、切削、磨削、热处理等。刀具材料本身的成本要较低,便于推广应用。

(5) 其它 刀具材料应具有较好的抗热冲击的能力,在切削热的周期性作用下不致于开裂;还应具有较高的抗热塑性变形的能力,在切削区高温作用下刀尖不致于产生塑性变形等。

上述几方面的性能要求有时是相互矛盾的。这就要从工件材料、加工类型、生产批量、生产率、零件加工精度和表面质量等综合要求进行取舍。

目前常用的刀具材料有碳素工具钢和合金工具钢、高速钢、硬质合金、陶瓷、立方氮化硼、金刚石等六大类。其中,高速钢和硬质合金应用最广,立方氮化硼和金刚石则应用于特殊的加工条件。

各类刀具材料在高温下的硬度平均值变化规律见图1^[1]。简略地说,如要保持正常切削性能,刀具必需具有

表 1 各类刀具材料的性能对比

性能特征	碳素工具钢, 合金工具钢	高速钢	硬质合金	陶 瓷	立方氮化硼	金刚石
硬度及高温硬度	—————增高—————→					
冲击韧性	←—————增大—————					
耐磨性	—————增高—————→					
抗崩损能力	←—————增大—————					
抗热冲击能力	←—————增高—————					
可加工性	—————加工难度增大—————→					
许用切削速度	—————增大—————→					
成本	—————增高—————→					

表 2 各类刀具材料的大致应用范围

刀具材料	被加工工件材料	工序及切削速度范围 ^①	刀具磨损形态	备 注
碳素工具钢及合金工具钢	低强度、低硬度材料, 非铁金属合金、塑料	攻内螺纹、钻孔、铰孔, 低速	磨料磨损, 塑性变形, 微崩刃	高温硬度差, 耐磨性低, 只能用低速加工低强度材料
高速钢	中等及中等以下强度、硬度的各种材料	车、钻、铣、拉等, 低、中速	后刀面磨损, 月牙洼磨损	高温硬度不够, 耐磨性不够高, 可用低、中速加工低、中等强度材料
硬质合金	中等及中等以上强度及硬度的各种材料	车、钻、铣、拉等, 中、高速	后刀面磨损, 月牙洼磨损	低速时易产生切屑粘结和崩刃, 因此不宜用低速
镀层硬质合金	合金铸铁, 合金钢, 不锈钢, 高温合金, 高强度钢	车、铣, 中、高速	后刀面磨损, 月牙洼磨损	低速时易粘屑和崩刃, 不适用于含钛的合金, 非铁金属和合金不值得用
陶瓷	铸铁、钢、镍基高温合金、非铁金属及合金、塑料	车、铣, 高速及更高速	微崩刃, 断裂, 后刀面磨损	强度和抗热冲击性均较低, 不宜用于低速和断续切削
立方氮化硼	淬硬钢, 冷硬铸铁, 高速钢, 镍基高温合金	车、铣, 中、高速	微崩刃, 氧化, 石墨化, 后刀面磨损	化学稳定性好, 强度低
金刚石	有色金属, 硬质合金, 玻璃纤维复合材料, 高硅铝合金	车、铣, 高速及更高速	微崩刃, 氧化, 石墨化	强度低, 高温化学稳定性差, 不宜用于切削碳钢以及含 Co、Ni、Ti、Zr 的材料

① 低速 < 30m/min; 中速为 30~150m/min; 高速为 150~300m/min; 更高速为 300m/min 以上。

HRA75 (HRC47) 以上的硬度, 则合金工具钢刀具的切削温度应限制在 250°C 以下, 高速钢刀具应在 500~550°C, 硬质合金刀具可达 900°C, 陶瓷刀具则可达 1200°C 或更高。

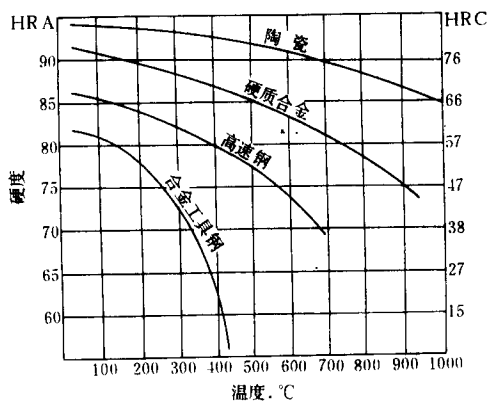


图1 各类刀具材料高温下的硬度平均值变化示意图

各类刀具材料的性能对比见表1, 它们的大致的应用范围见表2^[1]。各类加工工序推荐采用的刀具材料见表3。

表3 各类加工工序推荐采用的刀具材料

加工工序	建议采用的刀具材料	切削速度范围 ^①
单刃车刀 车削	高速钢、硬质合金、陶瓷、立方氮化硼、金刚石	低、中、高、更高 高速
钻孔	高速钢、硬质合金	低速、中速
攻内螺纹	合金工具钢、高速钢	低速
铰孔	高速钢、硬质合金、金刚石	低、中速
拉削	高速钢、硬质合金	低、中速
立铣	高速钢、硬质合金（镶片的及整体的）	低、中速
端面铣削	高速钢、硬质合金、立方氮化硼、金刚石	中、高、更高速

① 低速<30m/min; 中速为30~150m/min; 高速为150~300m/min; 更高速为300m/min以上。

1. 碳素工具钢和合金工具钢

1.1. 碳素工具钢

碳素工具钢是指含碳量为 0.65~1.25% 的优质高

表4 碳素工具钢和合金工具钢的化学成分和机械性能

牌 号	化学成分, %						硬 度		淬火温度 及冷却剂	淬硬状态的 抗弯强度, MPa		
	C	Si	Mn	Cr	W	S	P	Ni			退火 HB	淬火回火 HRC≥
						不大于						
T8A	0.75~ 0.84								≤187		780~800°C 水 冷	2500~ 2800
T10A	0.95~ 1.04	0.15~ 0.30	0.15~ 0.30			0.020	0.030	0.15	≤197	62	760~780°C 水 冷	
T12A	1.15~ 1.24								≤207		760~780°C 水 冷	
9CrSi	0.85~ 0.95	1.20~ 1.60	0.30~ 0.60	0.95~ 1.25					197~ 241	62	820~860°C 油 冷	2500~ 2800
CrWMn	0.90~ 1.05	0.15~ 0.35	0.80~ 1.10	0.90~ 1.20	1.20~1.60	0.030	0.030	0.25	207~ 255	62	800~830°C 油 冷	
Cr12MoV	1.45~ 1.70	≤0.40	≤0.35	11.0~ 12.5	Mo 0.40~0.60 V 0.15~0.30				207~ 255	58	950~1000°C 油 冷	

