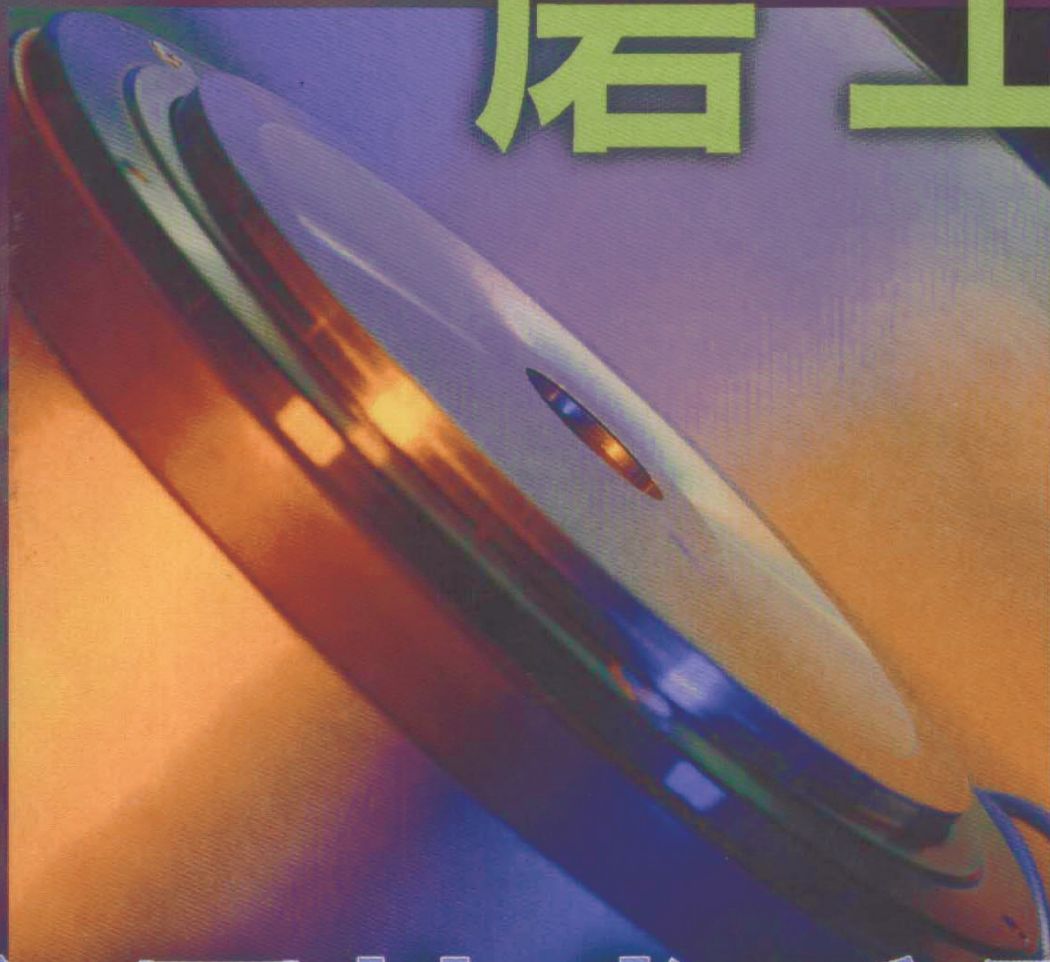


技工系列工具书

薄宵 主编



磨工



实用技术手册

江苏科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

磨工实用技术手册/薄宵主编.—南京:江苏科学技术出版社,2002.10

(技工系列工具书)

ISBN 7-5345-3782-7

I. 磨... II. 薄... III. 磨削-技术手册
IV. TG58-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 084669 号

技工系列工具书

磨工实用技术手册

主 编 薄 宵
责任编辑 钱 亮

出版发行 江苏科学技术出版社
(南京市湖南路 47 号,邮编:210009)

经 销 江苏省新华书店
照 排 南京印刷制版厂
印 刷 南京通达彩印有限公司

开 本 850mm×1168mm 1/32
印 张 25.125
插 页 4
字 数 600 000
版 次 2002 年 10 月第 1 版
印 次 2002 年 10 月第 1 次印刷
印 数 1—5000 册

标准书号 ISBN 7-5345-3782-7/TH·88
定 价 40.00 元

图书如有印装质量问题,可随时向我社出版科调换。

技工系列工具书

编委会

| | | | |
|----|-----|-----|-----|
| 顾问 | 金瑞祺 | | |
| 主任 | 温文源 | | |
| 编委 | 孙广能 | 孙 涛 | 李集仁 |
| | 吴国樑 | 梁子午 | 孟庆桂 |
| | 高志一 | 杨良伟 | 薄 宵 |
| 秘书 | 凌正珠 | | |
| 主编 | 薄 宵 | | |
| 编写 | 薄 宵 | 夏 彤 | 洪稳熹 |
| | 马绍恩 | 王信华 | 张 伟 |
| 审稿 | 赵芝眉 | | |
| 绘图 | 夏正爱 | 沈桂云 | 许定均 |
| | 夏正国 | | |

前 言

《磨工实用技术手册》是一部磨工技术综合性工具书,包括磨工应知的基本知识与技能,磨具、磨床、工艺与装备等基础知识;除一般磨削加工外,还介绍了对特殊结构零件的磨削加工、难加工材料的磨削加工,强调推广先进的磨削工艺;如高速磨削、高精密低粗糙度磨削、缓进给磨削、宽砂轮与多砂轮磨削、超硬磨料磨具磨削、数控磨削等。本书内容范围广泛,除砂轮磨削外,还着重介绍砂带磨削、珩磨、游离磨粒加工等实用技术;并介绍了近年来发展的以快速切除大余量的高速重负荷磨削。

本书强调实用性,手册除面向机械加工行业外,还可供冶金、建材、化工等行业参考。本书兼顾大批量生产和中小批量生产,提供了工艺参数数据、磨削技术和经验,介绍了磨削中常出现的问题及解决方法,力求提高读者解决工艺中实际问题的能力。

本书着重先进性,着重介绍了高速、高效、精密磨削,数控磨削以推广提高磨削加工水平,向高质量、高效率、低成本方向发展,使磨削技术在入世后适应世界新潮流。

本书突出简明性,除必要的理论说明外,多以图表形式介绍大量资料,力求介绍成熟的经验和方法,以供读者参考。本书贯彻国家颁布的最新标准,如有关磨削加工的基本术语、磨料、磨具等标准都采用近年来颁布的新标

准,对提高企业管理水平和产品质量有重要意义。

本书可供广大机械加工制造业的职工、管理干部学习先进技术时参考,也可作为大中专院校、技校学生课程设计和机械工艺设计的技术参考资料。

本书由薄宵主编,参加各章编写的有:第一章 薄宵、夏彤、洪稳熹、马绍恩,第二章 洪稳熹、马绍恩,第三章 王信华、夏彤、薄宵,第四章 夏彤、薄宵,第五章 薄宵、夏彤,第六、七章 薄宵,第八章 马绍恩,第九章 薄宵,第十章 马绍恩,第十一章 张伟、夏彤,第十二章、十三章 洪稳熹,第十四章 薄宵。

本书由东南大学赵芝眉教授审稿。

由于编者经验、水平限制,有内容编排不完善或错误之处,敬请读者指正,以便再版时修改补充,谨此致以谢意。

编 者

2002年9月

目 录

| | |
|---------------------------|-----|
| 第一章 磨削加工基本知识 | 1 |
| 第一节 磨削加工类型和磨削特点 | 1 |
| 一、磨削加工的分类 | 1 |
| 二、磨削加工的特点 | 3 |
| 三、磨削基本参数 | 4 |
| 第二节 磨削力和磨削热 | 9 |
| 一、磨削过程 | 9 |
| 二、磨削力和磨削功率 | 10 |
| 三、磨削热和磨削温度 | 11 |
| 第三节 磨料与磨具 | 12 |
| 一、普通磨料磨具 | 12 |
| 二、超硬磨料磨具 | 32 |
| 三、金刚石修整笔 | 52 |
| 四、主要国家磨料磨具代号、标记对照表 | 56 |
| 五、涂附磨具 | 67 |
| 第四节 常用磨床和磨床夹具 | 83 |
| 一、磨床的技术参数及加工精度和磨床保养 | 83 |
| 二、磨床夹具 | 104 |
| 第五节 磨削液 | 114 |
| 一、对磨削液的要求 | 114 |
| 二、磨削液的种类和应用 | 116 |
| 三、固态磨削剂 | 124 |
| 四、磨削液的供给方法 | 125 |
| 五、磨削液的过滤方法 | 130 |
| 六、使用磨削液出现的问题及解决措施 | 136 |

| | |
|------------------------|-----|
| 第六节 常用量具 | 141 |
| 一、卡尺 | 141 |
| 二、千分尺 | 143 |
| 三、指示表 | 145 |
| 四、游标万能角度尺 | 147 |
| 五、量具的保养 | 148 |
| 第七节 砂轮的平衡与修整 | 149 |
| 一、砂轮的平衡 | 149 |
| 二、砂轮的修整 | 157 |
| 第八节 安全防护 | 179 |
| 第二章 普通磨削 | 182 |
| 第一节 外圆磨削 | 182 |
| 一、外圆磨削方法 | 182 |
| 二、工件的装夹 | 190 |
| 三、磨削用量 | 197 |
| 四、外圆磨削砂轮 | 201 |
| 五、外圆磨削的阶梯砂轮和开槽砂轮 | 202 |
| 六、外圆的测量 | 207 |
| 七、外圆磨削加工实例 | 208 |
| 八、外圆磨削常见的缺陷与消除措施 | 210 |
| 第二节 内圆磨削 | 215 |
| 一、内圆磨削方法 | 216 |
| 二、内圆磨头 | 221 |
| 三、砂轮的选择 | 224 |
| 四、砂轮的安裝 | 229 |
| 五、工件的安裝 | 231 |
| 六、磨削用量 | 234 |
| 七、内孔的测量 | 240 |
| 八、内圆磨削实例 | 240 |
| 九、内圆磨削常见的缺陷与消除措施 | 241 |

| | |
|--------------------------|-----|
| 第三节 圆锥面磨削 | 243 |
| 一、圆锥尺寸计算和标准 | 243 |
| 二、圆锥面的磨削方法 | 251 |
| 三、圆锥的精度检验 | 256 |
| 四、圆锥面磨削常见的缺陷及消除措施 | 261 |
| 第四节 平面磨削 | 262 |
| 一、平面磨削的方法 | 262 |
| 二、电磁吸盘的使用 | 265 |
| 三、磨削用量 | 268 |
| 四、砂轮的选择 | 274 |
| 五、平行平面、垂直平面和倾斜面的磨削 | 274 |
| 六、薄片平面的磨削 | 282 |
| 七、平面的精度检验 | 285 |
| 八、平面磨削常见的缺陷及消除措施 | 289 |
| 第五节 无心磨削 | 290 |
| 一、无心磨削的基本原理 | 291 |
| 二、无心磨削方法和磨削用量 | 297 |
| 三、M1080 型无心外圆磨床简介 | 307 |
| 四、无心外圆磨床的调整 | 310 |
| 五、无心外圆磨削实例 | 320 |
| 六、无心磨削常见缺陷及消除措施 | 323 |
| 第三章 特殊零件磨削 | 326 |
| 第一节 细长轴磨削 | 326 |
| 一、磨削特点 | 326 |
| 二、磨削方法 | 326 |
| 三、磨削实例 | 329 |
| 第二节 成形面磨削 | 330 |
| 一、成形面的磨削方法 | 331 |
| 二、成形砂轮磨削法 | 331 |
| 三、成形夹具磨削 | 336 |

| | |
|--------------------------|-----|
| 四、仿形磨削 | 342 |
| 五、坐标磨床磨削 | 343 |
| 第三节 花键轴磨削 | 347 |
| 一、花键概述 | 347 |
| 二、矩形花键轴的磨削方法 | 347 |
| 三、砂轮的选择与修整 | 350 |
| 四、磨削用量的选择 | 352 |
| 五、花键轴磨削实例 | 355 |
| 六、花键轴磨削的缺陷及消除措施 | 356 |
| 第四节 球面磨削 | 358 |
| 一、球面磨削原理 | 358 |
| 二、外球面磨削砂轮的选择和修整 | 359 |
| 三、外球面的磨削方法 | 359 |
| 四、容易产生的问题和注意事项 | 361 |
| 五、内球面磨削 | 361 |
| 第五节 套类零件磨削 | 363 |
| 一、薄壁套类零件磨削 | 363 |
| 二、精密轴套磨削 | 368 |
| 第六节 齿轮磨削 | 372 |
| 一、磨齿的方法和特点 | 372 |
| 二、砂轮的选择和平衡 | 379 |
| 三、磨削余量的确定 | 381 |
| 第七节 螺纹磨削 | 382 |
| 一、磨螺纹的方法和应用 | 382 |
| 二、机床的安装和使用 | 383 |
| 三、砂轮的选择和修整 | 384 |
| 四、磨削用量的选择 | 386 |
| 第四章 刀具的刃磨 | 388 |
| 第一节 刀具的基本概念 | 388 |
| 一、刀具的组成及几何参数 | 388 |

| | |
|----------------------------|-----|
| 二、刀具材料 | 390 |
| 三、刀具磨损 | 392 |
| 第二节 刃磨机床及其附件 | 394 |
| 一、MA6032 型万能工具磨床的特征 | 395 |
| 二、主要用途和适用范围 | 396 |
| 三、MA6032 型万能工具磨床技术参数 | 397 |
| 四、传动系统 | 398 |
| 五、刀具磨架 | 400 |
| 六、砂轮修整器 | 401 |
| 七、主要附件 | 401 |
| 第三节 硬质合金车刀的刃磨 | 405 |
| 一、可转位硬质合金刀片的刃磨 | 405 |
| 二、硬质合金车刀刃磨 | 406 |
| 第四节 麻花钻的刃磨 | 407 |
| 一、麻花钻的结构和几何参数 | 407 |
| 二、标准麻花钻的修磨方法 | 410 |
| 三、普通麻花钻的刃磨 | 412 |
| 四、群钻的刃磨 | 414 |
| 第五节 铰刀的刃磨 | 422 |
| 一、铰刀的结构要素和几何参数 | 422 |
| 二、铰刀的刃磨 | 424 |
| 三、刃磨时注意事项 | 428 |
| 四、铰刀的检验 | 429 |
| 第六节 铣刀的刃磨 | 432 |
| 一、铣刀的类型、用途和几何参数 | 432 |
| 二、尖齿铣刀的刃磨 | 435 |
| 三、铲齿铣刀的刃磨 | 437 |
| 四、铣刀的测量 | 439 |
| 第七节 齿轮滚刀的刃磨 | 440 |
| 一、齿轮滚刀的结构要素和几何参数 | 440 |

| | |
|-----------------------------|------------|
| 二、齿轮滚刀的刃磨 | 443 |
| 三、齿轮滚刀的刃磨缺陷及消除措施 | 445 |
| 第八节 插齿刀的刃磨 | 446 |
| 一、插齿刀的结构要素和几何参数 | 446 |
| 二、插齿刀的刃磨 | 448 |
| 三、插齿刀的刃磨缺陷及消除措施 | 450 |
| 第九节 刃磨砂轮的选择和使用 | 450 |
| 一、砂轮的选择 | 450 |
| 二、砂轮的安装 | 452 |
| 三、砂轮的修整 | 452 |
| 第五章 高速高精密磨削 | 454 |
| 第一节 高速磨削 | 454 |
| 一、高速磨削的特点 | 454 |
| 二、高速磨削对机床和砂轮的要求 | 455 |
| 三、砂轮的补强措施 | 457 |
| 四、高速磨削的工艺参数 | 459 |
| 五、超高速磨削 | 460 |
| 六、高速点磨削 | 461 |
| 第二节 宽砂轮磨削 | 462 |
| 一、宽砂轮磨削的特点 | 462 |
| 二、宽砂轮磨削对机床和砂轮的要求 | 462 |
| 三、宽砂轮磨削工艺参数 | 464 |
| 四、宽砂轮磨削加工实例 | 464 |
| 第三节 多砂轮磨削 | 466 |
| 一、多砂轮磨削的特点 | 466 |
| 二、多砂轮磨削对机床和砂轮的要求 | 466 |
| 第四节 缓进给磨削 | 467 |
| 一、缓进给磨削的特点 | 467 |
| 二、缓进给磨削对机床的要求 | 468 |
| 三、缓进给磨削砂轮的选择和修整 | 471 |

| | |
|---------------------------------|------------|
| 四、高速深切快进给磨削 | 472 |
| 五、缓进给磨削加工实例 | 472 |
| 第五节 恒压力磨削 | 474 |
| 一、恒压力磨削的特点 | 474 |
| 二、恒压力磨削的实现 | 475 |
| 三、恒压力磨削实例 | 476 |
| 第六节 低粗糙度磨削 | 478 |
| 一、低粗糙度磨削的机理 | 478 |
| 二、低粗糙度磨削砂轮的选择 | 479 |
| 三、砂轮的修整 | 481 |
| 四、磨削用量 | 484 |
| 五、低粗糙度磨削对机床的要求 | 488 |
| 六、低粗糙度磨削实例 | 491 |
| 七、镜面磨削的缺陷及改进措施 | 493 |
| 八、高速低粗糙度磨削 | 494 |
| 九、硬脆材料镜面磨削 | 497 |
| 第六章 高速重负荷磨削 | 499 |
| 第一节 高速重负荷磨削特点和磨削方法 | 499 |
| 一、磨削特点 | 499 |
| 二、磨削方法 | 500 |
| 三、磨削工艺参数对磨削过程的影响 | 503 |
| 四、砂轮参数的选择 | 505 |
| 五、对钢坯磨床的要求 | 509 |
| 六、常见的问题及解决途径 | 510 |
| 第二节 高速切断磨削 | 512 |
| 一、切断磨削方式 | 512 |
| 二、切断砂轮参数的选择 | 513 |
| 三、磨削用量 | 513 |
| 第三节 清理磨削 | 514 |
| 第七章 超硬磨料磨具磨削 | 515 |

| | | |
|-----|-------------------------|-----|
| 第一节 | 金刚石砂轮磨削 | 515 |
| 一、 | 金刚石砂轮磨削的特点 | 515 |
| 二、 | 金刚石砂轮磨削用量的选择 | 515 |
| 第二节 | 立方氮化硼砂轮磨削 | 517 |
| 一、 | 立方氮化硼砂轮磨削特点 | 517 |
| 二、 | 立方氮化硼砂轮磨削用量的选择 | 518 |
| 第三节 | 超硬磨料砂轮使用要求 | 519 |
| 一、 | 使用超硬磨料砂轮对机床的要求 | 519 |
| 二、 | 磨削液的选择 | 520 |
| 三、 | 超硬磨料砂轮的修整 | 521 |
| 四、 | 超硬磨料砂轮使用实例 | 525 |
| 第八章 | 砂带磨削 | 530 |
| 第一节 | 砂带磨削的机理和特点 | 530 |
| 一、 | 砂带磨削的一般机理 | 530 |
| 二、 | 砂带磨削的特点 | 531 |
| 第二节 | 砂带磨削应用范围及磨削方式 | 532 |
| 一、 | 砂带磨削的应用范围 | 532 |
| 二、 | 砂带磨削方式 | 532 |
| 第三节 | 砂带磨削主要部件的结构 | 537 |
| 一、 | 磨头结构及主要尺寸参数 | 537 |
| 二、 | 接触轮的基本结构及尺寸参数 | 542 |
| 三、 | 张紧轮和主动轮 | 546 |
| 第四节 | 砂带磨削工艺参数选择 | 547 |
| 一、 | 磨削用量及磨削余量选择 | 547 |
| 二、 | 接触轮和砂带选择 | 549 |
| 三、 | 砂带磨削的冷却、润滑和除尘 | 552 |
| 四、 | 接触轮式砂带磨削常见问题及改进措施 | 554 |
| 第五节 | 砂带磨削实例 | 555 |
| 一、 | 外圆砂带磨削 | 555 |
| 二、 | 内圆砂带磨削 | 556 |

| | |
|-----------------------------------|------------|
| 三、平面砂带磨削 | 557 |
| 四、形面砂带磨削 | 558 |
| 第九章 难磨材料的磨削 | 561 |
| 第一节 难磨材料的特点及磨削时出现的问题 | 561 |
| 第二节 不锈钢的磨削 | 562 |
| 一、不锈钢的种类、牌号及磨削特点 | 562 |
| 二、砂轮的选择 | 566 |
| 三、工艺参数的选择 | 567 |
| 第三节 钛合金磨削 | 568 |
| 一、钛合金磨削特点 | 568 |
| 二、砂轮的选择 | 569 |
| 第四节 高温合金的磨削 | 571 |
| 一、高温合金的分类、牌号及性能 | 571 |
| 二、高温合金磨削特点 | 573 |
| 三、高温合金磨削砂轮的选择 | 573 |
| 四、高温合金缓进给磨削 | 575 |
| 第十章 典型磨床结构与使用 | 577 |
| 第一节 M131W 型万能外圆磨床 | 577 |
| 一、M131W 型万能外圆磨床简介 | 577 |
| 二、M131W 型万能外圆磨床机械传动系统 | 580 |
| 三、M131W 型万能外圆磨床主要部件结构 | 582 |
| 四、M131W 型万能外圆磨床液压系统 | 585 |
| 第二节 M7120A 型平面磨床 | 588 |
| 一、M7120A 型平面磨床简介 | 588 |
| 二、M7120A 型平面磨床机械传动系统 | 589 |
| 三、M7120A 型平面磨床主要部件结构 | 591 |
| 四、M7120A 型平面磨床液压系统 | 594 |
| 第十一章 数控磨床 | 598 |
| 第一节 数控技术概述 | 598 |
| 一、数控系统的分类 | 599 |

| | |
|------------------------------|-----|
| 二、数控系统的基本功能 | 599 |
| 第二节 数控磨床 | 600 |
| 一、数控磨床的一般结构 | 600 |
| 二、数控磨床的特点 | 602 |
| 第三节 数控磨床常用装置及附件 | 604 |
| 一、砂轮平衡装置 | 604 |
| 二、在线检测装置 | 606 |
| 三、砂轮修整器 | 608 |
| 第四节 数控磨床实例 | 609 |
| 一、机床控制功能 | 609 |
| 二、加工实例 | 612 |
| 第十二章 珩磨 | 617 |
| 第一节 珩磨加工特点和应用范围 | 617 |
| 一、珩磨加工特点 | 617 |
| 二、珩磨加工的应用范围 | 620 |
| 第二节 珩磨头 | 620 |
| 一、珩磨头的典型结构 | 620 |
| 二、珩磨头的连接 | 623 |
| 三、珩磨头的设计要点 | 626 |
| 第三节 珩磨夹具 | 627 |
| 一、珩磨夹具的典型结构 | 627 |
| 二、珩磨夹具与珩磨头的配用及对中 | 629 |
| 第四节 珩磨油石的选择 | 630 |
| 一、珩磨油石规格、数量的选择 | 630 |
| 二、珩磨油石性能的选择 | 632 |
| 三、新型油石 | 635 |
| 第五节 珩磨工艺和珩磨液 | 635 |
| 一、珩磨工艺 | 635 |
| 二、珩磨液 | 641 |
| 三、特种珩磨工艺 | 642 |

| | | |
|------|-----------------------|-----|
| 第六节 | 小孔、盲孔珩磨及外圆的双轮珩磨 | 652 |
| 一、 | 小孔珩磨 | 652 |
| 二、 | 盲孔珩磨 | 653 |
| 三、 | 外圆的双轮珩磨 | 654 |
| 第七节 | 珩磨产生的缺陷及消除措施 | 655 |
| 第十三章 | 游离磨粒加工 | 663 |
| 第一节 | 研磨 | 663 |
| 一、 | 研磨的特点和分类 | 663 |
| 二、 | 研磨机理 | 665 |
| 三、 | 研具 | 665 |
| 四、 | 研磨剂 | 673 |
| 五、 | 研磨工艺参数 | 678 |
| 六、 | 特种研磨 | 680 |
| 第二节 | 抛光 | 681 |
| 一、 | 抛光特点与机理 | 681 |
| 二、 | 轮式抛光 | 681 |
| 第三节 | 滚磨 | 688 |
| 一、 | 滚磨特点与用途 | 688 |
| 二、 | 滚磨加工类型 | 689 |
| 第四节 | 喷射加工 | 691 |
| 一、 | 压力喷射加工 | 691 |
| 二、 | 离心式磨料抛射加工 | 693 |
| 第五节 | 磨料流动加工 | 694 |
| 一、 | 动力磨料流动加工 | 694 |
| 二、 | 挤压研磨 | 695 |
| 第六节 | 冲击磨 | 697 |
| 一、 | 运动参数 | 698 |
| 二、 | 金属切除率 | 699 |
| 三、 | 工具材料 | 701 |
| 第十四章 | 常用资料 | 702 |

| | |
|--------------------|-----|
| 第一节 工程材料与热处理 | 702 |
| 一、基本知识 | 702 |
| 二、金属材料 | 706 |
| 三、非金属材料 | 742 |
| 第二节 公差与配合 | 746 |
| 一、标准公差与偏差 | 746 |
| 二、形状和位置公差 | 760 |
| 三、螺纹公差 | 763 |
| 四、表面粗糙度 | 774 |
| 第三节 黑色金属硬度换算 | 779 |

第一章 磨削加工基本知识

第一节 磨削加工类型和磨削特点

一、磨削加工的分类

磨削加工是指用磨料来切除工件多余材料的方法。根据工艺目的和要求不同,磨削已发展为多种形式的加工工艺,它的应用范围很广。随着工业的发展,磨削加工不断向高速、高效、高精度、低粗糙度及自动化方向发展。因此,必须进一步提高磨削生产效率和加工质量,才能适应这一要求。

磨削加工通常按磨削工具的类型分类,分为固定磨粒加工和游离磨粒加工两大类(见图 1.1-1)。不同形式加工用途、工作原理和运动情况有很大的差别,但在磨削过程中都存在摩擦、微切削和表面化学物理反应等现象,只是形式和程度不同而已。通常

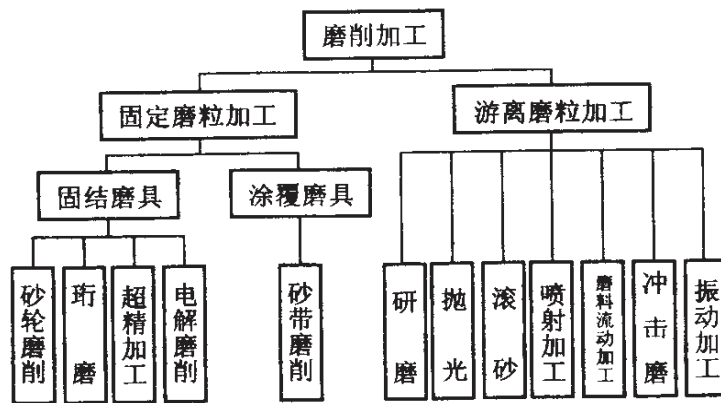


图 1.1-1 磨削加工分类

所谓“磨削”，主要是指用砂轮进行磨削。砂轮磨削也是应用广泛、高质量和高生产率的加工方法。一般可按照加工对象分为外圆、内圆、平面及成形磨削等，见图 1.1-2 和表 1.1-1。

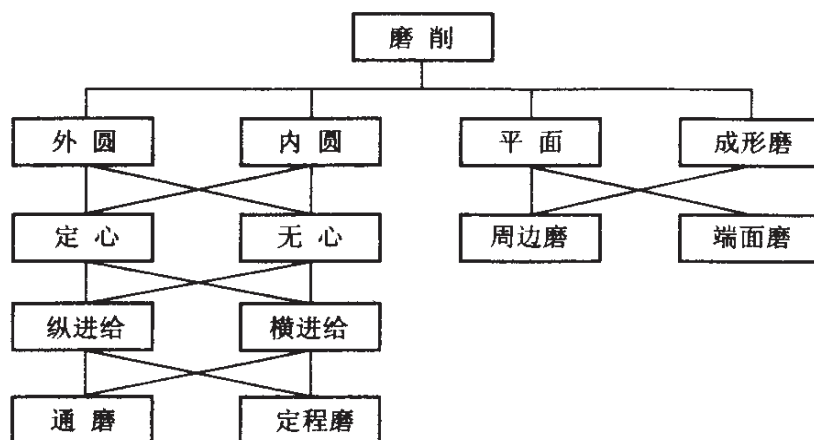


图 1.1-2 常用的砂轮磨削方式和方法

常用的砂轮磨削方式：一般旋转表面(内、外圆)按夹紧和驱动工件的方法,可分为定心磨削和无心磨削;按进给方向相对于加工表面的关系,可分为纵向进给和横向进给磨削;考虑磨削行程之后砂轮相对工件的位置,又可分为通磨和定程磨;以砂轮工作表面类型来分,分为周边磨、端面磨和周边-端面磨。

图 1.1-2 所示磨削方式和方法,应根据具体条件采用。例如磨平面,可采用端面磨削,也可采用周边磨削,应根据设备、加工条件和加工习惯而定。

砂轮磨削有两种基本目的：一是将毛坯加工成一定尺寸和形状的半精加工和精加工。它是淬硬钢和各种高硬度、高强度难加工合金材料的加工手段,同时也是加工陶瓷、光学玻璃、橡胶、木材等非金属材料的加工手段。另一目的是以最低成本、快速切除大余量的荒磨。例如在钢坯上重负荷磨削,去除钢锭表层缺陷层,每小时切除量可达几百公斤,甚至可占钢锭总重量的 3%~7%。

近年来,砂带磨削逐步推广,在某些方面有代替砂轮磨削的趋

势。其优点是磨削效率高、设备简单、成本低、适应性强,有“万能磨削”之称。

表 1.1-1 基本磨削方法

| 磨削方式 | 周 边 | | | 端 面 | | |
|------|---------------------|-----|-----|-----|-----|--------|
| | 径向(切入) | 切 向 | 轴 向 | 径 向 | 切 向 | 轴向(切入) |
| 平 面 | 工作 台直 线运 动 | | | | | |
| | 工作 台旋 转运 动 | | | | | |
| 圆 柱 | 外圆 | | | | | |
| | 内圆 | | | | | |
| 成 形 | 范成 | | | | | |
| | 成形 | | | | | |

二、磨削加工的特点

磨削加工是利用磨粒、磨具进行加工的总称,与车、铣削加工比较,具有以下特点:

(1) 砂轮表面有大量磨粒,其形状、大小和分布为不规则的随机状态,参加切削的刃数随具体条件而定。磨粒刃端面圆弧半径较大,切削时呈负前角(一般为 $-65^{\circ} \sim -85^{\circ}$,见图 1.1-3)。

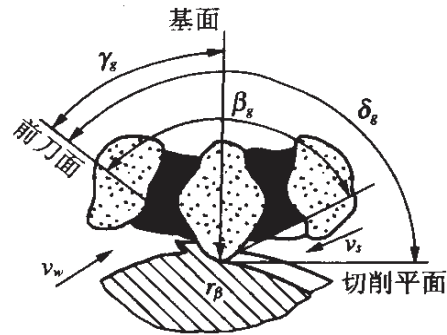


图 1.1-3 砂轮的磨粒切削刃参数

(2) 每颗磨粒切去切屑厚度很薄，一般只有几微米，因此加工表面可获得高的精度和低的表面粗糙度。一般精度可达 IT6~IT7 级，表面粗糙度可达 $Ra0.08 \sim 0.05 \mu\text{m}$ ，精密磨削可达到更高，故磨削常用在精加工工序。

(3) 磨削效率高。一般磨削速度为 35 m/s 左右，约为普通刀具的 20 倍以上，可获得较高的金属切除率。同时，磨粒和工件产生强烈的摩擦、急剧的塑性变形，因而产生大量的磨削热。

(4) 砂轮磨粒硬度高，热稳定性好，不但可磨钢材、铸铁等材料，还可磨各种硬度高的材料，如淬硬钢、硬质合金、玻璃、陶瓷、石材等。这些材料用一般的车、铣等很难加工。

(5) 磨粒具有一定的脆性。在磨削力的作用下会破裂，从而更新其切削刃，称为砂轮的“自锐作用”。

(6) 可获得较高的加工效率。不但可精加工，而且可进行粗磨、荒磨、重负荷磨削。

三、磨削基本参数

在磨削过程中，砂轮和工件做相对运动，如图 1.1-4 所示。

磨削的方式很多，常见的如外圆、内圆、平面、成形磨削、螺纹磨削和齿轮磨削等。但以砂轮工作面来分，基本上可分为周边磨削、端面磨削和成形磨削，见图 1.1-2 及表 1.1-1。根据不同磨

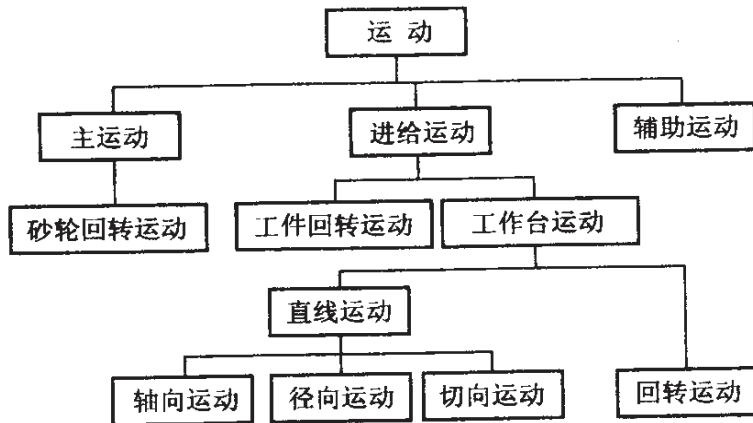


图 1.1-4 砂轮和工件相对运动简略分类

削方式的各种运动来看,可归纳为主运动和进给运动两种。

(一) 主运动——砂轮的回转运动

砂轮最大直径处的切线速度即磨削速度 v_s 。

$$v_s = \frac{\pi D_s n_s}{1\,000 \times 60} \quad (\text{m/s})$$

式中 D_s ——砂轮直径(mm)

n_s ——砂轮转速(r/min)

外圆和平面磨削的磨削速度一般为 35 m/s 左右,内圆磨削速度一般为 18~30 m/s。从上式可看出,当砂轮直径因磨耗而减小时,磨削速度会降低,影响磨削质量和生产效率。因此,当砂轮直径减小到一定值时,应更换砂轮或提高砂轮转速,以保证合理的磨削速度。

(二) 进给运动

1. 工件回转运动——圆周进给运动

工件回转速度计算公式:

$$v_w = \frac{\pi D_w n_w}{1\,000} \quad (\text{m/min})$$

式中 D_w ——工件直径(mm)

n_w ——工件转速(r/min)

工件圆周速度一般为 10~30 m/s。按加工要求来选择,加工精度高可取较低的速度,反之取较高的速度。实际生产时,往往先选定工件速度,再计算出工件转速,以此调整机床转数。为此,可将上式变换为:

$$n_w = 1\,000 v_w / \pi D_w \approx 318 v_w / D_w \text{ (r/min)}$$

2. 轴向进给运动

轴向进给运动指工作台在平行砂轮轴线方向上的运动。轴向进给量(纵向进给量)指工件每转(或每行程)工作台相对砂轮轴向的移动量,以 f_a (mm/r)表示。

轴向进给量受砂轮宽度的限制,在选择时可按下式计算:

$$f_a = (0.1 \sim 0.8) B \text{ (mm/min)}$$

式中 B ——砂轮宽度(mm)

工作台轴向进给速度 $v_{fa} = n_w \cdot f_a$ (mm/min)

3. 径向进给运动——工作台在与砂轮轴线垂直方向上的运动

径向进给量是指工件每转(或每行程)由工作台径向进给的位移量,以 f_r 表示。径向进给运动一般是不连续的,只是在工件每次行程终了时,砂轮才径向进给。所以进给量 f_r 以 mm/单行程或 mm/双行程表示。

背吃刀量 a_p 是指垂直于工件平面测量的砂轮吃刀量,所以

$$a_p = (D - d) / 2 \text{ (mm)}$$

式中 D ——进给前工件直径(mm)

d ——进给后工件直径(mm)

外圆磨削 a_p 一般取 0.005~0.04 mm,精磨取小值,粗磨取大值。

径向进给量 f_r 用于切入磨削, 单位为: mm/st(st—单行程, d. st—双行程)或 mm/min、mm/r。磨削时要注意是单行程还是双行程。例如工件余量 0.02 mm(直径方向), 取 $f_r=0.01$ mm/st, 一个单行程可将余量磨去。而取 $f_r=0.005$ mm/st, 一个双行程可将余量磨去。

其他磨削方式进给运动参看表 1.1-1。

磨削用量常用数值见表 1.1-2。

表 1.1-2 磨削用量

| 磨削方式 | v_s (m/s) | f_r (mm/单行程 或 mm/双行程) | | f_a (mm/r) | | v_w (m/min) | |
|------|----------------|----------------------------|-------------|--------------|------------|------------------|-------|
| | | 粗磨 | 精磨 | 粗磨 | 精磨 | 粗磨 | 精磨 |
| 外圆磨削 | 25~35 | 0.015~0.05 | 0.005~0.01 | (0.3~0.7)B | (0.3~0.4)B | 20~30 | 20~60 |
| 内圆磨削 | 18~30 | 0.005~0.02 | 0.0025~0.01 | (0.4~0.7)B | (0.2~0.4)B | 20~40 | 20~40 |
| 平面磨削 | 25~35 | 0.015~0.05 | 0.005~0.015 | (0.4~0.7)B | (0.2~0.3)B | 6~30 | 15~20 |

(三) 砂轮与工件接触弧长 l_g

$$l_g \approx \sqrt{a_p \cdot D_s}$$

l_g (见图 1.1-5)的大小表明热源的大小。 l_g 越大, 表明磨削热源越大、冷却及排屑不易, 砂轮容易出现堵塞等现象。一般内圆磨削接触弧长最长, 其次是平面磨削, 外圆磨削最小。

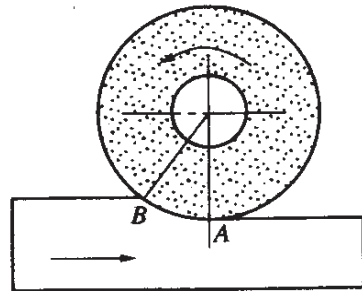


图 1.1-5 砂轮周边磨削接触弧 $l_g = \widehat{AB}$

(四) 平均磨削厚度 a_{cg}

$$a_{cg\max} = \frac{2V_w}{v_s} \cdot l_z \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{d_w} \pm \frac{1}{D_s}\right) \cdot f_r}$$

式中 V_w/V_s 值越小, $a_{cg\max}$ 也就越小, 所以采用高速磨削有利; $a_{cg\max}$ 与 $\sqrt{f_r}$ 成正比, 当磨削深度 f_r 增加 1 倍时, $a_{cg\max}$ 只增加 40% 左右, 从增加生产效率着眼, 增加 f_r (深磨法) 比增加 v_w 有利; 磨粒间刃距 l_z 减小 (细粒度时), $a_{cg\max}$ 也减小。所以精磨时采用较细磨粒; d_w 与 D_s 增加, 可使 $a_{cg\max}$ 减小。

