

绿色高速干切滚齿工艺理论与关键技术

曹华军，李先广，陈鹏著



重庆大学出版社



内容提要

本书在国家 863 高技术研究发展计划项目(2012 AA040107)、国家自然科学基金项目(51475058)、教育部新世纪优秀人才计划(NCET13-0628)等资助下,主要研究了高速干切滚齿工艺理论与关键技术,其主要内容包括:高速干切滚齿工艺技术概论、成形机理、系统切削热传递模型及温度场控制技术、有限元及实验分析,高速干切滚齿机床开发的关键技术、高速干切滚刀开发的关键技术、高速干切滚齿工艺参数优化及其系统开发,系统热变形误差理论与补偿、艺碳排放计算及碳效率评估等。

本书基于高速干切数控滚齿工艺,对其相关基础理论和关键技术进行了较为系统地阐述,力求概念准确,易于理解,并符合工程实际。可供从事齿轮制造工艺或绿色制造方向的研究人员或工程技术人员参考,也可作为高等院校机械制造及其自动化专业研究生或本科生的选修教材。

图书在版编目(CIP)数据

绿色高速干切滚齿工艺理论与关键技术/曹华军,李先广,陈鹏著.

—重庆:重庆大学出版社,2016.8

ISBN 978-7-5624-9789-9

I. ①绿… II. ①曹…②李…③陈… III. ①滚齿机—生产工艺

IV. ①TG61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 160231 号

绿色高速干切滚齿工艺理论与关键技术

曹华军 李先广 陈 鹏 著

策划编辑:彭 宁 曾令维 杨粮菊

责任编辑:杨粮菊 版式设计:杨粮菊

责任校对:张红梅 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023)88617190 88617185(中小学)

传真:(023)88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆新金雅迪艺术印刷有限公司印刷

*

开本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:16.5 字数:424 千

2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5624-9789-9 定价:98.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

序



经过近年来的发展,绿色制造技术创新战略已成为全球共识,工业发达国家相继提出了绿色制造愿景和目标。《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》将绿色制造列为制造业领域发展的三大思路之一;《中国制造 2025》提出了“全面推行绿色制造”,并将“绿色制造工程”列为制造强国战略的五大工程之一。其中绿色制造工艺关键技术与装备是未来机械工业实施绿色制造战略的重要任务之一。

切削液(油)的发明和使用是金属切削加工的一次变革,大大改善了切削冷却润滑条件,有利于延长刀具寿命、断屑排屑,以及提高工件表面质量和加工精度,从而广泛应用于车、铣、钻、磨等金属加工工艺中。但由于切削液(油)在加工中形成大量油烟或油雾颗粒,对于操作者健康十分不利,严重危害工人健康;其废液的排放会对生态环境造成污染;此外,切削液(油)的储存、运输、保养、使用和废液处理成本也非常高。因此,金属切削加工业实施绿色制造的一个重要技术创新方向就是如何减少切削液(油)的使用带来的危害。高速干切削从源头上消除了切削液(油)导致的环境影响和职业健康问题,产生洁净、无污染的切屑,省去了切削液(油)的材料费及处理费等大量费用,进一步提高了生产效率和降低了生产成本,被誉为先进的绿色切削加工技





术,引起了工业发达国家的企业界和学术界的高度重视。但目前切削液(油)在我国金属切削加工领域仍处于难以替代的位置,消除或减少切削液(油)造成的职业健康危害和环境污染仍然任重道远,其也是机械工业实施绿色制造需要解决的重点问题之一。

齿轮是传递运动和动力的机械元件,广泛应用于汽车、舰船、航空航天、冶金、风电等行业。滚齿工艺是齿轮齿部粗加工和半精加工的通用工艺,量大面广。传统齿轮滚切加工过度依赖于使用切削油进行润滑和冷却,导致车间油雾弥漫刺鼻、地面油污湿滑,严重危害操作者身体健康,是金属切削车间中油雾污染最为严重的车间之一。自1997年日本三菱重工(MHI)首次将高速干切滚齿工艺实用化以来,世界各国制齿装备优势企业均将研发重心转向高速干切滚齿装备,美国格里森(GLEASON)、德国利勃海尔(LIEBHERR)等公司相继推出全新的高速干切滚齿机床和刀具等系列产品,使得该工艺快速进入产业应用和推广阶段。由于其具有生产效率高、单件成本低以及节能环保等多方面的优势,国内齿轮生产厂家也开始提出了采用高速干切滚齿工艺的大量需求。