碳钢,常用牌号有T8A, T10A, T12A等。碳素工具钢的化学成分和机械性能见表4^[2~3]。

碳素工具钢的优点是用它制成刀具后,刀刃能够磨得很锋利,材料本身的热塑性好,切削加工性好、价格低廉。但淬透性差,水淬时心部能淬透的最大尺寸只有10~12mm;热处理变形大;耐热性差,维持正常切削性能的最高温度约为200℃;耐磨性也低。用碳素工具钢刀具切削中碳钢时的许用速度一般均低于8m/min。目前只用于制作少数手动刀具,如手动丝锥、板牙、铰刀、锯条、锉刀等。

1.2. 合金工具钢

针对碳素工具钢淬透性差、热处理变形大和耐磨性低的缺点,加入适量的铬、硅、钨、锰等合金元素,就制成了合金工具钢。常用牌号有9CrSi, CrWMn, Cr12MoV等, GCr15轴承钢有时也可代替合金工具钢使用。合金工具钢的化学成分和机械性能见表4。

9CrSi钢的淬透性好,直径40~50mm以下的刀具在油中即可淬透,用于制作形状复杂、要求热处理变形小的刀具,如丝锥、板牙、铰刀等。CrWMn钢淬透性很好,热处理变形更小。可用于制作拉刀、加长钻头、长柄丝锥等刀具。Cr12MoV钢可用于制作滚丝轮、冷切剪刀和冷冲模具。

合金工具钢组织中含有少量高硬度、高耐热性的碳化物,所以耐温性和耐磨性均有所提高。合金工具钢刀具维持正常切削性能的温度约为250~300℃。切削中碳钢时的许用速度一般应低于10m/min。

由于高速钢的种类不断增多,质量不断提高,而合金工具钢刀具的许用切削速度和耐用度又远不及高速钢,故其使用范围正在逐渐缩小。

2. 高速钢

高速钢是以W, Cr, V, Mo及Co为主要合金元素的高合金工具钢。W和Fe, Cr, V等均可与C形成高硬度的金属碳化物,金属碳化物越多,耐磨性就越高。另一部分W则溶于基体中,增加钢的高温硬度。Mo的作用与W基本相同,1%的Mo可替代2%的W。Mo并能减少钢的碳化物不均匀性,细化碳化物颗粒,提高钢的韧性。Co, Al, Si, Nb等元素添加进高速钢后,也可有效地提高其高温硬度。

高速钢的耐磨性和耐热性得以显著提高的另一个原因是采用接近熔点的淬火温度,得到未溶碳化物和细晶粒的高合金化奥氏体组织,淬火后残留大量奥氏体,在高温(560℃左右)回火时,合金碳化物会弥散析出,使残留奥氏体转变为马氏体,进一步提高了高速钢的硬度(又称二次硬化)。

当切削温度达540℃左右时,高速钢仍能维持其切

削性能。用普通高速钢刀具切削中碳钢的许用切削速度可达30~40m/min。

虽然高速钢的硬度、耐热性、耐磨性和许用切削速度均远不及硬质合金,但由于高速钢的抗弯强度、冲击韧性都显著高于硬质合金,在刀具制造过程中兼有切削加工方便、可以锻造和热处理、磨削容易等优点,所以各种刀具都可用高速钢制造。目前,钻头、拉刀、齿轮刀具、成形刀具以及其它形状复杂的刀具和小尺寸刀具,均大量使用高速钢制造。它和硬质合金取长补短,相互补充,成为两种最常用的刀具材料。

按基本化学成分,高速钢可粗分为两大类:钨系和钼系。按切削性能区分,则大致可归纳成两大系列:普通高速钢和高性能高速钢。近年来又发展了用粉末冶金方法制成的粉末冶金高速钢和在高速钢表面上涂敷TiN或TiC层的镀层高速钢。

2.1. 普通高速钢

常用的几种普通高速钢的牌号、化学成分和机械性能见表5^[3]。W18Cr4V同W6Mo5Cr4V2两种高速钢的切削性能大致相同。W6Mo5Cr4V2钢的热塑性较好,更宜用于热轧刀具,但可磨削性稍次于W18Cr4V钢。这两种牌号广泛用于制造各类高速钢刀具。

为了节约W资源,中国研制成了W9Mo3Cr4V和W14Cr4VMnRe等少钨的高速钢新牌号,它们的性能与W18Cr4V相仿。在美国则也有M1, M7等少钨的高速钢牌号。

2.2. 高性能高速钢

高性能高速钢通过调整基本化学成分和添加Co, V, Al, Si, Nb等合金元素,使其耐热性和耐磨性比普通高速钢提高一步。可用于高强度钢、高温合金、不锈钢、钛合金等难加工材料的切削加工。

高性能高速钢按其成分可粗分为钴高速钢、铝高速钢、高钒高速钢三大类,其化学成分和机械性能见表6^[3,4]。

2.2.1. 钴高速钢

钴高速钢一般含Co量为5, 8, 10, 12%等,超过12%时耐热性提高不明显,而韧性和抗弯强度却会降低。钴的作用是延缓二次硬化中的碳化钨(W₂C)、碳化钼(Mo₂C)的析出过程,从而提高了硬度。此外,钴高速钢在回火时,有少量的Co与Fe, W等形成金属间化合物,具有很高的弥散度,且不易聚合,从而提高了回火硬度和高温硬度,提高了耐磨性。钴高速钢适用于制作切削高强度钢、高温合金等难加工材料的刀具,刀具耐用度可达普通高速钢的2~4倍。

