

王贵成 刘菊东 裴宏杰◎著

磨削淬硬加工技术

Grind-Hardening Technology



国防工业出版社
National Defense Industry Press

磨削淬硬加工技术

Grind - Hardening Technology

王贵成 刘菊东 裴宏杰 著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书基于系统的磨削淬硬加工实验和数值模拟相结合,重点阐述磨削淬硬形成的基本原理,科学地揭示磨削淬硬加工区温度、淬硬层形成、性能及其变化基本规律,并结合生产实际介绍了外圆磨削淬硬加工、横向进给磨削淬硬加工和往复磨削淬硬加工技术。本书适合于从事机械制造、材料热处理、复合加工及集成制造的工程技术人员使用,也可供从事先进制造技术、材料科学与工程等领域研究的科技工作者及研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

磨削淬硬加工技术/王贵成,刘菊东,斐宏杰著. —北京:国防工业出版社,2015.10

ISBN 978-7-118-10395-3

I. 磨... II. ①王... ②刘... ③斐... III. ①磨削 IV. ①TC58

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 254821 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 710×1000 1/16 印张 20 字数 388 千字

2015 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 68.00 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

磨削淬硬加工是近年来形成的集表面淬火理论与磨削加工学于一体的集成制造新技术,也是实施绿色制造乃至集成制造的有效途径之一,其研究与技术应用备受国内外制造工程专家学者们的高度关注。

20世纪90年代中期,工业发达的德国、英国等国家的制造工程专家学者开始探索将表面淬火与磨削加工集成的可能性问题,开展了系统的磨削淬硬加工理论与试验研究。21世纪初,山东大学、东北大学、江苏大学和集美大学等高校学者相继开始研究磨削淬硬加工理论及应用技术。通过国内外制造工程专家学者的不懈努力,逐步形成了基于表面淬火和磨削加工于一体的磨削淬硬加工新技术。

磨削淬硬加工涉及到金属学、磨削加工学、表面工程学、工程热力学和表面淬火理论等多个学术领域。磨削淬硬加工不仅是一个复杂的机械作用、力的作用和热复合作用的过程,也是被加工材料表层组织与力学性能显著变化的综合过程。磨削淬硬加工技术具有“节能、环保”的绿色制造特征,具有广阔的工程应用前景,其应用必将产生重大的经济效益和显著的社会效益。

本书以系统的磨削淬硬加工实验和数值模拟技术为基础,着重阐述了磨削淬硬形成的基本原理,科学地揭示磨削淬硬层形成与变化的基本规律,并结合磨削淬硬生产实际,重点阐明磨削淬硬加工技术的有效性和实用性,致力于促进磨削淬硬加工技术在我国现代机械加工乃至机械制造领域的推广与应用。相信本书的出版对促进我国传统制造业和传统制造技术的转型升级,大力实施绿色制造、集成制造及提升我国先进加工技术水平将会具有重要意义。本书主要在以下三个方面开展深入研究:

(1) 磨削淬硬加工及共性技术的基础性。基于磨削淬硬加工实验和理论分析,系统阐述了磨削淬硬加工的基础理论及共性应用技术,以磨削淬硬加工实验为基础,系统揭示出磨削淬硬加工的形成、特征及其变化的基本规律。

(2) 磨削淬硬质量及棱边质量的特色性。基于磨削机械力—表面高温塑性变形理论,建立出磨削淬硬加工温度的数学模型,通过数值模拟初步实现了磨削淬硬加工区温度、淬硬层组织、淬硬层性能的预测预报。并率先开展了磨削淬硬加工表面完整性,重点为磨削淬硬加工棱边(毛刺)质量形成及控制方法的研究。

