

黄伟九 主编

刀具材料 速查手册



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

刀具材料速查手册

黄伟九 主编



机械工业出版社

前 言

在机械加工中，切削加工是最基本而又可靠的精密加工手段。21 世纪机械制造业的竞争，其实质是精密切削技术的竞争，这种竞争是全方位的。目前，随着高刚度整体铸造床身、高速运算数控系统和主轴动平衡等新技术的采用，以及刀具材料的不断发展，现代切削技术正朝着高速、高精度和强力切削方向发展。刀具材料的性能、质量和可靠性的优劣，直接影响到我国制造业数百万台昂贵的新型机床生产效率的高低和加工质量的好坏，也直接影响到整个机械制造业的生产技术水平和经济效益的高低。为了帮助广大从事切削加工及数控切削加工的工程技术人员、销售人员和生产工人能够迅速查找各种刀具材料知识和数据，特别是在生产中正确合理地选择刀具材料，我们编写了这本手册。

本书是一本综合性的刀具材料速查手册，系统全面地论述了各种刀具材料（包括数控刀具材料）的种类、性能、特点、结构和应用。在广泛收集了国内外刀具材料及其选用方面的大量文献资料的基础上，重点论述了刀具材料的合理选用，并提供了大量的应用实例。为了便于查找，大部分举例以表格形式编排。

本书是从事切削加工的工程技术人员、销售人员和生产工人的必备工具书，也可作为广大科研院所、高等院校从事相关科研工作人员的参考用书，以及材料类、机械类专业本专科生、研究生的教学参考用书。

本书由黄伟九任主编。全书共分 7 章。第 1 章由黄伟九编写，第 2、3、4 章由张小彬编写，第 5、6、7 章由田中青编写，附录由田中青编写。全书由黄伟九统稿。另外，邓长江、姚森帮助收集了部分文献资料和绘制了部分插图，在此表示感谢。

在本书编写过程中，引用了国内外许多学者的研究成果，编者对这些作者表示衷心感谢！同时本书得到了国家自然科学基金（50975302）、重庆市自然科学基金计划重点项目（CSTC，2008BA4037）等的资助，编者对此表示感谢！

由于刀具材料涉及的范围广泛，加之编者水平有限，资料收集不全面，书中难免存在不妥和不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 刀具材料在切削加工中的重要性	1
1.2 刀具材料发展史	2
1.3 刀具材料应具备的性能	5
1.4 常用刀具材料的性能及选用	5
1.4.1 常用刀具材料的性能	5
1.4.2 根据工件材料选用刀具材料	7
1.4.3 刀具材料和刀具几何角度的选择原则	8
1.4.4 切削用量选择原则	9
1.4.5 不同刀具材料切削液的选用	10
第 2 章 工具钢、高速钢刀具材料	11
2.1 工具钢刀具材料	11
2.1.1 碳素工具钢刀具材料	11
2.1.2 合金工具钢刀具材料	12
2.2 高速钢刀具材料的分类及特点	15
2.2.1 低合金高速钢刀具材料	17
2.2.2 通用型高速钢刀具材料	18
2.2.3 高性能高速钢刀具材料	18
2.2.4 粉末冶金高速钢刀具材料	21
2.2.5 涂层高速钢刀具材料	23
2.3 高速钢刀具材料的性能	27
2.3.1 硬度及耐磨性	27
2.3.2 强度、韧性及耐热性	28
2.3.3 工艺性能	28
2.3.4 高速钢刀具材料的刃磨性	31
2.4 国内外高速钢刀具材料的牌号和选用	31
2.4.1 常用高速钢刀具材料牌号	31
2.4.2 高速钢刀具材料的合理选择	33
2.4.3 高速钢刀具切削不同材料的推荐工艺参数	35
第 3 章 硬质合金刀具材料	44
3.1 硬质合金刀具材料的分类和性能	44
3.1.1 硬质合金刀具材料的分类	44

3.1.2 硬质合金刀具材料的性能	45
3.2 典型的硬质合金刀具材料	47
3.2.1 碳化钨基硬质合金	48
3.2.2 碳(氮)化钛基硬质合金(金属陶瓷)	49
3.2.3 添加 TaC (NbC) 的硬质合金	53
3.2.4 超细晶粒硬质合金	54
3.3 硬质合金刀具牌号、性能及应用范围	58
3.3.1 硬质合金刀具牌号汇总	58
3.3.2 各厂商硬质合金刀具牌号及性能	58
3.3.3 硬质合金刀具材料的应用范围	73
3.4 硬质合金刀具的选用	85
3.5 硬质合金切削应用实例	88
3.5.1 切削高强度钢	88
3.5.2 切削铸铁	89
3.5.3 切削中低硬度钢	91
3.5.4 切削高温合金	96
3.5.5 切削其它金属材料	97
3.5.6 切削非金属工程结构材料	99
3.5.7 国内外厂家硬质合金刀具的应用实例	103
第4章 涂层刀具材料	116
4.1 涂层刀具材料概述和种类	116
4.1.1 涂层刀具材料概述	116
4.1.2 涂层刀具材料的种类	117
4.2 刀具涂层材料的制备、特性和软硬类型	121
4.2.1 概述	121
4.2.2 刀具材料涂层的制备方法	121
4.2.3 涂层材料和基体材料	122
4.2.4 刀具涂层材料的软硬类型	124
4.3 涂层刀具材料牌号	130
4.3.1 各国涂层刀具牌号汇总	130
4.3.2 各主要公司涂层刀具牌号、材料及性能	132
4.4 涂层刀具材料的选用	139
4.4.1 涂层刀具的应用范围	139
4.4.2 各主要公司涂层刀具的切削参数	163
4.4.3 各主要公司涂层刀具的应用实例	179
第5章 陶瓷刀具材料	197
5.1 陶瓷刀具材料的种类和性能	197

