

刀具材料的历史、进展与展望*

于启勋

(北京理工大学机械与车辆工程学院 北京 100081)

朱正芳

(株洲电力机械技术公司)

摘要：论述了刀具和刀具材料在人类历史发展中所起的重要作用。回顾了早期机械制造中曾经用过的刀具材料。重点阐述了现代刀具材料(高速钢、硬质合金、陶瓷、超硬材料)的化学成分、制造方法、切削性能和应用范围。对 21 世纪中刀具材料的发展动向也作出了预测与展望。

关键词：刀具 刀具材料 切削加工

中图分类号：TG711

0 前言

刀具材料的发展在人类的生活、生产中有着很大的重要性。在古代，“刀”和“火”是两项最伟大的发明，它们的发明和应用是人类登上历史舞台的重要标志。刀具材料的进步曾推动着人类社会文化和物质文明的发展。例如，在人类历史中曾有过旧石器时代、新石器时代、青铜器时代和铁器时代等。

材料、结构和几何形状是决定刀具切削性能的三要素。其中，刀具材料的性能起着关键作用。20 世纪是刀具材料大发展的历史时期。各种难加工材料的出现和应用，先进制造系统、超高速切削、超精密加工、绿色制造的发展和付诸实用，都对刀具提出了更高、更新的要求，预计，在今后很长时期内，切削加工工艺不会衰退，刀具和刀具材料将有更新的发展。

下面将详述刀具材料的历史、进展与展望。

1 刀具材料的发展历史

用石料或铜合金来作为刀具材料，那是古代的事。18 世纪中叶，在欧洲出现了工业革命以后，切削刀具一直是用碳素工具钢制造，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 200~250 的切削温度，用以切削普通钢材只能用 5~8 m/min 的切削速度，故切削效率很低。1865 年，英国罗伯特·墨希特(Robert Mushet)发明了合金工具钢，其牌号有 9CrSi、CrWMn 等，能承受 350 的切削温度，切削速度可提高到 8~12 m/min。随着机器生产规模

的扩大，对加工效率的要求日益提高，上述两种工具钢材料的性能已不敷要求。1898 年，美国机械工程师泰勒(F. W. Taylor)和冶金工程师怀特(M. White)发明了高速钢。当时的成分是：C0.67%，W18.91%，Cr5.47%，Mn0.11%，V0.29%，Fe 余量。它能承受 550~600 的切削温度，切削普通钢材，可采用 25~30 m/min 的切削速度。高速钢的出现，使切削速度和切削效率比碳素工具钢、合金工具钢分别提高了 4 倍和 2.5 倍以上。从 19 世纪末到 20 世纪初，高速钢曾使切削水平出现了一个飞跃，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。

随着人类生活、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新要求。人们寻求性能更高的新型刀具材料。20 世纪 20 年代中期到 30 年代初，出现了钨钴类和钨钛钴类硬质合金。硬质合金常温硬度达 89~93 HRA，能承受 800~900 以上的切削温度，切削速度为高速刀具的 3~5 倍，因而逐渐得到应用。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。解放后，我国从苏联引进少量硬质合金。20 世纪 50 年代中期以后，开始自行生产并广泛使用。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，后扩大到其他刀具，但不能用于所有的刀具。正因如此，高速钢能制造任何类型的刀具，始终占领着很大的阵地。而高速钢也发展了很多新品种，切削性能比起初的

* 纪念《机械工程学报》创刊 50 周年——“机械工程技术的历史、进展与展望”主题征文。20030630 收到初稿，20031025 收到修改稿

普通高速钢有了很大提高。到近年,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。

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相继出现。20世纪30年代出现了氧化铝陶瓷,后来又有氮化硅陶瓷。到50年代和60年代又制造出人造立方氮化硼和人造聚晶金刚石,它们的硬度大幅度地高于其他刀具材料。陶瓷的硬度稍高于硬质合金,但其韧性和可加工性则逊于硬质合金。

