

纳米流体微量润滑磨削 理论与关键技术

李长河 著

卢秉恒 主审

 科学出版社

纳米流体微量润滑磨削 理论与关键技术

李长河 著
卢秉恒 主审



科学出版社

11-11

内 容 简 介

本书是以纳米流体微量润滑磨削理论、关键技术研发与应用为主线,汇集了著者多年来从事微量润滑磨削绿色制造工艺的最新研究成果,在《中国制造 2025》及绿色制造国际大趋势的背景下,结合国内外先进制造工艺技术的最新发展趋势,在国家自然科学基金(51175276, 51575290)及山东省自然科学基金项目的支持下开展的研究工作。全书主要包括微量润滑磨削的国内外研究现状及难题描述、纳米粒子强化换热机理及纳米流体对磨削区的热力学作用规律、纳米流体微量润滑磨削机理及砂轮/工件界面摩擦学特性、纳米流体微量润滑磨削表面形貌机理研究等内容。

本书可作为高等院校机械类、近机械类各专业的本科生与研究生的教材和参考书,同时也可供机械工程专业技术人员学习和参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

纳米流体微量润滑磨削理论与关键技术/李长河著. —北京:科学出版社, 2018.1

ISBN 978-7-03-052970-1

I. ①纳… II. ①李… III. ①纳米润滑-磨削-理论 IV. ①TG580.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 116414 号

责任编辑:邓 静 张丽花 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:吴兆东 / 封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 1 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2018 年 1 月第二次印刷 印张:21

字数:401 000

定价:158.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229 010-64034315

前 言

绿色发展是国际大趋势。资源与环境问题是人类面临的共同挑战，可持续发展日益成为全球共识。特别是在应对国际金融危机和气候变化背景下，推动绿色增长、实施绿色新政是全球主要经济体的共同选择，发展绿色经济、抢占未来全球竞争的制高点已成为国家重要战略。发达国家纷纷实施“再工业化”战略，重塑制造业竞争新优势，清洁、高效、低碳、循环等绿色理念、政策和法规的影响力不断提升，资源能源利用效率成为衡量国家制造业竞争力的重要因素，绿色贸易壁垒也成为一些国家谋求竞争优势的重要手段。绿色制造是工业转型升级的必由之路。我国作为制造大国，尚未摆脱高投入、高消耗、高排放的发展方式，资源能源消耗和污染排放与国际先进水平仍存在较大差距，工业排放的二氧化硫、氮氧化物和粉尘分别占排放总量的 90%、70%和 85%，资源环境承载能力已近极限，加快推进制造业绿色发展刻不容缓。以实施绿色制造工程为牵引，全面推行绿色制造，不仅对缓解当前资源环境瓶颈约束、加快培育新的经济增长点具有重要现实作用，而且对加快转变经济发展方式、推动工业转型升级、提升制造业国际竞争力具有深远历史意义。

传统制造业绿色化改造重点是实施生产过程清洁化改造。以源头削减污染物产生为切入点，革新传统生产工艺装备，鼓励企业采用先进适用清洁生产工艺技术实施升级改造。基础制造工艺绿色化改造大力推广少无切削液绿色加工等技术。到 2020 年，节能 30%以上，节材、减少废弃物 20%以上。

《中国制造 2025》明确提出绿色制造工程为五大重点建设工程之一，组织实施传统制造业能效提升、清洁生产、节水治污、循环利用等专项技术改造。开展重大节能环保、资源综合利用、再制造、低碳技术产业化示范。实施重点区域、流域、行业清洁生产水平提升计划，扎实推进大气、水、土壤污染源头防治专项。制定绿色产品、绿色工厂、绿色园区、绿色企业标准体系，开展绿色评价。到 2020 年，建成千家绿色示范工厂和百家绿色示范园区，部分重化工行业能源资源消耗出现拐点，重点行业主要污染物排放强度下降 20%。到 2025 年，制造业绿色发展和主要产品单耗达到世界先进水平，绿色制造体系基本建立。