在国家863计划重点课题“齿轮高速干式滚切工艺关键技术与装备(2012AA040107)”等多项国家科研项目的资助下,重庆大学与重庆机床(集团)有限责任公司合作,开展了齿轮绿色制造新型工艺——高速干切滚齿工艺技术和装备研制攻关工作。通过产学研合作,目前已开发出系列新型高速干切数控滚齿机床及相配套的高速干切滚刀,同时对高速干切滚齿工艺基础理论也开展了较为系统的研究工作,并取得了一定的突破。

绿色制造和齿轮行业的转型发展亟需新一代的绿色制造工艺和装备的自主创新研制。本书内容翔实,较为全面、系统地介绍了高速干切滚齿工艺的基础理论和关键技术,对于该领域的知识总结和技术

创新发展具有重要参考价值,同时对其他新型绿色制造工艺装备的研发也具有一定的借鉴意义。

中国机械工业联合会副秘书长

国家高档数控机床与基础制造装备重大专项专家



前言



干式切削技术是为适应全球日益高涨的环保要求和可持续发展战略而发展起来的一项绿色切削加工技术。从 20 世纪 90 年代开始,干式切削技术在各国工业界和学术界引起广泛的关注。目前工业发达的欧洲、美国和日本等的干式切削技术已成功应用到了生产领域,并取得了良好的经济效益。

齿轮是汽车、舰船、航空航天、冶金、风电等行业的关键基础传动零部件。目前我国齿轮行业总体销售额达 2 000 多亿人民币,已形成庞大的产业。滚切加工是齿轮齿部成型的主要切削工艺,滚切过程材料去除量大,需要消耗大量的切削油。而切削油及其油雾是车间、生态环境污染及操作者身体健康危害的主要源头。另据统计,湿式齿轮加工中消耗的切削油及切削油附加装置的费用约占加工成本的 20%。我国目前既是齿轮第一生产大国,也是滚齿机床第一生产大国,但在绿色高速干切工艺与装备领域仍处于探索阶段。

具有绿色制造特征的高速干切滚齿工艺将成为齿轮加工的未来发展趋势,并具有广阔的市场前景。随着我国节能减排战略的深入推广和广大企业环保意识的提高,高速干切滚齿工艺技术与装备的研发与产业化推广将成为我国齿轮加工行业未来发展的必然趋势。

本书的编著基于“十二五”“863”计划项目“齿轮高速干式滚切工艺关键技术与装备”(课题编号:2012 AA040107)及国家自然科学基金面上项目“齿轮绿色高速干切滚齿工艺性能优化基础理论与实验研



究”(项目批准号:51475058)的研究内容,汇集了重庆大学、重庆机床(集团)有限责任公司以及重庆工具厂有限责任公司在以上项目中的部分研究成果,希望为从事绿色化制造的研究人员及生产人员等提供参考,为我国国产机床向绿色化、干切化方向发展提供一些推动力。

本书共分为9章,主要内容按高速干切滚齿工艺的成形机理、温度场控制、机床开发关键技术、干切滚刀开发的关键技术、热变形误差补偿方法、参数优化及碳排放及碳效率评估展开。第1章为高速干切滚齿工艺技术概论,主要介绍了滚齿工艺技术的发展历程和高速干切滚齿工艺技术产生的背景及意义;第2章介绍了高速干切滚齿工艺的成形机理,包括圆柱齿轮滚切多刃断续切削空间成形数学模型、高速干切滚齿过程切屑三维几何数值计算及其特征分析、基于切屑几何的动态滚切力数值计算及分析、齿面包络波纹形貌数值计算及分析;第3章介绍了高速干切滚齿工艺系统切削热传递模型及温度场控制技术,包括高速干切滚齿工艺系统切削热生成机理、传递模型、分布规律及温度场控制方法;第4章介绍了高速干切滚齿有限元仿真及实验分析,包括高速干切滚齿仿真实论基础、高速干切滚齿仿真模型及实验设计、高速干切滚齿仿真及实验分析;第5章介绍了高速干切滚齿机床开发关键技术,包括高速干切滚齿机床总体设计,高速、重载荷滚刀主轴及工作台设计与制造,高速干切滚齿机床新型结构床身和辅助系统;第6章介绍了高速干切滚刀开发关键技术,包括高速干切齿轮滚刀几何结构设计,高速干切滚刀基体及涂层材料选择,高速干切滚刀制造的关键工艺,高速干切滚刀质量检测与评价;第7、8、9章分别介绍了高速干切滚齿工艺参数优化及其系统开发、系统热变形误差理论及补偿方法、碳排放计算及碳效率评估方法。