(五) 材料磨除率 Q_w

单位时间内被磨的工件材料体积:

$$Q_w = 1\,000 v_w \cdot f_r \cdot a_p \text{ (mm}^3/\text{min)}$$

单位有效砂轮宽度上材料磨除率 Q'_w

$$Q'_w = Q_w / b \text{ (mm}^3/\text{mm} \cdot \text{min)}$$

式中 b ——砂轮磨削有效宽度 (mm)

Q'_w 表示砂轮的磨削性能和生产率的高低, Q'_w 值高, 表示砂轮磨削性能好, 生产效率高。

(六) 磨削比 G

$$G = Q_w / Q_s$$

式中 Q_s ——表示每分钟内砂轮材料体积脱落量, 又称砂轮磨损速率。 G 值大表示砂轮的切削性能好, 生产效率高, 经济效果好。

磨耗比 G_s :

$$G_s = 1/G = Q_s / Q_w$$

G_s 值小, 说明砂轮耐用度高, 经济效果好。

(七) 比磨削能 \bar{U}_c 。

磨除单位体积(或重量)材料所消耗的能量。单位 $N \cdot m/mm^3$ 或 J/mm^3 。

\bar{U}_c 是估算磨削力和功率常用的量, \bar{U}_c 越小, 说明材料的可磨性好, 相对金属切除率高。

第二节 磨削力和磨削热

一、磨削过程

在磨削过程中磨粒与工件接触情况见图 1.2-1。切屑的形成过程大致分为三个阶段:

第 I 阶段: 磨粒与工件开始接触, 磨粒未切入工件而仅在表面产生摩擦, 工件表层产生热应力。此阶段称为弹性变形阶段。

第 II 阶段: 由于磨粒切入量增加, 磨粒逐渐切入工件, 使该部分材料向两旁隆起, 工件表面形成刻痕。此时, 除磨粒与工件之间摩擦外, 更主要的是材料内部发生摩擦、弹性变形所产生的应力。此阶段影响工件表面粗糙度及表面烧伤、裂纹等缺陷。此阶段称为刻划阶段。

第 III 阶段: 此时磨粒已切入一定深度, 法向切削力增至一定程度后, 被切处也已达一定温度, 此部分材料沿剪切面滑移而形成切屑流出, 在工件表层产生热应力和变形应力。此阶段称为切削阶段。

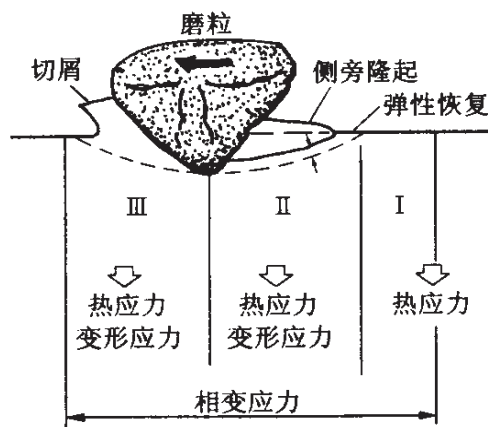


图 1.2-1 磨削中磨粒与工件接触状况

在磨削过程中,一些在表面上凸出且锋利的磨粒,在挤压摩擦作用下,切下一定厚度的金属;而较钝的磨粒仅起表面刻划作用;凸出低且钝化的磨粒,或两相邻磨粒中靠后的磨粒只产生摩擦作用。磨粒切下的切屑非常细小(重负荷磨削除外),一般分为带状切屑、碎片状切屑和熔融的球状切屑。

二、磨削力和磨削功率

磨削时砂轮和工件发生摩擦和切削变形,在砂轮和工件上分别作用着大小相等方向相反的作用力,称为磨削力,如图 1.2-2。

在一般外圆磨削时,磨削力可以分解为互相垂直的三个分力: F_t 为切向磨削力(砂轮旋转圆周切线方向); F_n 为法向磨削力(砂轮和工件接触面的法线方向,又称径向分力); F_a 为轴向磨削力(纵向进给方向)。

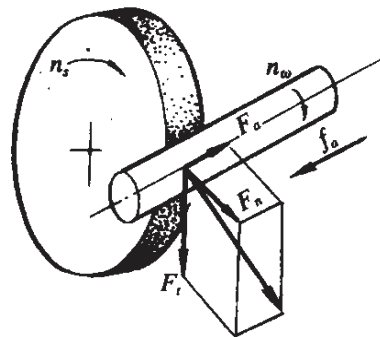


图 1.2-2 磨削力

一般三磨削分力比值约为: $F_a = (0.1 \sim 0.2)F_t$, $F_n = (1.5 \sim 3.2)F_t$ 。从式中可看出 F_n 最大, F_a 最小。 F_t 是确定磨床电动机功率的主要参数,又称为主磨削力。 F_n 主要引起砂轮和工件的变形,加速砂轮钝化,直接影响工件加工精度和表面质量。 F_a 作用在磨床进给系统,但与 F_t 相比数值很小,一般可不考虑。

磨削力可用测力仪测出或用实验公式计算(参考有关手册)。在生产中也可根据电动机实际输入功率计算出 F_t 。

$$F_t = \frac{P_E \eta_E}{\pi n_s D_s} \times 10^6 \text{ (N)}$$

式中 P_E ——磨头电动机实测输入功率(kW)

η_E ——电动机传动功率

n_s ——砂轮转速(r/min)

D_s ——砂轮直径(mm)

这种方法适合于各种磨削方式,但只能求出切向磨削力的平均值。

磨削功率 P_m 。磨削功率是磨床动力参数设计或验算的基础。由于砂轮速度高,功率消耗大,必要时要进行验算。主运动所消耗的功率为:

$$P_m = F_t \cdot v_s / 1000 \text{ (kW)}$$

砂轮电动机功率 P_h 由下式计算:

$$P_h = P_m / \eta_m$$

式中 η_m ——磨床机械传动总效率,一般 $\eta_m = 0.70 \sim 0.85$ 。

三、磨削热和磨削温度

磨削时由于切削速度高、切削厚度小、磨粒不锋利,所以切削时消耗功率很大,约为车、铣削的 10~20 倍,其所消耗的能量大部分转变为热能。其中约有 80% 传入工件(而车削仅为 3%~9% 传入工件),切屑带走约 4%~8%,砂轮带走约 10%~16%,另有少部分以传导和辐射形式散出。

由于磨削速度高,热量来不及传入工件深处,而瞬间集聚在工件的表层,而表层以下(约 1 mm 处)温度只有几十度,因此形成很大的温度梯度。当表层温度很高时,加工表面就会出现烧伤和热变形,影响加工表面质量与加工精度。因此控制和降低磨削温度是保证磨削质量的重要环节。

由于磨削区附近温度差别很大,一般将磨削温度分为:

1. 磨粒磨削点温度

磨粒切削刃与工件、切屑接触点的温度,是磨削中温度最高部位,瞬间可达 1000℃ 以上。它们不仅影响加工表面质量,而且影

响磨粒的磨损、破碎、切屑与磨粒的粘附、熔着及堵塞砂轮等现象有关。

2. 磨削区温度

指砂轮与工件接触区域的平均温度,一般约为 $500\sim 800^{\circ}\text{C}$ 。它影响磨削表面的残余应力、烧伤及裂纹等。

3. 工件平均温度

磨削热传入工件,使工件总体温度升高,一般只有几十度,它直接影响工件的形状和尺寸精度。

通常所说的磨削温度是指磨削区的温度。为了降低磨削温度,应合理选择磨削用量,减小磨削深度,适当降低磨削速度及增加工件转速来减少工件表面烧伤和裂纹;正确选择砂轮,选择较粗磨粒、降低砂轮硬度和及时修整砂轮,必要时采用大气孔砂轮;正确选用磨削液,加大压力和流量,并注意浇注方法,来提高冷却润滑效果等。

第三节 磨料与磨具

一、普通磨料磨具

磨具的结构由磨粒、结合剂和孔隙三要素构成,如图 1.3-1 所示。一般固结磨具须经过混料、加压成形、干燥、烧结、整形、静平衡、硬度检测、安全回转试验等复杂工艺程序而制成。其中结合剂将磨粒粘结成一定的形状;磨粒露出表面部分起切削作用;孔隙起容纳切屑、磨削液和散热作用。

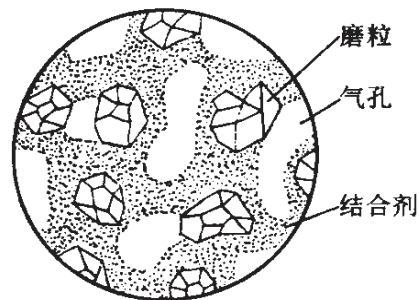


图 1.3-1 固结磨具结构示意图

为改善磨具性能,可浸渍某些填充剂于气孔之内,如浸硫、二硫化钼、蜡、树脂等,以改善磨具性能。也有人把浸充物质称为固结磨具的第四要素。

磨具的工作特性是指磨料、粒度、结合剂、硬度、组织、形状和尺寸、强度、静平衡。各种不同特性都有其不同的适用范围,简要介绍如下:

(一) 普通磨料

磨料是构成磨具的主体材料,为适应各种不同加工的需要,磨料应具备有很高的硬度,有一定韧性及一定机械强度,此外还应具有热稳定性和化学稳定性。

磨料分天然和人造磨料两大类。一般天然磨料有含杂质多、质量不均匀等缺点,很少被采用。目前用的主要是人造磨料。

人造磨料分为普通磨料包括刚玉系和碳化物系两大类,超硬磨料包括人造金刚石、立方氮化硼等。各种磨料的特点及应用范围见表 1.3-1。

表 1.3-1 普通磨料的特点及应用范围

| 类别 | 磨料名称及代号 | 特点 | 应用范围 |
|-----|----------------|--|---------------------------|
| 刚玉系 | 棕刚玉 A(GZ) | 棕褐色,韧性好,硬度较高,价格便宜 | 适用于磨削碳钢、合金钢、铸铁、硬青铜等,应用较广泛 |
| | 白刚玉 WA(GB) | 白色,硬度比棕刚玉高,韧性较棕刚玉低。棱角锋利,自锐性好,磨削产生热量比棕刚玉低 | 适用于磨削淬火钢、高速钢、螺纹、齿轮及薄壁零件等 |
| | 单晶刚玉 SA(GD) | 浅黄或白色,硬度和韧性都比白刚玉高。颗粒呈球状,耐磨性好,切削能力较强 | 适用于磨削不锈钢和高钒高速钢等 |

续 表

| 类别 | 磨料名称及代号 | 特点 | 应用范围 |
|------|----------------|---|---|
| 刚玉系 | 铬刚玉 PA(GG) | 玫瑰红或粉红色, 韧性比白刚玉高, 硬度与白刚玉相近, 磨削工件表面粗糙度较低 | 适用于淬火钢、合金钢刀具的刃磨及螺纹工件、量具和仪表零件的精密磨削 |
| | 微晶刚玉 MA(GW) | 颜色与棕刚玉近似, 磨粒由许多微小晶体组成, 韧性好, 强度高 | 适用于磨削不锈钢、碳素钢、轴承钢和特殊球墨铸铁材料, 还可用于重负荷和精密磨削 |
| | 锆刚玉 ZA(GA) | 灰白色, 韧性高, 耐磨性好 | 适用于重负荷磨削、耐热合金钢、钴合金钢和奥氏体不锈钢等磨削 |
| | 黑刚玉 BA(GH) | 黑色, 硬度比棕刚玉低, 具有一定的韧性 | 适用于打磨、除锈、抛光等 |
| | 锆钨刚玉 NA(GP) | 灰白色, 硬度比白刚玉高, 韧性比白刚玉低 | 适用于球墨铸铁、高磷铸铁、不锈钢及超硬高速钢磨削 |
| 碳化物系 | 黑碳化硅 C(TH) | 黑色有光泽, 硬度比刚玉类高, 韧性低, 导热性好, 自锐性好, 棱角锋利 | 适用于磨削强度低的脆性材料, 如铸铁、青铜、黄铜及玻璃、陶瓷、皮革、橡胶、塑料、宝石、玉器等材料磨削、研磨和切割 |
| | 绿碳化硅 GC(TL) | 绿色, 硬度仅次于碳化硼和金刚石, 韧性低, 棱角锋利, 自锐性好, 价格较贵 | 除与黑碳化硅用途相同外, 主要用于硬质合金刀具刃磨、螺纹磨削, 还适用于加工宝石、玉石及贵重金属、半导体的切割、研磨等 |
| | 碳化硼 BC(TP) | 黑色, 硬度仅次于金刚石, 耐磨性好 | 适用于硬质合金、陶瓷、宝石等做成的刀具、模具、精密元件的研磨和抛光 |

从上表可以看出,磨削抗张强度较高的材料,宜选用韧性较大的刚玉类磨料,磨削抗张强度较低的材料时,宜选用脆性较大而硬度较高的碳化物类磨料。

棕刚玉、白刚玉和碳化硅磨料牌号见表 1.3-2。

表 1.3-2 棕刚玉、白刚玉和碳化硅磨料牌号
(GB/T2478~2480—1996)

| 磨料种类 | 用 途 | 牌 号 |
|------|----------------|------|
| 棕刚玉 | 陶瓷结合剂磨具 | A |
| | 高速砂带(含机加工页状砂布) | A-P1 |
| | 页状砂布 | A-P2 |
| | 树脂和橡胶结合剂磨具 | A-B |
| | 喷砂、抛光 | A-S |
| 白刚玉 | 陶瓷结合剂磨具 | WA |
| | 有机结合剂磨具 | WA-B |
| | 涂附磨具 | WA-P |
| 黑碳化硅 | 陶瓷结合剂磨具、砂带 | C |
| | 有机结合剂磨具 | C-B |
| | 手工用张页式涂附磨具 | C-P |
| 绿碳化硅 | 陶瓷结合剂磨具、砂带 | GC |
| | 有机结合剂磨具 | GC-B |
| | 手工用张页式涂附磨具 | GC-P |

(二) 普通磨料粒度

粒度表示磨粒颗粒的大小。粒度有两种表示方法:筛分法、光电沉降仪法或沉降管粒度仪法。筛分法是以网筛孔尺寸来表示。微粉是以沉降时间来测定。粗磨粒按 GB/T2481—1998 规

定分 F4~F220 共 26 个号,粒度号越小,磨粒越粗。微粉规定分 F240~F1200 共 11 个号,粒度号越大,磨粒相应也越细。见表 1.3-3 和表 1.3-4。

表 1.3-3 磨料粒度(GB/T2481.1—1998)

| 粒度号 | 筛孔尺寸 | | 粒度号 | 筛孔尺寸 | | 粒度号 | 筛孔尺寸 | |
|-----|------|----|-----|------|-----|------|------|-------|
| | mm | μm | | mm | μm | | mm | μm |
| F4 | 4.75 | | F16 | 1.18 | | F60 | | 250 |
| F5 | 4.00 | | F20 | 1.00 | | F70 | | 212 |
| F6 | 3.35 | | F22 | | 850 | F80 | | 180 |
| F7 | 2.80 | | F24 | | 710 | F90 | | 150 |
| F8 | 2.36 | | F30 | | 600 | F100 | | 125 |
| F10 | 2.00 | | F36 | | 500 | F120 | | 106 |
| F12 | 1.70 | | F40 | | 425 | F150 | | 75 |
| F14 | 1.40 | | F46 | | 355 | F180 | | 75.63 |
| | | | F54 | | 300 | F220 | | 63.53 |

表 1.3-4 微粉粒度号

| 粒度号 | 粒度中值 μm | 粒度号 | 粒度中值 μm | 粒度号 | 粒度中值 μm |
|------|----------|------|----------|-------|---------|
| F230 | 53.0±3.0 | F360 | 22.8±1.5 | F800 | 6.5±1.0 |
| F240 | 44.5±2.0 | F400 | 17.3±1.0 | F1000 | 4.5±0.8 |
| F280 | 36.5±1.5 | F500 | 12.8±1.0 | F1200 | 3.0±0.5 |
| F320 | 29.2±1.5 | F600 | 9.30±1.0 | | |

注:用光电沉降仪检测。

粒度的选择:

(1) 加工精度要求高时,选用较细粒度。因粒度细,同时参加

切削的磨粒数多,工作表面上残留的切痕较小,表面质量就越高。

(2) 当磨具和工件接触面积较大,或磨削深度较大时,应选用粗粒度磨具。因为粒度粗的磨具和工件间的摩擦小,发热也较小。例如磨平面,用砂轮端面磨削时比用圆周面磨削,磨具粒度要粗些。

(3) 粗磨时粒度应比精磨时粗,这可提高生产效率。

(4) 切断和磨沟工序,应选用粗粒度、组织疏松、硬度较高的砂轮。

(5) 磨削软金属或韧性金属时,砂轮表面易被切屑堵塞,所以应选用粒度粗的砂轮。磨削硬度高的材料,应选较粗粒度。

(6) 成形磨削时,为了较好地保持砂轮形状,宜选用较细粒度。

(7) 高速磨削时,为了提高磨削效率,粒度要比普通磨削时偏细 1~2 个粒度号,因粒度细,单位工作面积上的磨粒增多,每颗磨粒受力相应减小,不易钝化。

不同粒度磨具应用范围见表 1.3-5。

表 1.3-5 不同粒度磨具应用范围参考表

| | |
|------------|--|
| F14 以粗 | 用于荒磨或重负荷磨削、磨皮革、磨地板、喷砂、打锈等 |
| F14~F30 | 用于磨钢锭、铸铁打毛刺、切断钢坯钢管、粗磨平面、磨大理石及耐火材料 |
| F30~F46 | 用于一般平面磨、外圆磨、无心磨、工具磨等磨床上粗磨淬火钢件、黄铜及硬质合金等 |
| F60~F100 | 用于精磨,各种刀具的刃磨、螺纹磨、粗研磨、珩磨等 |
| F100~F220 | 用于刀具的刃磨、螺纹磨、精磨、粗研磨、珩磨等 |
| F150~F1000 | 用于精磨、螺纹磨、齿轮精磨、仪器仪表零件精磨、精研磨及珩磨等 |
| F1000 以细 | 用于超精磨、镜面磨、精研磨与抛光等 |

(三) 普通磨具结合剂

结合剂的主要作用是将磨粒黏结在一起,使其具有一定形状和强度的磨具。目前常用的结合剂见表 1.3-6。

表 1.3-6 普通磨具结合剂代号、性能及应用范围

| 名称及代号 | 性能 | 应用范围 |
|-----------------|--|---|
| 陶瓷结合剂 V(A) | 化学性能稳定、耐热、抗酸碱、气孔率大,磨耗小、强度高、能较好地保持外形,应用广泛 含硼的陶瓷结合剂,强度高,结合剂的用量少,可相应增大磨具的气孔率 | 适于内圆、外圆、无心、平面、成形及螺纹磨削、刃磨、珩磨及超精磨等。适于加工各种钢材、铸铁、有色金属及玻璃、陶瓷等磨削 适于大气孔率砂轮 |
| 树脂结合剂 B(S) | 结合强度高,具有一定弹性,高温下容易烧毁,自锐性好、抛光性较好、不耐酸碱 可加入石墨或铜粉制成导电砂轮 | 适于荒磨、切割和自由磨削,如薄片砂轮、高速、重负荷、低粗糙度磨削,打磨铸、锻件毛刺等砂轮及导电砂轮 |
| 增强树脂结合剂 BF | 树脂结合剂加入玻璃纤维网增加砂轮强度 | 适于高速砂轮($v_s = 60 \sim 80$ m/s),薄片砂轮,打磨焊缝或切断 |
| 橡胶结合剂 B(S) | 强度高,比树脂结合剂更富弹性,气孔率较小,磨粒钝化后易脱落。缺点耐热性差(150°C),不耐酸碱,磨时有臭味 | 适于精磨、镜面磨削砂轮,超薄型片状砂轮,轴承、叶片、钻头沟槽等用抛光砂轮,无心磨导轮等 |
| 菱苦土结合剂 Mg(L) | 结合强度较陶瓷结合剂差,但有良好的自锐性能,工作时发热量小,因此在某些工序上磨削效果反而优于其他结合剂。缺点是易水解不宜湿磨 | 适于磨削热传导性差的材料及磨具与工件接触面大的磨削 适于保安刀片、切纸刀具、农用刀具、粮食加工、地板及胶体材料加工等,砂轮速度一般小于 20 m/s |

(四) 普通磨具硬度

磨具的硬度是指磨具表面上的磨粒在切削力的作用下,从结合剂中脱落的难易程度。磨粒易脱落的,则磨具的硬度低,反之,则硬度高。应注意不要把磨具的硬度与磨粒自身的硬度混同起来。影响磨具硬度的主要因素是结合剂的多少,结合剂数量多,磨具的硬度就高;另外在磨具制造过程中,成形密度、烧成温度和时间都会影响磨具硬度。磨具硬度代号见表 1.3-7。

表 1.3-7 磨具硬度代号(GB/T2484—1994)

| 磨具硬度 | 硬度由软—————>硬 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------------|---|---|-----|---|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----|---|--|----|
| 硬度代号 | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | M | N | P | Q | R | S | T | Y | | |
| (84) | | | | 超 软 | | | 软 | | | 中软 | | | 中 | | | 中硬 | | | 硬 | | 超硬 |
| 旧标准 | | | | D | E | F | G | H | J | K | L | M | N | P | Q | R | S | T | Y | | |
| (81) | | | | C R | | R ₁ | R ₂ | R ₃ | ZR ₁ | ZR ₂ | Z ₁ | Z ₂ | ZY ₁ | ZY ₂ | ZY ₃ | Y ₁ | Y ₂ | CY | | | |
| 旧标准 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

磨具硬度选择的最基本原则: 保证磨具在磨削过程中有适当的自锐性,避免磨具过大的磨损,保证磨削时不产生过高的磨削温度。

(1) 工件硬度较高时,磨具的硬度应较低,反之,应选较硬的磨具。因工件硬度高时,磨削时磨粒承受压力大而易变钝,选较软砂轮可及时产生自锐,保持砂轮的磨削性能。工件硬度较低时,磨粒钝化慢,为使磨粒不致在变钝前就脱落,故应选较硬砂轮。但工件硬度较低而韧性又大时,由于切屑容易堵塞砂轮,所以应选粒度较粗而硬度较低的砂轮。

(2) 一般粗磨比精磨时选较硬砂轮;内圆磨时,砂轮与工件接触面积比外圆磨时大,易使工件发热,砂轮应选软一些,但当内孔直径小时砂轮速度较低,砂轮自锐性好,可选稍硬砂轮;高速磨时,砂轮自锐性差,故砂轮硬度应低 1~2 级。

(3) 成形磨时,为保持砂轮形状,应选较硬砂轮;磨不连续表

面,因受冲击作用,磨粒易脱落,可选较硬砂轮。

(4) 导热性差,工件易烧伤时(如高速钢刀具、轴承、薄壁零件等),应选较软砂轮。

(5) 砂轮与工件接触面积大时,应选软一些砂轮,例如用砂轮端面磨平面应比外圆磨砂轮软些。

(6) 精磨时,表面质量要求高,应选较软砂轮;低粗糙度磨削往往选用超软砂轮。不同切削方式选择磨具硬度范围可参考图 1.3-2。

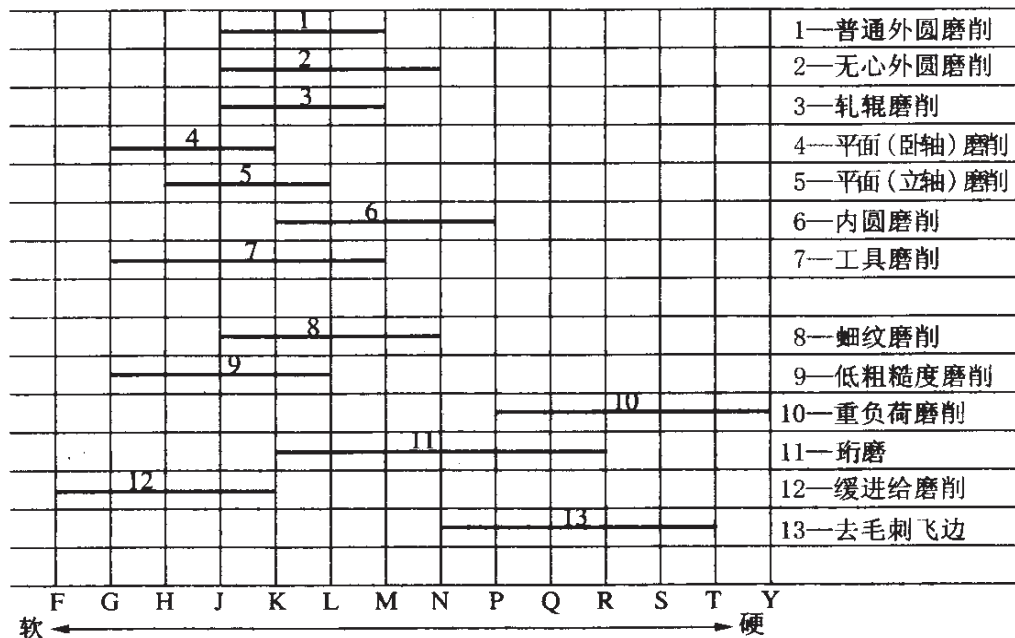


图 1.3-2 不同磨削方式磨具硬度选择范围

(五) 普通磨具组织

磨具的组织是指磨具中磨粒、结合剂和气孔三者之间的体积比例关系。磨粒所占体积百分比越大,气孔越小,则磨具的组织越紧密;反之,气孔越大,组织越疏松。

磨具组织表示方法有两种:一是在磨具体积中磨粒所占体积的百分比,也就是用通常所说的磨粒率来表示;一是用磨具中气孔的数量和大小,也就是用气孔率来表示。通常以磨粒率表示磨具

的组织,见表 1.3-8。

表 1.3-8 磨具的组织号(以磨粒率表示)(JB/T8339—1996)

| 组织号 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | |
|------|----------------------------------|----|----|----|-------------------------------|----|----|----|--|----|----|----|-----------------------------------|----|----|--|
| 磨粒率% | 62 | 60 | 58 | 56 | 54 | 52 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | |
| 适用范围 | 重负荷磨削,成形、精密磨削,间断磨削及自由磨削,或加工硬脆材料等 | | | | 无心磨、内圆磨、外圆磨和工件磨,淬火钢工件磨削及刀具刃磨等 | | | | 粗磨和磨削韧性大、硬度不高的工件,机床导轨和硬质合金刀具磨削,适合磨削薄壁、细长工件,或砂轮与工件接触面大以及平面磨削等 | | | | 磨削热敏性较大的钨银合金、磁钢、有色金属以及塑料、橡胶等非金属材料 | | | |

组织号大,即磨粒率小,组织疏松,砂轮不易被堵塞,切削液和空气能带人磨削区以降低磨削温度。但组织号大,砂轮磨耗快,寿命短,砂轮不易保持形状,降低磨削精度。组织号小,组织紧密,容纳切屑困难,容易烧伤工件。

(1) 磨硬度低而韧性大的材料时,磨具易被磨屑堵塞,须选用组织疏松些的磨具。

(2) 成形磨削和精密磨削时,应选紧密些的组织,以保证砂轮型面的成形性和获得较高的精度。

(3) 在高速重负荷磨钢坯时,为了保证磨具有足够强度和较长的寿命,一般采用最紧密的组织。

(4) 磨钢球时,为保证钢球的几何形状,宜选用组织紧密的砂轮。

(六) 普通磨具强度

磨具强度是指磨具高速旋转时抵抗自身破碎的能力。砂轮高速旋转时,产生的离心力与砂轮圆周速度的平方成正比,当圆周速度增大到一定程度,离心力超过砂轮黏结剂黏结能力时,砂

轮就会碎裂。为了确保工作时砂轮不致碎裂,一般砂轮须经过回转试验。

回转试验以砂轮上标志的最高工作速度,按一定的安全系数来进行。最高工作速度 ≤ 50 m/s的砂轮,按其1.6倍进行回转试验(即 $50 \times 1.6 = 80$ m/s)达到最高速度(80 m/s)时,维持30秒。最高工作速度大于50 m/s的砂轮,按其最高工作速度的1.5倍进行回转试验,当达到最高速度时维持30秒钟。因此,各种砂轮按其强度高下都规定了最高工作速度,并标注在砂轮上,工作时,砂轮速度不允许超过此速度。普通砂轮最高工作速度见表1.3-9。

表 1.3-9 普通砂轮最高工作速度(GB2494—1995)

| 磨具名称 | 形状代号 | 最高工作速度 | | |
|-----------|------|--------|-------|-------|
| | | 陶瓷结合剂 | 树脂结合剂 | 橡胶结合剂 |
| 平形砂轮 | 1 | 35 | 40 | 35 |
| 镜面磨砂轮 | 1 | | 25 | |
| 柔形抛光砂轮 | 1 | | | 23 |
| 磨螺纹砂轮 | 1 | 50 | 50 | |
| 重负荷钢坯修磨砂轮 | 1 | | 50~60 | |
| 筒形砂轮 | 2 | 25 | 30 | |
| 单斜边砂轮 | 3 | 35 | 40 | |
| 单面凹砂轮 | 5 | 35 | 40 | 35 |
| 双斜边砂轮 | 4 | 35 | 40 | |
| 杯形砂轮 | 6 | 30 | 35 | |
| 双面凹一号砂轮 | 7 | 35 | 40 | 35 |
| 双面凹二号砂轮 | 8 | 30 | 30 | |
| 碗形砂轮 | 11 | 30 | 35 | |

续 表

| 磨具名称 | 形状代号 | 最高工作速度 | | |
|----------|------------|--------|-------|-------|
| | | 陶瓷结合剂 | 树脂结合剂 | 橡胶结合剂 |
| 碟形砂轮 | 12a 12b | 30 | 35 | |
| 单面凹带锥砂轮 | 23 | 35 | 40 | |
| 双面凹带锥砂轮 | 26 | 35 | 40 | |
| 螺栓紧固平行砂轮 | 36 | | 35 | |
| 薄片砂轮 | 41 | 35 | 50 | 50 |
| 高速砂轮 | — | | 50~60 | 50~60 |
| 磨头 | 52 53 | 25 | 25 | |

注：(1) 树脂、橡胶结合剂砂轮应标明生产日期，存放时间超过 1 年时应重新进行回转强度检验，经检验合格后才能使用。

(2) 砂轮的安装和使用方面的安全要求可参见 GB4674—1984《磨削机械安全规程》。

影响砂轮强度的因素很多，运输、保管和使用过程都会影响砂轮的强度，而砂轮自身的各种因素也有很大的影响，也应密切注意，见表 1.3-10。

表 1.3-10 砂轮自身因素对其强度的影响

| 砂轮自身的因素 | 砂轮强度 | | 砂轮自身的因素 | 砂轮强度 | |
|--------------|-------|------|---------|------|----|
| | 较高 | 较低 | | 较高 | 较低 |
| 磨料(对陶瓷结合剂而言) | WA、SA | A、MA | 孔径与外径比 | 小 | 大 |
| 粒 度 | 细 | 粗 | 厚 度 | 厚 | 薄 |
| 硬 度 | 硬 | 软 | 形 状 | 平形 | 异型 |
| 组 织 | 紧 | 松 | 不平衡值 | 小 | 大 |
| 结合剂 | 有机 | 无机 | 补强措施 | 有 | 无 |

(七) 普通磨具形状和尺寸

磨具的选择应根据不同类型磨床和工件形状与要求而定,并注意以下几点:

(1) 磨床刚性好、动力大,可选较宽的砂轮。

(2) 加工软和韧性大的薄壁件、细长件,应选较窄的砂轮。

(3) 在磨削效率和加工表面质量要求较高时,可选较宽的砂轮;在安全速度和机床条件允许的情况下,尽可能选直径大一些的砂轮。

(4) 对切入式和成形磨削,砂轮宽度不宜太宽,略大于工件加工部分的宽度即可。

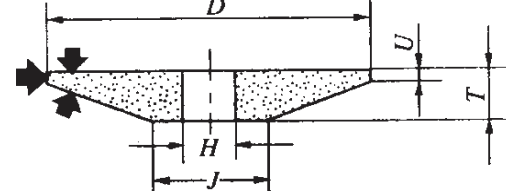
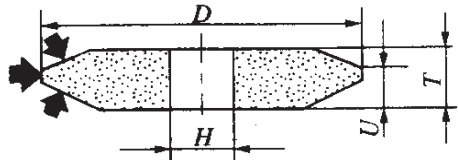
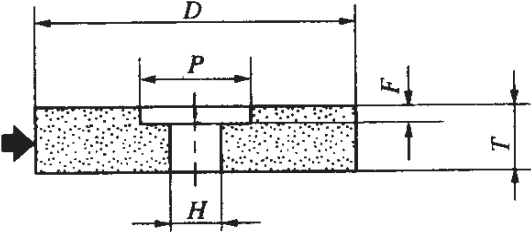
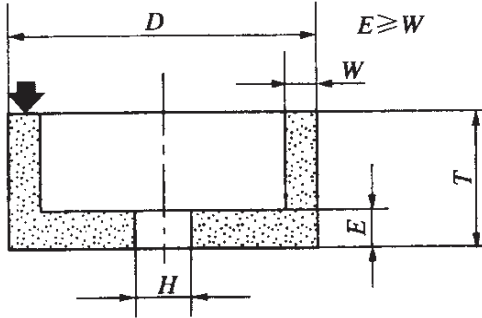
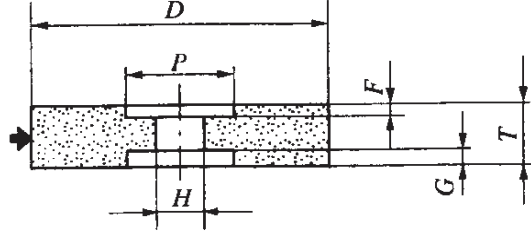
(5) 磨内孔砂轮的直径,一般为孔径比值 0.5~0.9 之间。选用较大直径,可提高磨削速度,有利于提高加工精度和减小表面粗糙度,但也带来冷却与排屑困难。

各类磨具的名称、代号和尺寸标记,分别见表 1.3-11、表 1.3-12、表 1.3-13、表 1.3-14。

表 1.3-11 磨具的名称代号和尺寸标记(GB/T2484—1994)

| 代号 | 名称 | 断面图 | 形状尺寸标记 |
|----|------|-----|---|
| 1 | 平形砂轮 | | 1-型面 ¹⁾ - $D \times T \times H$ |
| 2 | 筒形砂轮 | | 2- $D \times T - W$ |

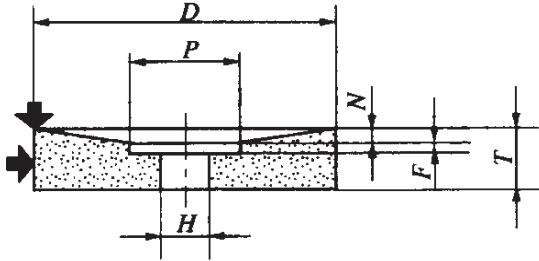
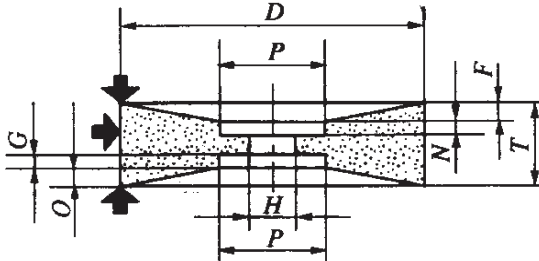
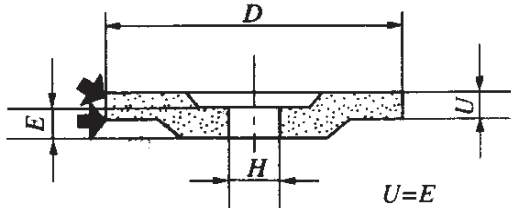
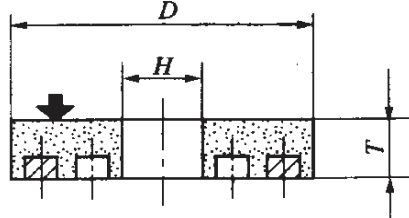
续表

| 代号 | 名称 | 断面图 | 形状尺寸标记 |
|----|---------|--|--|
| 3 | 单斜边砂轮 |  | $3 - D/J \times T/U \times H$ |
| 4 | 双斜边砂轮 |  | $4 - D \times T/U \times H$ |
| 5 | 单面凹砂轮 |  | $5 - \text{型面}^{1)} - D \times T \times H - P, F$ |
| 6 | 杯形砂轮 |  | $6 - D \times T \times H - W, E$ |
| 7 | 双面凹一号砂轮 |  | $7 - \text{型面}^{1)} - D \times T \times H - P, F, G$ |

续表

| 代号 | 名称 | 断面图 | 形状尺寸标记 |
|-----|-------------|-----|---|
| 8 | 双面凹 二号砂轮 | | $8 - D \times T \times H - W, J, F, G$ |
| 11 | 碗形砂轮 | | $11 - D/J \times T \times H - W, E, K$ |
| 12a | 碟形一号 号砂轮 | | $12a - D/J \times T/U \times H - W, E, K$ |
| 12b | 碟形二号 号砂轮 | | $12b - D/J \times T/U \times H - E, K$ |

续表

| 代号 | 名称 | 断面图 | 形状尺寸标记 |
|----|--------------|--|---|
| 23 | 单面凹带 锥砂轮 |  | 23 - $D \times T/N$ $\times H - P, F$ |
| 26 | 双面凹带 锥砂轮 |  | 26 - $D \times T/$ $N/O \times H -$ P, F, G |
| 27 | 钹形砂轮 |  | 27 - $D \times U \times H$ |
| 36 | 螺栓紧固 平形砂轮 |  | 36 - $D \times T \times H$ |

续表

| 代号 | 名称 | 断面图 | 形状尺寸标记 |
|----|-------|-----|--------------------------------|
| 38 | 单面凸砂轮 | | 38 - $D/J \times T/U \times H$ |
| 41 | 薄片砂轮 | | 41 - $D \times T \times H$ |

表 1.3 - 12 磨头的形状、代号和尺寸标记(GB/T2484—1994)

| 代号 | 名称 | 断面图 | 形状尺寸标记 |
|------|-------|-----|------------------------------|
| 5301 | 圆柱磨头 | | 5301 - $D \times T \times H$ |
| 5302 | 半球形磨头 | | 5302 - $D \times T \times H$ |
| 5303 | 球形磨头 | | 5303 - $D \times T \times H$ |

