

切削原理与控制

第二章 刀具材料

王大中

上海工程技术大学

耐磨性

$$W_R = K_{Ic}^{0.5} E^{-0.8} H^{1.43}$$

H : 材料硬度 (GPa)

K_{Ic} : 断裂韧性 ($MPa \cdot m^{1/2}$)

E : 弹性模量 (GPa)

第一节 刀具材料应具备的性能

(1) 高的硬度和耐磨性

硬度是基本特性,

一般要求在HRC60以上。

(2) 足够的强度和韧性

抗冲击和振动。

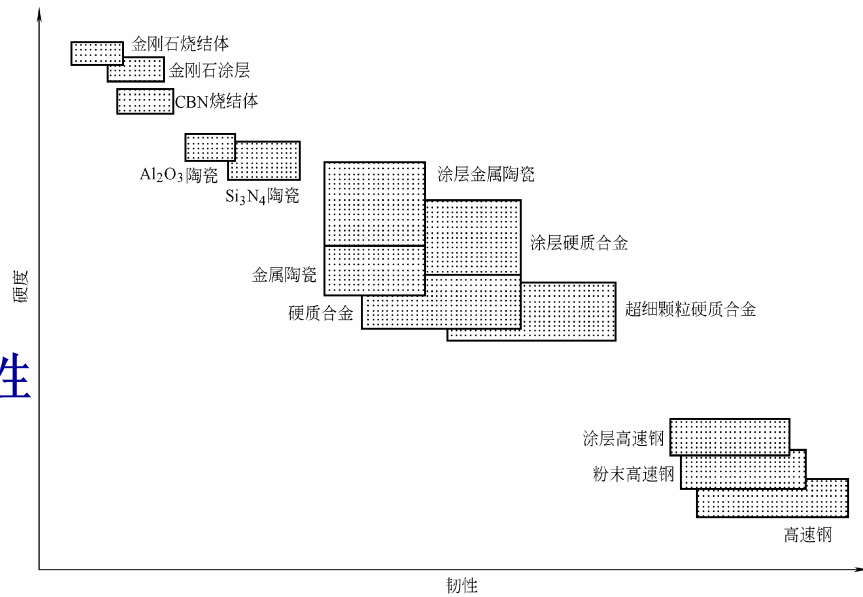
(3) 高的耐热性与化学稳定性

高温下保持硬度、耐磨性、强度和韧性。

高温下的抗氧化能力、抗粘结和抗扩散能力。

(4) 良好的热物理性能

有利于切削热传导, 降低切削区温度, 延长刀具寿命, 便于刀具的制造, 资源丰富, 价格低廉。



刀具材料应具备的性能

第一节 刀具材料应具备的性能

$$R = \frac{\lambda \sigma_b (1 - \mu)}{E \alpha}$$

(5) 良好的耐热冲击性能

受热冲击，刀具内部产生裂纹而导致断裂

耐热冲击系数

- λ : 导热系数
- σ_b : 抗拉强度
- E : 弹性模量
- μ : 泊松比
- α : 热膨胀系数

(6) 良好的工艺性能

锻造性能、热处理性能、高温塑性变形性能、磨削加工性能

(7) 经济性

刀具材料

工具钢

包括碳素工具钢、合金工具钢、高速钢

硬质合金

有钨钴类硬质合金、钨钛钴类硬质合金和钨钛钽（铌）类硬质合金。

陶瓷

超硬刀具材料

材料性能表

材料种类	相对密度或 密度/(g/cm ³)	硬度/HRC (HRA) [HV]	抗弯强度 σ_{bb} /GPa	冲击韧度 α_K / (MJ/m ²)	热导率 λ / [W/(m·K)]	耐热性/°C	切削速度 大致比值	
工具 钢	碳素工具钢	7.6~7.8	60~65 (81.2~84)	2.16	—	≈41.87	200~250	0.32~0.4
	合金工具钢	7.7~7.9	60~65 (81.2~84)	2.35	—	≈41.87	300~400	0.48~0.6
	高速钢	8.0~8.8	63~70 (83~86.6)	1.96~4.41	0.098~ 0.588	16.75~25.1	600~700	1~1.2
硬 质 合 金	钨钴类	14.3~15.3	(89~91.5)	1.08~2.16	0.019~ 0.059	75.4~87.9	800	3.2~4.8
	钨钛钴类	9.35~13.2	(89~92.5)	0.882~1.37	0.0029~ 0.0068	20.9~62.8	900	4~4.8
	含有碳化 钨、钨类	—	(≈92)	≈1.47	—	—	1000~1100	6~10
	碳化钛基类	5.56~6.3	(92~93.3)	0.78~1.08	—	—	1100	6~10
陶 瓷	氧化铝陶瓷	3.6~4.7	(91~95)	0.44~0.686	0.0049~ 0.0117	4.19~20.93	1200	8~12
	氧化铝碳化 物混合陶瓷			0.71~0.88			1100	6~10
	氮化硅陶瓷	3.26	[5000]	0.735~0.83	—	37.68	1300	—
超 硬 材 料	立方氮化硼	3.44~3.49	[800~9000]	≈0.294	—	75.55	1400~1500	—
	人造金刚石	3.47~3.56	[10000]	0.21~8	—	146.54	700~800	≈25

