

原位成型微织构 陶瓷刀具

YUANWEI CHENGXING WEIZHIGOU
TAOCI DAOJU

冯益华 袁培东 田园 / 等著




中国信息出版社有限公司

国家一级出版社
全国百佳图书出版单位

原位成型微织构陶瓷刀具

冯益华 袁培东 田 园 等 著

 中国纺织出版社有限公司

内 容 提 要

本书着重论述了原位成型微织构陶瓷刀具的制备原理和制备工艺,分析了微织构陶瓷刀具不同形貌的仿真状态,阐述了原位成型微织构陶瓷刀具的微观结构与力学性能,同时介绍了原位成型微织构陶瓷刀具的摩擦磨损特性和切削性能及其减摩耐磨机理等。

本书可供广大从事表面织构、陶瓷刀具等领域的技术人员参考,也可作为机械类专业教师和学生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

原位成型微织构陶瓷刀具/冯益华等著. --北京:
中国纺织出版社有限公司, 2020. 1
ISBN 978-7-5180-6921-7

I. ①原… II. ①冯… III. ①织构—陶瓷刀具 IV.
①TG711

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 237324 号

策划编辑: 范雨昕 责任编辑: 陈怡晓 责任校对: 王蕙莹
责任印制: 何 建

中国纺织出版社有限公司出版发行
地址: 北京市朝阳区百子湾东里 A407 号楼 邮政编码: 100124
销售电话: 010—67004422 传真: 010—87155801
<http://www.c-textilep.com>
中国纺织出版社天猫旗舰店
官方微博 <http://weibo.com/2119887771>
三河市宏盛印务有限公司印刷 各地新华书店经销
2020 年 1 月第 1 版第 1 次印刷
开本: 710×1000 1/16 印张: 12.25
字数: 206 千字 定价: 88.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社图书营销中心调换

前 言

切削加工是机械加工应用最广泛的加工方法之一,随着环保意识的不断增强,切削液所带来的环境和经济效应的弊端日益显现出来,绿色制造技术的发展为切削加工带来新的研究方向。干切削技术在高速切削加工中的应用已经成为研发的重点,并且在制造业等领域推广应用干切削加工技术,而干切削作为一种绿色制造工艺对于保护环境、节省资源和降低成本具有重要意义。由于陶瓷刀具高硬度和高耐磨性等优良的特性,能够实现高速高效加工,刀具寿命较长,可以提高切削效率,另外陶瓷刀具的使用对于节省战略性贵金属也有非常重要的意义。然而,陶瓷刀具在切削加工中的润滑和减摩问题仍有待进一步研究。

近年来,结合仿生学和摩擦学的相关研究发现,刀具表面并非越光滑越耐磨,而是具有一定非光滑形态的表面往往具有更好的减摩耐磨性能。为此刀具表面织构化已被证实是提高干切削刀具耐磨性能的有效方法之一,能够实现对难加工工件材料的高速、高效加工。在已有的刀具微织构中填充固体润滑剂,以双重耦合作用提高刀具切削性能的研究也有一定的进展。合理的表面织构能够有效地改善摩擦副接触状态,减少摩擦磨损,而表面织构的制备方式和形态参数一直是表面织构刀具研究的重点。

本书作者多年来一直致力于原位成型微织构陶瓷刀具制备及其性能的相关研究。本书提出了一种原位成型方法,一步制备微织构陶瓷刀具,通过凸模来制备微织构陶瓷刀具,从而减小了刀具二次加工所带来的损伤。同时,阐述了原位成型微织构陶瓷刀具的设计理论、制备工艺、力学性能、摩擦磨损特性和切削特性。这种制备微织构陶瓷刀具的方法具有非常好的应用价值,为微织构陶瓷刀具的量产化和模具化提供了理论基础。

本书是在总结这些研究成果的基础上撰写而成的,其主要内容均取材于作者在国内外专业期刊上发表的学术论文以及作者指导的研究生的学位论文。撰写此书的目的在于向读者系统介绍原位成型微结构陶瓷刀具的最新进展,并在实际中推广应用这些成果,希望对我国刀具技术的研究与发展起到积极有益的作用。

