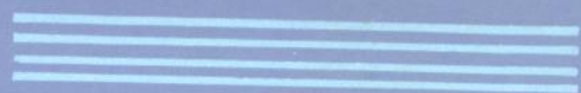


(第二版)

肖诗纲 编

刀具材料及其 合理选择



机械工业出版社



刀 具 材 料 及 其 合 理 选 择

(第二版)

肖诗纲 编



机 械 工 业 出 版 社

全书共分七章，系统地介绍了高速钢、硬质合金、涂层刀具、切削陶瓷、超硬刀具材料及磨具材料的化学成分、物理机械性能及切削性能，并详细阐述了它们的适用范围、选择要点及其应用实例。书末附有一些主要国家的刀具材料对比资料

本书可供从事刀具设计、制造及使用方面的工程技术人员及大专院校师生参考。

刀具材料及其合理选择

(第二版)

肖诗纲 编

责任编辑：温莉芳 责任校对：申春香

封面设计：刘代 版式设计：胡金瑛

责任印制：张俊民

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₁₆ 印张 37¹/₂ · 字数 924千字

1981年8月北京第一版

1990年4月北京第二版·1990年4月北京第二次印刷

印数 11,401—13,080 · 定价：26.90元

ISBN-7-111-01226-7/TG·311

前 言

“刀具材料及其合理选择”一书初版于1981年问世。在完成该书稿(1979年)至今的七八年间,国内外刀具材料的发展都极为迅速,很多新的刀具材料不断出现,并且迅速得到实际应用。涂层硬质合金的品种越来越多,从单涂层发展到多达13层,使用范围不断扩大,几种牌号的涂层刀片就可加工大多数的钢铁材料。涂层高速钢刀具以更快的速度发展和应用,它已有效地用于钻头、铣刀、丝锥、拉刀、齿轮刀具等各种刀具中,即使经过重磨后,也有明显的效果。氧化铝-碳化钛混合陶瓷、氮化硅-氧化铝陶瓷(Sialon)、氧化铝-碳化硅晶须、氧化铝-氧化锆等各种陶瓷的研制成功,大大提高了陶瓷刀具的物理机械性能,扩大了陶瓷刀具的使用范围,有效地用于加工冷硬铸铁和淬硬钢等高硬度材料。在硬质合金基底上烧结一层金刚石或立方氮化硼做成的复合刀片使这些超硬材料刀具更容易在生产中推广使用。

新刀具材料的出现不仅大大提高了刀具耐用度和切削加工生产率,提高了加工精度和表面质量,而且解决了许多难加工材料的加工问题,可用切削加工代替以前使用的磨削加工,大大提高了诸如耐热合金、热喷涂(焊)材料、高硬度淬火材料的切削生产率。

鉴于刀具材料在切削加工中的重要作用,为加强学生对这部分内容的掌握与扩大,机械制造(冷加工)类教材编审委员会刀具编审组1984年5月第三次编委会上决定由原编者对本书第一版进行补充修改,使之既适于作机械制造专业学生的教学参考书,又适于工程技术人员使用参考,并委托编委、山东工业大学艾兴教授审阅。

本书在改编时,体系作了较大变动。每一类刀具材料都是先介绍它们的分类,再综合分析这类刀具材料的性能特点,以加强对其规律性的认识,最后详细介绍这类刀具材料做成的各种刀具在切削不同材料时的效果。为使一些新型刀具材料能在工厂中有成效的使用和获得良好的经济效益,书中收集整理了大量国内外推广使用中的实例。为节约篇幅及便于阅读,大部分举例均以表格形式编排。

本书与第一版比较,下列内容作了大幅度修改与扩充:

1. 粉末冶金高速钢用于齿轮刀具、铣刀、拉刀、丝锥等刀具的加工效果;
2. 添加TiN的TiCN基硬质合金的性能特点及加工领域的扩大;
3. 涂层硬质合金及涂层高速钢内容作了大幅度扩展,并列为一章专门介绍,增加了许多单、双涂层及多涂层硬质合金刀具的切削效果,特别是各类涂层高速钢刀具(齿轮刀具、拉刀、丝锥、铣刀、钻头)的最近发展成果内容;
4. 各类复合陶瓷,如 Al_2O_3-TiC 、 $Si_3N_4-Al_2O_3$ 、 Si_3N_4-TiC 、 $Al_2O_3-ZrO_2$ 等陶瓷的性能特点和加工不同工件材料时的效果;
5. 复合超硬刀具材料、特别是复合立方氮化硼刀具在加工淬硬钢、硬铸铁、高温合金、热喷涂(焊)材料方面及复合金刚石刀具在加工有色金属和非金属材料方面加工领域扩大的实例。

与上一版比较,内容增加较多的部分有:

1. 国产新牌号高速钢(包括通用高速钢和高性能高速钢)的性能及用途;