5.1.1 概述	197
5.1.2 氧化铝陶瓷刀具材料	198
5.1.3 氮化硅陶瓷刀具材料	199
5.2 氧化铝基陶瓷刀具材料	200
5.2.1 纯氧化铝陶瓷	200
5.2.2 氧化铝-金属系陶瓷	205
5.2.3 氧化铝-碳化物陶瓷	206
5.2.4 氧化铝-碳化物金属陶瓷	208
5.2.5 氧化铝-氮化物金属陶瓷	208
5.2.6 碳化硅晶须增韧氧化铝陶瓷	209
5.3 氮化硅基陶瓷刀具材料	209
5.3.1 含烧结助剂的氮化硅陶瓷	210
5.3.2 塞隆 (SiAlON) 陶瓷	212
5.3.3 氮化硅复合陶瓷	214
5.4 陶瓷刀具材料的牌号及性能	214
5.5 陶瓷刀具材料的选用	223
5.5.1 陶瓷刀具适合加工的工件材料	223
5.5.2 陶瓷刀具对机床和被加工零件的要求	232
5.5.3 陶瓷刀具几何参数的选择	234
5.5.4 陶瓷刀具切削用量的选择	236
5.5.5 陶瓷刀具的刃磨	257
5.6 陶瓷刀具材料的应用实例	257
5.6.1 陶瓷刀具加工铸铁的应用实例	257
5.6.2 陶瓷刀具加工钢件、高温合金的应用实例	264
5.6.3 陶瓷刀具加工其它材料的应用实例	268
第6章 金刚石刀具材料	270
6.1 金刚石刀具材料的种类、性能 and 特点	270
6.1.1 金刚石刀具材料的种类	270
6.1.2 金刚石刀具材料的性能 and 特点	274
6.2 金刚石刀具材料的牌号	276
6.3 金刚石刀具材料的选用	282
6.3.1 金刚石刀具适合加工的工件材料	282
6.3.2 金刚石刀具几何角度的选择	292
6.3.3 金刚石刀具切削参数的选择	292
6.3.4 金刚石刀具的刃磨	302
6.4 金刚石刀具材料的应用实例	303
6.4.1 金刚石刀具加工铝及铝合金的应用实例	303

6.4.2 金刚石刀具加工铜合金的应用实例	308
6.4.3 金刚石刀具加工钛合金、硬质合金及其它金属材料的应用实例	309
6.4.4 金刚石刀具加工非金属材料的应用实例	310
6.4.5 金刚石刀具用于超精加工的应用实例	313
第7章 立方氮化硼刀具材料	314
7.1 立方氮化硼刀具材料的种类、性能 and 特点	314
7.1.1 立方氮化硼刀具材料的种类	314
7.1.2 立方氮化硼刀具材料的性能 and 特点	316
7.2 立方氮化硼刀具材料的牌号	319
7.3 立方氮化硼刀具材料的选用	328
7.3.1 立方氮化硼适合加工的工件材料	328
7.3.2 立方氮化硼刀具材料组成的选择	335
7.3.3 立方氮化硼刀具材料切削参数的选择	337
7.3.4 立方氮化硼刀具材料几何角度的选择	352
7.3.5 立方氮化硼刀具材料切削液的选择	353
7.4 立方氮化硼刀具材料的应用实例	355
7.4.1 立方氮化硼刀具加工淬硬钢的应用实例	355
7.4.2 立方氮化硼刀具加工铸铁的应用实例	360
7.4.3 立方氮化硼刀具加工烧结合金的应用实例	365
7.4.4 立方氮化硼刀具加工热喷涂（焊）层的应用实例	366
7.4.5 立方氮化硼刀具加工硬质合金的应用实例	367
7.4.6 立方氮化硼刀具加工其它金属材料的应用实例	368
附录 金属材料牌号对照表	370
参考文献	381