续 表

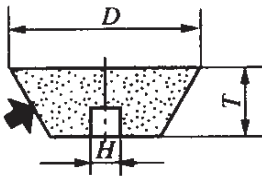
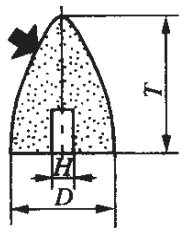
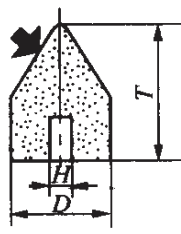
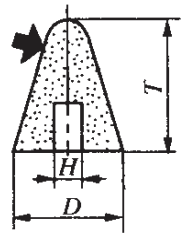
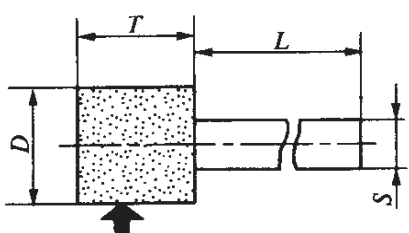
| 代号 | 名 称 | 断 面 图 | 形状尺寸标记 |
|------|--------|---|------------------------------|
| 5304 | 截锥磨头 |  | 5304 - $D \times T \times H$ |
| 5305 | 椭圆锥磨头 |  | 5305 - $D \times T \times H$ |
| 5306 | 60°锥磨头 |  | 5306 - $D \times T \times H$ |
| 5307 | 圆头锥磨头 |  | 5307 - $D \times T \times H$ |

表 1.3-13 带柄磨头形状代号和尺寸标记(GB/T2484—1994)

| 代号 | 名 称 | 形 状 图 | 形状尺寸标记 |
|------|--------|---|-------------------------------------|
| 5201 | 带柄圆柱磨头 |  | 5201 - $D \times T \times H - S, L$ |

续 表

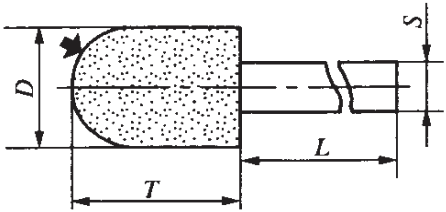
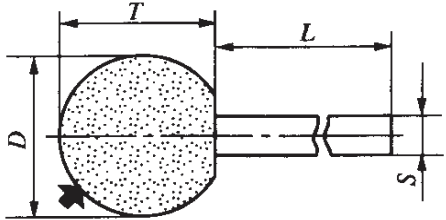
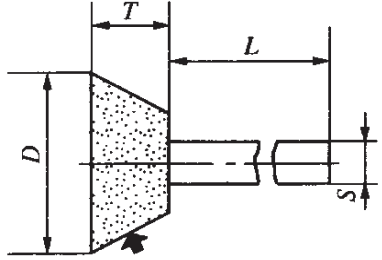
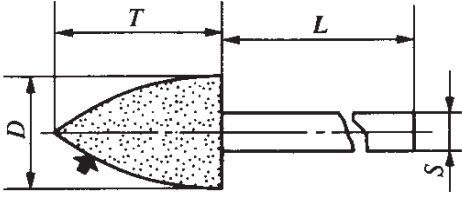
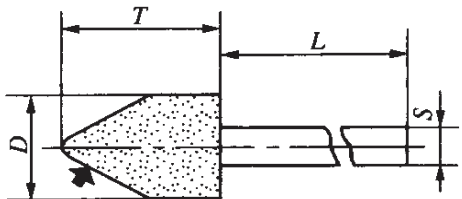
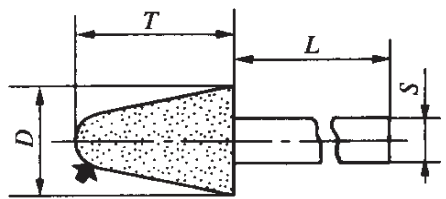
| 代号 | 名称 | 形状图 | 形状尺寸标记 |
|------|------------|---|--|
| 5202 | 带柄半球形磨头 |  | 5202 - $D \times T \times H - S, L$ |
| 5203 | 带柄球形磨头 |  | 5203 - $D \times T \times H - S, L$ |
| 5204 | 带柄截锥磨头 |  | 5204 - $D \times T \times H - S, L$ |
| 5205 | 带柄椭圆锥磨头 |  | 5205 - $D \times T \times H - S, L$ |
| 5206 | 带柄 60° 锥磨头 |  | 5206 - $D \times T \times H - S, L$ |
| 5207 | 带柄圆头锥磨头 |  | 5207 - $D \times T \times H - S, L$ |

表 1.3 - 14 砂瓦形状代号和尺寸标记(GB/T2484—1994)

| 代号 | 名称 | 形状图 | 形状尺寸标记 |
|------|-------|-----|----------------|
| 3101 | 平形砂瓦 | | 3101 - B×C×L |
| 3102 | 平凸形砂瓦 | | 3102 - B/A×C×L |
| 3103 | 凸平形砂瓦 | | 3103 - B/A×C×L |
| 3104 | 扇形砂瓦 | | 3104 - B/A×C×L |

续表

| 代号 | 名称 | 形状图 | 形状尺寸标记 |
|------|------|-----|--------------------|
| 3109 | 梯形砂瓦 | | 3109 - B/A × C × L |

(八) 普通磨具的标记

磨具的各种特性全部以代号形式表示。根据磨具标准 GB/T 2484—1994 规定,磨具的书写顺序是磨具形状代号、尺寸、磨料、粒度、硬度、组织、结合剂、最高工作速度。

标记示例: 外径 300 mm、厚度 50 mm、孔径 75 mm、棕刚玉、粒度 F60、硬度为 L、组织 5 号、陶瓷结合剂、最高工作速度 35 m/s 的平形砂轮。

标记: 砂轮 1 型 - 300 × 50 × 75 - A60L5V - 35 m/s GB/T2484

二、超硬磨料磨具

超硬磨料是指金刚石和立方氮化硼磨料。金刚石包括天然金刚石和人造金刚石。天然金刚石是自然界最硬的物质,产量少,价格昂贵,所以一般多用人造金刚石。立方氮化硼是以立方晶系结构的氮化硼,分子式为 BN,用人工方法制成,其硬度略低于金刚石。

(一) 人造金刚石磨具的特点

(1) 可加工各种高硬度、高脆性材料,如硬质合金、陶瓷、光学

玻璃、半导体材料等。

(2) 金刚石磨粒棱角锋利、磨削能力强、耐用度高,磨削力小,仅为绿色碳化硅的 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{5}$,有利于提高工件精度和降低表面粗糙度。

(3) 金刚石砂轮磨削温度低,可避免工件表面烧伤、裂纹和组织变化等疵病。

(4) 金刚石砂轮寿命长,磨耗小,节约工时,使用经济。

(5) 耐热性较低($700 \sim 800^{\circ}\text{C}$),切削温度高时会丧失切削能力。此外,金刚石与铁元素亲和能力很强,造成化学磨损,一般不宜磨削钢铁材料。

(二) 立方氮化硼磨具的特点

(1) 热稳定性好。其耐热温度 1200°C 以上,化学惰性强,不易与铁族元素产生化学反应,故适于加工硬而韧性高的钢件(如超硬高速钢),及高温时硬度高、热传导率低的材料。

(2) 耐磨性好。例如磨削合金工具钢,其寿命比普通刚玉砂轮高100倍以上,有利于实现加工自动化。

(3) 生产效率高。在加工硬质合金等材料时,金刚石砂轮优于立方氮化硼砂轮;但加工高速钢、耐热钢、模具钢等合金钢时,其金属切除率是金刚石砂轮的10倍,是白刚玉砂轮的60~100倍。

(4) 磨削质量好。磨削工件尺寸精度高,表面粗糙度值低,且不易产生烧伤与裂纹,表面残余应力比刚玉类砂轮小。

(5) 加工成本低。虽然立方氮化硼砂轮价高,但其有加工效率高、表面质量好,寿命长,容易控制尺寸精度,废品率低等优点,所以综合成本低。

两种超硬磨料共同特点是硬度高、导热性好、刃口锋利,但各有各的特点。金刚石热稳定性差,在高温下会向铁、铬、钒、钨、钼、钛等金属扩散而形成碳化物,使磨粒磨损加快,所以不宜磨钢

铁类金属,但可磨各种合金铸铁,因铸铁中碳已饱和,不再发生扩散问题。例如磨铝硅合金压铸件时,能获得较高的加工表面质量和经济效果。金刚石磨具湿磨比干磨寿命可提高40%左右,应尽量采用湿磨。

立方氮化硼适于磨钢铁类材料,但磨削时不宜用水剂冷却液,因此多用于干磨或用轻质矿物油(煤油、柴油)来冷却。

两种超硬磨料磨具适用范围比较见表1.3-15。

表 1.3 - 15 两种超硬磨料适用范围

| 工件材料 | 立方氮化硼 | | 金刚石 | |
|-----------|-------|----|-----|----|
| | 湿磨 | 干磨 | 湿磨 | 干磨 |
| 各种高速钢 | ✓ | ✓ | × | × |
| 合金工具钢 | ✓ | ✓ | × | × |
| 不锈钢、耐热钢 | ✓ | ✓ | ✓ | × |
| 铬钢 | ✓ | ✓ | × | × |
| 模具钢 | × | ✓ | ✓ | × |
| 铸铁 | × | ✓ | ✓ | × |
| 硬质合金 | × | × | ✓ | ✓ |
| 玻璃、陶瓷、半导体 | × | × | ✓ | ✓ |
| 有色金属 | × | × | ✓ | ✓ |

注: ✓—适用 ×—不适用

(三) 超硬磨料

1. 超硬磨料的品种

超硬磨料指金刚石、立方氮化硼等以显著高硬度为特征的磨料。其品种代号及适用范围见表1.3-16。

表 1.3-16 超硬磨料品种代号及其适用范围(GB/T6405—1994)

| 品 种 | | 适 用 范 围 | | |
|---------------|-----------|-------------------|-----------------|---------------------------|
| 系列 | 代号 | 粒 度 | | 推 荐 用 途 |
| | | 窄范围 | 宽范围 | |
| 人造 金刚 石 | RVD | 60/70~ 325/400 | — | 树脂、陶瓷结合剂制品或研磨 |
| | MBD | 35/40~ 325/400 | 30/40~ 60/80 | 金属结合剂磨具、锯切、钻探工 具及电镀制品等 |
| | SCD | 60/70~ 325/400 | — | 树脂结合剂磨具,加工钢与硬质 合金组合件等 |
| | SMD | 16/18~ 60/70 | 16/20~ 60/80 | 锯切、钻探和修整工具等 |
| | DMD | 16/18~ 60/70 | 16/20~ 40/50 | 修整工具等 |
| | M-SD | 36/54~ 0/0.5 | — | 硬、脆材料的精磨、研磨和抛 光等 |
| 立方氮 化硼 | CBN | 20/25~ 325/400 | 20/30~ 60/80 | 树脂、陶瓷、金属结合剂制品 |
| | M- CBN | 36/54~ 0/0.5 | — | 硬、韧金属材料的研磨与抛光 |

为了减少超硬磨料的磨耗,在磨粒表面上镀敷镍或铜等包膜,以改善它与结合剂的结合强度和导热性能。干磨一般选用铜膜,如 RVD-C、CBN-C;湿磨选用镍膜,如 RVD-N、CBN-N。

2. 超硬磨料粒度

超硬磨料粒度是指磨料颗粒尺寸的大小。它与普通磨料粒度不同,磨料磨粒的尺寸范围是以相邻两筛网孔尺寸来确定,见表 1.3-17。按标准粒度共分 25 个粒度,其中窄范围 20 个,宽范围 5 个。

超硬磨料微粉是指磨粒公称尺寸由 0~0.5 至 36~54 μm 的微粒,共分 20 个粒度,其粒度尺寸范围上下限前冠以“M”标记,见

表 1.3 - 18。

表 1.3 - 17 超硬磨料粒度及尺寸范围(GB/T6406—1996)

| 粒度标记 | 公称筛孔尺寸范围 μm | | 粒度标记 | 公称筛孔尺寸范围 μm | |
|-------|------------------------|-----------|---------|------------------------|---------|
| | 窄范围 | 宽范围 | | 窄范围 | 宽范围 |
| 16/18 | 1 180/1 000 | | 60/70 | 250/212 | |
| 16/20 | | 1 180/850 | 60/80 | | 250/180 |
| 20/25 | 850/710 | | 70/80 | 212/180 | |
| 20/30 | | 850/600 | 80/100 | 180/150 | |
| 25/30 | 710/600 | | 100/120 | 150/125 | |
| 30/35 | 600/500 | | 120/140 | 125/106 | |
| 30/40 | | 600/425 | 140/170 | 106/90 | |
| 35/40 | 500/425 | | 170/200 | 90/75 | |
| 40/45 | 425/355 | | 200/230 | 75/63 | |
| 40/50 | | 425/300 | 230/270 | 63/53 | |
| 45/50 | 355/300 | | 270/325 | 53/45 | |
| 50/60 | 300/250 | | 325/400 | 45/38 | |

表 1.3 - 18 微粉粒度及其尺寸(JB/T7990—1998) μm

| 粒度标记 | 公称尺寸范围 D | 粒度标记 | 公称尺寸范围 D |
|----------|---------------|--------|---------------|
| M0/0.5 | 0~0.5 | M4/8 | 4~8 |
| M0/1 | 0~1 | M5/10 | 5~10 |
| M0.5/1 | 0.5~1 | M6/12 | 6~12 |
| M0.5/1.5 | 0.5~1.5 | M8/12 | 8~12 |
| M0/2 | 0~2 | M8/16 | 8~16 |
| M1/2 | 1~2 | M10/20 | 10~20 |
| M1.5/3 | 1.5~3 | M12/22 | 12~22 |
| M2/4 | 2~4 | M20/30 | 20~30 |
| M2.5/5 | 2.5~5 | M22/36 | 22~36 |
| M3/6 | 3~6 | M36/54 | 36~54 |

粒度的选择,应根据加工条件、加工质量要求及磨削量大小而定。一般粗磨选用 80/100~120/140 粒度,半精磨取 120/140~170/200 粒度,精磨选取 140/170~M12/22 粒度;研磨与抛光只选用微粉(M0.5/1.5~M2.5/5)。

3. 超硬磨具结合剂

磨具结合剂主要把持超硬磨料使磨具有正确几何形状的作用。我国目前生产的超硬磨具结合剂常用的有树脂结合剂、金属结合剂和陶瓷结合剂。其结合能力和耐磨性能的强弱,依下列顺序排列:

结合能力和耐磨性能
 树脂结合剂 陶瓷结合剂 金属结合剂 电镀金属结合剂 →强

超硬磨料磨具结合剂对磨削性能影响很大,其性能与应用范围可参考表 1.3-19。

表 1.3-19 结合剂及其代号、性能和应用范围

| 结合剂及其代号 | 性能 | 应用范围 |
|---------|---|--|
| 树脂结合剂 B | 磨具自锐性好,故不易堵塞,有弹性,抛光性能好,但结合强度差,不宜结合较粗磨粒,耐磨耐热性差,故不适于较重负荷磨削,可采用镀敷金属衣磨料,以改善结合性能 | 金刚石磨具主要用于硬质合金工件及刀具以及非金属材料的半精磨和精磨;立方氮化硼磨具主要用于高钒高速钢刀具的刃磨以及工具钢、不锈钢、耐热合金钢工件的半精磨与精磨 |
| 陶瓷结合剂 V | 耐磨性较树脂结合剂高,工作时不易发热和堵塞,热膨胀量小,且磨具易修整 | 常用于精密螺纹、齿轮的精磨及接触面较大的成形磨,并适于加工超硬材料烧结体的工件 |

续表

| 结合剂及其代号 | 性能 | 应用范围 |
|----------------|--|--|
| 金属结合剂 M(青铜) | 结合强度较高,形状保持性好,使用寿命较长,且可承受较大负荷,但磨具自锐性能差,易堵塞发热,故不宜结合细粒度磨料,磨具修整也较困难 | 金刚石磨具主要用于对玻璃、陶瓷、石料、半导体等非金属硬脆材料的粗、精磨及切割、成形磨以及对各种材料的珩磨;立方氮化硼磨具用于合金钢等材料的珩磨,效果显著 |
| 电镀金属结合剂 | 结合强度高,表层磨粒密度较高,且均裸露于表面,故切削刃口锐利,加工效率高,但由于镀层较薄,因此使用寿命较短 | 多用于成形磨削,制造小磨头、套料刀、切割锯片及修整滚轮等;电镀金属立方氮化硼磨具用于加工各种钢类工件的小孔,精度好,效率高,对小径盲孔的加工效果尤显优越 |

4. 超硬磨具浓度

浓度是超硬磨具所特有的概念,它表示磨具工作层内每立方厘米单位体积内超硬磨料的含量。浓度越高,说明其含量也越高。标准规定:每立方厘米体积内含有 0.88 克(4.4 克拉)超硬磨料时,浓度基础值为 100%。常用的浓度有 25%、50%、75%、100%、150%、200%等。浓度代号与磨料含量见表 1.3-20。

表 1.3-20 浓度代号(GB/T6409.1—1994)

| 代号 | 磨料含量/g/cm ³ | 浓度 |
|-----|-------------------------------|------|
| 25 | 0.22 | 25% |
| 50 | 0.44 | 50% |
| 75 | 0.66 | 75% |
| 100 | 0.88(4.4 克拉/cm ³) | 100% |
| 150 | 1.32 | 150% |

浓度的选择直接影响磨削效率和加工成本。浓度过高,有时会造成砂轮过早脱落而磨损,使成本增加。浓度的选择与结合剂有关,每种结合剂都有各自较佳的浓度范围,一般来说,结合剂强度越高,最佳浓度范围也越高。同时还要根据砂轮的形状、加工要求等而定。例如半精磨与精磨,考虑工件表面粗糙度和加工效率,一般采用中等浓度。用于粗磨、成形磨或工作面较宽的砂轮,应选较低浓度。低粗糙度磨削和抛光,多用树脂结合剂砂轮,磨削量小,所以选用低浓度。表 1.3-21 为几种结合剂常用的浓度。

表 1.3-21 不同结合剂常用浓度及适用范围

| 结合剂 | 金刚石砂轮浓度 | CBN 砂轮浓度 | 适用范围 |
|------|---------|----------|--------------------|
| 树脂 | 50~75 | 75~100 | 半精磨、精磨、工作面较宽、抛光、研磨 |
| 陶瓷 | 75~100 | 75~125 | 半精磨、精磨 |
| 青铜 | 100~150 | 100~150 | 粗磨、半精磨、小面积磨削、磨槽 |
| 电镀金属 | 100~150 | 150~200 | 成形磨、小孔磨削、切割 |

5. 超硬磨具的硬度

超硬磨具的硬度取决于结合剂的性质、成分、数量以及磨具的制造工艺。磨具的硬度虽直接影响磨削效率和磨具磨损的重要特性,但目前生产的超硬磨具硬度均由各厂自行控制,未制定统一标准。

由于超硬磨料磨具磨削性能好,加工表面质量好,一般陶瓷结合剂、金属结合剂与电镀砂轮,可不标注硬度,或选用比普通砂轮硬度稍高些。只有树脂结合剂的砂轮,需根据用途选用不同的硬度。树脂结合剂超硬砂轮只须标注四个硬度级,依次为 J(软)、N(中)、R(中硬)、S(硬)即可。一般多选 N 及 R 两级。有些厂家可根据用户要求,同一结合剂选用不同配方,以达到所要求硬度。例如用陶瓷结合剂 CBN 砂轮高速磨轴承 $\phi 20$ mm 孔,选用 L 级硬

度效果显著。如果进一步考虑提高砂轮寿命,还可选 R 级硬度。

6. 超硬磨具结构、形状和尺寸

超硬磨具的结构与普通磨具不同,其结构形式一般由磨料层、过渡层和基体三部分组成(图 1.3-3)。

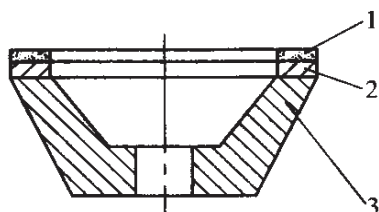


图 1.3-3 超硬磨具结构

1—磨料层 2—过渡层 3—基体

磨料层由磨料和结合剂组成。过渡层不含磨料,由结合剂和其他材料组成,其作用是将磨料层牢固地黏合在基体上,并保证磨料层能全部被利用。基体支撑超硬磨料层工作和便于装卡。基体材料随结合剂而异:金属结合剂一般采用铜或铜合金;树脂结合剂磨具采用铝、铝合金或电木;陶瓷结合剂则采用陶瓷作基体材料。


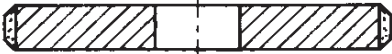

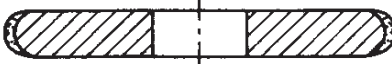
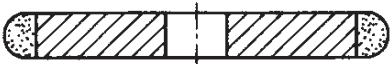

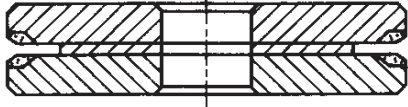
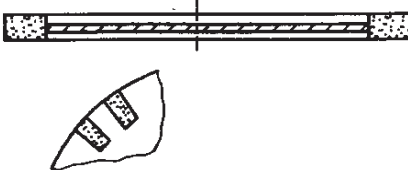

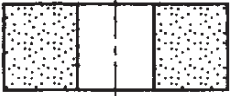
(1) 超硬磨具形状

① 磨具断面形状及代号










超硬磨具形状及代号标记法则按国际标准 ISO6104 制定,其标记代号意义如下:代号自左向右顺序,依次用数字表示基体的基本形状,用字母表示磨料层的断面形状,用数字或特征号码表示磨料层在基体上的部位,如是特殊基体,可用一个或数个字母表示。

例如碟形一号砂轮代号为 12A2/20°,12 代表基体形状,A 代表磨料层形状,2 代表磨料层在基体上的位置,斜线后 20°代表砂轮底面和锥面的夹角。见表 1.3-22、表 1.3-23、表 1.3-24、表 1.3-25 和表 1.3-26。


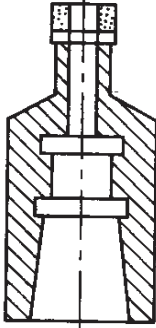

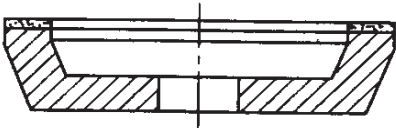
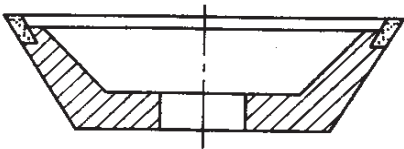
表 1.3 - 22 超硬磨料磨具形状代号 (GB/T6409.1—1994)

| 系列 | 名称 | 形状 | 代号 |
|-------|---|--|-------|
| 平行系 | 平形砂轮 |  | 1A1 |
| | 平形倒角砂轮 |  | 1L1 |
| | 平形加强砂轮 |  | 14A1 |
| | 弧形砂轮 |  | 1FF1 |
| | |  | 1F1 |
| | 平形燕尾砂轮 |  | 1EE1V |
| | 双内斜边砂轮 |  | 1V9 |
| | 切割砂轮 |  | 1A6Q |
| | 薄片砂轮 |  | 1A1R |
| 平形小砂轮 |  | 1A8 | |

续表

| 系列 | 名称 | 形状 | 代号 |
|-------------|-------|--|-------|
| 平 形 系 | 双斜边砂轮 |  | 1E6Q |
| | |  | 14E6Q |
| | |  | 14EE1 |
| | |  | 14E1 |
| | |  | 1DD1 |
| | 单斜边砂轮 |  | 4B1 |
| | 单面凹砂轮 |  | 6A2 |
| | 双面凹砂轮 |  | 9A1 |
| | |  | 9A3 |

续表

| 系列 | 名称 | 形状 | 代号 |
|-----|--------|--|-------|
| 筒形系 | 筒形砂轮 |  | 6A2T |
| | 筒形1号砂轮 |  | 2F2/1 |
| 杯形系 | 杯形砂轮 |  | 6A9 |
| | 碗形砂轮 |  | 11A2 |
| | |  | 11V9 |

续表






| 系列 | 名称 | 形状 | 代号 |
|---------|------|--|----------|
| 碟形 系 | 碟形砂轮 |  | 12A2/20° |
| | |  | 12A2/45° |
| | |  | 12D1 |
| | |  | 12V9 |
| | |  | 12V2 |

表 1.3-23 基体的形状和代号


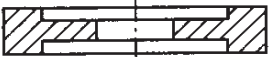



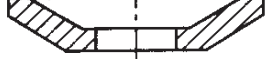

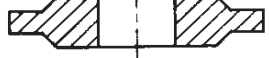

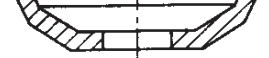
| 代号 | 形状 | 代号 | 形状 |
|----|---|----|--|
| 1 |  | 9 |  |
| 2 |  | 11 |  |
| 3 |  | 12 |  |
| 4 |  | 14 |  |
| 6 |  | 15 |  |

表 1.3-24 磨料层断面形状代号































| 代号 | 形 状 | 代号 | 形 状 | 代号 | 形 状 |
|----|---|----|---|----|---|
| A |  | ER |  | LL |  |
| AH |  | ET |  | M |  |
| B |  | F |  | P |  |
| BT |  | FF |  | Q |  |
| C |  | G |  | QQ |  |
| CH |  | GN |  | R |  |
| D |  | H |  | S |  |
| DD |  | J |  | U |  |
| E |  | K |  | V |  |
| EE |  | L |  | Y |  |

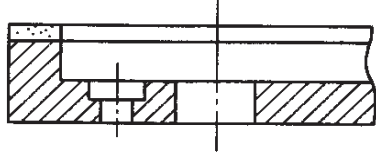
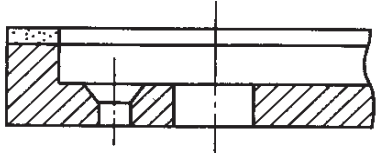
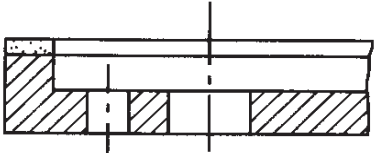
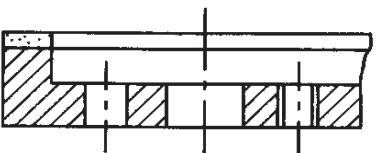
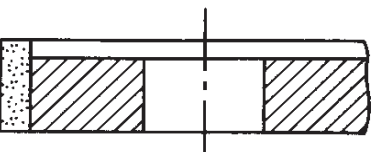
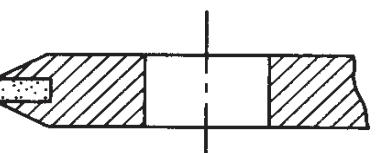
表 1.3 - 25 磨料层在基体上的位置代号

| 代号 | 位置 | 形状 | 定义 |
|----|--------|----|--|
| 1 | 周边 | | 磨料层位于基体的周边,并延伸于整个砂轮厚度(轴向),其厚度可大于、等于或小于磨料层的宽度(径向),基体的一个或多个凸台不计入砂轮厚度(对此定义而言) |
| 2 | 端面 | | 磨料层位于基体的端面,其宽度从周边伸向中心。它可覆盖或不覆盖整个端面,磨料层的宽度大于其厚度 |
| 3 | 双端面 | | 磨料层位于基体的两端面,并从周边伸向中心。它可以覆盖或不覆盖整个端面。磨料层的宽度应大于其厚度 |
| 4 | 内斜面或弧面 | | 此代号应用于 2、6、11、12 和 15 型的砂轮基体,磨料层位于端面壁上,此壁以一个角度或弧度从周边较高点向中心较低点延伸 |
| 5 | 外斜面或弧面 | | 此代号应用于 2、6、11、12 和 15 型的砂轮基体,磨料层位于基体端面壁上。此壁以一个角度或弧度从周边较低点向中心较高点延伸 |

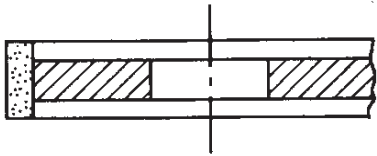
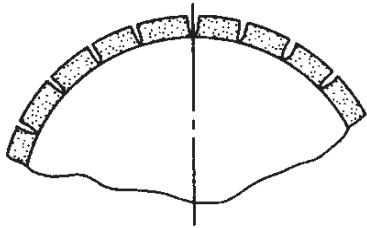
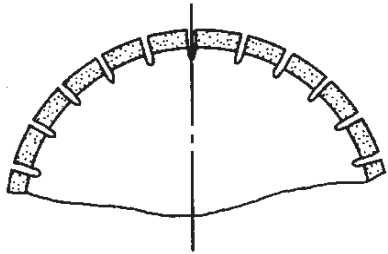
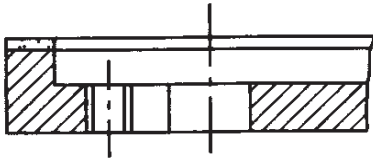
续表

| 代号 | 位置 | 形状 | 定义 |
|----|-------|----|--|
| 6 | 周边一部分 | | 磨料层位于基体周边, 但不占有基体整个厚度, 也不覆盖任一端面 |
| 7 | 端面一部分 | | 磨料层位于基体的一个端面上, 而不延伸到基体的周边, 但它可以或不延伸至中心 |
| 8 | 整体 | | 砂轮全部由磨料和结合剂组成, 无基体 |
| 9 | 边角 | | 磨料层只占基体周边上的一个角, 而不延伸向另一角 |
| 10 | 内孔 | | 磨料层位于基体的整个内孔 |

表 1.3 - 26 基体基本形状的改型

| 代号 | 改 型 | 形 状 | 定 义 |
|----|------------|---|-----------------------|
| B | 埋头孔 |  | 基体内钻有埋头孔 |
| C | 锥形埋头孔 |  | 基体内钻有锥形埋头孔 |
| H | 直孔 |  | 基体内钻有直孔 |
| M | 直孔和 螺纹孔 |  | 基体内有混合孔(既有直孔又有螺纹孔) |
| P | 单面减薄 |  | 砂轮基体的一端面减薄,其厚度小于砂轮的厚度 |
| Q | 磨料层 嵌入 |  | 磨料层三个面部分或整个地嵌入基体 |

续表

| 代号 | 改型 | 形状 | 定义 |
|----|------------|---|--------------------------|
| R | 双面减薄 |  | 砂轮基体的两端面减薄,其厚度小于砂轮的厚度 |
| S | 扇形金刚石锯齿 |  | 金刚石锯齿装于整体的基体上(锯齿间隙与定义无关) |
| SS | 扇形金刚石锯齿与带槽 |  | 金刚石锯齿装于带槽的基体上 |
| T | 螺纹孔 |  | 基体带螺纹孔 |

② 超硬磨具尺寸代号

超硬磨具尺寸代号见图 1.3-4 和表 1.3-27。

表 1.3-27 超硬磨具尺寸代号
(GB/T6409.1-1994)

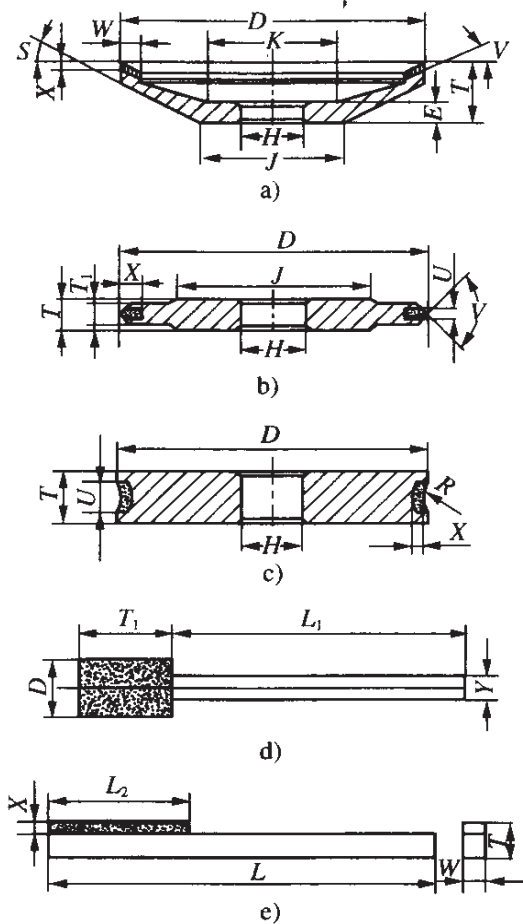


图 1.3-4 超硬磨具尺寸代号

| 代号 | 名称 |
|----------------|---------------------------------|
| D | 直径 |
| E | 孔处厚度 |
| H | 孔径 |
| J | 台径 |
| K | 凹面直径 |
| L | 柄长 |
| L ₁ | 轴长 |
| L ₂ | 磨料层长度 |
| R | 半径 |
| S | 基体角度 |
| T | 总厚度 |
| T ₁ | 基体厚度 |
| U | 磨料层厚度(当小于 T 或 T ₁ 时) |
| V | 面角(磨料层) |
| W | 磨料层宽度 |
| X | 磨料层深度 |
| Y | 心轴直径 |

(2) 超硬磨具标记示例

标记的书写顺序为形状、尺寸、磨料、粒度、结合剂和浓度。例如，

形状代号 尺 寸 磨料层 磨料 粒度 结合剂 浓度

$D \times T \times H \times W \times X$

| | | | | | | | |
|--------|--------|--------------|----|-----|---------|---|-----|
| 平形砂轮 | 1A1/T2 | 50×4×10 | ×3 | RVD | 100/120 | B | 75 |
| 碟形二号砂轮 | 12V2 | 150×35×32×10 | | CBN | 170/200 | V | 100 |

(3) 形位公差

为了满足使用要求,超硬磨具制定了关键尺寸精度和形位公差,以下按 JB/T7425—1994 规定,列出几种常用磨具尺寸偏差和形位公差。

① 尺寸极限偏差

表 1.3-28 外径 D 极限偏差

| $D(\text{mm})$ | 极限偏差(mm) | $D(\text{mm})$ | 极限偏差(mm) |
|----------------|------------|----------------|------------|
| $>30\sim50$ | ± 0.31 | $>250\sim315$ | ± 0.65 |
| $>50\sim80$ | ± 0.37 | $>315\sim400$ | ± 0.70 |
| $>80\sim120$ | ± 0.44 | $>400\sim500$ | ± 0.77 |
| $>120\sim180$ | ± 0.50 | $>500\sim630$ | ± 0.87 |
| $>180\sim250$ | ± 0.57 | $>630\sim800$ | ± 1.00 |

表 1.3-29 磨料层尺寸极限偏差

| $X, W, U(\text{mm})$ | ≤ 6 | $>6\sim10$ | $>10\sim15$ | >15 |
|----------------------|-----------|------------|-------------|------------|
| 极限偏差 | ± 0.2 | ± 0.25 | ± 0.3 | ± 0.35 |

孔径(H)按 H7 规定。

表 1.3-30 薄片砂轮(T, X, H)极限偏差

| $X(\text{mm})$ | 极限偏差 (mm) | $T(\text{mm})$ | 极限偏差 (mm) | $H(\text{mm})$ | |
|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|-----|
| ≤ 6 | ± 0.20 | ≤ 0.3 | ± 0.05 | 粉末基体 | 钢基体 |
| $>6\sim10$ | ± 0.25 | $>0.3\sim0.8$ | ± 0.08 | H9 | H8 |
| >10 | ± 0.30 | $>0.8\sim3$ | ± 0.12 | | |

② 平面度和直线度

表 1.3-31 平面度和直线度要求

| 平面度要求 | | | 直线度要求 | | |
|-------------------------|-------|----------|----------------------|--------|----------|
| 切割、薄片砂轮——1A1、1A1R、1A6Q型 | | | 无心磨砂轮——1A1、9A1型轴向工作面 | | |
| 外径(mm) | ≤200 | >200~400 | 厚度(mm) | 60~100 | >100~150 |
| 平面度 | ≤0.30 | ≤0.50 | 直线度 | ≤0.025 | ≤0.030 |

③ 圆跳动

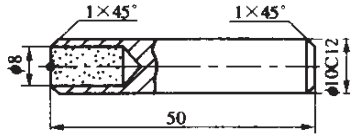

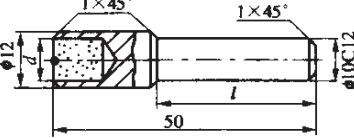

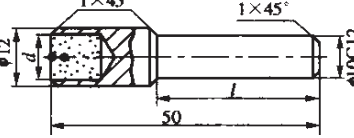

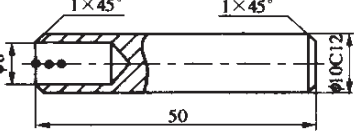

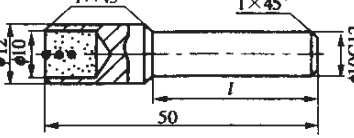

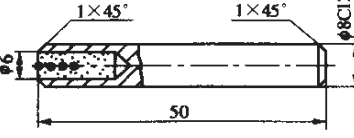

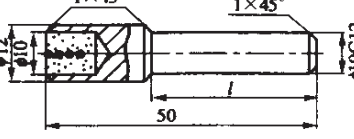

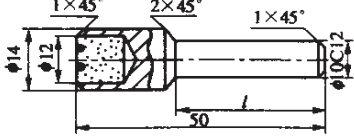

表 1.3-32 圆跳动要求

| 砂轮形状 | | | 径向圆跳动(mm) | 端面圆跳动(mm) | 斜边圆跳动(mm) |
|--|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1E6Q、14E6Q、14EE1、14E1、1V9、1EE1V | | | — | 0.05 | 0.03 |
| 1DD1 | | | 0.06 | 0.05 | 0.03 |
| 9A3 | | | 0.07 | 0.05 | — |
| 1A1、14A1、1L1、4BT1、1FF1、1F1 | | | 0.08 | 0.12 | — |
| 6A2、11A2、12A2/20°、12A2/45°、12V1、6A9、11V9、12V9、12V2 | | | 0.12 | 0.08 | — |
| 无心磨砂轮 | 9A1、1A1 | D=125~200 | 0.02 | 0.03 | — |
| | | D>200~500 | 0.03 | 0.05 | — |
| | | D>500~750 | 0.04 | 0.06 | — |

三、金刚石修整笔

金刚石修整笔按标准分为L、C、P、F四个系列,其结构形式与尺寸及相应的技术参数见表 1.3-33、表 1.3-34 和表 1.3-35。

表 1.3-33 金刚石笔结构尺寸及型号(JB/T3236—1992)

| 金刚石笔结构及层数 | 金刚石位置 | 型 号 |
|---|--|----------------------------------|
|  |  | L1101 L1102 L1103 |
|  |  | L1104 ~ L1110 |
|  |  | L2105 L2107 L2108 L2110 |
|  |  | L3105 L3106 |
|  |  | L3110 |
|  |  | L4103 L4104 L4105 |
|  |  | L4110 |
|  |  | C1308 |

