

现代刀具 设计与应用

主 编 赵炳桢 商宏谟 辛节之

XIANDAI DAOJU SHE JI YU YINGYONG



国防工业出版社
National Defense Industry Press

现代刀具设计与应用

主编 赵炳桢 商宏谟 辛节之

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书介绍了近 20 多年来在先进制造技术快速发展过程中切削加工工艺的发展趋势,全面反映了切削技术和刀具专业所取得的新进展。全书共 15 章,分成两篇。第一篇为刀具设计基础,共 7 章,介绍金属切削基本原理、刀具材料、刀具几何参数及结构设计、刀具涂层、工具系统及刀具装夹技术和刀具标准等现代刀具设计和应用的基础知识。第二篇为刀具应用技术,共 8 章,内容涵盖了为获得最佳加工效果和正确应用刀具的系统专业知识,包括工件材料可加工性、切削数据库、切削冷却润滑等基础知识,以及高速、高效、硬切削、干式切削等切削新工艺,刀具动平衡和安全技术、加工表面完整性、铣削走刀路线及编程方法和刀具管理等切削刀具专业的新技术。内容翔实新颖,充分显示了刀具应用技术在现代切削技术中的重要性。

本书可供从事金属切削专业技术工作的工程技术人员、科研人员在开发刀具新产品、应用切削新工艺、提高加工效率、降低加工成本等日常工作中使用,也可作为高等或中等专业学校机制专业师生的参考书及各类切削技术和刀具培训班的教材。

本书可对提高刀具制造商创新的能力和为用户服务的本领及我国装备制造业切削加工的技术水平发挥重要作用。

图书在版编目(CIP)数据

现代刀具设计与应用/赵炳楨,商宏谟,辛节之主编. —北京:国防工业出版社,2014.9
ISBN 978-7-118-09002-4

I. ①现… II. ①赵… ②商… ③辛… III. ①刀具(金属切削)—设计②刀具(金属切削)—应用 IV. ①TG702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 160431 号

※

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)
北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
新华书店经售



*

开本 889×1194 1/16 印张 41 $\frac{1}{4}$ 字数 1318 千字
2014 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 128.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

《现代刀具设计与应用》编写组成员

主 编 赵炳桢 商宏谟 辛节之

编写人员（按姓氏笔画排序）

王贵成 王 魄 刘献礼 刘镇昌 达世亮 吴 江
张 平 杜其明 杨 冰 杨 晓 陈 云 周 彤
查国兵 胡贤金

前 言

20 世纪 80 代以来,切削技术取得了令人瞩目的进步,发生了很大的变化,表现在以下几个方面:

(1) 产品结构全面更新。硬质合金代替高速钢成为主要的刀具材料,尤其是:整体硬质合金通用刀具(钻头、立铣刀、丝锥)的开发和应用比例增加;涂层刀具成为主要的刀具品种;可转位刀具的品种增加,应用领域扩大。

(2) 涂层成为当前提高刀具性能最有效的技术。它对刀具改性的优势体现在:效果显著,可成倍地提高刀具寿命或切削效率;适应性好,可根据加工对象和使用要求开发相应的涂层;开发速度快,新涂层的开发可通过控制工艺因素或改变靶材实现。

(3) 出现了高速切削、高效切削、干式切削、硬切削等新工艺。这些新工艺成为制造技术进步的一个亮点,其意义在于:创新了加工方法,改变了传统的加工工艺,推动着制造业向着高效、节能、环保的方向转型,其效果远远超出了切削加工原有的范畴。

(4) 切削技术的内涵扩大,如刀具的计算机开发软件的应用和数字化制造技术,刀具材料和刀具涂层的制备技术,以及系统的刀具应用技术(如刀具连接与装夹、平衡与安全、刀具管理等)。

(5) 形成了切削技术快速持续发展的强大机制。在过去 20 多年的时间里,刀具制造商进行了脱胎换骨的改造,成为切削技术发展的主力军。一方面,现代的切削刀具制造商以最新的装备、强大的研发团队和营销网络,使刀具新结构、新涂层、新材料和切削技术的开发速度大大加快,为切削加工技术的发展提供了强大的物质基础;另一方面,刀具制造商确立了“面向制造业,面向用户”的经营理念,把业务的范围由单纯的刀具供应商上升为切削加工效率的开发商、供应商和服务商,创新了服务的形式和内容,把制造业的发展和用户效率的提高作为企业全部经营活动的出发点和归宿,走上一条“研发—制造—营销—服务—新的研发”的可持续发展的道路。

综上所述,与先进切削技术水平相比,我国的切削技术水平尚有不小的差距,制约着我国制造业加工效率的提高、制造技术的进步和制造成本的降低。通过本书的编写,对前一阶段切削技术发展中出现的新技术、新趋势进行系统的总结和归纳,并加快其在我国的普及和推广;培养具有现代切削技术知识的刀具专业人才,培育具有现代刀具意识的刀具制造商,改变我国切削技术总体落后的现状,为把我国由制造大国建设成制造强国这个宏伟目标服务。

本书的主要内容分为基础篇和应用篇两大部分。

无论是刀具的开发设计创新还是正确应用,都少不了切削技术的专业基础知识,都必须建立在对基础知识及基本原理的掌握和科学运用的基础上。因此,重视对这部分内容的学习并在实践中不断加深对它的认识,是从事切削工作的专业人员提高技术水平和工作能力的必修课。当前,一批年轻的大中专学校的毕业生

进入了切削加工或刀具设计的岗位,还有越来越多搞材料的、搞涂层的或搞软件的专业人员进入切削技术领域,都非常有必要补上切削基础知识这一课。

我们力求把这一部分写得条理清楚、简明扼要、突出重点,使初学者容易领会,不至于对传统的切削原理部分产生畏难情绪;同时又能使不同岗位的广大切削工作者提高分析问题和解决问题的能力,并从中受到启迪,找到创新的理论依据。

