

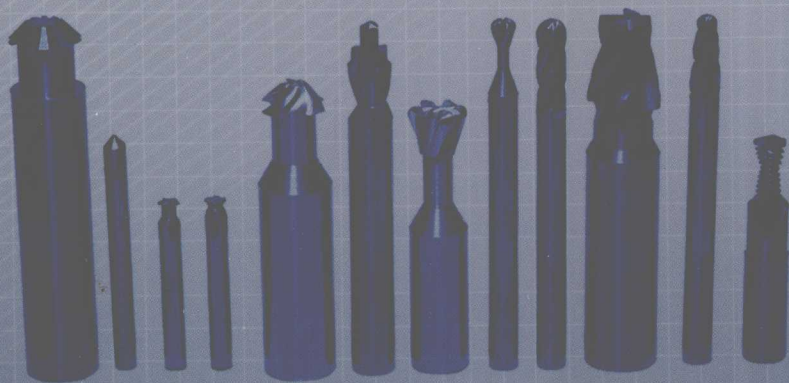
提高迅速

知识量大

内容新颖

现代刀具 与数控磨削技术

赵 鸿 编著
于世超

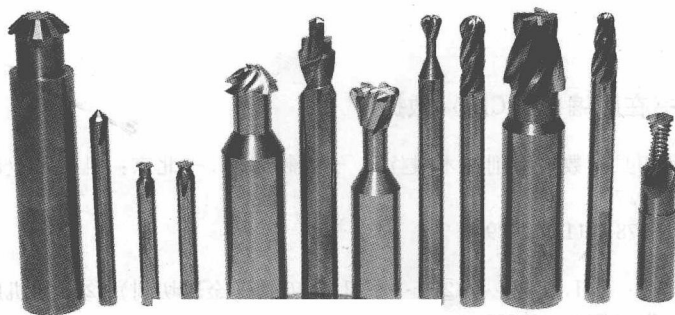


机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



现代刀具与数控磨削技术

赵 鸿 于世超 编著



机械工业出版社

本书内容涉及刀具的材料、设计、数控磨削、特种制造技术一直到质量控制、修磨与后处理等各关键技术环节，并系统地介绍了数控磨制刀具制造技术的相关理论、规范、标准及操作要领。主要包括磨床与刀具的发展历史及其技术原理、刀具的材料、毛坯制备、砂轮的标准及选择、配置方法、刀具的几何参数标准及选择原则、正交优化方法和简易切削参数的选择试验方法、辅助磨削工艺（包括刀具涂层、动平衡、磨削液选择等）、刀具的特种加工技术及世界几个主要品牌数控磨刀机的性能对比。

本书可供数控工具磨床的操作人员、刀具设计与工艺等人员作为参考，也可用于机械制造专业的专业基础课教学。

图书在版编目（CIP）数据

现代刀具与数控磨削技术/赵鸿，于世超编著. —北京：机械工业出版社，2009.7

ISBN 978-7-111-27829-0

I. 现… II. ①赵……②于… III. ①刀具（金属切削）②数控机床—磨削 IV. TG71 TG580.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 125317 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：周国萍 责任编辑：庞 晖

版式设计：霍永明 责任校对：陈延翔

封面设计：赵颖喆 责任印制：乔 宇

北京双青印刷厂印刷

2009 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 24.25 印张 · 8 插页 · 473 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-27829-0

定价：58.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010)68326294

销售二部：(010)88379649

教材网：<http://www.cmpedu.com>

读者服务部：(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

数控磨削技术的出现,使刀具制造技术进入了一个全新的历史阶段,它使人们能够真正实现刀具的快速、高效、“量体裁衣”式的制造,不仅刀具精度得到很大提升,而且能够针对不同的工件材料、机床、不同工序的复合加工等特定要求提供外形复杂、性能各异的专用刀具。与早期的工具磨床相比,现在的数控磨削技术已经可以在计算机上模拟刀具磨削的全过程。并且主流的数控工具磨床都具有刀具毛坯和砂轮自动装夹功能,磨削的数控程序、砂轮数据和磨削工艺参数传送到数控工具磨床控制机后,就能实现从初级棒材到最终成品的一次装夹全自动磨制。