续 表

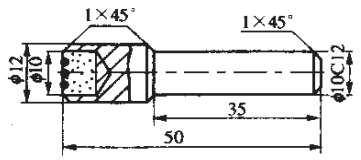


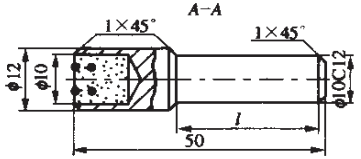

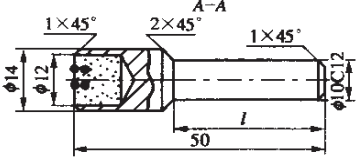

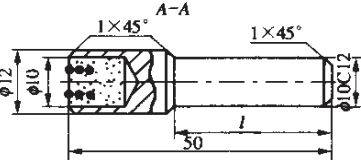



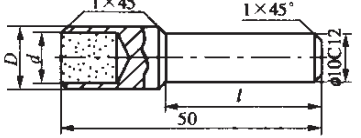

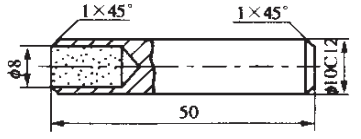

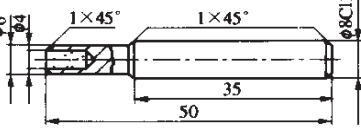

| 金刚石笔结构及层数 | 金刚石位置 | 型 号 |
|---|--|--|
|  |  | C1508 |
| |  | C1908 |
|  |  | C2310 |
|  |  | C2315 |
|  |  | C3305 C3310 |
| |  | C3405 C3410 |
| |  | C3210 C3215 |
| |  |  |
|  |  | F14 F20 F24 |
|  |  | F36 F240 |

表 1.3-34 L、C、P 系列金刚石修整笔技术参数(JB/T3236—1992)

| 型号 | 金刚石层数 | 金刚石粒数 | 金刚石总重量(g) | 每颗金刚石重量(g) | d(mm) | l(mm) |
|-------|-------|-------|-----------|------------|-------|-------|
| L1101 | 1 | 1 | 0.02 | 0.02 | 8.10 | 25.30 |
| L1102 | | | 0.04 | 0.04 | | |
| L1103 | | | 0.06 | 0.06 | | |
| L1104 | | | 0.08 | 0.08 | | |
| L1105 | | | 0.10 | 0.10 | | |
| L1106 | | | 0.12 | 0.12 | | |
| L1107 | | | 0.14 | 0.14 | | |
| L1108 | | | 0.16 | 0.16 | | |
| L1109 | | | 0.18 | 0.18 | | |
| L1110 | | | 0.20 | 0.20 | | |
| L2105 | 2 | 2 | 0.10 | 0.05 | 10 | 25.30 |
| L2107 | | | 0.14 | 0.07 | | |
| L2108 | | | 0.16 | 0.08 | | |
| L2110 | | | 0.20 | 0.10 | | |
| L3105 | 3 | 3 | 0.10 | 0.03 | 10 | 25.30 |
| L3106 | | | 0.12 | 0.04 | | |
| L3110 | | | 0.20 | 0.07 | | |
| L4103 | 4 | 4 | 0.06 | 0.02 | 10 | 25.30 |
| L4104 | | | 0.08 | 0.02 | | |
| L4105 | | | 0.10 | 0.03 | | |
| L4110 | | | 0.20 | 0.05 | | |
| C1308 | 1 | 3 | 0.16 | 0.05 | — | 25.30 |
| C1508 | | 5 | | 0.03 | | |
| C1908 | | 9 | | 0.02 | | |
| C2310 | 2 | 6 | 0.20 | 0.03 | — | 25.30 |
| C2315 | | | 0.30 | 0.05 | | |
| C3305 | 3 | 9 | 0.10 | 0.01 | — | 25.30 |
| C3310 | | | 0.20 | 0.02 | | |
| C3405 | | 12 | 0.10 | 0.01 | | |
| C3410 | | | 0.20 | 0.02 | | |
| P3210 | | 6 | 0.20 | 0.03 | | |
| P3215 | | | 0.30 | 0.05 | | |

表 1.3 - 35 F 系列金刚石修整笔技术参数(JB/T3236—1992)

| 型号 | 金刚石总重量(g) | 金刚石颗粒尺寸(相应粒度)(μm) | D(mm) | d(mm) | l(mm) |
|------|-----------|--------------------------------|-------|-------|-------|
| F14 | 0.2 | 1 600~1 250(F14) | 12.14 | 10.12 | 25.30 |
| F20 | | 1 000~800(F20) | 12 | 10 | |
| F24 | | 800~630(F24) | | | |
| F36 | 0.1 | 500~400(F36) | — | — | — |
| F46 | | 315~400(F46) | | | |
| F60 | | 250~315(F60) | | | |
| F80 | 0.1 | 160~180(F80) | — | — | — |
| F100 | | 125~160(F100) | | | |
| F150 | | 80~100(F150) | | | |
| F80 | | 60~80(F180) | | | |
| F240 | | 50~60(F240) | | | |

四、主要国家磨料磨具代号、标记对照表

表 1.3 - 36 主要国家普通磨料代号对照表

| 磨料 | 国际标准 ISO | 中国 GB/T 2476—94 | 美国 NOTON | 日本 JIS1987 | 德国 | 俄罗斯 IOCT | 英国 环球 | 奥地利 TYROLIT |
|-------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------|--------|-------------|----------|----------------|
| 刚 玉 系 | 棕刚玉 | A | A | A | NK | 12~18A | A | A 10A |
| | 白刚玉 | | WA | 38A | WA | EK 23~25A | WA | 89A |
| | 单晶刚玉 | | SA | 32A | HA(SA) | 43~45A | | 90A 91A |
| | 微晶刚玉 | | MA | 44A | (TA) | | (T) | 52A |
| | 铬刚玉 | | PA | 25A | PA(PW) | FA 32~34A | | 88A |
| | 锆刚玉 | Z | ZA | 68A、 66A、 ZS、ZF | AZ(ZA) | | 38A | Z 28A 13A |
| | 黑刚玉 | | BA | | AE | | | |

续 表

| 磨 料 | | 国际 标准 ISO | 中国 GB/T 2476—94 | 美国 NOTON | 日本 JIS1987 | 德国 | 俄罗斯 ГОСТ | 英国 环球 | 奥地利 TYROLIT |
|------|------|-----------------|-----------------------|------------------|---------------|-----|----------------|----------|----------------|
| 碳化物系 | 黑碳化硅 | C | C | C 37C | C | SiC | 53C 54C 55C | BC | 1C |
| | 绿碳化硅 | | GC | 39C(GC) | GC | Scg | 63C 64C | C | C |
| | 碳化硼 | | BC | B ₄ C | | | | | |

表 1.3 - 37 主要国家磨粒粒度号对照表 (μm)

| | 中国 GB2477—83 | | 美国 ANSI | 日本 JIS | 俄罗斯 ГОСТ 3647 | 奥地利 |
|----|--------------|-------------|------------|-----------|------------------|-----|
| | 粒度号 | 基本尺寸 | | | | |
| 很粗 | 8 | 2 800~2 360 | 8 | 8 | 250 | 8 |
| | 10 | 2 360~2 000 | 10 | 10 | 200 | 10 |
| | 12 | 2 000~1 700 | 12 | 12 | 160 | 12 |
| 粗 | 14 | 1 700~1 400 | 14 | 14 | 125 | 14 |
| | 16 | 1 400~1 180 | 16 | 16 | 100 | 16 |
| | 20 | 1 180~1 000 | 20 | 20 | 80 | 20 |
| | 22 | 1 000~850 | — | — | — | — |
| | 24 | 850~710 | 24 | 24 | 63 | 24 |
| 中 | 30 | 710~600 | 30 | 30 | 50 | 30 |
| | 36 | 600~500 | 36 | 36 | 40 | 36 |
| | 40 | 500~425 | — | — | — | — |
| | 46 | 425~355 | 46 | 46 | 32 | 46 |
| | 54 | 355~300 | 54 | 54 | — | 56 |
| | 60 | 300~250 | 60 | 60 | 25 | 60 |

续 表

| | 中国 GB2477—83 | | 美国 ANSI | 日本 JIS | 俄罗斯 ГОСТ 3647 | 奥地利 |
|--------|--------------|---------|------------|-----------|------------------|-----|
| | 粒度号 | 基本尺寸 | | | | |
| 细 | 70 | 250~212 | 70 | 70 | 20 | 70 |
| | 80 | 212~180 | 80 | 80 | 16 | 80 |
| | 90 | 180~150 | 90 | 90 | — | 90 |
| | 100 | 150~125 | 100 | 100 | 12 | 100 |
| | 120 | 125~106 | 120 | 120 | 10 | 120 |
| 很 细 | 150 | 106~75 | 150 | 150 | 8 | 150 |
| | 180 | 90~63 | 180 | 180 | 6 | 180 |
| | 220 | 75~53 | 220 | 220 | — | 220 |
| | 240 | 75~53 | 240 | — | 5 | 240 |

表 1.3 - 38 主要国家磨具硬度代号对照表

| 硬度级 | 中国 GB2484 | | 俄罗斯 ГОСТ | 美国 NOTON | 日本 JIS | 英国 BS4481—81 | 德国 DIN | 奥地利 | |
|-----|-----------|-----------------|-----------------|-----------------------------|---------------------|-----------------|-----------|-----|-----|
| | 84 | 81 | | | | | | | |
| 超 1 | D | | ЧМ | A、B、 C、D、 E、F、 G、H | E | E | E | D | |
| 软 2 | E | CR | BM ₁ | | F | F | F | E | |
| 3 | F | | BM ₂ | | G | G | G | F | |
| 软 1 | G | R ₁ | M ₁ | | H | H | H | G | |
| 2 | H | R ₂ | M ₂ | | I | I | I | H | |
| 3 | J | R ₃ | M ₃ | | J | J | J | I | |
| 中 1 | K | ZR ₁ | CM ₁ | | K | K | K | J | |
| 软 2 | L | ZR ₂ | CM ₂ | | L | L | L | K | |
| 中 1 | M | Z ₁ | C ₁ | | I、J、K、L、 M、N、O、P | M | M | M | L、M |
| 2 | N | Z ₂ | C ₂ | | | N | N | N | N、O |

续表

| 硬度级 | 中国 GB2484 | | 俄罗斯 ГОСТ | 美国 NOTON | 日本 JIS | 英国 BS4481—81 | 德国 DIN | 奥地利 |
|-----|-----------|-----------------|-----------------|-------------------------------------|-----------|-----------------|-----------|-----|
| | 84 | 81 | | | | | | |
| 中 1 | P | ZY ₁ | CT ₁ | Q、R、 S、T、 U、V、 W、X、 Y、Z | O | O | O | P |
| 硬 2 | Q | ZY ₂ | CT ₂ | | P | P | P | Q |
| 3 | R | ZY ₃ | CT ₃ | | Q | Q | Q | R、S |
| 硬 1 | S | Y ₁ | T ₁ | | R | R | R | T、U |
| 2 | T | Y ₂ | T ₂ | | S | S | S | V、W |
| 超 1 | Y | CY | BT ₁ | | T、U、 | T、U、 | T、U、 | X |
| 硬 2 | | | BT ₂ | | V、W、 | V、W、 | | Y |
| 3 | | | CT ₁ | | X、Y、 | X、Y、 | W、Z | Z |
| 4 | | | CT ₂ | | Z | Z | | |

表 1.3-39 主要国家普通磨具结合剂代号对照表

| 结合剂 | 中国 GB2484— | | 美国 NOTON | 俄罗斯 | 日本 | 英国 | 德国 | 奥地利 |
|-----|------------|----|-------------|-----|----|----|-------|-----|
| | 84 | 81 | | | | | | |
| 陶瓷 | V | A | V | K | V | V | Ke | V |
| 树脂 | B | S | B | B | B | B | BaK | B |
| 橡胶 | R | X | R | B | R | R | Gu | E |
| 菱苦土 | Mg | L | O | M | O | | | |
| 金属 | M | | M | | M | M | M、MCC | M |

表 1.3-40 主要国家普通磨具组织号对照表

| 孔隙 | 中国 GB2484—84 | 美国 NOTON | 独联体 ГОСТ | 日本 KGW | 英国 | 奥地利 |
|----|--------------|-------------|-------------|-----------|----|-----|
| 紧密 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 |
| | 4 | | 5 | 4 | 5 | |
| 中等 | 5 | 4 | 6 | 6 | 7 | |
| | 6 | 5 | 7 | 7 | 8 | 4 |
| | 7 | 6 | 8 | 8 | 9 | 5 |
| | 8 | 7 | 9 | 9 | 10 | 6 |
| | | 8 | 10 | | 11 | |
| 疏松 | 9 | 9 | 11 | | 12 | 7 |
| | 10 | 10 | 12 | | 13 | 8 |
| | 11 | | | | 14 | 9 |
| | 12 | | | | 15 | 10 |
| | 13 | | | | | 11 |
| | 14 | | | | | 12 |
| | | | | | | |

表 1.3-41 主要国家砂轮形状代号对照表

| 砂轮名称 | 中国 GB2484 代号 | | 美国 | 俄罗斯 | 日本 | 德国 | 奥地利 |
|-------|--------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | —94 | —84 | | | | | |
| 平行 | 1 | P | 1 型 | дд | 1 型 | 1 型 | 1 型 |
| 双斜边 | 4 | PSX ₁ | 4 | 2д | 4 | 4 | 4 |
| 单斜边 | 3 | PDX ₁ | 3 | 3д | 3 | 3 | 3 |
| 单面凹形 | 5 | PDA | 5 | дВ | 5 | 5 | 5 |
| 单面凸形 | 38 | PDT | 38 | | 10 | 38 | 107 |
| 双面凹形 | 7 | PSA | 7 | дВд | 7 | 7 | 7 |
| 单面凹带锥 | 23 | PZA | 23 | дВК | 23 | 23 | 23 |

续 表

| 砂轮名称 | 中国 GB2484 代号 | | 美国 | 俄罗斯 | 日本 | 德国 | 奥地利 |
|--------|--------------|------------------|-------|------|-------|-------|-------|
| | —94 | —84 | | | | | |
| 双面凹带锥 | 26 | PSZA | 26 | дВдК | 26 | 26 | 26 |
| 薄片 | 41 | PB | 1 | д | | 41 | 1 |
| 筒形 | 2 | N | 2 | К | 2 | 2 | 2 |
| 杯形 | 6 | B | 6 | чц | 6 | 6 | 6 |
| 碗形 | 11 | BW | 11 | цК | 11 | 11 | 11 |
| 碟形 | 12 | D ₁₋₂ | 12、13 | Т | 12、13 | 12、13 | 12、13 |
| 螺纹紧固平形 | 36 | PL | 36 | дН | | 36 | 36 |

表 1.3-42 各主要国家普通磨料微分粒度及基本尺寸对照表(μm)

| 粒度标记' | 中国 GB/T 2481.2 1998 | 国际标准 ISO | FEPA 标准 德国标准 | 美国标准 | 日本工 业标准 |
|-------|---------------------------|-------------|-----------------|-----------|------------|
| 检测方法 | 光电沉降仪 | 沉降管 | 光电沉降管 | 沉降管 | 沉降管 |
| 230 | 53.0±3.0 | 55.7±3.0 | 53.0±3.0 | | |
| 240 | 44.5±2.0 | 47.5±2.0 | 44.5±2.0 | 53.5~50.0 | 60.0±4.0 |
| 280 | 36.5±1.5 | 39.9±1.5 | 36.5±1.5 | 44.0~40.5 | 52.0±3.0 |
| 320 | 29.2±1.5 | 32.8±1.5 | 29.2±1.5 | 36.0~32.5 | 46.0±2.5 |
| 360 | 22.8±1.5 | 26.7±1.5 | 22.8±1.5 | 28.8~25.8 | 40.0±2.0 |
| 400 | 17.3±1.0 | 21.4±1.0 | 17.3±1.0 | 23.6~20.6 | 34.0±2.0 |
| 500 | 12.8±1.0 | 17.1±1.0 | 12.8±1.0 | 19.7~16.7 | 28.0±2.0 |
| 600 | 9.3±1.0 | 13.7±1.0 | 9.3±1.0 | 16.0~13.0 | 24.0±1.5 |
| 700 | | | | | 21.0±1.3 |
| 800 | 6.5±1.0 | 11.0±1.0 | 6.5±1.0 | 12.3~9.8 | 18.0±1.0 |
| 1000 | 4.5±0.8 | 9.1±0.8 | 4.5±0.8 | 9.3~6.8 | 15.5±1.0 |
| 1200 | 3.0±0.5 | 7.6±0.5 | 3.0±0.5 | 6.5~4.5 | 13.0±1.0 |
| 1500 | | | | | 10.5±1.0 |
| 2000 | | | | | 8.5±0.7 |
| 2500 | | | | | 7.0±0.7 |
| 3000 | | | | | 5.7±0.5 |

注：粒度标记方法各国不同，以“240”粒度为例，中国标准、国际标准、FEPA 标准和德国标准皆标记为“F240”；美国标记为“240”，而日本工业标准标记为“#240”。

表 1.3 - 43 国内外超硬磨料品种牌号对照表

| 项 目 | 中 国 | | 美国 GE 公司 | | 英国 DeBeers 公司 | | 日本(东明厂) | |
|------------------|----------|-------------------------------|----------|---|---------------|---|---------|---|
| | 基本品种 | 牌 号 | 基本品种 | 牌 号 | 基本品种 | 牌 号 | 基本品种 | 牌 号 |
| 树脂或陶瓷结合 剂用金刚石 | RVD | RVD | RVG | RVG-56 RVG-30 RVG-D RVG-880 | RDA | | IRV | IRV IRV-NP IRV-NEP IRV-CP IRV-CPS |
| | (RVD II) | | | MBG-P MBG-100 | CDA | CDA-55N CDA-30N CDA-50C CDA-L CDA-M | IRV-150 | IRV-150N IRV-150CP IRV-SP |
| 磨钢专用金刚石 | SCD | | CSG | CSG-11 | DXDA | DXDA-MC DXDA-II | IDS | IDS-NP KRV-S |
| 金属结合剂用金 刚石 | MBD | MBD4 MBD6 MBD8 MBD10 | MBG | MBG, MBG-II MBG600, MBG600T MBG660 MBG660T | MDA | MDA EDC MDAS MDA85 MDA100 | IMG | IMG-S IMG-I TED-I-II-III |

续表

| 项目 | 中国 | | 美国 GE 公司 | | 英国 DeBeers 公司 | | 日本(东明厂) | |
|-----------------|-----------------|----------------------------------|---|--------------------|---|--|---------|--|
| | 基本品种 | 牌号 | 基本品种 | 牌号 | 基本品种 | 牌号 | 基本品种 | 牌号 |
| 锯切用金刚石 | SMD | SMD | MBS; MBG-70 MBS-710- 720-760 MBS-900- 910-960 | SDA | SDA | SDA SDA85、SDA100 SDADG、SDADO SDADP、SDADV SDA2100-2085 -2075 | IMS | IMS IMS-H IMG-B IMG-E |
| | | SMD25 SMD30 SMD35 SMD40 | | | | | | |
| 修整用金刚石 | DMD | MSD | SRD | | | | | CAM |
| 立方氮化硼 | CBN | CBN-I CBN-II | CBN-I CBN-II CBN510 CBN520 CBN550 CBN560 CBN570 | ABN-300 ABN-600 | ABN300 ABN360 ABN600 ABN615 ABN660 | | | |
| | | | CBN CBN500 | | | | | |
| 金刚石或立方 氮化硼微粉 | MP-SD MP-CBN | | 标准系列 300 系列 | MICRON | MICRON+MDA MICRON+CDA MICRON+ABN | | IRM | IRM-NP IRM-CPS IRM-NPM TED-MH |

表 1.3 - 44 国内外金刚石粒度标记对照表

| 中 国 GB/T 6406—96 | | 美国 ANSI B74.16— 1979 | 日本 JIS 4130—1982 | 欧洲共同体 FEPA—1978 和 德国 DIN—1980 | 俄罗斯 ГОСТ—1980 |
|---------------------|-------------|----------------------------|---------------------|-------------------------------------|------------------|
| 粒度 尺寸(μm) | | 窄 范 围 | | | |
| 16/18 | 1 180/1 000 | 16/18 | 16/18 | D1180 | 2 500/2 000 |
| 18/20 | 1 000/850 | 18/20 | 18/20 | D1001 | 2 000/1 600 |
| 20/25 | 850/710 | 20/30 | 20/25 | D851 | 1 600/1 250 |
| 25/30 | 710/600 | | 25/30 | D711 | 1 250/1 000 |
| 30/35 | 600/500 | 30/40 | 30/35 | D601 | 1 000/800 |
| 35/40 | 500/425 | | 35/40 | D501 | 800/630 |
| 40/45 | 425/355 | 40/50 | 40/45 | D426 | 630/500 |
| 45/50 | 355/300 | | 45/50 | D356 | 500/400 |
| 50/60 | 300/250 | 50/60 | 50/60 | D301 | 400/315 |
| 60/70 | 250/212 | 60/80 | 60/70 | D251 | 315/250 |
| 70/80 | 212/180 | | 70/80 | D213 | 250/200 |
| 80/100 | 180/150 | 80/100 | 80/100 | D181 | 200/160 |
| 100/120 | 150/125 | 100/120 | 100/120 | D151 | 161/125 |
| 120/140 | 125/106 | 120/140 | 120/140 | D126 | 125/100 |
| 140/170 | 106/90 | 140/170 | 140/170 | D107 | 100/80 |
| 170/200 | 90/75 | 170/200 | 170/200 | D91 | 80/63 |
| 200/230 | 75/63 | 200/230 | 200/230 | D76 | 63/50 |
| 230/270 | 63/53 | 230/270 | 230/270 | D64 | 50/40 |
| 270/325 | 53/45 | 270/325 | 270/325 | D54 | |
| 325/400 | 45/38 | 325/400 | 325/400 | D46 | |
| 宽 范 围 | | | | | |
| 16/20 | 1 180/850 | | | D1180 | 1 000/630 |
| 20/30 | 850/600 | 20/30 | 20/30 | D852 | |
| 30/40 | 600/425 | 30/40 | 30/40 | D602 | 630/400 |
| 40/50 | 425/300 | 40/50 | 40/50 | D427 | 400/250 |
| 60/80 | 250/180 | 60/80 | 60/80 | D252 | 250/160 |

表 1.3-45 国内外金刚石微粉及尺寸对照表

| 中 国 | | 美国 ANSI | | 日 本 | | 德 国 | | 俄罗斯 | | 欧洲共同体 | |
|----------------|------------------|--------------|------------------|---------------|------------------|------------|------------------|--------------|------------------|-------|------------------|
| JB/T 7990—1998 | | B 74.20—1981 | | JIS - 6002—63 | | DIN 848—65 | | ГОСТ 9206—80 | | FEPA | |
| 粒度 | 尺寸 μm | 粒度 | 尺寸 μm | 粒度 | 尺寸 μm | 粒度 | 尺寸 μm | 粒度 | 尺寸 μm | 粒度 | 尺寸 μm |
| M36/54 | 36~54 | 60 | 54~80 | 400 | 37/34 | D45 | 40/50 | 60/40 | 40~60 | M63 | 42~84 |
| M22/36 | 22~36 | 45 | 36~54 | 500 | 34/28 | D35 | 32/40 | 40/28 | 28~40 | M40 | 27~53 |
| M20/30 | 20~30 | 30 | 22~36 | 600 | 28/24 | D25 | 25/32 | 28/20 | 20~28 | M25 | 16~34 |
| M12/22 | 12~22 | 15 | 12~22 | 700 | 24/20 | D20 | 25/40 | 20/14 | 14~20 | M16 | 10~22 |
| M10/20 | 10~20 | 9 | 8~12 | 800 | 20/16 | D20B | 30/40 | 14/10 | 10~14 | M10 | 6~14 |
| M8/16 | 8~16 | 6 | 4~8 | 1 000 | 16/13 | D20A | 25/30 | 10/7 | 7~10 | M6.3 | 4~9 |
| M8/12 | 8~12 | 3 | 2~4 | 1 200 | 13/10 | D15 | 15/25 | 7/5 | 5~7 | M4.0 | 2.5~5.5 |
| M6/12 | 6~12 | 1 | 0~2 | 1 500 | 10/8 | D15A | 20/25 | 5/3 | 3~5 | M2.5 | 1.5~3.5 |
| M5/10 | 5~10 | 1/2 | 0~1 | 2 000 | 8/6 | D15B | 15/20 | 3/2 | 2~3 | M1.6 | 1.0~2.5 |
| M4/8 | 4~8 | | | 2 500 | 6/5 | D15C | 10/15 | 2/1 | 1~2 | M1.0 | 0.5~1.5 |
| M3/6 | 3~6 | | | 3 000 | 5/4 | D7 | 5/10 | 1/0 | 0~1 | | |

续表

| 中国 | | 美国 ANSI | | 日本 | | 德国 | | 俄罗斯 | | 欧洲共同体 | |
|----------------|------------------|--------------|------------------|---------------|------------------|------------|------------------|--------------|------------------|-------|------------------|
| JB/T 7990—1998 | | B 74.20—1981 | | JIS - 6002—63 | | DIN 848—65 | | ГОСТ 9206—80 | | FEPA | |
| 粒度 | 尺寸 μm | 粒度 | 尺寸 μm | 粒度 | 尺寸 μm | 粒度 | 尺寸 μm | 粒度 | 尺寸 μm | 粒度 | 尺寸 μm |
| M2.5/5 | 2.5~5 | | | 4 000 | 4/3 | D3 | 2/5 | | | | |
| M2/4 | 2~4 | | | 5 000 | 3/2 | D1 | 1/2 | | | | |
| M1.5/3 | 1.5~3 | | | 8 000 | 2/1 | D0.7 | 0.5/1 | | | | |
| M1/2 | 1~2 | | | 15 000 | 1/0 | D0.25 | 0.5 | | | | |
| M0/2 | 0~2 | | | | | | | | | | |
| M0.5/1.5 | 0.5~1.5 | | | | | | | | | | |
| M0.5/1 | 0.5~1.0 | | | | | | | | | | |
| M0/1.0 | 0~1.0 | | | | | | | | | | |
| M0/0.5 | 0~0.5 | | | | | | | | | | |

五、涂附磨具

涂附磨具是用黏结剂把磨料黏附在可挠曲的基材上制成的磨具,俗称“砂布砂纸”。目前国内这类产品主要包括:砂布、砂纸、砂带、砂盘、研磨叶轮和砂套等。涂附磨具的特点是使用方便,设备简单,操作安全;磨具生产周期短,价格低廉。纸砂带、钢纸磨片问世后,涂附磨具应用范围更加广泛。

(一) 涂附磨具的分类及特性

1. 涂附磨具的分类

表 1.3-46 涂附磨具的分类

| 名 称 | 类 型 | 名 称 | 类 型 |
|-----|-------|--------|-------|
| 砂布 | 耐水砂布 | 砂带 | 复合基砂带 |
| | 页状砂布 | | 无接头砂带 |
| | 卷状砂布 | | 有接头砂带 |
| 砂纸 | 耐水砂纸 | | 搭接砂带 |
| | 页状砂纸 | | 对接砂带 |
| | 卷状砂纸 | | 砂盘 |
| | 金相砂纸 | 砂套 | |
| 砂带 | 耐水砂带 | 筒形砂套 | |
| | 布砂带 | 截锥砂套 | |
| | 耐水纸砂带 | 带轴研磨叶轮 | |
| | 纸砂带 | 卡盘研磨叶轮 | |

2. 涂附磨具的粒度

JB/T3630—1984 规定了涂附磨具的磨料的粒度,GB/T9258—1988 制订了涂附磨具微粉的粒度。

磨料粒度号共 20 个粒度号：P8、P10、P12、P14、P16、P20、P24、P30、P36、P40、P50、P60、P70、P80、P100、P120、P150、P180、P220、P240。

磨料微粉的粒度分为 10 个粒度号：P240、P280、P320、P360、P400、P500、P600、P800、P1000、P1200。对应国际标准 ISO6344—1998 涂附磨具的磨料微粉增补 P1500、P2000、P2500 粒度。

3. 涂附磨具的黏结剂

黏结剂主要是黏结磨粒和基材用的液状材料，黏结剂分类及其代号见表 1.3-47，各类黏结剂的性能及应用范围见表 1.3-48。

表 1.3-47 黏结剂品种及其代号(JB/73989—1994)

| 名 称 | 动物胶 | 半树脂 | 全树脂 | 耐水黏结剂 |
|-----------|-----|-----|-----|-------|
| 代号(底胶/复胶) | G/G | R/G | R/R | WP |

表 1.3-48 各类黏结剂的性能及应用范围

| 种 类 | 黏结剂名称 | 性 能 | 适 用 范 围 |
|------------|----------|--|--|
| 动物胶 G/G | 皮 胶 | 黏结性能较好,强度较低,溶于水,易受潮,其稳定性受环境影响,耐热性差,性脆,但价廉 | 可用于切削力不大的干磨和油磨,适于对木制品的打磨,非金属制品的加工,铜、铅等金属的磨削和抛光 |
| | 明 胶 | | |
| | 骨 胶 | | |
| 全树脂 R/R | 醇酸树脂 | 黏结强度较高,耐水耐热,可较长时间保存,可用于干磨和湿磨,但溶于有机溶液,成本较高 | 适于重负荷磨削,难磨材料及复杂形面的金属成形磨削和抛光 |
| | 胺基树脂 | | |
| | 水砂纸清漆 | | |
| 半树脂 R/G | 尿醛树脂 | 底胶为动物胶,有较好的弹性、耐磨性及耐热性,不耐水而耐潮湿,黏结性能比动物胶好,制造方便,成本较低,一般用于干磨 | 适于干磨或油磨,中负荷磨削以及成形表面的加工。此类黏结剂已广泛使用于砂带磨削 |
| | 酚醛树脂 | | |
| | 皮胶 明胶 | | |

4. 基材

涂附磨具中的磨料和黏结剂的承载体,一般多选用柔软的纤维材料,要求抗张强度高,延伸率小及耐水性能好的材料。基体材料及用途见表 1.3-49。基材分类及代号见表 1.3-50。

表 1.3-49 涂附磨具的基材及用途

| 基材类别 | 材 料 | 用 途 |
|------|--|--------------|
| 布基 | 粗细斜纹布、平纹布及帆布等 | 干磨、耐水砂纸、砂带等 |
| 纸基 | 牛皮纸、耐水牛皮纸、钢纸等 | 干磨、耐水砂纸、钢磨片等 |
| 钢纸基 | 以硫化纤维纸(钢纸)做的基材。注:硫化纤,由纤维素经浓硫酸盐或氧化锌处理改变了纤维的物理性能后制成的均质材料 | 砂带、高速钢纸、磨片等 |
| 复合基 | 以布和纸等复合而成的基材,在两层纸中加网格布、硫化纤维纸等 | 砂带 |

表 1.3-50 基材分类及代号

| 类 型 | 砂 布 | | | 砂 纸 | | | | | 耐 水 砂 纸 | | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|------|-----|-----|------|-----|---------|-----|------|-----|
| | 轻型布 | 中型布 | 重型布 | 页状 S | | | 卷状 R | | 页状 S | | 卷状 R | |
| 面密度 ($g \cdot m^{-2}$) | ≥ 110 | ≥ 170 | ≥ 250 | 80 | 100 | 120 | 160 | 220 | 80 | 100 | 125 | 160 |
| 代 号 | L | M | H | A | B | C | D | E | A | B | C | D |

(二) 砂布、砂盘、叶轮与砂套

1. 干磨砂布

干磨砂布一般用于手工或低速低压下干磨。在使用油类冷却液时,可提高效率和加工质量。干磨砂布受潮后,可稍加烘烤,温

度以 60~80℃为宜,过于干燥则易断裂。干磨砂布一般制成页状(代号 S)和卷状(代号 R);根据面密度分为轻型(L)、中型(M)、重型(H)三种形式。轻型纱布适于木材、皮革、橡胶等加工、重型适于金属加工。

2. 耐水砂纸

用前须浸泡于 40℃的水中约 10 分钟,待柔软后再使用。

粒度选择:粗磨 P80~P150、细磨 P180~P280、精磨选用 P320 以上。耐水砂纸所用磨料见表 1.3-1。砂纸使用量大的两种磨料是玻璃砂(代号 GL)和石榴石(代号 G)。

砂布砂纸尺寸规格及极限偏差见表 1.3-51,表 1.3-52。

表 1.3-51 页状砂布砂纸尺寸规格及极限偏差
(GB/T15305.1—94) (mm)

| | | | | | | | |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|
| 宽×长 | 230×280 | 115×280 | 115×140 | 140×230 | 93×230 | 70×230 | 70×115 |
| 极限偏差 | ±3 | | | | | | |

表 1.3-52 卷状砂布砂纸尺寸规格及极限偏差
(GB/T15305.2—94) (mm)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-----------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|--|
| 宽度 <i>b</i> | 12.5 | 25 | 35 | 40 | 50 | 100 | 125 | 150 | 200 | 230 | 300 | 600 | 690 | 920 | 1 000 | 1 150 | 1 250 | 1 350 | |
| 极限偏差 | ±1 | | | ±2 | | | | | | ±3 | | | | | | | | | |
| 长度 <i>l</i> | 25 000 或 50 000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 极限偏差 | ±250 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

标记示例:

例 1: 卷状砂布、重型基材、规格(宽×长)1 350×50 000、棕刚玉磨料、粒度 P60

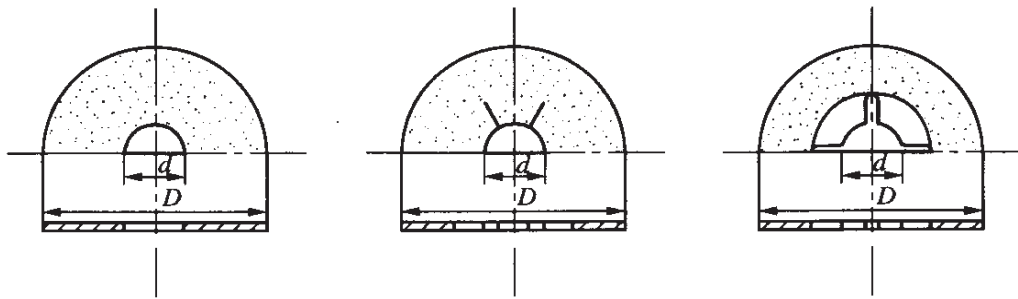
标记: 砂布 R WPH 1 350×50 000 A P60

例 2: 页状砂纸、动物胶黏结剂、C 型基材 规格(宽×长)230×280、棕刚玉磨料、粒度 P80

标记: 砂纸 S G/G C 230×280 A P80

3. 钢纸砂盘

钢纸砂盘(图 1.3-5)以优质硫化纤维纸作基材,高强度耐热合成树脂为黏结剂,将磨料黏结在钢纸表面上,制成圆形薄片状砂盘。钢纸砂盘可装在手提机上进行磨抛,对金属或非金属材料进行除锈、抛光等干磨加工。操作简单、效率高、适应性强,安全可靠。钢纸砂盘最高工作速度为 60 m/s、70 m/s、80 m/s。



I 型内孔周边无槽缝

II 型内孔周边带切缝

III 型内孔周边带槽

图 1.3-5 钢纸砂盘的类型

钢纸砂盘其外径 D 和孔径 d 的尺寸组合见表 1.3-53。布、纸和复合基材砂盘其外径 D 和孔径 d 的尺寸组合见表 1.3-54。

表 1.3-53 钢纸砂盘外径 D 和孔径 d 的尺寸组合 (mm)

| d/D | 80 | 100 | 115 | 125 | 140 | 150 | 180 | 200 | 235 |
|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 6 | • | • | • | • | | | | | |
| 8 | • | • | • | • | | | | | |
| 12 | | • | • | • | | | | | |
| 22 | | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 40 | | | | | | | • | • | • |

表 1.3-54 布、纸和复合基材砂盘外径 D 和孔径 d 的尺寸组合 (mm)

| d/D | 125 | 150 | 180 | 200 | 235 | 250 | 300 | 350 | 400 | 500 | 600 | 800 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 12 | • | • | • | | | | | | | | | |
| 22 | • | • | • | | | | | | | | | |
| 40 | | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 80 | | | | | | • | • | • | • | • | • | • |
| 100 | | | | | | | • | • | • | • | • | • |

常用砂盘外径多在 $\Phi 100 \sim \Phi 180$ 之间, 粒度多选用 P16 ~ P100 之间。

标记示例:

钢纸砂盘, I 型, 外径 125, 内径 22, 黑碳化硅, 粒度 P20

标记: 砂盘 FD I 型 125×22 C P20

4. 研磨页轮

页轮是由页状砂布自轴呈辐射方向均匀分布而构成轮状或盘状的磨具。页轮的形状及代号见图 1.3-6。

| 名称 | 带轴页轮 | 卡盘页轮 | 铍形页轮 |
|------|------|------|------|
| 断面形状 | | | |
| 代号 | SW | FW | FD |

注: 卡盘页轮包括装有卡盘或未装卡盘的页轮。

图 1.3-6 研磨页轮

研磨页轮的加工效率较高,用于研磨和抛光等加工,应用很广泛。对有色金属及不锈钢制品进行抛光、磨具型面的光整加工效果好,端面页轮适于大面积抛光及光整加工。页轮使用方便,利用电动、风动工具以及车床、钻床等机床均可使用。

页轮最高工作速度:带轴页轮和卡盘页轮为 35 m/s、50 m/s, 钹形页轮为 65 m/s、70 m/s、80 m/s。

页轮的基本尺寸见表 1.3-55、表 1.3-56 和表 1.3-57。

表 1.3-55 带轴页轮基本尺寸(JB/T 3891—1996) (mm)

| H/D | 30 | 40 | 60 | 80 |
|--------|---------|----|----|----|
| 10 | • | | | |
| 15 | | • | • | |
| 20 | | | • | |
| 30 | | | • | • |
| 40 | | | | • |
| 50 | | | | • |
| 轴径 d | 3 或 6 | | | |
| 轴长 L | 25 或 40 | | | |

表 1.3-56 卡盘页轮基本尺寸(JB/T 3891—1996) (mm)

| H/D | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 500 |
|--------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 25 | • | | | | | | |
| 50 | • | • | • | • | • | • | |
| 75 | | | | | • | • | |
| 100 | | | | | • | • | • |
| 孔径 d | 25、32、40、50 | | | | | | |

表 1.3-57 钹形页轮基本尺寸(JB/T 3891—1996) (mm)

| 外径 D | 100 | 115 | 125 | 150 | 180 |
|--------|-----|-------|-----|-----|-----|
| 孔径 d | 16 | 16、22 | 22 | 22 | 22 |

标记示例:

(1) 规格尺寸($D \times H \times d$) $300 \times 50 \times 32$ 棕刚玉, 粒度 P100 的卡盘页轮:

标记: 研磨页轮 FW $300 \times 50 \times 32$ A P100

(2) 规格尺寸($D \times H \times d - L$) $60 \times 30 \times 6 - 40$ 棕刚玉粒度 P60 的带轴页轮:

标记: 研磨页轮 SW $60 \times 30 \times 6 - 40$ A P60

5. 筒形砂套

筒形砂套又称砂布套, 代号 S, 是由砂布或砂纸基材黏敷以磨料而制成圆筒状磨具, 其用途与页轮相似, 对大型轴瓦的抛光更为适宜, 效率较高。砂套分筒形砂布砂套, 代号 SC, 与筒形砂纸砂套, 代号 SP, 见图 1.3-7。筒形砂套尺寸见表 1.3-58。

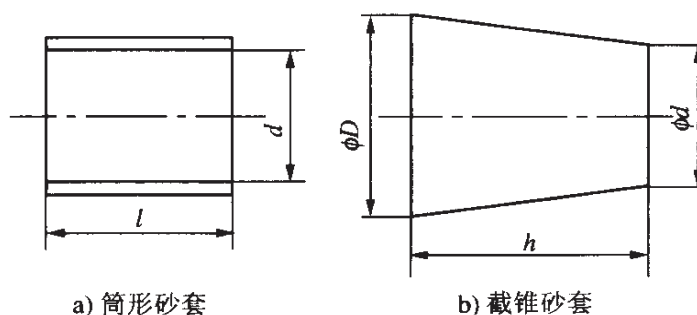


图 1.3-7 砂套

截锥砂套按 ISO2422—1986 规定锥角小于 30° 角。其规格尺寸见表 1.3-59。

表 1.3-58 筒形砂套尺寸及极限偏差(JB/T 10042—1999) (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|------|-------|----|------|--------|-------|----|-------|----|----|
| 内径 d | 6.3 | 8 | 10 | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 31.5 | 40 | 50 |
| 极限偏差 | 平接头 | ±0.45 | | | ±0.55 | ±0.65 | | ±0.8 | | |
| | 螺旋接头 | ±0.18 | | | ±0.215 | ±0.26 | | ±0.31 | | |
| 宽度 l | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 75 | | | |
| 极限偏差 | ±1 | | | | | | | | | |

续 表

| | | | | | | | | | | |
|----------|------|-------|-----|--------|-------|-----|--------|-----|-------|-------|
| 内径 d | | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 |
| 极限 偏差 | 平接头 | ±0.95 | | ±1.1 | ±1.25 | | ±1.45 | | ±1.6 | ±1.8 |
| | 螺旋接头 | ±0.37 | | ±0.435 | ±0.50 | | ±0.575 | | ±0.65 | ±0.70 |
| 宽度 l | | 100 | 125 | 150 | 180 | 200 | 250 | 300 | | |
| 极限偏差 | | ±2 | | | | | | | | |

表 1.3-59 截锥砂套尺寸(ISO2422—1986) (mm)

| h | 偏 差 | d | D |
|-----|-----|-----|-----|
| 100 | ±2 | 12 | 19 |
| 30 | ±1 | 22 | 29 |
| 60 | ±2 | 22 | 36 |
| 82 | | 30 | 34 |
| 145 | ±3 | 32 | 45 |
| 82 | ±2 | 28 | 43 |
| 145 | ±3 | 51 | 64 |
| 90 | ±2 | 51 | 76 |

注：应在砂套内壁测量 d 和 D 的值。

标记示例：

(1) 内径 $d=100$ 宽度 $l=50$ 的棕刚玉 P60 筒形砂布砂套标记为：

SC 100×50 A P60

(2) 高度 h 为 60、小端直径 d 为 22、大端直径 D 为 36 的截锥砂套标记为：

截锥砂套 ISO2422—60×22×36

(三) 砂带

砂带是一种环行带状的涂附磨具，分为无接头砂带和有接头砂带两种，无接头砂带基材受制造工艺等限制、生产率低等原因，逐渐被淘汰，而被有接头砂带所取代。目前，国内外的砂带标准中

砂带实际上就是指有接头砂带。

砂带磨削是一种新型磨削工艺,经过 30 多年的发展,现已成为一项较完整且自成体系的加工技术,砂带为涂附磨具的第二代产品,砂带磨削是在一定的设备上连续加工的一种高效磨削,适应范围广泛,故被称为“万能磨削”工艺。

1. 砂带的分类

砂带的种类很多,按砂带形状分,有卷状和环状砂带;按基材分,有布砂带、纸砂带及复合基砂带;按黏结剂分有动物胶、半树脂与全树脂砂带;按砂带工作面分,有密植型、稀疏型和超涂层砂带。各种砂带的特性见表 1.3-60。

表 1.3-60 砂带种类及特性

| 砂带种类 | 基 材 | 抗拉强度 kN/m | 600 N 负荷时的 伸长率% |
|----------|------|--------------|--------------------|
| 布砂带 | H 布 | ≥ 32 | ≤ 3.0 |
| | M 布 | ≥ 20 | ≤ 4.5 |
| | L 布 | ≥ 15 | ≤ 5.0 |
| 纸砂带 | C 型纸 | ≥ 8.4 | — |
| | E 型纸 | ≥ 24 | ≤ 1.5 |
| 多接头砂带 | E 型纸 | ≥ 8 | — |
| 复合基砂带 | 复合基 | ≥ 32 | ≤ 1.0 |
| 多接头复合基砂带 | 复合基 | ≥ 13 | ≤ 3.0 |

2. 砂带粒度的选择

砂带粒度的选择,主要根据加工条件与工件表面粗糙度要求而定,其适用范围和可达到的表面粗糙度见表 1.3-61。

3. 砂带黏结剂的选择

砂带黏结剂的品种、性能及适用范围见表 1.3-47。

除此之外,有些砂带还有一些特殊要求,在覆胶层以上再敷一层超涂层黏结剂。

表 1.3-61 砂带粒度适用范围及可达到的表面粗糙度

| 粒 度 | 适用加工范围 | 可达到的表面粗糙度 $Ra(\mu\text{m})$ |
|------------|--------------------|-----------------------------|
| P16~P24 | 荒磨铸铁、焊接件及打毛刺等 | ~ |
| P30~P40 | 内圆、外圆、平面、曲面的粗磨 | >32 |
| P50~P120 | 内圆、外圆、平面、曲面的半精磨及精磨 | 1.6~0.8 |
| P150~P240 | 精磨、成形磨 | 0.8~0.2 |
| P280~P1200 | 精磨、超精磨及镜面加工等 | 0.2 以下 |

① 抗静电涂层黏结剂,主要用于加工木材、塑料制品时,避免砂带背面与支撑物之间摩擦所产生静电而附着切削粉尘。对生产安全有利。

② 抗堵塞超涂层黏结剂,是一种以金属皂为主的树脂涂层,可有效地避免砂带表面堵塞,以提高磨削效率及砂带耐用度。

③ 抗氧化分解超涂层黏结剂,是由具有一定弹性的高分子材料与抗氧化分解的活性材料所组成,加工时可起冷却作用,有效地提高砂带耐用度和加工表面质量。

4. 砂带基材的选择

砂带基材的选择主要根据使用要求而定,加工负荷大,转速高,则要求基体有较高的强度和较小的延伸率,一般选用棉麻织物或尼龙、聚酯(涤纶)纤维织物的基材。普通砂带多根据布的面密度和不同粒度选用不同重量级的纺织品和纸料。

砂带选用纸基材比布基材平整光滑,但承载负荷低,采用组合基材则集中了两者的优点,适于重负荷磨削。组合基材有两种形式:一是在两层纸中增加一层网络布;另一种是在纸基上增加一层布料。

5. 砂带的规格尺寸及极限偏差

砂带宽度与长度组合尺寸的选择见表 1.3-62。补充尺寸组合见表 1.3-63。

砂带宽度 b 和周长 l 的极限偏差分别见表 1.3-64 和表 1.3-65。

表 1.3-62 砂带宽度 b 与周长 l 优先组合 (mm)

| b/l | 400 | 500 | 630 | 800 | 1 000 | 1 250 | 1 600 | 2 000 | 2 500 | 3 150 | 4 000 | 5 000 | 6 300 | 8 000 | 10 000 | 12 500 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 15 | • | • | • | • | • | • | | | | | | | | | | |
| 20 | • | • | • | • | • | • | • | • | | | | | | | | |
| 25 | • | • | • | • | • | • | • | • | • | | | | | | | |
| 30 | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | | | | | | |
| 40 | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | | | | | |
| 50 | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | | | | |
| 60 | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | | | |
| 75 | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | | |
| 100 | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | |
| 125 | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 150 | | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 200 | | | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 250 | | | | | | | | | • | • | | | | | | |
| 300 | | | | | | | | | • | • | | | | | | |
| 350 | | | | | | | | | • | • | | | | | | |
| 400 | | | | | | | | | • | • | | | | | | |
| 450 | | | | | | | | | • | • | | | | | | |
| 500 | | | | | | | | | • | • | | | | | | |
| 600 | | | | | | | | | • | • | | | | | | |
| 700 | | | | | | | | | • | • | | | | | | |
| 800 | | | | | | | | | • | • | | | | | | |
| 1 000 | | | | | | | | | • | • | | | | | | |
| 1 120 | | | | | | | | | • | • | | | | | | |
| 1 250 | | | | | | | | | • | • | | | | | | |
| 1 400 | | | | | | | | | • | • | | | | | | |
| 1 600 | | | | | | | | | • | • | | | | | | |
| 1 800 | | | | | | | | | • | • | | | | | | |
| 2 000 | | | | | | | | | • | • | | | | | | |
| 2 240 | | | | | | | | | • | • | | | | | | |
| 2 500 | | | | | | | | | • | • | | | | | | |

表 1.3-63 砂带宽度 b 与周长 l 组合补充尺寸(GB/T 15305.3—94) (mm)

| B/l | 475 | 520 | 610 | 640 | 915 | 1 300 | 1 650 | 1 800 | 1 820 | 1 900 | 2 000 | 2 030 | 2 100 | 2 300 | 2 500 | 2 620 | 2 800 | 3 350 | 3 810 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 25 | • | | | | | | | | | | | | | | | | | • | |
| 40 | • | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | • | • | | | | | | | | | | | • | |
| 100 | | | • | | • | • | • | | | | | | | • | | | | | |
| 125 | | | | | | | | | • | | | | | | | | | | |
| 150 | | | | • | | | | | | | | • | • | | | | | | |
| 300 | | | | | | | | | | | | | | • | | | | | |
| 630 | | | | | | | | | | • | | | | | | | | | |
| 930 | | | | | | | | | | • | | | | | | | | | |
| 1 060 | | | | | | | | | | | • | | | | | | | | |
| 1 300 | | | | | | | | | | | | | | | • | • | | | |
| 1 320 | | | | | | | | | | • | | | | | • | | | | |
| 1 350 | | | | | | | | | | • | | | | | | • | • | | • |
| 1 650 | | | | | | | | | | | | | | | | • | | | |

表 1.3 - 64 砂带宽度 b 及极限偏差 (GB/T 15305.3—94) (mm)

| 基本尺寸 | 极限偏差 | 基本尺寸 | 极限偏差 | 基本尺寸 | 极限偏差 | 基本尺寸 | 极限偏差 | 基本尺寸 | 极限偏差 |
|------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| 2.5 | ±1 | 50 | ±1 | 300 | ±2 | 1 060 | ±3 | 1 900 | ±3 |
| 5 | | 60 | | 350 | | 1 120 | | 2 000 | |
| 7.5 | ±1 | 75 | ±2 | 400 | ±2 | 1 180 | ±3 | 2 120 | ±3 |
| 10 | | 100 | | 450 | | 1 250 | | 2 240 | |
| 12.5 | ±1 | 125 | ±2 | 500 | ±2 | 1 320 | ±3 | 2 360 | ±3 |
| 15 | | 150 | | 600 | | 1 400 | | 2 500 | |
| 20 | ±1 | 175 | ±2 | 700 | ±2 | 1 500 | ±3 | 2 650 | ±3 |
| 25 | | 200 | | 800 | | 1 600 | | | |
| 30 | ±1 | 225 | ±2 | 900 | ±2 | 1 700 | ±3 | | ±3 |
| 40 | | 250 | | 1 000 | | 1 800 | | | |

表 1.3 - 65 砂带周长 l 及极限偏差 (GB/T 15305.3—94) (mm)

| 基本尺寸 | 极限偏差 | 基本尺寸 | 极限偏差 | | 基本尺寸 | 极限偏差 | | 基本尺寸 | 极限偏差 | |
|------|------|-------|---------------|------------|-------|---------------|------------|-------|------|-------|
| | | | $b \leq 1000$ | $b > 1000$ | | $b \leq 1000$ | $b > 1000$ | | | |
| 400 | ±1 | 1 000 | ±3 | — | 2 500 | ±5 | ±10 | 6 300 | ±20 | |
| 450 | | 1 120 | ±5 | ±10 | 2 800 | | | ±10 | | 7 100 |
| 500 | | 1 250 | | | 3 150 | | | | | 8 000 |
| 560 | | 1 400 | | | 3 550 | | | | | 9 000 |
| 630 | | 1 600 | | | 4 000 | 10 000 | | | | |
| 710 | | 1 800 | 4 500 | 11 200 | | | | | | |
| 800 | | 2 000 | 5 000 | 12 500 | | | | | | |
| 900 | | 2 240 | 5 600 | | | | | | | |

6. 标记示例

规格尺寸($b \times l$)1 350×2 620 棕刚玉 P100 粒度全树脂重型布砂带:

标记: 砂带 R/RH 1 350×2 620 A P100 JB/T8606—1997

7. 砂带接头

砂带接头部位要求可靠、不易剥落、要柔软及具有较好的耐油、耐湿性能。常用接头方法有: 搭接法、对接法、S形对接法和嵌套接法。见图 1.3-8。

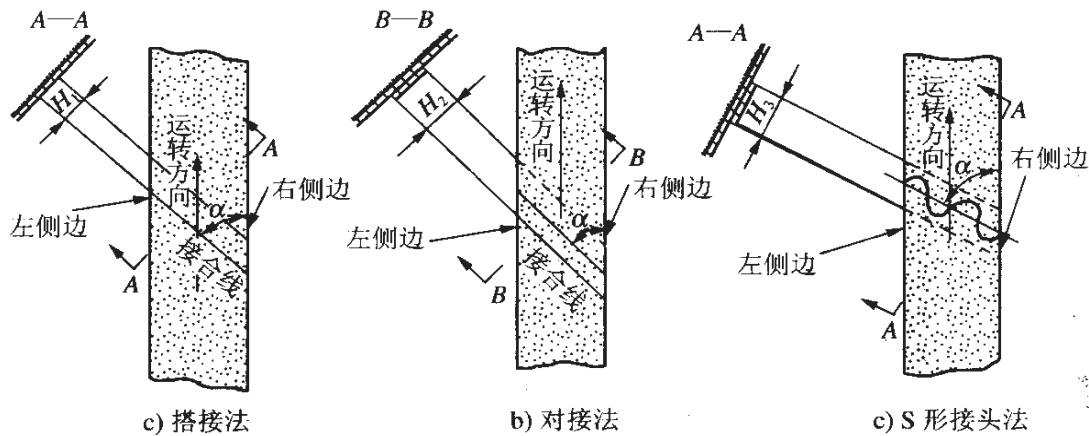


图 1.3-8 砂带接头形式

其中搭接法与对接法应用广泛,其特点是接缝与有侧边之夹角 α 为 $45^\circ \sim 85^\circ$ 。接缝宽度: 搭接法(图 13-8 a)) $H_1 \leq 12 \text{ mm}$, 对接法(图 13-8 b)) $H_2 \leq 20 \text{ mm}$ 。S形对接法(图 13-8 c)),其接头形状呈 S形,接头强度高,一般不易断裂,接头处柔软,故砂带寿命较长, $H_3 \leq 40 \text{ mm}$ 。

除上述几种方法外,还有焊接法(图 1.3-9),一般以尼龙聚酰胺作焊接材料,加热至液态,浇注到接口处,并在热压机上压合。

砂带的各种连接,均由砂带生产厂家完成。接头厚度允差见表 1.3-66。

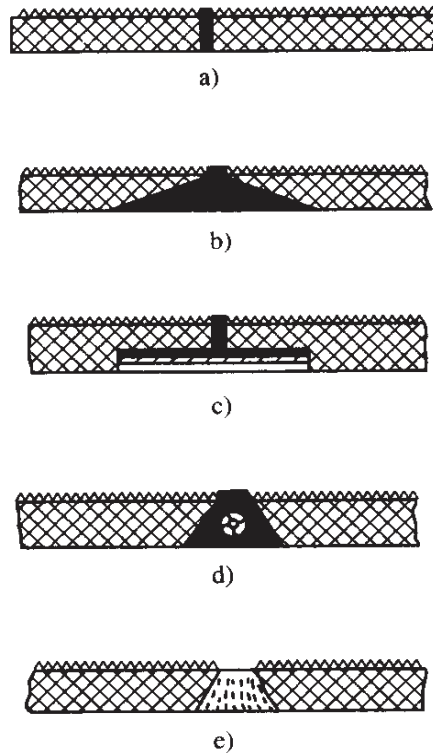


图 1.3-9 焊接接头法

表 1.3-66 接头厚度允差(JB/T8606—1997)

| 砂带种类 | 布砂带 | | | 纸砂带 | | 多接头 纸砂带 | 复合基 砂带 | 多接头复 合基砂带 |
|----------------|-------|----|----|-------|-----|------------|-----------|--------------|
| | H布 | M布 | L布 | C型纸 | E型纸 | E型纸 | 复合基 | 复合基 |
| 接头厚度允差 (mm) | ≤0.15 | | | ≤0.10 | | ≤0.10 | ≤0.15 | ≤0.15 |

第四节 常用磨床和磨床夹具

一、磨床的技术参数及加工精度和磨床保养

(一) 磨床的技术参数及加工精度

1. 外圆磨床

表 1.4-1 外圆磨床

| 型号 | 技术参数 | | | | | | | | | | 加工精度 | | 电动机总功率 (kW) | 备注 |
|----------|-----------|-----------|----------|---------|----------|---------|-----------------|-----------------|----------|-------------|------|--|-------------|----|
| | 磨削直径 (mm) | 磨削长度 (mm) | 中心高 (mm) | 回转角度 | | | 砂轮最大外径×宽度 (mm) | 圆度 (mm) | 圆柱度 (mm) | 粗糙度 Ra (μm) | | | | |
| | | | | 工作台 (°) | 头架 (°) | 砂轮架 (°) | | | | | | | | |
| M135 | 2~50 | 250 | 90 | +7, -3 | | 360 | 250×25 | 0.003 0.006 | 0.4 | 3.475 | | | | |
| MMB1312 | 5~125 | 250 | 90 | ±10 | +10, -90 | 360 | 300× (10~40) | 0.001 0.003 | 0.05 | 3.475 | | | | |
| MBS1320E | 5~200 | 500 | 125 | +9, -9 | | | 400× (32~50) | 0.0015 0.005 | 0.32 | 4.975 | | | | |
| | | 750 | | +8, -8 | | | | | | | | | | |
| | | 1000 | | +3, -7 | | | | | | | | | | |
| MBS1332E | 5~320 | 500 | 180 | +9, -9 | | | 500× (32~75) | 0.0015 0.005 | 0.32 | 4.975 | | | | |
| | | 750 | | +8, -8 | | | | | | | | | | |
| | | 1000 | | +3, -7 | | | | | | | | | | |
| MQ1350A | 25~500 | 1000 | 270 | +4, -7 | | | 750×75 | 0.005 0.008 | 0.4 | 20.22 | | | | |
| | | 1500 | | +3, -6 | | | | | | | | | | |
| | | 2000 | | +2, -5 | | | | | | | | | | |
| | | 3000 | | +3, -2 | | | | | | | | | | |

续表

| 型号 | 技术参数 | | | | | | | 加工精度 | | 电动机总功率 (kW) | 备注 |
|---------|-----------|--------------|----------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------|-----------------|-----------------------------|-------------|----|
| | 磨削直径 (mm) | 磨削长度 (mm) | 中心高 (mm) | 回转角度 | | | 砂轮最大外径×宽度 (mm) | 圆度圆柱度 (mm) | 粗糙度 R_a (μm) | | |
| M1380A | 100~800 | 5 000 | 410 | 工作台 ($^{\circ}$) | 头架 ($^{\circ}$) | 砂轮架 ($^{\circ}$) | 750×75 | 0.005 | 0.4 | 45 | |
| MKS1312 | 125 max | 250 | 100 | | | | 300×40 | 0.0015 | 0.2 | 10 | 数控 |
| | | 350 | | | | | | 0.003 | | | |
| | | 500 | | | | | | | | | |
| MKS1320 | 200 max | 500 | 125 | | | | 500×80 | 0.0015 | 0.32 | 8.75 | 数控 |
| | | 750 | | | | | | 0.005 | | | |
| | | 1 000 | | | | | | | | | |
| MKS1332 | 320 max | 750 1 000 | 180 | | | | 600×80 | 0.0015 0.005 | 0.32 | 10.75 | 数控 |

2. 万能磨床

表 1.4-2 万能磨床

| 型号 | 技术参数 | | | | | | | | | | 加工精度 | | 电动机总功率 (kW) | 备注 |
|---------|----------------------|-----------------------|-------------|---------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|-----------------|---|-------|------|--|-------------|----|
| | 磨削直径 外圆内孔 (mm) | 磨削长度 外圆内孔 (mm) | 中心高 (mm) | 回转角度 | | | 砂轮最大 外径×宽 度(mm) | 圆度 (mm) | 粗糙度 R_a 外圆内孔 (μm) | | | | | |
| | | | | 工作台 ($^\circ$) | 头架 ($^\circ$) | 砂轮架 ($^\circ$) | | | | | | | | |
| MGB1412 | 5~125 10~40 | 250 50 | 90 | ± 10 | +10, -90 | ± 180 | 300× (10~40) | 0.0005 0.002 | 0.012 0.05 | 4.125 | | | | |
| M114W | 4~140 10~25 | 180 50 | 80 | +7, -5 | +30, -90 | ± 180 | 250×20 | 0.003 0.006 | 0.4 0.8 | 2.595 | | | | |
| M120W | 7~200 18~50 | 500 75 | 110 | +7, -6 | +30, -90 | ± 180 | 300×40 | 0.003 0.006 | 0.4 0.8 | 4.525 | | | | |
| M131W | 8~315 13~125 | 1000 125 | 170 | +3, -6 | +30, -90 | ± 30 | 400×50 | 0.003 0.006 | 0.4 0.8 | 3.5 | | | | |
| M1420 | 8~200 13~100 | 500, 750, 1000 100 | 135 | +3, -9 | -90 | ± 90 | 400×50 | 0.003 0.006 | 0.4 0.8 | 4.98 | | | | |

续表

| 型号 | 技术参数数 | | | | | | | 加工精度 | | 电动机总功率(kW) | 备注 | |
|---------|----------------------|----------------------|-------------|------------|----------|-----------|------------|-----------------------|-------------------|--------------|-------|---|
| | 磨削直径 外圆内孔 (mm) | 磨削长度 外圆内孔 (mm) | 中心高 (mm) | 工作台 (°) | 回 (°) | 头架 (°) | 砂轮架 (°) | 砂轮最大 外径×宽 度(mm) | 圆度 圆柱度 (mm) | | | 粗糙度 R_a 外圆内孔 (μm) |
| MB1420E | 5~200 13~80 | 500,750,1000 | 125 | ±9 | | | | 400× (32~50) | 0.0015 0.005 | 0.32 0.63 | 5.525 | |
| M1432A | 8~320 13~100 | 1000,1500 125 | 180 | +3 -6 | +90 | ±30 | | 400×50 | 0.003 0.008 | 0.4 0.8 | 6.77 | |
| MB1432E | 5~320 16~125 | 500,750,1000 | 180 | ±9 | | | | 400× (32~50) | 0.0015 0.005 | 0.32 0.63 | 5.525 | |
| M1450A | 25~500 30~200 | 1500 400 | 270 | +2,-9 | -90 | ±30 | | 500×75 | 0.005 0.008 | 0.4 0.8 | 8.1 | |
| HJ057 | 20~160 20~100 | 200 150 | 200 | | | | | 400×50 | 0.004 0.004 | 0.32 0.63 | | 数控 |

3. 端面外圆磨床

表 1.4-3 端面外圆磨床

| 型号 | 技术参数 | | | | | | 加工精度 | | | 电动机总功率 (kW) | 备注 |
|----------|-----------|-----------|----------|-------------|----------------|----------------|----------|---------|--------|-------------|----|
| | 磨削直径 (mm) | 磨削长度 (mm) | 中心高 (mm) | 工作台回转角度 (°) | 砂轮最大外径×宽度 (mm) | 圆度 (mm) | 表面粗糙度 Ra | | | | |
| | | | | | | | 外圆 (μm) | 端面 (μm) | | | |
| MB1620 | 80 | 500 | 135 | | 750×100 | 0.005 | 0.8 | 1.6 | 18 | | |
| MB1632 | 10~320 | 500 | 180 | +3, -6 | 600×100 | 0.003 | 0.8 | 1.6 | 14.82 | | |
| | | 1000 | 180 | | | 0.006 | | | | | |
| MBS1632C | 15~320 | 500 | 180 | +3, -6 | 750×75 | 0.003 | 0.4 | 0.8 | 18.255 | | |
| | | 1000 | 180 | | | 0.006 | | | | | |
| MQ1650A | 25~500 | 1500 | 270 | +3, -6 | 750×75 | 0.005 0.008 | 0.4 | 1.6 | 20.22 | | |
| MBS1732 | 10~320 | 1000 | 180 | +3, -6 | 600×110 | 0.008 | 0.8 | 1.6 | 40.19 | | |
| | | 750 | 180 | | | 0.008 | | | | | |
| MKS1620 | 200 max | 500 | 125 | | 600×125 | 0.0015 | 0.32 | 0.8 | 14.25 | 数控 | |
| | | 750 | 125 | 0.005 | | | | | | | |
| MKS1632 | 320 max | 750 | 180 | | 750×80 | 0.0015 | 0.32 | 0.8 | 14.25 | 数控 | |
| | | 1000 | 180 | 0.005 | | | | | | | |

4. 无心磨床

表 1.4-4 无心磨床

| 型号 | 技术参数 | | | | | | | | | | | | 加工精度 | | 电动机 总功率 (kW) | 备注 |
|---------|--------------|-----|--------------|-----|--------------|-----|-------------------|-----|---------------------|-----------------|--------------|-------------------|--------------------------------------|-------|--------------------|----|
| | 磨削尺寸 (mm) | | 砂轮尺寸 (mm) | | 导轮尺寸 (mm) | | 导轮回 转角度 (°) | | 砂轮 转速 (r/min) | 导轮转速 (r/min) | | 圆度 圆柱度 (mm) | 表面 粗糙度 Ra (μm) | | | |
| | 直径 | 长度 | 直径 | 宽度 | 直径 | 宽度 | 垂直 | 水平 | | 工作时 | 修整时 | | | | | |
| | | | | | | | | | 0.5~ 20 | | | 80 | 300 | 100 | | |
| M1020 | | | | | | | | | | | | 0.002 0.002 | 0.4 | 5.35 | | |
| M1040 | 2~40 | 140 | 350 | 125 | 250 | 250 | 125 | 250 | 125 | 250 | 125 | 0.002 0.004 | 0.4 | 8.9 | | |
| MGT1050 | 2~50 | 80 | 450 | 150 | 350 | 350 | 225 | 225 | 0~ +5 | 790 | 15~130 无级 | 0.0006 0.0015 | 0.1 | 13.1 | | |
| M1080A | 5~80 | 200 | 500 | 150 | 300 | 300 | 150 | 150 | 0~ +3 | 1340 | 13~100 无级 | 0.002 0.004 | 0.4 | 14.5 | | |
| M1083A | 10~ 150 | 250 | 600 | 200 | 350 | 350 | 200 | 200 | -2~ +5 | 1050~ 1150 | 7~38 | 0.0025 0.005 | 0.4 | 19.13 | | |
| MG10200 | 10~ 200 | 300 | 600 | 300 | 480 | 480 | 380 | 380 | -2~ +3 | 970 | 12~120 无级 | 0.0012 0.0025 | 0.2 | 24.12 | | |
| M11200 | 10~ 200 | 300 | 500 | 600 | 350 | 350 | 600 | 600 | 0~ +3 | 1330 | 12~200 无级 | 0.0025 0.005 | 0.8 | 41.22 | 宽砂轮 | |

5. 内圆磨床

表 1.4-5 内圆磨床

| 型号 | 技术参数 | | | | | | 加工精度 | | | 电动机总功率 (kW) |
|---------|-----------|-----|---------------|-----|--------------|----------------|--------------------|---------------------|------------------------------|-------------|
| | 磨削尺寸 (mm) | | 工件最大回转直径 (mm) | | 主轴最大回转角度 (°) | 工件转数级数 (r/min) | 砂轮转数级数 (r/min) | 圆度 (mm) | 表面粗糙度 Ra (μm) | |
| | 直径 | 孔深 | 罩内 | 无罩 | | | | | | |
| M2110A | 6~100 | 130 | 240 | 500 | 8 | 200~600 3 | 14 400~24 000 3 | 0.006 0.005/300 | 0.4 | 5 |
| MGD2110 | 10~100 | 125 | 240 | 420 | 30 | 50~500 无级 | 8 000~18 000 4 | 0.001 0.003/300 | 0.1 0.2 端面 | 7.54 |
| M2120 | 50~200 | 200 | 450 | 650 | 30 | 120~650 无级 | 4 000~11 000 5 | 0.006 0.005/300 | 0.4 | 7.09 |
| MGD2120 | 30~200 | 200 | 320 | 530 | 30 | 20~200 | 3 000~12 000 | 0.0015 0.003/300 | 0.2 | 9.69 |
| M250A | 150~500 | 450 | 510 | 725 | 20 | 28~320 6 | 2 450~4 200 2 | 0.010 0.010/300 | 0.4 | 8.92 |

6. 立轴矩台平面磨床

表 1.4-6 立轴矩台平面磨床

| 型号 | 技 术 参 数 | | | | | | | | | | 加 工 精 度 | | 电动机 总功率 (kW) | | |
|---------|---------------|-------------------|---------------------|---------------------|------------|------------|---------------------|------------|------------|-------------------|---------------------|----------------------------|--------------------|-------------|--------------------------------------|
| | 工作台 尺寸 | | 加工范围 | | 砂轮尺寸 | | 砂轮 转数 (r/min) | 工作台 行程 | | 磨头移 动量 | | 砂轮底面 至工作台 距离 (mm) | | 平行度 (mm) | 表面 粗糙度 Ra (μm) |
| | 宽×长 (mm) | 长×宽 ×高 (mm) | 外径×宽 ×内径 (mm) | 砂轮 转数 (r/min) | 纵向 (mm) | 横向 (mm) | | 垂直 (mm) | 横向 (mm) | | | | | | |
| | | | | | | | 宽×长 (mm) | | | 长×宽 ×高 (mm) | 外径×宽 ×内径 (mm) | 砂轮 转数 (r/min) | | 纵向 (mm) | 横向 (mm) |
| M7232B | 320× 1 250 | 1 250×320 ×400 | 85×150×20 6 块 | 970 | 1 400 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 300 : 0.005 | 1.6 | 24 |
| MM7135A | 350× 1 200 | 1 200×350 ×400 | 350×40×127 | 1 440 | 1 400 | 455 | 455 | 455 | 455 | 455 | 455 | 100~ 550 | 1 000 : 0.01 | 0.1 | 8.41 |
| HZ-0.14 | 500× 1 600 | 1 600×500 ×500 | 250×11×75 | 1 000 3 000 | 1 750 | 500 | 465 | 465 | 465 | 465 | 465 | 200~ 665 | 1 000 : 0.01 | 0.2 | 9 |

7. 卧轴矩台平面磨床

表 1.4-7 卧轴矩台平面磨床

| 型号 | 技术参数 | | | | | | | | | | 加工精度 | | | 电动机总功率 (kW) | |
|---------|-----------|--|---------------|--|--------------|--|----------------|-----------|---------|---------|---------|-----------------|-------------|-------------|---------------|
| | 工作台尺寸 | | 加工范围 | | 砂轮尺寸 | | 砂轮转数 (r/min) | 工作台行程 | | 磨头移动量 | | 磨头中心至工作台距离 (mm) | 平行度 (mm) | | 表面粗糙度 Ra (μm) |
| | 宽×长 (mm) | | 长×宽×高 (mm) | | 外径×宽×内径 (mm) | | | 纵向 (mm) | 横向 (mm) | 垂直 (mm) | 横向 (mm) | | | | |
| MM7112 | 125×350 | | 350×125×300 | | 200×20×75 | | 2 810 | 380 | 170 | 330 | | 70~400 | 1 000±0.01 | 0.4 | 2.625 |
| M7120A | 200×630 | | 630×200×320 | | 250×25×75 | | 1 500 3 000 | 780 | | 345 | 250 | 100~445 | 500±0.005 | 0.4 | 4.225 |
| MM7120A | 200×630 | | 630×200×320 | | 250×25×75 | | 1 500 3 000 | 800 | 220 | 360 | | 85~445 | 1 000±0.01 | 0.2 | 5.447 |
| MM7125 | 250×630 | | 630×250×400 | | 300×40×75 | | 1 440 2 880 | 920 | 310 | 450 | | 100~550 | 1 000±0.01 | 0.4 | 7.3 |
| M7130 | 300×1 000 | | 1 600×300×400 | | 350×40×127 | | 1 500 | 200~1 650 | | 400 | 350 | 135~575 | 1 000±0.015 | 0.8 | 7.625 |
| M7132B | 320×1 000 | | 1 000×320×400 | | 400×40×127 | | 1 450 | 1 000 | | 440 | 370 | 600 max | 1 000±0.005 | 0.4 | 9.5 |
| M7140 | 400×800 | | 800×400×355 | | 350×40×127 | | 1 460 | 920 | 450 | 420 | | 110~530 | 1 000±0.01 | 0.4 | 7.08 |
| M7150A | 500×2 000 | | 2 000×500×600 | | 500×63×305 | | 1 450 | 2 200 | | 630 | 580 | 220~850 | 2 000±0.04 | 0.8 | 23.925 |
| MY7160A | 600×1 050 | | 1 050×600×560 | | 400×50×127 | | 1 440 | 1 100 | | 610 | 670 | 760 max | 300±0.005 | 0.63 | 15.36 |

8. 齿轮磨床

表 1.4-8 齿轮磨床

| 型号 | 技术参数 | | | | | | | 电动机总功率 (kW) | 备注 |
|---------|-------------------------|--------------|--------------|--------|------------|------------|-----------------|-------------|-------|
| | 加工最大直径 ×最大模数 (mm) | 加工宽度 (mm) | 加工螺旋角 (°) | 加工齿数 | 工作台最大行程 | | 头架展成 (次/min) | | |
| | | | | | 纵向 (mm) | 横向 (mm) | | | |
| YS7332 | 320×6 | 100 | 0 | 8~120 | 780 | 250 | | 5.3 | 成形砂轮 |
| Y7132A | 320×6 | 100 | ±45 | 9~120 | 150 | 120 | | 4.6 | 锥砂轮 |
| YC7150 | 500×12 | 150 | ±45 | 12~140 | | | 70~240 | 7.5 | |
| Y7032A | 320×12 | 190 | ±45 | 5~180 | | | | | 碟形双砂轮 |
| Y7125 | 250×8 | 50 | ±45 | 8~120 | 190 | 160 | | 3.2 | 大平面砂轮 |
| YT7432 | 320×16 | 110 | ±35 | 12~160 | 120 | 190 | | 4.1 | |
| Y7215 | 150×1.5 | 75 | 0 | 12~180 | 100 | 30 | | 1.7 | 蜗杆砂轮 |
| YA7232A | 320×5 | 100 | ±45 | 13~246 | 120 | | | 12.6 | |

9. 螺纹磨床

表 1.4-9 螺纹磨床

| 型号 | 技 术 参 数 | | | | | | 电动机 总功率 (kW) | |
|--------|-------------|-------------|-------------------------|---------------|--------------|------------|--------------------|-------|
| | 中心高 (mm) | 中心距 (mm) | 最大安装尺寸 直径×长度 (mm) | 加工螺纹尺寸 | | 工作精 度等级 | | |
| | | | | 直径×长度 (mm) | 英制 (牙/in) | | | |
| SB7320 | 120 | 750 | 200×750 | (2~150)×480 | 0.25~24 | 2~28 | 6~7 | 4.43 |
| S7332 | 170 | 1000 | 320×1000 | (6~320)×1000 | 1~40 | 1~14 | 6 | 8.71 |
| SB7520 | 120 | 750 | 200×750 | (20~200)×500 | 0.25~4 | 2~28 | 6 | 11.61 |
| SB7620 | 200 | | 260×200 | (25~200)×125 | 1~24 | 3~20 | 6 | 4.11 |

10. 万能工具磨床

表 1.4-10 万能工具磨床

| 型号 | 技 术 参 数 | | | | | | | | 电动机 总功率 (kW) | | |
|--------|----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|------|
| | 工件最大 回转直径 (mm) | 前后顶 尖距 (mm) | 工 作 台 | | 磨 头 | | | 砂轮 转速 (r/min) | | | |
| | | | 台面尺寸 (长×宽) (mm) | 最大移 动量 (mm) | 最大回 转角 (°) | 最大横向 移动量 (mm) | 最大垂直 移动量 (mm) | | | 最大回转角 水平面垂直平面 (°) | |
| M6025C | 200 | 630 | 940×135 | 400 | ±60 | 230 | 205 | 360 | ±15 | 3000 6000 | 1.45 |
| MA6032 | 350 620 | 450 710 | | 190 330 | 360 | 330 | 320 | 360 | 360 | 2000~ 10000 | 1.1 |

11. 滚刀刃磨磨床

表 1.4-11 滚刀刃磨磨床

| 型号 | 技 术 参 数 | | | | | | | | | | 电动机总功率 (kW) | 刃磨滚刀精度 | 备注 | |
|-----------|-------------|---------------|-----------------|--------------|--------------|-------------|------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------|-------------|-------------|
| | 刃磨滚刀直径 (mm) | 刃磨滚刀最大长度 (mm) | 滚刀容屑槽数 | 滚刀容屑槽导程 (mm) | 滚刀容屑槽螺旋角 (°) | 滚刀最大齿深 (mm) | 砂轮升降量 (mm) | 砂轮最大线速 (m/s) | 滚刀最大齿深 (mm) | 滚刀容屑槽螺旋角 (°) | | | | 滚刀最大齿深 (mm) |
| M6240D | 50~200 | 200 | 8,9,10,12,14 | 1000~∞ | ±10 | | 80 | 30 | | | | 2.75 | | |
| MG6425A | 50~250 | 295 | 8,9,10,12,14,16 | 1500~∞ | ±10 | | | 35 | | | | 7.82 | GB6084 AA级 | |
| HSP250CNC | 250 max | | 1~99 | 300~∞ | ±30 | 60 | | 35 | | | | 12 | DIN3968 AA级 | 数控 |

