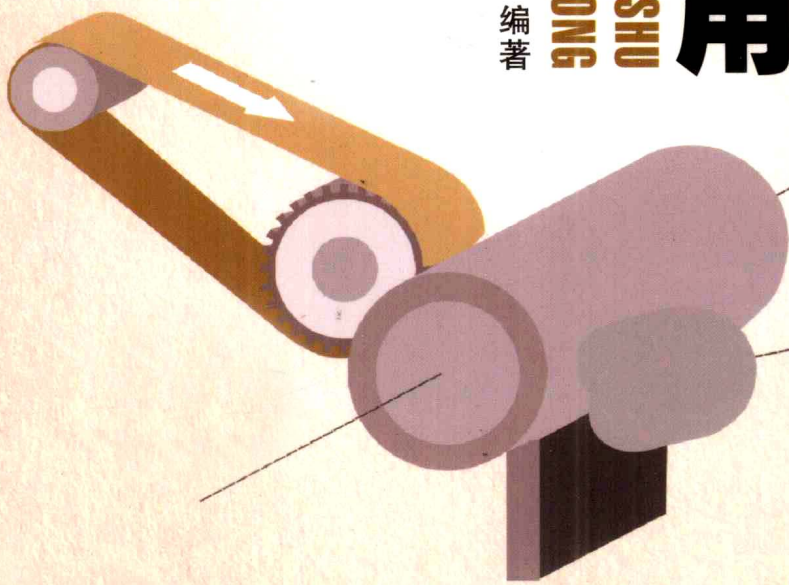




# 现代砂带磨削技术 及工程应用

XIANDAI SHADAI MOXUE JISHU  
JI GONGCHENG YINGYONG

黄云 黄智 编著



重庆大学出版社  
<http://www.cqup.com.cn>

国家科学技术学术著作出版基金资助项目

# 现代砂带磨削技术及工程应用

黄 云 黄 智 编著

重庆大学出版社

## 内 容 提 要

全书系统地论述和总结了砂带磨削加工技术以及其在工程领域的应用。既对砂带磨削的基础理论及技术作了概括,又对砂带磨削的新理论、新工艺、新技术作了重点论述。特别突出了砂带磨削加工技术的实用性以及对促进机械加工技术进步所起的积极作用。

本书主要内容包括砂带磨削的基本原理、砂带的构造和制造过程、砂带磨削机理与磨削过程的各参数间相互关系以及砂带磨削机床(简称砂带磨床,全书同)的设计等;各种砂带磨床、砂带磨削的适应控制及机床自动化方面的应用、砂带磨削常用磨削参数及用量的选择规范,砂带磨削在难加工材料的磨削与精密加工方面的应用以及电解砂带磨削、超声砂带磨削等。书后还附有国内外从事砂带磨削领域的关于磨料磨具、砂带以及相关设备的最新研究成果或产品,以供读者更好地理解及运用砂带磨削技术。

本书取材新颖、图文并茂、实用性强,可作为从事机械加工,特别是从事砂带磨削加工、机床设计与制造各部门的工程技术人员的技术参考书,也可用作大中专院校机床设计、制造及自动化专业师生学习工程技术的辅修读物。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代砂带磨削技术及工程应用/黄云,黄智编著.

—重庆:重庆大学出版社,2009.6

ISBN 978-7-5624-4759-7

I. 现… II. ①黄…②黄… III. 砂带磨削—技术 IV. TG580.61

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第205853号

## 现代砂带磨削技术及工程应用

黄云 黄智 编著

责任编辑:王维朗 曾令维 版式设计:王维朗

责任校对:秦巴达 责任印制:赵 晟

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鹤盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