目前应用最广的钴高速钢牌号是M41和M42。它的

表 5 普通高速钢的化学成分和机械性能

牌号(国别)	化 学 成 分, %										硬 度		无缺口 冲击韧性 MJ/m ²	
	C	W	Mo	Cr	V	Co	Mn	Si	Al	其它	20°C	600°C		
											HRC	HV		
W18Cr4V(中国) T1(美国 AISI) P18(苏联 ГОСТ)	0.70~0.80	17.5~19.0	≤0.30	3.80~4.40	1.00~1.40						62~65	~520	3430	0.294
W6Mo5Cr4V2(中国) M2(美国 AISI) P6M5(苏联 ГОСТ)	0.80~0.90	5.50~6.75	4.50~5.50	3.80~4.40	1.75~2.20						62~66	~500	4414~4610	0.490
W14Cr4VMnRe(中国)	0.85~0.95	13.50~15.00		3.50~4.00	1.40~1.70			≤0.50			64~66	~520	3924	0.245
W9Mo3Cr4V(中国)	1.00	9.00	3.00	4.00	1.00									
M1(美国 AISI)	0.80	1.50	8.00	4.00	1.00			≤0.40						
M7(美国 AISI)	1.00	1.75	8.75	4	2			≤0.40						

表 6 高性能高速钢的化学成分和机械性能

牌号(国别)	化 学 成 分, %										硬 度		无缺口 冲击韧性 MJ/m ²	
	C	W	Mo	Cr	V	Co	Mn	Si	Al	其它	20℃	600℃		
											HRC	HV		
M35(美国 AISI) P6M5K5(苏联 ГОСТ)	0.80	6.00	5.00	4.00	2.00	5.00	≤0.40				65~67	630℃ HRC 58[*]	2600~ 3000[*]	
M41(美国 AISI)	1.10	6.75	3.75	4.25	2.00	5.00	≤0.40				65~68	580	2452~2943	0.0981
M42(美国 AISI)	1.10	1.50	9.50	3.75	1.15	8.00	≤0.40				67~69	602	2452~2943	0.0981
W6Mo5Cr4V2Al(501) (中国)	1.05~1.20	5.50~6.75	4.50~5.50	3.80~4.40	1.75~2.20		≤0.40	≤0.60	0.80~1.20		67~69	602	3430~3730	0.196
W6Mo5Cr4V5SiNbAl (B201)(中国)	1.55~1.65	5.00~6.00	5.00~6.00	3.80~4.40	4.20~5.20		≤0.40	1.00~ 1.40	0.30~0.70 0.20~0.50	Nb	66~68	526	~3530	0.266
W10Mo4Cr4V3Al (5F6)(中国)	1.30~1.45	9.00~10.50	3.50~4.50	3.80~4.50	2.70~3.20		≤0.50	≤0.50	0.70~1.20		68~69	583	~3010	0.196
W12Cr4V3Mo3Co5Si (Co5Si)(中国)	1.20~1.35	11.5~13	2.80~3.40	3.80~4.40	2.80~3.40	4.70~ 5.10	≤0.40	0.80~ 1.20			67~69	608	2350~2650	0.108
SKH-57(日本) HSP-15(瑞典) S10-4-3-10(联邦德国)	1.30	9.00	3.00	4.00	3.00	10.00	≤0.40				66~69	600	~2305	0.0981

硬度高(可接近 HRC 70),高温硬度在同类钢中也居于前列。由于含 V 量只占 1~2%,所以它的可磨削性与 W6Mo5Cr4V2 钢相近。中国生产的 Co5Si 高速钢可磨削性较差,属于高钒高钴类型。

为了节省稀缺昂贵的钴,国际上正在研制无钴的高性能高速钢。中国研制成的有 W6Mo5Cr4V2Al(简称 501),W6Mo5Cr4V5SiNbAl(简称 B201),W10Mo4Cr4V3Al(简称 5F6)等牌号。美国研制成的有无钴 T15 和无钴 M42 等,用增大 W, Mo, V 的含量来替代钴的作用。

2.2.2. 铝高速钢

铝高速钢 W6Mo5Cr4V2Al(简称 501 钢)是在普通高速钢 W6Mo5Cr4V2 的基础上,把含碳量从 0.80~0.90% 提高到 1.05~1.20%,又加入 1% 的铝,从而提高了耐磨性和耐热性。铝高速钢淬火、回火后的硬度可达 HRC68,600℃ 时的硬度为 HV602。抗弯强度与冲击韧性均与 M42 相当。可磨削性略次于 W6Mo5Cr4V2 和 M42 高速钢。

中国生产的铝高速钢不含钴,成本较低,而切削性能则与 M41, M42 钴高速钢相当。切削已调质的合金钢时,刀具耐用度可达普通高速钢刀具的 2~3 倍^[5]。

2.2.3. 高钒高速钢

含钒量在 2.4% 以上的高速钢称为高钒高速钢,一般含钒量均在 3~5% 之间。其主要特点是耐磨性好。这是由于在增加 1% 钒的同时要加入 0.20% 的碳,所以金相组织中碳化钒的数量增多。碳化钒的硬度达 HV2840,所以提高了高速钢的耐磨性。

表 6 中所列的 B201, 5F6 等牌号均为中国高钒高速钢。高钒高速钢的缺点是可磨削性差,要采用单晶刚玉或立方氮化硼砂轮才能达到较好的磨削效果,使它们的推广应用受到了限制。

2.3. 粉末冶金高速钢

高速钢刀具性能除了受化学成分和热处理的影响以外,碳化物颗粒的粗细和分布的均匀性也是一个重要因素。用普通方法熔炼并锻造的高速钢,其碳化物的偏析较大,为了使碳化物的颗粒变细且分布比较均匀,高速钢刀具的毛坯应经过多次加热锻打,这样才能保证刀具有足够的强度、韧性和耐磨性。