第 1 章 绪 论

1.1 刀具材料在切削加工中的重要性

在人类文明发展的历史长河中，刀具材料的进步起到了非常重要的作用。在原始社会就有人把坚硬的石刃紧固在木把上制成石刃木把刀具。在奴隶社会，青铜材料的出现让刀具性能大大提高，同时也开发出更多种类的刀具，如青铜锉、青铜锯等。铁材料的开发成功使人类的发展进入历史快车道，铁制刀具大大提高了人类的加工能力，改善了人们的生活方式，同时也促使社会进步。工具钢的出现揭开了现代金属加工的序幕。高速钢的广泛应用掀起了切削加工的高速发展。而硬质合金材料和超硬材料的开发成功直接驱使现代金属加工业进入黄金时代，同时也为人类进入现代化社会生活奠定了物质基础。因此，英国科学家 K. P. Oakley 指出：人类是随着新的切削刀具材料的发明而逐渐进步的。

在现代机械加工中，切削加工是基本而又可靠的精密加工手段，在汽车、摩托车、航空航天、模具、机床、电子等各种现代产业中起着重要的作用。据统计，切削加工的劳动量约占全部机械制造劳动量的 30%~40%，约 70% 的各类零部件需要切削刀具来加工。在影响切削发展的诸多因素中，刀具材料起着决定性作用。这是因为刀具材料性能的好坏以及使用是否合理直接影响了刀具寿命的高低、刀具消耗和加工成本的多少、加工精度和表面质量优劣等。

新型刀具材料的出现以及不同刀具材料本身性能的改进，可以显著提高切削速度，从而使切削加工生产率大大提高。从表 1-1 中可以看出，在 80 多年的时间里，由于刀具材料的发展，切削加工生产率提高了 100 多倍。目前刀具材料的切削速度可达每分钟上千米乃至万米，可以进行所谓的高速切削，从而使切削效率提高 3 ~ 5 倍，加工成本可降低 20%~40%。

表 1-1 不同年代不同刀具切削中碳钢件所需的切削时间

工件材料	切削时间/min					
	1900 年碳素 工具钢	1910 年 高速钢	1930 年 硬质合金	1970 年涂层 硬质合金	20 世纪 70 年 代末陶瓷	20 世纪 80 年代初 多涂层硬质合金
直径为 100mm、长度 为 500mm 的中 碳钢件	105	26	6	2	<1	0.7

新型刀具材料可以提高零件的加工表面质量、加工精度和寿命。例如切削 TC6 钛合金时,聚晶金刚石(PCD)刀具与 YG6X 硬质合金刀具比较,加工表面粗糙度 Ra 为 $0.4 \sim 0.5 \mu\text{m}$,寿命提高 $1.5 \sim 2$ 倍。再比如采用 Si_3N_4 刀具切削 LD5 铝合金 ($\geq 95\text{HBW}$) 时,当 Si_3N_4 刀具的切削行程比 YW1 硬质合金刀具提高 3.37 倍时, Si_3N_4 刀具的磨损仅及 YW1 硬质合金刀具的 $1/10$,表面粗糙度 Ra 为 $0.2 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 。

在金属切削加工中,为了降低切削温度,改善加工过程的摩擦磨损状态,提高工件的表面质量,延长刀具的使用寿命,常常使用切削液。然而,切削液的使用会带来诸如制造成本增加、严重污染环境、直接危害操作工人的身体健康等一些问题。干式切削就是一种为了保护环境 and 降低成本而有意识地在机械加工中减少或完全停止使用切削液的加工方法,能使企业经济效益和社会效益协调优化地发展。干切削技术已成为金属切削加工发展的趋势。干切削技术的实施要求刀具材料应具备更高的耐热性和热韧性,良好的耐热冲击性、抗粘接性及高的耐磨性。从 20 世纪 90 年代开始,国外对干切削技术进行了大量研究,高韧性和高硬度兼备的细颗粒硬质合金、涂层硬质合金、陶瓷及金属陶瓷、立方氮化硼(CBN)、聚晶金刚石(PCD)等刀具材料已应用于实际生产,取得了一定的社会效益和经济效益。

由于刀具材料性能的提高,可以显著降低刀具材料的费用。表 1-2 所示为不同时期日本刀具材料费用占切削费用比重的情况。

表 1-2 不同时期日本刀具材料费用占切削费用比重的情况

时间	1945 年以前	1945—1955 年	1955—1965 年	1965—1975 年	1975—1985 年	1985—1995 年
刀具材料主流	高速钢	硬质合金	可转位刀具	涂层硬质合金	第四代涂层硬质合金	第五代涂层硬质合金
刀具材料费用占切削费用比重(%)	50	40	20 ~ 30	5 ~ 10	1 ~ 2	< 1