(3) 面向磨削淬硬工程应用的实用性。深入阐述了磨削淬硬加工的冷却、砂轮的特性参数及选择等,并结合外圆磨削、横向进给磨削和往复磨削等表面淬硬加工,

介绍了磨削淬硬加工技术的应用及其成效。为我国磨削淬硬加工技术应用提供理论与实践依据。

本书由王贵成、刘菊东和裴宏杰共同撰写。其中,王贵成撰写第一章、第二章、第三章、第六章和第九章;刘菊东撰写第四章、第五章、第八章和第十章;裴宏杰撰写第七章。本书的相当一部分研究内容和数据来源于王保林、张金煜、潘忠峰、华崇略、庄杰真、李贺等研究生的学位论文。全书由王贵成统稿。由于磨削淬硬加工技术是近年来发展起来的,国内外密切相关的系统理论研究和应用技术成果不多,能够参考的资料也有限,加之作者水平所限,书中难免存在许多不足之处乃至错误,敬请各位专家和读者批评指正。

本书基于的主要研究成果是在国家自然科学基金项目(No59775071,50275066,50675088,51075192)、江苏省自然科学基金项目(BK 2002008,2004027,2004027)、福建省自然科学基金(No2009J01260,E064001.1)、厦门市科技创新基金项目(NoJA03133)和福建省教育厅科技项目(No3502Z2004066)的资助下取得的。同时,江苏大学精密工程技术研究所的老师和同学们也为这些研究做出了积极贡献,在此一并表示衷心的感谢。

著者

2014年12月

目 录

CONTENTS

第一章 绪论	1
1.1 概述	2
1.1.1 磨削淬硬加工及特点	2
1.1.2 磨削淬硬加工技术的形成	3
1.1.3 磨削淬硬研究及进展	9
1.2 磨削淬硬加工技术体系	9
1.2.1 磨削淬硬加工技术优势	9
1.2.2 磨削淬硬加工质量控制体系	11
1.3 磨削淬硬加工研究的主要问题及意义	12
参考文献	13
第二章 磨削淬硬加工的基础	15
2.1 金属材料的表面淬火	15
2.1.1 表面淬火方法分类及特点	15
2.1.2 表面淬火中金属材料奥氏体相变	16
2.2 磨削加工	21
2.2.1 磨削运动	21
2.2.2 磨削加工特征	22
2.2.3 砂轮特性参数	25
2.2.4 磨削要素	26
2.2.5 磨屑及表面形成	29
2.2.6 砂轮选择与修整	32
2.3 磨削淬硬加工的力—热耦合	36
2.3.1 磨削力	36
2.3.2 磨削热	38
2.4 磨削淬硬的主要影响因素及控制途径	41
2.4.1 影响磨削淬硬的主要因素	42
2.4.2 改善与提高磨削淬硬加工效果的基本途径	42

参考文献	45
第三章 磨削淬硬加工区的温度	48
3.1 磨削热量分散机制	48
3.1.1 磨削区的热量	48
3.1.2 磨削热能	49
3.1.3 热量传输载体	50
3.1.4 磨削区温度表示方法	51
3.2 磨削加工热源模型	52
3.2.1 矩形热源模型	52
3.2.2 三角形分布热源模型	53
3.2.3 倾斜三角形热源模型	54
3.2.4 抛物线热源模型	55
3.2.5 各热源模型适用场合比较	56
3.3 磨削区热流量分配	56
3.3.1 磨削区的热流密度	57
3.3.2 流入磨屑的热流密度	57
3.3.3 流入磨削液的热流密度	58
3.3.4 工件和砂轮的热流密度	58
3.4 能量分配系数	59
3.4.1 微观磨粒接触模型	59
3.4.2 宏观的砂轮与工件接触区模型	60
3.4.3 能量分配系数确定	61
3.5 磨削淬硬加工温度场有限元模型	62
3.5.1 有限单元法	62
3.5.2 温度场的基本方程	63
3.5.3 稳态温度场有限单元法	64
3.5.4 瞬态温度场有限元法	67
3.5.5 磨削淬硬温度场的有关参数	68
3.5.6 磨削淬硬温度场的边界条件	69
3.6 温度场数值模拟结果与讨论	69
3.6.1 ANSYS 软件	70
3.6.2 磨削淬硬有限元仿真过程	70
3.6.3 温度场模拟结果与分析	76
3.7 磨削淬硬加工区域温度的主动控制	86