本书由齐鲁工业大学冯益华、袁培东、田园、张记云、张文泉撰写,全书由冯益华统稿。限于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

本书写作过程中得到了山东大学邓建新教授的指导和帮助,在此表示衷心的感谢。

本书的出版得到了山东省重点研发计划(2018GGX103006)的资助下,撰写过程中,中国纺织出版社有限公司给予了热情的帮助和指导,在此深表谢意。

冯益华

2019年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 微结构的作用和应用	2
1.1.1 微结构的发展	2
1.1.2 微结构的作用	3
1.1.3 微结构的应用实例	3
1.2 润滑方式的研究现状	7
1.2.1 传统润滑方式	7
1.2.2 固体润滑剂的分类及特征	8
1.2.3 石墨固体润滑剂的研究现状	11
1.3 微结构刀具国内外研究现状	12
1.3.1 刀具表面织构制备技术	12
1.3.2 微结构刀具切削性能和摩擦特性研究现状	14
1.4 原位成型微结构陶瓷刀具设计思路与研究内容	16
第 2 章 原位成型微结构陶瓷刀具设计和仿真模拟	19
2.1 微结构陶瓷刀具设计基础	19
2.2 微结构陶瓷刀具结构设计	24
2.2.1 微结构边界设计	24
2.2.2 微结构形貌设计	25
2.2.3 微结构方向设计	25
2.2.4 微结构尺寸设计	26
2.3 单一形貌微结构陶瓷刀具切削仿真	29
2.3.1 微结构刀具仿真切削研究现状	31

2.3.2	微结构刀具仿真模型的建立	32
2.4	微结构陶瓷刀具切削仿真结果与分析	37
2.4.1	微结构位置分布对切削性能的影响	38
2.4.2	微结构宽度对切削性能的影响	42
2.4.3	微结构间距对切削性能的影响	46
2.4.4	微结构沟槽方向对切削性能的影响	50
2.5	多形貌微结构陶瓷刀具切削仿真	55
2.5.1	圆柱凹坑型微结构几何尺寸对刀具切削性能的影响	56
2.5.2	圆凹坑型微结构几何尺寸对刀具切削性能的影响	59
2.5.3	水平沟槽类微结构几何尺寸对刀具切削性能的影响	62
2.5.4	垂直沟槽类微结构几何尺寸对刀具切削性能的影响	65
2.5.5	圆柱凸起型微结构几何尺寸对刀具切削性能的影响	68
2.5.6	圆凸起型微结构几何尺寸对刀具切削性能的影响	70
2.5.7	水平凸起型微结构几何尺寸对刀具切削性能的影响	72
2.5.8	垂直凸起型微结构几何尺寸对刀具切削性能的影响	74
2.6	总结	76
2.6.1	结构宽度对切削力的影响	76
2.6.2	结构间距对切削力的影响	77
2.6.3	结构深度/高度对切削力的影响	78
2.6.4	结构刃边距对切削力的影响	79
2.6.5	不同微结构刀具形貌及参数对切削温度的影响	80
第3章	微结构陶瓷刀具材料及制备	82
3.1	凸模形貌设计和加工	82
3.1.1	模压成型原理及特征	82
3.1.2	凸模凸起位置设计	83
3.1.3	凸模条纹凸起方向、宽度、间距及高度设计	84
3.1.4	凸模垫片加工工艺	85