2. 国产含TaC (NbC) 的硬质合金新牌号的性能及适用范围;
3. 国产超细晶粒硬质合金新牌号的性能及适用范围;
4. 国产 Al_2O_3 -TiC混合陶瓷新牌号的性能及适用范围;
5. 一些特殊用途的刀具材料, 如铣削用硬质合金及陶瓷, 加工高温合金的刀具材料, 加工热喷涂(焊)件用的刀具材料等。

与初版比较, 本书修订版中删掉较多内容有碳素工具钢、合金工具钢、高速钢的热处理及化学热处理; 钢结硬质合金, 强化粘结相的硬质合金、铸造硬质合金等, 以及附录中国外高速钢及硬质合金的成分及性能等表格。

在本书编写过程中, 承蒙成都工具研究所、郑州磨料、磨具、磨削研究所、株州硬质合金厂、自贡硬质合金厂、上海硬质合金厂、北方工具厂、贵州第六砂轮厂、成都新都机械厂、山东工业大学、清华大学、北京工业学院等单位提供许多宝贵资料。

本书第一版及这次修订版均承艾兴教授审阅, 提出了许多宝贵意见。

对刀具教材编审组及以上单位的同志们的支持和帮助, 作者表示衷心的感谢。

由于作者的水平不高, 收集资料不全, 缺点和错误在所难免, 诚恳地希望读者批评指正。

作者 1987年

目 录

前言

第一章 概述	1
一、切削加工与刀具材料	1
二、刀具的工作条件及对刀具材料的要求	4
三、常用刀具材料的种类	6
四、不同刀具材料的基本性能分析	8
五、刀具材料的发展简史	13
六、各类刀具材料的发展简况	15
七、新型刀具材料的发展趋势	27
第二章 高速钢	30
第一节 概述	30
第二节 高速钢的性能分析	34
一、硬度	34
二、强度和韧性	37
三、耐热性(热稳定性)	38
四、导热性	40
五、磨削性	41
第三节 通用型高速钢	43
一、钨系高速钢	43
二、钨钼系和钼系高速钢	45
第四节 高性能高速钢	49
一、高碳高速钢	49
二、钴高速钢	51
三、高钒高速钢	55
四、高钒含钴高速钢	59
五、超硬高速钢	61
六、金属间化合物强化高速钢	76
第五节 高速钢刀具牌号的选择	78
第六节 粉末冶金高速钢	83
一、粉末冶金高速钢的性能特点	83
二、几种牌号粉末冶金高速钢的性能	91
三、粉末冶金高速钢刀具的切削性能及效果	93
第三章 硬质合金	106
第一节 概述	106
一、硬质合金的特点	106
二、国际标准化组织(ISO)规定的硬质合金分类和其性能介绍	108
三、我国硬质合金的分类	111

第二节 碳化钨基硬质合金的性能分析	112
一、硬度	112
二、强度	114
三、韧性	119
四、导热性	121
五、粘结性	121
六、耐热性	122
七、化学稳定性	125
第三节 碳化钨基硬质合金的用途	126
一、WC-Co硬质合金	126
二、WC-TiC-Co硬质合金	128
三、WC-TaC(NbC)-Co硬质合金	132
四、WC-TiC-TaC(NbC)-Co硬质合金	145
五、铣削用硬质合金	156
第四节 碳(氮)化钛基硬质合金	164
一、碳(氮)化钛基硬质合金的特点	164
二、碳(氮)化钛基硬质合金的牌号及切削性能	175
第五节 超细晶粒硬质合金	204
一、超细晶粒硬质合金的特点	204
二、几种国产超细晶粒硬质合金的切削性能	207
三、超细晶粒硬质合金的用途	214
第四章 涂层刀具	227
第一节 概述	227
第二节 涂层工艺	233
一、涂层方法	233
二、涂层物质	236
三、涂层硬质合金刀具的基体	243
四、涂层硬质合金的 η 相中间层及刀片强度	248
五、涂层厚度	249
第三节 单涂层硬质合金刀具的切削性能	256
一、TiC涂层刀具	256
二、TiN涂层刀具	262
三、 Al_2O_3 涂层刀具	266
四、其他单涂层硬质合金刀具	270
五、碳氮化物固溶体涂层刀具	274
第四节 双涂层、三涂层及多涂层的组合涂层硬质合金刀具	276
一、双涂层硬质合金刀具	276
二、三涂层硬质合金刀具	282
三、多涂层硬质合金刀具	290
四、铣削用涂层硬质合金刀具	292
第五节 涂层高速钢刀具	301
一、概述	301

