

第 47 篇 金属切削刀具

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会



机 械 工 业 出 版 社

TH-62
3
3:47

机械 工程 手册

第47篇 金属切削刀具

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会

BZ 6/10



机械工业出版社



A756039

协调、审查、定稿各个环节中，广泛征求意见，发挥了广大群众的智慧和力量。

(五) 为了使手册早日与读者见面，广泛征求意见，先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验，试用本在内容和形式方面，一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证，提出批评和建议，以便今后出版合订本时加以修订。

(六) 本篇是《机械工程手册》第47篇，由第一机械工业部成都工具研究所主编，参加编写的有哈尔滨第一工具厂、第一汽车制造厂、沈阳重型机器制造厂、上海工具厂、西安交通大学、宁江机床厂、重庆工具厂等单位。许多有关单位对编审工作给予大力支持和帮助，在此一并致谢。

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会编辑组

编辑说明

(一) 我国自建国以来, 机械工业在毛主席的革命路线指引下, 贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针, 取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验, 同时采用国外先进技术, 加强机械工业科学技术的基础建设, 适应实现“四个现代化”的需要, 我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人, 工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用, 也可供教学及其他有关人员参考。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书, 着重介绍各专业的理论基础, 常用计算公式, 数据、资料, 关键问题以及发展趋向。在编写中, 力求做到立足全局, 勾划概貌, 反映共性, 突出重点。在内容和表达方式上, 力求做到深入浅出, 简明扼要, 直观易懂, 归类便查。读者在综合研究和处理技术问题时, 《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成, 构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分, 共七十九篇; 《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分, 共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的, 有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员, 更为广泛。许多地区的科技交流部门, 为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、

目 录

编辑说明

第1章 刀具材料

- 1 碳素工具钢和合金工具钢.....47-2
- 2 高速工具钢.....47-2
 - 2.1 通用型高速钢47-3
 - 2.2 高碳高速钢47-3
 - 2.3 高钒高速钢47-3
 - 2.4 超硬高速钢47-4
 - 2.5 钴高速钢47-4
 - 2.6 粉末高速钢47-4
 - 2.7 工厂高速钢刀具的投料要求47-5
- 3 硬质合金.....47-5
 - 3.1 涂层硬质合金刀片47-5
 - 3.2 亚微细颗粒硬质合金47-5
 - 3.3 碳化钛基硬质合金47-6
 - 3.4 其他新硬质合金47-6
- 4 陶瓷.....47-6
- 5 超硬刀具材料.....47-7

第2章 切 刀

- 1 切刀的用途和类型.....47-8
- 2 车刀.....47-8
 - 2.1 车刀的外形尺寸47-8
 - 2.2 车刀前面形状47-9
 - 2.3 车刀几何参数的选择47-9
 - 2.4 断屑和卷屑.....47-10
 - 2.5 硬质合金焊接车刀.....47-12
 - 2.6 机械夹固重磨车刀.....47-13
 - 2.7 镶可转位刀片的车刀.....47-14
- 3 成形车刀47-20
 - 3.1 成形车刀的类型.....47-20
 - 3.2 成形车刀的前角和后角.....47-21
 - 3.3 圆形成形车刀.....47-21
- 4 陶瓷、立方氮化硼和金刚石
车刀47-23
 - 4.1 陶瓷车刀.....47-23

- 4.2 立方氮化硼车刀.....47-23
- 4.3 金刚石车刀.....47-23
- 5 刨刀与插刀47-24
 - 5.1 刨刀的设计要点.....47-24
 - 5.2 插刀.....47-26

第3章 孔加工刀具

- 1 麻花钻47-26
 - 1.1 高速钢麻花钻.....47-26
 - 1.2 硬质合金麻花钻.....47-33
- 2 扩孔钻和铰钻47-35
 - 2.1 高速钢扩孔钻.....47-35
 - 2.2 硬质合金扩孔钻.....47-38
 - 2.3 铰钻.....47-40
- 3 铰刀47-40
 - 3.1 高速钢或合金工具钢铰刀.....47-40
 - 3.2 硬质合金铰刀.....47-50
- 4 中心孔刀具和扁钻47-53
 - 4.1 中心孔刀具.....47-53
 - 4.2 扁钻.....47-54
- 5 深孔钻47-55
 - 5.1 深孔钻的类型和使用范围.....47-55
 - 5.2 钻实体孔的深孔钻.....47-55
 - 5.3 深孔套料刀.....47-63
- 6 镗刀47-66
 - 6.1 镗刀的工作特点及其基本要求.....47-66
 - 6.2 镗刀的主要结构型式及其使用
特点.....47-66
 - 6.3 镗刀的调整.....47-71
 - 6.4 镗刀切削几何参数的选定.....47-74

第4章 铣 刀

- 1 铣刀的类型及其合理选择47-74
 - 1.1 铣刀的类型.....47-74
 - 1.2 铣刀品种的合理选择.....47-76
- 2 铣刀各部名称、代号47-76
- 3 高速钢尖齿铣刀的设计要点47-77

3.1 铣刀结构参数的确定	47-77
3.2 带柄铣刀的柄部设计	47-78
3.3 铣刀切削部分几何参数的选择	47-79
4 高速钢铲齿铣刀的设计要点	47-80
4.1 铲齿成形铣刀	47-80
4.2 铲齿粗加工波形刃铣刀	47-81
5 加工铣刀螺旋槽的沟槽铣刀截形设计	47-82
6 硬质合金铣刀的结构和设计特点	47-83
6.1 硬质合金刀片的镶装设计	47-83
6.2 硬质合金小刀头的机械夹固方法和可转位刀片的装夹方式	47-84
6.3 硬质合金铣刀切削部分几何参数的确定	47-86
7 常用的硬质合金铣刀	47-87
8 常用的刀片可转位式硬质合金铣刀	47-93

第5章 螺纹刀具

1 螺纹车刀和螺纹梳刀	47-97
1.1 类型和用途	47-97
1.2 主要尺寸计算	47-97
1.3 石油管螺纹硬质合金梳刀的结构和应用	47-99
2 板牙	47-99
2.1 类型和用途	47-99
2.2 圆板牙的结构要素	47-100
2.3 圆板牙的刃磨和使用	47-100
3 丝锥	47-100
3.1 丝锥的类型	47-100
3.2 普通机用和用手丝锥设计要点	47-101
3.3 丝锥的刃磨方法	47-106
3.4 锥形管螺纹丝锥的设计要点	47-106
3.5 梯形螺纹丝锥的设计要点	47-108
4 螺纹铣刀	47-109
4.1 类型和用途	47-109
4.2 盘形螺纹铣刀的设计特点	47-109
4.3 柱形螺纹铣刀结构、工作特点和牙形修正计算	47-110
5 螺纹切头	47-110