第二节 高速钢 加入了较多的钨、钼、铬、钒等合金元素

一、高速钢刀具材料的性能

制造孔加工刀具、铣刀、螺纹刀具、拉刀、切齿刀具等一些刃形复杂刀具时，高速钢占据着重要地位。推广使用粉末冶金高速钢（PMHSS）和涂层高速钢。

二、高速钢刀具材料的种类和特点

1. 通用型高速钢

(1) 钨钢 W18Cr4V，钨钢已很少采用，钨钼系高速钢取代。

(2) 钨钼钢 钨用钼代W6Mo5Cr4V2简称M2，W9Mo3Cr4V简称W9

2. 粉末冶金高速钢

1) 强度和韧性是熔炼钢的2倍和2.5~3倍。

2) 硬度能提高1~1.5HRC，碳化物颗粒不易剥落，耐磨性也提高。

3) 可磨削性较好。

4) 各向同性，PMHSS适合制造钻头、拉刀、螺纹刀具、滚刀、插齿刀等复杂刀具。在粉末冶金高速钢表面进行PVD涂层TiC、TiCN、TiAlN后，切削速度可进一步提高。

第三节 硬质合金 硬质合金

硬质合金是由硬度和熔点很高的碳化物（称硬质相）和金属（称粘结相）通过粉末冶金工艺制成的。

硬质合金按晶粒大小可分为：

普通硬质合金、细晶粒硬质合金、超细晶粒硬质合金

按主要化学成分可分为：

碳化钨基硬质合金和碳（氮）化钛 [TiC (N)] 基硬质合金。

碳化钨基硬质合金	{	钨钴类 (YG)
		钨钴钛类 (YT)
		添加稀有碳化物类 (YW)

一、碳化钨基硬质合金

1. 钨钴类（YG）硬质合金

我国生产的常用牌号有YG3、YG3X、YG6、YG6X和YG8等。YG类合金主要用于加工铸铁、有色金属和非金属材料。

2. 钨钴钛类（YT）硬质合金

除WC外，另含有5%~30%（质量分数）的TiC。常用牌号有YT5、YT14、YT15及YT30，YT类合金的硬度提高了，但抗弯强度特别是冲击韧度显著降低。较高的耐热性时，应选用TiC含量较高的牌号。受冲击和振动，则选用TiC含量低的牌号。

3. 添加稀有碳化物类（YW）硬质合金

W1和YW2（国际上为M类）。YW类合金兼具YG、YT类合金的性能，用于加工钢料，又可用于加工铸铁和有色金属。用于各种难加工材料的粗加工和断续切削。



第三节 硬质合金 硬质合金

二、碳（氮）化钛基硬质合金

金属陶瓷，高速切削加工刀具材料，比普通硬质合金提高20%~50%。在钢的高速切削，特别是对表面粗糙度值要求较低的粗加工和半精加工中，TiC（N）基合金是最好的。

三、超细晶粒硬质合金

普通硬质合金晶粒为 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ ，一般细晶粒硬质合金的晶粒度为 $1.5\ \mu\text{m}$ 左右，微细晶粒合金为 $0.5\sim 1\ \mu\text{m}$ ，而细晶粒硬质合金WC的晶粒度在 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下。

第四节 涂层刀具

- (1) TiC涂层
- (2) TiN涂层

在高温时能产生氧化膜，与铁基材料摩擦系数较小，抗粘结性能好，并能有效降低切削温度。

在韧性较好的刀具基体上，涂覆一层耐磨性好的难熔金属化合物，既能提高刀具材料的耐磨性，又不降低其韧性。常用的涂层材料有TiC、TiN、Al₂O₃及其复合材料等，涂层厚度随刀具材料不同而异。

硬度高、耐磨性好、抗氧化性好，切削时能产生氧化钛膜，减小摩擦及刀具磨损。

第四节 涂层刀具

- (3) TiC—TiN复合涂层
- (4) TiC-Al₂O₃复合涂层

第一层涂TiC，与刀具基体粘牢不易脱落。第二层涂Al₂O₃可使刀具表面具有良好的化学稳定性和抗氧化性能。

第一层涂TiC，与刀具基体粘牢不易脱落。第二层涂TiN，减少表面层与工件间的摩擦。

目前单涂层刀片已很少应用，大多采用TiC-TiN复合涂层或TiC-Al₂O₃-TiN三复合涂层。

陶瓷刀具

陶瓷刀具广泛用于高速切削、干切削、硬切削以及难加工材料的切削加工。“以车代磨”；其中以氧化铝（ Al_2O_3 ）或以氮化硅（ Si_3N_4 ）应用最多。在上述基体中，相应添加TiC、SiC、TiB₂等作粘结剂烧结即成为陶瓷刀具坯料。

