

四川省金属切削刀具技术协会

ISBN 7-5616-2894-3



9 787561 628942 >

机夹 可转位刀具

《机夹可转位刀具》编委会编



成都科技大学出版社

四川省金属切削刀具技术协会

机夹可转位刀具

《机夹可转位刀具》编委会编

成都科技大学出版社

(川)新登字 015 号

责任编辑:葛人仪

封面设计:刘云聪

机夹可转位刀具

成都科技大学出版社出版发行

四川气象印刷厂印刷

开本:787×1092 毫米 1/16

印张:27.75

1994 年 8 月第 1 版

1994 年 8 月第 1 次印刷

字数:641 千字

印数:1—2900

ISBN7-5616-2894-3/TH·18

定价:22.00 元

内 容 提 要

本书全面反映了机夹可转位刀具的最新技术水平及发展,总结了我国刀具设计、使用、管理的宝贵经验。内容包括车、铣、孔加工及数控机夹可转位刀具的设计、结构和使用;对新刀具材料、新型刀片、新型刀具、相关技术,如陶瓷合金、碳化硅晶须增韧陶瓷、三维断屑槽刀片、不等齿距的优化设计、可转位特形铣刀、工具系统、刀具监控系统、刀片成型、刃磨、检验等也作了详尽的介绍。一些特殊的机夹可转位刀具,如拉刀、齿轮刀具等列举了大量最新资料。对于可转位刀片的各种强化方法,如物理涂层、化学涂层、离子注入、脉冲磁化处理等提供了大量信息和有益的资料。

本书读者对象为工程技术和管理人员、技术工人、科研人员以及大专院校师生。也适于对有关工程技术人员管理工作者和中高级技术工人继续教育的培训教材。

《机夹可转位刀具》编委会

主任委员 华祖生

副主任委员 马宝成 虞锡元 周汝忠

(按姓氏笔画为序)

编委	马宝成	孙仁宏	朱钦泽	张铁铭
	张锡文	陈治国	陈耀祖	陈良定
	余志亭	罗文伦	徐广林	游开一
	韩之光	周志勤	樊铁镜	

主 编 周汝忠

副 主 编 孙仁宏 陈耀祖

主 审 虞锡元

副 主 审 马宝成

前 言

机夹可转位刀具的应用是提高机械加工效率、降低成本、改善产品质量的有效措施,也为数控机床、加工中心等自动化设备的正常使用提供了有力保证。该技术被列入国家“八五”期间重点推广项目。为了进一步推广这一技术在生产中广泛应用,并促使该项技术在我国持续发展达到更高水平,在四川省机械工业厅指导下,四川省金属切削刀具技术协会组织有关高校、研究所及工厂编写了《机夹可转位刀具》一书。

本书按全面、新颖和有特色的指导思想编写。书中囊括了机夹可转位刀具的全部类别及其全貌,为刀具的设计和使用提供了大量计算公式、数据和图表,并对加工工艺和检测作了重点的介绍。编写过程中注意理论与实践并重,设计制造与现场使用相结合,普及和提高同时兼顾,尽可能地适合多层次人员的需要,既可供工程技术人员及高级技工使用,也能作为培训用教材和教学参考用书。

本书各章的作者为:绪论,虞锡元;第一章,孙仁宏、周汝忠;第二章,陈耀祖、孙仁宏;第三章,周汝忠、张继仪;第四章,樊铁镔;第五章,张铁铭、杨治国、鲁志勤;第六章,朱钦泽;第七章,罗文伦、游开一、徐广林;组织编写与校对:陈良定、余亨。

全书由西南交通大学教授周汝忠主编,四川联合大学(成都科技大学)副教授孙仁宏与四川工具厂教授级高工陈耀祖副主编;成都工具研究所研究员级高工虞锡元主审,马宝成高工副主审。

四川省机械工业厅副总、四川刀协理事长华渊祥高工和四川省机械科技开发总公司总经理、四川刀协常务副理事长王秉善高工对本书的编写工作,给予了具体指导和亲切关怀。

本书编写过程中,得到西南交通大学、四川联合大学、成都工具研究所、四川工具厂、成都量具刃具总厂、第二重型机器厂、成都内燃机总厂、成都机床修配厂、四川省模具协会及四川省机械科技开发总公司的帮助,尤其是四川工具厂给以多方面的支持,特致崇高的敬意和衷心的感谢。

机夹可转位刀具正在不断创新和持续地发展,其设计和工艺技术不断进步,可以说是日新月异,方兴未艾。因此本书虽经多次补充修改,难免还有遗漏之处,甚至错误,恳请广大读者给以指正。