二、涂层高速钢刀具的切削性能	103
第五章 陶瓷刀具材料	327
第一节 概述	327
一、刀具陶瓷的种类	327
二、氧化铝基陶瓷刀具的性能特点	333
三、陶瓷刀具材料性能提高的主要方法	338
第二节 陶瓷刀具的切削性能	349
一、加工铸铁	349
二、加工钢	353
三、加工其他材料	360
第三节 陶瓷刀具的应用范围	361
一、用于高硬度材料加工	362
二、用于大件加工	363
三、用于高精度零件加工	363
第四节 几种氧化铝基陶瓷介绍	367
一、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Zr}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC-ZrO}_2$ 陶瓷	367
二、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiB}_2$ 陶瓷	369
三、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC}$ 陶瓷	370
四、氧化铝-氮化物-金属陶瓷	370
五、碳化硅晶须增强的氧化铝组合陶瓷	371
第五节 氮化硅基陶瓷刀具材料	372
一、氮化硅基陶瓷的性能特点	372
二、氮化硅基陶瓷刀具的切削性能	378
三、几种氮化硅基陶瓷介绍	386
第六节 其他陶瓷材料	404
第六章 超硬刀具材料	407
第一节 金刚石刀具	407
一、金刚石刀具的种类	407
二、金刚石刀具的特点及应用范围	412
三、加工不同材料时金刚石刀具的切削性能	420
第二节 立方氮化硼刀具	434
一、立方氮化硼刀具的种类	434
二、立方氮化硼刀具的特点及应用范围	442
三、加工不同材料时立方氮化硼刀具的切削性能	446
第七章 磨具	477
第一节 概述	477
第二节 砂轮的特性及其选择	480
一、磨料及其选择	480
二、粒度及其选择	489
三、结合剂及其选择	495
四、砂轮硬度及其选择	498
五、砂轮组织及其选择	506

六、砂轮的形状和尺寸	501
七、刃磨刀具时砂轮特性的选择	504
第三节 金刚石磨轮	514
一、金刚石磨轮的使用效果和适用范围	514
二、金刚石磨轮的特性选择	523
三、金刚石磨轮的合理使用	531
第四节 立方氮化硼磨轮	536
一、立方氮化硼磨轮的使用效果	536
二、立方氮化硼磨轮的适用范围	544
三、立方氮化硼磨轮的特性选择及合理使用	552
第五节 提高磨削效率的途径——砂轮特性的合理选择	557
一、提高磨削生产率措施	557
二、减小加工表面粗糙度的措施	563
三、减少磨削烧伤和裂纹的措施	565
附录	566
附表1 常用硬度及强度对照表	566
附表2 各国标准高速钢牌号、化学成分对照表	572
附表3 各国硬质合金牌号近似对照表	576
附表4 一些国家的陶瓷刀具牌号对照表	586
附表5 各国磨具特性对照表	587
参考资料	590

第一章 概 述

一、切削加工与刀具材料

在金属机械加工中,切削加工是最基本而又可靠的精密加工手段,在机械、电机、电子等各种现代产业部门中都起着重要的作用。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%的各种零部件需用切削刀具来加工。

统计数字表明,1957年美国金属加工部门切下的切屑约占该年钢产量(1亿吨)的10~15%。1975年,美国机械制造和金属加工业共产生金属废屑1530万吨,相当于美国当年钢产量的13%。日本1972年产生的金属废屑为1100万吨,1973年苏联产生的金属废屑达1510万吨。这些废屑中,约有40%是用刀具从毛坯上切削下来的。现在世界钢产量为7亿吨,据联合国国际研究中心预测,到本世纪末世界钢产量可达17~19亿吨,那时将会有2亿吨钢要被刀具切掉。随着机器和装备的功率、容量、负载、耐温耐压等特性指标的提高,机器的零部件尺寸和重量也相应增大,从毛坯上切除的金属量也增加。例如,一根20万kW发电机转子轴,净重30吨,而锻件毛坯为60~70吨,即要切去30~40吨金属;加工一个模数40、直径12m的大齿轮,要切除金属15吨。

至于飞机上的零件,则切削加工量更大,差不多有80%的材料要被切削掉。

近年来,虽然少、无切屑加工有较快的发展,然而用于金属切削加工的耗费仍是很大的。例如,1971年,美国切削加工费用为400亿美元,1974年,增加到600亿美元。据Metcut研究协会粗略计算,1980年美国用于金属切削加工的总费用约为1150亿美元,仅用于切削刀具及切削液的费用就高达39亿美元。近五年来切削加工费用比五年前还稍有增加,估计每年的切削加工费用大约为1250亿美元。根据佛洛斯托·萨里邦公司预测,美国工具厂1985年金属切削工具产值将从1981年的23亿美元增加到29亿美元,1990年将进一步上升为52亿美元。

我国拥有金属切削机床300万台左右,只以质量较好的90万台计算,若每小时台时费按1.8元计算,则每年消耗在切削加工上的费用达60亿元。

在决定切削加工效率的主要因素——机床、刀具、工件中,刀具是最活跃的因素。而刀具耐用度的高低、刀具消耗和加工成本的多少、加工精度和表面质量的优劣等等,在很大程度上都取决于刀具材料的合理选择。