大流量供给磨削液的浇注式磨削不仅增加磨削液的处理成本，而且大量浪费磨削液，对环境造成极大的伤害。综合考虑环保、低碳、加工性能和经济性等因素，浇注式磨削加工已经不再适应绿色制造和可持续发展的理念。因此，需要开发绿色环保、高效低耗的磨削液或者发展新的清洁、低耗、高效和可持续的绿色磨削加工新技术，既能达到浇注式冷却润滑的工艺效果，又能保证工件的加工精度和表面质量，提高砂轮的使用寿命，降低磨削液对环境的污染。

纳米流体微量润滑磨削就是基于上述背景和强化换热理论,提出的一种新型的高效、低耗、清洁、低碳的精密加工生产方式。具体做法是将一定量的纳米级固体粒子加入可降解的微量润滑液中制备成纳米流体,通过高压气体将纳米流体进行雾化,并以射流的方式喷入磨削区。高压气体起冷却、除屑和输送润滑液的作用;微量润滑液起润滑和减摩的作用;在相同粒子体积含量下,纳米级固体粒子的表面积和热容量远大于毫米级或微米级的固体粒子,因此纳米流体的导热能力将大幅度增加。纳米粒子增加了磨削区流体的换热能力,起到了强化换热、降低磨削区温度的作用。更进一步的研究结果表明:纳米粒子具有极好的抗磨减摩特性和高的承载能力,因此可进一步提高磨削区的润滑减磨的摩擦学性能。纳米粒子参与强化换热的纳米流体微量润滑磨削方法,最大限度增加了微量润滑磨削的换热能力和润滑性能,解决了微量润滑换热能力不足的技术瓶颈,为微量润滑在磨削加工中的应用开辟了一条新途径。

本书第1~6章由刘国涛和杨敏整理编写,第7~10章由李本凯整理编写,第11~15章由王要刚整理编写,第16~18章由张彦彬和贾东洲整理编写。全书由李长河教授统稿和定稿。另外,课题组的吴启东高级工程师、张乃庆高级工程师、侯亚丽高级实验师也参与了本书部分内容的研究工作。本书在编写过程中,得到了著者所在院校和科学出版社的大力支持,在此表示诚挚的感谢。

本书承蒙中国工程院院士、西安交通大学卢秉恒教授主审,卢院士提出了许多宝贵的建议,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中得到了许多专家、同仁的大力支持和帮助,参考了许多教授、专家的有关文献,在此也一并向他们表示衷心的感谢。

由于著者的水平和时间有限,书中难免存在疏漏和不当之处,恳请广大读者批评指正。

著者

2017年3月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.1.1 浇注式磨削加工	1
1.1.2 干式磨削加工	3
1.1.3 低温冷却磨削加工	4
1.1.4 微量润滑磨削加工	4
1.1.5 纳米流体微量润滑磨削加工	5
1.1.6 纳米流体的强化换热与摩擦学性能	5
1.2 研究意义	7
1.3 国内外研究现状分析	7
1.3.1 国内研究现状	7
1.3.2 国外研究现状	9
1.4 研究特色及难题描述	10
1.4.1 研究特色	10
1.4.2 难题的描述与说明	11
参考文献	12
第 2 章 纳米流体微量润滑强化换热机理	17
2.1 引言	17
2.2 纳米流体的制备	17
2.2.1 单步法制备纳米流体	17
2.2.2 两步法制备纳米流体	18
2.2.3 纳米流体的分散技术	19
2.3 纳米流体的特征	20
2.3.1 纳米流体的组织结构	21
2.3.2 纳米流体的导热系数	23
2.3.3 纳米流体导热系数的影响因素	24
2.4 纳米流体流动和能量传递机理	26
2.4.1 纳米流体的流动与传热实验分析	26
2.4.2 纳米流体自然对流分析	27
2.4.3 纳米流体沸腾换热特性分析	28