综上所述,20世纪中,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,推动着人类物质文明迅速前进。

2 刀具材料的化学成分

古代人类所用的刀具材料多为天然物质,如石材、天然金刚石等,甚至还用过陨铁。到现代,绝大多数刀具材料使用人造的材料,可保证大量供应,并使质地均匀、可靠。

纵观各种刀具材料,除人造金刚石的原料为石墨(碳元素)外,其他品种都离不开碳化物、氮化物、氧化物和硼化物。这些化合物都具有高硬度、高熔点、高弹性模量(见表1~4),这正是刀具材料所需要的性质。

表1 各种碳化物的性质^[1,2]

碳化物	TiC	ZrC	HfC	VC	TaC	NbC	WC
性质							
密度 $r/(g \cdot cm^{-3})$	4.85~4.93	6.44~6.90	12.20~12.70	5.36~5.77	14.48~14.65	7.82	15.60~15.70
熔点 /	3 180~3 250	3 175~3 540	3 885~3 890	2 810~2 865	3 740~3 880	3 500~3 800	2 627~2 900
硬度 HV	2 900~3 200	2 600	2 533~3 202	2 800	1 800	2 400	2 400
弹性模量 E/GPa	316~448	323~489	433	260~274	371~389	344	536~721

碳化物	MO ₂ C	B ₄ C	SiC	Cr ₃ C ₂	Cr ₇ C ₃	Cr ₂₃ C ₆	Fe ₃ C
性质							
密度 $r/(g \cdot cm^{-3})$	8.9	2.50~2.54	3.21~3.22	6.68	6.92	6.97~6.99	-
熔点 /	2 690	2 350~2 470	2 200~2 700 分解	1 895	1 782	1 518	1 650
硬度 HV	1 500	2 400~3 700	3 000~3 500	1 800	1 882	1 663	860
弹性模量 E/GPa	544	295~458	345~422	380	-	-	-

表2 各种氮化物的性质^[1,2]

氮化物	TiN	ZrN	HfN	VN	TaN	NbN	Nb ₂ N
性质							
密度 $r/(g \cdot cm^{-3})$	5.44	7.35	13.94	6.08	14.1	8.26~8.40	8.33
熔点 /	2 900~3 220	2 930~2 980	3 300~3 307	2 050~2 360	2980~3360	2 050	2 420
硬度 HV	1 800~2 100	1 400~1 600	1 500~1 700	1 500	1 060	1 400	1 720
弹性模量 E/GPa	616	-	-	-	587	493	-

氮化物	BN(立方)	Si ₃ N ₄	AlN	CrN	Cr ₂ N	MO ₂ N	WN
性质							
密度 $r/(g \cdot cm^{-3})$	3.48~3.49	3.18~3.19	3.25~3.30	6.10	6.51	8.04	-
熔点 /	2 720~3 000 分解	1 900 分解	2 200~2 300 分解	1 500	-	-	800
硬度 HV	7 000~8 000	2 670~3 260	1 225~1 230	1 000~1 188	1 522~1 629	630	-
弹性模量 E/GPa	720	470	281~352	-	-	-	-

表3 各种氧化物的性质^[1,2]

氧化物	TiO ₂	ZrO ₂	HfO ₂	V ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	WO ₃	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃
性质									
密度 $r/(g \cdot cm^{-3})$	4.24	6.27	9.68	3.36	8.73	4.95	6.47	3.97	5.21
熔点 /	1 855~1 885	2 900	2 780~2 790	670~685	1 755~1 815	1 470~1 510	1 473~2 130	2 050	2 309~2 359
硬度 HV	1 000	1 300~1 500	940~1 100	-	890~1 290	726	-	2 300~2 700	2 915
弹性模量 E/GPa	240~290	250	-	-	-	-	-	370	-

表4 各种硼化物的性质^[1,2]

硼化物	TiB ₂	ZrB ₂	HfB ₂	VB ₂	TaB ₂	NbB ₂	W ₂ B ₅	CrB ₂	FeB	Fe ₂ B
性质										
密度 $r/(g \cdot cm^{-3})$	4.38	6.17	10.50	5.06~5.28	12.38	6.97	11.0	5.22	7.15	7.34
熔点 /	2 790	3 200	3 250	2 400	3 037	3 000	2 370	2 200	1 650	1 410
硬度 HV	3 310~3 430	2 230~2 274	400~3 400	2 797~2 813	460~2 540	2 600	2 650~2 675	2 020~2 180	1 600~1 700	1 290~1 390
弹性模量 E/GPa	540	350	-	273	262	650	790	215	350	290