粉末冶金高速钢是把熔炼好的高速钢熔液在保护气罐中用高压氩气或氮气吹出,雾化成细小的粉末。每一粒粉末相当于一个细小的钢锭,在高速冷却下获得细小而均匀的结晶组织。再将该粉末用冷等静压或热等静压方法制成刀坯或钢锭。粉末冶金高速钢可以锻造、轧制和热处理。

用粉末冶金方法制成的高速钢,碳化物颗粒细小且

分布均匀,如图 2 所示。这种高速钢热处理变形小,韧性较高,可磨削性也好。含钒 5% 的粉末冶金高速钢,其可磨削性相当于含钒 2% 的一般高速钢。在熔炼过程中还可添加其它必要的合金元素,以进一步提高粉末冶金高速钢的性能。

许多研究资料表明,用粉末冶金高速钢制造的刀具,在切削各种难加工材料时,其切削性能明显优于普通熔炼高速钢,刀具耐用度可提高 1~2 倍。但在切削一般较易切削的低碳、中碳结构钢时,其切削性能的优越性并不显著^[6]。

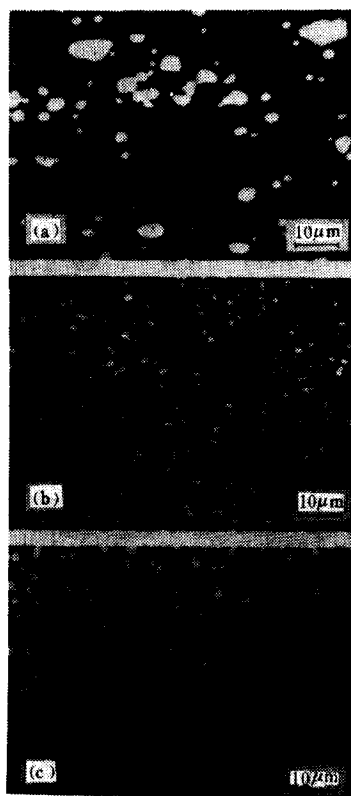


图 2 AISI M42 高速钢淬火回火后的碳化物分布图^[1]

- (a) 用熔铸、锻造方法制造,碳化物颗粒粗大且分布不均匀;
- (b) 用粉末冶金方法制造,碳化物颗粒细且匀;
- (c) 用粉末冶金方法制造的无钴高速钢,碳化物颗粒细且匀,并且更密集

目前中国粉末冶金高速钢尚处于研究和试用阶段,因工艺复杂、成本较高,故暂时未得到广泛应用。

2.4. 高速钢刀具的表面镀层

在高速钢刀具的表面上,采用离子镀、溅射或活性

反应镀等物理气相沉积方法(简称PVD法),镀上一层厚度 $2\sim 5\mu\text{m}$ 的TiN薄膜,能显著提高高速钢刀具的切削性能。在工业发达国家,TiN镀层高速钢刀具的覆盖率已达高速钢刀具总产量的30~50%。中国自1980年以后,也有较快的发展。

TiN镀层的优点主要有以下几个方面。

(1) TiN的热膨胀系数与高速钢很接近(TiN为 $9.35\times 10^{-6}/\text{C}$,高速钢为 $11.0\times 10^{-6}/\text{C}$),当产生切削热和温度急剧变化时,TiN膜与高速钢基体能保持较强的结合力,甚至能承受某种程度的弹性变形。

(2) TiN膜的显微硬度可达HV2000~2400,是淬火回火高速钢基体硬度(HV850)的2~2.5倍,可大大提高刀具的耐磨性。

(3) TiN膜与常用被加工材料(如钢、高温合金等)的摩擦系数低,并具有良好的热稳定性、化学稳定性和抗腐蚀性,从而减小了切削力、切削热和粘结磨损,提高了刀具的耐用度。

(4) 镀层工艺的重复性好,质量稳定。刀具镀层后色泽金黄,不仅美观,而且易于宏观检查和控制涂层的质量。

一般地说,TiN镀层高速钢刀具的耐用度可达到无镀层时的2~5倍^[7,9],连续切削刀具的耐用度提高幅度要大于断续切削刀具。镀镀层刀具具有一个前刀面或后刀面重磨以后,刀具耐用度仍可达无镀层刀具的1.5~3倍。用镀层高速钢刀具还可以加工硬度较高(HRC>40)和韧性较大的材料(如高温合金),这是普通高速钢刀具难以胜任的。

由于镀层过程中高速钢刀具基体的温度都处于 500C 以下,低于回火温度,所以不存在高速钢刀具受热相变及软化等问题。在高速钢精密齿轮滚刀上镀TiN层,也未发现刀具精度的明显下降现象。

用PVD法镀TiN薄膜层提高高速钢刀具切削性能的效果远远超过了以往所采用过的软氮化、辉光离子氮化以及其它表面处理法,已引起世界各国的普遍重视。

3. 硬质合金

硬质合金是由高硬度、难熔的金属碳化物和金属粘结剂用粉末冶金工艺制成的工程材料。用作刀具的硬质合金,常用金属碳化物是WC、TiC,粘结剂以Co为主。

硬质合金中由于含有大量的高硬度、难熔的WC、TiC等金属碳化物,因此,与高速钢相比,它具有以下几方面的性能特征。

(1) 硬度高 高速钢的硬度一般为HRC62~68,而硬质合金的硬度可高达HRA89~92(HRC74~80)。

(2) 耐热性好 高速钢刀具的耐热性一般为 $540\sim 600\text{C}$,而硬质合金刀具在 $900\sim 1000\text{C}$ 时仍能保持其切削性能。

(3) 弹性模量大 高速钢的弹性模量为 $20.60\times 10^4\text{MPa}$,而硬质合金的弹性模量可达 $40.22\sim 67.69\times 10^4\text{MPa}$ 。用硬质合金制作小刀杆、小磨头将远远超过钢制的刀杆和磨杆的刚性。

(4) 强度低、冲击韧性差 硬质合金的抗弯强度和冲击韧性只及高速钢的1/3和1/10。

(5) 制造工艺受限制 烧结以后只能磨削。

硬质合金多数制成刀片的形式,用焊接方法或机械夹固方法,将刀片固定在钢制的刀杆上。小尺寸的硬质合金刀具也有作成整体式的,如整体硬质合金小模数($M=0.3\sim 1\text{mm}$)齿轮滚刀、小直径($D<7\text{mm}$)钻头等。