5.1 类型和用途	47-110
5.2 圆梳刀外螺纹切头	47-111
5.3 径向平梳刀内螺纹切头	47-113
6 螺纹滚压工具	47-114
6.1 三滚轮螺纹滚压头	47-114
6.2 滚丝轮	47-115
6.3 搓丝板	47-117

第6章 拉 刀

1 拉刀的类型与组成部分	47-118
2 拉(推)刀的设计	47-121
2.1 拉削方式	47-121
2.2 拉刀结构尺寸的确定	47-122
2.3 推刀的设计要点	47-131
2.4 切削力的计算和强度校验	47-132
3 拉刀的设计举例	47-133
3.1 矩形花键拉刀的设计计算	47-133
3.2 介绍几种实用的拉刀	47-137

第7章 齿轮刀具

1 齿轮铣刀	47-145
1.1 齿轮铣刀的类型、用途及使用范围	47-145
1.2 盘形齿轮铣刀	47-145
1.3 指形齿轮铣刀	47-146
2 齿轮滚刀	47-147
2.1 齿轮滚刀的类型、用途和使用范围	47-147
2.2 整体齿轮滚刀的设计	47-148
2.3 双模数滚刀、小模数滚刀和透平齿轮滚刀	47-152
2.4 剃前滚刀齿形的计算	47-153
2.5 镶片齿轮滚刀的结构	47-156
2.6 硬质合金滚刀	47-157
2.7 其他几种齿轮滚刀	47-157
2.8 齿轮滚刀的正确刃磨	47-158
3 蜗轮刀具	47-159
3.1 蜗轮滚刀	47-159
3.2 蜗轮飞刀	47-166
3.3 蜗轮剃齿刀	47-168
4 插齿刀	47-168

4.1 插齿刀的应用和类型	47-168	7.2 滚切法加工锥齿轮的工作原理	47-216
4.2 外啮合直齿插齿刀	47-169	7.3 直齿锥齿轮刀具	47-216
4.3 内啮合直齿插齿刀	47-182	7.4 弧齿锥齿轮铣刀盘	47-221
4.4 剃前插齿刀	47-188	7.5 延伸外摆线齿锥齿轮铣刀盘	47-230
4.5 斜齿插齿刀与人字齿轮插齿刀	47-188		
5 剃齿刀	47-191	第 8 章 自动线和数控机床刀具	
5.1 剃齿刀的用途、类型和工作原理	47-191	1 刀具的快换	47-233
5.2 剃齿刀的标准系列	47-192	1.1 换刀方式	47-233
5.3 剃齿刀的设计原理	47-192	1.2 刀具夹紧机构	47-234
5.4 剃齿刀的设计计算	47-193	2 刀具尺寸预调	47-237
5.5 剃齿刀的校验	47-198	2.1 预调装置设计要求	47-237
5.6 剃齿刀的齿形修正和刃磨	47-199	2.2 刀具和刀夹上调整元件的 典型结构	47-238
6 非渐开线展成刀具	47-201	2.3 典型预调装置	47-239
6.1 非渐开线展成刀具的用途和类型	47-201	3 断屑	47-241
6.2 展成滚刀的齿形设计	47-201	3.1 振动断屑	47-241
6.3 矩形花键滚刀的设计计算	47-203	3.2 钻头的断屑方法	47-241
6.4 钟表齿轮滚刀的设计	47-209	4 数控镗铣床及自动换刀数控镗铣 床工具	47-242
6.5 棘轮滚刀	47-210	4.1 工具柄部	47-242
6.6 圆弧齿轮滚刀	47-211	4.2 工具系统	47-244
6.7 套筒滚子链链轮滚刀	47-212	4.3 镗铣类数控机床用工具的几种典型 结构	47-244
6.8 矩形花键孔插齿刀的设计计算	47-214		
7 锥齿轮刀具	47-215		
7.1 锥齿轮刀具的类型和用途	47-215		

第1章 刀具材料

在金属切削过程中,刀具要承受较大的切削力、机械摩擦和切削热,所以刀具材料应具备以下性能:

(1) 硬度高并能保持较高的高温硬度 $\ominus$ 绝大多数金属切削刀具要求室温硬度在HRC63以上。

图47·1-1表示四种常用刀具材料的高温硬度变化情况。它代表刀具刃口的实际工作硬度。

图47·1-2表示上述刀具材料加热到指定温度后再冷至室温所测的硬度变化情况。它说明在什么温度下材料硬度要发生不可恢复的变化。

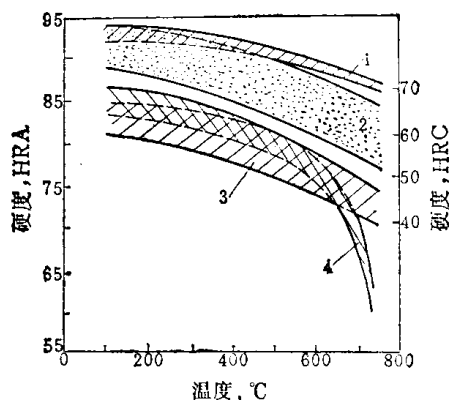


图47·1-1 四种刀具材料的高温硬度

1—陶瓷 2—硬质合金 3—铸造合金 4—高速钢

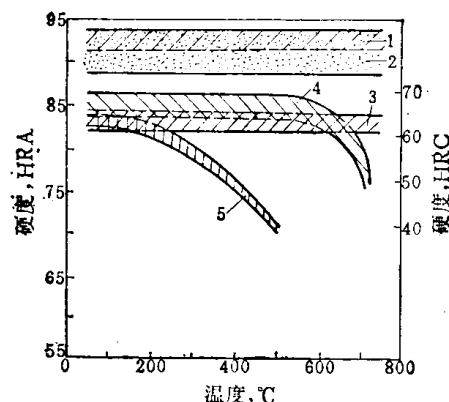


图47·1-2 五种刀具材料加热后硬度变化情况

1—陶瓷 2—硬质合金 3—铸造合金 4—高速钢
5—碳素工具钢

刀具材料的高温硬度,及其冷至室温后的硬度变化是衡量刀具材料性能的重要指标,它基本上决定了刀具的允许切削速度和耐用度。

(2) 必要的强度和韧性 刀具在切削时要承受切削抗力、冲击和震动,所以刀具材料要有一定的强度和韧性,以免刃口崩缺、刀齿折断。目前用材料的抗弯强度和冲击韧性衡量它(见表47·1-1)。

(3) 耐磨性 耐磨性是指刀具抗摩擦磨损的性能,它与硬度的含义不尽相同。二种刀具材料可以宏观硬度相同(如洛氏硬度),而抗磨损性能相差很远。刀具材料中显微硬质点的硬度、数量、尺寸和基体的高温硬度对其有显著影响。