《机夹可转位刀具》编委会

一九九三年十月

目 录

绪论	(1)
第一章 机夹可转位刀具基础	(11)
第一节 机夹可转位刀具的材料及刀片	(11)
第二节 刀具材料的表面强化	(41)
第三节 切削的基本定义	(44)
第四节 影响可转位刀具使用的因素及刀具的合理选择	(51)
第五节 机夹可转位刀具的切屑控制	(57)
第二章 机夹可转位车削刀具及刨刀	(65)
第一节 概述	(65)
第二节 可转位车削刀具的设计	(88)
第三节 可转位外圆、仿形、端面车刀	(113)
第四节 可转位内孔车(镗)刀	(125)
第五节 机夹可转位切槽、切断车刀	(130)
第六节 机夹可转位螺纹车刀	(138)
第七节 机夹可转位重型车刀	(145)
第八节 机夹可转位刨刀	(150)
第三章 机夹可转位铣刀	(155)
第一节 概述	(155)
第二节 铣刀的几何角度	(157)
第三节 铣削要素及切削层尺寸	(164)
第四节 铣削力及铣削功率	(167)
第五节 铣削方式	(174)
第六节 铣刀磨损、寿命、铣削表面质量及铣削用量	(178)
第七节 铣刀设计	(188)
第八节 各类铣刀的规格、结构及特点	(199)
第九节 铣刀刀片的选用、安装及检查	(217)
第十节 非正常切削及安全生产	(222)
第四章 机夹可转位孔加工刀具	(226)
第一节 概述	(226)

第二节 基本定义及切削过程.....	(226)
第三节 可转位浅孔钻.....	(232)
第四节 组合钻头.....	(248)
第五节 深孔钻.....	(255)
第六节 套料钻.....	(266)
第七节 铰刀.....	(280)
第八节 扩孔钻和铰钻.....	(286)
第九节 镗削刀具.....	(292)
第十节 孔加工复合刀具.....	(309)
第五章 数控机床用刀具、工具系统及相关技术	(323)
第一节 概述.....	(323)
第二节 镗铣类机床用工具系统.....	(329)
第三节 数控车床用工具系统.....	(341)
第四节 刀具的监测系统.....	(345)
第五节 刀具预调.....	(356)
第六章 其它机夹可转位刀具简介.....	(361)
第一节 机夹式拉刀.....	(361)
第二节 机夹可转位齿轮刀具.....	(365)
第七章 机夹可转位刀片的成型、刃磨、检验及刀具的管理.....	(370)
第一节 硬质合金成型技术与刀具的发展.....	(370)
第二节 机夹可转位刀片的磨削加工.....	(380)
第三节 机夹可转位刀具的管理.....	(416)
附录.....	(421)
附录一 六国十厂硬质合金牌号对照表.....	(421)
附录二 国内主要工厂新牌号硬质合金的性能及用途.....	(423)
附录三 成都工具研究所对部分刀片进行断屑范围试验的结果.....	(434)
主要参考文献.....	(435)

绪 论

现代切削工程的技术进步推动了整个生产工程的发展。近 20 年来,基于材料科学、计算机技术、仿生机械工程的拓展,加快了切削工程技术的变革,形成现代切削工程技术发展特征——高速、精密、柔性自动化。新特征在构成现代切削工程最基本加工系统中已充分展示:切削机床由机械化向数控、柔性自动化迅速扩展,到 80 年代末期在部分工业化国家切削机床产值数控化率已达 40% 左右;切削刀具由单功能向多功能、刀具系统发展,刀具结构由整体式、焊接式向机夹可转位结构扩展,到 80 年代末期,机夹可转位刀具的产值已占刀具总产值的 35% 左右。可以展望,这二项在 80 年代有代表性的技术发展,不仅是 90 年代而且是面向 21 世纪的高新技术。

国内外生产实践结果表明,刀具技术的变革,新型高效刀具、刀具系统的开发与应用,是提高机械加工工艺水平的主要措施之一,而现代金属切削刀具的一个新系列——机夹可转位刀具,是普遍提高通用切削机床和数控机床切削效率及产品质量的行之有效的刀具。

作为机械制造工程师及生产技工的共同职责之一是:把原材料变成成品。在金属零件的加工部门,其职责之一就是:选用最适宜的刀具与刀具系统,选择最佳切削用量,以获得经济效益高、质量好的产品。因此,系统地介绍现代金属切削刀具的代表产品——机夹可转位刀具是很有必要的。

一、机夹可转位刀具技术特征

(一) 定义

传统的金属切削刀具结构设计是建立在切削运动学及切削动力学的基础上,综合考虑合理运用刀具材料资源及刀具制造工艺可行性而展开的。早期,从用材方式分类,刀具结构可分为整体式、焊接式、装夹式等三大类结构。20 世纪 50 年代开发出可转位刀片后,诞生了第四类结构,机夹可转位式。可转位刀片的开发与应用,展示了切削刀具技术发展的一个新时期,使用装在刀体上的可转位刀片将完全改变切削加工面貌,发生根本性的合理化变革。