数控万能工具磨床经过近30多年的发展,已经广泛地应用于机械制造企业而成为一种常规的设备,它的任务主要是对直角立铣刀、锥形立铣刀、球头立铣刀、圆弧刃铣刀、铰刀、端铣刀、阶梯铣刀、木工刀具等各类切削刀具进行整体磨削加工。从重复利用刀具的需求来看,随着原材料的上涨,数控万能工具磨床所具有的修磨技术也有很大的推广空间。

数控磨削技术采用超硬砂轮强力磨制刀具,是多种制造技术集合的复杂生产过程。作为先进制造技术,国内刀具设计、工艺手册很少有这方面的资料,特别是一般的刀具几何参数的标准定义与刀具数控磨削过程中定义的详细程度有很大距离。而机床厂商一般只提供设备的常规操作培训,相关技术环节部分,特别是与国内技术标准衔接部分没有很系统地介绍。因而,从事这方面的专业技术人员迫切希望能有一本完整论述刀具及其数控磨削制造技术的书。

本书内容涉及刀具的材料、设计、数控磨削、特种制造技术一直到质量控制、修磨与后处理等各关键技术环节,系统地介绍了数控磨制刀具制造技术的相关理论、规范、标准及操作要领。主要包括磨床与刀具的发展历史及其技术原理、刀具的材料、毛坯制备、砂轮的标准及选择、配置方法、刀具的几何参数标准及选择原则、正交优化方法和简易切削参数的选择试验方法、辅助磨削工艺(包括刀具涂层、动平衡、磨削液选择等)、刀具的特种加工技术及世界几个主要品牌数控工具磨床的性能对比。





本书面向数控工具磨床的操作人员、刀具设计与工艺人员等。通过对数控磨制刀具的主要工艺过程的系统阐述,能使读者了解刀具的数控磨削技术及相关背景知识,掌握砂轮、涂层、检测试验等延伸的专业技术。对提高刀具数控磨削技术的开发水平,拓展应用的深度与广度,起到技术指导作用。本书也可用于机械制造专业的专业基础课教学。

尽管在主观上想努力使读者满意,但书中肯定会有不尽人意之处,我们热忱欢迎关心爱护本书的读者们提出宝贵的意见和建议。

编 者



目 录

前 言

第 1 章 刀具与磨削技术的发展历史	1
1.1 刀具的发展史	1
1.2 现代金属切削技术对刀具生产模式的影响	1
1.2.1 现代切削技术的发展机制	2
1.2.2 现代切削技术的技术特征	3
1.3 磨削原理	5
1.3.1 磨削过程及磨屑	6
1.3.2 磨削精度和表面质量	7
1.3.3 磨削力和磨削功率	7
1.3.4 磨削热和磨削温度	8
1.3.5 磨削效率	8
1.4 磨床的发展	8
1.4.1 发展历程	8
1.4.2 工具磨床的发展	9
1.4.3 刀具自动制造单元	9
1.5 数控磨削技术	11
1.5.1 磨削的数控编程术语与标准	11
1.5.2 数控磨床的坐标系定义	11
1.5.3 坐标运动命名	13
1.5.4 数控磨削加工程序的程序段格式	13
1.5.5 主程序与子程序结构	14
1.5.6 刀位点数据与砂轮的运动轨迹	15
第 2 章 刀具的材料	16
2.1 刀具材料应具备的性能	16
2.1.1 高硬度和高耐磨性	16
2.1.2 足够的强度与冲击韧度	16
2.1.3 高耐热性和化学惰性	16