(4) 较好的导热性 切削过程产生的热量,一部分由刀刃经刀具导出,刀具材料导热系数越大,导出热量愈多,有助于降低切削温度和提高刀具耐用度。

(5) 较好的化学惰性 在低的切削速度下高的切削压力会使积屑瘤与刀刃粘结,在其不断脱落的过程中,可能使刃口不规则剥落。在高速切削下,由于切削温度高,会产生切屑与刀刃的高温粘结,切屑中的组成元素,如铁,要向刀具材料扩散,改变其原有成分,而加速刀具的扩散磨损。此外,在高速切削时的高温下、刀具材料的氧化,要促进机械磨损。所以,要求刀具材料有较佳的化学惰性。

除上述基本要求外,刀具材料还要具备较佳的工艺性能——各种可加工性,包括焊接、锻、轧、切削加工和可磨削性、热处理工艺特性等,以便于制作刀具。刀具材料的价格也是要考虑的因素。

国内外常用的刀具材料有:碳素工具钢,合金工具钢,高速工具钢,铸造合金,硬质合金,陶瓷,超硬材料——金刚石和立方氮化硼烧结体。它们的主要机械物理性能、典型刀具几何参数和许可切削速度见表47·1-1。

铸造合金含钴达40%左右,我国应用不多。

$\ominus$ 高温硬度指将工件加热到指定温度后,在该温度下所测定的硬度。

表47-1-1 常用工具材料主要特性

切 削 刀 具 材 料		碳 素 工 具 钢	合 金 工 具 钢	高 速 工 具 钢	铸 造 合 金	硬 质 合 金	陶 瓷	天 然 金 刚 石
弹 性 模 量 E kgf/mm ²		21000	21000	21000		42000~63000	42000	90000
硬 度	室 温	HRC 63~65	HRC 63~66	HRC 63~70 (HRA 83~87)	HRC 60~65 (HRA 81~84)	HRA 89~94	HRA 92~94	HK 8000
	高 540℃			HRC 50~58 (HRA 76~80)	HRC 48~58 (HRA 75~80)	HRA 82~87	HRA 90	HK 8000
	温 760℃			HRC 17~30	HRC 40~48 (HRA 70~75)	HRA 77~85	HRA 87	
机 械 性 能	抗弯强度 σ_{bb} kgf/mm ²	≈220	≈240	250~400	140~280	90~245	45~80	21~49
	冲击韧性 α_k	加 → 强			加 ← 强			
	耐 磨 性	加 → 强						
	导热系数 λ cal/(cm·s·℃)	~0.1	~0.1	~0.065		0.05~0.2	0.046~0.09	0.35
典 型 车 削 条 件 加 工 45 钢	前 角 γ_o	+5°~+30°	+5°~+30°	+5°~+30°	0°~+20°	-6°~+10°	-15°~-5°	-5°~+5°
	切 削 速 度 m/min	8	8~10	25~55	25~80	100~300	160~760	加工铝合金 180~3800

应该指出没有一种刀具材料是万能的。各种刀具材料各有其特定的适用范围，对上面所提到的刀具材料的硬度、强度、韧性、耐磨性、导热性不能孤立地、机械地看待，要综合考虑。

1 碳素工具钢和合金工具钢

在国家标准 GB1298-77 中，碳素工具钢有 T7、T8、T8Mn、T9、T10、T11、T12、T13 等八种（优质者加“A”，如 T12A），常用以制造金属切削刀具的碳素工具钢为 T12A（C——1.2%），T10A 也有一定应用。碳素工具钢的化学成分、性能和热处理规范，请参阅第 12 篇第 11 章工具钢 1.1 碳素工具钢。碳素工具钢淬火回火后能得到较高的表面硬度——HRC63~65，但淬透性低，淬硬层薄（一般约 3mm），所以较大截面的工件淬火时必须激冷，但这样工件容易变形和开裂。切削时刀具刃口工作温度超过 200℃时硬度将明显下降，耐磨性差，加工普通碳素结构钢的切削速度为 8m/min 左右。优点是价格便宜，刃口锋利。目前只用来作一些尺寸小的手动和低速切削工具，如手动锯条、丝锥和锉刀等。

在国家标准 GB1299-77 中，刀具用合金工具钢有：9SiCr、CrWMn、Cr2、W、V、Cr06、CrW5 等 7 种，其化学成分、性能和热处理规范，请参阅第 12 篇第 11 章工具钢 1.2 节合金工具钢。它们含有少量合金元素——Cr、Si、Mn、W、V。与碳素工具钢相比，它们一般具有较佳的淬透性，亦可在油或熔盐中冷却，以减少热处理变形和开裂倾向，含有较硬碳化物（W、Cr、V 的碳化物），耐磨性有所提高；但切削时刀具刃口许可工作温度也约为 220℃，一般切削速度为 8~10 m/min 左右。合金工具钢用于截面积较大、热处理易变形、或者要求耐磨性能较好的低速机动和手动刀具。在工具制造业用得较多的是 9SiCr 和 Cr2。Cr2 与轴承钢 GCr15 二者主要合金含量相同。GCr15 钢因比较容易获得，质量也有严格保证，所以工具厂也常用之以代替合金工具钢 Cr2、9SiCr，用来制造各种手动铰刀、圆板牙和 $\phi 12$ 以上的手丝锥。

2 高速工具钢

高速工具钢是目前应用范围最广泛的刀具材料，其主要优点如下：

1) 刀具刃口允许工作温度达 560℃ (有的钢种稍高), 可以 30m/min 左右或较高的切削速度加工碳素结构钢和合金结构钢。

2) 刃口强度和韧性比硬质合金高, 可加工从有色金属到高温合金等各种材料。多用于制造有冲击载荷的铣刀, 以及各种旋转切削时中心线上切削速度接近于零的孔加工刀具, 如钻头、键槽铣刀等。

加工高温合金的铣刀、拉刀主要用高速钢制造。

3) 刀具制造工艺简单, 容易磨成锋利的刃口。能锻造, 在大型和复杂刀具制造中高速钢仍占主要地位。

4) 材料性能比硬质合金稳定, 使用可靠。

所以麻花钻、丝锥、铰刀、成型车刀、立铣刀、成型铣刀、各种齿轮刀具、拉刀等仍然大量采用高速钢制造。

在冶金部标准 YB12-77 高速钢标准中, 列入了九个钢种, 其中通用型三个——W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 和 W14Cr4VMnRe; 高碳高速钢一个——95W18Cr4V; 高钒高速钢一个——W12Cr4V4Mo; 超硬高速钢四个——W6Mo5Cr4V2Al、W10Mo4Cr4V3Al、W12Mo3Cr4V3Co5Si 和 W6Mo5Cr4V5SiNbAl。其化学成分、热处理和说明请参阅第 12 篇第 11 章工具钢 1.3 节。几种主要高速钢的淬火回火后性能见表 47.1-2。