1.2 刀具材料发展史

刀具材料的发展历史,实际上就是不断提高刀具材料耐热性的过程。18 世纪中叶,在欧洲出现了工业革命以后,采用碳素工具钢制造车刀,其成分与现代的 T10、T12 相近。碳素工具钢有较高的硬度,切削刃能够磨得很锋利,但只能承受 $200 \sim 250^\circ\text{C}$ 的切削温度,加工普通钢材时的切削速度为 $5 \sim 8\text{m/min}$,切削铸铁的速度为 $3 \sim 5\text{m/min}$,故切削效率很低。用碳素工具钢车刀镗削瓦特蒸汽机的一个大气缸的孔和端面用去 27.5 个工作日。1861 年,英国罗伯特·墨希特(Robert Mushet)发明了含钨的合金工具钢。最初的高速钢 $w(\text{W})$ 为 8%, $w(\text{Cr})$ 为 3.6%,能承受 350°C 的切削温度,切削速度可提高到 $8 \sim 12\text{m/min}$ 。1898 年,美国机械工

程师泰勒 (Winslow Taylor) 和冶金工程师怀特 (Maun White) 研制成功了高速钢, 其化学成分 (质量分数) 为: C0.67%、W18.91%、Cr5.47%、Mn0.11%、V0.29%, 其余为 Fe, 能承受较高的切削温度, 切削普通钢材, 可采用 25 ~ 30m/min 的切削速度。从 1900 年至 1920 年, 出现了添加 V 和 Co 的高速钢, 使其耐热性提高到 500 ~ 600℃, 同时还出现了铸造钴基合金, 加工钢的切削速度达到了 30 ~ 40m/min, 切削铸铁的速度达到了 15 ~ 20m/min。高速钢的出现, 引起了金属切削的革命大大提高了金属切削的生产率, 使美国和世界各国的机械制造业得到迅速发展, 并取得了巨大的经济效益。一百多年来人们对这种材料的性能一直进行着孜孜不倦的改进 (现代高速钢切削钢材的速度可达 40m/min 以上)。直至今日, 高速钢还是金属切削业中不可缺少的刀具材料。

随着人类生产水平的提高, 高速钢刀具已不能满足高加工效率和高加工质量的要求。特别是用高速钢刀具来加工镍基合金、模具钢等材料时, 其加工速度和寿命让人感到无法忍受。1925 年德国人史律太尔发明了硬质合金。德国 Krupp 公司于 1926 年获得此专利并开始开发、推广。由于其出色的硬度, 当时就把公司冠名为 “WIDIA”-Wie Diamant (德语, 意为 “硬似金刚石”)。其成分 (质量分数) 为: 94% WC + 6% Co。最初研制的 WC-Co 合金的耐热性达到了 800℃, 加工铸铁的效果很好, 切削速度可提高到 40m/min 以上, 但加工钢时的寿命很低。到了 1931 年, 发明了 WC-TiC-Co 合金, 其耐热性达到了 900℃ 以上, 加工钢时的切削速度达到了 220m/min。第二次世界大战期间, 由于大批量、高效率生产兵器的需要, 美、英、苏、德各国已部分使用硬质合金刀具, 二战后逐步扩大使用。其后出现了添加熔点更高的 TaC、NbC 而制成的 WC-TiC-TaC (NbC)-Co 合金。20 世纪 50 年代末出现了以 TiC 为基本成分的 TiC-Ni-Mo 合金, 其耐热性达到了 1000 ~ 1100℃ 以上, 因而切削速度可进一步提高。1968 年前后开发的涂层硬质合金刀具将耐热性提高到 1000 ~ 1200℃ 以上, 促使切削加工水平和能力向前迈进了一大步。

20 世纪 50 年代初, 我国从原苏联少量引进硬质合金, 替代高速钢刀具在生产中的应用。其后在原苏联援助下, 我国建设了株洲硬质合金厂。后又自力更生, 建成了自贡硬质合金厂。

经过国人半个世纪的努力, 目前生产硬质合金材料的厂家已经很多。我国硬质合金材料的产量已居世界之首, 成为名副其实的生产大国, 但遗憾的是, 我们还不是硬质合金生产强国。在高端硬质合金领域, 如二孔、三孔的螺旋内冷棒料、超细晶粒和纳米晶粒棒料及特殊用途的硬质合金材料方面, 我们几乎全部依赖进口。

硬质合金材料的出现与发展, 进一步完成了从高速钢开始的金属切削革命, 并使切削速度和效率有了跳跃性的提高, 所以被称为 “刀具技术的第一次革命”。

20 世纪后半期, 工件材料的力学性能不断提高, 产品的品种和批量逐渐增多, 加工精度的要求日益提高, 工件的结构和形状不断复杂化和多样化, 对刀具提出了

更新、更高的要求，硬质合金刀具在这些新的要求中发挥了重大作用。而且硬质合金本身也有发展，出现了许多新品种，其性能不断提高。但硬质合金较脆，韧性不足，可加工性远远低于高速钢，开始时只能用于车刀和铣刀，后扩大到其它刀具，但不能用于所有的刀具。正因如此，高速钢由于能制造各种类型的刀具，始终占领着很大的份额。而高速钢也发展了很多新品种，切削性能比起初的普通高速钢有了很大提高。时至今日，高速钢和硬质合金仍是用得最多的两种刀具材料，硬质合金稍过半数。经过半个世纪，硬质合金竟然占领了如此广阔的阵地，是人们在当初所预料不到的。