把刀具的应用技术专门列为一篇——应用篇,是因为在现代切削技术的形成过程中,当我们从单纯开发一把好刀具转变为追求提高用户的加工效率时,刀具应用技术的重要性更加突现,并显现出很强的专业性。

专业性刀具应用技术的产生,是切削技术发展的内在需要,有它的必然性。刀具制造商确立了为制造业服务、为用户服务的经营模式以后,力求将自己的产品优势和技术优势转变为用户的效益,就需要把业务范围在空间上延伸到用户的现场,在时间上延伸到产品的整个生命周期。换句话说,要对用户进行更全面、更深入、更持久的服务,使一把好刀具能为用户创造效益。在这个过程中,就必须掌握和运用刀具应用技术。

近年来,刀具应用技术不断丰富完善,逐渐自成体系。它与刀具的设计、制造等技术一起构成了完整的切削专业技术体系,使刀具应用从传统的经验上升为一门技术。

从把刀具用好的最终目的出发,学习和掌握刀具应用技术,不仅对从事刀具开发制造和营销的专业人员有用,而且对刀具用户也有重要的现实意义,只有把刀具用好了,才能为企业带来更大的效益。

实践证明,刀具应用是刀具创新的“孵化器”。作为生产力要素的刀具,只有在生产活动中即在实际应用中,才能有所发现、有所创新和有更大的进步。现代刀具制造商正是从为用户的服务中,获得创新的启迪和灵感,大大加快了新技术、新产品推出的速度。所以,重视刀具应用技术既有现实的需要,也有长远的意义,其内容也将不断地充实。

本书在绪论中阐述了切削加工的3个基本属性,希望读者对切削技术和刀具行业的作用和地位有一个正确的认识,提高对自己所从事工作的责任感和成就感,并能从系统工程的范畴对切削加工系统有一个更完整的概念,用更宽的视野分析和解决加工中遇到的问题,激励自己成为既精通切削技术又熟悉有关机械加工技术的复合型人才。绪论中的制造经济学部分,通过分析构成切削加工成本的诸多因素,围绕着提高加工效率与降低制造成本之间的关系,做到科学地制订加工策略。绪论为后面专业篇各章的学习提供新的动力和思路,树立起立足工作岗位、献身切削事业的理想。

必须指出,切削技术和刀具是一门实践性较强的专业,掌握切削技术不仅需要学习书本上的知识,而且还需要在实践中学习,在长期工作实践中应用理论知识分析和解决加工中的实际问题,不断积累,是掌握切削技术不可缺少的环节。希望读者把学习本书的知识与参与切削加工的实践结合起来,把自己培养成为能解决实际问题的切削工作者。

本书由赵炳楨、商宏谟、辛节之任主编,参加编写的人员包括:赵炳楨(绪论部分内容),达世亮(绪论部分内容和第15章),刘献礼(第1章),陈云、张平(第2章),杨晓(第3章和第4章),周彤(第5章),王贵成(第6章和第11章),查国兵(第7章),杜其明(第8章),胡贤金、杨冰(第9章),刘镇昌(第10章),吴江(第12章和第13章),王魄(第14章)。

本书在编写过程中得到有关行业组织和专家的热情关注和大力支持,成都工具研究所、中国机械工业金属切削刀具技术协会、中国机械工程学会生产工程分会切削专业委员会、全国刀具标准化技术委员会、中国机床工具工业协会工具分会都积极组织和推荐专家参与本书的编写工作,各位编写专家不辞辛苦,查阅大量资料,多次修改书稿,在此期间付出了辛勤的劳动,完成了书稿的编撰,《工具技术》杂志社参与了书稿的整理和协调工作。在此,本书编写组对参与本书编写的有关专家和协作人员表示衷心的感谢!

《现代刀具设计与应用》编写组

2013年6月

目 录

绪论	1
0.1 切削加工的重要性	1
0.2 切削加工的系统性	4
0.2.1 切削加工是一个复杂的系统问题	5
0.2.2 切削加工工艺是整个切削加工系统的基础	6
0.2.3 切削加工系统的动态特性	10
0.2.4 机床和夹具对切削加工输出的影响	12
0.2.5 切削加工系统中最活跃的因素——刀具	13
0.2.6 分析和解决切削加工问题需要有系统的观点和方法	13
0.2.7 应用系统工程方法解决切削加工问题的途径	14
0.3 切削加工的效率和经济性分析	15
0.3.1 分析切削加工经济性的意义	15
0.3.2 切削加工成本的计算公式	16
0.3.3 降低加工成本的途径	17
参考文献	20

第一篇 刀具设计基础

第1章 金属切削的基本原理	23
1.1 切削变形与切屑的形成	23
1.1.1 研究金属切削过程的意义	23
1.1.2 研究金属切削过程的方法	23
1.1.3 金属切削层的变形	24
1.1.4 切屑类型及切屑形状的分类	25
1.1.5 变形程度的表示方法	28
1.1.6 积屑瘤	30
1.1.7 鳞刺	31
1.1.8 影响切屑变形的主要因素	32

1.2 切削力	34
1.2.1 切削力的来源、合成及分解	35
1.2.2 切削力的测量	35
1.2.3 切削力的计算公式及示例	37
1.2.4 影响切削力的主要因素	40
1.3 切削热和切削温度	44
1.3.1 切削热的产生和传导	44
1.3.2 切削温度的测量方法	45
1.3.3 影响切削温度的主要因素	47
1.4 刀具磨损、破损和刀具寿命	50
1.4.1 刀具磨损的形态	50
1.4.2 刀具磨损的原因	50
1.4.3 刀具磨损过程及磨钝标准	52
1.4.4 刀具寿命及其经验公式	54
1.4.5 刀具的破损	57
参考文献	60