表47.1-2 主要高速钢种淬火回火后性能

钢 号	淬 火 回 火 后 性 能				
	室温硬度 HRC	高 温 硬 度 HRC		抗弯强度 σ_{bh} kgf/mm ²	冲击韧性 α_K kgf·m/cm ²
		500℃	600℃		
W18Cr4V	63~66	56	48.5	300~340	1.8~3.2
W6Mo5Cr4V2	63~66	55~56	47~48	350~400	3~4
95W18Cr4V	66~68	57	51	300~340	1.7~2.2
W2Mo9Cr4VCo8(M42)	67~69	≈60	≈55	270~380	2.3~3.0
W6Mo5Cr4V2Al	67~69	60	55	290~390	2.3~3.0
W10Mo4Cr4V3Al	67~69	59.5	54	310~350	2.0~2.8
W12Mo3Cr4V3Co5Si	67~69	60	54	240~330	1.1~2.2
W6Mo5Cr4V5SiNbAl	66~68	57.5	51	360~390	2.6~2.7

2.1 通用型高速钢

W18Cr4V 是我国用得最多的高速钢钢号, 几乎各种刀具都用它制造。这种钢的优点是淬火热处理的加热范围宽, 不易过热, 脱碳敏感性弱和可磨削性好。缺点是与含 Mo 高速钢相比碳化物偏析比较严重和热塑性差。在国外因钨价格比钼高, 此钢种几乎淘汰。

W6Mo5Cr4V2 也是一种可用以制造各种刀具的通用高速钢。其切削性能与 W18Cr4V 相同, 但热塑性、碳化物分布和淬火回火后的机械性能, 均较 W18Cr4V 钢好, 适宜制造承受冲击力较大的刀具, 如插齿刀。特别是用塑性变形工艺制造的钻头, 如纵向螺旋轧制的直柄钻头, 需选用此钢, 不宜用 W18Cr4V 钢。这种钢的可磨削性稍次于 W18Cr4V。

W14Cr4VMnRe 钢是用来代替 W6Mo5Cr4V2 钢供轧制钻头用的, 但用户对此钢的热塑性还未有

定论。在较重切削负荷下, 切削性能不及 W6Mo5Cr4V2 钢。

W2Mo9Cr4V2 钢 (M7, 含 C 1.0%) 是高钼系高速钢, 标准 YB12-77 中未列。它的淬火回火后硬度和冲击韧性略高于 W6Mo5Cr4V2 钢, 但脱碳敏感性强, 主要用于制造丝锥, 也可用来制造各种铣刀。

2.2 高碳高速钢

95W18Cr4V 比 W18Cr4V 钢含碳量高 0.2%, 淬火回火后硬度能提高至 HRC67 (见表 47.1-2), 切削性能也有所提高, 但与超硬型高速钢相比则还有一定差距。可磨削性好, 机械性能稍低于 W18Cr4V, 可用于制造要求切削性能较高的刀具。

2.3 高钒高速钢

高钒高速钢一般含钒 3% 以上。我国标准中列入了 W12Cr4V4Mo。这种钢在淬火回火后组织内

含有多量的残余 MC 型 (VC) 碳化物, 其体积百分比达 6%, 约为 W18Cr4V 的 6 倍。VC 微粒的显微硬度约为 HV2800, 比磨料 Al_2O_3 的硬度还要高, 所以高钒高速钢耐磨性好, 但用普通砂轮磨削很困难 (见表 47·1-3), 刃口易烧伤, 且不易磨得锋利, 要用立方氮化硼 (CBN) 砂轮或单晶刚玉砂轮进行磨削。此钢热处理后, 强度、韧性较通用高速钢降低不多, 性能比较稳定。适用于制造要求耐磨性较好的刀具, 加工不锈钢和高温合金; 特别是钻头, 有较佳的使用效果。由于制造加工比较困难, 目前的趋势是用超硬型高速钢来代替它。

2·4 超硬高速钢

超硬高速钢的特点是此类钢的含碳量接近平衡碳, 在淬火回火后可得很高的硬度 HRC67~70 和高的温度 (600℃) 硬度 HRC54~55。它用于加工比较硬的调质钢材 (HRC30~40)、高温合金和各种难加工材料, 有较好的效果。在高速钢中是较新品种。超硬型高速钢中, M42——W2Mo9Cr4VCo8 (含 C 1.1%) 是世界上用得最多的一个牌号, 其机械性能、可磨削性能和切削性能等的综合性能好 (见表 47·1-2 和表 47·1-3)。国外钴价较廉, 能大量应用。为适应自然资源条件, 我国发展了不含钴的超硬高速钢。在冶标 YB12-77 中列了四种超硬型高速钢——W12Mo3Cr4V3Co5Si、W6Mo5Cr4V2Al、W6Mo5Cr4V5SiNbAl、W10Mo4Cr4V3Al。后三种为我国独创的含 Al 超硬高速钢。淬火回火后的硬度和机械性能见表 47·1-2。W12Mo3Cr4V3

Co5Si、W10Mo4Cr4V3Al 和 W6Mo5Cr4V5SiNbAl 钢也属高钒高速钢范畴, 磨加工比较困难, 见表 47·1-3。

W6Mo5Cr4V2Al 钢是我国超硬高速钢中综合性能较好的品种, 其热处理后室温硬度可达 HRC66~69, 由于铝能延缓高温时碳化物的集聚过程, 使其 500℃和 600℃的高温硬度分别达 HRC60 和 55。加铝能显著改善其机械性能, 淬火回火后抗弯强度为 290~390 kgf/mm², 冲击韧性为 2.3~3.0 kgf·m/cm², 比含钴的 W12Mo3Cr4V3Co5Si 要高, 而其价格与普通高速钢相同。在加工 HRC30~40 的调质钢时与普通高速钢相比, 可提高使用寿命 3~4 倍, 在多数场合使用寿命与 M42 相同。例如作 $v = 80 \sim 100 \text{ m/min}$ 的高速齿轮滚刀及间隙分度的花键轴冷敲轮。此钢的可磨削性能较差, 热处理后要用硬度较软 (一般为 R3~R2) 的单晶或锃钹刚玉砂轮磨削。

上述各种高硬度高速钢, 当硬度值趋上限时, 机械强度趋下限, 一般推荐在 HRC66~67 使用, 以求二者适当的配合。

2·5 钴高速钢

钴高速钢种类很多, 是以通用高速钢为基体添加 5~12% 的钴构成的。目前常用者为 M36——W6Mo5Cr4V2Co8 (含 C 0.85%)。在冶标 YB12-77 中未列。其淬火回火后硬度比通用高速钢高 1~2 HRC, 可达 HRC66。由于钴高速钢具有较高的高温硬度, 它适用于重切削和加工高强度材料。常用它制造成型刀、车刀、各种铣刀、铰刀、齿轮滚刀等切削刀具。

2·6 粉末高速钢

粉末高速钢是用粉末冶金方法制造的, 一般多是高钒含钴的高性能高速钢, 其优点是:

- 1) 根本上解决了碳化物不均匀性问题。一次碳化物颗粒细小 (2~5 μ), 适宜制成大截面刀具。
- 2) 由于碳化物颗粒小, 可磨削性好, 含钒 5% 的粉末高速钢的可磨削性能接近普通高速钢。
- 3) 热处理加热时间短, 淬火变形约为熔炼高速钢的 1/2~1/3。
- 4) 材料的机械性能决定于冶金质量, 可以做成比熔炼高速钢更高的抗弯强度和冲击韧性, 适宜

表 47·1-3 几个钢种的磨削比

钢 种	磨削比①	硬度 HRC
W18Cr4V	13	64
W2Mo9Cr4VCo8 (M42)	15.64	66
W6Mo5Cr4V2Al	13.64	66
W10Mo4Cr4V3Al	6.21	67
W12Mo3Cr4V3Co5Si	2.24	67
W12Cr4V4Mo	0.94	66
W6Mo5Cr4V5SiNbAl	0.65	66
W9Mo3Cr4V3Co9.5 (HSP15)	1.16	67

① 等于磨除的金属体积除以砂轮消耗的体积。试验是在工具磨床上用单晶刚玉砂轮 GD60R₃BWA75×30×20 进行的。磨到工件开始烧伤或严重烧伤为止。用锃钹刚玉砂轮 GP60R₃BWA75×30×20 磨削的结果与此类似。

作断续切削刀具。

2.7 工厂高速钢刀具的投料要求

齿轮刀具、螺纹刀具等复杂刀具由于原材料碳化物不均匀度（见冶标 YB12-77）达不到产品要求，需要锻拔改锻，其原材料要检查低倍组织——碳化物在酸浸时的剥落情况（通常规定不得超过一级），以免造成锻造开裂。锻件的碳化物不均匀度按各厂标准检查，在刀具刀齿齿根部分的合格级别一般为4级。碳化物宽带比较严重的原材料，不宜投制拉刀，以免淬火开裂。

3 硬质合金

我国切削用硬质合金的牌号及形状尺寸见冶标 YB850-75《硬质合金切削刀片》。计有：YG3X、YG6X、YG6A、YG6、YG8、YG8N、YW1、YW2、YT5、YT14、YT30、YN10 等牌号。按其使用用途分类，它们与国际上通用的 ISO 分类法对应如表 47·1-4。有关成分、使用性能和应用范围见第15篇第7章硬质合金。

表47·1-4 我国硬质合金牌号与ISO分类法对照表

ISO	我国牌号	用 途	韧性	耐磨性
P	P01~05 P10 P20 P30 P40 P50	YT30, YN10 YT14 YT14 YT5	加工钢材、铸钢、长切屑可锻铸铁 ↓ 增大	↑ 增强
M	M10 M20 M30 M40	YW1 YW2	加工钢材、铸钢、高锰钢、合金铸铁、奥氏体钢、可锻铸铁、易切削钢 ↓ 增大	↑ 增强
K	K01 K10 K20 K30	YG3X YG6X, YG6A YG6 YG8, YG8N	加工铸铁、冷硬铸铁、短切屑可锻铸铁、淬火钢、有色金属、塑料、木材 ↓ 增大	↑ 增强

较新发展的涂层硬质合金刀片、亚微细颗粒硬质合金和 TiC 基硬质合金的概况如下：

3.1 涂层硬质合金刀片

硬质合金刀片的涂层工艺，是在韧性较大的硬质合金基体表面上用气相沉积或电泳沉积等方法沉积一薄层高硬度的耐磨层，如 5~7 μ 厚的微晶 TiC，

以改善硬质合金刀片的切削性能。由于可转位硬质合金刀片在整个刀片产量中的份额日益增加，使这项新工艺迅速地得到了广泛的应用。涂层刀片与无涂层刀片对比，切削速度可提高 25~30%，或在同等切削速度下，刀片寿命延长 1~3 倍。它的另一优点，是因同一涂层刀片可同时用于精车和半精车工序，能代替原来使用的二至三种不同品种的硬质合金，所以可减少库存。但涂层刀片不能用于粗车有砂眼、夹杂和不规则的铸件，也不能用于加工奥氏体不锈钢，镍基合金。除车削外，涂层刀片也可用于端面铣削。

目前涂层刀片品种较多，主要涂层有：

1) TiC；2) TiN；3) TiC、TiN 复合；4) 陶瓷等。

TiC 或 TiN 涂层的优点：涂层硬度高（TiC——3200HV、TiN——2000HV），耐磨，能减少刀具月牙洼磨损和后面磨损，粘刀现象减少，不易产生积屑瘤；因摩擦系数低，可降低切削力 10~15%。用 TiC 涂层刀片加工普通结构钢时，推荐选用切削速度 90~330m/min。TiC、TiN 复合涂层，是在基体刀片上先涂 1 μ 厚的高硬度 TiC，其后为 TiN 百分比不断加大的 Ti (CN)，一直过渡到摩擦系数较小的 TiN 表层。

陶瓷涂层刀片，可用于加工钢材和铸铁，是在基体刀片上先涂上一层 5 μ 厚的 TiC，然后再涂 1~2 μ 厚的 Al₂O₃，也有只涂一层 5 μ 厚 Al₂O₃ 的，利用 Al₂O₃ 的较高高温硬度和化学惰性。这种刀片的推荐切削速度比 TiC 涂层刀片的更高，加工普通结构钢时的推荐切削速度为 120~350 m/min。

3.2 亚微细颗粒硬质合金

亚微细颗粒硬质合金是一种高硬度和高强度兼备的硬质合金，其 WC 晶粒的平均尺寸小于 1 μ，大部分小于 0.5 μ，含钴量在 9~15% 之间。由于 WC 晶粒弥散细微，粘结相面积增加，从而提高了硬质合金的强度和硬度。YG10H 即属这个品种，抗弯强度 210 kgf/mm²，硬度 HRC91.6。它适用于低速切削（50~60m/min 以下）加工各种难加工材料，如不锈钢、Ti 合金、耐热钢、球墨铸铁、冷硬铸铁；主要用于高速钢刀具不耐磨或低速下硬质合金要崩刃的场合，由于其强度较高，可耐冲击和间断切削，能磨出锐利的刃口，可制作自动机床车

刀、切断刀、各种铣刀和齿轮滚刀等工具。

3.3 碳化钛基硬质合金

YN10 牌号为碳化钛基硬质合金,以镍、钼为粘结剂,用于钢的精加工和半精加工。其优点为硬度高、摩擦系数小,切屑不易粘结,抗月牙洼磨损好,但刃口易塑性变形。其切削性能优于 YT30。硬质合金厂建议用它代替 YT30 硬质合金制成机夹刀使用。