2.5 其他纳米流体制备方法	29
参考文献	30
第3章 纳米流体微量润滑磨削加工机理	32
3.1 引言	32
3.2 磨粒切削刃的磨削模型	33
3.3 磨削性能评价参数	35
3.3.1 磨削接触弧长	35
3.3.2 有效磨刃数	36
3.3.3 未变形磨屑厚度	37
3.3.4 磨削力	39
3.3.5 比磨削能	41
3.3.6 磨削热	41
3.3.7 磨削热源模型	43
3.3.8 磨削温度的测量方法	47
3.3.9 工件表面完整性	49
3.3.10 砂轮磨损和磨屑形成	51
参考文献	52
第4章 纳米流体微量润滑磨削的热传递机理	54
4.1 引言	54
4.2 磨削温度场传热模型	54
4.2.1 瞬时点热源传热模型	54
4.2.2 瞬时线热源传热模型	55
4.2.3 瞬时面热源传热模型	56
4.3 磨削边界条件	57
4.3.1 边界条件	57
4.3.2 对流换热	58
4.4 数值分析模型	60
4.4.1 控制方程	61
4.4.2 边界条件	62
4.4.3 对流换热模型	62
4.5 磨削热分配	65
4.5.1 热量分配	65
4.5.2 能量比例系数	66
参考文献	68

第 5 章 纳米流体微量润滑平面磨削镍基合金温度场有限元分析	69
5.1 引言	69
5.2 磨削温度场有限元仿真模型的建立	69
5.2.1 工件材料属性	69
5.2.2 分析步的确定	71
5.2.3 边界条件	71
5.2.4 加载载荷	72
5.2.5 有限元网格划分	73
5.3 平面磨削温度场仿真温度结果分析	74
5.3.1 磨削运动方向温度解析	74
5.3.2 磨削深度方向温度解析	77
5.3.3 磨削宽度方向温度解析	79
5.4 对流换热对磨削温度场的影响	80
5.4.1 冷却润滑方式对磨削温度场的影响	80
5.4.2 纳米流体微量润滑对磨削温度场的影响	85
参考文献	88
第 6 章 不同冷却润滑方式微量润滑平面磨削的实验研究	91
6.1 引言	91
6.2 实验设备与材料	91
6.2.1 实验设备	91
6.2.2 实验材料	92
6.3 实验方案	94
6.4 实验测量	96
6.5 实验结果分析	98
6.5.1 冷却润滑方式对冷却润滑效果的影响	99
6.5.2 纳米流体微量润滑对冷却润滑效果的影响	104
6.5.3 纳米粒子体积浓度对冷却润滑效果的影响	108
参考文献	113
第 7 章 不同植物油微量润滑磨削温度和能量比例系数实验研究	115
7.1 引言	115
7.2 实验设计	115
7.2.1 实验设备	115
7.2.2 实验材料	117

7.2.3	实验方案	119
7.3	实验结果分析	120
7.3.1	磨削力	120
7.3.2	磨削温度	121
7.3.3	传入工件的能量比例系数	123
7.4	分析讨论	123
7.4.1	磨削力	123
7.4.2	磨削温度	126
7.4.3	传入工件的能量比例系数	128
	参考文献	128
第 8 章	不同纳米流体微量润滑冷却磨削的换热性能实验研究	130
8.1	引言	130
8.2	实验设计	130
8.2.1	工件材料	130
8.2.2	纳米流体	130
8.2.3	实验方案	131
8.3	实验结果分析	132
8.3.1	磨削力比率	132
8.3.2	磨削温度	134
8.3.3	传入工件的能量比例系数	135
8.4	分析讨论	136
8.4.1	纳米粒子导热系数对换热性能的影响	136
8.4.2	纳米流体黏度对换热性能的影响	137
8.4.3	纳米流体接触角的影响	140
8.4.4	纳米流体表面张力的影响	142
	参考文献	142
第 9 章	不同浓度纳米流体物理特性对磨削温度影响的实验研究	145
9.1	引言	145
9.2	实验设计	145
9.2.1	实验材料	145
9.2.2	实验方案	147
9.3	实验结果分析	147
9.3.1	磨削力	147
9.3.2	磨削温度	149