第2章 刀具材料	62
2.1 概述	62
2.1.1 刀具材料的基本性能	62
2.1.2 刀具材料的性能特点及应用范围	63
2.1.3 刀具材料与加工材料的匹配特性	64
2.2 高速钢	66
2.2.1 低合金高速钢	66
2.2.2 普通高速钢	67
2.2.3 高性能高速钢	67
2.2.4 粉末冶金高速钢	68
2.2.5 高速钢刀具的材料的应用	69
2.2.6 高速钢刀具的刃磨	70
2.3 硬质合金	71
2.3.1 硬质合金的成分与性能	71
2.3.2 硬质合金的类型及适用范围	72
2.3.3 超细晶粒硬质合金	75

2.3.4	切削刀具用新型硬质合金	76	3.2.5	铣刀刀体的几何参数	114
2.3.5	硬质合金刀具的应用	77	3.2.6	铣刀刀片的几何参数	115
2.3.6	硬质合金刀具的刃磨	78	3.2.7	镗刀片的几何参数	117
2.4	金属陶瓷	79	3.3	几何参数对切削过程的影响	117
2.4.1	金属陶瓷的特性	80	3.3.1	前角的影响	117
2.4.2	金属陶瓷的类型和适用范围	81	3.3.2	后角的影响	118
2.4.3	涂层金属陶瓷简介	83	3.3.3	主偏角的影响	119
2.4.4	金属陶瓷刀具的应用范围	83	3.3.4	副偏角的影响	120
2.5	陶瓷	84	3.3.5	刀尖角的影响	121
2.5.1	陶瓷材料的成分和性能	84	3.3.6	刃倾角的影响	121
2.5.2	陶瓷刀具材料的类型和适用范围	85	3.3.7	刀尖圆角的影响	122
2.5.3	陶瓷刀具材料的增韧补强方法	88	3.3.8	倒棱的影响	123
2.5.4	新型陶瓷刀具材料	89	3.3.9	钝圆半径的影响	125
2.5.5	陶瓷刀具的结构及应用	90	3.3.10	刃带和消振棱的影响	126
2.5.6	陶瓷刀具的刃磨	92	3.4	刀具几何参数与刀具创新	127
2.6	超硬刀具材料	93	3.4.1	刀具前角	127
2.6.1	金刚石	93	3.4.2	刀具后角	128
2.6.2	立方氮化硼	98	3.4.3	主偏角	129
参考文献		103	3.4.4	副偏角	129
第3章	刀具几何参数对刀具切削性能的影响	104	3.4.5	刀尖角	130
3.1	刀具几何参数的定义、功能	104	3.4.6	分屑槽	130
3.1.1	工件上的3个表面	104	第4章	刀具结构设计计算	131
3.1.2	切削运动的变量	104	4.1	概述	131
3.1.3	刀具结构要素	105	4.1.1	刀具结构的系统学分析	131
3.1.4	刀具前角	105	4.1.2	刀具结构设计的基本步骤	133
3.1.5	刀具后角	107	4.1.3	刀具结构的总体分类	136
3.1.6	楔角	108	4.2	可转位刀具基本结构	137
3.1.7	主偏角	108	4.3	可转位刀片	139
3.1.8	副偏角	108	4.3.1	可转位刀具的孔形	140
3.1.9	刀尖角	108	4.3.2	可转位刀片的槽形	140
3.1.10	刃倾角	109	4.3.3	可转位刀片的定位夹紧结构	142
3.2	刀具类型几何参数的特点和识别	109	4.3.4	刀片刃口的保护设计	145
3.2.1	可转位内、外圆车刀的几何参数	109	4.4	可转位车刀的常见结构	146
3.2.2	切槽刀和切断刀的几何参数	111	4.4.1	内外圆车刀的常见结构	146
3.2.3	螺纹车刀的几何参数	112	4.4.2	可转位切槽/切断刀具和螺纹车刀的结构	148
3.2.4	钻头的几何参数	112	4.5	可转位钻头的常见结构	150
			4.5.1	可转位浅孔钻	150
			4.5.2	刀头式钻头	151

4.5.3 较大直径深孔可转位钻头	152	5.6.2 刀具涂层后处理技术	188
4.6 镗刀的调节结构	153	5.7 刀具涂层重涂技术和退镀技术	189
4.7 可转位铣刀的常见结构	155	5.7.1 刀具重涂技术	189
4.7.1 铣刀刀片的安装	155	5.7.2 刀具涂层的退镀技术	189
4.7.2 铣刀片位置调整	158	参考文献	190
4.8 模块式刀具的结构	159	第6章 工具系统及刀具装夹技术	191
4.8.1 模块式车刀	159	6.1 概述	191
4.8.2 模块式钻头	160	6.1.1 工具系统的组成及分类	191
4.8.3 模块式铣刀的结构	161	6.1.2 工具系统的设计要求	192
4.8.4 模块式铰刀	164	6.1.3 典型的工具系统	192
4.8.5 模块式丝锥	164	6.2 数控刀柄及其工具系统的设计	196
4.9 刀具的内冷却通道	165	6.2.1 数控刀柄的结构及设计	196
4.10 刀具结构设计软件及应用	166	6.2.2 数控 HSK 刀柄的参数化设计	198
4.10.1 刀具结构设计软件的要求	166	6.2.3 数控 HSK 工具系统的动平衡及其设计	200
4.10.2 三维设计软件的功能	166	6.2.4 HSK 刀柄及其工具系统的连接技术	210
4.10.3 设计实例	168	6.3 刀柄与机床主轴的接口技术及设计	210
第5章 刀具涂层	172	6.3.1 刀柄与机床主轴的结合要求	210
5.1 涂层对刀具材料的改性作用及其发展历程	172	6.3.2 刀柄与机床主轴的连接形式	212
5.1.1 现代刀具涂层技术的发展历程	172	6.3.3 刀柄与机床主轴的接口设计	212
5.1.2 涂层对刀具材料表面的改性作用	174	6.4 刀具装夹的典型结构及其连接	217
5.2 刀具涂层的基本原理和装备	175	6.4.1 高速刀具装夹的典型结构	217
5.2.1 刀具化学涂层技术基本原理和装备	175	6.4.2 高速刀具装夹及其连接方法	220
5.2.2 刀具物理涂层技术的基本原理和装备	176	参考文献	223
5.2.3 混合涂层技术及装备	180	第7章 刀具标准及其应用	224
5.3 刀具涂层的类别	180	7.1 刀具标准概述	224
5.3.1 化学涂层的类别	181	7.1.1 标准化的意义	224
5.3.2 物理涂层的类别	182	7.1.2 标准化的基本原则	224
5.4 刀具涂层的设计及选用思路	184	7.1.3 我国刀具标准的现状	227
5.5 刀具涂层材料的类别、特点和适用范围	185	7.1.4 刀具国际标准和国外标准情况	228
5.5.1 含钛系列	185	7.2 刀具标准体系及框架	230
5.5.2 含铝系列	185	7.2.1 刀具标准体系	230
5.5.3 其他常用的涂层材料	186		
5.6 刀具涂层前后处理技术	187		
5.6.1 刀具涂层前处理技术	187		