根据硬质合金的性能特征,硬质合金刀具的几何参数应与高速钢刀具具有较大的差别。刀具前角应减小,后角也应适当减小,前刀面上一般应磨出负倒棱以增强刀刃。硬质合金刀具允许采用3~5倍于高速钢刀具的切削速度。切削中碳钢的平均切削速度可达 $100\sim 150\text{m}/\text{min}$,切削高温合金的平均切削速度可达 $25\sim 50\text{m}/\text{min}$,而切削铝合金时切削速度可高于 $300\text{m}/\text{min}$ 。当切削速度过低时(例如 $v<30\text{m}/\text{min}$),切屑易与刀面发生粘结,导致微崩刃,在经济上也并不合算。

硬质合金的牌号必须根据被加工工件材料、加工形式(粗、精加工,连续、断续切削等)及加工要求来选择。牌号选用不当将达不到高的切削效率和保证加工质量的效果。

3.1. 常用硬质合金的种类和选用

常用的硬质合金可分为钨钴类、钨钛钴类和通用型三大类。其牌号、化学成分、物理机械性能见表7^[3,9,13],应用范围见表8^[3,9]。

硬质合金的性能,主要取决于金属碳化物的种类、数量、粒度和粘结剂所占的比例。粘结剂所占的比例多,则硬质合金的抗弯强度大、冲击韧性高,但硬度低、耐磨性差。反之,若粘结剂所占的比例少,则抗弯强度和冲击韧性低,但硬度高、耐磨性好。碳化物颗粒尺寸为 $1.5\sim 3\mu\text{m}$ 时,称为中等粒度硬质合金。一般在硬质合金牌号中未注明粒度时,即为中等粒度。碳化物颗粒尺寸为 $3\sim 5\mu\text{m}$ 时,称为粗粒度硬质合金,代号为C(如YG8C)。粗粒度硬质合金的粘结层金属较厚,使合金的强度增高,而硬度则有所降低,适用于粗加工。碳化物颗粒尺寸为 $0.5\sim 1.5\mu\text{m}$ 时,称为细粒度硬质合金,代号为X。这类合金颗粒之间的粘结层金属较薄,碳化物颗粒的总表面积较大,从而使合金硬度提高,而强度则有所降低,适用于精加工和半精加工(例如YG6X)。进一步细化粒度至平均尺寸为 $0.5\mu\text{m}$ 以下,并增大其粘结剂所占的比例,可制成超细颗粒硬质合金。超细颗粒合金既具有较高的强度,又可保持较高的硬度,因此可用于高硬度和难加工材料的粗、精加工(如YS2T, YM051等)。

表 7 常用硬质合金的化学成分和物理机械性能

类别	中国	合金牌号	化学成分, %				物理机械性能							
			WC	TiC	TaC (NbC)	Co	硬度 相当于 HRC	抗弯强度 σ_{bb} MPa	冲击韧性 a_k MJ/m ²	弹性模量 $E \times 10^4$ MPa	抗压强度 ^① σ_{bc} MPa	线膨胀系数 α $\times 10^{-6}(1/^\circ\text{C})$	导热系数 k w/(m·°C)	密度 ρ g/cm ³
钨钴类 WC + Co	YG3	K01	97			3	78	1080		66.70~67.69		87.9	14.9~15.3	
	YG3X	K01	97			3	80	981			4.1		15.0~15.3	
	YG6	K20	94			6	75	1370	0.0255	61.80~62.78	4.5	79.6	14.6~15.0	
	YG6X	K10	94			6	78	1320			4.4	79.6	14.6~15.0	
	YG6A	K10	91~93		1~3	6	80	1320				75.4	14.4~15.0	
	YG8	K30	92			8	74	1470	0.0255	58.86~59.84	4.5		14.4~14.8	
	YT5	P30	85	5		10	75	1280		39.24~40.22	6.06	62.8	12.5~13.2	
	YT14	P20	78	14		8	77	1180	0.00687	57.87~58.86	6.21	33.5	11.2~12.7	
钨钛钴类 WC + TiC + Co	YT15	P10	79	15		6	78	1130		51.01~51.99	6.51	33.5	11.0~11.7	
	YT30	P01	66	30		4	80.5	883	0.00294	39.24~40.22	7.00	20.9	9.3~9.7	
	YW1	M10	84	6	4	6	80	1230					13.0~13.5	
	YW2	M20	82	6	4	8	78	1470					12.7~13.3	

① 抗压强度值引自国际标准牌号提供的数据^[9],供参考。

表 8 各种常用牌号硬质合金的应用范围

牌 号	应 用 范 围	性 能 对 比	
YG3X	铸铁、有色金属及其合金、淬火钢的精加工，不能承受冲击载荷		
YG3	铸铁、有色金属及其合金、淬火钢的精加工，不能承受冲击载荷		
YG6A	冷硬铸铁、球墨铸铁、合金铸铁、高锰钢、淬火钢、高温合金、钛合金的半精加工、精加工		
YG6X	冷硬铸铁、球墨铸铁、合金铸铁、高锰钢、淬火钢、高温合金、钛合金的半精加工、精加工		
YG6	铸铁、有色金属及其合金的半精加工和粗加工，断续切削限于半精加工		
YG8	铸铁、有色金属及其合金、非金属材料的粗加工，可用于断续切削		
YT30	碳素钢、合金钢、淬火钢的精加工		
YT15	碳素钢、合金钢连续切削粗加工、断续切削半精加工及精加工		
YT14	碳素钢、合金钢连续切削加工、断续切削半精加工及精加工		
YT5	碳素钢、合金钢的粗加工，可用于断续切削		
YW1	不含钛的耐热钢、高锰钢、不锈钢，结构钢、铸铁、有色金属的半精加工、精加工		
YW2	同 YW1，但韧性更高，可部分用于粗加工和制作螺纹刀具		