新型刀具材料的采用可大大提高切削加工生产率。

几十年来,由于新型刀具材料的出现及不同刀具材料本身性能的改进,切削速度得以显著提高(见图1-1)。

根据国际生产工程研究学会(CIRP)资料,由于刀具材料的改进,允许的切削速度每隔十年几乎提高一倍;由于刀具结构和几何参数的改进,刀具耐用度每隔十年几乎提高两倍。

切削速度的提高无疑会大大提高切削加工生产率。

由图1-2可见,在车削直径100mm、长500mm的轴类零件时,1900年前,用碳素工具钢刀具切削加工,由于切削速度很低,加工工时约为100min;1910年,采用了高速钢车刀,切削时间为26min;1930年,采用了硬质合金车刀加工,工时减少到6min;到了70年代初,

用TiC涂层硬质合金刀具加工的工时为1.5min；70年代中期，用 Al_2O_3 涂层硬质合金刀具加工的工时进一步减少到1min；80年代初，采用多涂层硬质合金刀具加工则只需要0.7min。由此可见，由于刀具材料的改进，切削加工时间缩短了100多倍。

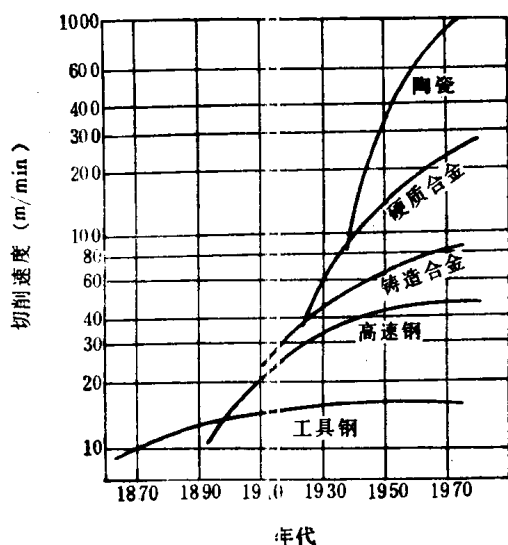


图1-1 历年来不同刀具材料切削速度的变化

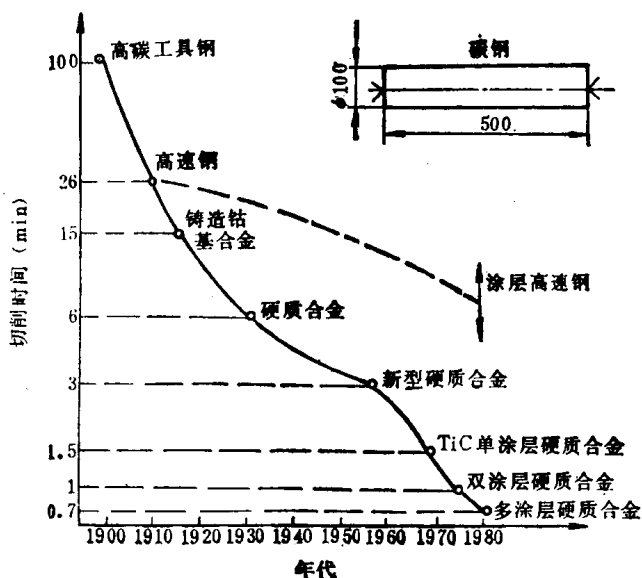


图1-2 历年来刀具材料的发展和切削加工生产率的提高

在齿轮加工中，由于普遍采用了涂层滚刀及高刚性大功率机床，与10年前相比，切削速度及进给量大约都提高了1倍。如汽车厂使用的滚齿速度由50~70m/min提高到80~120m/min，进给量由1.5~2mm/r提高到3~5mm/r。汽车用变速箱齿轮加工在过去的15年中，切削时间缩短为原来的1/10，加工周期也缩短为1/8。

新型刀具材料的采用可以提高零件的加工表面质量和加工精度。

图1-3为用不同刀具材料加工碳钢（25钢）时，加工表面粗糙度的比较。

在用金刚石刀具加工有色金属时，表面粗糙度可达 $Ra\ 0.012\sim 0.02\mu m$ 甚至更小。

用立方氮化硼刀具加工淬硬钢代替磨削加工时，可使工件表层产生残余压应力，这可提高零件的疲劳强度。

试验表明，如果在加工铝和铜等材料时，将切削速度从1m/min提高到1200m/min，切削加工硬化层的残余应力将减少90~

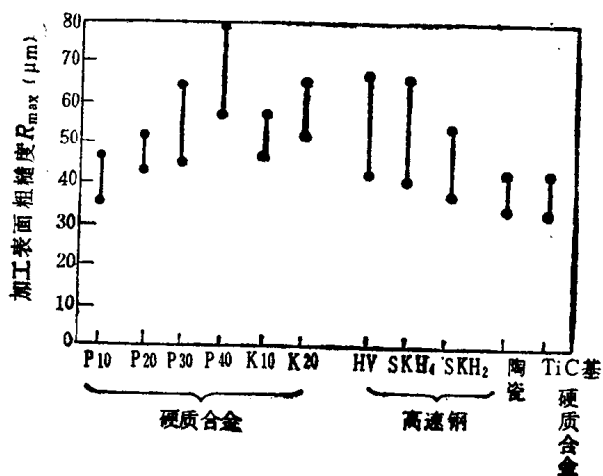


图1-3 各种刀具材料加工表面粗糙度比较

加工材料：S25C(25)碳钢

切削用量： $v=20m/min$ ， $a_p=0.5mm$ ， $f=0.4mm/r$

刀具角度： $\gamma_p=0$ ， $\gamma_f=0$ ， $\alpha_p=6^\circ$ ， $\alpha_f=6^\circ$ ， $\kappa_r=75^\circ$ ，