7.2.2 刀具标准体系框架·····	231	方法·····	334
7.3 刀具标准分类·····	233	8.6.2 优化切削条件提高可切削加工性·····	335
7.3.1 按照级别分类·····	233	参考文献·····	336
7.3.2 按照标准涉及的对象类型分类·····	235	第9章 切削数据库的应用 ·····	337
7.3.3 按照标准性质分类·····	237	9.1 概述·····	337
7.4 重要刀具标准分类简介·····	238	9.1.1 切削数据库的作用和使用·····	337
7.4.1 刀具术语典型标准·····	238	9.1.2 切削数据库的现状·····	338
7.4.2 刀具代号典型标准介绍·····	242	9.1.3 切削数据库的体系结构·····	340
7.4.3 刀具方法典型标准介绍·····	257	9.1.4 建立切削数据库的核心技术·····	341
7.4.4 刀具接口典型标准介绍·····	261	9.1.5 切削数据库存在的问题·····	341
7.4.5 刀具产品标准介绍·····	304	9.1.6 切削数据库的发展方向·····	341
7.5 刀具标准在刀具设计和刀具使用中的应用·····	307	9.2 通用切削数据库的建立和应用·····	342
7.5.1 标准刀具的设计及选用·····	307	9.2.1 金属切削原理性数据库的建立·····	342
7.5.2 非标刀具的标准引用·····	308	9.2.2 工件材料数据库的建立·····	343
7.5.3 刀具标准的应用·····	308	9.2.3 切削机床数据库的建立·····	344
第二篇 刀具应用技术		9.2.4 切削刀具数据库的建立·····	345
第8章 工件材料的可切削加工性 ·····	313	9.2.5 切削工艺数据库的建立·····	346
8.1 机械工程中的工件材料·····	314	9.2.6 切削技术新动态·····	352
8.2 工件材料的切除过程·····	314	9.2.7 典型先进切削技术·····	352
8.3 工件材料可切削加工性的概念及评定方法·····	316	9.2.8 典型应用领域·····	352
8.3.1 工件材料可切削加工性概念·····	316	9.2.9 通用切削数据库查询示例·····	353
8.3.2 评定工件材料可切削加工性方法·····	316	9.3 切削数据库的发展·····	358
8.3.3 用相对可切削加工性综合评定工件材料的可切削加工性及可切削加工性分级·····	317	9.3.1 计算机有限元分析技术与切削数据技术的结合——切削仿真技术·····	358
8.4 影响工件材料可切削加工性的因素·····	319	9.3.2 计算机数字化设计/制造技术与切削数据库技术结合——切削数据集成化技术·····	358
8.5 工件材料的分类及其可切削加工性·····	320	9.3.3 人工智能技术与切削数据库技术结合——切削数据智能化技术·····	364
8.5.1 工件材料分类及适宜硬质合金切削牌号·····	320	9.3.4 计算机优化技术与切削数据库技术结合——切削数据优化技术·····	368
8.5.2 各类工件材料的切削加工特点·····	322	9.3.5 计算机网络技术与切削数据库技术结合——切削数据网络支持技术·····	373
8.6 改善材料可切削加工性的措施·····	334	9.3.6 切削数据库展望·····	376
8.6.1 改善工件材料可切削加工性的			