由于硬质合金刀具仍不能满足现代高硬度工件材料的超精密加工的要求，于是更新的刀具材料不断涌现。1938 年德国古萨公司首先取得了陶瓷刀具的专利。但陶瓷真正作为刀具商品出售时是在 20 世纪 50 年代中期。这个时期的陶瓷刀具主要是氧化铝陶瓷（所谓的白陶瓷），耐热性在 1200℃ 以上。随后在 20 世纪 60 年代又研制成功了综合性能更好的 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ 混合陶瓷（黑陶瓷），耐热性在 1100℃ 以上。1981 出现了氮化硅陶瓷刀具，耐热性高达 1300 ~ 1400℃。陶瓷刀具在近几年有很大发展，应用也越来越广。利用陶瓷刀具加工钢、铸铁、淬硬钢、高锰钢和镍基高温合金时，刀具寿命可比硬质合金长几倍。然而，陶瓷与硬质合金相比，尽管其硬度稍高于硬质合金，但其强度、韧性和可加工性的不足毕竟会影响陶瓷刀具的未来发展前景。

金刚石是人类已经发现的最硬的物质，其硬度达 10000HV。1954 年美国通用电气公司采用高温高压的方法成功地合成了人造金刚石。1964 年美国 GE 公司首次申请了以某些金属添加剂使金刚石之间产生结合的美国专利。1966 年，英国 De Beers 公司用金属作粘结剂制成了金刚石聚晶。但一般认为（GE 公司 1970 年公布），1972 ~ 1973 年正式生产的 Compax 具有划时代的意义。自此以后，聚晶金刚石得到了快速的发展。人造金刚石刀具主要用于加工有色金属和非金属，如铝、高硅铝合金、铜、锰、镁、铅、钛等有色金属和硬纸板、木材、陶瓷、玻璃、玻璃纤维、花岗岩、石墨、尼纶、强化塑料等耐磨非金属材料。例如，用金刚石刀片加工玻璃纤维时，其寿命比硬质合金刀片要提高 150 倍。

立方氮化硼是硬度仅次于金刚石的第二种人造超硬材料，其硬度为 8000 ~ 9000HV，耐热性高达 1300 ~ 1500℃。立方氮化硼于 1957 年合成成功，1970 年烧结成可作为刀具使用的烧结块。立方氮化硼最适合于加工各种硬度在 45HRC 以上的淬硬钢（碳素钢、轴承钢、模具钢、高速钢等）和高温合金。

综上所述，在 20 世纪，刀具材料发展的速度比过去快得多。百花齐放，推陈出新，令人眼花缭乱，目不暇接。其品种、类型、数量和性能均比过去有大幅度的发展和提高，推动着人类物质文明迅速前进。20 世纪前半、后半时期分别是高速钢、硬质合金大发展的年代。近 50 年中，硬质合金不断提高自身的切削性能，发

展了许多新品种,从高速钢的领域中占领了大片阵地,成为当前用量超过一半的刀具材料。目前,二者共占有 90% 以上的刀具市场份额。可以预计,硬质合金的使用范围将进一步扩大;高速钢凭借其综合性能的优势,仍将占有一定的传统阵地。由于资源、价格和性能的原因,陶瓷材料亦将得到发展,代替一部分硬质合金刀具。随着镁铝合金等材料的广泛应用,超硬刀具的份额将会不断提高。

1.3 刀具材料应具备的性能

在切削过程中,刀具的切削部分要承受很大的压力、摩擦、冲击和很高的切削热,因此刀具材料应具备如表 1-3 所示的性能。

表 1-3 刀具材料应具备的性能

性 能	描 述
高硬度	刀具材料的硬度必须高于被加工工件材料的硬度,以使刀具在高温、高压下仍能保持刀具锋利的几何形状。常温下,刀具材料的硬度都在 62HRC 以上
足够的强度和韧性	刀具切削部分的材料在切削时要承受很大的切削力和冲击力,因此刀具材料必须要有足够的强度和韧性,一般用刀具材料的抗弯强度 σ_{bb} 表示它的强度大小,用冲击韧度 α_k 表示其韧性的大小。它们反映刀具材料抵抗脆性断裂和崩刃的能力
高耐磨性和耐热性	刀具材料的耐磨性是指抵抗磨损的能力,一般来说,刀具材料的硬度越高,耐磨性越好;耐热性通常用材料在高温下保持较高硬度的性能来衡量,即热硬性,耐热性越好,刀具材料在切削过程中抗变形和耐磨损的能力就越强
良好的导热性	刀具材料的导热性用热导率表示,热导率大导热性能好,切削时产生的热容易传出去,从而降低刀具切削部分的温度,减轻刀具的磨损,提高刀具材料耐热冲击和抗热龟裂的能力
良好的工艺性	刀具材料要有较好的可加工性,包括锻压、焊接、切削加工、热处理、可磨性等,以方便刀具的制造
经济性	价格便宜,容易推广使用,获得好的效益