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

重庆升光电力印务有限公司印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:26.5 字数:534千

2009年6月第1版 2009年6月第1次印刷

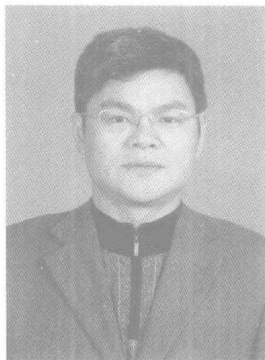
ISBN 978-7-5624-4759-7 定价:48.00元

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

## 作者简介



黄云,1962年生,重庆万州人,重庆大学机械工程学院教授、重庆大学985平台先进制造技术领域精密制造与装备方向学术带头人,全国金属切削机床标准化委员会磨床分技术委员会砂带磨削机床工作组组长,重庆市材料表面精密加工及成套装备工程技术研究中心主任,中国机械工程学会生产工程分会磨粒加工专委会副主任,《金刚石与磨料磨具工程》编委等。20余年来一直致力于高效精密砂带磨削技术与磨床设计制造研究,是国内最早从事砂带磨削理论及工程化应用的研究者之一,其著作《砂带磨削原理及其应用》(1993年)填补了当时国内砂带磨削技术及理论方面的空白。主持了国家863计划、国家自然科学基金等10余项科研项目,其成果广泛应用于核能等发电装备,国防、冶金、石油化工、交通工具、工程机械、仪器仪表等行业,以及西气东输、三峡水电、二滩水电、超临界发电机组等重大工程,形成了在国内外具有重要影响与独具特色的研究方向和领域。已发表论文90余篇,获得国家专利32项、国家及省部级奖励多项,培养硕士、博士研究生30余名。



黄智,1977年生,四川隆昌人,重庆大学博士研究生,重庆市材料表面精密加工及成套装备工程技术研究中心高级工程师,全国金属切削机床标准化委员会磨床分技术委员会砂带磨削机床工作组委员,主要从事砂带磨削技术基础研究与应用开发,主持了2项省部级重点科技攻关项目:“船用螺旋桨九轴六联动龙门式高效抛磨加工机床研制”和“核反应高压容器高效磨削加工关键技术与装备研制及产业化”,作为科研骨干参与了其他纵向课题5项及企业横向课题多项,已发表论文10余篇,其中SCI收录2篇,EI收录5篇。

# 前 言

30年前,刚进入大学不久,一次专业见习参观,使我对砂带磨削技术有了初步的印象。四年之后,研究生期间,一个偶然的研习机会让我开始对砂带磨削技术产生了兴趣,并有了更深入的接触和了解。而当我1985年研究生毕业的时候,我与砂带磨削技术之间已经结下了不解之缘。从此,研究砂带磨削技术及开发相关设备并将其直接应用于加工制造业,成为了我毕生为之倾心的事业。

“木石而至青铜黑铁时代,非磨无以成器”,在人类历史发展的长河中,磨削自始至终都与人类生活和社会进步休戚相关。随着时代的发展,磨削技术也见证着世界工业的变迁。自1760年世界上出现第一张手工砂纸(砂带的最原始形态),到如今,重负荷、高效率、高精度、全数控、智能化的各种砂带磨削技术和装备已在航天、航空、船舶、机械、冶金、化工及能源等行业广泛应用,砂带磨削已经成为当今制造业不可或缺的一种重要加工技术。

15年前,我和我的研发团队曾经编著过一本《砂带磨削原理及其应用》。当时那些还显得较为粗浅的关于砂带磨削理论和相关技术就在业界产生了不小的反响,也由此引起了很多直接从事制造加工技术的工程技术人员关注,他们不断尝试将砂带磨削技术用于生产实践并取得了大量成果。这对国内同行更进一步的改进研究方法和手段,提高研发能力,促进砂带磨削技术应用到多个领域起到了非常积极的作用。15年过去了,砂带磨削技术在现代制造业各个领域中的应用越来越广泛,其理论研究成果不断涌现,砂带磨削装备也日新月异,并在核电、火电、水电、石油管线、重化工、船舶、汽车、航空等重大装备制造业的一些关键零部件制造加工过程中发挥着巨大的作用。如特大型船舶超大直径(11 m)螺旋桨型面的高效砂带磨削、宇航飞行器机翼的蜂窝夹层立面的精细砂带磨削加工,以及煤改油工程中使用的加氢反应釜防腐内衬的强力砂带磨削,等等。为更好地推广砂带磨削技术及应用,笔者早有更新重写有关内容的想法,一方面是进一步总结概括砂带磨削技术的理论研究成果,另一方面是更全面地展现当今砂带磨削技术及装备的发展现状,让广大读者能更清晰地了解砂带磨削的技术特征和应用前景,为促进现代制

造业的技术进步薄尽绵力。今天,在国家科学技术学术著作出版基金的支持下,终于了此心愿!