3.4 其他新硬质合金

我国硬质合金厂还有一些小批量生产的新牌号

硬质合金,它们是针对加工某些特殊材料而设计的,如加工高温合金、调质钢、高强度钢和铣削用硬质合金,它们的切削性能较标准牌号有较多的提高。

4 陶瓷

陶瓷刀具由于它的高温硬度高,耐磨性和化学惰性好,切屑与刀刃不粘结,摩擦力小,能在较高的切削温度下进行高速切削,并获得较佳的工件光洁度和尺寸稳定性。但抗弯强度和冲击韧性低。陶瓷与其他材料的机械性能对比数据见表 47·1-5。

表 47·1-5 几种刀具材料的机械性能

机 械 性 能			材 料 名 称				
			陶 瓷 Al ₂ O ₃	硬 质 合 金			高 速 钢 W18Cr4V
				YT30	YT15	YG6	
硬 度 HRA	常 温		92~94	≥92.5	≥91	≥89.5	83~87
	高 温	760℃	87	82	81	80	不能切削
		1200℃	80	不 能 切 削			
冲击韧性 α _K kgf·m/cm ²			0.05~0.12		0.25~0.3	≈0.3	1.8~3.2
抗弯强度 σ _{bb} kgf/mm ²			45~80	≥ 90	≥115	≥140	300~310

陶瓷刀具的质量近年有较大的提高,并采用了机夹可转位式刀片,解决了刃磨和焊接的困难,使陶瓷刀具在工业中获得成功的应用。

陶瓷刀具从其成分组成来说,可分为:

高纯氧化铝陶瓷:其主要成分为微晶(晶粒尺寸 1~3 μ)氧化铝(Al₂O₃)及微量氧化物(如 MgO)以细化晶粒。冷压烧结的这种陶瓷的抗弯强度,一般为 45~50 kgf/mm²。外观颜色根据烧结

气氛可以是白色的,也可能是黑色的。

复合陶瓷:其主要成分为 Al₂O₃,但还含有其他碳化物(如 TiC)或其他金属(如 Ni、Mo)以提高抗弯强度和抗热震性。采用热压烧结,质地更致密,晶粒较细(≤1 μ),抗弯强度较高,可达 60~80 kgf/mm²,硬度达 HRA93~94。但生产工艺较复杂。陶瓷刀片的物理机械性能见表 47·1-6。

表 47·1-6 陶瓷刀片的物理机械性能

牌 号	硬 度 HRA	抗弯强度 σ_{bb} kgf/mm ²	平均晶粒 尺 寸 μ	成 分	烧结方法
AM	>91	45~55	<3	Al ₂ O ₃	冷压烧结
T8	93~94	55~65	0.6~1	Al ₂ O ₃ + TiC	热压烧结
T1	92.5~93	73~85	0.6~1	Al ₂ O ₃ + TiC + Ni + Mo	热压烧结

高纯氧化铝陶瓷刀具适用于：

1) 高速 (200~750m/min) 小进给量精车、半精车铸铁工件 (如汽车工业中的刹车制动鼓等) 和调质结构钢工件。

2) 粗车高速钢钻头、丝锥毛坯外径，切削速度为 80~200m/min。

3) 加工耐磨石墨和硬橡皮工件。

热压复合陶瓷刀片因其强度、硬度较高，耐磨性好，主要用于：

1) 粗、精加工冷硬铸铁轧辊、淬硬合金钢轧辊。

2) 精铣表面光洁度要求高的大面积平面。

我国所生产的陶瓷刀片全部为多角形刀片，已形成系列，有各种形状 (如六方、四方、三角、菱形)、尺寸 (不同内接圆直径——六方为 D16、四方为 D14、凸三角为 D13) 和 A、E、F 几种不同的断屑槽形状。陶瓷刀强度较低，断屑槽以封闭槽形为佳。陶瓷刀片是不带孔的，采用上压式夹固。刀片本身不带后角，安置于刀杆上后形成 8° 后角。刀

片刃口棱边成 -7° 前角。使用前要用金刚石油石研磨刀刃。

5 超硬刀具材料

超硬刀具材料包括天然金刚石、聚晶人造金刚石块和聚晶立方氮化硼块 (超高压烧结体)。

大颗粒单晶天然金刚石用于加工极少数要求光洁度和尺寸精度特别高的非铁金属零件。切削速度高，加工铜合金和铝合金，切削速度可达 400~3800m/min，刀具寿命长，刃磨一次可用几百小时。

与天然金刚石不同，人造金刚石和立方氮化硼作为刀具材料是多晶体，具有一定的形状和尺寸。一般是把这两种材料的微细粉末在高温、和超高压下烧结而成。烧结好的块粒，称为超高压烧结体或聚晶块。二者的性能见表 47·1-7。

聚晶金刚石复合刀片的上层为 0.5 mm 厚的金刚石，下层为 2.5 mm 厚的硬质合金。这种复合刀片焊接方便，刃磨省工，抗冲击性能好见表 47·1-7。

表 47·1-7 金刚石和立方氮化硼性能比较

性 能		材 料			
		金 刚 石		立 方 氮 化 硼	
		天 然	聚晶复合刀片	单 晶	烧 结 体
硬 度	HV	10000		8000	4000~7000
	HK	8000	6500~8000	4700	
在空气中的热稳定性 °C		<700~800	<700~800	<1600	<1300
对铁元素的化学惰性		小	小	大	大
抗弯强度 σ_{bb} kgf/mm ²		21~49	≈110		
弹性模量 E kgf/mm ²		9×10^4	8.4×10^4		
导热系数 λ cal/(cm·s·°C)		0.35	0.24~0.26		

这两种刀具材料的特点如下：

1) 天然单晶金刚石为各向异性，只是在一定的方向硬且耐磨，较脆，对冲击敏感。聚晶人造金刚石是由许多小晶体组成，没有各向异性的缺点，可用于不连续车削、铣削。

2) 天然金刚石和金刚石烧结体的加工对象包括：硬质合金、塑料、玻璃纤维塑料、硬橡胶、石墨、陶瓷、铜和铝合金等材料。工业中加工过共晶

硅铝合金 (含 Si 16~20%)、汽车活塞、电机整流子 (间断切削) 和滑环，用金刚石刀具，有极好的效果。

3) 天然金刚石加工的光洁度可达 $\nabla 13$ ，而用金刚石烧结体加工，工件的表面光洁度最高可达 $\nabla 11C$ 。

4) 金刚石刀具不能用来加工钢铁材料，在高温下铁原子容易与碳原子作用而使其转化为石墨结

构, 刀具极易损坏。

5) 由于立方氮化硼的热稳定性比金刚石好, 对铁元素的化学惰性比金刚石大, 所以可以用来加工淬硬工具钢、模具钢、冷硬铸铁、硬度在 HRC 35 以上的钴基和镍基高温合金等。

6) 聚晶立方氮化硼车刀在车床和镗床上精加工淬硬零件, 精度可达一级, 表面光洁度达 $\nabla 8 \sim \nabla 9$, 可代替磨削。镗长孔时锥度小, 可提高工件精度。零件的内孔和端面可在一次装夹上加工完