1.4 常用刀具材料的性能及选用

1.4.1 常用刀具材料的性能

金属切削时,刀具切削部分直接和工件及切屑相接触,承受着很大的切削压力和冲击,并受到工件及切屑的剧烈摩擦,产生很高的切削温度。因此刀具材料的切削性能直接影响着生产效率、工件的加工精度、加工表面质量和刀具消耗以及加工成本。目前,使用的刀具材料主要有碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、硬质合金、涂层材料、陶瓷材料、金刚石、立方氮化硼等。刀具材料的牌号多达上千种,

每种刀具材料,甚至特定牌号的刀具材料都有其特定的加工范围,只能适应一定的工件材料、一定的切削参数、一定的切削条件,如表 1-4 所示。万能的刀具材料是不存在的。因此,刀具材料的合理使用是成功的关键。

表 1-4 常用刀具材料的组成、性能与应用

刀具材料	组 成	性能与应用
碳素工具钢	$w(\text{C})0.7\% \sim 1.3\%$	硬度: 61 ~ 65HRC, 热硬性: 200 ~ 250℃, 切削速度: 0.1 ~ 0.2m/s。淬火后易变形和开裂, 适用于简单、低速的手工工具, 如锉刀、锯条、刮刀等
合金工具钢	碳素工具钢中加入适量的铬(Cr)、钨(W)、锰(Mn)、硅(Si)等合金元素, 提高材料的热硬性、耐磨性和韧性	硬度: 61 ~ 65HRC, 热硬性: 300 ~ 350℃, 切削速度: 0.25 ~ 0.3m/s。淬火变形小、淬透性好。常用于制造形状较复杂、低速加工和要求热处理变形小的刀具, 如丝锥、板牙等
高速钢	钢中加入铬(Cr)、钨(W)、钒(V)、钼(Mo)等合金元素的高合金工具钢	淬火硬度: 63 ~ 67HRC, 热硬性: 500 ~ 600℃, 允许切削速度: 40m/min。高速钢较高的抗弯强度和冲击韧度, 热处理变形小, 刃磨性能好, 常用于制造各种形状复杂的成形刀具和精加工刀具, 如钻头、铰刀、铣刀、拉刀、齿轮刀具等
M 类硬质合金	TiC + TaC(NbC)	有较好抗弯强度、冲击韧度、抗氧化能力、耐磨性、高温硬度, 适于加工长切屑或短切屑的黑色金属材料(如钢、铸钢、不锈钢、灰铸铁)、有色金属等。常用牌号有: M10、M20、M30、M40 等。数字越大, 耐磨性越低而韧性越高, 精加工选用 M10; 半精加工选用 M20; 粗加工选用 M30
K 类硬质合金	WC + Co	韧性较好, 抗弯强度较高, 热硬性稍差, 适于加工短切屑的黑色金属、有色金属及非金属材料, 如淬硬钢、铸铁、铜铝合金、塑料等。代号有: K01、K10、K20、K30、K40 等。数字越大, Co 含量越多, 耐磨性越低而韧性越高。精加工可用 K01; 半精加工可用 K10、K20; 粗加工选用 K30、K40
P 类硬质合金	WC + TiC + Co	由于加入了 TiC, 耐磨性及耐热性比 K 类硬质合金更高, 但相应的含 Co 量减少, 韧性较差, 适于加工长切屑的黑色金属, 如钢、铸钢等。常用牌号有: P01、P10、P20、P30、P40、P50 等。数字越大, TiC 的含量越多, 耐热性和耐磨性越好, 但韧性越差。粗加工选用含 TiC 少的牌号(如 P01), 精加工可选用含 TiC 多的牌号(如 P50)
涂层刀具材料	在硬质合金或高速钢的基体上, 涂一层几微米(5 ~ 12μm)厚的高硬度、高耐磨性的金属化合物(如 TiC、TiN、Al ₂ O ₃ 等)	寿命比不涂层的至少提高 1 ~ 3 倍, 涂层高速钢刀具的寿命比不涂层的至少提高 2 ~ 10 倍。适用范围广

(续)