3.1.5 凸模表面微凸起的三维形貌测量与分析	86
3.2 微织构陶瓷刀具材料的选取与制备工艺	88
3.2.1 微织构陶瓷刀具材料的选取	88
3.2.2 微织构陶瓷刀具的制备工艺	89
3.2.3 陶瓷刀具后处理工艺	91
3.3 微织构陶瓷刀具成型	95
第4章 微织构陶瓷刀具材料的力学性能及其微观结构研究	97
4.1 微织构陶瓷刀具材料的力学性能	97
4.1.1 测试试样的制备	97
4.1.2 力学性能的测试方法	98
4.1.3 烧结温度对陶瓷材料力学性能的影响	100
4.1.4 材料组分对陶瓷材料力学性能的影响	103
4.1.5 微织构对 Al_2O_3 -TiC 复合材料力学性能的影响	106
4.2 微织构陶瓷刀具材料的微观结构	108
4.2.1 微观结构的观测方法	108
4.2.2 烧结温度对 Al_2O_3 -TiC 陶瓷材料微观结构的影响	109
4.2.3 材料组分对 Al_2O_3 -TiC 陶瓷材料微观结构的影响	111
4.2.4 微织构对 Al_2O_3 -TiC 陶瓷材料微观结构的影响	113
4.3 微织构陶瓷刀具材料配比优化研究	116
第5章 微织构陶瓷刀具材料的摩擦磨损特性	118
5.1 微织构陶瓷刀具材料的摩擦磨损试验方法	118
5.1.1 试验装置	118
5.1.2 试验过程	119
5.2 微织构陶瓷刀具的摩擦磨损性能研究	122
5.2.1 载荷、转速及微织构间距对摩擦系数的影响	123
5.2.2 载荷、转速及微织构宽度对摩擦系数的影响	126

5.2.3	磨损机理研究	130
第6章	微织构陶瓷刀具的切削实验研究	135
6.1	单一形貌微织构陶瓷刀具切削性能	135
6.1.1	试验设备	135
6.1.2	试验方案	136
6.1.3	Al ₂ O ₃ -TiC 原位成型不同方向微织构陶瓷刀具切削性能	138
6.2	单一形貌不同尺寸微织构陶瓷刀具切削性	147
6.2.1	不同微织构形貌参数对切削力的影响	147
6.2.2	不同微织构形貌参数对切削温度的影响	149
6.2.3	不同微织构形貌参数对切削力波动的影响	152
6.2.4	不同微织构形貌参数对刀—屑接触表面的 摩擦因数的影响	153
6.2.5	不同微织构形貌参数对切屑形态的影响	155
6.2.6	不同微织构形貌参数对前刀面磨损的影响	157
6.2.7	减摩机理分析	161
6.3	多形貌不同尺度微织构陶瓷刀具切削性	163
6.3.1	不同微织构形貌参数对切削力的影响	163
6.3.2	不同微织构形貌、不同速度对切削力的影响	165
6.3.3	不同微织构形貌、不同速度对切削温度的影响	165
6.3.4	不同微织构形貌、不同速度对工件表面粗糙度的影响	167
6.3.5	不同微织构形貌、不同速度对前刀面磨损的影响	167
6.3.6	减摩机理的分析	170
	参考文献	173

第1章 绪论

目前先进加工技术中,干切削技术作为机械加工代表性方式之一,其以绿色加工为特色,在机械加工行业中占有重要地位,是实现资源和能源高效、清洁、循环利用与环境影响最小化的重要途径。然而在干切削过程中,不使用切削液会随之会出现诸多问题,如:不能及时带走切削热;促进了前刀面切屑黏附;刀—屑接触面的摩擦急剧增大等,导致刀具的使用寿命大大降低。为了提高干切削的切削性能,研究发现,将前后刀面上加工成一定形貌的微纳结构可以在一定程度上缓解以上问题。并且随着研究的逐步推进,向微织构内嵌入固体润滑剂,微织构和固体润滑剂的双重耦合作用进一步提高了刀具的耐磨性能。然而实现微织构和固体润滑剂双重耦合作用的刀具加工需要两个工序:首先,在刀具前刀面加工特定形貌的微织构;其次,向微织构内填充固体润滑剂。由此来看,采用微织构和固体润滑剂双重耦合作用的刀具加工工序烦琐,探究一种将两个工序合并一步成型的加工方法是有必要的。

在现有各种切削刀具制备过程中,适用于微织构刀具制备并向微织构内嵌入固体润滑剂一步成型的加工过程较少。以目前的研究进展,本书讲述采用原位成型法制备的微织构陶瓷刀具,可以达到这个效果。其原理是设计并制备用以原位成型微织构的固体润滑剂凸模,陶瓷刀具烧结时,利用凸模在基体中的占位,一次性制备出硬质耐磨相与软质润滑相交替共存的微织构陶瓷刀具。