3.7.1	磨削淬硬加工层厚度	87
3.7.2	磨削区温度自动控制系统设计	87
3.7.3	磨削区温度自动控制系统	94
	参考文献	97
第四章	磨削淬硬层的组织	99
4.1	磨削淬硬层宏观组织形貌	99
4.2	65Mn 钢磨削淬硬层显微组织	100
4.2.1	试验方案设计与测试方法	100
4.2.2	试验结果与讨论	101
4.3	45 钢和 60 钢磨削淬硬层组织	104
4.3.1	试验方案设计与测试方法	104
4.3.2	试验结果与讨论	106
4.4	40Cr 钢磨削淬硬层组织	109
4.4.1	试验方案设计与测试方法	109
4.4.2	磨削淬硬层组织结构的 X 射线衍射分析	111
4.4.3	磨削淬硬层组织的扫描电镜分析	114
4.4.4	磨削淬硬层组织的透射电镜分析	122
4.5	磨削淬硬加工组织转变动力学	124
4.5.1	热源模型与热流密度	124
4.5.2	组织相变动力学模型	128
4.5.3	DEFORM 有限元软件的二次开发	134
4.6	磨削淬硬层组织的形成及变化	136
4.6.1	磨削温度场与应力场的耦合作用	136
4.6.2	磨削淬硬层组织的形成	137
4.6.3	磨削淬硬层马氏体组织的变化	138
	参考文献	139
第五章	磨削淬硬层的性能	142
5.1	磨削淬硬层显微硬度	142
5.1.1	试验方案与测试方法	142
5.1.2	65Mn 钢磨削淬硬层显微硬度	142
5.1.3	45 钢和 60 钢磨削淬硬层显微硬度	143
5.1.4	40Cr 钢磨削淬硬层显微硬度	144
5.1.5	磨削淬硬层高硬度区的形成及特征	146
5.2	磨削淬硬层及淬硬深度	147

5.2.1	试验方案与测试方法	147
5.2.2	65Mn 钢磨削淬硬层深度	148
5.2.3	45 钢和 60 钢磨削淬硬层深度	149
5.2.4	40Cr 钢磨削淬硬层深度	149
5.2.5	磨削淬硬层的完全淬硬区深度	152
5.3	磨削淬硬组织与硬化层的数值模拟	153
5.3.1	DEFORM-2D 前处理	153
5.3.2	DEFORM-2D 求解器	157
5.3.3	DEFORM-2D 后处理器	158
5.3.4	工件磨削稳定区的温度场、组织场和硬度场	158
5.3.5	非稳定区的温度场、组织场和硬度场	167
5.4	磨削淬硬深度均匀性	174
5.4.1	试验材料与试验方案	174
5.4.2	磨削淬硬深度与变化	175
5.4.3	磨削条件对淬硬深度均匀性的影响	178
5.5	磨削淬硬层深度预测预报	180
5.5.1	基于神经网络磨削淬硬预测模型	180
5.5.2	系统总体结构与功能模块	181
5.5.3	系统软件的实现与运行	183
5.5.4	系统应用及预测结果分析	185
5.6	磨削淬硬层残余应力	190
5.6.1	磨削淬硬层残余应力的形成	190
5.6.2	试验方案与测试方法	192
5.6.3	试验结果与分析	193
	参考文献	194
第六章	磨削淬硬加工的棱边(毛刺)质量	197
6.1	金属切削毛刺形态及其分类	197
6.1.1	切削加工毛刺概念及形态	198
6.1.2	毛刺影响及危害	200
6.1.3	金属切削毛刺分类体系	200
6.2	磨削淬硬加工两侧方向毛刺形成及主要影响因素	203
6.2.1	磨削淬硬加工的两侧毛刺	203
6.2.2	磨削淬硬加工毛刺形成模型	203
6.2.3	影响两侧方向毛刺的主要因素	204