刀具材料	组 成	性能与应用
陶瓷	氧化铝基陶瓷: 一般在 Al_2O_3 基体中加入 TiC 、 WC 、 SiC 、 TaC 和 ZrO_2 等成分	硬度、耐磨性和耐热性好。硬度: 91 ~ 95HRA, 热硬性: 1200℃, 常用切削速度: 100 ~ 400m/min, 甚至可高达 750m/min, 切削效率比硬质合金提高 1 ~ 4 倍。与金属亲和力小, 不易粘刀, 加工表面光洁, 但抗弯强度低, 冲击韧度差。主要用于冷硬铸铁、高硬钢和高强钢等难加工材料的半精加工和精加工
	氮化硅基陶瓷: 用的是 $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiC} + \text{Co}$ 的氮化硅基复合陶瓷	韧性常高于 Al_2O_3 基陶瓷。硬度相当, 适合切削淬硬钢、高硬铸铁、一般铸铁
	含氮化硅-氧化铝陶瓷化学成分(质量分数)为: Si_3N_4 为 77%, Al_2O_3 为 13%, Y_2O_3 为 10%	硬度可达 1800HV, 抗弯强度可达 1.20GPa。最适宜切削高温合金与铸铁
聚晶金刚石 (PCD)	高温高压下将金刚石微粉聚合而成的多晶体材料	硬度可达 5000HV 以上(天然金刚石硬度为 10000HV), 耐磨性极好, 可切削极硬材料而长时间保持尺寸的稳定性, 刀具寿命比硬质合金高几十倍至三百倍; 韧性和抗弯强度差, 只有硬质合金的 1/4 左右; 热硬性差, 700 ~ 800℃, 不能在高温下切削; 与铁元素的亲和力很强, 不易加工黑色金属, 主要用于精加工有色金属及非金属, 如铝、铜及其合金、陶瓷、合成纤维、强化塑料和硬橡胶等
立方氮化硼 (CBN)	高温、高压下将氮化硼微粉聚合而成的多晶体材料	硬度达 8000 ~ 9000HV, 耐磨性好, 热硬性达 1200℃, 在 1200 ~ 1300℃ 高温下不与铁发生化学反应, 主要用于加工淬硬钢、耐磨铸铁、高温合金等难加工材料的半精加工和精加工

1.4.2 根据工件材料选用刀具材料

不同刀具材料适用的工件材料不同。表 1-5 列出了常用刀具材料可切削加工的主要工件材料。

表 1-5 常用刀具材料可切削加工的主要工件材料

工件材料 刀具材料		结构钢	合金钢	铸铁	淬火钢	冷硬铸铁	镍基高温合金	钛合金	铜铝等有色金属	非金属
高速钢		✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
硬质合金	P 类	✓	✓							
	M 类	✓	✓	✓			✓		✓	✓
	K 类			✓		✓	✓	✓	✓	✓
涂层硬质合金		✓	✓	✓						✓

(续)

工件材料 刀具材料	结构钢	合金钢	铸铁	淬火钢	冷硬铸铁	镍基高温合金	钛合金	铜铝等有色金属	非金属
陶瓷	√	√	√			√			
金刚石								√	√
立方氮化硼				√	√	√			

注：√表示适用材料。

1.4.3 刀具材料和刀具几何角度的选择原则

刀具材料和刀具几何角度对其使用范围、切削参数有很大的影响。必须综合考虑工件材料、刀具材料、加工过程、工艺系统的条件来选择刀具材料和刀具合适的几何角度。表 1-6 给出了刀具材料和刀具几何角度的选择原则。

表 1-6 刀具材料和刀具几何角度的选择原则

刀具角度	角度的作用	选择原则
前角	增大前角可使切削变形减小,使切削力、切削温度降低,也能抑制积屑瘤等现象,提高已加工表面的质量。但前角过大,会造成刀具楔角变小,刀头强度降低,散热体积变小,切削温度升高,刀具磨损加剧,刀具寿命降低	工件材料:加工塑性材料选大前角,加工脆性材料选小前角;材料的强度、硬度越高,前角越小,甚至为负值 高速钢刀具强度高、韧性好,可选较大前角;硬质合金刀具的硬度高、脆性大,应选较小的前角;陶瓷刀具脆性更大,不耐冲击,前角应更小。粗加工、断续切削选较小前角;精加工选较大前角 加工过程:精加工选用较大的前角;粗加工选用较小的前角 工艺系统:机床功率大、工艺系统刚度大,可选较小前角;机床功率小、工艺系统刚度低,可选较大的前角
后角	影响后面与已加工表面之间的摩擦。增大后角,可减小刀具后面的摩擦与磨损,楔角减小,切削刃锋利。但后角太小会使切削刃强度、散热能力、刀具寿命降低	工件材料:工件材料的塑性好、韧性好,容易产生加工硬化,选大后角可减小摩擦;工件材料的强度或硬度高时,选小后角可保证刀具刃口强度 加工过程:粗加工、强力切削及承受冲击载荷的刀具要求坚固,应选小后角;精加工刀具磨损主要发生在切削刃和后面,选大后角可以提高刀具寿命和工件的加工表面质量 工艺系统:工艺系统刚度低,切削时容易出现振动,应选小后角,以增大后面与加工表面的接触面积,增强刀具的阻尼作用。也可以在后面磨出刃带或消振棱,以提高工件的加工表面质量
主偏角	主偏角减小时刀尖角增大、刀尖强度提高、散热体积增大,同时参加切削的刃长增加,可减小因切入冲击而造成的刀具损坏,从而提高刀具寿命,还可使已加工表面的表面粗糙度减小。但减小主偏角会使背向力增高,易造成工件或刀杆弯曲变形,影响加工精度	工件材料:加工淬火钢等硬质材料时,选用较大主偏角 使用硬质合金刀具进行精加工时,应选用较大的主偏角 用于单件小批量生产的车刀,主偏角应选 45° 或 90°,以提高刀具的通用性 需要从工件中间切入的车刀,例如加工阶梯轴类的工件,应根据工件的形状选择主偏角 工艺系统刚度小时,选用大的主偏角