3.1.1. 钨钴类硬质合金

钨钴类硬质合金(表7中以YG作标号)的硬质相材料是碳化钨,粘结剂是钴,其牌号代号是YG,相当于ISO分类的K类。这类硬质合金的抗弯强度和冲击韧性均高于钨钛钴类硬质合金,适用于加工铸铁等脆性材料。因为切削脆性材料时,切屑一般均崩断成碎片,切削应力集中在刀刃附近,要求刀刃有较高的强度和韧性以防止崩刃。但是,钨钴类硬质合金的硬质相WC(HV2080)在切削过程中氧化形成疏松的 WO_2 或 WO_3 ,耐磨性较差,与钢屑易产生粘结,抗月牙洼磨损能力很低,所以不适用于加工普通钢材。

此外,由于钨钴类硬质合金的导热系数较高(比钨钛钴类可高出一倍左右),使切削热易于从刀片传出去,有利于降低切削温度。所以这类硬质合金也适用于加工不锈钢、高温合金等导热系数低的工件材料,尤其适用于加工含钛的难加工材料。

钨钴类硬质合金的牌号主要有YG3, YG3X, YG6, YG6X, YG8等。在YG6X的基础上,添加1~3%的TaC(NbC)制成的YG6A,耐热性和耐磨性均优于YG6X。

3.1.2. 钨钛钴类硬质合金

表7中所列的YT5, YT14, YT15, YT30是4种常用的钨钛钴类硬质合金,相当于ISO分类的P类。它们的硬质相是TiC和WC,粘结剂则仍为Co。与钨钴类硬质合金相比,这类合金的硬度高,抗弯强度和冲击韧性低,导热系数则大幅度下降。钨钛钴类硬质合金的耐热性、抗月牙洼磨损能力和耐磨性均较高,可适用于加工钢材。但由于强度和韧性较低,所以不适用于加工铸铁等脆性材料。

此外,由于钨钛钴类硬质合金中含有大量的TiC,在高温下易与工件材料中的Ti发生亲和作用,加剧刀具的磨损,所以不宜用于加工钛合金和含钛的难加工材料。又由于YT类硬质合金本身的导热系数低,切削热不易从刀片传出,所以也不宜用于加工导热系数低的不锈钢和高温合金等材料。

3.1.3. 通用型硬质合金

在TiC含量小于10%的钨钛钴类合金中,添加少量的TaC(或NbC),可抑制WC晶粒长大,提高硬质合金

的高温硬度、韧性和抗氧化及抗粘结的能力。这类硬质合金的综合性能好,既可用于加工铸铁、有色金属,又可用于加工碳素钢、合金钢和高强度钢,也适用于加工不含钛的耐热钢、不锈钢等难加工材料,所以称之为通用型硬质合金。主要牌号有表7所列的YW1, YW2等,相当于ISO分类的M类。

3.2. 新型硬质合金

3.2.1. 超细颗粒硬质合金

超细颗粒硬质合金WC颗粒的平均尺寸应小于 $0.5\mu\text{m}$ 。在细化晶粒的同时,增加粘结剂的含量,使粘结层保持一定的厚度,就可以既提高硬质合金硬度,又提高其抗弯强度。表9是几种中国超细颗粒硬质合金的牌号、化学成分、机械性能和应用范围^[9]。YS2T (YG10H)硬质合金适用于在低速($v < 50\text{m/min}$)下粗车、半精车、铣削、镗削高温合金、钛合金、耐热不锈钢、冷硬铸铁等材料,制作切断刀、镗刀、钻头和丝锥效果尤佳。也可用于精密车削。YM051, YM052, YM053 (YH1, YH2, YH3)硬质合金的通用性较强,使用范围广。既可加工钢(包括高强度钢、淬火热钢、不锈钢等),又可加工铸铁(包括合金耐磨铸铁、冷硬铸铁等),还能加工高温

合金(包括铁基、镍基、钴基合金等)。由于硬质合金强度高,耐磨性好,可用于断续切削和粗加工及半精加工,并可适应一般硬质合金无法胜任的加工条件(如粗车高温合金喷镀层、断续切削高硬度工件材料等)。这类硬质合金的不足之处是可焊接性较差,应尽量采用机械夹固方式来固定刀片。YD05 (YC09)硬质合金的硬度和耐磨性均较高,有良好的热稳定性及导热性,抗塑性变形能力强,适用于镍基、钴基、铁基及含WC自熔性喷镀材料的车、铣、刨等加工^[9]。

3.2.2. 碳化钛基硬质合金

以TiC为主体, Ni, Mo为结合剂,并加入少量其它碳化物(如WC)的合金,称为TiC基硬质合金。与WC基合金相比较, TiC基合金的硬度较高,并具有较高的高温硬度、高温强度及耐磨性,与金属的摩擦系数较小,切削时抗粘结能力和抗扩散性能均较高。允许采用比WC基合金更高的切削速度,耐用度可比WC基的高1~2倍。但TiC基合金的冲击韧性较差,易崩刃和产生热裂纹。适用于碳素钢、合金钢、淬火热钢和调质后钢材的连续切削精加工,但不适用于加工钛合金和含钛的高温合金以及铸铁等材料。几种中国碳化钛基硬质合金的牌号、化学成分、机械性能和应用范围见表9^[9]。

表9 几种中国产超细颗粒和碳化钛基硬质合金的牌号、化学成分、机械性能和应用范围

牌 号		化 学 成 分, %						机 械 性 能				应 用 范 围
中 国	相当于 ISO	WC	TiC	TaC (NbC)	Co	Ni	Mo	硬 度		抗弯强度 σ_{bb} MPa	密度 ρ g/cm ³	
								HRA	相当于 HRC			
A. 超细颗粒硬质合金												
YS2T (YG10H)	K30	89.5		Cr ₃ C ₂ 0.5	10			91.5	79	2158	14.4~14.6	高温合金、钛合金、不锈钢、冷硬铸铁的粗加工和精加工
YM051(YH1) YM052(YH2) YM053(YH3)	K10 K05, K10 K05, K10	89	1~4	1~4	6~7			92.5	80.5	1569	13.9~14.5	高强度钢、高硬耐磨铸铁、高温合金的粗、精加工
YD05 (YC09)	K01							93.5	83	1275	14.8~15	镍基、钴基、铁基及含WC自熔性喷涂材料的粗、精加工
B. 碳化钛基硬质合金												
YN10	P01	15	62	1		12	10	92.5	80.5	1080	6.3	合金钢、淬火热钢、调质钢的连续切削精加工,不宜用于加工含钛材料及铸铁
YN05	P01	8	71			7	14	93	82	883	5.9	同YN10,耐用度比YN10高