6.3	试验条件与测试方法	205
6.3.1	试验条件	205
6.3.2	测试方法	205
6.4	试验结果与分析	206
6.4.1	毛刺主要形式	206
6.4.2	毛刺形成机理	207
6.4.3	磨削条件对两侧方向毛刺的影响	208
6.4.4	毛刺形成的几种特殊现象	210
6.5	两侧方向毛刺形态转换	213
6.5.1	毛刺形态转变条件	213
6.5.2	排屑状态的影响	213
6.6	控制两侧方向毛刺的主要技术和方法	214
	参考文献	214
第七章	磨削淬硬加工的冷却	216
7.1	磨削淬硬加工的射流作用	216
7.1.1	工件的射流冷却区域	216
7.1.2	磨削淬硬加工的射流传热机理	216
7.1.3	射流强化传热的主要影响因素	218
7.2	磨削淬硬加工的冷却作用	220
7.2.1	理想的冷却作用	220
7.2.2	磨削淬硬加工的冷却过程	221
7.2.3	影响淬硬介质冷却能力的主要因素	222
7.3	磨削淬硬加工的冷却介质	224
7.3.1	水基淬硬介质	224
7.3.2	油基淬火介质	226
7.3.3	气体淬火介质	227
7.4	射流冷却在磨削淬硬加工中的应用	229
7.4.1	磨削淬硬加工射流冷却系统	229
7.4.2	液氮射流冷却	230
	参考文献	236
第八章	外圆磨削淬硬加工	238
8.1	外圆磨削淬硬加工温度场有限元模型	238
8.1.1	外圆磨削加工几何模型	238
8.1.2	外圆磨削移动热源	240

8.1.3	热量分配比	242
8.1.4	外圆磨削温度场有限元模型	243
8.2	试验条件与检测方法	247
8.3	试验结果与讨论	249
8.3.1	外圆磨削淬硬试样的宏观形貌	249
8.3.2	磨削淬硬层显微组织及形成机理	251
8.3.3	磨削淬硬层显微硬度与变化	254
8.4	提高外圆磨削淬硬加工质量的基本途径	255
	参考文献	256
第九章	横向进给磨削淬硬加工	258
9.1	横向进给磨削淬硬温度模拟	258
9.1.1	横向进给磨削淬硬加工	258
9.1.2	横向磨削加工试验参数	259
9.1.3	有限元仿真分析	260
9.1.4	模拟结果与预测	262
9.2	试验条件与测试方法	270
9.3	横向进给磨削淬硬层的宏观形貌	271
9.4	淬硬层显微组织及形成机理	273
9.4.1	单道磨削表面淬硬层组织	273
9.4.2	回火区组织	275
9.4.3	二次淬火区组织	275
9.5	淬硬层显微硬度及其变化	276
9.5.1	深度方向显微硬度分布	276
9.5.2	宽度方向显微硬度分布	277
9.5.3	二次淬火区显微硬度分布	278
9.6	提高横向进给磨削淬硬加工质量的基本途径	278
	参考文献	279
第十章	往复磨削淬硬加工	281
10.1	往复磨削淬硬加工的数值模拟	281
10.1.1	数值模拟基础	281
10.1.2	模拟结果与讨论	285
10.1.3	双程磨削淬硬的磨入与磨出端	291
10.1.4	双程磨削淬硬层沿深度方向的分布	297
10.1.5	磨削淬硬层的形成	298

10.2	试验条件与测试方法	299
10.3	往复磨削对淬硬层组织的影响	300
10.4	往复磨削对磨削淬硬层性能的影响	303
10.4.1	淬硬层显微硬度	303
10.4.2	淬硬层深度	303
10.4.3	淬硬层残余应力	304
10.4.4	淬硬层耐磨性	304
10.5	提高往复磨削表面淬硬加工质量的基本途径	305
	参考文献	305