那么,何谓可转位刀具?早期简洁的说明是:将预先加工好的,并带有若干个切削刃口及一定几何参数的多边形刀片,用机械夹固方法将其夹紧在刀体上的一种刀具。使用这种刀具时,当一个切削刃磨钝后,只要松开被夹紧的刀片,将其转位使新的切削刃进入工作位置,再夹紧后就可以继续使用。通过较长期的开发与应用,现有必要作补充深化说明。

1. 可转位刀片

现从几何结构、材料相结构、切削功能三个方面来定义:在一个刀片上,首先必须具备二个或二个以上有相同几何参数与相同相结构材料的切削刃,并在直角坐标系或极坐标系中各切削刃具备转位互换的对称性;当从事切削工作的切削刃失效后,刀片经转位即可使未经使用的

新切削刃处于原工作切削刃空间位置,并具备实施相同切削功能的能力。凡具有所述特性的刀片,我们把其统称为可转位刀片(*Indexable inserts*)。

在工业化国家,可转位刀片从设计、制造直至成品都是由刀具制造厂完成,向用户提供的全为成品。

早期由于用户将刀片有效切削刃用完后不再进行刃磨,而是将其抛弃或刀具厂回收,因而国外该类刀片也被称为可抛弃式刀片(*Throw away inserts*)。在我国称为不重磨式刀片。

基于国际范围内对刀片贵重金属材料资源的有限性考虑,对刀片进行重磨技术的开发与应用,已成为今后发展趋势之一。因而可转位刀片的名称相对于不重磨刀片名称具有面向未来的通用性。

2. 机夹可转位刀具

现从切削元件的选择、刀片与刀体联结方式、切削功能的保持性三个方面给以说明。通常把凡是采用可转位刀片作为切削功能元件,刀片以机械夹固方式固定于刀体上,刀片的转位及更换不改变参与工作的切削刃在刀体上的坐标位置,并能保持相同切削功能的刀具,称之为机夹可转位刀具。

机夹可转位刀具这一名称已成为我国工业界的习惯用语,虽然在字面上存在一定模糊性(机夹可转位是对刀片而言),但比早期所用不重磨刀具更符合该类刀具的技术特征及发展趋势。机夹可转位刀具还被简称为可转位刀具(*Cutting tools with indexable inserts*)。

(二)“可转位”概念浅析

机夹可转位刀具的开拓与发展是建立在“可转位”新概念基础上的。“可转位”概念包容着外在的及扩展的双重技术内容。一方面具备可转位刀片及可转位刀具定义所表达的外在特性——刀片可转位,备用切削刃可精确置换已磨损的工作切削刃、刀具保持相同切削功能等;另一方面有着更深层次的技术内涵——“可转位”概念在逻辑上的重要意义是把刀片看作机械设计和材料系统的功能元件。这就为刀具结构设计与材料系统设计开辟了一个崭新的途径。

1. “可转位”概念与刀具几何结构设计

“可转位”概念把可转位刀片看作功能元件,因而它就具备功能元件的通用特性,从而扩展了以“单元”切削刃来构成“广义”切削刃的设计概念,刀具切削部分的统一性获得了新发展。各种结构不同的刀具,其切削部分从理论上都可解析为由一个或多个可转位刀片所组成。刀具切削部分设计概念的这一变革,大大促进了切削刀具与刀具系统的发展。

2. “可转位”概念与刀具材料结构设计

既然“可转位”概念把可转位刀片看作功能元件,它就具备单元材料系统的完整性与独立性。构成每一个可转位刀片的材料,都可作为一个完整的、独立的、体积小的材料系统来进行设计,这就为刀具材料相结构优化,复合材料及其新工艺的开发提供了一个良好技术环境,利于实现“好钢用在刀刃上”这一哲理。

3. “可转位”概念与刀具综合优化设计

金属切削是一个复杂的机械物理过程,刀具磨损不均匀性,断屑不可靠性等都是影响刀具最大综合切削性能发挥的主要问题。对于中型与大型刀具尤为突出。自提出“可转位”概念后,相继开发出能适应不同切削条件在材质、槽型、结构等方面进行不同组合优化的各种刀片,就为同一把刀具在不同切削部分可匹配选择不同特性的刀片创造了条件,特别是为中大型多刃

刀具、组合刀具、成型刀具综合优化设计奠定了一个新的技术基础。

(三)典型技术特征及其技术经济效益

机夹可转位刀具与整体式刀具、焊接式刀具、装夹式刀具相比,在结构上、使用上都存在一系列具体技术特征及使用特点,在很多著作中已有论述。现仅从应用考虑,其典型技术特征及其在生产应用中反映出的技术经济效益作概述。