在本书即将付梓之际,我要借此机会向沈阳航空工业学院表示感谢,正是当年该校为我们新生安排的航空发动机叶片加工见习参观,让我第一次认识了砂带磨削。同时,也要感谢重庆大学机械工程学院徐发仁教授、梁锡昌教授,作为我的研究生导师,是他们给了我“罗茨轮形面砂带磨削装置”和“摆线齿轮新磨法”的结构设计、施工及调试任务,让我有机会更进一步地接触并研究砂带磨削技术。还要感谢如中国嘉陵工业股份公司、玉门石油机械厂和东方锅炉厂等这样一大批国内最早愿意选择砂带磨削技术应用的企业,是他们的信任和支持让我和我的研发团队有了从事砂带磨削技术研究及设备开发的大量实践机会,并伴随了我们的不断成长。同时,我还要感谢重庆大学给我提供了开明、向上的学术氛围,宽松的学习及工作环境,让我能够结合产、学、研等多方面的优势,在砂带磨削这一技术领域取得今天的成绩。

我还要感谢重庆三磨海达磨床有限公司及公司董事长谢蓉女士、重庆市材料表面精密加工及成套装备技术研究中心,是他们的共同努力推动了我国砂带磨削技术和装备不断进步,并使国内许多重大装备的关键零部件制造技术以及砂带磨削的一些关键技术达到甚至超过国际同行的先进水平,如多气门发动机曲轴连杆端面的高精度强力砂带磨削技术、百万千瓦汽轮机大型叶片及类似复杂型面的高精度高效率六轴六联动数控砂带磨削技术和核电高压容器高效智能砂带磨削装备等一系列具有自主知识产权的砂带磨削技术和装备。

感谢白鸽集团李砚威高级工程师为本书提供了许多有关砂带及其制造的资料,感谢重庆三磨麦森机械设备有限公司马兹林高级工程师对本书的编著提出了许多宝贵的意见。还要感谢重庆大学出版社副总编辑陈晓阳、理工分社社长曾令维、责任编辑王维朗、责任校对秦巴达对本书工作的支持!也要感谢我的研究生王洋、黄雪松、许庆顺、周文、王福明、李鑫、符志华、刘国华、闫志明、易亮、王玉富和司莉纳同志,他们为本书的出版做了相关的协助工作。

笔者虽然长期从事砂带磨削技术的研发和应用,但由于水平有限,难免存在一些粗浅的一孔之见;撰写此书时,由于时间仓促,虽深怀对技术的尊重之情,不敢稍有怠慢,但疏漏和差错在所难免,为此,特留下电子邮箱,敬请各位同行或专家不吝赐教和指正。

黄 云

2008年10月于重庆

sanhida@163.com

# 符号及意义

$A$ —面积	$f_a$ —轴向进给量
$a_p$ —磨削深度	$f_r$ —径向进给
$a_{pe}$ —实际磨削深度	$G$ —重量
$a_{pmin}$ —临界磨削厚度	$G_{sp}$ —单位面积上的砂带重量
$B$ —砂带宽度	$g(x)$ —磨粒沿砂带厚度方向的分布密度函数
$b_s$ —磨削宽度	$H_s$ —邵氏橡胶硬度
$C$ —切除单位材料所耗成本	$J$ —电流密度
$c_n$ —临界阻尼	$J_Q$ —热功当量
$C_L$ —劳动成本和管理费用	$J_s$ —导电面积
$D$ —接触轮直径	$K$ —弹性系数
$D_d$ —驱动轮直径	$K_n$ —磨削刚度
$D_c$ —当量圆直径	$K_m$ —比磨削能系数
$D_f$ —导轮直径	$L$ —砂带周长
$d_f$ —张紧轮和驱动轮之间的中心距	$L_t$ —工作台行程
$d_w$ —工件直径	$l$ —磨削长度
$e$ —偏心距,零件不平衡重心对转动轴线的剩余偏移量	$l_c$ —接触长度
$F$ —张紧力	$N$ —电机功率,加工工件数
$F_a$ —轴向磨削力	$N_p$ —砂带磨削的功率
$F_f$ —砂带的驱动拉力(有效圆周力)	$N_d$ —接触面积上的磨粒总数
$F_n$ —法向磨削力	$n_{ab}$ —工作台往返频率
$F_{n0}$ —滑擦停止,切削开始时法向力的临界值(不考虑砂带磨损情况的法向磨削力)	$n_d$ —驱动轮转速
$F_t$ —切向磨削力	$n_w$ —工件转速
$F_{n0}$ —不考虑砂带磨损情况的切向磨削力	$p$ —接触轮接触应力,静压力,超声频率 交变力
$f$ —振动频率,轴向窜动频率	$P(\delta)$ —在深度为 $\delta$ 的切刃参与磨削活动的概率
	$Q$ —电量,热容量