一、陶瓷刀具的特性

陶瓷刀具的特性

(1) 硬度高、耐磨性能好

(2) 耐高温、耐热性好

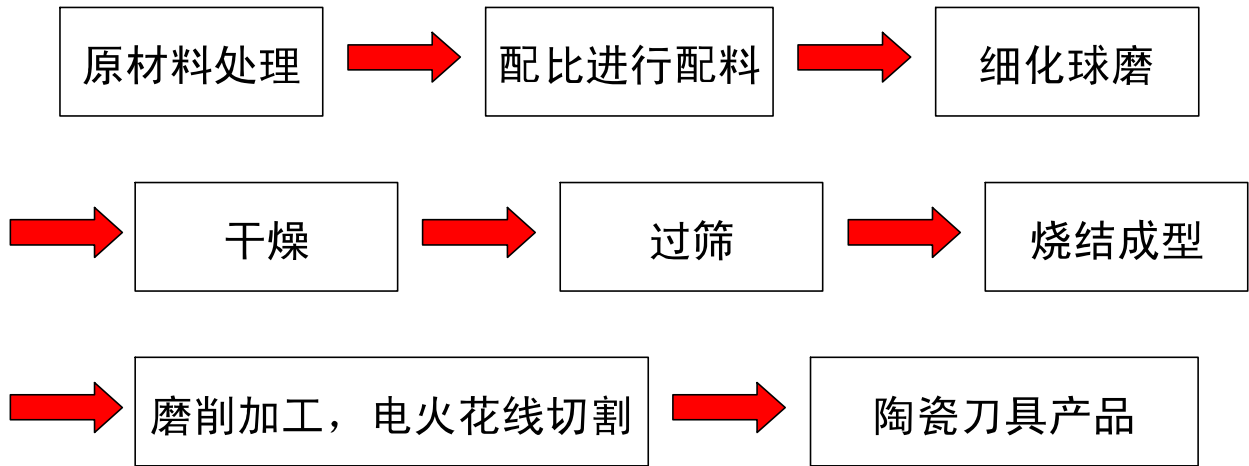
(3) 化学稳定性好

(4) 摩擦系数低

(5) 原料丰富

陶瓷刀具

二、陶瓷刀具的制备



三、陶瓷刀具的种类

1. 氧化铝—碳化物系陶瓷
2. 氮化硅基陶瓷刀具



超硬刀具材料

一、金刚石

1. 金刚石刀具材料性能特点

(1) 极高的硬度和耐磨性

(2) 各向异性

(3) 具有很低的摩擦系数

(4) 切削刃非常锋利

(5) 具有很高的导热性能

2. 金刚石刀具材料的种类

(1) 天然单晶金刚石刀具

超精密镜面切削切削刀具必须是大颗粒人工合成大颗粒没有大量进入应用领域。

超硬刀具材料

(2) 人造聚晶金刚石

简称PCD，在高温高压下由石墨转化而成。应用广泛。PCD只能用于有色金属和非金属的精切，很难达到超精密精面切削。

二、立方氮化硼

简称CBN，是由六方氮化硼（白石墨）在高温高压下转化而成的。

1. 立方氮化硼刀具材料的种类

CBN单晶主要用于制作磨料和磨具。

PCBN高温高压下将微细的CBN材料通过结合相烧结在一起的多晶材料，硬度仅次于金刚石用于制作刀具和其他工具。

2. 立方氮化硼的主要性能特点

(1) 高的硬度材料和耐磨性

(2) 具有很高的热稳定性



超硬刀具材料

(3) 优良的化学稳定性

(4) 具有较好的热导性

(5) 具有较低的摩擦系数

3. 立方氮化硼刀具适合加工的工件材料



小结

加工一般材料大量使用的仍是普通高速钢及硬质合金，只有在加工难加工材料时，才考虑选用新牌号合金或高性能高速钢，在加工高硬度材料或精密加工时，才考虑选用超硬材料。



复习思考题

1. 对刀具材料应有哪些基本要求？它们对刀具的切削性能有何影响？
2. 高速钢刀具材料有哪些性能特点？适用于什么加工范围？
3. 常用硬质合金刀具材料有哪些种类？各有何性能特点？适用于什么加工范围？
4. 陶瓷及超硬刀具材料各有什么优缺点？其主要用途是什么？
5. 粗车下列工件材料外圆时，可选择什么刀具材料？
(1) 45钢 (2) 灰铸铁 (3) 黄铜 (4) 铸铝
(5) 不锈钢 (6) 钛合金 (7) 高锰钢 (8) 高温合金
6. 简单分析刀具材料的发展方向。