9.3.3 传入工件的能量比例系数	151
9.4 分析讨论	151
9.4.1 纳米流体黏度的影响	151
9.4.2 纳米流体导热系数的影响	155
9.4.3 纳米流体接触角的影响	159
参考文献	161
第 10 章 不同工件材料微量润滑磨削温度研究	164
10.1 引言	164
10.2 实验设计	164
10.2.1 工件材料	164
10.2.2 纳米流体	164
10.2.3 实验方案	165
10.3 实验结果分析	166
10.3.1 比磨削力	166
10.3.2 实验磨削温度	167
10.4 仿真结果	168
10.4.1 仿真相图	169
10.4.2 工件表面温升	170
10.4.3 仿真磨削温度	171
10.5 实验与仿真结果比较	172
10.5.1 磨削温度曲线	172
10.5.2 磨削温度比较	173
10.6 分析讨论	173
10.6.1 工件材料属性分析	173
10.6.2 纳米流体换热状态分析	176
参考文献	179
第 11 章 植物油微量润滑磨削砂轮/工件界面润滑性能实验研究	181
11.1 引言	181
11.2 实验部分	181
11.2.1 实验设备与磨削参数	181
11.2.2 实验材料	185
11.2.3 实验设计	186
11.3 实验结果	187
11.3.1 摩擦系数	188

11.3.2	比磨削能	189
11.3.3	磨削 G 比率	189
11.4	实验结果分析与讨论	190
11.4.1	植物油微量润滑与浇注式润滑性能比较	190
11.4.2	植物油分子结构对润滑性能的影响	192
11.4.3	植物油成分对润滑性能的影响	193
11.4.4	植物油黏度对润滑性能的影响	194
11.4.5	工件表面形貌和表面粗糙度	196
	参考文献	197
第 12 章	纳米流体微量润滑磨削砂轮/工件界面润滑性能实验研究	199
12.1	引言	199
12.2	实验部分	199
12.2.1	实验设备与磨削参数	199
12.2.2	实验材料	200
12.2.3	实验设计	201
12.3	实验结果	201
12.3.1	比滑动磨削力	201
12.3.2	滑动摩擦系数	203
12.3.3	比滑动磨削能	203
12.3.4	磨削 G 比率	204
12.4	实验结果分析与讨论	205
12.4.1	三种润滑条件下润滑性能比较	205
12.4.2	纳米粒子物理性质对润滑性能的影响	206
12.4.3	纳米流体的黏度对润滑性能的影响	209
12.4.4	金刚石纳米流体润滑性能的分析	210
12.4.5	工件表面粗糙度和表面形貌	211
	参考文献	214
第 13 章	纳米流体在摩擦磨损和磨削加工中的摩擦学性能对比研究	216
13.1	引言	216
13.2	实验部分	216
13.2.1	实验设备与实验参数	216
13.2.2	实验材料	217
13.2.3	实验设计	218
13.3	实验结果与分析	218

13.3.1 摩擦学实验结果	218
13.3.2 磨损表面形貌分析和摩擦膜的形成	221
13.3.3 摩擦磨损实验与磨削实验的比较	226
参考文献	228
第 14 章 不同浓度 Al_2O_3 纳米流体微量润滑磨削砂轮/工件界面 摩擦学性能实验研究	230
14.1 引言	230
14.2 实验部分	230
14.2.1 实验设备与磨削参数	230
14.2.2 实验材料	230
14.2.3 实验设计	231
14.3 实验结果分析与讨论	232
14.3.1 宏观磨削性能参数	232
14.3.2 表面微观特性与形貌分析	234
14.3.3 动态黏度和接触角的影响	239
14.3.4 Al_2O_3 纳米粒子减摩抗磨机制	243
参考文献	244
第 15 章 不同植物油纳米流体微量润滑磨削不同工件材料工艺参数优化设计	246
15.1 引言	246
15.2 实验部分	246
15.2.1 实验设备与磨削参数	246
15.2.2 实验材料	247
15.2.3 实验设计	248
15.3 实验结果分析与讨论	249
15.3.1 信噪比分析	249
15.3.2 方差分析	255
15.3.3 验证实验	256
15.3.4 微观结构和形貌分析	257
参考文献	260
第 16 章 单颗磨粒磨削过程表面形貌建模与仿真	262
16.1 引言	262
16.2 工件表面坐标系的建立	264
16.3 单颗磨粒运动学模型	264