12. 中心孔磨床

表 1.4-12 中心孔磨床

| 型号 | 技 术 参 数 | | | | | | | | | | 电动机总功率 (kW) |
|--------|-----------|-----------|------------|----------|----------------|-------------|----------|----------|---------------|-------------|-------------|
| | 加工范围 | | | 加工精度 | | | 加工精度 | | | | |
| | 工件直径 (mm) | 工件长度 (mm) | 中心距直径 (mm) | 圆锥角度 (°) | 头架转速 (r/min) | 砂轮往复行程 (mm) | 同轴度 (mm) | 锥度误差 (′) | 表面粗糙度 Ra (μm) | 电动机总功率 (kW) | |
| 2M8015 | 8~150 | 50~1000 | 1.5~60 | 60 | 13000 22500 | 0.75~3 | 0.0025 | 4 | 0.8 | 1.14 | |
| 2M8020 | 200 | 1500 | 3~60 | 60 | 48 | 150 | 0.002 | 3 | 0.8 | 1.15 | |

13. 坐标磨床

表 1.4 - 13 坐标磨床

| 型号 | 技术参数 | | | | | | | 加工精度 | | 电动机总功率 (kW) |
|---------|----------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|------------|------------|--------------|----------------------------------|-------------|
| | 工作台尺寸 宽×长 (mm) | 最大磨孔 直径 (mm) | 主轴中心至 工作台面距离 (mm) | 主轴端面至 工作台面距离 (mm) | 主轴转速 (r/min) | 工作台行程 | | 坐标精度 (mm) | 表面粗糙度 Ra (μm) | |
| | | | | | | 纵向 (mm) | 横向 (mm) | | | |
| MG2920B | 200×400 | 15 | 230 | 30~400 | 20~300 | 250 | 160 | 0.002 | 0.2 | |
| MG2932B | 320×600 | 100 | 320 | 50~520 | 20~300 | 400 | 250 | 0.002 | 0.2 | 3.17 |
| MK2940 | 400×700 | 100 | 450 | 470 | 10~500 | 500 | 300 | 0.001 | 0.8 | |
| MG2945B | 450×700 | 250 | 650 | 80~600 | 20~300 | 600 | 400 | 0.003 | 0.2 | 7.02 |

14. 导轨磨床

表 1.4-14 导轨磨床

| 型号 | 技 术 参 数 | | | | | | 加 工 精 度 | | | 电动机 总功率 (kW) | |
|----------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------------------------|
| | 最大磨削尺寸 | | 卧磨头 | | 立磨头 | | 工作速度 (m/min) | 平直度 (mm) | 垂直度 (mm) | | 表面粗 糙度 Ra (μm) |
| | 宽×长×高 (mm) | 垂直 行程 (mm) | 砂轮外径× 宽×内径 (mm) | 垂直 行程 (mm) | 回 转 角 度 ($^{\circ}$) | 机 架 垂 直 行 程 (mm) | | | | | |
| M50100 | 1 000×3 000 ×1 450 | 300 | 300×50×75 | 140 | +180 -180 | 300 | 2~10 | 1 000 : 0.01 | 1 000 : 0.01 | 1.6 | 18.82 |
| MM52125A | 1 000×4 000 ×1 250 | 150 | 600×100×305 | 700 | +100 -60 | 1 250 | 3~35 | 1 000 : 0.01 | 1 000 : 0.005 | 平面 0.4 斜面 0.8 | 65.44 |
| MM52160A | 1 600×8 000 ×1 250 | 200 | 600×100×305 | 700 | +110 -110 | 1 250 | 3~25 | 1 000 : 0.005 | 1 000 : 0.005 | 平面 0.4 斜面 0.8 | 60 |

15. 立式珩磨机床

表 1.4-15 立式珩磨机床

| 型号 | 技 术 参 数 | | | | | | | | | | 加工精度 | | 电动机 总功率 (kW) |
|---------|--------------|--------------|------------------------|--------------------------|------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|----------------|-------------|--------------------------------------|-------|--------------------|
| | 加工范围 | | 主轴下端至 工作台距 离(mm) | 主轴中心至 立柱前表面 距离(mm) | 行程 长度 (mm) | 往复速度 (m/min) (6级) | 主轴转速 (r/min) | 工作台尺寸 长×宽 (mm) | 圆度 (mm) | 圆柱度 (mm) | 表面粗 糙度 R_a (μm) | | |
| | 珩磨直径 (mm) | 珩磨深度 (mm) | | | | | | | | | | | |
| M422 | 5~20 | 50 | 350 | 170 | 40 | 180~600次 (6级) | 490~ 2000 | 160×240 | 0.002 0.002 | 0.2 | 0.2 | 1.775 | |
| M425B | 10~50 | 120 | 662 | 200 | 100 | 62~365次 (8级) | 200~ 1200 | 250×350 | 0.004 0.004 | 0.2 | 0.2 | 3.875 | |
| M425×32 | 10~50 | 320 | 880 | 200 | 400 | 3~18 | 180~ 1000 | φ500 | 0.003 0.005 | 0.2 | 0.2 | 3.945 | |
| M428 | 20~80 | 250 | 480~1030 | 260 | 350 | 3~16 | 50~500 | 1050×550 | 0.005 0.010 | 0.4 | 0.4 | 7.125 | |
| M4210 | 30~100 | 320 | 845 | 350 | 320 | 3~18 | 140~400 | 1100×480 | 0.005 0.008 | 0.4 | 0.4 | 4.525 | |
| MB4215 | 50~150 | 400 | 1370 | 350 | 550 | 3~23 | 80~315 | φ750 | 0.005 0.010 | 0.4 | 0.4 | 13.12 | |

续表

| 型号 | 技术参数 | | | | | | | | | | 加工精度 | | | 电动机总功率 (kW) |
|--------|-----------|-----------|------------------|-------------------|-----------|--------------|------------------|-----------------|----------------|----------|-------------------------------|-------|--|-------------|
| | 加工范围 | | 主轴下端至工作台面距离 (mm) | 主轴中心至立柱前表面距离 (mm) | 行程长度 (mm) | 往复速度 (m/min) | 主轴转速 (r/min) | 工作台尺寸长×宽 (mm) | 圆度 (mm) | 圆柱度 (mm) | 表面粗糙度 R_a (μm) | | | |
| | 珩磨直径 (mm) | 珩磨深度 (mm) | | | | | | | | | | | | |
| MB4220 | 50~200 | 1 000 | 2 063 | 370 | 1 150 | 3~23 | 63~250 | 1 250×500 | 0.005 0.010 | 0.4 | 0.4 | 15.3 | | |
| MA4216 | 80~160 | 400 | 640~1 070 | 300 | 430 | 7.5 | 125, 185, 259 | 1 000×450 | 0.005 0.010 | 0.4 | 0.4 | 4.125 | | |
| MB4225 | 50~250 | 1 600 | 2 648 | 370 | 1 800 | 3~20 | 50~315 | 1 250×630 | 0.008 0.012 | 0.4 | 0.4 | 20.68 | | |
| M4250A | 120~500 | 1 500 | 2 860~ 4 610 | 550 | 1 750 | 0~15 | 16~125 | 1 000× 1 000 | 0.010 0.010 | 0.8 | 0.8 | 22.68 | | |

16. 卧式深孔珩磨机

表 1.4-16 卧式深孔珩磨机

| 型号 | 技 术 参 数 | | | | | | | | | | 电动机 总功率 (kW) |
|--------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------|--------|--------------------|
| | 最大珩磨长 度×直径 (mm) | 卡盘夹持 工件直径 (mm) | 中心架支持 工件直径 (mm) | 床头主轴 转速 (r/min) | 磨杆箱主 轴转速 (r/min) | 拖板往复运动 | | 拖板往复牵引力 | | | |
| | | | | | | 向前速度 (m/min) | 向后速度 (m/min) | 向前 (N) | 向后 (N) | | |
| M4110 | 1 000×200 | 50~250 | 50~250 | 40.5~625 | | 0~18.5 | 0~15.7 | 13 540 | 15 800 | 21.125 | |
| M4120 | 2 000×200 | 50~250 | 50~250 | 40.5~625 | | 0~18.5 | 0~15.7 | 13 540 | 15 800 | 21.125 | |
| M4120A | 2 000×200 | 50~250 | 50~250 | 40.5~625 | 25~127 | 0~18.5 | 0~15.7 | 13 540 | 15 800 | 22.125 | |
| M4130 | 3 000×200 | 50~250 | 50~250 | 40.5~625 | | 0~19.5 | 0~15.7 | 12 750 | 15 800 | 21.125 | |
| M4130A | 3 000×200 | 50~250 | 50~250 | 40.5~625 | 25~127 | 0~19.5 | 0~15.7 | 12 750 | 15 800 | 22.625 | |

17. 双盘研磨机

表 1.4-17 双盘研磨机

| 型号 | 技术参数 | | | | 加工精度 | | 电动机总功率 (kW) |
|---------|--------------------|-----------------|-------------|--------------|----------------------------|-------------------------------|-------------|
| | 研磨工件最大尺寸直径×长度 (mm) | 研磨盘尺寸外径×内径 (mm) | 研磨盘转速 | | 圆柱度平行度 (mm) | 表面粗糙度 R_a (μm) | |
| | | | 上盘 (r/min) | 下盘 (r/min) | | | |
| M4340 | 80×50 | 400×240 | 71 | 72 | 0.002 0.002 | 0.2~0.05 | 3.525 |
| MB4363B | 160×100 | 630×305 | 49,61,120 | 22,44,55,110 | 0.001~0.002 0.001~0.002 | 0.2~0.05 | 7.5 |
| MB43100 | 275×100 | 1000×450 | 25,50,40,80 | 25,50,42,80 | 0.002 0.002 | 0.4 | 13.21 |

18. 外圆研磨机

表 1.4 - 18 外圆研磨机

| 型号 | 技术参数 | | | | | | 加工精度 | | 电动机总功率 (kW) |
|-------|----------------|---------|---------|----------------|---------|-------------|---------------|----------------------------|-------------|
| | 最大研磨直径×长度 (mm) | 加工范围 | | 主轴中心离地面高度 (mm) | 主 轴 转 速 | | 表面粗糙度 Ra (μm) | | |
| | | 直径 (mm) | 长度 (mm) | | 级数 | 转 速 (r/min) | | | |
| | | | | | | | | 270,576,603,1060,1276,2436 | |
| M4515 | 15×80 | 4~15 | 80 | 900 | 6 | 0.05 | 0.6 | | |

19. 立式内、外圆研磨机

表 1.4 - 19 立式内、外圆研磨机

| 型号 | 技术参数 | | | | | | | | 加工精度 | | 电动机总功率 (kW) |
|-----------|----------------|-----------|------------|----------------|--------------|-----------|-----------|----------------|---------|---------------|-------------|
| | 最大研磨直径×长度 (mm) | 主 轴 | | | 往复速度 (次/min) | 工 作 台 | | | 圆度 (mm) | 表面粗糙度 Ra (μm) | |
| | | 往复行程 (mm) | 转速 (r/min) | 往复行程 (mm) | | 快速行程 (mm) | 慢速行程 (mm) | 工进慢速度 (mm/min) | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| SS2-002 | 10×50 | 0~50 | 370~990 | 80~180 (次/min) | 130~180 | 0~50 | 8 | 0.0010 | 0.05 | 2.3 | |
| MA45150 | 150×370 | 370 | 32,52 | 5~24 (m/min) | | | | 0.0010 | 0.05 | 7 | |
| MA45150/3 | 150×370 | 370 | 20,33 | 5~24 (m/min) | | | | 0.0010 | 0.05 | 7 | |

(二) 磨床保养

机床的保养是一项非常重要的工作,做好机床的保养工作,可以使机床保持完好的工作状态,并减少机床的使用费用。

(1) 机床完好的十项标准:

① 精度、技术性能满足生产工艺要求,机床的各项精度指标保持机床的出厂标准。

② 各传动系统运转正常,变速齐全。

③ 各操作系统动作灵敏可靠。

④ 润滑系统装置齐全,管道完整,油路畅通,油标醒目,使用的油料符合要求。

⑤ 电气系统装置齐全,管线完整,性能安全可靠。

⑥ 所有滑动部位运动正常,各滑动导轨部位无碰伤。

⑦ 机床内外清洁,无油垢,无锈蚀。

⑧ 无漏油、漏水和漏气的现象。

⑨ 零部件完整,机床附件齐全。

⑩ 安全、防护装置齐全可靠。

(2) 日常保养工作内容:

① 了解机床的性能、规格,各操纵手柄功用和操纵要求,正确地使用机床。

② 开动机床前,应首先检查机床各部位是否有故障,并对机床有关部位进行润滑。

③ 在操作过程中,对导轨、丝杆等关键部位,要严防垃圾入内,预防拉毛。在工作台上调整尾架位置时,必须先将台面擦干净,并涂上一层润滑油,然后再移动部件。

④ 不能用铁锤等物敲打机床部件,避免损伤机床和影响机床精度。

⑤ 装卸较大的工件时,要在工作台的台面上铺垫木板,防止工件碰伤工作台面。

⑥ 选择磨削用量时要在机床的允许范围内,严禁超范围使用。

⑦ 机床工作时,必须注意砂轮主轴轴承的温度,如发现温度过高,立即停车检查原因。

⑧ 离开机床时必须停车,避免机床因无人控制发生事故。

⑨ 工作时注意不使工件、工具等物件碰撞机床外部的油漆表面,保持机床的外形完好。

⑩ 工作完毕后,必须清除机床上的磨屑和切削液,将工作台面、导轨面等仔细擦拭干净,再涂上一层薄薄的润滑油。

⑪ 必须注意对机床各部件的保养,以免锈蚀损坏。

(3) 除日常维护之外,还要按一定的期限对机床作全面的维护保养。设备累计运行 500 小时要进行一次一级保养。一级保养以操作工人为主,维修工人为辅,对设备进行局部解体和检查,清洗所规定的部位,疏通油路,调整设备各部位的配合间隙等。设备累计运转 2 500 小时后要进行一次二级保养。二级保养以维修工人为主,操作工人为辅,对设备进行部分解体和检查修理,局部恢复精度。

(4) 机床的润滑。润滑是机床的维护保养工作的重要内容之一。正确的润滑使机床处于良好的工作状态,可以减少机件磨损,保持机床精度。同时可以使操纵轻便。润滑不良是造成机床故障的主要原因之一。

为了达到良好的润滑目的,应根据机床说明书的规定选用不同的润滑油。不同的润滑油具有不同的黏度和润滑性能,适合不同的工作条件,要正确使用。

二、磨床夹具

(一) 磨床通用夹具

1. 顶尖和夹头

顶尖和夹头通常配套使用,其用途十分广泛,是用于磨削各种轴类零件时最常用且精度较高的装夹方法。顶尖有高速钢顶尖和镶硬质合金顶尖,前者常用于一般硬度的工件,后者常用于淬火后

的工件。在单件生产时,夹头一般选用商品鸡心夹头,在批量生产中,往往根据工件被夹持部位的尺寸设计成专用夹头,这样使用起来更快捷。在工件被夹持部位是花键时,这种专用夹头的内孔设计成花键孔以直接拨动工件(图 1.4-1)。

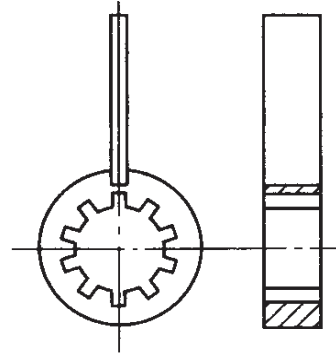


图 1.4-1 专用夹头

2. 心轴

常用于在外圆磨床或万能磨床上磨削以孔或孔与端面为基准的盘类和套筒类工件的外圆及端面,以保证工件外圆与内孔的同轴度及与端面的垂直度的要求。心轴两端的中心孔锥面上应等分开出 3 条油槽,锥面需经研磨。

(1) 锥度心轴

心轴的锥度一般为 $0.01 \sim 0.03 \text{ mm}(100 \text{ mm})$,视被磨削工件的精度需要而定。心轴外圆与工件内孔的配合程度以能克服磨削力为宜,不宜过紧而使工件变形。当工件的内孔公差带较宽时,心轴可做成几根为 1 组,供选配使用。心轴的外圆对中心孔的跳动允差一般取为 $0.003 \sim 0.01 \text{ mm}$,也视被磨削工件的精度需要而定。心轴的材料一般为低碳合金钢,热处理渗碳淬火。这种心轴通常用于单件或小批量生产(图 1.4-2)。

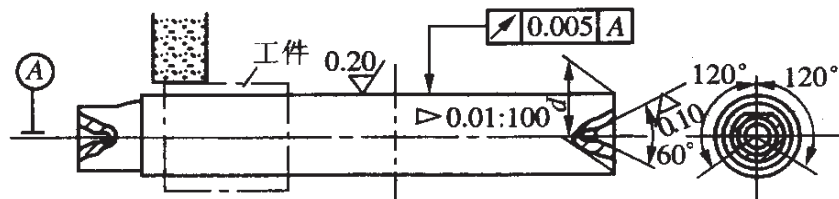


图 1.4-2 锥度心轴

对于较大批量的生产,应对孔的实际尺寸测量后进行分组,分批加工,以保证工件在心轴上的位置相对稳定在一定的范围内,避

免出现左右窜动太大,超出已调整好的工作台行程。

(2) 胀胎心轴

① 锥度胀胎心轴在批量生产中广泛使用。利用心轴上的锥度使可胀套 1 受螺母 2 和压板 3 的轴向力后向径向胀出而胀紧工件(图 1.4-3)。

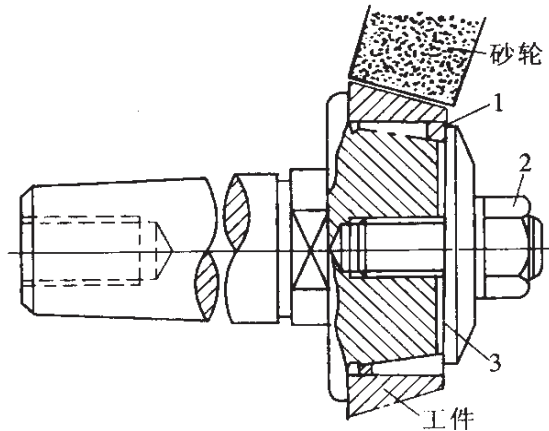


图 1.4-3 锥度胀胎心轴

对于内孔较长的工件可采用两端锥度的胀胎心轴,其两端的胀紧力均匀。工件装在心轴上靠紧心轴端面 A 后再夹紧,压圈 3 与心轴 5 无间隙滑动配合,圆柱销 1 用来限制可胀套 2 的转动(图 1.4-4)。

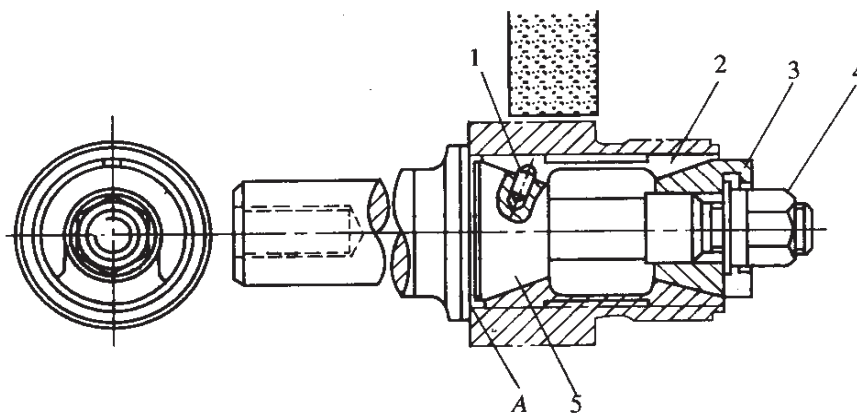


图 1.4-4 两端锥度胀胎心轴

对于直径较大的薄壁套筒类工件,可采用把胀套设计成胀鼓的胀鼓心轴。它利用锥度心轴 1 上的 1:50 的锥度将可胀鼓 2 胀开而胀紧工件。装工件时先将工件套在可胀鼓上并靠紧端面,然后与可胀鼓一起套装在锥度心轴上(图 1.4-5)。

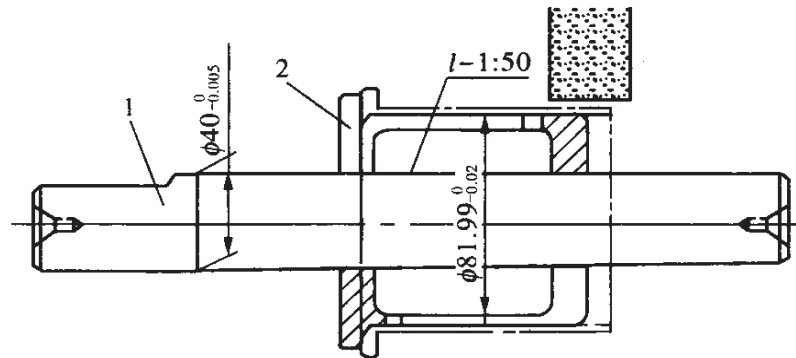


图 1.4-5 胀鼓心轴

② 液压胀胎心轴。在其内腔灌满凡士林油,当旋进螺杆 3 时,油料受压力而将胀套 2 外胀,胀套中间有一条筋 a 是用来增加中间部位的刚度,使胀套从筋 a 两侧的薄壁部位均匀的外胀,胀紧工件。本体 1 与胀套 2 的配合采用 H7/k6,利用温差装配,胀套 2 留有精磨余量 0.15~0.2 mm,待装配后磨到尺寸(图 1.4-6)。

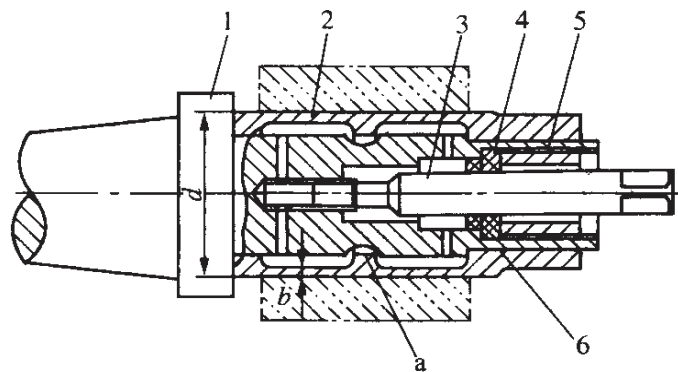


图 1.4-6 液压胀胎心轴

3. 中心孔柱塞

两端空心的轴类工件,装上中心柱塞后用顶尖装夹进行磨削加工。

① 中心孔柱塞有带肩和不带肩的两种(图 1.4-7)。

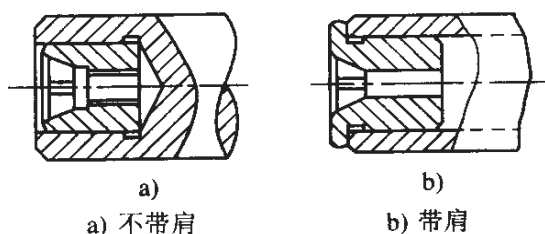


图 1.4-7 中心孔柱塞

② 可胀式中心孔柱塞与胀胎心轴相似,常用于套筒类或两端内孔直径较大的轴类工件(图 1.4-8)。

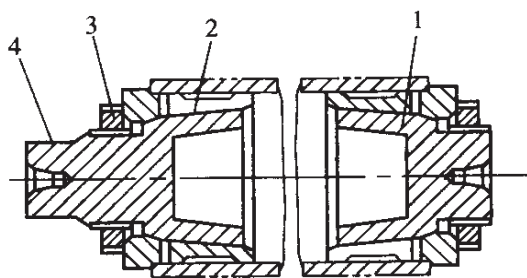


图 1.4-8 可胀式中心孔柱塞

4. 弹簧夹头

弹簧夹头属机床附件,通常用于外圆磨床和万能磨床。

5. 卡盘和花盘

三爪卡盘、四爪卡盘和花盘都属机床附件,通常用于外圆磨床和万能磨床。

6. 磁力吸盘和磁力过渡垫块

磁力吸盘和磁力过渡垫块是磨床常用夹具,特别在平面磨床上使用更为广泛。

磁力吸盘按外形可分为圆形和矩形两类；按磁力源可分为电磁和永久磁两类；按用途可分为通用、专用、正弦和多功能四类。

① 通用圆形电磁吸盘用于外圆和万能磨床。在圆台平面磨床上，其工作台多为圆形电磁吸盘。

② 通用矩形电磁吸盘常为矩台平面磨床的工作台。

③ 正弦永磁吸盘常用于矩台平面磨床。吸盘底部由正弦规组成。

④ 磁力过渡块的作用是将磁力吸盘的磁力线 N 极引向过渡块，再经过放在过渡块上(或贴靠过渡块)的工件及过渡块，使磁力线回到吸盘的 S 极，形成一个磁力回路将工件吸住。为满足各种形状的工件需要，磁力过渡块还可以设计成各种形状以满足工件的需要。磁力过渡块扩大了磁力吸盘的使用范围。

7. 精密平口钳

精密平口钳通常用于矩台平面磨床。还可与正弦永磁吸盘组合使用。常用的精密平口钳的钳口宽度为 50 mm、75 mm 和 100 mm 三种。

8. 磨直角用夹具、直角块和多角形块

① 磨直角用夹具(图 1.4-9)和直角块(图 1.4-10)都是在矩台平面磨床上使用的。磨直角用夹具本体 1 四周各面之间对 H 、 K 面均保持垂直度为 $90^\circ \pm 30''$ 的精度要求，可用任一面为基准来磨削工件的直角。

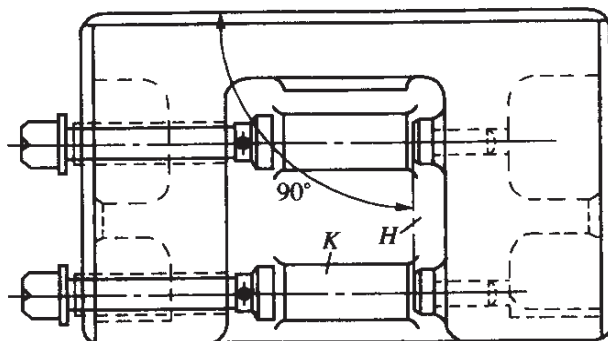


图 1.4-9 磨直角用夹具

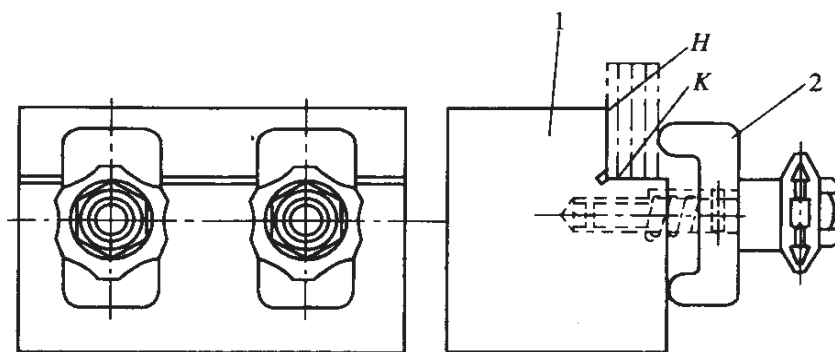


图 1.4-10 直角块

② 常用的多角形块有六角形块和八角形块等。多角形块可用于夹紧工件磨削其多角或进行分度磨削。使用时通常在磁力工作台上安装一条定位块,使其与工作台运动方向平行,使用前先用砂轮修磨出基准面。多角形块夹紧工件后贴靠定位块的基准面(图 1.4-11)。

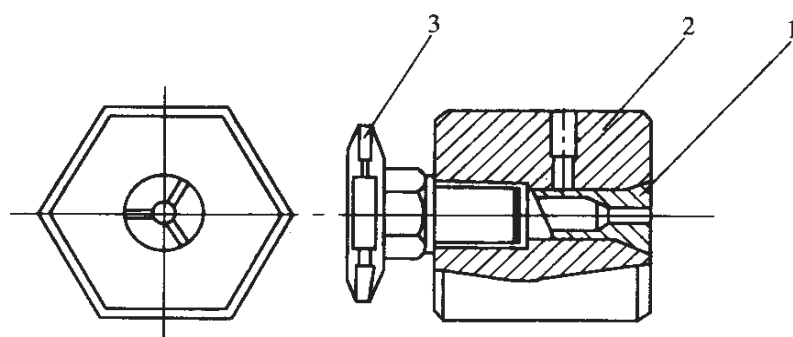


图 1.4-11 六角形块

(二) 磨床专用夹具

1. 圆柱齿轮磨孔夹具

单件或少量的圆柱齿轮磨孔可采用滚柱卡在齿槽内,用卡盘找正夹紧后磨削。选择滚柱直径时应尽量使滚柱与齿轮的齿廓渐开线接触点在齿高中部附近。

对于批量的圆柱齿轮磨孔就应采用专用的夹具。比较广泛使用的液压弹性夹盘和阿基米德螺旋面磨孔夹具。

图 1.4-12 是阿基米德螺旋面磨孔夹具。在夹具本体 1 上加工出三条阿基米德螺旋面 2, 其在圆周上的分度等于被加工齿轮的所夹持的齿槽的圆周上的分度。在夹持环 3 上装有 3 串钢球 4, 钢球直径的大小应尽量使钢球与齿轮的齿廓渐开线接触点在齿高中部附近, 钢球的直径应保证其一致性在 $\pm 1 \mu\text{m}$ 。对直齿圆柱齿轮, 钢球可用弹簧钢丝密绕成柔性滚柱, 经热处理磨外圆后替代。钢球的内孔与销轴 5 间应留有足够的间隙。工作时, 把夹持环套在被加工的齿轮上后装入夹具本体中, 使齿轮的前端面贴紧夹具本体上的轴向定位面 6, 顺时针方向转动至预紧位置, 再用专用扳手把齿轮夹紧。

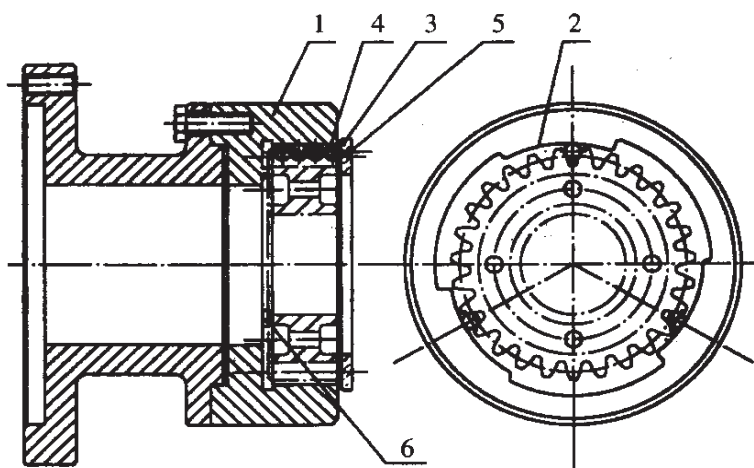


图 1.4-12 圆柱齿轮磨孔夹具

2. 圆锥齿轮磨内孔及端面夹具

如图 1.4-13 所示, 在夹具定位盘 2 的同一半径上分布 3 个钢球, 钢球在圆周上的分度等于被加工齿轮的所夹持的齿槽的圆周上的分度, 钢球直径的大小应尽量使钢球与圆锥齿轮的齿廓渐开线接触点在齿高中部附近, 钢球的直径应保证其一致性在 $\pm 1 \mu\text{m}$ 。圆锥齿轮的外圆与定位盘的内圆相配, 用压爪 4 压紧背锥。3 个压爪在拉杆 4 的拉动下夹紧被加工的圆锥齿轮。

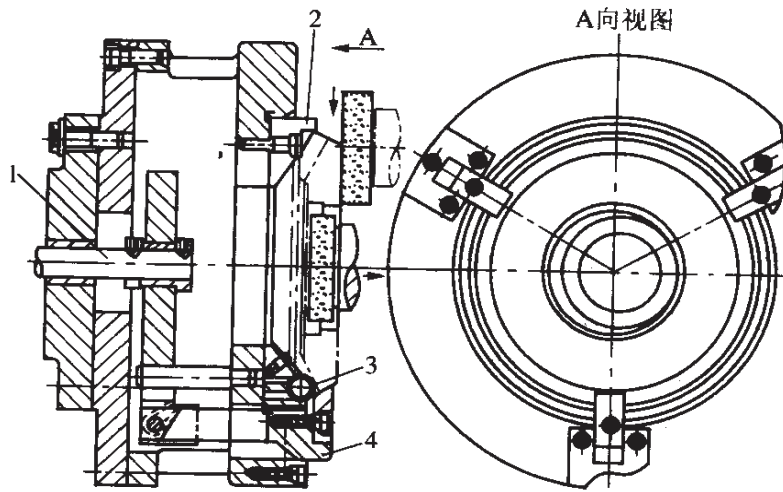


图 1.4-13 圆锥齿轮磨孔及端面夹具

3. 齿轮轴磨内孔夹具

如图 1.4-14 所示, 夹具是汽车变速器第一轴磨孔夹具。拉杆 1 向左拉动, 在圆锥面的作用下, 装在弹簧夹头 3 上的夹爪 4 通过 3 个滚柱 5 将齿轮轴夹紧, 选择滚柱直径的大小及其一致性的要求同圆柱齿轮磨孔夹具, 齿轮轴的尾端外圆与夹具内的衬套的内孔作辅助定位。若齿轮轴的加工工艺在磨孔前先磨了紧靠齿轮

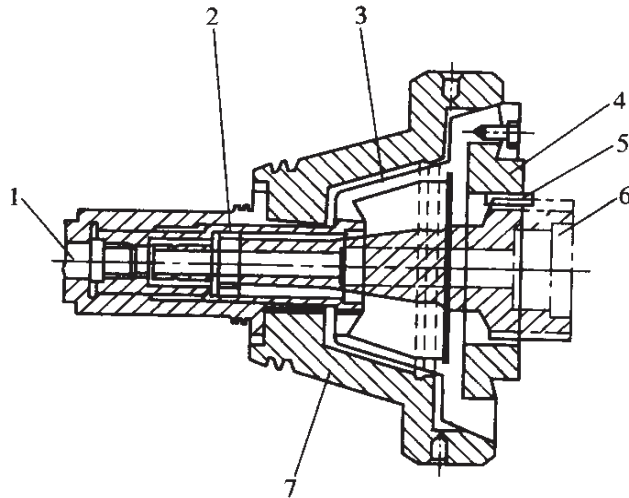
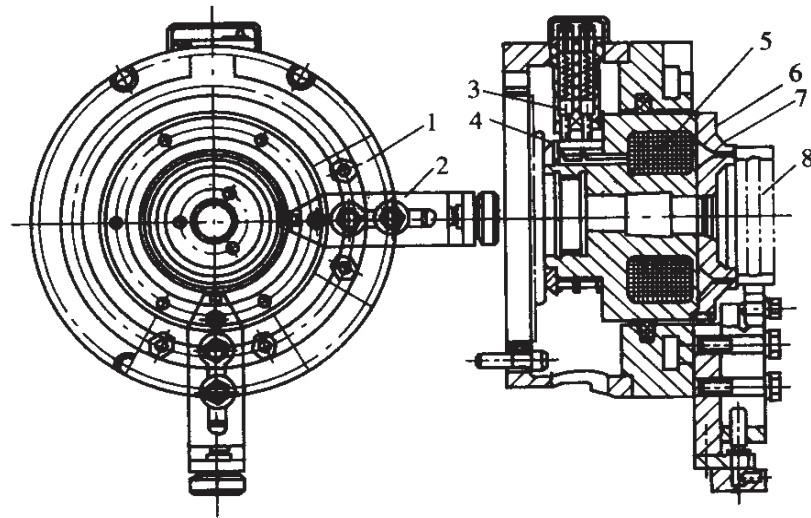


图 1.4-14 齿轮轴磨孔夹具

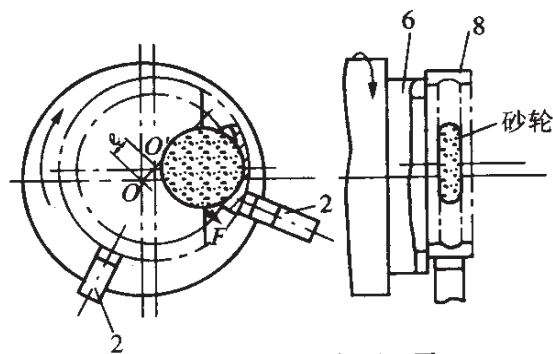
左端面的外圆(此外圆在齿轮轴装配时是装轴承的)和尾端外圆,可使夹爪直接夹紧紧靠齿轮左端面的外圆,尾端外圆仍作辅助定位。夹具在安装调整时应用内圆砂轮自磨夹爪,控制夹爪的跳动在允许的范围內。

4. 圆形电磁无心磨削夹具

如图 1.4-15 所示,夹具是在内圆磨床上进行无心磨削轴承外圈内槽面的电磁无心磨削夹具。该电磁夹具的特点是磁力的强弱和密度由设计控制,磁力的大小应使工件被吸住而不是吸得很



a) 夹具结构图



b) 无心磨削原理图

图 1.4-15 圆形电磁无心磨削夹具

1—支承座 3—炭刷 4—滑环 5—线圈

紧,在受到推力后可产生滑动。夹具的面盘 6(即吸盘)与普通圆形电磁吸盘稍有不同,其隔磁层 7 是只有一圈的环形圈,磁力不大。通电后磁力线 N 极从内圈经过工件到外圈回到 S 极吸住工件 8。当受到推力后,工件与面盘 6 可产生相对滑动,将工件的外表面紧贴在两个支承 2 上(见图 1.4-15 b)),使工件中心 O' 与机床主轴中心 O 之间有一个很小的偏心量 e (一般在 $0.06\sim 0.2\text{ mm}$),其方向在第一象限内。当夹具绕机床主轴中心 O 转动时,由于有偏心量 e 的存在以及“吸而不紧”的状况,工件便绕自己的中心 O' 转动,同时相对夹具面盘 6 滑动,实现了无心内圆磨削,保证了轴承外圈内外圆的同轴度及壁厚公差的要求。

第五节 磨削液

一、对磨削液的要求

磨削液主要用来降低磨削温度,改善加工表面质量,提高磨削效率,延长砂轮使用寿命。从提高磨削效果来看,磨削液应满足下列要求:

(1) 冷却作用。磨削液的冷却作用主要是将磨削热从磨削区带走,使磨削温度降低。冷却性能的好坏,取决于它的导热系数、比热、汽化热、汽化速度、流量、流速和冷却方式等。例如水的导热系数是油的 $3\sim 5$ 倍,比热是油的 $2\sim 2.5$ 倍,汽化热是油的 $7\sim 13$ 倍,因此,水的冷却性能比油高得多,乳化液介于水与油之间而接近于水。