$\kappa'_p=0$ ， $r_s=0$

不用切削液

85%，硬化层的硬度将降低85~90%，加工硬化层塑性流动的分布深度将减少90%以上，其塑性流动将减少到可以忽略不计的程度。

新型刀具材料的采用可以降低刀具的费用。

据估计，在高速钢出现的最初几年里，美国的工程制造业，由于使用了价值2000万美元的高速钢，而增加了80亿美元的产值。

苏联由于采用人造金刚石和其他超硬材料工具，在第十个五年计划中获得1亿卢布的经济效益。

随着技术的发展，在过去20多年中，刀具费用在产品成本中所占的比重也有了显著的下降。例如，根据美国、瑞典、联邦德国、英国等国的资料统计，现今的刀具费用在一个典型零件成本中约占2~3%；而在50年代，刀具费用却占成本的8%（国外此项费用较低是因机床费用及工人工资较高）。

表1-1为不同时期日本由于所用刀具材料的改进刀具费用占切削费用比重的下降情况。

表1-1 不同时期日本所用刀具材料及刀具费用比率

时 间	1945年以前	1945~1955	1955~1965	1965~1975	1975~1985	1985~1995
时代特征		复兴时代	高成长时代	NC、MC时代	FMS时代	CIM时代
刀具材料主流	高速钢整体刀具	硬质合金钎焊刀具	可转位刀具（TA化）	仿形切削用涂层刀具	CBN、第四代涂层刀具	第五代涂层刀具
刀具费用占切削费用的%	50	40	20~30	5~10	1~2	<1

一些年来，金属切除量虽然在不断增加，但是工业部门，特别是汽车工业中硬质合金的消耗量却出现了下降的趋势（图1-4）。例如，1970~1974年间，随着生产的扩大，金属切除量增加了72%（例如由6500 t增加到11000 t），刀具费用也增加了18%，但刀具费用与金属切除量之比却下降了44%。

由于刀具切削性能的提高，使以金额或以件数计算的硬质合金刀具使用量大约减少了5~20%。美国切削刀具市场从1982年开始以不变价格计，已缩小到1968年的水平，用于切削的硬质合金占硬质合金总产量的比重有明显下降，1960~1974年占50%，1978~1979年占45%，1982~1984年占40%。

苏联在1965~1980年的15年中工具工业的高速钢和硬质合金消耗量几乎降低了50%，在1981~1985年的五年计划中又规定减少9~10%的刀具消耗量。

一般情况下，刀具相对于机床的价格是相当低的，但因刀具是易消耗件，故总的消耗费用也是不低的。据日本的一些统计，刀具产值约为机床产值的30%。对于有些复杂刀具，其成本也可能非常昂贵。例如，美国瓦列龙公司生产的切削部位数百处的复合刀具售价17万美元；美国在拉力为80 t、功率为186 kW的世界上最大的罐式拉床上用罐式拉刀加工一个 $\phi 400\text{mm}$ 的飞轮齿轮时，切削时间仅3 s，装卸时间为6 s，每小时可加工380件。设备价格为50万美元，其中拉刀为3.5~5万美元，拉刀刀夹为10万美元，其

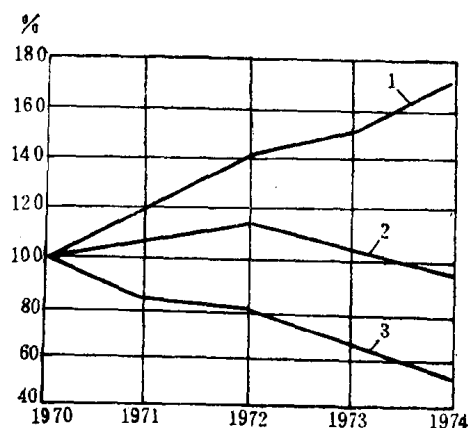


图1-4 金属切除量的增长(汽车行业)
1—金属切除率/年 2—硬质合金消耗量/年
3—硬质合金消耗量与金属切除量之比

余36.5万美元为机床价格。由此可见节约刀具费用的经济意义。

图1-5为1966~1980年期间由于刀具材料改进使切削速度及生产率提高和使成本降低的变化图。

新型刀具材料的采用还可扩大加工领域,改变传统的机械加工工艺。以前只能用磨削加工的淬硬钢、冷硬铸铁和喷涂(焊)层工件,现在可以用新型硬质合金和陶瓷刀具加工,还可用立方氮化硼刀具进行高速切削加工。