2.1.4	良好的工艺性和经济性	16
2.2	常用的刀具材料	17
2.2.1	高速钢	17
2.2.2	硬质合金	29
2.2.3	陶瓷材料	46
2.2.4	超硬刀具材料	54
2.3	刀具材料的选择	61
第3章	刀具的结构与设计规范	63
3.1	刀具的结构	63
3.1.1	刀具的装夹部分	63
3.1.2	刀具的工作部分	63
3.2	刀具的类型	64
3.3	刀具几何参数图释	70
3.3.1	铣刀	71
3.3.2	钻头	77
3.3.3	铰刀	82
3.3.4	其他常用刀具	84
3.4	铣刀的设计规范及技术条件	98
3.4.1	模具铣刀	98
3.4.2	T形槽铣刀	104
3.4.3	圆柱铣刀	107
3.4.4	键槽铣刀	108
3.4.5	圆角铣刀	111
3.4.6	凸凹半圆铣刀	113
3.4.7	直柄反燕尾槽铣刀和直柄燕尾槽铣刀	115
3.4.8	角度铣刀	116
3.4.9	三面刃铣刀	122
3.4.10	尖齿槽铣刀	123
3.4.11	硬质合金铣刀	124
3.4.12	木工刀具	134
3.4.13	铣刀直柄柄部标准	146
3.5	铣刀主要几何参数的选择	149
3.6	钻头的主要几何参数及设计规范	154
3.6.1	钻头的典型结构	155



3.6.2	钻尖顶角对钻削加工的影响	155
3.6.3	钻头的螺旋角 β	158
3.6.4	标准钻头的表面粗糙度	159
3.6.5	通用标准钻头切削部分的改进和横刃修磨	159
第4章	整体磨制刀具砂轮的选择	181
4.1	磨料	181
4.1.1	金刚石	182
4.1.2	CBN	182
4.2	结合剂	183
4.2.1	结合剂的分类	183
4.2.2	结合剂的适用范围	184
4.3	粒度、浓度	184
4.3.1	粒度	184
4.3.2	浓度	186
4.4	超硬砂轮标准	187
4.4.1	超硬材料砂轮的形状代号	187
4.4.2	超硬砂轮尺寸标准	195
4.4.3	超硬砂轮的选用	212
4.5	砂轮的配置	213
4.6	砂轮的修整	213
4.7	砂轮的安全管理问题	215
第5章	刀具试验技术	217
5.1	正交试验设计法	217
5.1.1	正交试验设计法的基本原理	217
5.1.2	正交表	220
5.1.3	试验方案设计	223
5.1.4	试验数据分析	224
5.1.5	刀具试验应用实例	227
5.2	简易确定最佳切削参数的试验方法	229
5.2.1	试验的作用	229
5.2.2	试验原理和过程	230
5.2.3	试验结果和分析	231
5.2.4	需要注意的问题	232



5.3 刀具试验设备	232
5.3.1 测力系统	232
5.3.2 测温系统	233
5.3.3 刀具磨损测量系统	233
第6章 数控刀具磨床的操作与维护	235
6.1 操作过程中影响刀具磨制精度的主要因素	235
6.1.1 机床精度的影响	235
6.1.2 砂轮误差的影响	236
6.1.3 控制程序的编制和补偿的影响	237
6.2 磨削操作中需要注意的问题	237
6.3 刀具加工实例	239
6.3.1 普通立铣刀加工实例	239
6.3.2 汽轮机转子轮槽铣刀(成形刀)的设计与磨制	246
6.4 数控工具磨床的维护保养与维修	253
6.4.1 数控工具磨床设备维护的基点	253
6.4.2 数控工具磨床日常操作规范	254
6.4.3 故障处置	255
6.4.4 故障检查方法	257
6.4.5 故障排除的一般方法	260
第7章 刀具的后处理技术及其他辅助工艺系统	262
7.1 刀具材料的表面处理技术	262
7.1.1 涂层技术	262
7.1.2 涂层的分类	265
7.1.3 涂层刀具的技术特点	268
7.1.4 刀具涂层技术的应用	268
7.1.5 镀膜处理技术	270
7.2 刀具刃口钝化技术	271
7.2.1 进行刃口钝化处理的原因	271
7.2.2 刃口型式与刃口钝化形状及参数	272
7.2.3 刀具刃口钝化的效果和和经济性	273
7.3 刀具的动平衡	273
7.3.1 引起刀具系统不平衡的原因	274
7.3.2 动平衡技术的基本概念及计算公式	274