本书由曹华军、李先广、陈鹏著,在本书内容的研究和撰写过程中得到了沈宏、朱利斌、陈永鹏、杨潇、李本杰、张应、李洪丞、黄强等同志的支持和贡献,在此深表感谢。

本书有关研究工作得到了国家863计划、国家自然科学基金、教育部新世纪优秀人才计划的资助;本书的编写和出版得到重庆大学出版社的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

此外,本书写作过程中参考了有关文献,并尽可能地列在书后的参考文献中,在此向所有被引用文献的作者表示诚挚的谢意。

由于高速干切滚齿工艺是近年来为适应绿色制造而迅速发展的齿轮加工技术,专业性较强,涉及的相关研究较为复杂,加之作者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

著 者

2015 年 12 月



目录 Contents

第1章 高速干切滚齿工艺技术概论

1.1 滚齿工艺技术的发展历程	2
1.1.1 滚齿机床技术的发展现状及趋势	2
1.1.2 滚刀技术的发展现状及趋势	3
1.2 高速干切滚齿工艺技术产生的背景及意义	5
1.2.1 绿色制造战略背景	5
1.2.2 齿轮高效绿色制造的产业需求	7

第2章 高速干切滚齿工艺的成形机理

2.1 圆柱齿轮滚切多刃断续切削空间成形数学模型	11
2.1.1 齐次坐标变换原理——建模数学工具	11
2.1.2 滚刀几何结构的参数化数学模型	14
2.1.3 滚齿机床的空间运动学模型	25
2.1.4 圆柱齿轮滚切多刃断续切削空间成形界面	30
2.2 高速干切滚齿过程切屑三维几何数值计算及其特征分析	32
2.2.1 高速干切滚齿过程切屑三维几何数值计算方法	32
2.2.2 高速干切滚齿切屑三维几何特征分析	35
2.3 基于切屑几何的动态滚切力数值计算及分析	39
2.3.1 Kienzle Vector切削力经验公式	39
2.3.2 高速干切滚齿工艺滚切力数值计算原理	40



2.3.3 高速干切滚齿工艺滚切力仿真与实验分析	42
2.4 齿面包络波纹形貌数值计算及分析	44
2.4.1 渐开线圆柱齿轮理论齿面的数学模型	45
2.4.2 高速干切滚齿工艺齿面包络波纹形貌数值计算	47
2.4.3 滚切工艺参数对齿面包络波纹形貌的影响规律	50

第3章 高速干切滚齿工艺系统切削热传递模型及温度场控制技术

3.1 高速干切滚齿工艺系统切削热生成机理	54
3.2 高速干切滚齿工艺系统切削热传递模型	55
3.2.1 机床加工系统切削热三阶段热传递思想	55
3.2.2 高速干切滚齿工艺系统切削热传递过程	57
3.2.3 高速干切滚齿工艺系统切削热传递关系模型与热传递方程	59
3.3 高速干切滚齿工艺系统切削热分布规律	65
3.3.1 高速干切滚齿加工过程仿真分析	65
3.3.2 切削热在高速干切滚齿工艺系统中的分布	70
3.4 高速干切滚齿工艺系统温度场控制方法	75
3.4.1 高速干切滚齿工艺系统温度场控制基础理论	75
3.4.2 基于热传递模型的干切滚刀温度场控制方法	76
3.4.3 基于热传递模型的机床加工空间温度场控制方法	81

第4章 高速干切滚齿有限元仿真及实验分析

4.1 高速干切滚齿仿真基础理论	87
4.1.1 高速干切滚齿有限元控制方程	87
4.1.2 齿轮材料流动应力模型	88
4.1.3 金属材料分离准则	91
4.1.4 刀齿-切屑摩擦特性模型	94
4.1.5 高速切削加工热传导方程	95
4.2 高速干切滚齿仿真模型及实验设计	96
4.2.1 DEFORM-3D及仿真分析过程	96

4.2.2 高速干切滚齿仿真基础模型的建立	98
4.2.3 高速干切滚齿过程仿真实验设计	105
4.3 高速干切滚齿仿真及实验分析	109
4.3.1 高速干切滚齿切屑变形仿真与实验结果分析	109
4.3.2 高速干切滚齿切削力及切削应力分析	114
4.3.3 滚切温度场仿真与实验结果分析	121
4.3.4 影响高速干切滚齿性能的参数分析	128