第 10 章 切削加工的冷却润滑技术	378	11.1.1 表面完整性的意义	420
10.1 切削液的作用及其机理	378	11.1.2 表面完整性概念及组成要素	421
10.1.1 切削液的润滑作用及其机理	378	11.1.3 表面完整性评价体系及方法	421
10.1.2 切削液的冷却作用及其机理	382	11.2 表面的质量及其控制	422
10.1.3 切削液的清洗(排屑)作用及其机理	383	11.2.1 已加工表面的形成过程	422
10.1.4 切削液的防腐蚀作用及其机理	384	11.2.2 表面粗糙度及其评定方法	423
10.2 切削液的种类与组成	386	11.2.3 表面纹理特征及评价	428
10.2.1 切削液分类标准	386	11.2.4 改善表面粗糙度的基本途径	431
10.2.2 切削液组成与性能简介	386	11.3 棱边(毛刺)的质量及控制	433
10.3 切削液的选择与管理	391	11.3.1 毛刺的特征参数及分类体系	433
10.3.1 切削液的性能比较与选用要点	391	11.3.2 毛刺形成与变化的基本规律	436
10.3.2 切削液的管理	395	11.3.3 主动控制毛刺的基本途径	439
10.4 切削液的供液方法	400	11.4 表层的质量及其控制	442
10.4.1 普通供液法	400	11.4.1 表层的金相组织	442
10.4.2 压力供液法	402	11.4.2 残余应力	443
10.4.3 射流供液法	405	11.4.3 加工硬化	448
10.4.4 喷雾供液法	406	参考文献	451
10.4.5 其他供液法	407	第 12 章 高速切削和高效切削刀具技术	452
10.4.6 集中供液系统	408	12.1 高速切削技术	452
10.5 微量切削液加工技术	408	12.1.1 高速切削加工概念	452
10.5.1 微量切削液加工的术语、含义及特点	408	12.1.2 高速切削的切削力	454
10.5.2 微量切削液	409	12.1.3 高速切削的切削热	455
10.5.3 MCF 的供液方式和装置	410	12.1.4 高速切削刀具的磨损	456
10.5.4 MCF 加工的问题	411	12.1.5 高速切削刀具	457
10.6 环境友好切削液	412	12.1.6 高速切削刀柄与机床的连接系统	471
10.6.1 环境友好切削液的含义与界定	412	12.1.7 刀具夹持及刀具系统	474
10.6.2 环境友好切削液的基础油	413	12.1.8 高速切削刀具的动平衡技术	475
10.6.3 环境友好切削液的添加剂	414	12.1.9 高速切削刀具安全技术	483
10.6.4 环境友好切削液的研究动向	415	12.2 高效切削技术	485
参考文献	417	12.2.1 高效切削加工概念	486
第 11 章 加工表面完整性	420	12.2.2 高效加工的机床	487
11.1 概述	420	12.2.3 高效切削刀具特征	489
		12.2.4 高效切削的切削参数	491

12.2.5 减薄切屑的高效切削	495	14.2.5 用户宏功能	580
12.2.6 新加工方法高效切削	501	14.3 数控铣削加工编程举例	583
12.2.7 复合刀具	509	14.3.1 槽型零件的铣削	583
12.2.8 柔性刀具	513	14.3.2 平面凸轮的数控铣削工艺分析 及程序编制	585
12.2.9 智能刀具	516	14.3.3 利用宏编制固定循环	587
参考文献	521	参考文献	589
第 13 章 硬切削和干式切削刀具技术	524	第 15 章 刀具管理	590
13.1 硬切削的特点	524	15.1 刀具管理的意义	590
13.1.1 高速硬切削机理	526	15.2 刀具管理的特点	591
13.1.2 硬切削刀具技术	528	15.3 刀具管理的发展过程	591
13.1.3 硬切削的切削参数	535	15.4 刀具管理的类别	592
13.1.4 对工艺系统的要求	535	15.5 刀具管理的体系和结构	593
13.1.5 高速硬切削的应用	536	15.6 刀具管理的实施	594
13.2 干式切削	541	15.6.1 刀具的采购及其管理	594
13.2.1 干式切削特点	541	15.6.2 刀具的物流和库存管理	595
13.2.2 干式切削的适用性	542	15.6.3 三套刀的循环	597
13.2.3 金属切削层的软化理论	543	15.6.4 刀具的调整管理	598
13.2.4 干式切削的刀具 ^[69-75]	544	15.6.5 刀具的修磨管理	599
13.2.5 干式切削的机床	549	15.7 刀具管理信息系统	599
13.2.6 干式切削的工艺	549	15.8 刀具管理的不同模式	601
13.2.7 干式铣削加工的应用	550	参考文献	602
13.2.8 自润滑刀具	551	附录 A GB/T 9943—2008《高速工具钢》	603
13.2.9 微量润滑切削技术	553	附录 B GB/T 16461—1996《单刃车削刀具 寿命试验》	610
13.2.10 其他冷却干式切削技术	556	附录 C GB/T 16460—1996《立铣刀寿命 试验》	623
参考文献	557	附录 D 工件材料分类(按 DIN/ISO 513 和 VDI 3323)	638
第 14 章 铣削走刀路线及编程方法	560	附录 E 刀具国家、行业标准	640
14.1 铣削走刀路线的确定	560	附录 F 国家标准硬度转换	649
14.2 铣削加工程序的编制	571		
14.2.1 程序的格式	571		
14.2.2 程序段的格式	572		
14.2.3 数控编程的指令介绍	572		
14.2.4 固定循环指令	578		

绪 论

0.1 切削加工的重要性

21 世纪初,一些国家通过分析制造业对经济发展的贡献,对制造业的重要性有了新的认识。

以美国为例,美国制造商协会在 2000 年初发表的关于美国制造业现状的报告指出:制造业是推动美国 20 世纪 90 年代经济增长的第一大动力,其成就远大于 80 年代;1992 年—1997 年美国国内生产总值增长的 29%来自制造业,是对美国经济增长贡献最大的部门;对美国经济增长的贡献还表现在出口方面,1992 年—1998 年美国经济增长的 24%归功于出口的增长,而在美国全部出口总量中制造业的出口占 62%。

我国自改革开放以来,在经济快速发展中对制造业的重要性有了深刻的理解,认为制造业尤其是装备制造业的整体能力和水平将决定各国的经济实力、国防实力、综合国力和在全球经济中的竞争与合作能力,决定着一个国家特别是发展中国家实现现代化和民族复兴的进程。

今天,从工业革命以来社会经济发展的过程看,“随着人类工业文明的不断进步,制造业已成为国家经济和综合国力的基础,它一方面直接创造价值,成为社会财富的主要创造者和国民经济收入的重要来源;另一方面,它为国民经济各部门,包括国防和科学技术的进步及发展提供先进的手段和装备。”在这个认识的基础上,无论是工业化国家还是正在实现工业化的发展中国家,都把开发先进制造技术、发展制造业放在发展经济的优先位置。