1. 刀片和刀体的联结特征与高性能难加工刀具材料的开发与应用

由于刀片与刀体的联结方式采用了以切削力定位原理为设计基础的机夹可转位结构,对高性能、难加工的刀具材料扩大应用在工艺结构等方面创造了有利条件。

(1) 相对于焊接式结构,机夹可转位结构避免了高温钎焊对高硬度刀具材质内在质量的影响(如产生内应力、表面微裂纹、表面相结构变化等),从而保持刀具材料原有良好特性,以利提高刀具寿命。尤其是对硬度 HRA 超过 92 的钎焊特性差的高硬度刀具材料,扩大了用材方式。

(2) 相对于整体式、装夹式结构,可转位刀片用材少,能有效地利用贵重刀具材料,使高性能材料制造的刀具在功能价格比上有了大幅度提高,增强了市场竞争能力。

(3) 可转位刀片的结构特征,推动了刀片专业化生产模式及加工技术的发展,从而避免了广大用户皆需掌握高性能刀具材料的磨削技术才能应用的难度,进而又促进了高性能刀具材料开发与应用。

2. 可转位刀片结构特征与断屑技术的开发应用

可转位刀片的开发,起源于断屑技术的研究,而可转位刀片的结构特征及使用特征,为在同一刀片不同切削刃区制作断屑性能一致的统一槽型提供了基本条件,从而加速了断屑技术及规范化断屑槽型的设计、开发与应用。作为切削工程中存在的三大难题之一——断屑可靠性,在机夹可转位刀具上得到了较好地解决。它不但对通用机床的操作安全性得到了提高,而且对柔性自动化切削工程的发展起了促进作用。

3. 切削功能元件的技术特性与切削性能有倍增作用的新工艺、新材料的开发

众所周知,研究与解决刀具材料固有的硬度与强度这对矛盾,是开发高性能刀具材料的关键问题之一。由于可转位刀片既有可转位使用特点,又有功能元件的共性技术特征(功能具体明确;结构完整自成系统;可实现系列化、标准化、通用化;提供用户的是一个具有可转位切削功能,结构规范化,不需用户加工刃磨,手拿可用的刀片成品),因而使表面涂层工艺、复合刀具材料的开发与应用提供了适宜的內部与外部技术环境。自 70 年代初开始,相继在可转位刀片基础上开发出对刀具切削性能有倍增作用的表面涂层工艺,以及复合刀具材料品种。

以上所列可转位刀具技术特征及其技术经济效益,仅是部分特点与优越性,但已足以说明它成为现代切削刀具主导产品的原因及其进一步扩大应用的前景。

二、机夹可转位刀具发展及趋势

自本世纪 50 年代初美国在研究切屑可控技术的基础上,提出“可转位”概念,并开发出机夹可转位刀具锥型以来,由于这种刀具的技术经济优越性,使它的发展极为迅速。机夹可转位

刀具从基本结构开发、生产工艺改革、到开始普及应用,工业化国家一般用了 5~10 年时间,至 70 年代已是全面普及阶段。80 年代末期,它已进入成熟期,其总产值已占各类刀具总产值的 35% 左右,其中可转位刀片总产值平均占切削刀具总产值的 24~26%。

机夹可转位刀具的发明与发展,其重要意义不仅仅是本世纪刀具结构设计的一次“革命”,更深远的影响是触发了刀具材料相结构设计及其制造工艺向复合方向变革。60 年代末期,瑞典、西德相继发明了被誉为刀具材料工艺上的一次“革命”——硬质合金可转位刀片表面化学涂层工艺(CVD)。70 年代美国、南非开发出超硬复合材料刀具。80 年代末期日本等国开发出增强型钛基硬质合金(Cermets)。而所有新开发的工艺与高性能刀具材料基本上都是以可转位刀片结构型式应用于生产。80 年代末期由于机夹可转位刀具用材范围不断扩大,刀具品种覆盖面不断扩展,从而改变了金属切削用五大类刀具材料使用构成比。以产值计,硬质合金为代表的各类高性能刀具由 60 年代末期 25% 左右上升到 50% 左右,而高速钢、合金工具钢刀具则由 70% 下降到 45% 左右,硬质合金刀具与高速钢刀具以各占一半,平分天下的新局面步入 90 年代。

此外,随着切削工程自动化进程加快,自 70 年代起,伴随着机夹可转位刀具及其材料的发展,刀具与机床的联接系统——现称工具系统、刀具磨损破损监控系统、以及刀具管理系统等都有了较大发展与应用,并成为现代工具工业新的重要组成部分。

用辩证的观点来分析机夹可转位刀具的结构特征,应当是一分为二的。在面向 21 世纪之际,该类刀具发展的潜力首先在新型复合刀具材料的开发与应用上,其次在刀具结构的完善化、品种的扩展上将有较大进步,它在未来的切削刀具中起主导作用,因而我们称它是属于面向 21 世纪的刀具。但是由于装夹结构特征等因素,在微型刀具及部分成形刀具等方面的扩大应用会受到限制,各类结构刀具共存局面将延伸继续。