$Q_r$ —不平衡值	(即累计材料切除量)
$R_n$ —加工表面粗糙度(轮廓算术平均偏差)	$Z$ —开槽数
$R_z$ —加工表面粗糙度(显微不平度 10 点高度)	$Z_s$ —磨粒钝化速率
$R_N$ —切向磨削力与法向磨削力之比值	$Z_w$ —材料切除率
$R_w$ —磨削热传入工件的比例	$Z'_w$ —标准材料切除率
$T$ —工件温度	$\alpha$ —砂带绕驱动轮的有效包角,接头砂带断面坡度
$t$ —磨削时间	$\beta$ —沟槽导角,砂带接头角
$t_0$ —砂带经济寿命	$A$ —电极极间间隙
$t_{er}$ —砂带有效寿命	$\delta$ —磨损高度,磨料磨损后的高度
$U_{ch}$ —单位切削形成能	$\delta_0$ —初期磨损高度
$U_{pl}$ —单位耕犁能	$\delta_b$ —砂带厚度
$U_s$ —比磨性能	$\varepsilon$ —切向力与切向力之比值
$U_{sl}$ —单位滑擦能	$\eta$ —机械效率
$v_q$ —工作电压	$\eta_{cr}$ —临界磨损面积率
$v_a$ —轴向进给速度	$\eta_k$ —磨损面积比率,切削刃比
$v_r$ —径向进给速度	$\eta_s$ —磨削效率
$v_s$ —砂带磨削速度	$A_w$ —工件切除参数
$v_w$ —工件运动速度	$\lambda_t$ —剪切能传入工件的比例
$\omega_t$ —稳定磨损期间的磨损率	$\mu$ —摩擦系数
$W_t$ —磨损率	$\sigma$ —残余应力,标准偏差
$X$ —振幅	$\sigma_b$ —被磨材料屈服强度
$x$ —接触轮槽棱比	$\sigma_s$ —橡胶与金属粘结强度
$Y_T$ —砂带有效寿命期内材料切除总量	$\omega$ —角速度
	$\omega_n$ —工件系统固有频率



# 目 录

第 1 章 砂带磨削技术概述 .....	1
1.1 砂带磨削的基本概念 .....	2
1.1.1 砂带磨削技术的产生 .....	2
1.1.2 砂带磨削的基本要素和特征 .....	2
1.1.3 砂带磨削的基本形式 .....	4
1.2 砂带磨削的主要特点及应用范围 .....	7
1.2.1 砂带磨削的主要特点 .....	7
1.2.2 砂带磨削的应用范围 .....	11
1.3 国内外砂带磨削技术及其应用概况 .....	12
1.3.1 国外砂带磨削技术及其应用 .....	12
1.3.2 国内砂带磨削技术及其应用 .....	16
第 2 章 砂带 .....	24
2.1 砂带的构成及其种类 .....	25
2.1.1 砂带的构成 .....	25
2.1.2 砂带的种类 .....	26
2.2 基材及其种类和应用 .....	28
2.2.1 纸基材 .....	29
2.2.2 布基材 .....	31
2.2.3 复合基材 .....	34
2.2.4 无纺布 .....	35
2.3 磨料及其种类和应用 .....	35
2.3.1 磨料的基本性质 .....	35
2.3.2 砂带常用磨料的种类、特性及应用 .....	36
2.3.3 磨料的处理 .....	43
2.4 粘结剂及其种类和应用 .....	45
2.4.1 粘结剂的基本特点 .....	45
2.4.2 粘结剂的种类和特性 .....	46
2.4.3 粘结剂的组配形式和选择 .....	47
2.4.4 基材处理剂 .....	48



2.4.5	接头胶及其选择原则	49
2.5	砂带接头技术	50
2.5.1	砂带接头的要求	50
2.5.2	接头方法与形式	50
2.5.3	砂带的尺寸规格和标示	53
2.6	砂带制造过程简介	56
2.6.1	原布处理	57
2.6.2	植砂	57
2.6.3	柔曲	60
2.6.4	成品转换	61
2.6.5	砂带的贮存及使用前的处理	61
2.7	砂带质量标准及测试	62
2.7.1	砂带质量标准	62
2.7.2	砂带的测试	63
2.8	砂带的新发展	69
2.8.1	精细砂带	69
2.8.2	其他特殊形态砂带	76
第3章	砂带磨削基础理论	81
3.1	砂带磨削机理	82
3.1.1	砂带磨削运动	82
3.1.2	砂带的磨削机理	83
3.1.3	接触轮弹性变形对砂带磨削的作用机理	89
3.1.4	砂带的磨损机理	92
3.2	砂带磨削性能的评定指标及其影响因素	107
3.2.1	砂带磨削效率	107
3.2.2	砂带磨削力	124
3.2.3	砂带磨削温度	132
3.2.4	砂带磨削加工的表面质量	137
3.2.5	砂带磨削精度	146
3.2.6	砂带磨削的噪声及其他工程环境影响	150
3.3	砂带磨削的磨削液	155
3.3.1	磨削液的作用	155
3.3.2	磨削液的特点	156
3.3.3	磨削液的种类、特性及应用范围	157