如碳素工具钢,其主要成分是 Fe₃C,合金工具

钢中有复合碳化物,如合金渗碳体(Fe,Cr)₃C等。高

速钢中有更多的复合碳化物。硬质合金的硬质相主要为 WC 和 TiC, 但经常加入 Ta、Nb 等元素而形成复合的固溶体, 且须用 Co、Ni 等为粘结材料。陶瓷的基体材料常用 Al_2O_3 和 Si_3N_4 , 但又加入了碳化物、其他氧化物和氮化物, 甚至硼化物。立方氮化硼则是一种非金属的氮化物。

在刀具材料中, 碳化物用得最多。各种金属碳化物分 1 型、2 型、3 型、6 型、7 型和 23 型等, 即 MC(如 TiC、ZrC 等)、 M_2C (如 Mo_2C 等)、 M_3C (如 Cr_3C_2 、 Fe_3C 等)、 M_6C (如 $Fe_3(W, Mo)_3C_6$ 等)、 M_7C (如 Cr_7C_3 等)和 $M_{23}C$ (如 $Cr_{23}C_6$ 等)。各型碳化物的生成, 均遵循一定规律。它们也可形成复合碳化物, 但其物理、力学性质难以查到确切的数据。

碳化物、氮化物、氧化物和硼化物的种类如此众多, 在刀具材料的研制和使用中发挥了很大作用。但已被用上并为人们所熟知的还只是其中的少数, 多数未付诸应用, 这一情况从表 1~4 中可以看出。因此, 人们在研制新刀具材料时, 在化学组分上尚有选择余地和很大潜力可挖。当然, 表中所列的化合物并非都有用上可能, 因为不能仅考虑物质的性能, 还应顾及资源、价格和工艺等因素。

3 现代刀具材料

本节介绍当代新发展起来的和尚在广泛应用着的刀具材料。

3.1 高速钢

在现代切削加工中, 高速钢的性能已不够先进, 但因其稳定性好, 能接受成形加工, 故能用以制造各种刀具。在刀具材料总消耗量中高速钢几近一半。传统的普通高速钢以 W18Cr4V 和 W6Mo5Cr4V2 为代表。在钨系高速钢中, 除 MC、 M_2C 、 $M_{23}C$ 外, M_6C 是其主要的碳化物, 即 Fe_3W_3C 和 Fe_4W_2C 。在钨钼系高速钢中, M_6C 为 $Fe_3(W, Mo)_3C$ 和 $Fe_4(W, Mo)_2C$ 。所有的高速钢中, 铬质量分数均保持在 3.5%~4.5%, 它是增大高速钢淬透性的主要元素。在钢中形成 $Cr_{23}C_6$ 。钒质量分数增加, 钢的耐磨性随之提高, 但使刀具接受刃磨困难, 且脆性增加。钒的碳化物为 VC 与 V_4C_3 。含 V 1%~2% 的高速钢用得最多; V>3% 者用得较少, 且忌作形状复杂的刀具。加入钴元素后, 可形成超硬高速钢。钴不形成碳化物, 但能提高淬火温度, 增强二次硬化效果, 提高高温硬度。美国的 M_{42} (110W1.5Mo9.5Cr4VCo8) 和瑞典的 HSP-15(W9Mo3Cr4VCo10) 都是性能优良的高钴超硬高速钢。中国缺钴资源, 钴价昂贵。因而研制了无钴或少钴的超硬高速钢。Co5Si(W12Mo

3Cr4V3Co5Si) 是属于少钴者, 501(W6Mo5Cr4V2Al)、V3N(W12Mo3Cr4V3N) 属于无钴者, 新研制的 Co3N(W12Mo3Cr4VCo3N) 亦为少钴, 性能都不错。铝元素在钢中能生成 Al_2O_3 、AlN; 且起钉扎作用, 阻止位错, 从而提高了材料的硬度和强度。中国在发展无钴、少钴超硬高速钢方面, 做出了较大贡献。