二、刀具的工作条件及对刀具材料的要求

切削工件时,刀具上受到很大的切削抗力。加工中碳钢的主切削力 F_z 可近似地用下述公式估算:

$$F_z = 2000a_p f \text{ (N)}$$

式中 a_p ——切削深度 (mm);
 f ——进给量 (mm/r)。

如在中型车床上粗加工时, $a_p = 5\text{mm}$ 、 $f = 0.4\text{mm/r}$, 则 $F_z = 4000\text{N}$; 如在重型车床上以 $a_p = 10\text{mm}$ 、 $f = 1\text{mm/r}$ 粗加工时, 则 $F_z = 20000\text{N}$ 。这样大的切削力作用在刀-屑接触面的很小一块面积上,因而会产生很大的应力。例如,切削结构钢时,在一般切削条件下,前刀面上的正应力大致为1500~4000MPa,切削高强度、高硬度难加工材料时,切削刃附近的正应力可高达5000MPa,这相当于5万个大气压。刀刃要能承受这么大的应力而不产生脆性破坏和塑性变形,刀具材料必须具有足够的强度。

在切削不均匀的加工余量或断续加工时(如刨、铣等),切削力常常周期性地由零变至最大,刀具受到很大的冲击负荷,切削时产生很大的振动,脆性大的刀具材料很容易产生崩刃和打刀,因此,要求刀具材料有足够的冲击韧性和疲劳强度。

切削金属时,被切削层金属在发生很剧烈变形后变成切屑,变形要产生大量的热。同时,切屑与前刀面、工件和后刀面不断摩擦,也要产生大量的热。这些变形和摩擦产生的热使切削区域产生很高的温度。图1-6是加工不同工件材料时的切削温度曲线。由图可知,当以切削速度 $v \geq 130\text{m/min}$ 加工45钢(正火)时,切削温度可能高达900℃左右;加工GH131高温合金时,即使 $v = 70\text{m/min}$,切削温度也可达950℃。刀具要在这样高的温度下工作,刀具材料就需要有高的耐热性。

金属切削过程中,刀具不断受到切屑和工件的摩擦,工件材料中的硬质点,包括碳化物(Fe_3C 、 TiC 、 VC 等)、氮化物(TiN 、 Si_3N_4 等)、氧化物(SiO_2 、 Al_2O_3 等)的硬度很高(可能达HV1500~3200),不断在刀具表面刻划出沟痕;切削时形成硬度较高的(HV1000~1300)金属间化合物 FeCr 、 CoCr 、 FeCrMo 等也对刀具起耕犁作用。工件材料硬度愈高,材料中的硬质点愈多,金属塑性变形时的冷作硬化(切屑和加工表面的硬度大于工件材料原来的硬度)愈严重,对刀具的机械摩擦和磨料磨损也愈剧烈。为了抵抗这样强烈的磨损,刀具

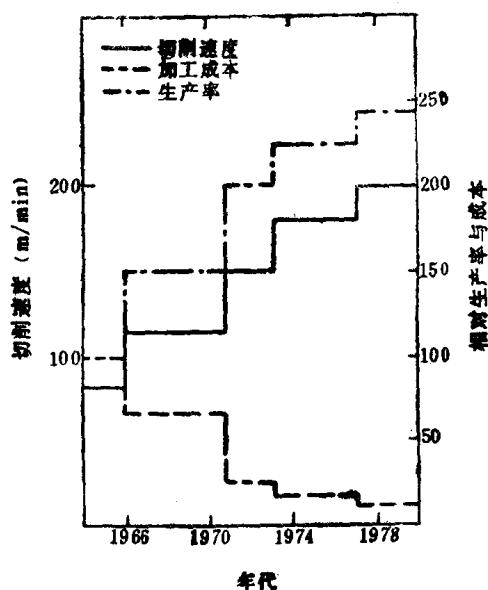


图1-5 车削钢轴时不同时期的切削速度、生产率和加工成本变化

材料必须具有高的耐磨料磨损性能。

切削时,切屑、工件与刀具表面之间由于摩擦而划破了油膜或吸附膜而形成新鲜表面接触,由于原子间的吸附作用(特别是刀具材料与工件材料的亲合力强时),它们之间会产生粘结。当这些粘结点撕裂时,粘结点的破裂虽然容易发生在硬度较低切屑和工件材料这一边,但是,由于刀具材料的脆性、表层组织常有的缺陷、交变应力和接触疲劳等原因,刀具的质点也可能被切屑和工件带走,而造成粘结磨损,在前刀面上产生月牙洼。刀具材料与工件材料的硬度差减小时,粘结点破裂处发生在刀具体内的可能性就增加。在切削中碳钢时,温度在300~400℃时的粘结比较严重。为了减少刀具的粘结磨损,要求刀具材料有较高的高温硬度和较高的抗粘结磨损能力。