1.1 微结构的作用和应用

1.1.1 微结构的发展

微结构是指通过一定的加工方法在材料的表面制备出具有不同几何参数和分布特征的微凹坑、微沟槽等阵列结构,随着绿色制造发展,干切削因不使用切削液起到了一定的环保作用,干切削中使用微结构刀具最初设计理念来源于现代仿生学,这是人类在观察动物活动中所获取的设计灵感。生物为了应对不同的生存环境,身体表面进化出具有特定形状微小结构。有的结构具有防滑功能,有的结构具有很好的耐磨性,而有的结构(如鲨鱼身上的皮鳞盾沟槽)具有减阻的功能等。

较早的微结构应用来自于台湾的 AN HUNG TAN 等人。他们在硬盘上加工微结构,结果表明与传统设计相比较,静摩擦力由原来的 3.93g 降低为 2.35g。新的设计拥有较低一点的黏滞作用,更好的耐久性,能够减少润滑剂退化,延长使用寿命。将微结构应用在人体骨骼中可以大大提高人工钛合金等金属骨骼的使用寿命,摩擦系数最多可降低 15.4%,减磨机理为微结构容纳了碎屑,减少了磨损,提升了金属的有效使用时间。

任露泉对牙齿以及贝壳等天然生物的身体构造表面微结构形貌进行了较为系统的分析,详细介绍了沟槽状、凹坑状、凸包状、凸包与沟槽复合,并对人的门牙表面以及竹材端面的微结构具体尺寸并进行了测量。在工程应用中,微结构能够降低移动的零部件之间的相互磨损,适当的微结构非光滑表面反而能够增大需要密封的零件的密封性。比如现在许多的表面加工处理的缸套,在有油润滑的条件下其性能反而优于普通缸套。

国外的 BRUZZONE AAG 对于仿生功能表面微结构的种类及应用领域进行了论述。常见的微结构形状以及相同形貌微结构可以有的不同相对运动方向,三销环试验是用来研究规则凹坑微结构对物体表面摩擦性能影响的,用来探索

凹坑微结构的尺寸参数对于面接触下的低副接触物体之间的摩擦情况的影响。试验结果表明,特定尺寸的下凹孔能够起到减轻相对摩擦的作用,在设定好凹坑的面积时同时要考虑凹坑深度对于减少摩擦的影响。在另一个试验中,添加了润滑油的微结构工件之间摩擦性能最好,这是由于微结构的存在增大了润滑油的存储量,在微结构与大量润滑油的作用下许多的空气溶于润滑油中起到了气泡的大量存储功能。气泡的存在又能够显著降低工件之间的摩擦。

1.1.2 微结构的作用

微结构具有良好的减摩耐磨性能,已广泛应用于轴承、齿轮、发动机缸套、密封圈和活塞等领域,微结构能够有效减小接触界面的摩擦系数进而减小摩擦力,从而延长零部件寿命,而且微结构技术的研究对于长期处于严酷环境下的设备尤其具有重要的意义。

目前,在干切削过程中,刀具的前刀面和工件紧密接触,发生剧烈摩擦,会产生很大的切削力和摩擦热,前刀面和工件间的接触区处于高温和高压状态,刀具的磨损会加快,寿命降低,加工工件表面质量也会恶化,而对刀具进行合理的设计能够改善刀具的减摩性和高温磨损性能,微结构已经逐渐应用于切削刀具。微结构对刀具的主要作用如下:

(1)产生动压润滑,提高承载能力:利用微坑或微沟槽产生的流体动压开启力和具有一定刚度的流体膜,从而提高承载能力。

(2)减小接触界面摩擦系数进而减小摩擦力:通过变小的接触界面长度和形成的润滑膜减小摩擦系数。

(3)储存润滑剂:通过微凹坑或微沟槽来储存 MoS_2 、 WS_2 、石墨等润滑剂。

(4)收集磨屑:润滑剂被挤出,微凹坑或微沟槽起到收集磨屑的作用。

1.1.3 微结构的应用实例

WAN YI 等利用激光打标机在钢表面加工出直径 $150\mu\text{m}$,深 $30\sim 35\mu\text{m}$ 的微结构,又利用双辉等离子喷射技术将 Cr 金属喷射到结构化表面,在摩擦磨损试验