第 4 章 砂带磨床的设计 .....	164
4.1 砂带的传动及受力分析 .....	165
4.1.1 砂带磨削过程中砂带的传动特点与受力分析 .....	165
4.1.2 砂带张紧力的设计计算与选择原则 .....	167
4.1.3 砂带磨削速度的设计与选择 .....	170
4.1.4 砂带磨削驱动功率的设计计算 .....	171
4.2 砂带磨床工艺方案设计与磨头关键功能部件设计 .....	174
4.2.1 砂带磨床工艺方案设计 .....	175
4.2.2 砂带磨头主要功能部件的基本参数设计 .....	190
4.2.3 砂带磨头主要部件的结构设计 .....	199
4.2.4 砂带磨头其他功能部件的设计 .....	213
4.3 几种典型砂带磨头结构简介 .....	218
第 5 章 砂带磨床及其自动化技术 .....	225
5.1 砂带磨床 .....	226
5.1.1 外圆砂带磨床 .....	226
5.1.2 内圆砂带磨床 .....	237
5.1.3 平面砂带磨床 .....	243
5.1.4 异形曲面砂带磨床 .....	257
5.1.5 工业罐体和管道砂带磨削 .....	269
5.1.6 手动砂带磨削 .....	285
5.2 砂带磨削加工的自动化 .....	290
5.2.1 砂带磨床的自动化 .....	290
5.2.2 砂带磨削加工的适应控制 .....	298
5.2.3 砂带磨削自动化加工仿真 .....	306
5.2.4 砂带磨削加工过程的智能控制 .....	310
第 6 章 难磨削材料的砂带磨削 .....	316
6.1 脆硬材料的砂带磨削 .....	317
6.1.1 工程陶瓷 .....	317
6.1.2 石材 .....	320
6.1.3 玻璃 .....	325
6.2 硬粘材料的砂带磨削 .....	326
6.2.1 高温合金 .....	326
6.2.2 钛合金 .....	328
6.3 超韧材料的砂带磨削 .....	331

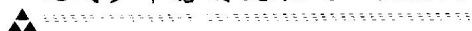


6.3.1	不锈钢	331
6.3.2	铝合金	335
<b>第7章</b>	<b>砂带磨削加工的检测技术</b>	<b>338</b>
7.1	砂带磨削加工中典型物理量的基本测量方法与仪器	339
7.1.1	常用硬度测量方法	339
7.1.2	砂带磨削表面层显微硬度的测量方法	342
7.1.3	砂带磨削烧伤的判别与检测	344
7.1.4	砂带磨削残余应力的检测	346
7.2	砂带磨削中精密测量方法与仪器	351
7.2.1	表面粗糙度的测量方法与仪器	351
7.2.2	圆度误差测量	353
7.2.3	轮廓测量仪器	355
7.2.4	主动测量技术与仪器	357
7.2.5	激光测量技术与仪器	362
7.3	砂带磨削性能参数测试方法与系统简介	370
7.3.1	磨削力测量方法	371
7.3.2	砂带线速度测量原理	371
7.3.3	材料去除率测量原理	372
7.3.4	砂带耐用度的测量原理	372
7.3.5	磨削温度的检测原理	373
7.3.6	磨削噪声检测原理	373
7.3.7	砂带磨削性能参数测试系统	373
<b>第8章</b>	<b>复合砂带磨削加工介绍</b>	<b>375</b>
8.1	超声振动精密砂带磨削	376
8.2	电解砂带磨削	382
<b>附录A</b>	<b>国内外常用磨料信息</b>	<b>390</b>
<b>附录B</b>	<b>国内外砂带、砂带磨床产品简介</b>	<b>395</b>
	<b>参考文献</b>	<b>408</b>