第5章 高速干切滚齿机床开发的关键技术

5.1 高速干切滚齿机床总体设计	139
5.1.1 高速干切滚齿机床动力学计算	139
5.1.2 高速干切滚齿机床结构布局设计	141
5.1.3 高速干切滚齿机床电气、液压、气动及润滑系统总体设计	145
5.2 高速、重载荷滚刀主轴及工作台设计与制造	147
5.2.1 高速、重载荷滚刀主轴传动系统设计方案	148
5.2.2 高速、重载荷工作台传动系统设计方案	149
5.3 高速干切滚齿机床新型结构床身	151
5.3.1 床身结构设计	151
5.3.2 适应高速干切滚齿工艺的新型床身材料	154
5.4 高速干切滚齿机床辅助系统	155
5.4.1 排屑系统	155
5.4.2 自动上下料机械手	155

第6章 高速干切滚刀开发的关键技术

6.1 高速干切滚刀几何结构设计	159
6.1.1 高速干切滚刀几何结构设计准则	159
6.1.2 高速干切滚刀几何结构主要参数的确定	163
6.1.3 高速干切滚刀几何结构设计案例	165
6.2 高速干切滚刀基体及涂层材料	167



6.2.1	高速干切滚刀基体材料选择及性能分析	167
6.2.2	高速干切滚刀涂层工艺关键技术	168
6.2.3	高速干切滚刀涂层材料选择及性能分析	170
6.3	高速干切滚刀制造的关键工艺	172
6.3.1	高速干切滚刀的粗加工	172
6.3.2	高速干切滚刀的热处理	176
6.3.3	高速干切滚刀的精加工	178
6.4	高速干切滚刀质量检测与评价	180
6.4.1	高速干切滚刀的表面形貌检测与评价	180
6.4.2	高速干切滚刀的切削刃型检测与评价	182
6.4.3	高速干切滚刀的涂层厚度、涂层-基体结合质量的检测与评价	183
6.4.4	高速干切滚刀综合力学性能检测与评价	185

第7章 高速干切滚齿工艺参数优化及其系统开发

7.1	高速干切滚齿工艺参数概述	188
7.1.1	高速干切滚齿工艺参数常用表示符号	188
7.1.2	齿轮工件基本参数	189
7.1.3	高速干切滚刀基本参数	190
7.1.4	高速干切滚齿机床参数	192
7.1.5	高速干切滚齿切削工艺参数	193
7.2	高速干切滚齿工艺参数优化模型	197
7.2.1	国内外研究现状	197
7.2.2	高速干切滚齿工艺参数优化模型	197
7.2.3	工艺参数优化系统开发	201
7.2.4	应用案例	203

第8章 高速干切滚齿工艺系统热变形误差理论与补偿

8.1	高速干切滚齿工艺系统热变形误差理论	207
8.1.1	基于多体系统理论的高速干切滚齿机床热变形误差建模	208

8.1.2	机床热变形与滚齿加工误差的映射关系	212
8.2	高速干切滚齿工艺系统热变形误差实验	215
8.2.1	实验平台构建	215
8.2.2	机床热变形误差实验	220
8.3	高速干切滚齿工艺系统热变形误差补偿	222
8.3.1	高速干切滚齿工艺系统热变形误差补偿原理	222
8.3.2	基于多元线性回归的热变形误差模型	223

第9章 高速干切滚齿工艺碳排放计算及碳效率评估

9.1	高速干切滚齿工艺碳排放量化方法	226
9.1.1	高速干切滚齿工艺碳排放评价体系	226
9.1.2	高速干切滚齿工艺碳效率评价指标	231
9.2	高速干切滚齿工艺碳排放及碳效率经济效益分析	235