磨损的能力均较高。

(4) 与金属的摩擦系数较低 切屑不易粘结在刀面上,也不易形成积屑瘤,能获得光洁的已加工表面。

(5) 抗弯强度和冲击韧性尚较低,脆性较大 陶瓷刀具目前只适用于高速连续切削的精加工和半精加工。使用时要尽量避免冲击和振动,机床和刀杆的刚性要好。陶瓷的导热系数低,氧化铝陶瓷的抗热冲击能力也较差,使用冷却液进行切削时易崩刃。

4.2. 陶瓷刀具的应用

只要应用得当,陶瓷刀具是能够提供显著的生产效率和经济效益的。陶瓷刀具应采用金刚石砂轮磨刃,前角取 $-5\sim-10^\circ$,后角取 $8\sim10^\circ$ (端铣刀后角应减小至 $5\sim6^\circ$),刀尖圆弧半径取 $0.5\sim1\text{mm}$,刀刃上应作出 $-15\sim-20^\circ$,宽度 $0.20\sim0.35\text{mm}$ 的倒棱,一般适用于连续切削。断续切削时,刀具几何参数应设计成使冲击力偏离刃口和刀尖。

Al_2O_3 陶瓷不宜用于切削含铝、钛的工件材料,因为在高温下刀具材料易与该类工件材料发生亲和反应,使磨损加剧,甚至产生崩刃。

陶瓷刀具由于抗热震性差,切削过程中最好不用冷却液冷却,特殊情况下必须采用冷却液时则供应要充沛,并且不能中断。

陶瓷刀具目前多用于高硬铸铁(灰铸铁、合金铸铁、球墨铸铁、冷硬铸铁等)和淬硬钢(淬火钢、调质钢等)的连续切削半精加工和精加工。 Si_3N_4 陶瓷也用于加工玻璃纤维层压材料(玻璃钢)和碳纤维复合材料。随着陶瓷性能的改善,现在已开始用于制作端面铣刀。

在 Al_2O_3 基体中添加 ZrO_2 制成 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ 陶瓷;在 Al_2O_3 基体中添加 TiB_2 制成 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiB}_2$ 陶瓷;在 Si_3N_4 基体中添加 TiC , Y_2O_3 和 Al_2O_3 制成复合 Si_3N_4 陶瓷;以及用 Si , Al , O , N 作为主要成分的 SiAlON 复合陶瓷,都有提高陶瓷抗弯强度和断裂韧性的作用。各国都在致力于新型高性能陶瓷的研制。随着陶瓷性能的不断提高,使用可靠性的不断增大,它的使用面将会日益拓宽。

5. 金刚石

金刚石是目前最硬的材料,其硬度可达 $\text{HV}10000$ 。无论天然金刚石或人造金刚石都可用作刀具材料和磨料。金刚石刀具的特性可归结为以下几个方面:

(1) 天然金刚石单晶可刃磨出非常锐利的刃口,而且其保持耐久性甚好,特别适宜于有色金属的精密切削。

(2) 除铁族金属以外,金刚石刀具同大多数金属的摩擦系数均较硬质合金刀具低;抗粘结性能也好,不易产生积屑瘤。

(3) 金刚石的导热系数大,是高速钢和硬质合金的 $5\sim7$ 倍;而热膨胀系数却较小。切削热容易传出,刀具

的热变形小。

(4) 耐磨性高。切削高 Si (含 $\text{Si} 11\sim13\%$)铝合金时,金刚石刀具的耐用度可达硬质合金刀具的几十倍。

(5) 耐热性低,当温度超过 700°C 以后,金刚石会碳化而丧失切削能力。

(6) 抗弯强度低(约为 294MPa),脆性大,对冲击和振动很敏感。天然金刚石刀具只适用于极小的切深和极小的进给量下的高速精密加工,对机床的精度和动态特性也要求较高。

(7) 金刚石与铁族元素有很强的化学亲和力,使刀具急剧磨损。因此,金刚石刀具不适用于加工碳素钢、铸铁、合金钢等黑色金属,以及含 Ti , Ni , Co , Zr 等元素的金属。

天然金刚石刀具主要用于有色金属(如铜、铝及其合金)的精密加工。加工表面的粗糙度可达 $R_a=0.008\sim0.012\mu\text{m}$,达到镜面的要求。天然金刚石的价格很高,刃磨费用也高。但由于它能加工出超级精度的零件,并且刀具耐用度和生产效率都较高,所以刀具的费用是可以得到补偿的。

人造金刚石是用碳粉作原料在 $5\sim7$ 万大气压($5\sim7\text{GPa}$)和 2000°C 左右的高温下转化而成的。将人造金刚石颗粒在同样的高温高压下经再次聚合,就制成了人造聚晶金刚石刀片。聚晶刀片中,组织结构是金刚石与金刚石的结合。为了提高聚晶刀片的强度和抗冲击能力,现在大多制成硬质合金——人造金刚石聚晶复合刀片。刀片的底部是硬质合金,作为支撑,顶部覆盖一层 $0.5\sim1\text{mm}$ 厚的人造金刚石聚晶(图5)。这种复合刀片是在金刚石聚晶过程中一次压成的,硬质合金和人造金刚石聚晶层结合得很紧密。