绪 论

随着机械制造科学与技术的发展,各种新加工工艺技术和方法不断涌现,这些技术和方法的应用不仅提高了加工质量,也提高了生产效率。从某种意义上讲,新加工工艺技术和新加工方法的开发为机械制造科学与技术发展注入了生机和活力,促进了制造业快速发展的同时,也带来了显著的经济和社会效益。

长期运转的机械零件由于早期失效使材料和能源的消耗十分惊人。许多机械零件的失效往往发生在其表面,或者从表面开始。例如,旋转机械主轴的失效或故障主要发生在主轴表面,疲劳引起的主轴失效也是从其表面开始,逐渐向内部扩展,以至于导致其主轴断裂。因此,提高零件表面性能对延长其使用寿命和发挥材料潜力具有重要作用。目前,国内外机械制造企业,为了改善材料(淬硬钢)的性能,提高零件表面的耐磨性和抗疲劳强度,并保证零件的整体韧性,常常需要对其表面进行热处理。热处理后的零件表面为了获得预定的加工精度和质量,通常还要进行磨削加工。现行的机械零件制造工艺存在两大难题:

(1) 机械零件的表面热处理与磨削加工难以实现工序集中。按照常规的机械加工工艺流程,表面热处理工序通常安排在零件半精加工之后和磨削加工之前,并在热处理车间进行。为了完成零件的热处理工序,必须对半精加工后的零件以及热处理后的零件进行运输、装卸、储存和清洗等操作,致使热处理工序难以集成到零件的机械加工生产中。从而增加了零件加工工序,延长了机械产品的生产周期,而且不利于生产组织和生产管理,直接影响和制约了机械制造自动化程度的提高。

(2) 材料热处理与磨削加工能源消耗和环境污染问题严重。机械零件表面热处理需要专用的设施(设备),往往在零件处理过程中需要耗费大量的能源,同时热处理过程中产生的废液、废气、废渣等还会对周围环境产生污染。在零件表面磨削加工中,磨削切除单位体积材料时需要非常高的能量输入,这些能量几乎全部转换为热量,其中60%~95%的热量被传入零件并聚集在很薄的表面层里,致使工件表层温度急剧升高。通常我们比较关注磨削表面热损伤(表面的氧化、烧伤、残余应力和裂纹)的抑制或控制技术问题,而很少关注磨削液对环境的污染及磨削

热的综合利用问题。

20 世纪 90 年代中期,工业发达国家的制造工程专家开始探索将表面淬火与磨削加工集成的可能性问题。他们利用磨削加工中产生的热源直接对机械零件表面进行淬火处理,从而获得所需要的“外强内韧”机械零件,并开展了系统的磨削淬硬加工理论与试验研究,逐步形成了基于表面淬火和磨削加工于一体的磨削淬硬加工新技术。磨削淬硬加工是集磨削加工学与表面淬火理论于一体的复合加工新技术,它以其独具的特点和优势,将磨削热变“废”为“宝”,进而实现绿色加工,在金属材料的加工及表面改性方面有广阔的工程前景,其应用将带来良好的技术经济效益和显著的社会效益。

1.1 概 述

1.1.1 磨削淬硬加工及特点

磨削淬硬加工主要是利用磨削加工区域瞬间产生的热量直接对工件加工表面进行淬火处理,并在短时间内使工件表层的奥氏体组织经自淬火向马氏体组织转变,实现了表面淬火处理与磨削加工工艺的复合,从而提高零件表面的耐磨性和抗疲劳强度,满足机械零件表面“外强内韧”的质量要求。