磨削液的冷却性能还与泡沫性有关。由于泡沫内的空气的导热性比水差,所以多泡沫的磨削液的冷却性能降低。消除泡沫的有效措施是在磨削液中加入适量的消泡剂。

磨削液自身的温度对冷却效果影响很大,因此要求磨削液有

一定的流量及流速,容器的体积要足够大,以使磨削液保持较低的温度。

(2) 润滑作用。磨削液能渗入到磨粒与工件表面之间,并黏附在金属表面上形成润滑膜,以减少磨粒与工件表面的摩擦。磨削液的润滑性能与形成润滑膜的能力有关。润滑膜可由物理吸附与化学吸附所形成。物理吸附主要靠磨削液中油性添加剂,它对金属表面有强烈的吸附性。例如一般动植物油脂中,含有羟基COOH极性分子与金属接触形成吸附膜。但物理吸附只能在低温(200℃以下)起润滑作用。属于这一类的有动植物油及油酸、胺酸、醇类和脂类等。化学吸附主要是在磨削液中加入极压添加剂,如含硫、氯、磷等元素的添加剂,这些添加剂与金属表面发生化学反应而形成吸附薄膜,能在高温下保持润滑作用。如含硫添加剂的磨削液(如硫化脂肪油、硫化棉籽油、含硫添加剂的矿物油)切钢时能在1000℃左右保持其润滑性能,含氯添加剂的磨削液(如氯化石蜡、氯化脂肪酸添加剂)与金属生成氯化亚铁、氯化铁等,其摩擦系数较小。含磷添加剂(如二烷基二硫代磷酸锌、磷酸酯添加剂)与金属反应生成磷酸铁膜,其摩擦系数较小,具有良好的润滑作用。

(3) 清洗作用。磨削液能将切屑和脱落的磨粒等冲洗掉,防止堵塞砂轮与划伤已加工好的表面。清洗性能的好坏,与磨削液的渗透性、流动性和使用压力等有关。为此,在磨削液中加入表面活性剂,同时提高磨削液压力与加大流量,以提高清洗能力。

(4) 防锈作用。磨削液中加入防锈添加剂,能在金属表面形成一层保护膜,在一定的时间内保护工件和机床不致生锈。

除以上作用外,还要求磨削液无毒、无臭、不刺激皮肤、化学稳定性好、不易腐败变质、不产生泡沫、废液易处理与再生、避免污染环境等。

二、磨削液的种类和应用

磨削液通常分为油基切削液和水基切削液两大类。油基液中有非活性油性液与活性油性液,水溶性液又分为乳化液与合成液。各类磨削液性能比较参考表 1.5-1。常用磨削液的组成、性能及使用说明见表 1.5-2,供选用时参考。

表 1.5-1 各类磨削液性能比较

| 项 目 | 矿物油 | 极压油 | 乳化液 | 合成液 |
|--------|-----|-----|-----|-----|
| 润滑性 | 优 | 优 | 良 | 差 |
| 冷却性 | 差 | 差 | 良 | 优 |
| 稳定性 | 优 | 优 | 中 | 良 |
| 清洗性 | 差 | 差 | 中 | 良 |
| 防锈性 | 优 | 优 | 中 | 良 |
| 切削性 | 良 | 优 | 中 | 良 |
| 表面粗糙度值 | 小 | 最小 | 小 | 小 |
| 防腐性 | 良 | 优 | 差 | 良 |
| 防火性 | 差 | 差 | 良 | 良 |
| 消泡性 | 良 | 良 | 中 | 差 |
| 可视性 | 差 | 差 | 中 | 良 |
| 使用周期 | 较长 | 长 | 短 | 较长 |
| 后处理费用 | 较少 | 较少 | 一般 | 较多 |

表 1.5-2 常用磨削液的组成及使用性能

| 类别 | 型别 | 序号 | 名称 | 组成 (%) | 使用性能 |
|-------|------|----|---------|---|--|
| 油性磨削液 | 非活性型 | 1 | 矿物油 | 石油磺酸钡 2 煤油 98 | 清洗性能好,用于珩磨、超精磨、硬质合金磨削,加 0.5%亚硝酸钠可增加防锈性 |
| | | 2 | 复合油 | 煤油 80~90 L-AN15 全损耗系统用油 10~20 | 用于铸铁、有色金属珩磨及磨光学玻璃 |
| | | 3 | 复合油 | 煤油 55 油酸 40 松节油 5 | 用于珩磨钢、铸铁、青铜、铝合金等材料 |
| | 活性型 | 4 | 极压油 | 石油磺酸钡 0.5~2 环烷酸铅 6 氯化石蜡 10 L-AN10 高速全损耗系统用油 10 L-AN32 全损耗系统用油 余量 | 润滑性能好,无腐蚀性,用于超精磨削,可代替硫化油使用 |
| | | 5 | F43 极压油 | 氯化石油脂钡皂 4 二烷二硫代磷酸锌 4 二硫化钼 0.5 石油磺酸钡 4 石油磺酸钙 4 L-AN7 高速全损耗系统用油 83.5 | 用于磨削不锈钢、耐热钢及耐蚀钢 |

续 表

| 类别 | 型别 | 序号 | 名称 | 组 成 (%) | 使用性能 |
|--------|-----|----|---------------|-------------------------|------------------------------------|
| 油性磨削液 | 活性型 | 6 | 磨削油 | 石油磺酸钡 4 | 用于高速磨削,极压性能好,对防止局部烧伤退火有良好效果 |
| | | | | 6411 5 | |
| | | | | 氯化石蜡 10 | |
| | | | | 油酸 7 | |
| | | | | L-AN32 汽轮机油 74 | |
| | | | | 硅油另加 10 ppm(溶于 19 倍煤油中) | |
| 水溶液磨削液 | 乳化液 | 7 | 69-1 乳化液 | 石油磺酸钡 10 | 用于磨削钢与铸铁件,清洗性能较好,有防锈性能 配比(2~5)% |
| | | | | 磺化蓖麻油 10 | |
| | | | | 油酸 2.4 | |
| | | | | 三乙醇胺 10 | |
| | | | | 氢氧化钾 0.6 | |
| | | | | L-AN7-10 全损耗系统用油 余量 | |
| 水溶液磨削液 | 乳化液 | 8 | F74-8 乳化液 | 聚氧乙烯醚烷基酚 4.5 | 用于轴承内外圆磨削 配比(1~2)% |
| | | | | 五氧化二磷 0.5 | |
| | | | | 三乙醇胺 5 | |
| | | | | 石油磺酸钠 15 | |
| | | | | L-AN7-10 高速全损耗系统用油 75 | |
| 水溶液磨削液 | 乳化液 | 9 | F25D-73 防锈乳化油 | 石油磺酸钠 13 | 用于磨削及铣削等加工,配比(3~5)% |
| | | | | 高碳酸钠皂 4 | |
| | | | | L-AN30 全损耗系统用油 余量 | |

续表

| 类别 | 型别 | 序号 | 名称 | 组成 (%) | 使用性能 |
|--------------------------------------|----|----|------------|---|---|
| 水 溶 液 乳 化 磨 削 液 | | 10 | NL 乳化液 | 石油磺酸钠 36 蓖麻油酸钠皂 19 三乙醇胺 6 苯骈三氮唑 0.2 L-AN 高速全损耗系统用油 余量 | 乳化剂含量高,低 浓度,为浅色透明液, 防锈性能较好,用于 磨削黑色和有色金属 配比(2~3)% |
| | | 11 | 防锈 乳化液 | 石油磺酸钠 11~12 石油磺酸钡 8~9 环烷酸钠 12 三乙醇胺 1 L-AN15 全损耗系统用油 余量 | 用于磨削黑色金属 及光学玻璃,加入 0.3%亚硝酸钠及 0.5%碳酸钠于已配 好的溶液中,可进一 步提高防锈性能 配比(2~5)% |
| | | 12 | 半透明 乳化液 | 石油磺酸钠 39.4 三乙醇胺 8.7 油酸 16.7 乙醇 4.9 L-AN15 全损耗系统用油 34.9 | 用于精磨,配制时 可加 0.2%苯乙醇胺 配比(2~3)% |
| | | 13 | 极压 乳化液 | 防锈甘油络合物(硼酸 62 份, 甘油 92 份,45%氢氧化钠 65 份) 22.4 硫代硫酸钠 9.4 亚硝酸钠 11.7 三乙醇胺 7 聚乙二醇(分子量 400) 2.5 碳酸钠 5 水 余量 | 有良好的润滑和防 锈性能,多用于黑色 金属磨削 配比(5~10)% |

续表

| 类别 | 型别 | 序号 | 名称 | 组成 (%) | 使用性能 |
|----------------------------|-----------------------|----|----------|--|---|
| 水 溶 液 磨 削 液 | 化 学 合 成 液 | 14 | 420号磨削液 | 甘油 0.5 三乙醇胺 0.4 苯甲酸钠 0.5 亚硝酸钠 0.8~1 水 余量 | 用于高速磨削与缓进磨削及磨高温合金,有时要加消泡剂。如将甘油换为硫化油酸聚氧乙烯醚可提高磨削效果,如换为氯化硬脂酸聚氧乙烯醚适于磨 In-738 叶片 |
| | | 15 | 高速高负荷磨削液 | 氯化硬脂酸 0.4 含硫添加剂 0.6 Tx-10 非离子型表面活性剂 0.1 硼酸 0.1 三乙醇胺 0.2 742 消泡剂 1.6 水 余量 | 稀释成 2% 浓度使用,用于高速磨削及高负荷磨削 |
| | | 16 | M-2磨削液 | 油酸丁二酸一醇酰胺 癸二酸一乙醇胺 苯甲酸钠 | 用于一般磨削(不含亚硝酸钠) |
| | | 17 | 3号高负荷磨削液 | 硫化油酸 30 三乙醇胺 23.3 非离子型表面活性剂 16.7 硼酸盐 5 消泡剂(有机硅)另加(0.25%)水 25 | 具有良好的清洗、冷却性能,有较高的极压性(PK值>2500N)适于缓进给强力磨削配比(1.5~3)% |
| | | 18 | H-1精磨液 | 蓖麻油顺丁烯二酸酐 二乙醇胺 三乙醇胺 癸二酸 硼酸 | 用于精密磨削,也适于普通磨削,可代替乳化液和苏打水配比(3~4)%。 |

续 表

| 类别 | 型别 | 序号 | 名 称 | 组 成 (%) | 使用性能 |
|----------------------------|-----------------------|----|--------------------|---|--|
| 水 溶 液 磨 削 液 | 化 学 合 成 液 | 19 | GMY-2 高速磨 削液 | 亚硝酸钠 16 油酸钠 4 2010(表面活性剂) 15 三乙醇胺 18 水 余量 | 用于高速磨削、精密 磨削 配比: 普通磨削(2~3)% 高速磨削及特殊磨 削(3~5)% |
| | | 20 | SM-2 磨削液 | EP-SS极压添加剂 表面活性剂 防锈添加剂 | 用于轴承钢、黑色金属 等磨削 浓度(3~5)% |
| | | 21 | NY-802 磨削液 | 油酸钠 阴离子表面活性剂 聚乙二醇 亚硝酸钠 防腐剂 辅助润滑剂等 | 用于普通磨削和精磨 浓度(1~2)% |
| | | 22 | 10° 强力磨 削液 | 合成氯化硬脂酸聚氧乙 烯醚 0.5 苯甲酸钠 0.3 三乙醇胺 0.4 亚硝酸钠 1.0 消泡剂 0.1 水 97.7 | 用于缓进磨削,不稀释, 直接使用 |
| | | 23 | QM 强力磨 削液 | | 用于高速、强力磨削及 缓进磨削 QM176、QM189用于磨 钢材 QM186用于磨激冷铸铁 浓度: 普通磨削(2~3)% 强力磨削(3~4)% |

续 表

| 类别 | 型别 | 序号 | 名称 | 组 成 (%) | 使用性能 |
|----------------------------|-----------------------|----|--------------|--|---|
| 水 溶 液 磨 削 液 | 化 学 合 成 液 | 24 | 珩磨液 | 硫酸化蓖麻油(中性) 0.5 磷酸三钠 0.6 亚硝酸钠 0.25 硼砂 0.25 水 余量 | 有良好的冷却性能 与清洗性能,代替煤 油珩磨 或用碳酸钠代替硫 酸化蓖麻油 |
| | | 25 | 磨削液 | 洗净剂 6503(椰子油烷基醇酰 胺磷酸酯) 3 亚硝酸钠 0.5 OP-10 0.5 水 余量 | 清洗性好,用于磨削 |
| | | 26 | 磨削液 | 聚乙二醇 10 蓖麻酸二乙醇胺盐 4 三聚磷酸钾 3 亚硝酸钠 5 防锈络合物(山梨醇 50 份,三 乙醇胺 30 份,苯甲酸 8 份,硼 酸 12 份) 30 水 余量 | 棕色透明水溶液, 用于磨削,防锈性好, 润滑性稍差 配比(4~8)% |
| | | 27 | 精磨液 | 石油磺酸钠 0.3~0.5 高碳酸三乙醇胺 0.3~0.5 水(用三乙醇胺调至 pH=7.5) 余量 | 用于精磨 |
| | | 28 | QTS-1 磨削液 | { 氯化脂肪酸 { 0.25 { 聚氧乙烯醚 { 0.50 磷酸三钠 0.8 亚硝酸钠 1.0 三乙醇胺 0.5~1 水 余量 | 用于精磨和其他切 削加工 |

续 表

| 类别 | 型别 | 序号 | 名称 | 组 成 (%) | 使用性能 |
|----------------------------|-----------------------|----|--------|--|---|
| 水 溶 液 磨 削 液 | 化 学 合 成 液 | 29 | 珩磨液 | 环烷皂 0.6 磷酸三钠 0.6 亚硝酸钠 0.25 水 余量 | 用于珩磨 |
| | | 30 | 轴承钢磨削液 | 三乙醇胺 0.4~0.6 油酸 0.3~0.4 癸二酸 0.1~0.2 乳化剂 0.2~0.3 水 余量 | 用于磨轴承钢 |
| | | 31 | 磨削液 | 含硫添加剂 0.4~0.9 聚乙二醇(分子量 400) 0.5 TX-10 表面活性剂 0.1 6503 清洗剂 0.1~0.2 硼酸 0.1 三乙醇胺 0.2 亚硝酸钠 0.5 742 消泡剂 0.4~0.6 水 余量 | 用于高、中负荷磨削 |
| | | 32 | 磨削液 | 三乙醇胺 17.5 癸二酸 10 聚乙二醇(分子量 400) 10 苯骈三氮唑 2 水 余量 | 用于磨削黑色金属和有色金属。不磨钢件时可不加苯骈三氮唑 浓度(1~2)% |
| | | 33 | 透明水溶液 | 碳酸钠 0.15 亚硝酸钠 0.8 甘油 0.8~1.0 聚乙二醇(分子量 400) 0.3~0.5 水 余量 | 用于无心磨床与外圆磨床 浓度(2~3)% |

续 表

| 类别 | 型别 | 序号 | 名 称 | 组 成 (%) | 使用性能 |
|----------------------------|--------|----|-------------|---|--|
| 水 溶 液 磨 削 液 | 化学合成液 | 34 | 101 磨削液 | 高分子化合物(PAM) 防锈剂 防腐剂 表面活性剂 | 可代替油类及乳 化液 浓度(2~5)% |
| | 无机盐水溶液 | 35 | 苏打水 (I) | 碳酸钠 0.8~1.0 亚硝酸钠 0.15~0.25 水 余量 | 用于黑色金属和有 色金属磨削,适于磨 球墨铸铁,雨季可加 入适量三乙醇胺,水 的硬度高时,加入一 些碳酸钠 |
| | | 36 | 苏打水 (II) | 碳酸钠 0.5 亚硝酸钠 0.15~0.25 甘油 0.5~1 水 余量 | 用于黑色金属和有 色金属磨削,适于金 刚石砂轮磨削(树脂 结合剂砂轮不用) |
| | | 37 | | 硼砂 1.6 三乙醇胺 0.2 水 余量 | 用于金刚石砂轮磨 削和一般砂轮磨削, 但不适于立方氮化硼 砂轮 |

三、固态磨削剂

除了上述磨削液外,对于难磨材料的磨削,有时可辅以固态磨削剂。固态磨削剂主要作为砂轮的填充剂。例如用冰晶石作砂轮的填充剂,磨削不锈钢有良好效果。石墨、二硫化钨和二硫化钼亦可作为固态磨削剂。例如磨削合金元素含量较高的工具钢时,磨削较困难,特别是干磨,工件容易产生烧伤和裂纹,为此,可用二硫化钼与酒精的混合液浸泡砂轮,然后进行干磨,可改善加工表面质量,并可提高磨削效率2倍。一般浸泡工艺简单,成本低,易于推广。二硫化钼也可作为切削的添加剂,以增强磨削液的润滑能力,

可在机油、煤油中加入 10% 二硫化钼, 4%~5% 中性皂。

四、磨削液的供给方法

磨削时, 磨削液往往不易进入磨削区, 如图 1.5-1 所示, 其主要原因有:

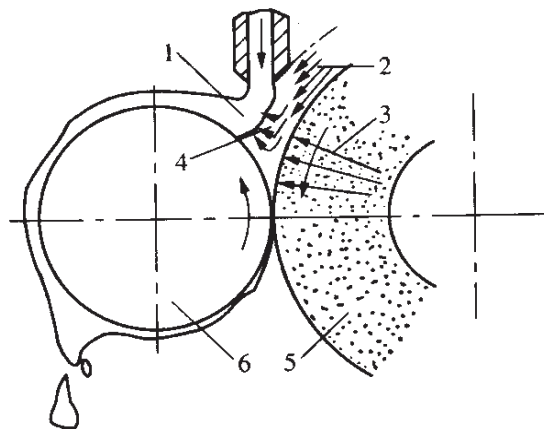


图 1.5-1 磨削区气流情况

1—磨削液 2—气流 3—喷出气流 4—涡流 5—砂轮 6—工件

(1) 砂轮旋转时, 在砂轮周边也随同产生回转气流。 v_s 越大, 气流的影响也越大。

(2) 砂轮端面气孔中的空气, 由于离心力作用, 由中心流向砂轮圆周圆角附近。气孔越大, 转速越高, 影响也越大。

(3) 砂轮罩的影响: 有罩与去罩相比, 气流动压力平均增加 50% 左右。

(一) 浇注法

一般浇注法是由齿轮泵或低压泵 (0.1~0.2) MPa 将磨削液通过喷嘴而供液的方法。这种方法简单易行, 应用广泛。但磨削液不易送到磨削区, 影响供液效果。

提高浇注法供液效果的措施:

(1) 喷嘴尽量靠近磨削区;

(2) 在砂轮罩或喷嘴安装气流挡板,见图 1.5-2。

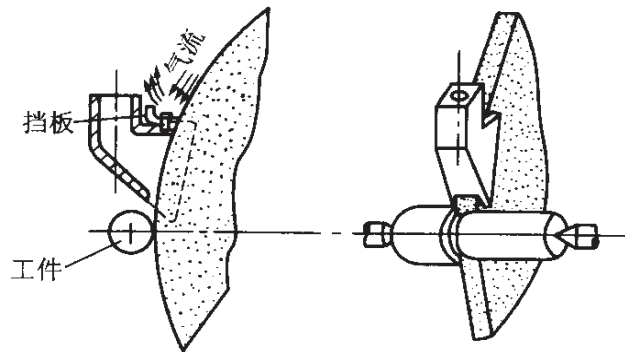


图 1.5-2 冷却喷嘴

(3) 加大磨削液流量,一般在每毫米宽度上流量不少于 0.5 L/min,高速磨削时,随砂轮速度的提高,供应量也相应增加,应不少于 2~3 L/min。

(4) 砂轮罩常使供液效果降低,所以喷嘴位置应尽量离开砂轮罩罩口,或改进砂轮罩结构。

(二) 喷射法

提高供应压力,增大磨削液的喷射速度,不仅能将热量迅速带走,并能冲破砂轮高速旋转的气流,使磨削液有效地注入磨削区以改善磨削效果。喷射法喷嘴直径要减小,喷射压力要在 1 MPa 以上。

下面提供几种供液的例子供实际应用时参考:

1. 外圆磨喷嘴结构(图 1.5-2)

利用喷嘴上挡板将高速气流隔开,保证磨削液能顺利注入磨削区,同时又可防止磨削液的飞溅。如果磨外圆的同时又要磨一侧面,可将喷嘴相应侧面做窄些,以不妨碍操作即可。气流挡板可做成固定的,也可做成可调节式的(如图中挡板)。

高速磨削可采用双喷嘴,即在工件下方增加一只辅助喷嘴,使冷却液喷向磨削区下端。辅助喷嘴喷口要小一些,使磨削液

具有一定的喷射速度,以提高冷却效果。

2. 平面磨床用喷嘴结构(图 1.5-3)

在喷嘴上有可调节的气流挡板 1,可随砂轮直径的减小及时调整挡板与砂轮的距离。这种喷嘴可使磨削液的流束紧贴砂轮表面,顺利进入磨削区内,而且也防止磨削液飞溅,是一种效果较好的冷却喷嘴。

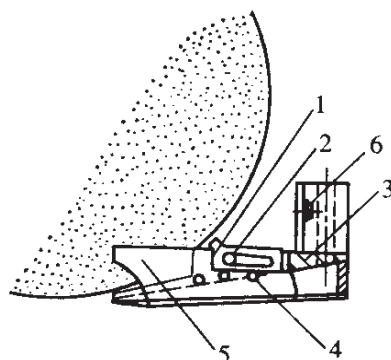


图 1.5-3 平面磨床用喷嘴
1—气流挡板 2—螺钉 3—钢板
4—螺钉 5—侧面挡板 6—铆钉

3. 主喷嘴与辅助喷嘴(图 1.5-4)

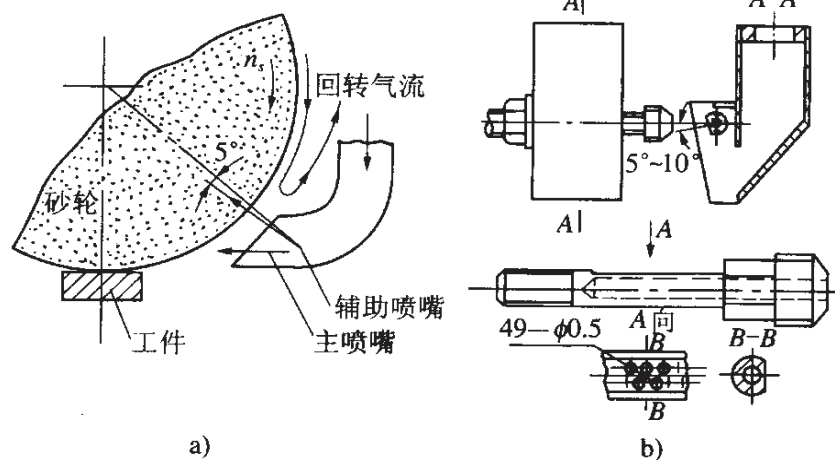


图 1.5-4 主喷嘴与辅助喷嘴

图 1.5-4 a)所示,为在主喷嘴内装置辅助喷嘴。主喷嘴主要将磨削液喷到磨削区内,辅助喷嘴为排列很多的小孔(直径 $1\sim 2.5\text{ mm}$),将磨削液喷射到砂轮表面,以形成阻断气流的“挡风板”,迫使回转的气流改变方向,以保证主喷嘴喷出的磨削液顺利地注入到磨削区内。图 1.5-4 b)为辅助喷嘴结构,须注意喷嘴的

喷射方向,一般如图的方向为顺向 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 冲洗效果好。如逆向 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$,磨削液会把切屑冲入砂轮表面内,同时磨削液的飞溅也较严重。

特别提出,小孔压力冲洗砂轮对提高金属切除率、砂轮耐用度以及降低磨削温度等方面有较显著效果。小孔冲洗砂轮的效果随冲洗压力增加和与砂轮间距离减小而增加。

4. 无心磨床用喷嘴(图 1.5-5)

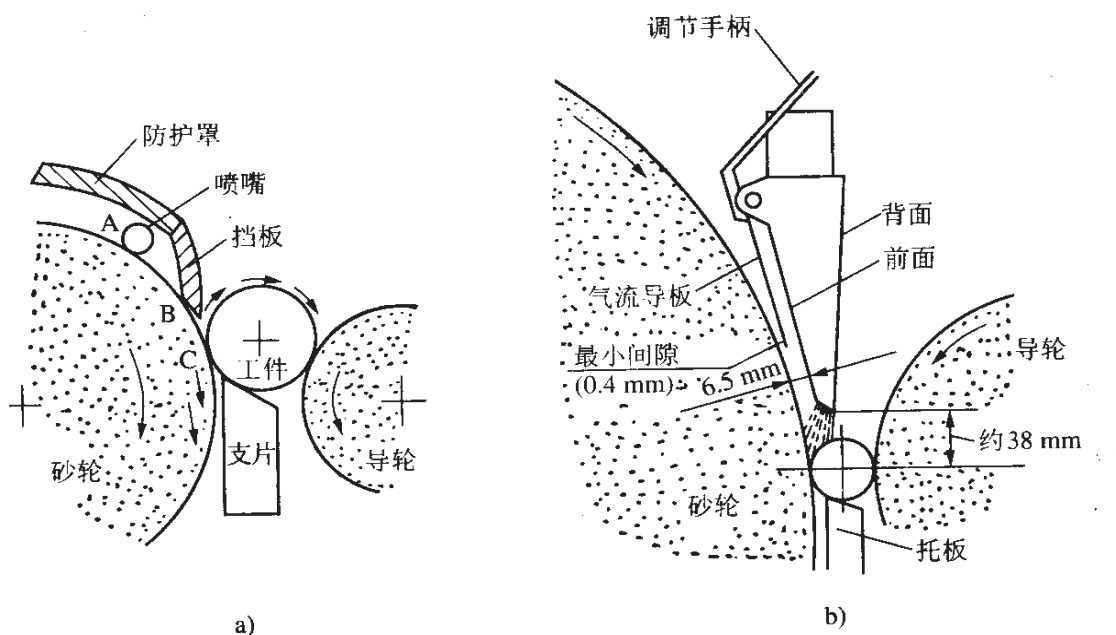


图 1.5-5 无心磨床供液系统

无心磨削往往因磨削用量大,产生大量磨削热,引起工件变形、加工表面质量差,一般浇注法往往达不到要求。图 1.5-5 a) 所示,磨削液由喷嘴 A 喷出后,利用离心力作用从砂轮表面获得高速度,在 B 处强制进入砂轮表面,因 BC 段距离不大,大部分磨削液不致被甩开而进入磨削区。挡板除上述作用外,还可起阻挡气流与防止飞溅的作用。

图 1.5-5 b) 喷嘴增加气流导板,使气流在到达喷嘴之前先被导流,使喷嘴前产生半真空状态,因而能保证喷嘴喷出的磨削液顺

利地注入磨削区内。导板可以调节,图中尺寸可供调节时参考,调节时要求磨削液能浇注到磨削区内,否则须重新调整。

这种结构也可用于外圆磨床等机床上。

5. 喷射法喷嘴(图 1.5-6)

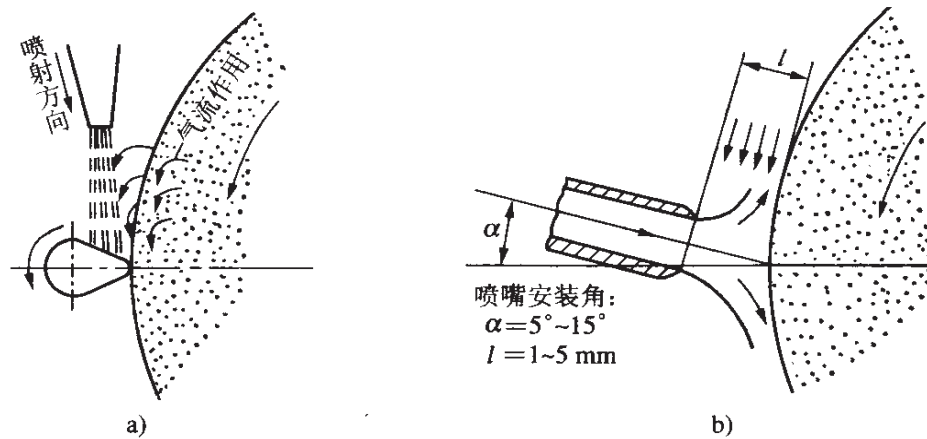


图 1.5-6 喷射与气流作用

高速磨削时,砂轮周围的气流也加强,此时可采取以下措施:

- ① 增大磨削液供应量与喷射压力。
- ② 减小喷嘴出口截面积,适当增大出口宽度。这样可提高喷射速度和冷却范围,还可减少因高速气流而致磨削液的飞溅。
- ③ 调整喷射方向:

图 1.5-6 a)所示喷射方向,磨削液与气流的合力作用下,使磨削液恰好喷入磨削区内。

图 1.5-6 b)所示安装角,使喷出液小部分向上,阻挡高速气流,大部分流入磨削区。图中安装角 $\alpha = 5^\circ \sim 10^\circ$, 距离 $l = 1 \sim 5 \text{ mm}$ 可供参考。

高速磨削时,在砂轮与罩之间,有大量喷雾与飞溅,因此,须在罩壳与砂轮之间装上消雾防溅装置(图 1.5-7)。磨削时的磨削液射入机床下部排水槽中,水槽中加入适量水,因此使大量的磨削液飞溅不起来;少量飞溅起来的水雾又反射到消雾器四周体壁上

凝成水回落到槽中,因此可将飞溅水雾消除在形成过程中。

近来人们在研究用内冷却法、喷雾法等方法。

内冷却法是使磨削液通过砂轮内孔,在离心力的作用下,通过砂轮磨粒间孔隙和侧面甩出,使磨削液有效地进入磨削区。但此法要求磨削液须经过精细的过滤,以免堵塞砂轮气孔。同时还要解决磨削液的飞溅与油雾处理等问题。此法只适用于大气孔砂轮,而对树脂等砂轮不适用。

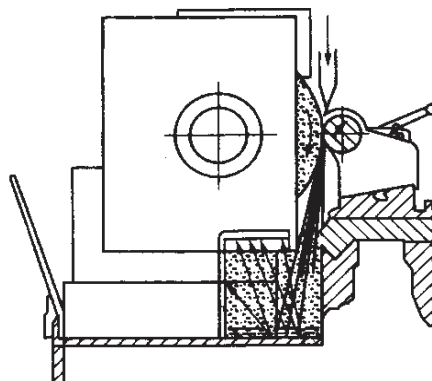


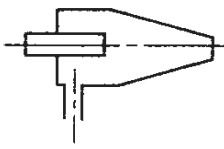
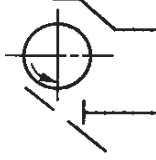

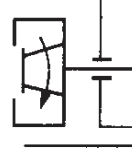

图 1.5-7 反射式消雾装置

喷雾法是用压缩空气($P=0.3\sim 0.5\text{ MPa}$)把磨削液雾化混合成细微液滴,喷注在磨削区,因此渗透性优越,而且易汽化,吸收大量的磨削热,冷却性能好。喷雾法有装置设备简单,供液量少,效果好等优点。但要求磨削区封闭,以免影响环境卫生,其中磨削液中含有有害物质会影响操作者健康。以上这两种方法用于生产尚待研究改进。

五、磨削液的过滤方法

磨削液需要经常保持清洁,因磨削过程中产生的切屑和脱落的磨粒等杂质使磨削液变脏变臭,不仅影响工件质量,划伤已加工表面,还影响环境卫生。特别是高精度、低粗糙度磨削,对磨削液的过滤净化要求越来越高。常见的过滤净化装置有水箱式沉淀过滤装置、离心分离器、磁性分离器、纸质过滤器和涡旋分离器等。各种净化装置的性能见表 1.5-3。

表 1.5-3 各种磨削液净化装置性能

| 过滤器形式 | | 涡旋分离器 | 磁性过滤器 | 纸质过滤器 | 离心过滤器 | 金属网沉淀过滤器 |
|---------------|---------------------|---|--|---|---|---|
| | |  |  |  |  |  |
| 净化性能 | 净化能力(L/min) | 12.5~100 | 25~100 | <25 | <50 | |
| | 净化率(%) | 95 | 搅动 99、不搅 87 | | | |
| | 粒度(μm) | 3~40 | <74 | 2~10 | | >100 |
| 经济效果 | 耗电量(kW) | 0.6~1.1 | 0.12 | 0.12 | 0.17 | |
| | 冷却液使用期限 | 长 | 较长 | 长 | 短 | 最短 |
| | 过滤材料 | 不消耗 | | 消耗大 | | |
| 设备成本 | | 较低 | 较高 | 较高 | 较高 | 低 |
| | | 不占地 | 不占地 | 较少 | 较少 | 较少 |
| 占地面积 | | 无 | 轻微 | 无 | 较大 | 无 |
| 噪声 | | 可 | 不可 | 可 | 可 | |
| 非磁性杂质的过滤可能性 | | 不可 | 可 | 可 | 可 | |
| 介质黏度极大时过滤的可能性 | | 可 | 可 | 不可 | 可 | |
| 连续性 | | 简单 | 复杂 | 较复杂 | 每班清洗一次 | 每班清洗一次 |
| 结构复杂性 | | 较大 | 较大 | 大 | 较小 | |
| 流量损失 | | | | | | |

(一) 沉淀过滤箱

图 1.5-8 a) 所示为一般磨削液水箱, 水箱的容积较大, 以便于冷却液冷却, 保持一定的温度, 当磨削液流入金属网时将切屑、磨粒等杂质粗过滤, 然后经水箱中隔板使杂质沉淀。水箱有占地面积小、结构简单、成本低等优点。图 1.5-8 b) 为改良型水箱, 磨削液流经台阶式隔板起循环沉淀作用, 可以达到较好的过滤效果。图 1.5-8 c) 为固定式磁性过滤器, 可过滤切削液中磨屑, 净化能力较高。

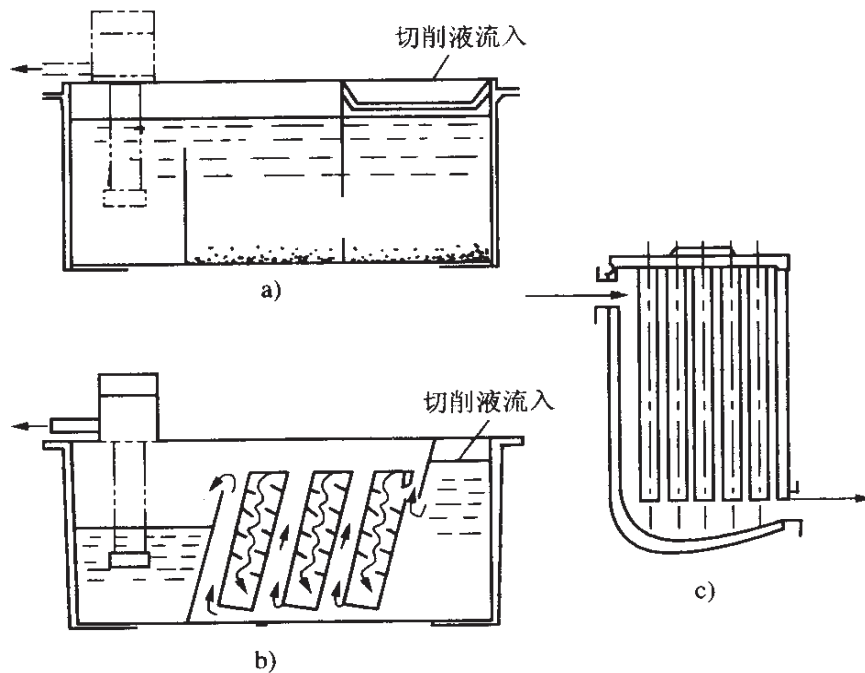


图 1.5-8 沉淀过滤箱

(二) 磁性分离装置

如图 1.5-9 所示, 磨削液通过磁鼓 3 将铁屑吸附在滚筒表面上(滚筒内装有永久磁铁)。图中减速器 4 是通过蜗轮蜗杆减速, 电动机转速为 1 400 r/min, 通过减速器减到 2.6 r/min, 带动磁鼓缓慢转动, 附在筒皮表面的铁屑被铲板 7 刮掉。

磁鼓 3 按图中箭头指示方向转动。减速器内加 20 号汽缸油,

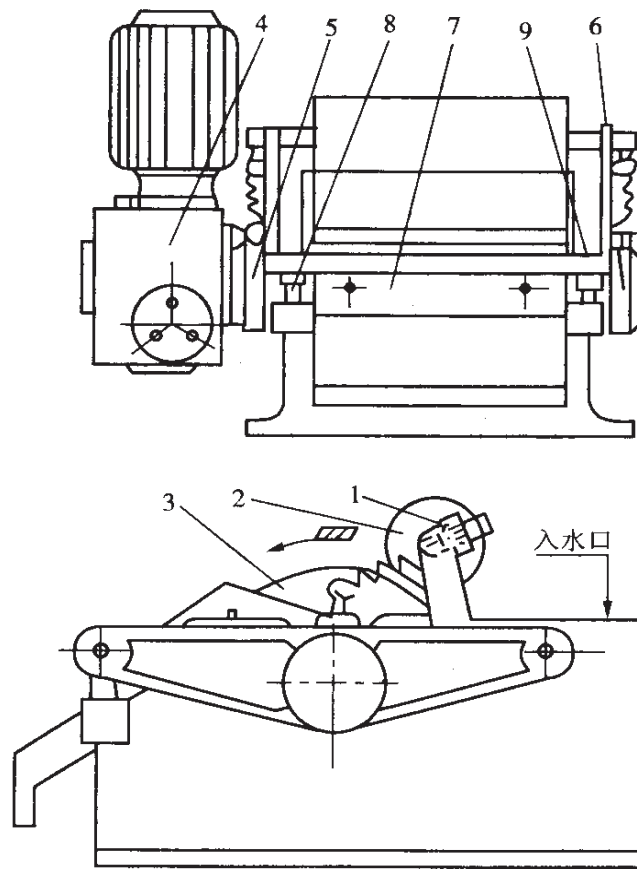


图 1.5-9 磁性分离器的结构图

20 号机油,使用时注意减速器上油杯,要及时加油。

橡胶压辊 2 用来挤压铁屑中的水分,其松紧程度用调节螺钉 1 来调节。

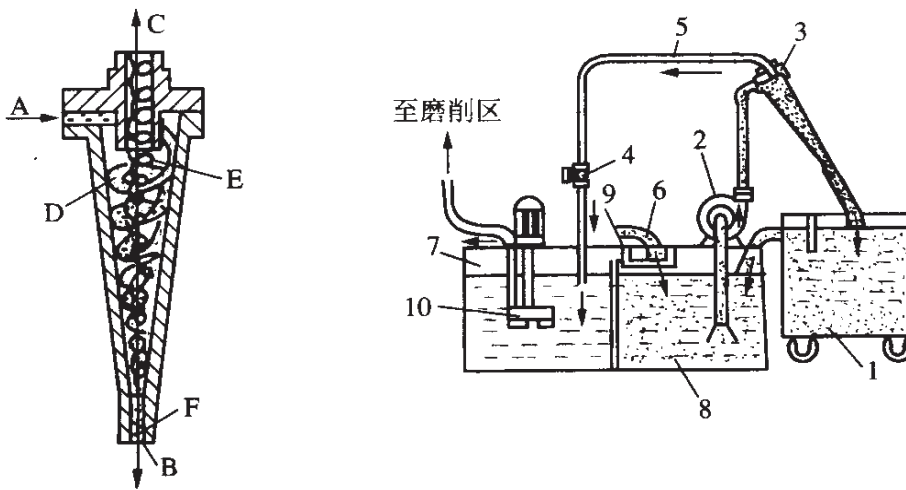
铲板 7 用来铲掉磁鼓上的铁屑。铲板位置可以调节。把手 9 下的调节螺钉 8,用来调整磁鼓与壳体间的间隙,一般以 6 mm 为宜(出厂时已调整好)。铲板下面,由使用单位配置一个铁屑箱,以存放被铲下的铁屑。