用粉末冶金方法制造高速钢, 可消除碳化物偏析, 提高钢的硬度和韧性, 钒质量分数高时亦能较好地刃磨。粉末高速钢的切削性能优于熔炼高速钢。国内掌握这方面的技术。国外有粉末高速钢产品, 钒质量分数高达 6%~8%。

在高速钢的基体上, 用物理气相沉积(PVD)法涂覆耐磨材料薄层(一般用 TiN), 可显著提高刀具寿命和加工表面质量, 降低切削力。这种涂层高速钢刀具已得到广泛应用。

3.2 硬质合金

硬质合金是碳化物(WC、TiC 等)的粉末冶金制品。通常分为: 切削铸铁的钨钴系列(K 类, YG 类), 切削钢材的钨钛钴系列(P 类, YT 类), 还有通用系列(M 类, YW 类)。新型硬质合金有下列 6 类。

(1) 添加 TaC 和 NbC 的硬质合金 添加后能有效地提高常温硬度、高温强度和高温硬度, 细化晶粒, 提高抗扩散和抗氧化的能力。此外, 还能增强抗塑性变形的能力。在合金中形成(W, Ta, Nb)C 固溶体, 其化学稳定性高于 WC 和 TiC。在新型 P、M、K 类硬质合金中, 很多是添加了 TaC、NbC 的。

(2) 细晶粒和超细晶粒硬质合金 晶粒细化后可提高合金的硬度和耐磨性, 适当增加钨质量分数后还可以提高抗弯强度。普通刀具牌号和合金平均晶粒尺寸为 2~3 μm , 细晶粒合金为 1~2 μm , 亚微细晶粒合金为 0.5~1 μm , 超细晶粒合金为 0.5 μm 以下。早先的细晶粒和超细晶粒结构多用于 K 类合金, 近年来 P 类、M 类合金也向细化晶粒的方向发展。我国硬质合金刀具已达细晶粒和亚微细晶粒的水平。

(3) TiC 基和 Ti(C, N)基硬质合金 在 YT、YG、YW 合金中, WC 是主要成分, 其质量分数达 65%~97%, 并以 Co 为粘结剂, TiC 基合金则以 TiC 为主要成分, 占 60%~80% 以上, 仅含少量 WC, 以 Ni-Mo 作粘结剂。与 WC 基合金相比, TiC 基合金的密度小, 硬度更高, 切削钢材时摩擦因数小, 抗粘结对抗扩散的能力较强, 但其韧性的抗塑变的能力稍弱。Ti(C, N)基合金具有与 TiC 基合金相同的优点, 但其韧性和抗塑变能力高于 TiC 基合金。这类合金多用以加工未淬火的钢材。

(4) 添加稀土元素的硬质合金 添加少量铈、

钷等稀土元素，可以有效地提高合金的韧性与抗弯强度，耐磨性亦有一定提高。这是因为稀土元素强化了硬质相和粘结相，净化了晶界，并改善了碳化物固溶体对粘结相的湿润性。这类合金最适用于粗加工刀具牌号，亦可用于半精加工牌号；在矿山工具、顶锤、拉丝模用硬质合金中亦有广阔发展前景。我国稀土元素资源丰富，在硬质合金中添加稀土的研究有所领先。P、M、K类合金都已研制出添加稀土的牌号。

(5) 表面涂层硬质合金 用CVD或PVD等方法，在硬质合金刀片表面上涂覆TiC、TiN、Ti(C, N)、Al₂O₃等薄层，形成涂层硬质合金。非涂层硬质合金的力学、物理性能是硬质相和粘结相的综合性能，故其硬度和耐磨性低于硬质相自身的性能。而涂层硬质合金的表面硬度和耐磨性完全反映TiC等涂层材料自身的性能，故可提高刀具寿命和加工效率，降低切削力，提高已加工表面质量。近20年来，涂层硬质合金刀具有了很大发展，在工业先进国家已在可转位刀具中占50%~60%以上。涂层硬质合金的基体仍为WC基的硬质合金，要求有较高的韧性。随着基体的不同，这类合金可作P类、M类或K类硬质合金使用，且适用范围较宽。