7.3.3	适度动平衡	277
7.3.4	制造厂家产品的动平衡标准	278
7.3.5	刀具系统的动平衡	279
7.3.6	自动平衡系统	279
7.4	数控刀具的刀柄系统及自动换刀装置 (ATC) 的选择	280
7.4.1	刀柄结构形式	280
7.4.2	常用数控刀柄的规格	282
7.4.3	自动换刀装置 (ATC) 的选配	289
7.5	磨削液	291
7.5.1	磨削液应具备的性能	292
7.5.2	磨削液分类	295
7.5.3	磨削液的选择	296
7.5.4	磨削液喷嘴的设计	297
7.5.5	磨削液对机床的要求	298
第 8 章	刀具失效状况与数控修磨技术	300
8.1	刀具的失效分析及应对措施	300
8.2	整体立铣刀与钻头使用过程中出现的问题及对策	304
8.3	刀具的修磨	308
8.3.1	修磨刀具的分类	308
8.3.2	修磨方案	309
8.3.3	修磨刀具需注意的问题	310
8.4	刀具的再涂层技术	310
第 9 章	刀具的特种加工技术	312
9.1	超声波加工技术	312
9.1.1	超声波的发生原理	312
9.1.2	超声振动加工过程控制	314
9.1.3	超声波加工刀具	317
9.1.4	刀具和刀柄连接方式	318
9.1.5	在工具和刀具制造方面的应用	319
9.2	激光加工技术	320
9.2.1	激光加工原理	320
9.2.2	激光器的结构	322
9.2.3	激光器的种类	323





9.2.4 数控激光加工技术的应用	324
第10章 数控工具磨床及相关检测设备的选择	331
10.1 刀具生产用数控工具磨床的选择要点	331
10.1.1 确定需要几个数控轴	331
10.1.2 确定需要几个数控轴联动	332
10.1.3 数控系统的选择	332
10.1.4 数控工具磨床的磨削软件	334
10.2 世界知名品牌工具磨床介绍	337
10.2.1 MICHAEL DECKEL 数控工具磨床	338
10.2.2 WALTER 数控工具磨床	339
10.2.3 ANCA 数控工具磨床	341
10.2.4 SAACKE 数控工具磨床	342
10.2.5 HAWEMAT 数控工具磨床	343
10.2.6 SCHUTTE 数控工具磨床	345
10.3 刀具的检测设备及仪器	346
10.3.1 刀具测量机	346
10.3.2 万能工具显微镜	350
10.3.3 刀具硬度检测	352
结束语	358
附录	359
附录 A 常用正交试验表	359
附录 B 表面光洁度与表面粗糙度 Ra 、 Rz 数值换算表	363
附录 C 硬度换算表	364
附录 D 超硬材料标准目录	365
附录 E 常用金属切削刀具国家标准	366
附录 F 常用金属切削刀具行业标准	373
参考文献	378



第 1 章 刀具与磨削技术的发展历史

1.1 刀具的发展史

刀具是机械制造中用于切削加工的工具，又称切削工具。广义的切削工具既包括刀具，又包括磨具。绝大多数的刀具是机用的，但也有手用的。由于机械制造中使用的刀具基本上都用于切削金属材料，所以“刀具”一词一般就理解为金属切削刀具。切削木材用的刀具则称为木工刀具。

刀具的发展在人类进步的历史上占有重要的地位。我国早在公元前 28 世纪 ~ 前 20 世纪，就已出现黄铜的锥和纯铜的锥、钻、刀等铜质刀具。战国后期（公元前 3 世纪），由于掌握了渗碳技术，制成了钢质刀具。当时的钻头和锯，与现代的扁钻和锯已有些相似之处。然而，刀具的快速发展是在 18 世纪后期，伴随蒸汽机等机器的发展而来。1783 年，法国的勒内首先制出铣刀。1792 年，英国的莫兹利制出丝锥和板牙。有关麻花钻的发明最早的文献记载是在 1822 年，但直到 1864 年才作为商品生产。