现就机夹可转位刀具在结构设计、刀具材料设计及刀具制造工艺等方面的进展作一概述。

(一) 刀具设计特点与技术进步

1. 机夹可转位刀具设计特点

机夹可转位刀具形象化的名称似乎为:以可转位刀片作为切削功能元件与刀体等元件组合而成的“切削功能部件”。因而它的设计除需遵循刀具设计共性原则外,相对于所有采用整体加工工艺的刀具,在设计上有以下特点:

(1) 刀具几何精度是指装夹后整体综合精度。刀具设计几何尺寸允差须大于刀片、刀体、支承件等所组成尺寸链的综合误差。

$$\delta_{\text{刀具设计}} \geq \sqrt{\delta_{\text{刀片}}^2 + \delta_{\text{刀体}}^2 + \delta_{\text{配件}}^2}$$

机夹可转位刀具最少组成元件为二件,刀片与刀体,即采用弹性夹紧结构的刀具。

(2) 刀具切削区几何参数是指刀片与刀体装夹后的刀具综合几何参数,是相关组成部分几何参数的代数和。

(3) 刀片装夹定位设计特点:首先要符合切削力定位原理,即切削力的合力必须作用在刀片支承面周界内;刀片周边尺寸定位满足三点定位原理,切削力与装夹力的合力在定位基面(刀片与刀体)上所产生的摩擦力必须大于切削振动等所引起的刀片脱离定位基面的交变应力。

(4) 具备组合优化设计的灵活性。由于可转位刀片系切削功能元件,因而对于多刃刀具、

大型刀具、组合刀具的设计,可针对刀具各部分的切削特征,采用不同材质、不同几何结构的刀片进行组合优化设计,以达到其他结构刀具不可能达到的最佳切削效果。

2. 刀具结构设计发展简况

机夹可转位刀具的产品开发,从设计阶段起,就较充分地考虑了产品的系列化、标准化、通用化发展前景。它的系列设计是建立在对切削加工工艺分类、统计基础上展开的。可转位刀片尺寸系列采用内切圆为统一基准所建成的自成系统的新系列。可转位刀具则是在传统刀具基本分类法及其尺寸系列基础上以功能替代原则修订的。

基于可转位刀具在 70 年代已开始普及应用,因而自 1976 年起,国际标准化组织(ISO)开始分期分批制订可转位刀片及各类可转位刀具的国际标准。

现对部分典型设计技术的发展简况作概要阐述。

(1) 可转位刀片断屑槽型设计

可转位刀片结构设计中,技术难度最大的是断屑槽型的设计。由于断屑槽型既关系到断屑可靠性,又涉及切削区几何参数进而影响可转位刀具效能的发挥,因而国际上花了大量人力物力投入该项技术的开发。到 80 年代末期,断屑槽型的开发已经历了四个阶段:60 年代的二维单级断屑槽(含通槽及封闭槽);70 年代的二维三级断屑槽;80 年代的三维断屑槽;80 年代末期起的三维通用断屑槽。

从 80 年代中期起,国际上著名硬质合金生产厂家,在刀片及模具 CAD/CAM 技术取得新进展,对三维槽型的研究进一步深化并取得技术上的突破,从而开发出新一代通用型断屑槽,其优点为:a. 断屑适应范围广(包括被加工材料及切削用量);b. 切削力小;c. 刀具寿命长。

新一代车削刀片槽型仅有三类:标准型;补充型;专用型。标准型亦称通用型,仅有三到四种,就能较好地满足通用机械、汽车制造、电力装备、重型机械、机床制造等行业绝大部分机械结构用材对断屑的要求,特别是数控机床及多功能机床对断屑的要求。

可转位刀片结构设计的另一项进展是:铣削刀片开始在较大范围内采用带断屑槽型的设计结构,使压制工艺性好的 0° 后角铣刀片扩大应用,并使铣刀刀片刃口强度得到了提高,切削力的分布合理化,大幅度提高了刀片寿命。

(2) 机夹可转位刀具本质上是一个多元件组成的切削功能部件,属复杂刀具范畴。基于切削工程数控自动化的发展,以及现代生产对多品种小批量非标刀具品种、规格增多,机夹可转位刀具常规的设计与制造方法已难以满足用户需要,从而促进了该类刀具的计算机辅助设计技术的开发与应用。70 年代初可转位刀具计算机辅助设计起步,到 80 年代末期,国外几个著名厂家实现了机夹可转位刀具部分品种的计算机辅助设计(CAD)及计算机辅助制造(CAM)一体化技术。例如德国 Hertel 公司建立了可转位孔加工刀具 CAD/CAM 系统,Ingersoll 公司铣削刀具 CAD/CAM 系统等等。