(6) 梯度硬质合金 这是近年来发展起来的新品种，各层成分可根据需要加以调节。

3.3 陶瓷

陶瓷刀具材料分为3类。

(1) 氧化铝基陶瓷 一般在Al₂O₃基体中加入TiC、WC、SiC、TaC和ZrO₂等成分，经热压制成复合陶瓷。硬度达93~95HRA，抗弯强度达0.7~0.9GPa。为提高韧性，常添加少量的Co、Ni等金属。

(2) 氮化硅基陶瓷 常用的是Si₃N₄+TiC+Co的氮化硅基复合陶瓷，其韧性常高于Al₂O₃基陶瓷。硬度相当。

(3) 复合氮化硅—氧化铝陶瓷 其化学成分约为Si₃N₄77%，Al₂O₃13%，Y₂O₃10%，硬度可达1800HV，抗弯强度可达1.20GPa。这种陶瓷称赛阿龙(Sialon)，最适宜切削高温合金与铸铁。

陶瓷的高温性能优于硬质合金，故适合用于高速切削。Al₂O₃基和Si₃N₄基复合陶瓷都适合切削淬硬钢、高硬铸铁及一般铸铁；Al₂O₃基复合陶瓷亦能有效地切削未淬硬钢料，而Si₃N₄基陶瓷切削一般钢材出长屑时迅速磨损。

3.4 超硬刀具材料

超硬材料是指金刚石和立方氮化硼(CBN)。它们的硬度比其他刀具材料高出好几倍。金刚石是自然界中最硬的物质，CBN的硬度仅次于金刚石。近

年来，超硬刀具材料发展迅速。

金刚石刀具材料分为5类。

(1) 天然金刚石(ND)。

(2) 人造聚晶金刚石(PCD)。以石墨为原料，经高温高压制成。

(3) 人造聚晶金刚石复合片(PCD/CC)。以硬质合金为基底，制造方法与PCD相同。

(4) 金刚石薄膜涂层刀具(CD)。用CVD工艺，在刀具表面涂覆一层约10~25μm的薄膜。

(5) 金刚石厚膜刀具(TFD)。亦采用CVD工艺，在另一基体上涂出0.2mm以上的厚膜，再将厚膜切割成一定的大小，然后焊在硬质合金刀片上使用。

ND的结晶各向异性，在进行刀磨的使用时必须选导适宜的方向。人造金刚石各向同性，其硬度低于ND，但强度与韧性高于ND。

金刚石刀具能够有效地加工非铁金属材料和非金属材料，如铜、铝等有色金属及其合金、陶瓷、硬质合金、各种纤维和颗粒加强复合材料、塑料、橡胶、石墨、玻璃和木材等，但金刚石忌切钢铁及其他铁族金属。

TFD有很好的综合性能，它兼有天然金刚石和人造聚晶金刚石的优点，与基底结合牢固，便于多次重磨，故有良好的应用价值和发展前景。

CBN的制造方法与PCD或PCD/CC相似。以六方氮化硼为原料，经高温高压制成聚晶CBN或复合片CBN/CC。CBN主要用于加工淬硬钢、高硬铸铁及其他硬金属与非金属材料。用硬质合金或陶瓷刀具切削某些硬脆材料，寿命很短，或根本不能胜任，而超硬材料对之则轻而易举。金刚石刀具能对有色金属实行超精密切削，是其独到之处。

4 刀具材料与工件材料的匹配

刀具、工件两方面材料的力学、物理和化学性能必须得到合理的匹配，切削过程方能正常进行，并获得正常的刀具寿命；否则，刀具就可能会急剧磨损，刀具寿命很短。例如，硬度高的工件材料，就必须用更硬的刀具来加工；高速钢刀具硬度不够，不能用来切削淬硬钢和冷硬铸铁，硬质合金和陶瓷刀具则能胜任，CBN刀具更佳。加工硬脆材料，不仅要求刀具有很高的硬度，还要求有高的弹性模量，否则刃部难以支撑。用硬质合金刀具加工淬硬钢及其它硬脆材料，必须采用弹性模量较高(WC成分较多)的K类或M类牌号。以上是力学性能的匹配。不仅考虑刀具材料的常温力学性能，还应考虑其高温性能。