16.4	磨粒几何模型	265
16.4.1	磨粒的形状	265
16.4.2	磨粒的尺寸	266
16.5	磨粒与工件的相互作用	267
16.5.1	弹性变形模型	267
16.5.2	塑性堆积模型	268
16.6	未变形切屑厚度	270
16.7	工件表面形貌矩阵	273
16.8	单颗磨粒磨削过程仿真	273
16.8.1	仿真参数	273
16.8.2	仿真程序流程	274
16.8.3	仿真结果分析	274
	参考文献	275
第 17 章	工程化砂轮磨削表面形貌建模与仿真	277
17.1	引言	277
17.2	工程化砂轮	277
17.2.1	工程化砂轮的定義	277
17.2.2	工程化砂轮的特点	277
17.2.3	工程化砂轮的制备方法	278
17.3	多颗磨粒运动学模型	280
17.4	表面粗糙度的评定	282
17.4.1	轮廓中线	282
17.4.2	评定参数	283
17.5	砂轮表面磨粒排布	284
17.5.1	磨粒排布参数	284
17.5.2	磨粒排布方案	284
17.5.3	工程化砂轮形貌仿真	285
17.6	磨削过程仿真	287
17.6.1	仿真参数设置	287
17.6.2	仿真程序流程	287
17.6.3	仿真结果分析	288
	参考文献	290
第 18 章	普通砂轮磨削表面形貌建模与仿真	292
18.1	引言	292

18.2 普通砂轮	292
18.2.1 普通砂轮的定義	292
18.2.2 普通砂轮的特点	292
18.2.3 普通砂轮的制备方法	293
18.3 普通砂轮模型的建立	294
18.3.1 磨粒尺寸	294
18.3.2 磨粒分布	295
18.3.3 普通砂轮数学模型	297
18.4 普通砂轮形貌仿真及分析	297
18.4.1 仿真参数	297
18.4.2 仿真程序流程	297
18.4.3 仿真结果分析	300
18.5 磨削过程仿真	303
18.5.1 仿真参数设置	303
18.5.2 仿真程序流程	303
18.6 仿真结果分析	304
18.6.1 砂轮线速度对表面形貌的影响	304
18.6.2 工件进给速度对表面形貌的影响	307
18.6.3 磨削深度对表面形貌的影响	311
18.6.4 砂轮直径对表面形貌的影响	315
参考文献	319

第1章 绪 论

1.1 引 言

磨削加工是最基础的机械加工形式之一，大多数零件的最终精度和表面质量是通过磨削工艺保证的。磨削加工最显著的特点是具有高的砂轮圆周速度、高的能量消耗(比磨削能)。磨削加工为砂轮表面磨粒的负前角切削，去除单位体积材料所消耗的能量远远大于其他的机械加工方法^[1,2]。磨削区产生的能量大部分转化为热量，分散在磨屑、砂轮和工件上^[3]。由于磨削加工不同于其他的机械加工形式，在砂轮高圆周速度作用下，每颗磨粒与工件的接触时间极短，同时磨削过程中所产生的磨屑体积非常小，所产生的热量通过磨屑带走的比率也很小^[4]。磨削区高能量密度对工件的表面质量和使用性能影响极大。特别是当磨削区温度超过临界值时，就会引起工件表面的热损伤(表面的氧化、烧伤、残余拉应力和裂纹)，其结果将会导致零件的抗疲劳性能和抗磨损性能降低，从而降低零件的使用寿命和可靠性，同时也降低了砂轮的磨削性能和加工精度^[5,6]。随着工件表面热量的累积，其尺寸精度和形状精度受到磨削热的影响而超差^[7]。通常磨削加工作为零件的最终加工工序，磨削加工技术和工艺决定了零件的最终精度和表面质量，因此必须采取有效的措施降低甚至消除磨削热对工件加工精度和表面质量的影响。有效控制磨削区温度和降低工件表面热损伤，是研究磨削机理和提高被磨零件表面完整性的重要课题。