切削时,刀刃处于不均匀的三轴压应力状态下,刀刃处的接触应力可能达4000MPa或更大,当应力超过刀具材料的弹性极限时,特别是在受热状态下,高速钢刀具可能会产生塑性变形(卷刃)和薄的表层的塑性流动,硬质合金中的粘结相钴也将发生塑性变形。弹性模量较低的硬质合金(如碳化钛基合金)容易产生这种现象,因而使刀具失去切削能力。为了防止刀刃因塑性变形和体积变形而引起磨损,刀具表面和刀体应尽可能硬。作为防止刀体变形的经验,刀具至少要比工件硬4.5倍,并且应有较高的耐热性。

断续切削(如铣削)时,在切削过程开始时约1s刀具要受到从室温至800℃的热冲击,在小于1/10s之内,刀具要受到从零载荷至满载荷的机械冲击,这种瞬间、反复的热冲击和机械冲击所形成的热应力和机械应力会造成刀具(特别是脆性材料的刀具)的裂纹和疲劳破坏。为适应这类加工的需要,刀具材料应有良好的耐热冲击性能(抗热震性能)。

材料的耐热冲击性能的指标为耐热冲击系数 R , R 的定义式为:

$$R = \frac{k\sigma_b(1-\mu)}{E \cdot \alpha} \quad (\text{W/m或cal/(cm} \cdot \text{s)})$$

式中 k ——导热系数;

σ_b ——抗拉强度;

μ ——泊松比;

E ——弹性模量;

α ——热膨胀系数。

刀具材料的导热系数和抗拉强度增加或弹性模量及热膨胀系数减小时,其耐热冲击性能则增加。

在很高的切削温度(例如700~800℃)时,工件上刚分离出来的新鲜表面化学活泼性很

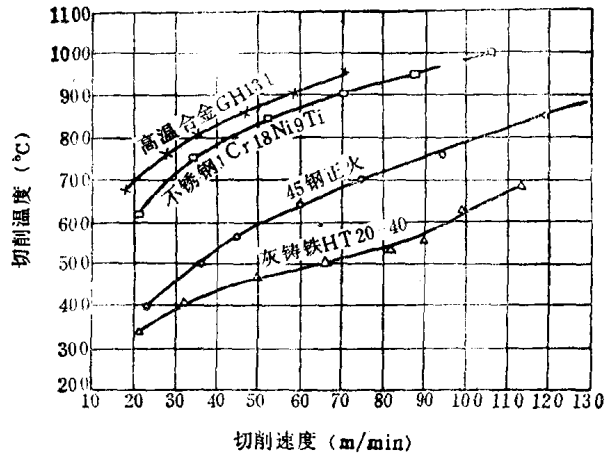


图1-6 加工不同工件材料时的切削温度曲线

刀具材料: 加工45钢, YT15; 加工其他材料, YG8

切削条件: $a_p=3\text{mm}$, $f=0.1\text{mm/r}$

刀具角度: $\gamma_0=15^\circ$, $\alpha_0=6^\circ \sim 8^\circ$, $\kappa_r=75^\circ$, $\lambda_s=0$,
 $\gamma_{01}=-10^\circ$, $b_{r1}=0.1\text{mm}$, $r_s=0.2\text{mm}$

强，易与刀具表层相互扩散。以硬质合金刀具加工钢为例，硬质合金中的钴、碳、钨、钛等元素会扩散到工件材料中，而工件材料中的铁则扩散到刀具材料中，使硬质合金表层组织发生变化，形成新的低硬度高脆性的复合碳化物，加速了刀具的磨损（扩散磨损）。在较高的切削速度下，扩散磨损常成为硬质合金刀具磨损的主要原因。硬质合金中的WC是由于化学反应分解成C和W，然后向被切削的Fe中扩散的，因此，要减少刀具的扩散磨损，刀具材料应有较高的化学稳定性。

切削温度很高时（700~800℃），空气中的氧与刀具中的钴、碳化钨、碳化钛等起化学作用，生成硬度较低、组织疏松的氧化物，如 Co_3O_4 、 CoO 、 WO_3 等，这会进一步促进机械磨损。要提高刀具的切削性能，应提高刀具材料的高温抗氧化能力。

切削时，在一定的温度作用下，刀具材料与周围某些介质（如空气中的氧、切削液中的极压添加剂硫、氯等）起化学作用，在刀具表面形成一层硬度较低的化合物，而被切屑带走，加速了刀具磨损（化学磨损），或者刀具材料被某种介质腐蚀而造成磨损。为减少这类磨损，刀具材料应有良好的化学稳定性。

为减小刀具的扩散、氧化和化学磨损，都需要材料有良好的化学稳定性。因此，刀具表面材料的化学稳定性及反应能力有时与其硬度和韧性具有同样的重要性。

从前面分析刀具的工作条件可以看出，刀具材料应具有较高的硬度和耐磨性，足够的强度和韧性，高的耐热性，良好的化学稳定性，较高的抗粘结、抗扩散、抗氧化性能，和较好的抗塑性变形性能和耐热冲击性能，其中前三项常常作为是刀具材料应具备的基本性能。