对于非标刀具采用 CAD 技术一般可在几分钟到十几分钟即可完成全部设计。又由于采用了 CAM 技术,刀具交货期已缩短到几周时间。个别公司在产品价格上已无标准产品与非标产品之分。

总之,机夹可转位刀具 CAD/CAM 技术的开发与应用,收到了良好效果。具体表现在:a. 提高了刀具设计效率及设计成功率;b. 缩短了刀具制造周期;c. 降低了新刀具开发成本。基于计算机换代迅速,CAD 工作站性能不断提高,而价格不断下降,数控机床及加工中心扩大应用,因而机夹可转位刀具的 CAD/CAM 技术在 90 年代将得到进一步开发与应用。

(3) 结构设计的几项发展

模块式结构:

由于要满足切削工艺的要求,机夹可转位刀具的品种规格较同类焊接刀具要多,据初步统计,一个大型硬质合金刀具厂生产的可转位刀具品种多达150个以上,规格在2000个左右。因此,为了便于用户应用,刀具厂研究了减少品种规格的技术措施。到80年代中期,首先在机夹可转位面铣刀结构上,开发模块式新结构,亦即在一个铣刀体上为用户提供主偏角不同规范的成组小刀夹,更换小刀夹即可变更铣刀主偏角,一把铣刀可以完成不同工序加工,扩展了刀具功能,节省了铣刀体。其后,模块式结构逐步扩大到孔加工刀具及其他刀具上。

刮削刀片:

在很多场合大型工件的大尺寸平面精密磨削是难于进行的。例如30万千瓦汽轮机上下机壳对接面的加工等。在70年代末期先后开发出立装式与平装式可转位刮削刀片及其精铣刀,可对大面积平面加工以铣代磨达到要求。刮削余量一般在 $0.02\sim 0.05\text{mm}$,被加工表面粗糙度 $\leq Ra0.4\mu\text{m}$ 。

多功能机夹可转位车刀:

到80年代中期,国际上首次开发了一种机夹可转位车刀只用一种刀片,可进行多种切削工序:外圆车削、车端面、切槽等;可多工序连续加工,车外圆可左右走刀。这是刀具结构设计上有代表性的新发展,它是利用切削力使刀杆夹持部分产生弹性变形及刀片偏转,来造成切削副偏角从而可以左右走刀进行外圆切削。

此外,还有阿基米得微调机构(调节面铣刀刀齿轴向跳动可 $\leq \pm 2\mu\text{m}$),新加工方法车铣法、车拉法、内螺纹展成铣削法等方面的发展相应的刀具,在此不再罗列。

(二)可转位刀片材质与发展

如前所述,可转位刀片的结构特征为材质的相结构设计提供了一个良好的外部环境。其一,每个刀片可自成一个独立的材料系统进行开发,给材料相结构设计提供了较大自由度。其二,不采用焊接方法,排除了材质设计对可焊性因素的考虑,不必添加对刀片整体切削性能造成下降的不利因素。其三,可转位刀片结构特征促进了粉末冶金压制成型工艺的发展,留给磨削精加工余量很小($0.02\sim 0.2\text{mm}$),降低了材料相结构设计对可磨削性的适应性考虑。因而加速了刀具材料的发展。

1. 硬质合金由二元合金向三元、多元合金扩展

自可转位刀具大面积推广应用起,国际上对硬质合金刀具磨损特性及其磨损机理进行了较深入的研究,并针对不同加工条件开发出多种高性能硬质合金。因此,于1975年国际标准化组织(ISO)首次制订了国际范围内通用的切削用硬质合金系列型谱: P 、 M 、 K 分类表。该型谱不仅为用户采用刀具材料起了指导作用,而且为刀具材料的开发起了定向性作用。

随着可转位刀具的开发与应用,以 WC 为基的硬质合金由二元合金(WC (硬质相)+ TiC (硬质相)+ Co (粘结相)),逐步扩展为多元合金($WC+TiC+TaC+NbC+\cdots+Co$)。近20年来,由于碳平衡原理在应用上的发展,使得固熔体复杂碳化物结构设计逐步优化,加之制粉制粒技术的进步,硬质合金性能有了大幅度提高。可以说,常用硬质合金设计技术已进入成熟期,会有突破的是在工艺方面。

2. 涂层硬质合金(HC^①)是现代刀具材料相结构优化设计的范例

涂层硬质合金是指在硬质合金刀片表面涂覆有一薄层硬质相的刀片材料,它由涂层+硬质合金基体组成。自1968年开发出硬质合金刀片表面化学涂层(CVD)工艺以来,基于其具有刀具表面耐磨性好,刀具内部强度高的综合优化性能,该类工艺发展很快,20年来已开发了三种工艺。