(续)

刀具角度	角度的作用	选择原则
副偏角	减小副切削刃与工件已加工表面间的摩擦。副偏角太大会使工件表面粗糙度增大,太小又会使背向力增大	在不引起振动的情况下,刀具应选用较小的副偏角 加工时刀具的副偏角应该选更小一些 工艺系统刚度低时宜选用较大的副偏角
刃倾角	控制切屑流出的方向,增加切削刃的锋利程度。延长切削刃参加工作的长度,保护刀尖,使切削过程平稳	粗加工刀具应选用刃倾角小于 0° ,使刀具具有良好的强度和散热条件;有冲击载荷时,为了保证刀尖强度,应尽量选用较大的刃倾角 精加工刀具应选用刃倾角大于 0° ,使切屑流向待加工表面,使切屑流向刀杆以免划伤已加工表面,以提高加工质量 断续切削应该选用刃倾角小于 0° ,以提高刀具强度 工艺系统的整体刚性较差时,应选用较大的刃倾角,以减小振动

1.4.4 切削用量选择原则

切削用量是指切削速度、进给量及背吃刀量三个切削要素。切削用量的大小对切削力、切削功率、刀具磨损、加工质量和加工成本均有显著影响。合理选择切削用量与提高劳动生产率、提高加工质量及经济性有着密切的关系。加工中选择切削用量时,就是在保证加工质量和刀具寿命的前提下,充分发挥机床性能和刀具切削性能,使切削效率最高,加工成本最低。切削用量各要素的选择原则如表 1-7 所示。

表 1-7 切削用量各要素的选择原则

切削用量要素	选择原则
切削速度	刀具材料的耐热性好,切削速度可高些 工件材料的强度、硬度高,或塑性太大和太小,切削速度均应取低些 加工带外皮的工作时,应适当降低切削速度 要求得到较小的表面粗糙度时,切削速度应避开积屑瘤的产生速度范围;对硬质合金刀具可取较高的切削速度,对高速钢刀具可采用低速切削 断续切削时,应取较低的切削速度 工艺系统刚性较差时,切削速度应适当降低 在切削速度最后确定前,应验算机床的功率是否足够
进给量	粗切时,加工表面粗糙度要求不高,进给量主要受刀杆、刀片、工件及机床的强度和刚度所能承受的切削力的限制 半精切及精切时,进给量主要受表面粗糙度要求的限制,刀具的副偏角越小,刀尖圆弧半径越大,切削速度越高,工件材料的强度越大,则进给量可越大
背吃刀量	在留下精加工及半精加工的余量后,粗加工应尽可能将剩下的余量一次切除,以减少走刀次数 如果工件余量过大,或机床动力不足而不能将余量一次切除,也应将第一次走刀的背吃刀量尽可能取大些 当冲击负荷较大(如断线切削时)或工艺系统刚性较差时,应适当减小背吃刀量

1.4.5 不同刀具材料切削液的选用

在切削加工中，常常使用切削液来降低切削温度、改善加工过程的摩擦磨损状态、提高工件的表面质量，延长刀具的使用寿命。不同刀具材料在不同切削条件下对切削液有不同的要求。不同刀具材料切削液的选用见表 1-8。

表 1-8 不同刀具材料切削液的选用

刀 具 材 料	切削液的选用
工具钢	耐热性能差,要求冷却液的冷却效果要好,一般采用乳化液为宜
高速钢	进行低速和中速切削时,建议采用油基切削液或乳化液。在高速切削时,由于发热量大,以采用水基切削液为宜。若使用油基切削液会产生较多油雾,污染环境,而且容易造成工件烧伤,加工质量下降,刀具磨损增大
硬质合金	在选用切削液时,一般油基切削液的热传导性能较差,使刀具产生骤冷的危险性要比水基切削液小,所以一般选用含有抗磨添加剂的油基切削液为宜。在使用切削液进行切削时,要注意均匀地冷却刀具,在开始切削之前,最好预先用切削液冷却刀具。对于高速切削,要用大流量切削液喷淋切削区,以免造成刀具受热不均匀而产生崩刃,亦可减少由于温度过高产生蒸发而形成的油烟污染
陶瓷	一般采用干切削,但考虑到均匀的冷却和避免温度过高,也常使用水基切削液
金刚石	一般使用干切削。为避免温度过高,许多情况下也像陶瓷材料一样,采用水基切削液
立方氮化硼	干切削