那时的刀具是用整体高碳工具钢制造的，许用的切削速度约为 $5\text{m}/\text{min}$ 。1868 年，英国的穆舍特制成含钨的合金工具钢。1898 年，美国的泰勒和怀特发明高速钢。1923 年，德国的施勒特尔发明了硬质合金。在采用合金工具钢时，刀具的切削速度提高到约 $8\text{m}/\text{min}$ ；采用高速钢时，又将切削速度提高两倍以上；到采用硬质合金时，又比用高速钢时的切削速度提高两倍以上，而且切削加工出的工件表面质量和尺寸精度也大大提高。1938 年，德国德古萨公司取得关于陶瓷刀具的专利。1969 年，瑞典山特维克钢厂取得用化学气相沉积法生产碳化钛涂层硬质合金刀片的专利。1972 年，美国的邦沙和拉古兰发展了物理气相沉积法，在硬质合金或高速钢刀具表面涂覆碳化钛或氮化钛硬质层。表面涂层方法把基体材料的高强度和韧性与表层的高硬度和耐磨性结合起来，从而使这种复合材料具有了更佳的切削性能。同年，美国通用电气公司生产了聚晶人造金刚石和聚晶立方氮化硼刀片，这些非金属刀具材料可使刀具以更高的速度切削。

1.2 现代金属切削技术对刀具生产模式的影响

从 20 世纪 80 年代开始，金属切削技术在工业发达国家获得了快速发展，至



20 世纪末 21 世纪初进入了以高速加削、高效切削为主要技术特征的“现代切削技术”新阶段。回顾历史，切削加工成为一门专业技术始于 19 世纪末 20 世纪初，至今已走过了整整一个世纪的历程。切削技术自问世后，就一直作为制造技术的基础工艺发挥着重要作用，为工业发达国家的工业化及经济发展做出过重要贡献。尽管在此过程中，切削技术本身也取得了不小的进步，但是直至 20 世纪六七十年代，总体上并没有超越传统切削技术的范畴，其最突出的标志是刀具的开发及生产，与刀具的使用及用户基本上是相互分离的，没有形成相互促进、共同发展的机制。

进入 20 世纪后半叶以来，由于计算机、微电子等新兴科学技术以及与切削技术紧密相关的材料科学的快速发展，切削技术随着制造业的发展和制造技术的进步也得到了快速发展，并进入了现代切削技术的新阶段。与传统的切削技术相比，现代切削技术不仅体现为切削速度更快、加工效率更高，而且形成了新的发展机制和模式，显现出新的技术特点，成为推动制造业和现代制造技术发展的重要技术因素。

1.2.1 现代切削技术的发展机制

在切削技术问世后相当长的一段时期内，有一个问题始终困扰着工具行业和刀具用户，即如果使用价格较贵的好刀具进行切削加工，虽然可以提高切削效率，但会增加制造成本，用户认为那得不偿失。因此，许多用户舍不得花较多的钱买好的刀具，或者买了好刀后担心刀具很快用坏，将刀具寿命定得很长。这些观念和做法阻碍了刀具的更新，影响了刀具制造商开发新刀具的积极性，制约着切削效率的提高和切削技术的进步。

一个制造经济学的成本模型揭示了应用好的刀具与降低制造成本之间的内在关系。这一模型将零件制造成本分解为可变成本（刀具、材料）和固定成本（管理、劳动力、机床使用）两部分。表 1-1 中列出的这些数字以百分比的方式表示每个零件的平均成本。可以看出，切削刀具的成本只占总成本的 3%，这意味着刀具寿命或价格方面的改善，只能提供很小的节省，这些数字还说明了刀具的哪些方面具有更大的节省潜力。