# 第 1 章

## 砂带磨削技术概述

砂带磨削作为一门新兴的机械加工技术,因其加工效率高,适应性强,应用范围广,使用成本低,操作安全方便等特点,广受现代制造业各个领域的青睐,发展非常迅速,现已成为与传统的车削、铣削、砂轮磨削同等重要的一种加工手段。随着砂带制造技术的发展,各种高品质砂带的不断涌现,砂带磨削技术早已超越了其发明之初只能用于打磨抛光的局限。高效率、重负荷、高精度、机械化乃至全数控智能化的各种砂带磨削技术和设备已在航天、航空、舰船、交通运输机械、冶金、化工及能源等领域得到了广泛的应用,并在核电、风电、水电、石油管线、重化工等重大装备的一些关键零部件加工过程中发挥着日益巨大的作用



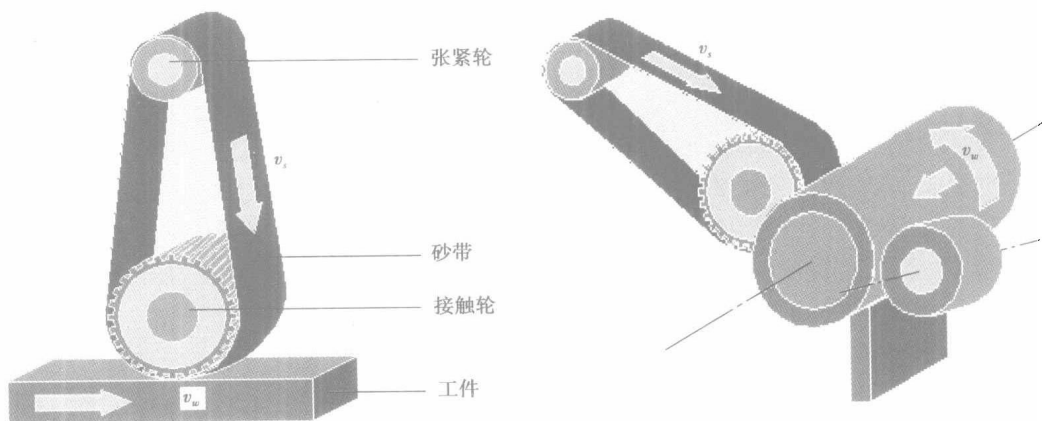
## 1.1 砂带磨削的基本概念

### 1.1.1 砂带磨削技术的产生

砂带磨削属于涂附磨具(俗称砂纸、砂布)磨削的一种形式,早在1760年,世界上就出现了第一张砂纸,但当时仅局限于手工操作。直到1900至1910年才进入机械使用砂纸和砂布的时代,并首次以环状带形方式应用于木材行业,这种采用环状带形砂布的机械磨削方式即为砂带磨削的雏形。1930年后,砂带磨削逐步向金属加工方面发展,第二次世界大战中,美国率先在兵器制造中使用砂带磨削,取得明显效果。1950年初,静电植砂方法的出现把砂带磨削推向了一个新的阶段,砂带磨削应用逐渐普遍。以后欧洲几个工业国和日本也相继开展了砂带磨削技术的研究和应用,砂带磨削技术随之逐渐发展成为一个门类齐全、技术体系较为完整和独立的加工技术领域。

### 1.1.2 砂带磨削的基本要素和特征

1. 砂带磨削的基本要素(如图1.1所示)



$v_c$ —切削速度; $v_a$ —进给速度

图1.1 砂带磨削的基本要素

#### (1) 砂带

砂带是特殊形态的多刀、多刃切削工具,其切削功能主要由黏附在基底上的磨粒来完成。作为单颗磨粒的切削行为,可以把它比喻为一般切削加工刀具的微型体的切削行为。砂带作为一种单层磨料的磨具,由磨料、粘结剂、基体材料三要素组成。在具有可挠性且较为平坦的布料或纸料基体表面上,平整地排列着长径立起的磨粒,

靠粘结剂和基体材料保持可挠性和弹性。作为涂附磨具的主要品种,其性能是由各部分要素综合形成的,由于这些要素的组成各异,使得砂带这种涂附磨具的性能可满足各种工件材料在不同加工条件下进行磨削加工的要求,同时也形成了砂带磨削区别于砂轮磨削和其他涂附磨具磨削的诸多特点。