世界各国对制造业的重视和对先进制造技术的需求,给切削技术和刀具的发展带来了难得的机遇。切削技术和刀具作为制造业中机械加工最主要的基础工艺技术和基础工艺装备,其先进程度和发展速度将直接关系到制造业尤其是装备制造业的发展。工业发达国家的发展历程证明,先进的切削和刀具技术是它们强大的制造业不可缺少的基础之一。我国要建设制造强国,在振兴装备制造业的同时,也必须振兴刀具工业,提高切削技术和刀具的水平。

制造业的需求还推动着刀具行业的经营理念由传统的“脱离制造业、脱离用户”向“面向制造业、面向用户”转型。切削技术本身的发展也要求行业的转型和升级,以获得更广阔的发展空间,建立新的发展机制,实现更快的发展速度。在同一时期,这样的转型也发生在机床行业。美国的机床行业在经历了 20 世纪 80 年代的衰退及 90 年代初出现的复苏以后,指出这是由于传统的机床行业向以系统的制造技术为中心的制造业转型的结果。1990 年 9 月,美国将著名的芝加哥国际机床展览会更名为国际制造技术展(IMTS);接着又在 1992 年 1 月将成立了一个世纪的机床制造商协会(NMTBA)更名为制造技术协会(AMT)。声称 90 年代初的复苏不是过去机床行业的延续,传统的行业已经死亡,现在是全新的机体和组织。正是经历了这样的转型,机床工具行业的历史翻开了新的一页,两者作为制造业的基础工艺装备和制造技术的关键技术,以新的机制和动力迈出了更大的发展步伐,也发挥着更大的作用。

在这个转型过程中,刀具行业把促进制造业的发展和制造技术的进步作为己任,深入了解制造业中重要工业部门切削加工的工艺特点、生产方式、发展方向、当前需求,从而根据不同行业的特点和需求开发刀具材料的新牌号、新的加工方法和加工工艺,有力地支持了制造业的技术进步。现代刀具制造商通过新型的用户服务方式和多种渠道深入到企业,以其强大的专业优势和丰富的技术资源支持用户切削加工水平的提高;他们根据用户的需求,或根据加工对象提供正确的刀具,或解决加工中的难题,或提供成套解决方案甚至开发新的加工工艺,把切削技术和刀具的进步直接转化为用户的技术进步及加工水平的提高,取得了十分显著的成绩。下面以制造业中的汽车工业、航空航天工业、模具工业等部门的发展为例,说明切削技术和刀具所发挥的重要作用。

汽车工业尤其是轿车工业是刀具的主要用户,其刀具的消耗量约占世界刀具消耗量的 30%。汽车工业大批量的流水线生产方式,十分重视提高加工的效率 and 降低零件生产节拍的时间,以降低产品的制造成本和提高产品的竞争力。因此,特别重视开发和应用新的切削工艺,从而成为刀具行业重点服务的领域,使汽车工业的切削加工和刀具水平总体上代表着切削技术的最新水平,引领切削技术和刀具发展的趋势。

以汽车发动机零件为例,从 20 世纪 80 年代开始开发和应用了大量的切削新工艺及新刀具。如在缸体的大量钻孔加工中,用整体硬质合金钻头代替高速钢钻头,使钻削速度由原来 20m/min 左右提高到 100 m/min 以上,提高了 5~6 倍;在缸孔的镗削加工中,用氮化硅陶瓷和 PCBN 代替硬质合金刀具,提高切削速度和刀具寿命。又如,曲轴的主轴颈和曲拐颈的加工,新开发的加工工艺和刀具(包括高速铣刀、车—车拉刀、内切式铣刀,如图 0-1 所示)等,与传统的单刃刀具车削相比,由于新的加工方法是多刃刀具,提高了刀具的寿命,相应地提高了切削速度和加工质量;并因此可省去粗磨工序,节省投资。

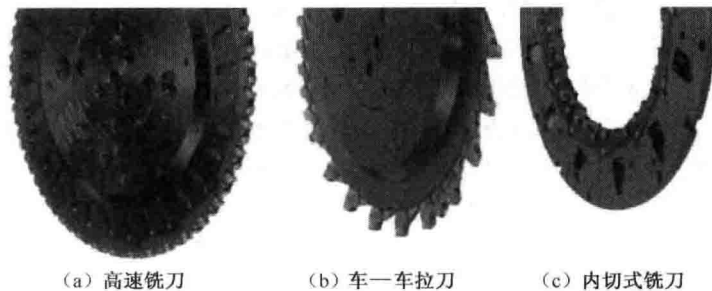


图 0-1 曲轴加工高效刀具

在传动器零件的加工中,先后引入了加长滚刀的高速滚齿工艺,淬硬齿轮内孔的以车代磨工艺,以及同步齿轮的推拉削新工艺。这些工艺都成倍地提高了加工效率,滚齿的速度高于 100m/min,加工一个同步齿轮的齿形只需 13s。为此,刀具行业开发了小直径加长高速滚刀、PCBN 刀具、筒式拉刀等新型刀具。

在铝合金缸盖的加工中,金刚石面铣刀(图 0-2)及阀座导管孔复合铰刀等高效高精度刀具的开发和应用,显著地提高了加工效率和加工质量。

近几年,在汽车工业里蠕墨铸铁(CGI)新材料的应用取得了很大进展。蠕墨铸铁的性能:与灰铸铁比,强度提高 75%,刚度提高 45%;与铝合金比,强度提高 1 倍,高温下的疲劳强度提高 4 倍;与球墨铸铁比,流动性好,导热性好,可加工性好。用它代替灰铸铁或铝合金制造缸体,可以增加发动机的燃烧压力,减少尾气排放,并减轻发动机的质量,降低油耗。但是,要把用蠕墨铸铁制作的缸体投入工业流水线生产,却因为其强度高、刀具寿命低而无法实现,后来经过刀具行业的努力,开发了新的硬质合金基体材料、涂层和刀具结构,才最终解决了它的投产问题。