表 1-1 零件的制造成本划分

可变成本 (仅在生产中发生的成本)	切削刀具	3%
	工件材料	17%
固定成本 (所有时间都发生的成本)	机械	27%
	劳动力	31%
	厂房和管理	22%



根据这一成本比例,可得出以下结论:如果消极地追求降低刀具费用,其结果只能是降低零件制造成本中很少的百分数,例如降低刀具费用50%,零件制造成本也只能下降约2%,且未考虑因使用廉价刀具而增加停机时间或降低切削用量可能增加的成本费用。如果使用好的刀具,虽然刀具费用可能增加,但由于可以提高切削速度或进给量——譬如提高20%——则可使占零件制造成本70%以上的加工费用下降10%以上,大大高于由节省刀具费用所产生的2%的效益。目前在切削行业较为通行的说法是:提高切削速度或进给速度15%~20%,可以降低制造成本10%~15%。许多成本分析案例还表明,尽管好的刀具价格较贵,但由于提高了加工效率,分摊到每一工件上的刀具费用不但没有增加反而会有所减少。

该成本分析模型还表明,在使用好的刀具时,如果不注重提高切削效率而只是追求延长刀具寿命,对于降低制造成本只能收到十分有限的效果,甚至可能适得其反。

1.2.2 现代切削技术的技术特征

切削加工进入现代切削技术新阶段,不仅反映在将切削技术的发展建立在刀具制造商与刀具用户相互联动的机制上,而且还在在此基础上表现出以下明显的技术特征:

1) 高速切削、高效切削、硬切削、干切削等新的切削工艺全面突破了传统切削技术在提高加工效率方面遇到的技术障碍,从整体上改变了切削加工的面貌。

这些新工艺应用于汽车、航空、模具、装备制造业等切削加工“大户”,不仅成倍地提高了加工效率,而且推动了产品开发和工艺革新。例如,航空制造业出现铝合金构件高速铣削工艺后,使飞机大型结构件不必再用组件进行装配,而可以用整体薄壁铝合金构件替代,不但减轻了构件重量,增加了构件强度和刚性,而且提高了加工质量,降低了制造成本。以大批量生产为特点的汽车工业更是研发和应用切削新工艺的先锋,开发了许多加工发动机、变速箱等主要零部件的高效新工艺,使生产时间大大缩短。近年来,快速发展的模具工业可以说是与高效模具切削工艺一同成长,大型模具高速铣削和淬硬模具铣削工艺改变了传统的模具加工工艺,大大缩短了模具开发周期,而且为适应模具工业快速发展的需要,已形成了专门面向模具加工的“模具刀具”新系列,成为现代切削刀具中发展最快的门类。

与此同时,传统的车、铣、钻等切削工艺的界限不断被打破,出现了一些新的切削加工方法。如新推出的铣刀可作为孔加工刀具进行钻孔和扩孔,减少了换刀时间,提高了加工效率;又如能高效去除模腔金属的插铣刀、加工曲轴的车拉



工艺、在复合车削中心上以铣代车的铣车工艺、用硬质合金螺纹铣刀代替硬质合金丝锥的螺纹高速加工工艺等。切削工艺不断推陈出新,呈现出蓬勃生机,开拓着制造技术的新领域。

此外,随着各种复合机床及“一台机床或一次装夹完成全部加工”技术的发展,一些复合刀具的提供也越来越多,将进一步改变切削加工的传统概念。

2) 刀具材料和涂层技术取得了重大进展,为现代切削技术的诞生奠定了重要物质基础。

硬质合金、陶瓷、PCD、CBN 等超硬刀具材料性能的全面进步,以及涂层技术的发展使得高速切削、高效切削、硬切削、干切削等先进的切削技术得以实用化,使切削加工各领域的加工效率全面提高。