机上以环—盘配副进行摩擦试验。研究了光滑表面、织构化表面以及织构化与 Cr 涂层的接触表面摩擦与磨损性能。结果表明,与光滑表面比较,织构化表面能显著降低摩擦系数,且织构化与金属涂层的耦合作用将试件的磨损率变得更低。

NACER TALAIGHIL 等利用数值模拟,借助有限差分法的数值模型,研究了圆柱形微结构的形状和阵列分布对流体动力滑动轴承的性能影响。理论研究表明,局部或整体分布的微结构能增加润滑油膜的厚度,从而减小摩擦力。具有整体分布结构的轴承中,由凹坑产生的流体动力负载能力作用不明显,而当结构分布在接触压力区的下滑件上时,局部分布的微结构在轴承中形成了动压力。当结构为深凹坑(最小膜厚度与凹坑深度比值 <1)以及偏心率为 0.6 时,对于压力接触区部分结构化的下滑件来说,轴承的性能有较大提高。

于海武等在发动机缸套表面加工了形貌各异的微凹坑,依次为圆形、椭圆形及正方形。利用往复型摩擦磨损试验机进行测试,探究了不同程度载荷下微凹坑形貌参数对试件表面摩擦学性能的影响。结果表明,三种形貌的凹坑对试件表面摩擦学性能具有不同的作用,按减摩效果递减的顺序,依次为椭圆形微凹坑、正方形微凹坑及圆形微凹坑,高负载情况下减摩效果较低负载时有所减弱。

马晨波等采用 ZY 型电路板制作机的钻头($\Phi 0.2\text{mm}$)分别在上试件(H62 黄铜销试件)和下试件(超高分子聚乙烯盘试件)上加工出了直径为 $200\mu\text{m}$,深度为 $20\mu\text{m}$,间隔 $400\mu\text{m}\times 400\mu\text{m}$, $400\mu\text{m}\times 800\mu\text{m}$ 的凹坑。研究了无表面结构、上下试件单表面结构以及双表面结构不同形式的摩擦副分别在两种润滑条件(富油和乏油)和两种载荷(50N、100N)下摩擦系数的变化规律。结果表明,随着载荷增大,表面结构对材料摩擦系数的影响作用也会变大。富油润滑条件下,高载荷时上、下两试件的单表面结构都可以减小摩擦系数,且上试件的单表面结构减磨效果更明显;乏油润滑条件下,下试件的单表面结构可以降低表面摩擦系数,但上试件的单表面结构反而增加了表面摩擦系数。在这两种润滑条件下,具有双结构的表面都不能有效地减小摩擦系数。

对耐磨构件来说,摩擦过程中接触表面多产生磨粒磨损和黏结磨损,微结构的存在容纳了磨粒和黏着物,提高了摩擦表面质量,减小了磨损率。RUITING

TONG 等利用分子动力学理论模拟了两个粗糙表面间的摩擦磨损,通过多尺度方法研究了纳米尺寸滑动件刚性多凸起和弹性具有织构化的表面间的摩擦性能。设计了四种形状各异的纳米织构表面以及六种半径不一的圆柱形凸起试件,比较不同试件表面的摩擦力,研究织构形状和凸起半径对摩擦特性的影响。结果表明,由半径 $20r_0$ ($r_0 = 0.2277\text{nm}$) 或者 $30r_0$ 的圆柱形凸起组成的表面,其摩擦力比其他表面大,磨损相对严重。半径 $10r_0$ 的圆柱形凸起表面,由于接触面积大导致摩擦力也较高,但是滑动过程平缓且磨损量较少。

GUANGNENG DONG 等运用物理气相沉积法在 M2 高速钢表层添加了 TiN 涂层,制作了平行和交错两种点阵结构,并在 Cameron-Plint 磨损试验机上进行磨损试验,研究这两种结构在边界润滑条件下对钢材料表面摩擦学性能的影响。结果表明,平行点阵涂层比交错型涂层磨损性能好。