1.1.1 浇注式磨削加工

为降低磨削区温度，提高被磨工件的加工精度和表面完整性，生产上广泛采用向磨削区供给大流量磨削液的浇注式磨削方法，通过磨削液的对流换热降低磨削区的温度。润滑作用主要体现在磨削液具有良好的润湿和减摩特性上，能够在工件表面形成润滑油膜，降低砂轮体表面磨粒的摩擦磨损和磨削力，提高磨削加工性能。冷却效果主要依靠磨削液的对流换热，通过大流量注入磨削液带走磨削区产生的高热量。磨削液主要分为两大类：油基磨削液和水基磨削液^[8]。油基磨削液具有良好的润滑特性，水基磨削液具有极佳的冷却效果。除了冷却和润滑作用，磨削液还有除锈、清洗和排屑的作用。水的导热系数是油的3~5倍，通过将一定质量分数的润滑油和少量添加剂加入水中，可以制成廉价的、具有极佳冷却性能的乳化液^[9]。鉴于磨削液的优良性能以及水基磨削液低廉的成本，它在机械加工行

业中得到广泛的应用。

随着各国环保法令的颁布实施以及 ISO14000 环境管理体系的建立,对机械加工行业的加工工艺和水平提出了新的要求,同时也迫使工业界和科研人员开始重新评价浇注式冷却润滑磨削加工方式。西班牙磨床制造商 Danobat 对磨削液成本进行了调查(图 1-1),结果显示^[10]:在零件加工的总成本中,75%为机械加工费用,7%为刀具费用,18%为冷却液费用,可见冷却液费用几乎占了总成本的五分之一,为刀具费用的 2~3 倍。而在冷却液总费用中,冷却液供给过滤设备费用占了 40%,污水处理费用占了 22%,工人成本费用占了 10%,冷却液基液费用占了 14%,能源消耗费用占了 7%,其他费用占了 7%。可以看出,冷却液基液在冷却液费用中所占的比例非常小,但与冷却液有关的其他费用所占的比例非常大。由于环保法律的完善和要求,冷却液的处理费用还将继续攀升,因此冷却液总费用在总加工成本的比例将会逐渐加大。