CVD工艺(化学涂层工艺),亦称高温涂层工艺,沉积温度800℃~1000℃,对基体有较高要求(1968年)。

PVD工艺(物理涂层工艺),亦称低温涂层工艺,涂层温度500℃~550℃,对基体无本质影响(1980年)。

PCVD工艺(物化综合涂层工艺),属低温涂层工艺,涂层与基体结合强度高于PVD接近CVD(1990年)。

CVD工艺在硬质合金可转位刀片上的应用占主导地位,该工艺的涂层相结构组成已由第一代TiC、TiN发展到第四代金刚石、立方氮化硼。国外涂层刀片已占硬质合金可转位刀片总产量的40%左右。

自PVCD工艺的诞生,将为涂层基体材质的开发提供了功能价格比优越的技术环境,PCVD将成为面向未来的主导工艺之一。

3. 钛基硬质合金(HT^②)成为现代精切削用可转位刀片材料

钛基硬质合金(Cermets)于1959年开发出来,它是以TiC为基、用金属元素作粘结相的硬质材料。由于第一代材质脆性大及可磨削性能差未能在生产中大面积应用,随着可转位刀具的推广应用及工件毛坯零件化工艺的发展,加速了对该类材料的开发,并于80年代取得突破。其组成由二元合金扩展为多元合金,新一代钛基硬质合金的硬度在HRA93时其抗弯强度可高达1.5GPa(150kgf/mm²)。其开发阶段如下。

1959年 TiC—Ni—Mo 钛基硬质合金

↓

TiC—TaC—Wc…钛基硬质合金

↓

1970年 TiC—TiN… 钛基硬质合金

↓

1974年 TiC—TiN—WC—TaC…钛基硬质合金

到80年代末期,日本生产的钛基硬质合金可转位刀片的产值已占各类材料可转位刀片总产值的28%。欧美工业化国家使用量约占6~10%。

用于可转位刀片材料尚有陶瓷、超硬材料等。

(三)机夹可转位刀具制造工艺

1. 可转位刀片制造工艺的变革

用50年代生产焊接刀片的工艺来生产可转位刀片,无论外在几何精度,还是内在质量都满足不了可转位刀片的要求,因而经过近15年的改进,硬质合金从制粉、制粒、制片、烧结直到

①、②:ISO513—1991(E)版材料代号

刀片精加工,生产工艺及装备都有了变革。

制粉:开发了制粉新技术,使 WC 粉末平均粒度可控制到 $\pm 10\%$ 的范围内,相对于早期工艺缩小了 10 倍以上,大大提高了刀片内在晶粒度的一致性及相结构可控性。

制粒:由机械制粒工艺转变为喷雾干燥制粒工艺,使得供压制的粉末粒子接近正圆形,大幅度提高了粉末流动性,提高了压制刀片尺寸均匀性。

压制:模具精度提高到微米级,全合金模具寿命由钢模具的几千件提高到 15~30 万件/套。

烧结:硬质合金刀片烧结采用真空烧结工艺,并开始进入真空加压烧结阶段,这就大大提高刀片内在质量。

刀片精加工:到 80 年代末期,精密级可转位刀片大都采用 NC、CNC、 μ 级精密专用磨床来加工刀片周边,大幅度提高刀片精度。

可转位刀片加工工艺的变革加速了可转位刀具的开发与应用。

2. 刀体制造工艺的发展

早期可转位刀具的刀体是采用通用机床加专用机床来生产,70 年代逐步增加数控机床及加工中心,进入 80 年代后,国际上各大硬质合金刀具生产厂开始了以数控机床、加工中心为主要生产设备的技术改造,普遍采用数控机床自动化生产工艺,部分公司建成了机夹可转位刀具柔性制造系统(FMS)。例如,德国 Hertel 公司于 80 年代中期建成了一条孔加工刀具柔性生产系统。而最早实行自动化柔性化生产可转位刀具的是日本东芝钨公司,于 80 年代建成了可生产车刀、立铣刀、面铣刀刀体的全自动化车间(FA),它由计算机及中央监视器控制整个生产过程,是全天候连续生产,据称可加工 900 种刀体和 3600 种不同形状和尺寸的零件,其技术经济效益为:机床台数减少 88%;工作人员减少 71%;机床开动率提高 2.5 倍;总工时减少 75%。

刀具制造工艺的进步,还有刀体无变形表面热处理工艺等等。

(四)相关技术与发展

在现代切削工程发展过程中,与机夹可转位刀具发展及应用相关的一些重要技术也相应地在开发应用,他们之间是互相关联互为促进的。发展较快的有工具系统、工具识别系统、刀具监控系统等。

1. 工具系统

刀具与机床的接口——起刀具装夹定位、传递动力的作用——现统称其为工具系统。最早是在镗铣床及钻床上存在与应用,但自 70 年代起数控机床发展很快,相应对工具系统提出了新的要求:

- (1) 联结刚度与重复定位精度要高;
- (2) 可快速更换刀具或中间接长模块,甚至能自动化更换;
- (3) 尺寸系列要优化设计,以最少的品种规格满足最多的不同加工任务。

数控工具系统的开发是与数控机床的发展同步的,它已经历了三个发展阶段。70 年代为整体结构式,80 年代初开发模块式结构,分车削类与镗铣类,80 年代末重点转入开发通用模块式结构,车、铣、钻、镗等万能接口。到 80 年代末已有几十种结构,这是由于结构型式设计一般都申请实用新型专利,故名目繁多,实际上是几种基本结构的变型。由于各种结构间都不具备互换性,因而造成用户不方便。为此,国际标准化组织于 80 年代末期开始着手制订标准,到 92

年提出了二种空心柄结构方案:

- (1) 1:10 锥度空心柄接口;
- (2) 双圆柱空心柄接口。

通过联结刚度、扭矩测试以及有限元分析结果表明,这二种结构高速动态联接精度与刚度都大大优于 7:24 锥柄结构。因而以空心柄为基型的工具系统,在今后将得到较快发展,甚至会成为主导结构。

2. 工具识别系统

工具识别系统是数控加工发展到加工中心阶段,用来存储、传递、识别工具技术信息的数据管理系统。系统通常由二部分组成:信息储存器与数据管理器。信息储存器是工具信息的载体,固定于刀柄或工具系统上,刀具或工具系统在企业的物流过程中,由数据管理器来识别该刀具实时技术数据,供管理部门作决策处理的依据。

识别系统也经历了几个发展阶段,机械插销编码式、纸带编码式、磁感应编码式。磁感应编码式信息储存器是一个多磁芯组合式磁片(如商品名为 ICS 系统,为 $\Phi 12\text{mm}$ 、厚 4mm 磁片),它直接安装于刀柄上,ICS 有 128 个十进制数码容量,可存放刀具多项数据,如刀具尺寸、切削数据、刀具寿命定额等。这些数据通过管理器的磁感应读字头可实时识别、存取、修改。它在刀具存储、组装、检测、自动换刀等整个生产过程中提供统一的刀具信息,从而保证了刀具信息流从计划部门到加工部门都不中断,在整个工厂中畅通。

3. 刀具监控系统

刀具监控系统是用来检测刀具切削功能是否失效,保证自动化切削加工能正常运行的刀具磨损、破损及与工件碰撞的信息管理系统。

刀具监控系统主要是由于自动化切削加工的发展而推动其开发的。从 70 年代起由开发期进入初步实用期。至今,国内外已开发出直接测量式与间接测量式两大类。若按传感方式分类则更多了。

直接测量式:

属在线而非实时测量系统,有:触发式刀具尺寸监控系统;CCD 摄像监控系统;红外线刀具破损监控系统;机械触针扫描式系统等。

间接测量式:

属在线实时测量系统,有:切削力式监控系统;切削功率监控系统;声发射(AE)监控系统,以及综合式监控系统等。

直接测量式监控系统已在 NC、MC 机床上较广泛应用,其监控精度以触发式最高(接近 100%),缺点为切削过程中产生刀具失效问题不能实时检测与处理。

间接测量式监控系统在 80 年代初期开始在 MC 机床上试用,优缺点刚好与直接测量互补。由于其属在线实时检测,这对自动化加工今后发展极为重要,因而国际上对监控系统的开发重点是放在该类刀具监控技术上。由于计算机技术的发展,预计该类监控技术到 90 年代末期将能普遍推广应用。

三、回顾与展望

机夹可转位刀具技术的内容是很广泛的,还涉及刀具管理系统的发展,刀具推广应用技术进步等,在本书将分四个层次:刀具基础;重点产品;相关技术;刀具管理与应用。将分列章节作系统介绍。

我国开发机夹可转位刀具起步不晚,并于 60 年代初期开始应用于 308 轴承自动生产线上,但由于对该项新技术所涉及工艺及工装改革及技术难度估计不足,工具行业资金有限,因而放慢了发展速度,也走过了一条漫长曲折的道路。自 70 年代末期开始,我国工具行业、有色金属行业加快了技术改造步伐,进入了建国以来第二次技改阶段。经过“七五”期间的技改,部分企业已在新的工装条件下开始大批量生产符合 ISO 标准的高性能刀片及部分品种的刀具。我国在推广应用机夹可转位刀具的过程中,在工具厂及机械制造厂共同努力下已取得了很大进展,并已取得较大的技术经济效果。

90 年我国可转位刀片已达年产 400~500 吨规模,预计到 95 年可达 650~750 吨水平。可转位刀具仅车刀与铣刀将从年产 40 万件上升到 60~70 万件。

随着改革开放,解放生产力,该类高效刀具必然会大规模应用于机械加工生产中。