符永宏等运用调 Q 半导体泵浦 YAG 激光器,在 45# 钢的表层制备出了尺寸各异的表面微织构,并进行摩擦磨损试验。研究其富油润滑时,在不同工况(高速轻载、中速中载、低速重载)条件下,面积率和织构深度对摩擦系数的规律。磨损形貌图如图 1-1 所示,结果表明,无织构表面出现明显的犁沟,和无织构表面比较,有织构表面的磨损程度均有所减小,在所列几组参数中,面积率 15%,深度 $5\mu\text{m}$ 的织构耐磨性最好。将微织构应用于具有 SiC 涂层的材料中,能够使原有材料获得更佳的减摩效果,这是涂层与微织构双重作用的优化结果。在微织构的成型方面,韩志武在放大镜下观察了 4 种仿生微织构表面形态及其表面材料的金相组织。结果表明对于激光加工微织构这种加工方式,能形成微小的硬质金相组织,而这些组织更加有利于提高工件在其表面的抗磨损性能。电火花加工的金属合金表面微织构,大大延缓了金属的磨损速度且增强了其性能。然而这也使得所加工的金属表面粗糙度增大,损伤了金属的表层结构。电火花加工后的工件,表面微织构完整性一般,电火花的烧蚀功能也会改变微织构处工件材料的性质。作为一种微织构加工方式,电火花加工需要进行完善。其他特定方法也可以加工生成特定的表面微织构,不同的加工成型方法有着不同的特点与缺陷。

表面微织构并不是越密集和复杂效果越好,而是要有特定的参数,SHAHR-

AM SHARAFAT 对于微结构的热量传导进行了分析,较好地解释了其降温的原理。参数不合理的微结构会增大加工中产生的震动和噪声,将微结构与超声震动共同作用起来,可以更好地增加刀具使用次数与时间。这些都表明在刀具表面加工特定形状的微结构是完全可行的,为接下来的工作打下了坚实的基础。这也成为以后相关工作的理论指导。

对摩擦副表面来说,表面织构的存在减小了工件与对磨副的接触面积,增大了工件与空气之间的热传导,从而减小了温升。WU WEI 等在 ASTM1045 钢表面加工了宽 $210\mu\text{m}$,深 $150\mu\text{m}$,面密度分别为 30%、42% 和 55% 的平行凹槽织构,在干摩擦条件下进行摩擦磨损实验,研究不同面密度织构表面与无织构表面温升、摩擦系数以及磨损量的变化。结果表明,和无织构试样比较,结构化试样表面温升大幅减小,但摩擦系数的改变量不大。面密度较高的试样表面温升较小,因为由磨损和塑性变形引起的能量损耗与整个摩擦过程的能量相比很小,因此这些因素不足以影响温升。邢佑强等采用激光加工,在刀具负倒棱和前刀面上依次制得了纳织构和微织构,并填充 MoS_2 润滑剂得到微纳复合结构化的自润滑刀具,并进行切削 $45^\#$ 淬火钢试验。结果表明,在整个切削行程中,该刀具能减小切削力,降低切削温度,有效缓解刀具前刀面的磨损情况。

图 1-1 为微沟槽刀具和微凹坑刀具示意图。沟槽或凹坑能够减小刀—屑接触面的摩擦,填充在沟槽和凹坑内的润滑剂能够有效地润滑,并且能够改善刀具表面的黏结及磨损抗力,沟槽和凹坑的存在还能改变切屑的流向和稳定积屑瘤。

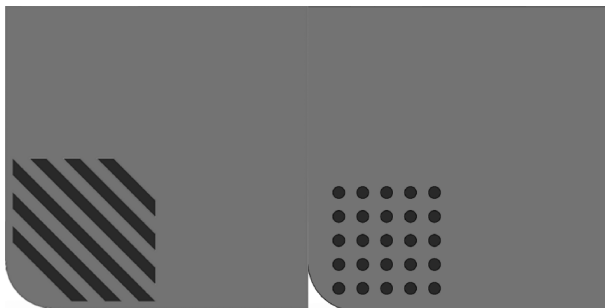


图 1-1 微沟槽刀具和微凹坑刀具示意图

1.2 润滑方式的研究现状

目前在刀具切削加工中的润滑方式有切削液润滑、固体润滑剂润滑、低温冷风润滑、微量润滑等。切削过程中采用合理的润滑技术能够有效地减小切削过程中的摩擦和磨损,改善刀具的切削性能,主要包括减小摩擦系数和摩擦力、减小切削热从而降低切削温度、减小刀具磨损从而提高刀具寿命,减小刀具表面的黏结从而抑制积屑瘤的产生进而改善加工工件表面质量,切削过程中润滑的主要目的是减小刀具与工件之间的摩擦,实现润滑的基本原理是在刀—屑接触界面形成润滑薄膜,润滑薄膜一方面可以阻止刀具前刀面与切屑的直接接触,另一方面也可以减小接触界面的摩擦剪切强度,从而减小摩擦系数,降低摩擦力。