### (2) 张紧轮(或张紧机构)

如同平皮带机械传动原理一样,要让砂带能够稳定地作磨削运动,仅有驱动轮不行,还必须要张紧轮使砂带张紧,形成一定的初张力。

### (3) 接触轮

支撑砂带并使之紧贴被磨工件实现磨削的基本要件。砂带以何种方式接触工件进行磨削,是砂带磨削的一个十分重要的因素(本章后面将逐一介绍)。

### (4) 驱动轮(或驱动机构)

驱动轮是驱动砂带运动进行磨削的直接动力传递件。它可以是张紧轮或接触轮兼用,也可以是单独的一个驱动轮。

### (5) 磨削参数

指砂带磨削过程中为达到磨削目的所必须满足的基本条件。它包含了砂带的磨削线速度  $v_s$ 、工件进给运动速度  $v_w$ 、磨削深度  $a_p$  等。

### (6) 磨削对象

即被加工工件。

## 2. 砂带磨削的基本特征

从图 1.1 可以知道,砂带磨削是由砂带、驱动轮、张紧轮、接触轮、磨削参数以及工件所构成的一个加工过程,其基本特征可以概括为:将砂带套在张紧轮和接触轮的外表面上,使砂带张紧并运动;根据工件形状和加工要求以相应的接触方式和一定的磨削参数对工件进行磨削或抛光。

砂带磨削去除工件表面材料的基本过程是:磨粒在与工件表面的相对运动中,磨粒和工件表面间产生一定的干涉。按干涉的程度,可将其划分为三个不同的阶段。

### (1) 滑擦

砂带刚开始接触工件,干涉很少,磨粒只摩擦工件表面,起“滑擦”作用。此时磨粒在工件上的滑擦将产生切除材料的弹性和塑性变形。

### (2) 耕犁

随着机床进给、切削厚度的增加,干涉增大,这时磨粒在工件表面上犁出“刻线”,称为“耕犁”。此时工件材料产生塑性流动,材料产生一个挤压式的运动,而从磨粒下方向的前面和两侧挤出,同时切除少量材料。

### (3) 切削

在一定压力的作用下,当有足够的干涉并伴随一定的切削温度时,开始真正的“切削”,此时在滑动磨粒前方的工件材料产生断裂而形成切屑,以此达到去除工件



表面材料的目的。砂带上的众多磨粒,在与工件接触的瞬间,一部分磨粒进行切削,另一部分犁出沟槽,还有一些只起滑擦作用,甚至同一颗磨粒的不同部位以及同一部位在不同的加工时间里所起的作用也不相同。除此之外,砂带的旋转运动又起了擦净切屑的作用,将前进着的磨粒前方的切屑清除干净。周而复始,形成了完整的砂带磨削过程。

### 1.1.3 砂带磨削的基本形式

砂带作为涂附磨具的一种形式,一方面,常规涂附磨具磨削的基本方式砂带磨削同样都能实现。另一方面,由于砂带是涂附磨具更高层次的体现,因而其磨削的方式就显得更加丰富多彩。从不同角度,砂带磨削的应用方式不同。以下是常见的几种应用方式。

按基本结构形式,砂带磨削可以分为闭式和开式两类,如图 1.1 和图 1.2 所示。图 1.1 是典型的闭式砂带磨削方式,也是应用最广泛的方式。图 1.2 是常见的开式砂带磨削的方式。开式砂带磨削多用于精密和超精密加工,采用这种方式,由于砂带是以成卷形式应用,因而砂带的使用周期长,可以省去许多换带的时间。闭式砂带磨削在高效强力磨削和精密磨削两方面都有极为广泛的应用,是砂带磨削的主流。闭式和开式砂带磨削均可进行外圆、内孔、平面和型面等各种表面加工,应用范围十分广泛。在这两大类方式中又可以分为接触轮式、压磨板式和自由式等磨削方式。

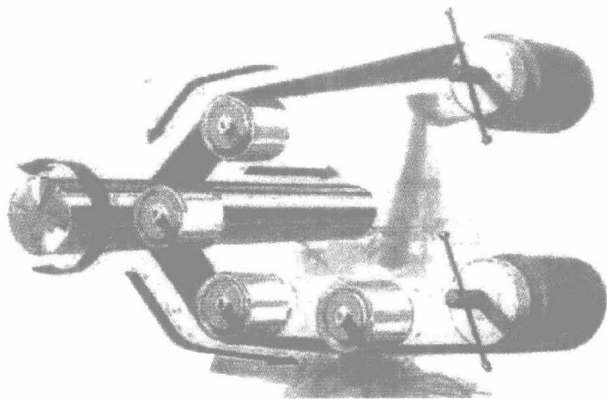


图 1.2 开式砂带磨削

#### 1. 接触轮式

如图 1.3(a)、(b)所示,砂带通过接触轮与工件接触进行磨削。可用于加工工件的外圆、内孔、平面,还可以将接触轮制成一定的形状对工件曲面进行成形加工。若采用浮动接触轮磨削还可用于对不规则型面的随形加工。图中(b)为浮动接触轮磨削,主要用于不规则型面的加工。