参考文献

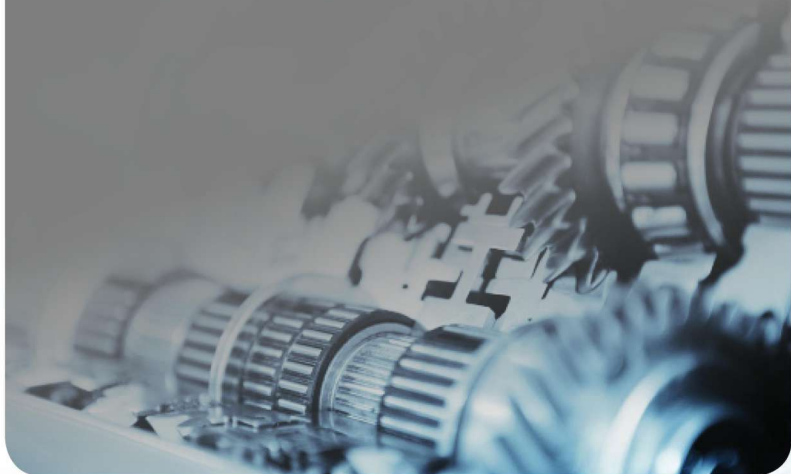
第 1 章



高速干切滚齿工艺技术概论

本章要点

- ◎ 滚齿工艺技术的发展历程
- ◎ 高速干切滚齿工艺技术产生的背景及意义





1.1 滚齿工艺技术的发展历程

1.1.1 滚齿机床技术的发展现状及趋势

(1) 滚齿机床国内发展现状

近几年,我国在滚齿机设计技术方面研究的主要内容经历了从传统机械式滚齿机通过数控改造发展为2~3轴(直线运动轴)实用型数控高效滚齿机,到全新的六轴四联动数控高速滚齿机的开发。滚齿机加工(钢件)全部采用湿式滚齿方式,由于滚刀线速度大于 70 m/min 后,会产生大量油雾,目前油雾的处理是采用全密封护罩加油雾分离器的方式将油和雾分开,将不含油的雾排向车间,冷凝后的油回到机床内循环使用;夹着油污的铁屑则通过磁力排屑器将铁屑和大部分油污分离。目前,国内主要滚齿机制造商重庆机床厂及南京二机床有限责任公司生产的系列数控高效滚齿机已采取全密封护罩加油雾分离器和磁力排屑器的方式部分地解决污染问题。世界上滚齿机产量最大的制造商——重庆机床厂,从2001年开始研究面向绿色制造的高速干切滚齿技术,2002年初研制成功既能干切又能湿切的六轴四联动数控高速滚齿机,2003年初又开始研制面向绿色制造的A型高速干式切削滚齿机。

(2) 滚齿机床的国外研究现状

在提高生产效率、降低制造成本的同时,还要做到环境保护、清洁加工,这是当前国外发达国家对机床研究的最前端技术。

在很多发达国家,由于在工业发展过程中大量掠夺性使用资源及只注重生产效率,使其工业已发展到较高的水平,人们的物质生活水平也得到了提高。此时,他们已感到早期的掠夺性使用资源及生产过程中对环境的保护不重视造成了对地球环境的极大破坏。因此,目前发达的工业国家(如美国、德国、日本等)都极其重视对环境的保护,在制造业领域较早提出绿色制造的要求。

目前国际上生产滚齿机的强国——美国、德国和日本,也是世界经济强国和汽车生产大国。美国的 Gleason Pflauter公司,德国的 Liebherr公司,日本的三菱重工公司(MITSUBISHI HEAVY INDUSTRY)、坚腾(Kashifuji)、清河(Seiwa)公司和意大利的 SU公司是国外最具实力的滚齿机制造商。这些公司目前生产的滚齿机都是全数控式的,中小规格滚齿机都在朝着高

速方向发展,所有高效机床均采用了全密封护罩加油雾分离器及磁力排屑器的方式部分地解决污染问题。为更好地满足滚齿加工中的绿色制造要求,德国 Liebherr公司早在十几年前就开始研究高速干式切削滚齿机,日本三菱重工则是最早将高速干式切削滚齿机商品化的制造商。目前, Liebherr Gleason Pflauser 三菱重工、SU、坚腾和清河均开发了适用于高速干式切削的滚齿机产品。在特别重视环保的世界著名齿轮制造商中,如德国 ZF公司、美国 Ford汽车公司等使用高速干式滚齿机已成为主流,我国上海汽车齿轮公司及陕西发士特公司也已开始采购三菱重工公司生产的干式切削滚齿机。

(3) 滚齿机的发展趋势

从环保生态学和技术经济角度出发,废除切削油,采用干式切削是大势所趋。干式滚齿分为高速干式滚齿和低温冷风干式滚齿两种方式。

湿式切削法需要配置油箱及油路系统,还需采取措施防止油变质,以及进行废油处理、工件清洗、切削油排出处理等。而切削油中含有对人体有害的硫化物、氯化物等。湿式切削只能通过全密封护罩加油雾分离器的方式部分地达到绿色制造的要求,目前这种环保型湿式切削滚齿机在发展中国家还会有大量需求。