1.2.1 传统润滑方式

传统的切削润滑方式为切削液润滑,目前在实际的生产中应用最为广泛,而切削液可以分为水基和油基两大类。水基的切削液可分为乳化液、半合成切削液和全合成切削液,油基切削液是由基础油复配不同比例的极压耐磨添加剂、润滑剂、防锈剂、防霉杀菌剂、催冷剂等添加剂合成,切削液易稀释且具备良好的冷却性能、润滑性能、防锈性能、除油清洗功能、防腐功能。克服了传统皂基乳化液夏天易臭、冬天难稀释、防锈效果差的缺点,对车床漆也无不良影响,并且具备无毒、无味、对人体无侵蚀、对设备不腐蚀、对环境无污染等特点。

李涛研究了铝合金加工用水基切削液润滑性能的影响因素。实验结果表明,稀释液 pH、乳液粒径对润滑性能的影响最为显著,基础油含量、润滑添加剂种类及含量等亦有明显影响;稀释液 pH 越低、乳液粒径越大、基础油和合成酯含量越高,润滑性能越好;三羟甲基丙烷油酸酯、乙氧基化聚合酯、氯化石蜡、硫化脂肪酸酯等均为有效的铝合金加工润滑添加剂,但硫化烯烃润滑性能较差。

Denkena 采用 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ 陶瓷刀具车削淬硬钢的试验研究了切削液中润滑剂的作用,结果表明,在切削液中加入润滑剂能够减小切削过程中的摩擦和刀具磨损,抑制刀具表面的黏结,从而提高刀具寿命,改善工件已加工表面质量。Avila 和 Abrao 研究了三种不同的切削液对 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ 陶瓷刀具切削 AISI4340 淬硬钢时刀具寿命的影响,并将实验结果与干切削试验对比。结果表明,不含矿物油的乳基切削液能够最有效地提高刀具寿命,减少刀具磨损,合成切削液及含有矿物油的乳基切削液并不能改善刀具切削性能。

1.2.2 固体润滑剂的分类及特征

固体润滑是以固体粉末、整体材料等作为润滑相,通过一定途径涂覆在相对运动的表面,而且能够黏着在摩擦表面形成固体润滑膜。摩擦时在对偶材料表面形成转移膜,使摩擦发生在润滑剂内部,从而减小摩擦,降低磨损。在固体润滑过程中,接触表面间的固体润滑膜成型方式有多种,比如固体润滑剂在两接触面的相互运动作用下涂覆在接触面之间,或通过周围介质与摩擦表面发生物理、化学作用等。固体润滑剂的种类较多,润滑机理也较为复杂,以基本原料来区分,可以分为软金属类、金属化合物类、无机物类和有机物类等。

1.2.2.1 软金属类

软金属作为固体润滑材料应用始于航空航天工业,因其具有较低的剪切强度,在发生摩擦时,软金属会在对偶材料表面形成转移膜,使摩擦发生在软金属润滑与转移膜之间,从而降低摩擦系数,减小磨损。软金属的纯度越高,其剪切强度就越低,越容易在软金属内部产生滑移。另外,比如金、银、铅都是面心立方结构,它们的晶体都具有各向异性,且没有低温脆性,即使在低温环境中也不会丧失润滑性能。一些软金属在辐射、真空和重载等条件下也具有良好的润滑效果,可以充当固体润滑剂,并且一旦黏着于基材表面,便能牢固的黏结在一起,发挥它优异的减摩和润滑作用。

通常,单独使用的软金属都是以物理化学镀覆的方法在基材表面镀上一层极薄的固体润滑膜,或以金属微粉用粉末冶金的方法制成复合材料使用。在摩