可以说,新型刀具材料(尤其是硬质合金)和涂层技术的重大进展是构成现代切削技术的重要物质基础,并且是支持现代切削技术持续发展的核心技术,对切削技术的发展起着主要推动作用。目前,世界上著名工具企业的成长和发展无不建立在这两项核心技术的基础之上。认识到这一点对于规划我国工具工业的发展方向具有重要意义。目前我国只有个别刀具制造商拥有硬质合金材料和涂层技术这两种核心资源,这种现状与现代切削技术发展的要求很不相称,必须加以改变。我国是钨资源大国,开发生产刀具材料有着得天独厚的条件,发展先进刀具材料,将资源优势转变为产品优势、竞争优势,是中国工具工业的重任;创建自主的刀具材料品牌应成为中国工具工业的特色和强项,从而为发展我国乃至推进世界切削技术的进步发挥应有的作用。

3) 在“量体裁衣、系统优化”的思想的指导下,刀具新牌号、新产品的创新速度大大加快,为制造业不断提供新的效率资源。

刀具作为一种工具,是制造系统中最具活力的工艺因素,处于不断创新的过程中。在现代切削技术阶段,刀具的发展有两大特点:①创新速度加快。新的材料牌号、新的涂层产品、新的刀具(片)结构、新的刀具柄及装夹技术、新的加工方法等层出不穷。这些新产品或者提高切削速度,降低制造成本,或者提高加工质量,各具特色。②系统优化创新。切削加工因为不同的加工零件、性质多变的工件材料及具体的加工条件而千差万别,呈现出多样性和复杂性。要取得好的加工结果,应该采用最适合具体加工对象的刀具。对刀具材料、涂层和刀片槽形、几何参数或结构进行系统优化,有针对性地开发出适用的刀具,方能取得最佳的切削效果。在系统优化的基础上,现在新开发的一种涂层硬质合金牌号往往可比原有牌号提高切削效率 20% 以上,有的甚至可达 50% 以上。一种新的刀具产品能提供一种新的加工效果,或显著提高加工效率。数控磨削技术的广泛利用,使复合刀具的制造变得更加灵活、快捷,多功能复合刀具可以减少换刀时间,提高机床利用率。有的刀具具有减小切削力、抑止切削振动、有利于排屑等



功能,可产生延长刀具寿命、提高加工质量的效果。这些建立在新的切削原理与制造技术基础上优化开发的新产品具有强大的生命力。

数控万能工具磨床的广泛应用,使刀具的生产与提供融入到机械制造企业的工艺过程中,使企业在刀具的研发上具有了自主创新的能力。刀具开发、生产、供应与用户直接融合成为一体,可以快速帮助具体生产对象找到加工问题的解决方案、开发新工艺等,全面提高了企业的工作效率和加工能力。利用数控工具磨床进行刀具的创新与开发,不仅可使企业能够充分享用优良的技术资源,同时也使先进刀具的开发获得了取之不竭的创新源泉,加快自主创新的步伐。

4) 现代切削技术的内涵扩大。切削加工进入现代切削技术新阶段以后,相应出现了许多新的相关技术,并成为现代切削技术不可缺少的组成部分,使切削技术的内涵扩大。高速切削技术的发展就要求开发与高速加工中心相关的技术,包括高速主轴、快速进给、高的加(减)速技术以及适合高速切削的数控系统等;开发与高速刀具相关的技术包括 HSK(空心短锥柄)刀柄、7:24 两面接触刀柄、高速旋转刀具的安全技术(包括刀具的结构、安全认证、安全使用等)和刀具动平衡技术(包括可调平衡的刀具和刀柄、刀具动平衡规范、动平衡测试仪器等)。建立在数控磨削基础上的刀具开发也要考虑这方面的要求,在刀具设计方面要考虑结构的对称性、动平衡过程,甚至要考虑刀具与动平衡液压夹头、热装夹头、力缩夹头等新型刀具夹头及刀具装调技术的衔接。

此外,为了提高刀具利用率、降低刀具管理成本,针对本企业的工艺要求特点,开发刀具管理软件、相应的切削数据库等配套技术,用现代信息技术提高切削加工的整体水平,形成本企业刀具的配套开发优势,使刀具的技术提升保持与企业产品的同步发展。可以说,只有很好地规划和使用这些配套技术,才能真正使数控工具磨床发挥出应有的功能。