三、常用刀具材料的种类

1. 碳素工具钢

碳素工具钢是指含碳量为0.65~1.35%的优质高碳钢，最常用的牌号是T12A。这类钢由于耐热性很差（200~250℃），允许切削速度很低，只适宜做一些手动工具。

2. 合金工具钢

合金工具钢是指含铬、钨、硅、锰等合金元素的低合金钢种，最常用的牌号有9SiCr、CrWMn等。合金工具钢有较高的耐热性（300~400℃），可以允许较高的切削速度工作；此外，这类钢淬透性较好，热处理变形较小，耐磨性较好，因此可用于截面积较大、要求热处理变形较小、对耐磨性及韧性有一定要求的低速切削刀具，如板牙、丝锥、铰刀、拉刀等。

以上两类钢作为刀具材料的使用量都很少。

3. 高速钢

高速钢是一种加入了较多钨、钼、铬、钒等合金元素的高合金工具钢，常用的牌号有W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2等。高速钢具有优良的综合性能，是使用得较多的一种刀具材料。

4. 铸造钴基合金（斯太立特合金）

铸造钴基合金是一种含有1~3%碳和数量不等的钴、钨、铬、钒等成分的高钴基合金。常用成分为C1.8~3.0%、Co38~53%、Cr24~33%、W10~22%。这种材料具有高的耐热性（与高速钢比较）和抗弯强度（与硬质合金相比），其常温硬度虽不及高速钢，但高温硬度较高，故有较好的切削性能。铸造钴基合金适用于其切削速度对高速钢刀具来说太高，但对硬质合金刀具来说又太低的场合，例如在多刀加工的机床上使用特别有利（常常是一把刀支配其余刀具的切削速度）。

铸造钴基合金不象硬质合金那样容易崩刃，适于切槽和切断这样一些工序。它能够加工

多种金属和非金属工件，如铸铁和可锻铸铁、合金钢、不锈钢、镍和钛合金、铝、黄铜和青铜、石墨和塑料等。

这种合金美国用得较多一些。

5. 硬质合金

硬质合金是由难溶金属碳化物（WC、TiC等）和金属粘结剂（如Co）的粉末在高温下烧结而成的。硬质合金可分为碳化钨基和碳（氮）化钛基两大类。我国最常用的碳化钨基硬质合金有钨钴类（如YG3X、YG6、YG8等）和钨钛钴类（如YT30、YT15、YT5等）。硬质合金也是用得较多的一种刀具材料。

6. 陶瓷

表1-4 各国不同刀具材料的产值

各种材料刀具	占 刀 具 总 产 值 (%)							
	美 国		日 本		联邦德国		苏 联	
	1969年	1976年	1975年	1977年	1972年	1981年	1975年	1982年
碳素工具钢及合金工具钢刀具	1.7							8
高速钢刀具	57.1	50.9	63.9	50		30.7		65
硬质合金刀具	40	49.8	36.1	50	30~35 ^①	67.3	16.9	20
铸造钴基合金刀具	0.6							
陶瓷刀具	0.3	0.3			2	2		
金刚石刀具	0.3							4 ^②

① 此比例中未包括硬质合金刀片。

② 此比例中包括立方氮化硼刀具。

刀具所用陶瓷一般是以氧化铝为基本成分的陶瓷，是在高温下烧结而成的。用得较多的是纯氧化铝陶瓷（俗称白陶瓷）和氧化铝-碳化钛混合陶瓷（俗称黑陶瓷）。

7. 超硬刀具材料

超硬刀具材料是指金刚石和立方氮化硼。

上述各类刀具材料的物理机械性能见表1-2，各项性能特点见表1-3。

在上述刀具材料中，使用得最多的是高速钢和硬质合金。从表1-4及图1-7可以看出，各国高速钢刀具的使用量比重在逐渐减少，而硬质合金使用的比重却在增加，陶瓷刀具的使用量也将有一定程度上升。

四、不同刀具材料的基本性能分析

1. 硬度和耐磨性

硬度是刀具材料应具备的基本特性。切削金属所用刀具切削刃的硬度，一般都在

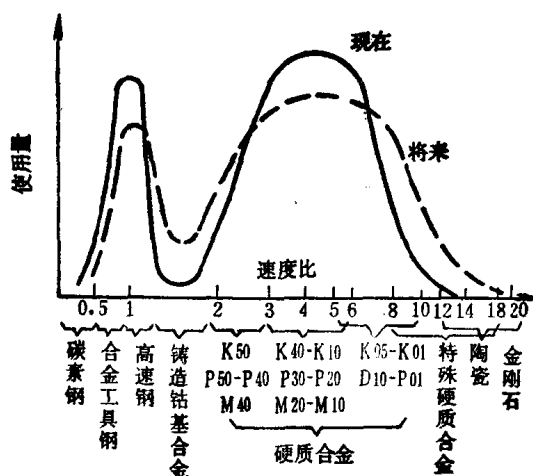


图1-7 不同刀具材料的切削速度比及现在和将来使用量的变化