值得一提的是,空心短锥(HSK)机床—工具接口在汽车工业的应用。为适应高速切削的需要,20 世纪 80 年代开发的刀具与机床主轴的 HSK 连接方式,由于可以实现锥面与端面的双面接触,与传统的 7:24 机床—工具接口相比,定位精度高、连接刚性好、质量轻、换刀时间短。这种接口开发以后,汽车工业率先大规模在生产线的专机上应用,取得了很好的效果,也起到了示范的作用。现在,HSK 接口及与之相关的刀具已在越来越多的工业部门得到应用,以其优异的性能为提高加工效率和质量发挥了重要作用。

航空航天工业是目前发展很快的高科技部门。有资料称:几乎所有集成到航空工业的零件都需要由切削加工制造,切削加工占航空工业中全部加工工序的 90%。因此,航空航天工业的快速发展与先进切削技术和刀具的开发及应用具有密切的关系。

飞机整体铝合金构件的开发(图 0-3),即由整体的铝合金薄壁构件取代传统的众多构件的拼接结构,不仅完全改变了飞机结构件的制造过程,而且由于铝合金构件质量轻、刚性好,使飞机的性能也得到了改善。它的普遍应用是航空工业技术进步的一个亮点。

然而,整体铝合金构件的切削加工要从毛坯上切除 90% 以上的材料,有报道称:一架空中客车飞机要切除 10~20t 铝。特大的加工量,要求高的加工效率,即要求高的切削速度和走刀速度;因为是薄壁结构,要保持薄壁的精度,切削力要小。而 20 世纪末开发的高速切削新工艺,由于切削效率高、产生的热量少、切削力

小、零件变形小等优越性,非常适合整体铝合金构件的加工要求。用超细颗粒硬质合金制造的立铣刀,采用金刚石或其他耐磨涂层,及适合铝合金加工的刀具结构,切削速度可达 $1000\sim 2000\text{m}/\text{min}$ 甚至更高,达到很高的金属切除率。如 OSG 公司的 MAX AL 硬质合金立铣刀,加工航空工业的 7075 铝,金属切除率为 $6000\text{cm}^3/\text{min}$ 。在 2002 年美国芝加哥制造技术展上,Cincinnati 公司展出一台适合高速加工航空工业的薄壁零件的机床,该机床曾试切一薄壁零件,用高速切削只需 30min,而在普通铣床上用传统的方法加工需 8h,并且零件的壁厚仅 $0.05\sim 0.1\text{mm}$ 。因此,正是有了高速切削新工艺,使航空工业的发展向前迈出了一大步。航空工业也成为最早应用高速切削技术的领域。

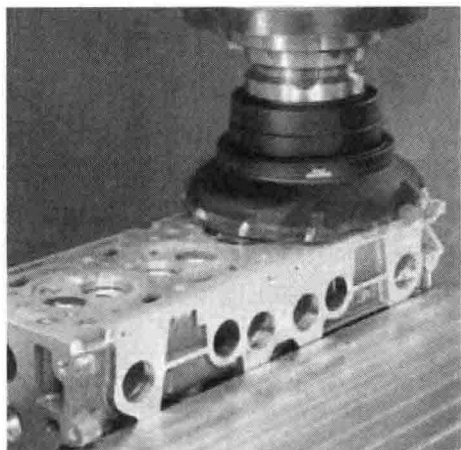


图 0-2 金刚石面铣刀

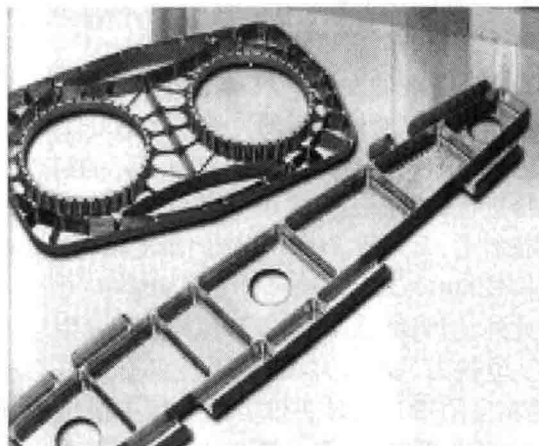


图 0-3 飞机铝合金构件

飞机零件加工的另一个难点是难加工材料的加工,包括钛合金、高温合金和超高强度钢等,由于这些材料特殊的物理、力学性能,使切削温度高、切削力大、刀具磨损快寿命短,给切削技术带来了很大的挑战。随着飞机发动机性能的提高,所用材料的加工难度也进一步增加。

为了解决航空工业中难加工材料的加工问题,世界各国的刀具工业做了很大的努力。早在 20 世纪五六十年代,美国的金属切削联合公司曾进行系统的研究,后来随着航天事业的发展,又对当时典型的宇航材料的切削加工性能进行了系统的试验研究,绘制了各种不同加工工序条件下的刀具寿命与切削速度的关系曲线,提供了大量有参考价值的切削数据和图表,尤其是研究了在加工这类材料时零件表层材料所发生的变化,提出了表面完整性的概念。通过这些工作,把难加工材料的加工技术推进了一大步,但由于受当时刀具性能的限制,加工效率不高,刀具寿命很短。

随着民用飞机、军用飞机需求量的加大和开发宇宙空间的需要,必须提高难加工材料切削加工的效率,以满足快速发展的航空航天工业的需要。在这种背景下,一些著名的刀具制造商针对难加工材料的特点,积极开发高性能刀具和切削新技术。如根据钛合金和耐热合金粗加工、半精加工、精加工的不同材料状态和加工要求,开发了多种硬质合金材质的涂层牌号和几何形状;因刀片的耐热性更好、几何形状更合理,切削速度也在成倍提高。用于加工耐热合金的晶须增强陶瓷和 Sialon 陶瓷材质,因耐磨性好,具有出色的耐边界磨损能力,切削速度可高达 $200\sim 250\text{m}/\text{min}$ 。PCD 和 PCBN 刀具已用于钛合金的精加工,切削速度达 $180\sim 220\text{m}/\text{min}$ 。新开发的高压冷却方法和瞄准切削区的喷射角度,不仅能提高冷却效果,延长刀具寿命,而且可以改善切屑控制。