1.3 磨削原理

磨削原理的研究始于1886年,美国的C. H. 诺顿和C. 艾伦合作研究砂轮和磨削过程,20年之后制订出正确选择砂轮类别和砂轮速度的原则;同时发现为了提高磨削效率和精度,必须对砂轮进行平衡,并在磨削过程中正确地修整砂轮和使用切削液。1914~1915年,英国的J. 格斯特和美国的G. 奥尔登对磨削用量、磨屑大小和选择砂轮等问题又作了进一步的研究。此后,磨削原理的研究不断深入。在磨屑形成方面,德国的K. 克鲁格对砂轮上磨粒与工件的接触弧长和影响单颗磨粒的背吃刀量的因素进行了几何计算和研究,在1925年提出了研究报告。德国的M. 库莱恩和G. 施勒辛格以及日本的关口八重吉等人对磨削力



作了研究，在 20 世纪 20 年代末至 30 年代先后提出了磨削过程中影响磨削力的诸因素，并使磨削力的测量技术不断发展。从 20 世纪 30 年代起，随着测量磨削表面温度实验技术的发展，推动了有关磨削热的理论研究。对于砂轮磨削性能的理论研究导致一系列新型高速砂轮的出現，发展了砂带磨削。由于金刚石和立方氮化硼磨料的应用，磨削原理又得到新的发展。20 世纪 70 年代以来，应用扫描电子显微镜对磨削的微观过程和超精密磨削的机理也作了深入的分析。

1.3.1 磨削过程及磨屑

磨粒在磨具上排列的间距和高低都是随机分布的，磨粒是一个多面体，其每个棱角都可看作是一个切削刃，顶尖角大致为 $90^{\circ} \sim 120^{\circ}$ ，尖端是半径为几微米至几十微米的圆弧。经精细修整的磨具，其磨粒表面会形成一些微小的切削刃，称为微刃。磨粒在磨削时有较大的负前角，其平均值约为 -60° 。

磨粒的切削过程可分为三个阶段，如图 1-1 所示：

- 1) 滑擦阶段：磨粒开始挤入工件，滑擦而过，工件表面产生弹性变形而无切屑。
- 2) 耕犁阶段：磨粒挤入深度加大，工件产生塑性变形，耕犁成沟槽，磨粒两侧和前端堆高隆起。
- 3) 切削阶段：切入深度继续增大，温度达到或超过工件材料的临界温度，部分工件材料明显地沿剪切面滑移而形成磨屑。

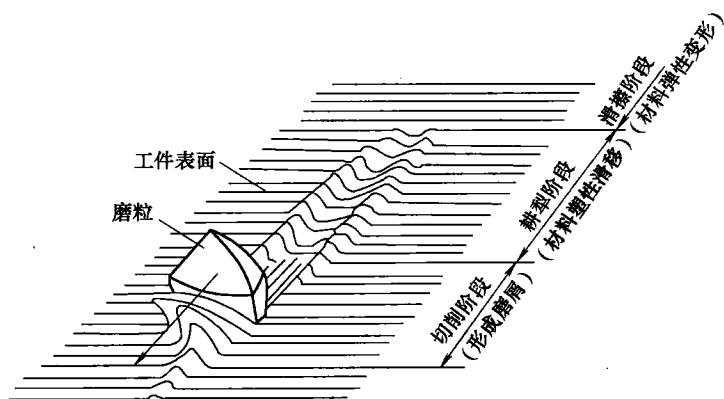


图 1-1 磨粒的切削过程 (局部放大)

根据条件不同，磨粒切削过程的三个阶段可以全部存在，也可以部分存在。磨屑的形状有挤裂状、带状和熔融的球状等 (见图 1-2)，可据此分析各主要工艺参数、砂轮特性、冷却润滑条件和磨料的性能等对磨削过程的影响，从而寻求提高磨削表面质量和磨削效率的措施。