在加工导热性差的工件时,应采用导热性较好的工具,以使切削热得以传出。从而降低切削温度。这是物理性能匹配的例子。

工件、刀具双方材料中的化学元素如有容易化合、相互发生化学作用或扩散作用者,应设法回避。例如,含钛的金属材料——钛合金、高温合金、奥氏体不锈钢等,不能用含钛元素的刀具进行切削。也就是说,P类硬质合金、TiC基与Ti(C,N)基硬质合金、涂层硬质合金(多数涂层材料含钛)均不能使用;应采用K类硬质合金或高速钢。凡加工塑性材料出长切屑且与前刀面发生摩擦者,应特别注意刀—屑双方元素的相互扩散,故加工非淬硬钢材应当采用P类硬质合金或 Al_2O_3 基陶瓷,而不能采用K类合金与 Si_3N_4 基陶瓷。金刚石在600~700以上时将转化为石墨,Fe元素将起催化作用而加速这种转化,故金刚石刀具不能加工钢铁材料。CBN最适合加工钢铁,但只能进行干切削,水基切削液在高温下将使CBN分解。这些是化学性能匹配的例子。化学作用在低温条件下一般进行缓慢,高温下加剧。机械、物理、化学作用有时是综合影响而且是相互关联的,对它们的规律尤其是对化学作用的机理尚认识不够深入,有待进一步研究。

5 结论

工件与刀具双方交替进展、相互促进,成为切削技术不断向前发展的历史规律。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刀具材料,这是当年人们所未能估计到的。预计到21世纪,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。然而,由于陶瓷的切削性能与硬质合金相比,差距不是那么巨大,加上其强度、韧性和可加工性的不足,未来陶瓷刀具的发展不会像过去硬质合金替代高速钢那样迅猛。超硬材料将得到更多的应用。新刀具材料的研制周期会越来越短,新品种、新牌号的推出将越来越快。在刀具材料发展中,硬度、耐磨性与强度、韧性难以兼顾仍是主要矛盾。有可能在21世纪中研制出既具有高速钢、硬质合金的强度和韧性,又具有超硬材料的硬度和耐磨性

的刀具材料。各种涂层刀具和复合结构都能在一定程度上克服上述矛盾,故极有发展前景。在未来,刀具材料将接受工件一方及制造系统更新、更严峻的挑战。新品种的出现、各自所占比重的变化以及它们相互竞争和相互补充的局面,将成为未来刀具材料发展的特点。

目前,碳化物、氮化物、氧化物和硼化物是刀具材料的主体成分。用石墨合成为人造聚晶金刚石已跳出了这个圈子。近年武汉大学采用RF-PECVD法在麻花钻上涂覆 C_3N_4 薄膜,膜的硬度接近超硬材料,钻头使用寿命大为提高^[5]。在21世纪里,刀具材料将有出人意料将的新的飞跃发展。

参 考 文 献

- 1 章守华. 合金钢. 北京:冶金工业出版社,1981
- 2 冲猛雄. 表面改? 技? の? 向. 热? 理,1987,27(5): 259~260
- 3 吴敏镜. 趣谈金刚石. 惯性世界,1997(1):23~26
- 4 韩荣第,于启勋. 难加工材料切削加工. 北京:机械工业出版社,1996
- 5 吴大雄,何孟兵,范炜,等. RF-PECVD法合成氮化碳超硬薄膜及其在麻花钻上的应用. 工具技术,1997(增刊): 188~192

HISTORY PROGRESS AND PROSPECT OF CUTTING TOOL MATERIALS

Yu Qixun

(Beijing Institute of Technology)

Zhu Zhengfang

(Zhuzhou Electric Power Machinery & Technology Co.)

Abstract: The important role of cutting tool and tool material in the human's history is expounded. The tool materials used in the early stage are looked back. The chemical contents, manufacturing methods, cutting performances and application area of modern tool materials (high speed steel, cemented carbide, ceramics, superhard materials) are expounded. The development trend of new tool materials in the coming century also be calculated and prospected.

Key words: Cutting tool Tool material Cutting process

作者简介:于启勋,男,1930年出生,教授,中国高校切削与先进制造技术研究会副理事长。主要研究方向为机械制造与机械加工。