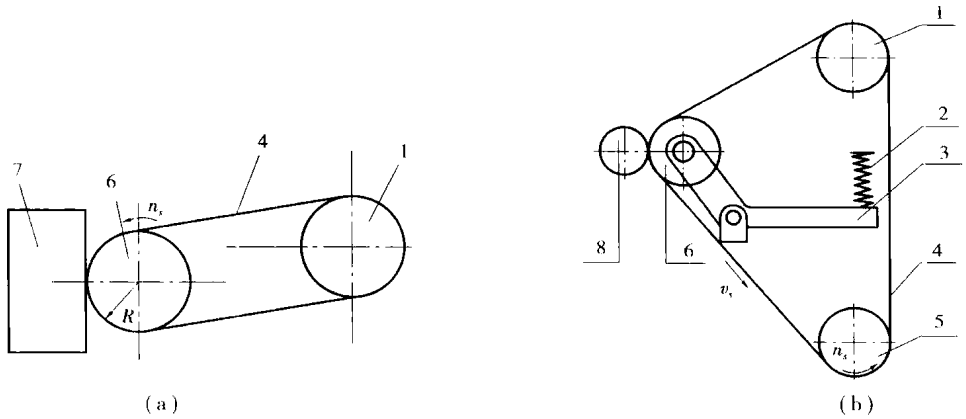


图 1.3 接触轮式砂带磨削

1—张紧轮;2—拉簧;3—浮动机构;4—砂带;5—驱动轮;6—接触轮;7、8—工件

### 2. 压磨板式

如图 1.4(a)、(b)所示,磨削时砂带通过压磨板与工件接触。压磨板起加压作用,一般用于平面加工,可增大接触面积,提高磨削效率和工件几何精度,特别是平面度。

图 1.4(b)是在压磨板与砂带之间加有一层具有弹性的填充材料和耐磨衬垫,这种磨削方法目前多用于片状零件去除平面毛刺和飞边,也可用于诸如卷带、薄片材料的抛光加工。

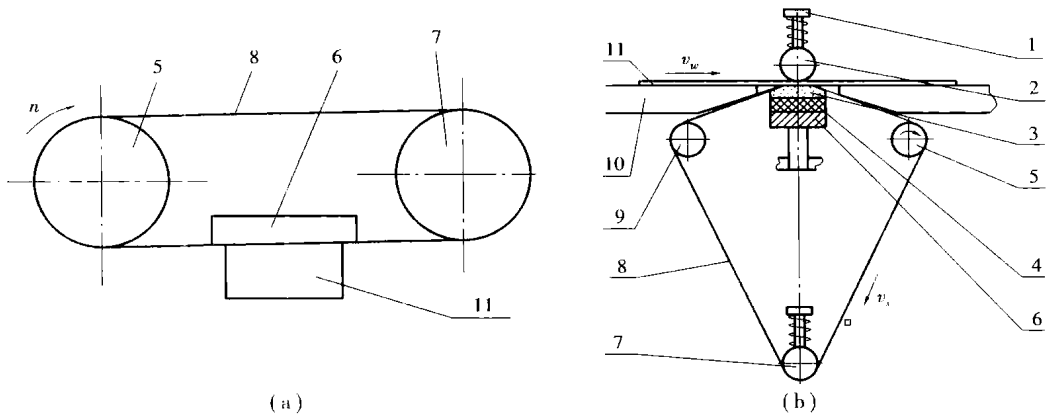


图 1.4 压磨板式

1—支架;2—压轮;3—耐磨垫;4—橡胶;5—驱动轮;6—压磨板;  
7—张紧轮;8—砂带;9—支撑轮;10—托板;11—工件

### 3. 自由式

如图 1.5(a)、(b)所示,工件直接与柔性的砂带接触,不用任何物体支承砂带,利用砂带张紧后自身的挠性对工件进行磨削或抛光。这种方式在一定范围内很容易