成, 易保证端面垂直度。

7) 由于聚晶金刚石和聚晶立方氮化硼刀具的高硬度、高耐磨性, 它能在高的切削速度下长期稳定地加工出较高精度的零件, 故它们是数控机床很适用的刀具。

8) 这二种聚晶刀具还有一个优点, 即比天然金刚石更易磨制成成形刀具。

聚晶立方氮化硼刀具用金刚石砂轮磨削开刃, 比较方便。

第2章 切 刀

1 切刀的用途和类型

切刀是金属切削加工中应用最广的一种刀具, 用于各类车床、镗床、刨床、插床和其他专用机床的工作中。由于切刀的用途多种多样, 因而它的结构形状和几何参数也随着机床类型和工作种类的不同而有很多种。图 47·2-1 所示为几种常用的切刀。

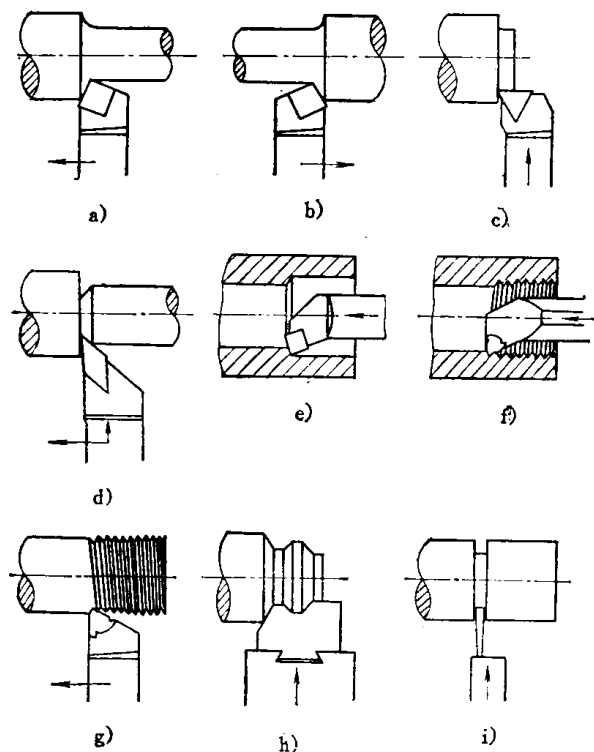


图47·2-1 切刀的用途和类型

按照机床类型的不同, 切刀可分为: 车刀、刨刀、插刀、自动机床和半自动机床用的切刀、卧式镗床的镗刀、专用机床的特种切刀。

切刀的共同特点是只有一条连续的主切削刃, 因而也称为单刃刀具。

切刀常用的材料是硬质合金和高速钢, 还有陶瓷、金刚石和立方氮化硼等。

2 车 刀

车刀是切刀中应用最广的一种, 它不仅是切刀, 而且是研究一切刀具的基础。

2.1 车刀的外形尺寸

车刀的外形尺寸是指刀杆断面尺寸和长度。刀杆的断面形状通常有正方形、矩形和圆形三种, 常用的是矩形。因为矩形刀杆在作出镶刀片的刀槽后刀杆减弱得较少; 在刀杆高度受到限制时, 方形刀杆比矩形刀杆有较大的断面积, 因而具有较高的强度。圆形断面刀杆可以在刀夹中偏转, 以改变切削部分的几何参数。车刀刀杆的尺寸建议按表47·2-1选用。

通常根据机床中心高、刀架形状和切屑断面尺寸选取刀杆断面尺寸。只有在重切削或刀杆尺寸较小, 悬伸量较长时才进行必要的强度或刚度验算。在切削时, 车刀刀杆实际承受的是一个复合力, 为计算方便起见, 主要根据切削力的垂直分力 F_v 和悬伸距离 l 进行计算 (图 47·2-2)。

表47·2-1 刀杆的截面尺寸和长度

mm			
圆 形 d	方 形 $H \times H$	矩 形 $H \times B$	硬质合金车刀长度 L
6	6 × 6	6 × 5	90
8	8 × 8	8 × 6	
10	10 × 10	10 × 8	
12	12 × 12	12 × 10	
16	16 × 16	16 × 12	
20	20 × 20	20 × 16	
25	25 × 25	25 × 20	
32	32 × 32	32 × 25	
40	40 × 40	40 × 32	
50	50 × 50	50 × 40	
63	63 × 63	63 × 50	300

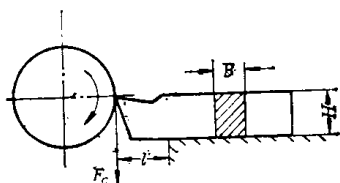


图47·2-2 刀杆断面尺寸的确定

$$F_c = pA$$

式中 p ——单位切削力 kgf/mm^2

A ——切屑横断面积 mm^2

$$M = F_c l = z \sigma_{bb}$$

式中 l ——刀杆的悬伸量 mm

z ——断面系数 mm^3

σ_{bb} ——许用弯曲应力，中碳钢约为 $20 \sim 25 \text{ kgf/mm}^2$

M ——弯矩

刀杆断面的计算公式如下：

$$\text{矩形断面 } BH^2 = \frac{6Ap l}{\sigma_{bb}}$$

$$\text{方形截面 } B^3 = \frac{6Ap l}{\sigma_{bb}}$$

$$\text{圆形截面 } d^3 = \frac{10Ap l}{\sigma_{bb}}$$

2.2 车刀前面形状

车刀前面形状主要根据被加工材料的性质和刀具材料而定，常用有四种型式（图47·2-3）。

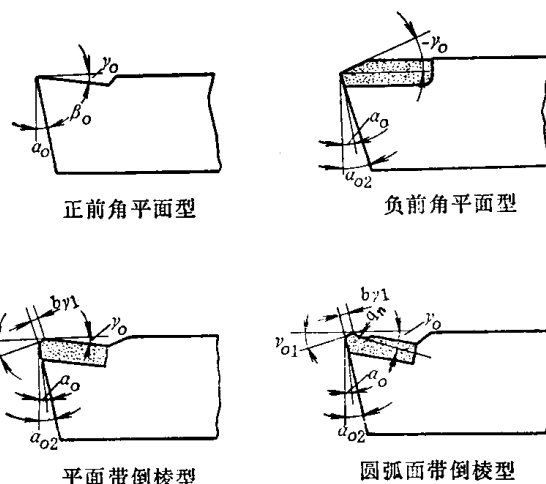


图47·2-3 车刀前面型式

a. **正前角平面型** 其优点为刃口锋利、切削力小、容易刃磨，适用于高速钢刀具及精加工用的硬质合金刀具。

b. **负前角平面型** 采用负前角可提高切削刃强度，防止崩刃。用于加工高强度钢及带砂土外皮铸钢件的硬质合金刀具。

c. **平面带倒棱型** 在采用正前角时磨有负倒棱，可提高切削刃强度，适用于加工铸铁和一般钢件。对于硬质合金车刀通常 $\gamma_{o1} = -5^\circ \sim -10^\circ$ 。

d. **圆弧面带倒棱型** 采用弧形面是为了卷屑和断屑，倒棱可加强刀刃。这种型式用于加工钢件的硬质合金车刀，一般取 $\gamma_{o1} = -5^\circ \sim -10^\circ$ ，倒棱宽度 $b_{\gamma 1} = (0.3 \sim 0.6) f$ 。