在最近几年,刀具行业成功地为航空工业开发了加工复合材料的刀具。由于复合材料的应用可使飞机结构件的质量减轻 $10\%\sim 40\%$,一架 A380 飞机所用的复合材料重达 30t,占飞机结构质量的 25%;而波音 787 则采用了全复合材料的机身,机体结构的 50% 左右使用碳纤维增强塑料。使用复合材料制作构件,机身可由更少部件组成,减少机身拼接所需零部件,使飞机耐用性增加,维护费用减少。由于机身质量减小,耗油减少,波音 787 客机比执行相同任务的飞机耗油量减少 20%,运行成本低,大气污染少。然而,纤维增强的复合材料含有硬的耐磨颗粒,对刀具产生强烈的磨料磨损,减少刀具寿命,降低加工质量。其主要的加工工序

是钻孔和铣边,随着刀具的磨损加剧,在工件上会产生毛刺和分层,这些缺陷限制了复合材料的大量使用。为了航空工业发展的需要,根据复合材料的特点,刀具制造商开发了用于复合材料加工刀具的金刚石涂层,使装配时钻削复合材料与铝构件连接孔的数量由一般钻头的 90 个孔增加到 500 个孔,并提高了孔的表面质量,孔精度可达 H8。与此同时,还开发了特殊结构和槽形的立铣刀,防止了材料的分层。

刀具行业对模具工业的贡献突出表现在硬切削工艺的开发和应用上。传统的模具加工工艺采用的模具毛坯是未经淬火的,通常经粗铣、半精铣成形后送热处理淬火,淬后用火花进行精加工,最后钳工抛光。这样的工序要花费很长时间对模具型面进行抛光,而且还要有昂贵的数控机床加工电极,影响了新模具的开发速度,进而制约了制造业新品开发的速度和市场对产品快速更新的需求。可见,缩短加工模具的周期对模具工业的运行有着重要意义。

在模具工业的发展中,刀具行业不仅为它开发了适合模具加工特点的成套模具刀具,而且为缩短模具的开发周期开发了对淬火后的工件直接用刀具加工,即硬切削工艺,以代替传统的电火花工艺。现代的刀具材料(包括涂层硬质合金和 CBN)都有很好的耐热性,同时提高了刀具结构的刚性,可对高达 70HRC 的淬硬模具直接进行铣削加工。图 0-4 是一把加工淬硬钢的立铣刀。由于铣刀的耐磨性好,使加工的型面精度优于电火花加工,大大地减少了后续的钳工抛光工作量。硬切削工艺使模具的加工效率提高 30%~50%,减少抛光工作量 60%~100%,模具开发周期缩短 40%。不仅如此,硬切削还省去了加工电极的投资。

此外,围绕着模具加工,刀具行业还开发了模块式可换头立铣刀、加工小型石墨电极的金刚石涂层立铣刀、高精度的镶片式球头铣刀以及用于微型模具加工的小直径 PCBN 球头铣刀等高效先进刀具。它们有的可减少换刀时间,有的可提高加工效率和质量,同样对模具工业的发展做出了很大贡献。

仅从以上三个工业部门的发展过程中可以看出,如果没有现代切削技术和刀具的创新,以及没有刀具行业先进的运行理念,现代制造业的发展是不可能的。以高速、高效、数控为特征的现代切削技术已成为先进制造技术的重要组成部分。

今天,从世界范围看,刀具行业已基本完成了转型过程。经过转型的刀具行业,以其创造的业绩确立起自己在制造业中的重要地位,并发挥着重要作用。创新高效的切削工艺和刀具成为制造业开发新产品、新工艺、应用新材料和建立创新体系的关键技术,也已成为企业革新工艺、提高加工效率和产品质量、降低制造成本的关键技术。

现代切削技术对制造业的重要作用已经得到制造业认可,一些切削加工量大的企业在非核心业务分离和服务外包的过程中,把技术含量高、对提高加工效率和降低成本十分重要的切削技术及刀具交由社会的专业力量——刀具制造商来承担,以取得事半功倍的效果,这正在成为一种趋势。刀具用户观念的转变同时也给刀具制造商带来更大的发展机遇,达到双赢的结果,最终将给制造业带来更快发展和更大繁荣。

0.2 切削加工的系统性

切削加工生产实践中,在分析和解决切削加工问题时,常会发生效率不高或效果不佳等情况,有时将有限的人力和物力资源用在了不合适的方向上,花费很长时间却不能真正解决问题,有时解决了一方面的问题,却又产生了另一方面的问题。

现代切削加工所面临的要求越来越高,机械制造切削加工生产中所遇到和需要解决的问题也越来越复杂,因此能够帮助人们思考并解决这些复杂问题的方法显得越来越重要。系统工程就是这其中的一类重要方法。

系统工程是近 30 年发展起来的一门新兴的综合学科,它研究人类进入现代化社会后所面临的各种综合性问题,是运用系统观点和系统方法处理复杂的工程、科研和生产任务而创造的方法。

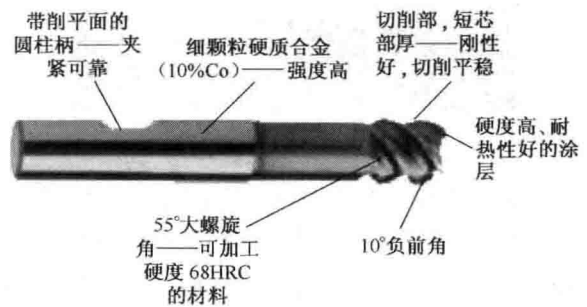


图 0-4 硬切削用模具铣刀