磨削淬硬加工是磨削加工与表面形变淬火的综合作用过程,它将磨削加工区域瞬间产生的热量作为对工件加工表面进行淬火处理的热源,既省略了机械零件表面淬火的热处理工艺,降低了制造成本,又实现了磨削热的综合利用,是一种具有绿色化加工特征的复合加工技术。

图 1-1 是将磨削淬硬加工形成的淬硬层深度与传统的机械零件表面强化工艺所能达到的淬硬层深度对比图。由图 1-1 可知,磨削淬硬层深度基本上可以达到感应淬火、渗碳硬化、喷丸强化的传统表面强化工艺的效果,具有广阔的工程应用前景。

磨削淬硬加工通常采用干式磨削,使机械零件的表面硬化层产生残余压应力且表面无裂纹。磨削淬硬加工有如下特点:

(1) 减少了专用热处理设备,避免了淬火处理及排放物对环境的污染,降低了零件的制造成本;

(2) 利用磨削加工中的热—机械作用,实现未淬硬钢零件磨削加工与表面形变淬火的集成制造,提高了生产效率;

(3) 自淬火现象始终伴随着磨削淬硬加工过程,即在短时间内使工件表层的奥氏体组织经自淬火向马氏体组织转变;

(4) 淬硬加工表面组织具有非均匀形态,马氏体尺寸沿淬硬层深度方向由外向内逐渐增大,而位错密度则逐渐降低;

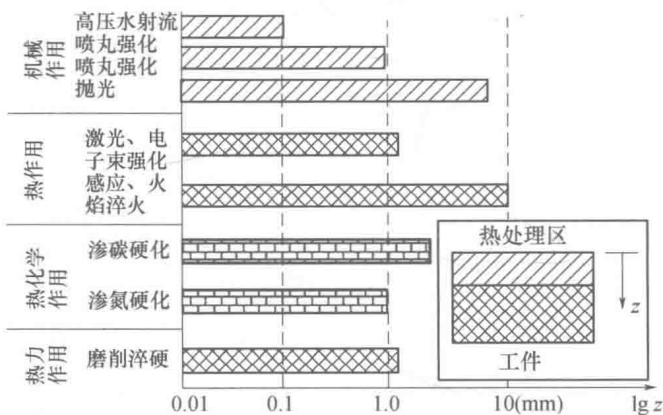


图 1-1 磨削淬硬加工与传统的表面强化工艺在硬化层深度方面的对比

(5) 淬硬加工的表面层形成残余压应力,其淬硬层深度及显微硬度相当于激光淬火、喷丸及渗氮工艺,而且几乎不存在硬度梯度变化现象;

(6) 磨削参数及磨削过程对磨削淬硬层质量有直接影响,可通过选择合理的磨削工艺参数,有效地控制磨削过程,满足磨削淬硬加工的技术要求;

(7) 通常情况下,磨削淬硬适用于承受中等载荷的工件表面强化处理。

1.1.2 磨削淬硬加工技术的形成

1. 国外关于磨削淬硬加工技术的研究

20 世纪 90 年代中期,工业发达国家德国、英国等相继开展了磨削淬硬加工技术的研究,并取得了若干创新成果。

德国率先开展磨削淬硬加工技术的研究与开发工作。不莱梅大学 Brinksmeier 和 Brockhoff 等对磨削淬硬加工技术的发展做出了开创性贡献。1996 年,他们在平面磨床上采用刚玉砂轮和乳化液,以 30m/s 的磨削速度对退火态 AISI E52100 钢和回火态 AISI 4140 钢进行磨削淬硬试验研究。结果表明,两种材料都产生了硬化层,其深度分别为 0.3mm 和 0.35mm,其组织主要为马氏体和碳化物,其表层显微硬度值分别达到 946HV_{0.1}和 750HV_{0.5},并且都没有产生表面裂纹。对 AISI 4140 磨削淬硬钢残余应力的测试表明,磨削硬化层中存在残余压应力,且最大值达到 -450N/mm²。Brinksmeier 和 Brockhoff 认为,磨削淬硬是短时奥氏体化的工件表层经自淬火冷却向马氏体相变的过程,冷却液只影响发热量而不影响淬火效果,它可以在普通磨床上实现,而不需要新设备的投入。