2.3 车刀几何参数的选择

车刀的主要几何参数有前角 γ_o 、后角 α_o 、主偏角 κ_r 、副偏角 κ'_r 及刃倾角 λ_s 。刀具角度的选择受多种因素的影响，如工件材料、刀具材料、加工性质（粗加工、精加工）等等，必须根据具体情况合理选择。刀具几何参数选择的原则见本篇第1章。本章只列出数值以供选用。

a. **前角 γ_o 和后角 α_o** 硬质合金车刀的前角和后角可参考表 47·2-2 选取。

材料硬度高时前角取表中小值，硬度低时取较大值；精加工时后角取较大值，粗加工时取小值。

b. **主偏角 κ_r** 车刀的主偏角主要根据机床-工件-刀具工艺系统刚度选取（见表 47·2-3）。

c. **副偏角 κ'_r** 主要根据工件已加工表面光洁度的要求选取（参考值见表 47·2-4）。

表47·2-2 硬质合金车刀的前角和后角

被 加 工 材 料	前角 γ_o	后角 α_o
结构钢、合金钢及铸钢件	$\sigma_b \leq 80 \text{ kgf/mm}^2$	$10^\circ \sim 15^\circ$
	$\sigma_b = 80 \sim 100 \text{ kgf/mm}^2$	$6^\circ \sim 8^\circ$
高强度钢及表面有夹杂的铸钢件 $\sigma_b > 100 \text{ kgf/mm}^2$	$-5^\circ \sim -10^\circ$	$6^\circ \sim 8^\circ$
耐热钢 $\sigma_b = 70 \sim 100 \text{ kgf/mm}^2$	$10^\circ \sim 12^\circ$	$8^\circ \sim 10^\circ$
不锈钢 1Cr18Ni9Ti	$15^\circ \sim 30^\circ$	$8^\circ \sim 10^\circ$
淬火钢 HRC40以上	$-5^\circ \sim -10^\circ$	$8^\circ \sim 10^\circ$
铬锰钢	$-2^\circ \sim -5^\circ$	$8^\circ \sim 10^\circ$
铸铁	$5^\circ \sim 15^\circ$	$6^\circ \sim 8^\circ$
铸造黄铜	$-3^\circ \sim 10^\circ$	$4^\circ \sim 6^\circ$
铝合金	$20^\circ \sim 30^\circ$	$8^\circ \sim 12^\circ$

表47·2-3 主偏角参考值

工 作 条 件	主偏角 κ_r
系统刚性良好、切深较小、走刀量较大、工件材料硬度高	$10^\circ \sim 30^\circ$
系统刚性良好 $\left(\frac{l}{d} < 6\right)$ 、加工盆套之类的工作	$30^\circ \sim 45^\circ$
系统刚性较差 $\left(\frac{l}{d} = 6 \sim 12\right)$ 、切深较大或有冲击时	$60^\circ \sim 75^\circ$
系统刚性差 $\left(\frac{l}{d} > 12\right)$ 、车台阶轴、切槽及切断	$90^\circ \sim 93^\circ$

表47·2-4 副偏角参考值

工 作 条 件	副偏角 κ'_r
宽刃车刀及具有修光刃的车刀	0°
切槽及切断刀	$1^\circ \sim 3^\circ$
精车	$5^\circ \sim 10^\circ$
粗车	$10^\circ \sim 15^\circ$
粗镗	$15^\circ \sim 20^\circ$
有中间切入的切削	$30^\circ \sim 45^\circ$

d. 刀倾角 λ 。刀倾角的大小主要影响刀尖部分的强度和切屑的流出方向。在有冲击负荷的情况下切削时，采用负刀倾角有利于保护刀刃。刀倾角数值可参考表47·2-5选取。

表47·2-5 刀倾角 λ_s 参考值

工 作 条 件	刀倾角 λ_s
精车、精镗	$0 \sim 4^\circ$
切槽及切断刀	0°
粗车及粗镗	$-5^\circ \sim -10^\circ$
断续切削以及加工淬火钢等	$-10^\circ \sim -30^\circ$

2.4 断屑和卷屑

在金属切削过程中，切屑的控制是个重要问题。硬质合金车刀在高速切削钢件时，长条灼热的切屑会缠绕在工件或刀具上，不仅会刮伤已加工表面，引起车刀崩刃，更严重的是影响工人安全。在自动化生产中，如果断屑问题没有很好解决，自动机和自动线就不能稳定地进行生产。因此必须设法使切屑碎成小段或卷成一定形状的螺卷有规则地向外排出。

2.4.1 断屑过程

切屑折断的过程大体如图47·2-4所示。

- 1) 切屑由于受断屑器阻挡而弯曲，并以曲率半径 R_c 排出。
- 2) 切屑端部碰在刀具后面或工件上。
- 3) 切屑逐步扩张。
- 4) 切屑在曲率半径最大点处的应变达到极限值时，切屑折断。

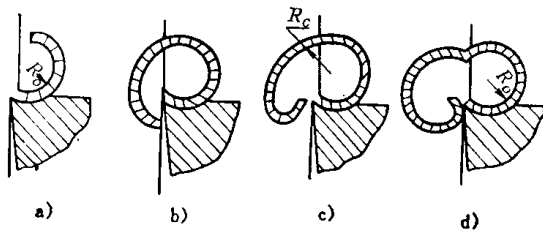
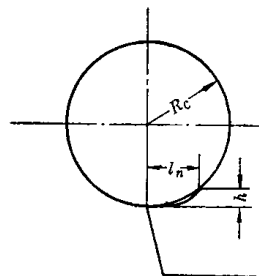


图47·2-4 切屑折断过程

直接决定断屑难易的因素是：切屑的韧性及其忍受变形的极限；断屑器给予切屑的曲率半径；切屑的厚度。材料的塑性大，断屑就比较困难，同样的材料，切屑厚度大，就比较容易断屑。切屑流出圆半径 R_c 是设计断屑器的主要依据， R_c 可按式近似计算（图47·2-5）：

$$R_c = \frac{l_n^2}{2h} + \frac{h}{2}$$

式中 l_n ——断屑台宽 mm
 h ——断屑台高 mm

图47·2-5 切屑流出圆半径 R_c

2.4.2 常用断屑方法

常用的断屑方法有：在刀具前面上磨断屑槽或