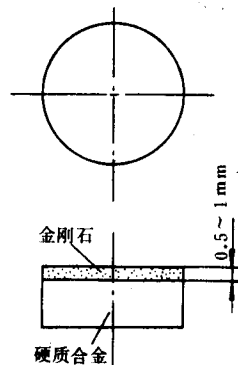


图5 硬质合金——人造金刚石复合刀片

人造聚晶金刚石刀具的硬度比天然金刚石低($\text{HV}=5000$),但抗弯强度则大有提高(可达 $\sigma_{bb}=490\sim1080\text{MPa}$)^[1],其产品性能也易于控制。人造聚晶金刚石

镀层刀片刃口的锋利程度不及无镀层刀片，因此不适用于进给量很小的场合；抗弯强度也有所下降，在低速切削时易产生微剥落磨损，所以不宜在低速下使用。

3.4. 钢结硬质合金

钢结硬质合金是由一种或多种金属碳化物材料（如TiC, WC等）作硬质相，用高速钢材料作粘结相，通过粉末冶金工艺制成的新型硬质合金。它的特点是可以被锻造、切削加工和热处理。钢结硬质合金的耐磨性和高温硬度低于一般硬质合金而高于普通高速钢，而韧性和工艺性则高于硬质合金而低于高速钢。因此，它填补了一般硬质合金和高速钢性能之间的空白。

表11、表12为中国T-1型钢结硬质合金的化学成分和淬火回火后的机械性能^[3]。其常温硬度为HRC70，相当于W6Mo5Cr4V2Al和M42高速钢的水平；600℃时的硬度达HV576，比普通高速钢高50~70HV；抗弯强度 $\sigma_{bb} \geq 1432\text{MPa}$ ，相当于YG6硬质合金；冲击韧性 $a_k = 0.0294 \sim 0.0490\text{MJ/m}^2$ ，高于YG6硬质合金而低于高速钢。钢结硬质合金适用于制造结构复杂而耐磨性、强度及耐用度要求较高的刀具，如拉刀、铣刀、钻头、齿轮滚刀等。加工不锈钢、高温合金、有色金属及其合金等效果均甚好。例如，用T-1钢结硬质合金制作的 $\phi 12.5\text{mm}$ 麻花钻头，钻削铁基高温合金GH135时，刀具耐用度比M42高速钢钻头稳定性提高1~1.5倍。这时如用硬质合金钻头则易崩刃且修磨困难。钢结硬质合金刀具宜用于低速切削，冷却液要充足。

表11 T-1型钢结硬质合金的化学成分^[3]

合金元素	粘 结 相						外加 C
	硬质相 TiC	W	Mo	Cr	V	Fe	
含量, %	30	4.2	3.5	2.6	1.4	58.1	0.2

表12 T-1型钢结硬质合金的常温和高温机械性能^[3]

常 温 机 械 性 能						
硬度 HRC			抗弯强度 σ_{bb} MPa	抗压强度 σ_{bc} MPa	冲击值 a_k MJ/m ²	
退 火	淬 火	高温回火				
46~48	72	70	>1432	>2943	0.0294~ 0.0490	
高 温 硬 度						
温度, °C	300	400	500	600	700	800
硬度 HV	940	780	725	576	355	216

的研究取得了较大的进展，使陶瓷刀具的应用又获得了转机。世界上在冷硬铸铁、合金耐磨铸铁、高强度钢、淬火钢以及高温合金的半精加工和精加工中的应用方面，已日益拓宽，切削效率和经济效益都有显著提高。中国的应用也在逐渐扩大。

4.1. 陶瓷的化学成分和物理、机械性能

陶瓷的基体材料，目前常用的有Al₂O₃和Si₃N₄两种。一般采用MgO作附加剂。但冷压烧结成的陶瓷，抗弯强度较低，只能达到392~491MPa。采用细晶粒（1~3 μm ）和热压成型甚至热等静压成型的热压陶瓷，抗弯强度已可达到589~785MPa。在Al₂O₃或Si₃N₄基体上添加TiC及Ni, Mo, Co等金属，制成复合陶瓷或金属陶瓷，不但可提高陶瓷的硬度和耐磨性，也可有效地提高其抗弯强度（可达686~981MPa）和冲击韧性。表13是中国几种陶瓷的化学成分和物理机械性能^[10]。表14是陶瓷与硬质合金的性能对比数据。从表13、表14的数据可以看出，陶瓷有以下几方面的特性。

(1) 有很高的硬度和耐磨性 这包含两方面的概念：一方面是作为陶瓷基体材料的Al₂O₃和Si₃N₄的硬度比作为硬质合金基体材料的WC和TiC要高（见表15）；另一方面是陶瓷本身的硬度也可高达HRA92~94，比硬质合金要高出2~4HRA。所以，陶瓷刀具的耐磨性比一般硬质合金刀具要高很多。用Si₃N₄陶瓷刀具切削冷硬铸铁和合金耐磨铸铁时，同YG8硬质合金刀具相比，切削速度可提高到原来的4~6倍，而刀具耐用度（以切削路程计）还能提高到原来的5~7倍^[12]。

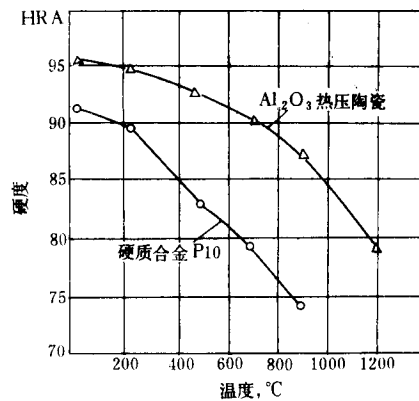


图4 陶瓷和硬质合金的高温硬度对比^[10]

4. 陶 瓷

陶瓷作为刀具材料已有三十多年的历史，但由于陶瓷的抗弯强度和冲击韧性都较低，使之推广应用受到了很大的限制。近十多年来，在提高陶瓷强度和韧性方面

(2) 有很高的耐热性 陶瓷的熔点高达2000℃。高温下仍能保持较高的硬度，显著地优于硬质合金（图4）。在1000℃的高温下，抗弯强度的下降也并不明显。这就允许陶瓷刀具可在高的切削速度下进行切削。例如，加工铸铁时，粗车切削速度一般为150~300m/min，精车切