低温冷风切削是在现有高效滚齿机的基础上增加低温冷风装置并采用极少量的切削润滑油,滚刀线速度为 $70 \sim 150 \text{ m/min}$,这种方式的干式切削在现有高效滚齿机的绿色化改造中会大有前途。

随着刀具材料、涂层技术等的发展,当前滚刀滚切线速度最高可达 600 m/min ,这就为高速干式切削滚齿机的应用提供了保障。干式切削与湿式切削相比,高速干式切削滚齿机由于完全不需要切削油,也不需要增加低温冷风装置,不但极大地提高了机床的生产效率、降低了工件的加工成本,而且有利于保护环境、节约自然资源。随着环境保护意识的日益提高和人们越来越重视各种各样的节能技术,高速干式切削滚齿机将成为齿轮制造商新购加工设备的目标。在此背景下,各大国际著名滚齿机床制造商都致力于开发高速干切滚齿机床,面向绿色制造的高速干切滚齿机床成为滚齿机发展的必然趋势。

1.1.2 滚刀技术的发展现状及趋势

滚刀是刀齿沿圆柱或圆锥作螺旋线排列的齿轮加工刀具,用于按展成法加工圆柱齿轮、蜗轮和其他圆柱形带齿的工件。根据用途的不同,滚刀分为齿轮滚刀、蜗轮滚刀、非渐开线展成滚刀和定装滚刀等。



(1) 齿轮滚刀

齿轮滚刀是常用的加工外啮合直齿和斜齿圆柱齿轮的刀具。加工时,滚刀相当于一个螺旋角很大的螺旋齿轮,其齿数即为滚刀的头数,工件相当于另一个螺旋齿轮,彼此按照一对螺旋齿轮作空间啮合,以固定的速比旋转,由依次切削的各相邻位置的刀齿齿形包络成齿轮的齿形。常用的滚刀大多是单头的,在大批量生产中,为了提高效率也常采用多头滚刀。

用高速钢制造的中小模数齿轮滚刀一般采用整体结构。模数在 10 mm 以上的滚刀,为了节约高速钢、避免锻造困难和改善金相组织,常采用镶片结构。镶片滚刀的结构形式很多,常用镶齿条结构,即刀齿部分用高速钢制成齿条状,热处理后紧固在刀体上。用硬质合金制造滚刀,可以显著提高切削速度和切齿效率。整体硬质合金滚刀已在钟表和仪器制造工业中广泛地用于加工各种小模数齿轮。中等模数的整体和镶片硬质合金滚刀已用于加工铸铁和胶木齿轮。模数小于 3 mm 的硬质合金滚刀也用于加工钢齿轮。硬质合金滚刀还可加工淬硬齿轮(硬度为 50 ~ 62 HRC)。这种滚刀常采用单齿焊接结构,制有 30° 的负前角,切削时刮去齿面的一层留量。生产滚刀的厂家和交易市场全国各地都有,如专业制作齿轮刀具的国营企业:重庆工具厂、汉江工具厂、哈尔滨第一工具厂。浙江温岭等地则多为民营企业,如温岭市开元工具厂、浙江工量刀具交易市场、重庆兴旺工具制造厂等。

(2) 蜗轮滚刀

蜗轮滚刀是常用的蜗轮加工刀具。蜗轮滚刀基本蜗杆的类型和主要参数(模数、齿形角、分度圆直径、螺旋升角和螺纹头数等)应当与工作蜗杆相同,因此,蜗轮滚刀常是专用的。当外径较大时,滚刀制成套装式;当外径较小时,将滚刀制成与心轴一体的带柄式结构。

① 非渐开线展成滚刀

工作原理与齿轮滚刀相同。花键滚刀可用于加工矩形齿、渐开线齿或三角形齿的花键轴,其加工精度和生产率较成形铣刀高。非渐开线展成滚刀还可加工圆弧齿轮、摆线齿轮和链轮等。

② 定装滚刀

定装滚刀各齿齿形不同,只有最后一个齿是精切齿。齿形和工件的齿槽相同,以成形铣削法切削工件的齿槽,因此定装滚刀必须相对工件的轴线安装在固定的位置上。滚刀上其余的刀齿都是粗切齿。加工时的运动关系与齿轮滚刀相同。成形滚刀可避免用展成刀具加工时齿根部产生的过渡曲线。棘轮滚刀是常用的定装滚刀。