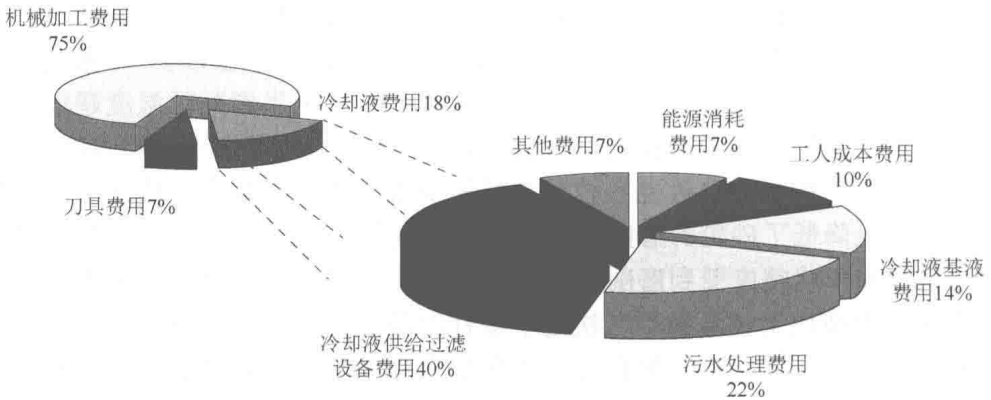


图 1-1 磨削液在总加工费用中所占的比例

Fig. 1-1 The proportion of grinding fluid in total processing costs

科研人员^[11,12]对浇注式磨削进行了运行成本的研究,认为磨削液处理费用占磨削液总费用的 54%,机床主轴运转消耗的能量只占机械加工消耗总能量的 20%,而与磨削液有关的能量消耗却占总能量的 53%。这说明在环保和低碳的大背景下,磨削液的价格优势已经失去。通过对磨削加工气流场的分析研究,有关研究者^[13-15]认为砂轮高速旋转,使得砂轮周边产生“气障”现象,它阻碍磨削液有效进入砂轮/工件之间的楔形区,降低磨削液的“有效流量率”,这使得砂轮与工件的接触区磨削液匮乏,热量积聚严重,磨削加工后的工件表面完整性恶化,甚至零件报废失效。此外,大量的磨削液进入楔形区会由于动压效果产生流体动压力^[16,17],还会导致砂轮主轴发生挠曲变形^[18],减小实际磨削深度,降低机床的磨削精度和加工性能,也降低零件的加工精度,无法满足磨削加工后的零件高精度和高表面质量的要求。

绿色发展是国际大趋势。资源与环境问题是人类面临的共同挑战，可持续发展日益成为全球共识。发达国家纷纷实施“再工业化”战略，重塑制造业竞争新优势，清洁、高效、低碳、循环等绿色理念、政策和法规的影响力不断提升，资源能源利用效率成为衡量国家制造业竞争力的重要因素，绿色贸易壁垒也成为一些国家谋求竞争优势的重要手段。绿色制造是工业转型升级的必由之路。我国作为制造大国，尚未摆脱高投入、高消耗、高排放的发展方式，资源能源消耗和污染排放与国际先进水平仍存在较大差距，工业排放的二氧化硫、氮氧化物和粉尘分别占排放总量的90%、70%和85%，资源环境承载能力已近极限，加快推进制造业绿色发展刻不容缓。以实施绿色制造工程为牵引，全面推行绿色制造，不仅对缓解当前资源环境瓶颈约束、加快培育新的经济增长点具有重要现实作用，而且对加快转变经济发展方式、推动工业转型升级、提升制造业国际竞争力具有深远历史意义。

传统制造业绿色化改造重点是实施生产过程清洁化改造。以源头削减污染物产生为切入点，革新传统生产工艺装备，鼓励企业采用先进适用清洁生产工艺技术实施升级改造。基础制造工艺绿色化改造大力推广少无切削液绿色加工等技术。到2020年，节能30%以上，节材、减少废弃物20%以上。

《中国制造2025》明确提出绿色制造工程为五大重点建设工程之一，组织实施传统制造业能效提升、清洁生产、节水治污、循环利用等专项技术改造。开展重大节能环保、资源综合利用、再制造、低碳技术产业化示范。

大流量供给磨削液的浇注式磨削不仅增加磨削液的处理成本，而且大量浪费磨削液，对环境造成极大的伤害。综合考虑环保、低碳、加工性能和经济性等因素，浇注式磨削加工已经不再适应绿色制造和可持续发展的理念。因此，需要开发绿色环保、高效低耗的磨削液或者发展新的清洁、低耗、高效和可持续的绿色磨削加工新技术，既能达到浇注式冷却润滑的工艺效果，又能保证工件的加工精度和表面质量，提高砂轮的使用寿命，降低磨削液对环境的污染。

1.1.2 干式磨削加工

干式切削加工技术是最早出现的一种绿色环保加工技术，它起源于汽车工业，已成功应用于车削、铣削、钻削和镗削等机械加工中。它不是简单的完全摒弃切削液，而是在保证零件加工精度和刀具使用寿命的前提下，废除切削液的使用^[19]。因此，干式切削加工对刀具和机床提出了更高的要求。应用于干式切削加工的刀具需要具有高的硬度、韧性和耐磨性，同时刀具表面具有低的摩擦系数^[20]。由于加工过程中不使用切削液，因此干式切削加工不仅满足环保的要求，也降低了加工的成本，改善了工作环境。

干式切削加工通过提高机床主轴的转速，快速去除工件表面材料，依靠切屑带走加工过程中产生的热量，主要用来加工铝合金与灰铸铁等切削力较小和切削温度