1999 年,Brinksmeier 和 Brockhoff 采用的磨削淬硬试验条件如表 1-1 所列。对 AISI 4140 钢和 AISI E52100 钢进行了磨削淬硬试验研究,图 1-2 为有关试验结果。本书作者认为:

表 1-1 Brinksmeier 和 Brockhoff 的磨削淬硬试验条件

砂轮	10A90QU3B
砂轮速度 $v_s/(m/s)$	20、 <u>35</u> 、40、50、60、80、100
磨削深度 $a_p/(mm)$	0.005、0.01、0.05、 <u>0.1</u> 、0.5、1.0
工件进给速度 $v_w/(m/min)$	0.01、0.05、0.1、 <u>0.5</u> 、1.0、5.0
磨削方式	单程切入式逆磨
冷却方式	空冷
工件材料原始组织状态	调质态、正火态和退火态

注：画线者为基准参数。

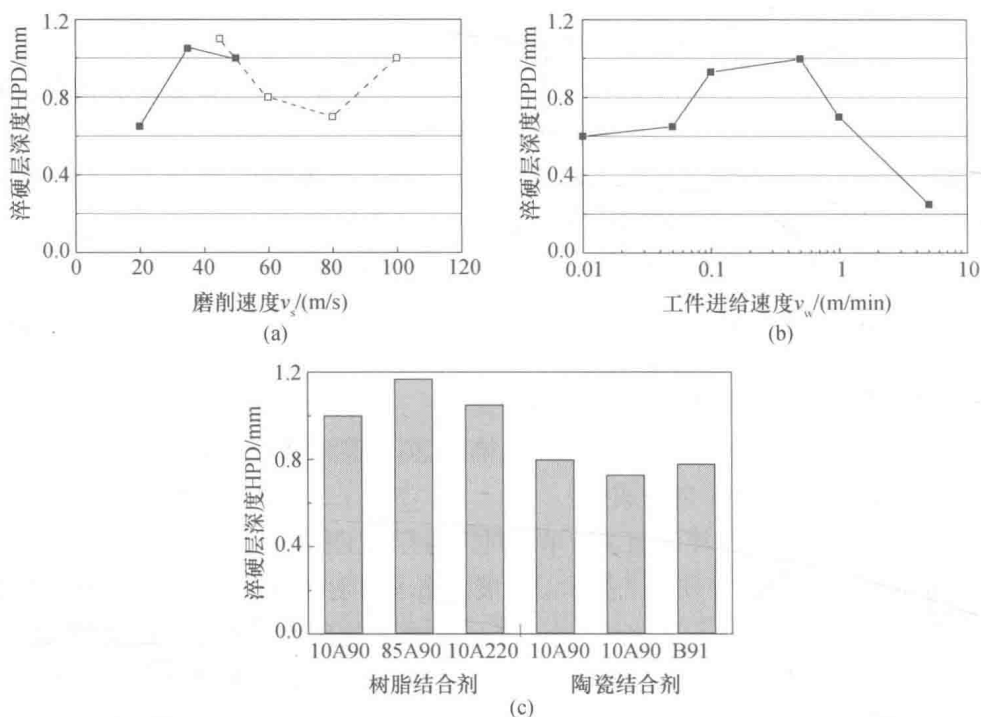


图 1-2 磨削用量和砂轮结合剂对磨削淬硬层深度的影响
(a) 磨削速度的影响; (b) 工件进给速度的影响; (c) 砂轮结合剂的影响。

- (1) 磨削速度与淬硬层深度之间没有普遍的对应关系(见图 1-2(a));
- (2) 随着磨削深度的增加,淬硬层深度增大;
- (3) 最大淬硬层深度出现在进给速度的中间阶段,当进给速度很高或很低时,都难以得到满意的淬硬层深度(见图 1-2(b));
- (4) 采用树脂结合剂的刚玉砂轮对调质态零件进行磨削淬硬,可获得较深的淬硬层(见图 1-2(c));

- (5) 调质态材料能得到比退火态材料更大的淬硬层深度；
 - (6) 磨削淬硬层表面耐磨性相对于非淬硬件可提高 3 ~ 7 倍以上。
- 该研究结果为磨削淬硬形成机理的研究奠定了基础。

观察表层显微组织后发现,在近表层形成了针状细晶马氏体结构,随着距离工件表面深度的增加,逐渐转变为包含贝氏体和碳化物的中间结构,最后过渡为基体组织。他们认为,之所以出现此种现象是由于工件表层中材料的升温和冷却速度不同造成的。在分析了影响淬硬层深度的各种因素之后,明确指出:工件进给速度即砂轮和工件之间的接触时间以及流入到工件中的单位磨削面积上的热流密度是起决定作用的两个因素。

同年,Brockhoff 采用刚玉砂轮和干磨方式,分别对 SAE 4140 钢和 SAE 52100 钢进行磨削淬硬试验,研究了各种磨削条件对淬硬效果的影响。通过磨削试验和数据分析,求得了磨削淬硬加工的“工序能力系数”大于 1。说明磨削淬硬加工的工序能力足够,完全具备在实际生产中应用的基础。进而阐明,磨削淬硬加工不仅适用于平面磨削,而且对于外圆磨削和成形磨削也同样适用。

基于磨削淬硬加工理论与实验研究,Brockhoff 认为,采用磨削淬硬加工可以使表面热处理工序集成到整个生产线中,从而减少生产工序,缩短生产时间,并且节省生产成本。图 1-3 比较了传统机械加工工艺流程和磨削淬硬加工新工艺流程,并列出了适合采用新工艺加工的典型工件。

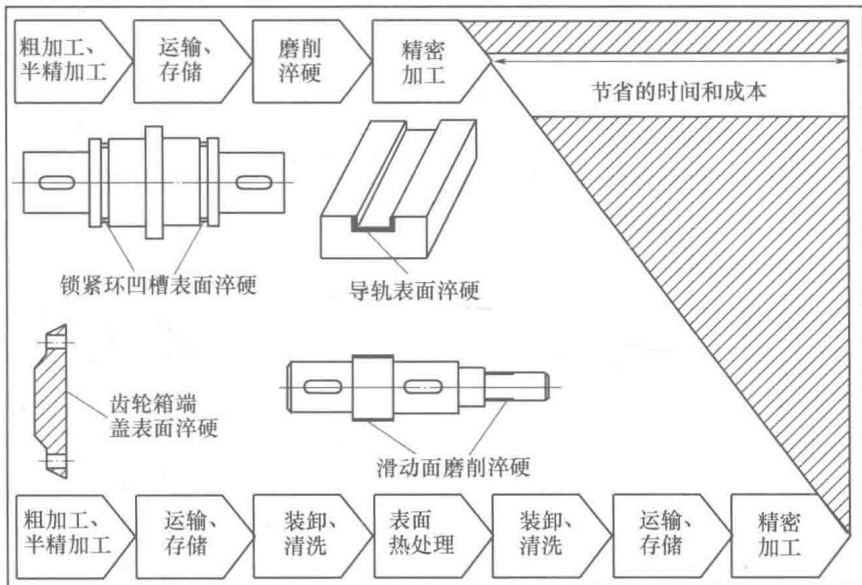


图 1-3 传统机械加工工艺流程和磨削淬硬加工新工艺流程的比较

2002 年,澳大利亚学者 I. Zarudi 和 L. C. Zhang 开始了磨削淬硬的形成机理和仿真预测方面的研究。他们对回火态 AISI 4140 钢进行了磨削淬硬试验,其采用