磁性分离器的缺点是不能分离非磁性材料,如磨粒和其他杂质。对加工高精度、低粗糙度的工件时,还须增加其他过滤装置。

(三) 涡旋分离器

图 1.5-10 a)为涡旋分离器工作原理图。当污液以 2×10^5

Pa 的压力从进液管 A 处进入分离器,进液管 A 与分离器上端圆柱部分成切线方向,故脏液自圆柱开始就形成一旋转向下的旋涡,也称“一次旋涡 D。涡旋器下部为圆锥体,此时的液流的线速度不变,但随着锥体半径不断减小,越向下角速度越大,使液流旋转加快,向心加速度剧烈增大。因杂质的重量大于液体重量,在离心力作用下,被甩至锥体周壁,当达到排渣口 B 时形成伞状喷出。在形成一次涡旋的同时,在中心部位形成一个低压区,使排渣口吸入新鲜空气并急速向上旋转,形成二次涡旋 E,并带着中心处已净化液体向上旋转,当达到顶部溢流管口 C 时被送至清液箱中。由于低压区能从喷口 B 处吸入新鲜空气,防止冷却液变质,还可延长磨削液的使用期限。



a) 涡旋分离器原理图

b) 涡旋分离器工作过程示意图

图 1.5-10 涡旋分离器

1—污物箱 2—离心泵 3—排屑器 4—控制阀 5—清洁液管
6—工作污液 7—清洁液箱 8—污物箱 9—滤网 10—液下式离心泵

图 1.5-10 b) 为涡旋装置过滤系统图。从磨床排放的污液 6 经过过滤网流入污液箱 8 内,由离心泵 2 以 $(0.4 \sim 2) \times 10^5$ Pa 的压力将污液送入涡旋分离器 3 中,经过涡旋作用,将污液分离为两

股,一股将杂质从排渣口喷出于集渣箱 1 内,另一股被分离的清液经管道 5,控制阀 4 流入清液箱 7 中,最后由离心泵 10 将清液送至磨床喷嘴。控制阀 4 用来调节涡旋分离器压力,使涡旋分离器能正常工作。

涡旋分离器的优点:

(1) 净化率高。能分离磨削液中绝大部分杂质,净化率达 95%左右,分离粒度 3~40 μm 。

(2) 提高磨削液使用寿命,降低生产成本。

(3) 结构简单,制造和维修方便,成本低。

(4) 能分离磨粒、结合剂等非导磁性材料。

(5) 使用灵活方便。可根据需要,多个组合成串联或并联形式。串联可提高分离效果,并联可增大流量。也可和其他形式过滤器联合使用。

涡旋分离器目前还不适宜用于黏度大、杂质比重轻、粒度极小的待净化磨削液。

(四) 纸带过滤装置

如图 1.5-11 所示,来自机床的污液送至带过滤网的托盘 5 中,经过滤网粗过滤后流到过滤纸带 3 上,再经过滤纸细过滤。过滤纸带坐落在钢丝网状传动带 4 上,由传动带电机 2 带动缓慢移

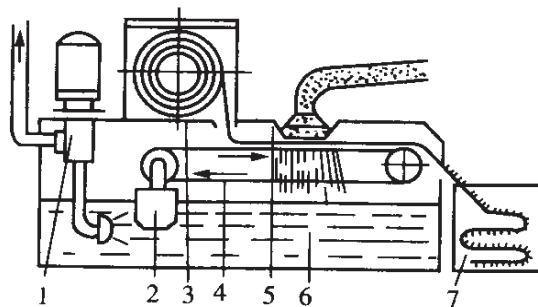


图 1.5-11 滤纸过滤系统示意图

1—清水泵 2—传动带电机 3—过滤纸 4—传动带
5—过滤网 6—净液箱 7—废过滤纸箱

动,最后将带有切屑、磨粒等一定厚度杂质的过滤纸送入废过滤纸箱 7 中。经过净化的磨削液由清液泵 1 再送入机床使用。

上述电机 2 带动传动带缓慢移动,也可改为自动控制,可在过滤纸上方增加一个浮子开关。当过滤纸毛细孔被切屑、油污等堵塞时,过滤能力下降,过滤纸面上液面会升高,抬起浮子,此时接通发令器信号,启动电机,带动过滤纸移动一小段距离,于是新的过滤纸参加工作,纸带上液面很快下降,浮子复位,过滤纸停止移动。

纸带过滤装置的优点是过滤精度高,过滤精度主要取决滤纸的密度,一般可将 $5\sim 10\ \mu\text{m}$ 的细小微粒分离出来。其缺点是净化能力较小,滤纸易堵塞,并且过滤纸消耗大。

(五) 磨削液供给净化系统

目前切削液净化处理多以单机分散供给净化处理,随着现代化大生产的需要,发展为多机床集中供液集中净化处理。可将一条或几条生产线,甚至全车间、全厂的切削液采用集中供给及净化处理,采用大循环、大流量、大行程液体回流供给。其优点是:

(1) 对切削液的质量实行统一监控,自动补液,保证切削液的质量稳定。例如,切削液的热量散发快,供液系统温度低;节假日停工期间还设有内循环,使切削液不断地流动,有效地抑制了细菌的生长;易于对切削液性能指标(如 pH 酸碱值、浓度及泡沫等)实现自动控制,确保切削液的质量。

(2) 停机时间少,生产工作稳定。

(3) 切削液集中供给,自动输送、收集和净化处理,保护生态环境。

(4) 切削液平均使用寿命比单机分散供应提高很多,一般可提高 $2\sim 3$ 倍。

六、使用磨削液出现的问题及解决措施

在磨削液使用中,往往出现达不到预期效果或出现一些意外

问题：如表面粗糙度值高，砂轮耐用度低，加工效率低等。也有磨削液管理方面的问题：如磨削液易腐败，工件和机床锈蚀等。也有安全卫生方面的问题：如操作人员患皮炎等。出现这些问题可参考表 1.5-4，分析原因及采取相应措施。

表 1.5-4 磨削液使用中的问题及解决措施

| 序号 | 问 题 | 原 因 | 相 应 措 施 |
|----|----------------|---------------------------|---|
| 1 | 磨削表面粗糙度值高 | 磨削液的润滑性能不足 | ① 油基磨削液换用油性剂、极压添加剂含量多的磨削液；水基磨削液换润滑性能好的合成磨削液 ② 提高油性的黏度或水基液的浓度 ③ 改善过滤装置 ④ 增加供液量和压力 |
| 2 | 尺寸精度不易保证 | 磨削液的冷却性能不足，工件受热膨胀 | ① 增加供液量和压力 ② 使磨削液自身温度下降，容器要足够大，加大循环散热 |
| 3 | 工件表面出现烧伤和裂纹 | 磨削液渗透性不好，达不到磨削区，致磨削温度高 | ① 油基磨削液应降低其黏度；水基磨削液应选用渗透好的磨削液 ② 增大供液量和压力 ③ 改善浇注方法 |
| 4 | 工件表面有残余应力、硬度降低 | 磨削液的润滑性、冷却性不足，磨削区产生大量的磨削热 | ① 油基磨削液增加黏度；水基选用润滑性好的合成切削液或浓度高的乳化液 ② 增大供液流量和压力 ③ 选用极压添加剂含量高的磨削液 |

续表

| 序号 | 问 题 | 原 因 | 相 应 措 施 |
|----|-------------------------|--|--|
| 5 | 砂轮堵塞 | 磨削液的渗透性、清洗性差,引起切屑将气孔堵塞 | ① 降低油基磨削液的黏度;或换用渗透性、清洗性好的水基磨削液 ② 增大供液流量和压力 ③ 选用易使磨粒自锐的合成磨削液 |
| 6 | 砂轮磨钝 | 磨削液的润滑性能差,磨粒刀刃磨耗快 | ① 换用油性剂和极压添加剂含量高的磨削液;水溶液选用润滑性好的乳化液或高浓度的合成液 ② 增大供液流量和压力,增加冲洗能力 |
| 7 | 树脂砂轮耐用度低 | 碱性磨削液作用使树脂结合剂溶解 | 换成碱性弱的(pH8.5左右)磨削液 |
| 8 | 随着使用期增加,砂轮耐用度下降,磨削液性能降低 | ① 漏油使磨削液性能降低 ② 磨削液中切屑及细微磨粒等杂质增多 ③ 水基磨削液浓度降低 ④ 磨削液腐败 | ① 采取防止漏油措施 ② 油基补充有效添加剂成分;水基判定使用液浓度,补充原液 ③ 改善过滤装置 ④ 水基磨削液增加防腐剂、增 pH 剂使原液回复正常状态 ⑤ 换用新液 |
| 9 | 机床或工件生锈(水基磨削液) | ① 使用液浓度降低 ② pH 降低 ③ 防锈剂量少或被消耗 ④ 使用液腐败变质 | ① 测定浓度并保持一定浓度 ② 补充碱性液以保持 pH 在 9 左右 ③ 补充防锈剂 ④ 严重腐败变质时换用新液 |

续 表

| 序号 | 问 题 | 原 因 | 相 应 措 施 |
|----|------------------|---|---|
| 10 | 工序间零件生锈(水基磨削液) | ① 停留时间过长 ② 受附近酸洗槽酸性气体的腐蚀 ③ 在梅雨等异常气候等条件存放 | ① 涂上防锈油脂 ② 在周围环境条件影响下,预先涂上防锈油脂 ③ 补充防锈剂 ④ 适当增加水基液浓度 |
| 11 | 机床床面等出现污斑(油基磨削液) | 由于金属表面与磨削液中的某些成分反应引起 | ① 操作完立即做好清洁工作 ② 检查磨削液中是否混入了水分 ③ 检查是否磨削液中的极压添加剂起化学反应 ④ 腐败变质的磨削液及时更换 |
| 12 | 乳化液分离、转相、生成不溶物 | ① 稀释方法不当 ② 漏油混入液中 ③ 腐败变质 ④ 工件为铝合金时,氢氧化铝引起生成金属碱 | ① 在液箱内加满水并搅拌,然后加入原液乳化 ② 防止漏油,安装漏油回收装置 ③ 添加防腐剂、pH 增加剂或增加原液 ④ 换新液 |
| 13 | 涂料剥落(水基磨削液) | 液中的碱和表面活性剂的作用 | 磷苯二甲酸系涂料易剥落,故应烤涂乙烯树脂或聚胺酯系的涂料 |
| 14 | 水基磨削液起泡沫多 | 表面活性剂量太多(稀释浓度太浓) | ① 浓度太高时加水稀释 ② 加消泡剂 ③ 改换磨削液的种类 |

续 表

| 序号 | 问 题 | 原 因 | 相 应 措 施 |
|----|--------------------------|--|---|
| 15 | 水基磨削液易腐败换液频繁 | ① 管理不善 ② 液中防腐性能不良 ③ 漏油、切屑等混入多 ④ 长期不用,鼓入空气不足 ⑤ 使用浸硫砂轮 | ① 进行 pH 和浓度管理 ② 定期添加杀菌剂 ③ 设置防漏油与过滤装置 ④ 休假期间定期向磨削液中鼓入空气 ⑤ 换用适于浸硫砂轮的磨削液 |
| 16 | 水基磨削液发红 | ① 磨削液中的胺与切屑(铁)反映 ② 生成氢氧化铁 | ① 增加过滤装置、清除磨削液中切屑 ② 添加防锈剂、pH 增高剂 |
| 17 | 使用油基磨削液出现飞溅的切屑在液箱中冒烟、起火 | 磨削液的闪点低 | ① 换用水基磨削液 ② 换用闪点高的磨削液 |
| 18 | 皮肤炎操作者出现皮肤干燥、开裂、发疹、红斑、溃烂 | ① 溶剂或低粘度石油制品引起脱脂 ② 油过敏 ③ 碱和表面活性剂引起的脱脂与刺激 | ① 选用对皮肤刺激性小的磨削液 ② 设置防止飞溅的装置,以减少接触机会 ③ 操作者应经常保持手、腕及工作服的清洁,作业終了洗干净并涂上保护脂 ④ 进行使用液的管理,防止腐败变质 ⑤ 对有过敏体质的操作者调换工作 |

续 表

| 序号 | 问 题 | 原 因 | 相 应 措 施 |
|----|--------------------|---|--|
| 19 | 机床周围发臭 | ① 水基液腐败, 油盘及地面等处漏出的磨削油腐败 ② 磨削温度高, 油基液成分汽化, 分解生成物汽化 | ① 更换新液, 添加杀菌剂、防腐剂 ② 增大供液量与供液压力, 降低磨削温度, 减少烟雾发生 ③ 经常清扫油盘和地面 |
| 20 | 油基磨削液发生冒烟, 车间内烟雾弥漫 | 切削油闪点低 | ① 供给闪点高的切削油 ② 换用水基磨削液 |

第六节 常用量具

一、卡尺

磨削加工测量常用的卡尺主要有游标卡尺、深度游标卡尺、带表卡尺和电子数显卡尺等。

(一) 游标卡尺(GB/T 1214.2—1996)

游标卡尺主要用来测量工件的外径、内径、长度、深度和宽度等,其测量精度有 0.1 mm、0.05 mm、0.02 mm 等,测量长度最大达 1 000 mm。

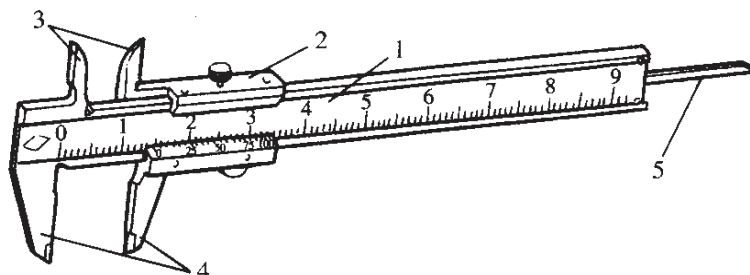


图 1.6-1 游标卡尺

1—主尺 2—游标 3、4—量爪 5—深度尺

游标卡尺的刻线原理和识读方法是：以 0.02 mm 精度游标卡尺为例，主尺每小格 1 mm，副尺 49 mm 的长度上刻有 50 格，每格为 $49/50=0.98$ mm，因此主尺与副尺相对一格的差为 $1-0.98=0.02$ mm，这就是游标卡尺的精度。识读时，先读出副尺“0”线左侧的主尺整数毫米数，再看主尺与副尺哪条线对齐，在副尺上读出小数毫米，然后将两者相加，即为读数，见图 1.6-2。

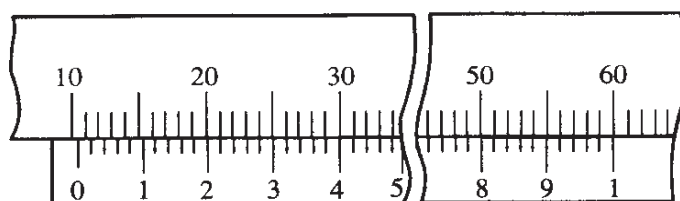


图 1.6-2 游标卡尺的读数

(二) 深度游标卡尺(GB/T 1214.4—1996)

深度游标卡尺是游标卡尺的一种，用来测量孔的深度，槽的宽度，实体不同表面的高度差等，其测量精度有 0.1 mm、0.05 mm、0.02 mm 等，测量深度最大至 500 mm。

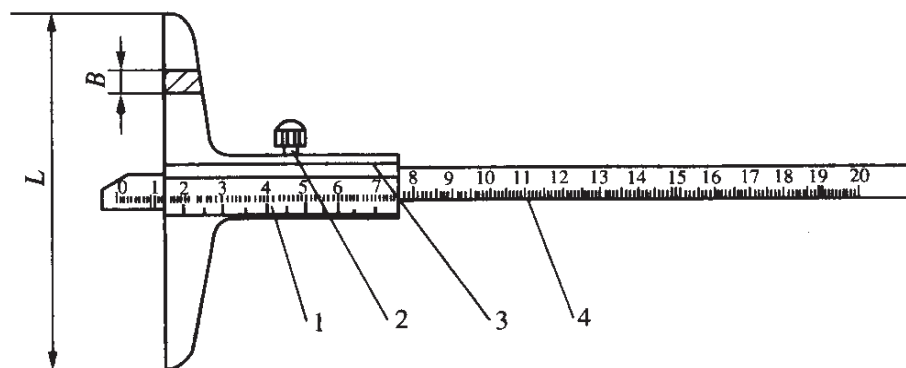


图 1.6-3 深度游标卡尺

1—游标 2—紧固螺钉 3—尺框 4—尺身

深度游标卡尺的刻线原理与游标卡尺相同，其识读方法也完全一样。

(三) 带表卡尺(GB/T 6317—93)

带表卡尺是通过机械传动系统将两测量爪相对移动转变为指示指针的回转运动,并借助尺身刻度和指示表,对两测量爪相对移动所分隔的距离进行读数的一种长度测量工具。

带表卡尺的测量精度为 0.01 mm、0.02 mm、0.05 mm,测量范围可至 300 mm。

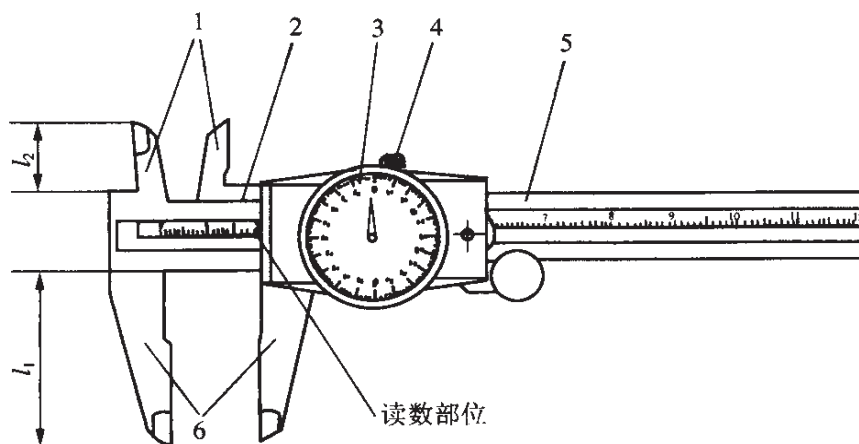


图 1.6-4 带表卡尺

1—内爪 2—游标 3—读数表 4—紧固螺钉 5—主尺 6—外爪

识读带表卡尺时,整数部分的识读与游标卡尺相同,小数可以从表上直接读出。

二、千分尺

(一) 外径千分尺(GB1216—85)

外径千分尺是利用螺旋副原理,对弧形尺架上两测量面间分隔的距离进行读数的通用长度测量工具。

外径千分尺是磨工常用量具,其测量精度为 0.01 mm,规格有: 0~25 mm、25~50 mm、50~75 mm、75~100 mm 等,每隔 25 mm 为一种规格,最大测量外径可达 1 000 mm。

外径千分尺的刻线原理和识读方法: 测微螺杆的螺距为 0.5 mm,

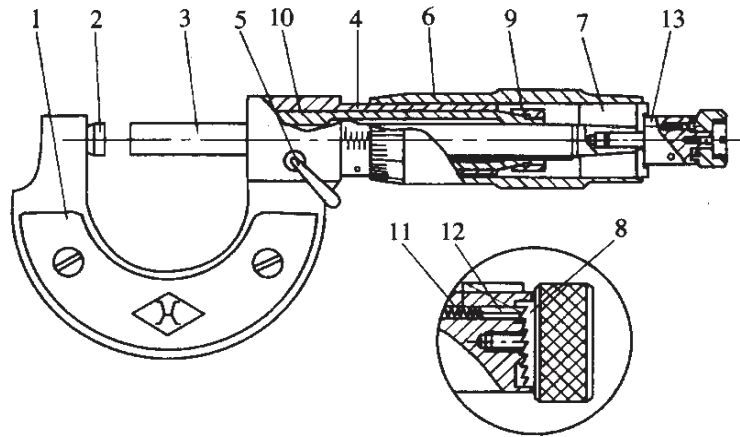


图 1.6-5 外径千分尺

1—测量座 2—固定测头 3—活动测头
4—固定套管 5—锁紧销 6—微分筒

当微分筒转一周时,测微螺杆向前或向后 0.5 mm。测微螺杆一周刻有 50 格,因此微分筒每转过一格,测微螺杆向前或向后的值为 $0.5/50=0.01$ mm。这就是外径千分尺的测量精度。识读时先读出测微螺杆上的刻线值(注意是毫米整数还是半毫米数),再读出微分筒上与测微螺杆基线对齐的刻线数值(即小数部分数值),最后将所读出的整数、半毫米数、小数三部分相加即为工件的尺寸。

(二) 三爪内径千分尺(GB6314—86)

三爪内径千分尺是通过旋转塔形阿基米德螺旋体将三个测量爪沿半径方向推出,使其与内孔接触,利用螺旋副原理对内孔尺寸进行读数的测量工具。

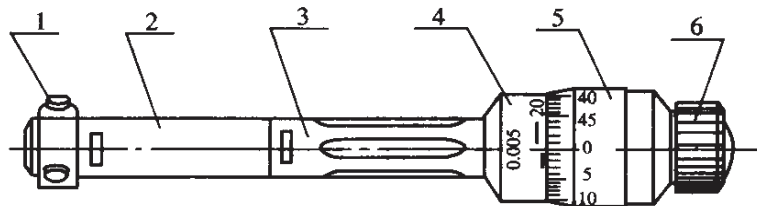


图 1.6-6 三爪内径千分尺

1—测量爪 2—测量头 3—连接杆 4—固定套管 5—微分筒 6—测力装置

三爪内径千分尺的测量精度为 0.01 mm 或 0.005 mm, 测量范围为 $\phi 6 \sim \phi 100$ mm。

三爪内径千分尺的读数方法与外径千分尺相同, 但应注意它的测微螺杆上刻度标尺递增方向与外径千分尺相反。

三、指示表

(一) 百分表(GB1219—85)

百分表是一种长度测量工具, 其测量杆的直线位移, 通过机械传动系统转变为指针在表盘上的角位移, 沿表盘圆周上有均匀的 100 格刻度, 当测量杆移动 1 mm 时, 指针顺时针转动一圈, 换句话说指针转动 1 格, 测量杆产生的位移为 $1/100 = 0.01$ mm。因此百分表的分度值为 0.01 mm。测量范围为 0~3 mm、0~5 mm 和 0~10 mm。

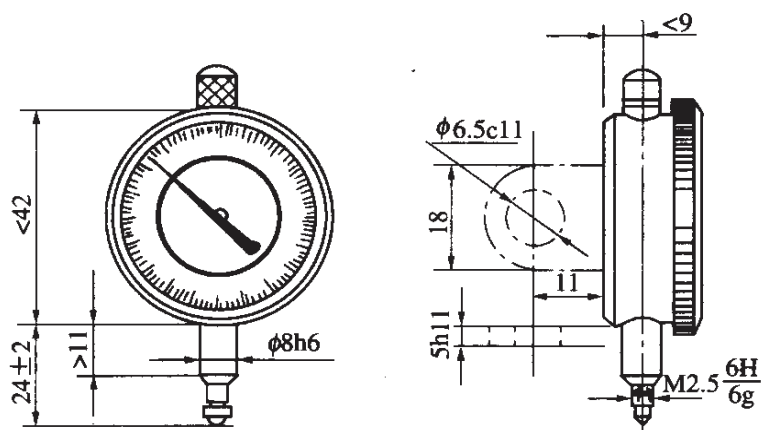


图 1.6-7 百分表

百分表用来测量零件的形状偏差和位置偏差, 磨削时也用来作调正零件用。使用时, 百分表应固定在可靠的表架上, 测量杆与被测零件表面必须垂直。

(二) 内径百分表(GB8122—87)

内径百分表是一种将活动测头的直线位移通过机械传动转变为百分表指针的角位移并由百分表进行读数的内尺寸测量工具。内径

百分表的分度值为 0.01 mm, 测量范围 6~10 mm、10~18 mm、18~35 mm、35~50 mm、50~100 mm、100~160 mm 等。

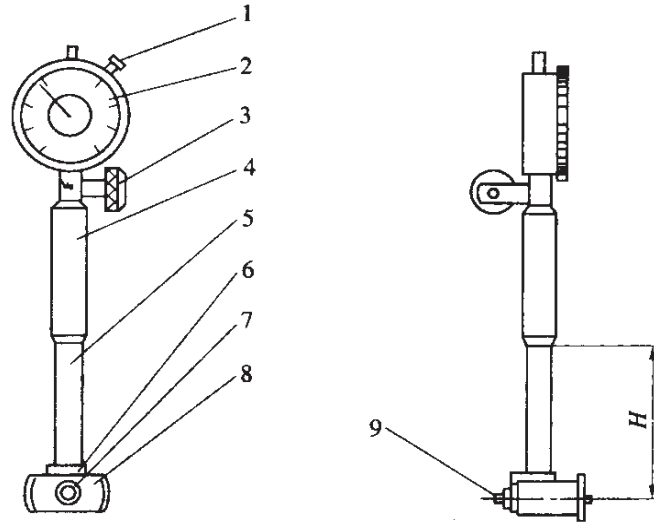


图 1.6-8 内径百分表

- 1—制动器 2—百分表 3—锁紧装置
4—手柄 5—直管 6—主体
7—活动测头 8—定位护桥 9—可换测头

内径百分表的使用:

1. 零位调整

依据被测量工件的孔径公称尺寸, 选择相应的标准环规或外径千分尺, 并将外径千分尺调整到被测工件的公称尺寸后锁紧。再根据被测量工件的孔径公称尺寸选择内径百分表, 换上相应的量头, 在测量杆上端孔内装入百分表头, 使百分表测杆压缩 0.2~0.3 mm 后紧固。将测量脚放到标准环规或外径千分尺两测量杆之间, 观察表指针摆动情况, 随时调整可换量头的距离, 使内径百分表在指示值为零时, 测量杆压缩 0.3~0.5 mm, 将内径百分表在环规或外径千分尺测量杆内摆动, 在环规内找最大值或在外径千分尺测量杆内找最小值, 并旋转表盘使表针在零位时也指在“0”值上。

2. 测量

将已调整好零位的内径百分表测量脚伸到被测工件孔内,上下或前后摆动,摆动幅度一般在 $\pm 12^\circ$ 左右,使内径百分表的测头与被测孔径相垂直,表面指针指向的数值与零位差值便是被测工件内孔尺寸的实际偏差值。

(三) 杠杆百分表(GB6310—86)

杠杆百分表是把杠杆测头的位移,通过机械传动系统,转变为指针在表盘上的角位移,沿表盘圆周有均匀的刻度(与百分表相同)。测量精度为 0.01 mm ,测量范围为 $0\sim 0.8\text{ mm}$ 。

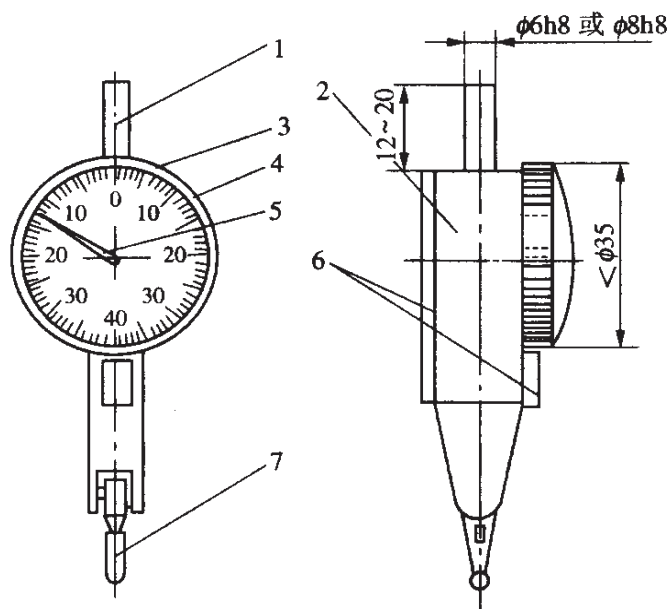


图 1.6-9 杠杆百分表

- 1—夹持杆 2—表体 3—表盘 4—表圈
5—指针 6—燕尾 7—杠杆测头

四、游标万能角度尺

游标万能角度尺(GB/T6315—1996)是利用游标对两测量面相对移动所分隔的角度进行读数的通用角度测量工具。其游标读

数值为 $2'$ 和 $5'$ ，测量范围为 $0^\circ \sim 320^\circ$ 、 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。

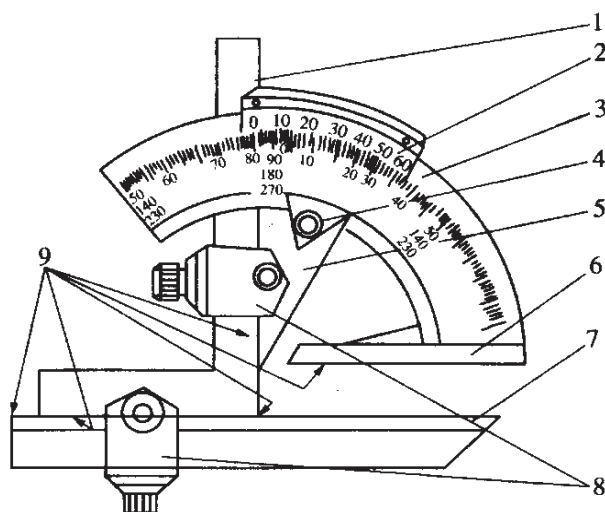


图 1.6 - 10 游标万能角度尺

1—直角尺 2—游标 3—主尺
4—制动头 5—扇形板 6—基尺
7—直尺 8—卡块 9—测量面

五、量具的保养

量具的使用和保养直接关系到它的使用寿命和测量精度。因此,使用和保管量具,必须做到以下几点:

(1) 使用前和使用后,必须用清洁棉纱擦干净,量具清洗和注油不能使用脏油。

(2) 测量时,不能用力过大或推力过猛。

(3) 精密量具不能测量粗糙的毛坯、生锈的工件和温度过高的工件。

(4) 不能用手触摸量具的测量表面,因为手上有汗、潮湿等脏物会污染测量面,使其生锈。

(5) 量具不能和其他工具混放,以免碰伤。

(6) 量具的存放地点要求清洁、干燥、无振动、无腐蚀性气体。

不要把量具放在高温或低温处,也不要将量具放在磁场旁,以免被磁化后造成测量误差。

(7) 普通量具使用完毕,应擦净、涂油,放在专用的盒子内,有条理地放在柜中或木架上的规定的位置。

第七节 砂轮的平衡与修整

一、砂轮的平衡

为了提高磨削质量,保持磨床精度和生产安全,必须对砂轮进行平衡。

砂轮的不平衡是由于砂轮重心与回转轴线不重合而引起,主要是砂轮制造和安装不正确造成的。如砂轮各部分的密度不均匀,两端面不平行,外表面几何形状不准确,内、外圆不同轴,安装在法兰盘上产生偏心等。不平衡的砂轮高速旋转,将产生迫使砂轮偏离轴心的离心力,引起机床的振动,使被加工工件表面产生多角形振痕或者烧伤,严重的甚至会造成砂轮碎裂。一般直径大于125 mm的砂轮都需要进行平衡。

平衡砂轮通常采用力矩平衡法,包括静态平衡和动态平衡。力偶平衡法是在动平衡机上进行的动平衡。

(一) 砂轮的静态平衡

砂轮的静平衡由人工利用静平衡工具进行,为一般工厂所常用。

圆柱式平衡架,用于大直径砂轮的平衡;有刀口式的,其灵敏度高,用于小直径砂轮的平衡。图 1.7-1 所示的平衡架为圆轴式,由支架 1 和两根直径相同并且互相平行的轴 2 组成。两轴是静平衡的导轨,要求表面粗糙度 $Ra \leq 0.2 \mu\text{m}$,硬度 $\text{HRC} \geq 50$,使用时必须使其处于水平位置,并在同一水平上。

静平衡的指标是使砂轮在水平导轨上的任何位置都能保持静

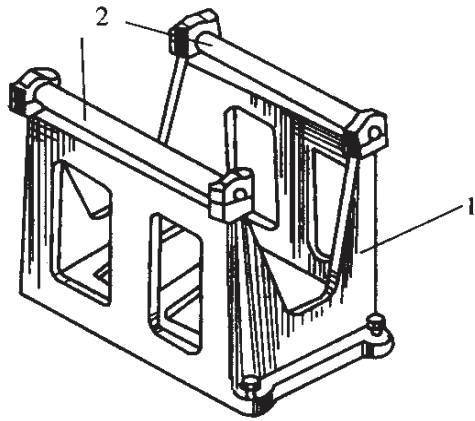


图 1.7-1 静平衡架

1—支架 2—光滑轴

止状态。

图 1.7-2 所示为平衡块,装在砂轮法兰盘环形槽内,结构各不相同。扇形平衡块用于尺寸较大砂轮的平衡,螺钉 1 被拧紧后,其锥端部迫使钢珠 4 向外胀开,平衡块 2 被固定在法兰盘 3 的环形槽内。圆锥形平衡块用于小尺寸砂轮,螺钉 1 可把平衡块 2 固定在法兰盘 3 的燕尾形槽内。

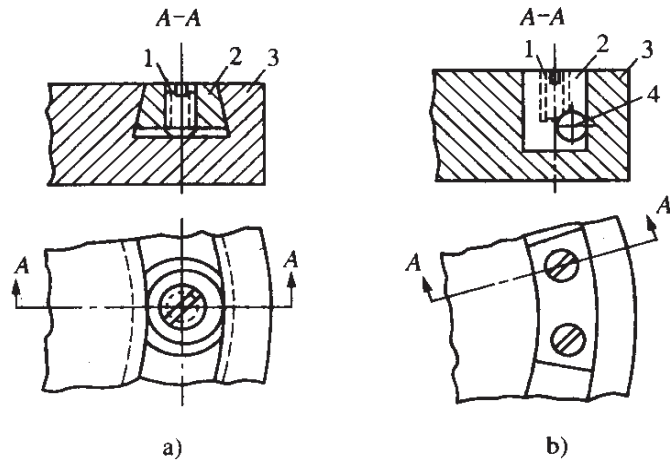


图 1.7-2 平衡块

a) 圆锥形平衡块 b) 扇形平衡块

图 1.7-3 所示为平衡心轴,是静平衡常用的工具。使用时,将砂轮装在砂轮法兰盘上,再将法兰盘套在心轴上,与心轴锥度紧密配合后旋紧螺母 2。平衡心轴两端的轴颈 1 与轴颈 5 的实际尺寸差值应不大于 0.01 mm。其表面粗糙度 $Ra \leq 0.4 \mu\text{m}$,硬度 $\text{HRC} \geq 50$,并预先经过平衡。

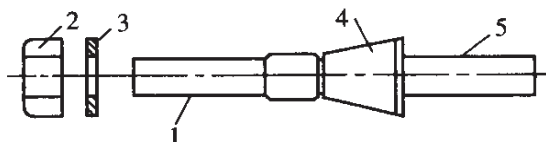


图 1.7-3 平衡心轴

1、5—轴颈(实际尺寸一致) 2—螺母 3—垫圈 4—锥体

1. 砂轮静平衡前的准备工作

① 砂轮及平衡用工具应清洁,甩净砂轮上的磨削液并清除油污。

② 检查平衡工具的精度,调整平衡架的水平。调整时,两块平行铁放在导轨上,再放上水平仪,见图 1.7-4。调节 3 只支承螺钉,在纵向和横向两个方向用水平仪校验导轨的水平,使水平仪气泡处于中间位置或调整到 0.02/1 000 mm 以内。特别是纵向水平对平衡的精度有更大的影响。

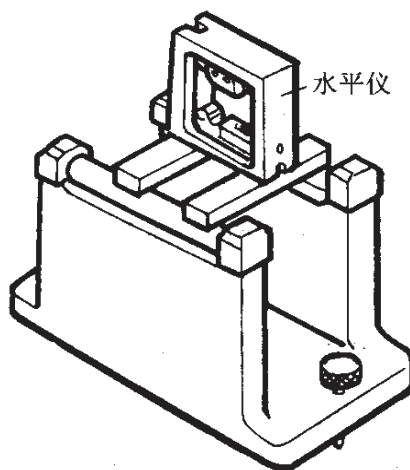


图 1.7-4 平衡架调整

③ 砂轮要紧固于法兰盘上,配合间隙应符合表 1.7-1 的要求。

表 1.7-1 砂轮孔与法兰盘配合间隙

| 砂轮孔径 (mm) | 配合间隙(mm) | |
|--------------|----------|---------|
| | 普通砂轮 | 高速砂轮 |
| ≤ 100 | 0.1~0.8 | 0.1~0.5 |
| 100~200 | 0.2~1.0 | 0.2~0.6 |
| > 250 | 0.2~1.2 | 0.2~0.8 |

2. 砂轮静态平衡的“三点平衡法”原理

三点平衡法是快速静平衡砂轮的有效方法,其原理见图 1.7-5。

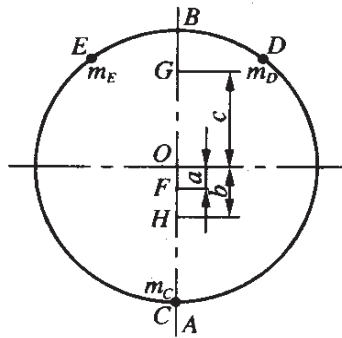


图 1.7-5 砂轮三点平衡法原理

O 为砂轮的假设中心,因为砂轮不平衡其重心不在中心 O 上,设砂轮重心在 F 点上, OF 在垂直中心线 AB 上。当 C 点上加平衡块 m_C 时,此时砂轮不平衡的重心必处于 CF 之间的 H 点上,且离 O 点距离为 b 。再在 OB 的两侧 E 点和 D 点上分别加平衡块 m_E 和 m_D ,这样就可把砂轮看成是有 3 个平衡块分别在 H 、 E 、 D 三点上,只要 3 个平衡块的质心能于中心 O 重合,砂轮就达到平衡。由此可保持 H 点不变,即 m_C 不动,而移动平衡块 m_D 和 m_E ,使 m_D 和 m_E 的合成质心落在 AB 线的 G 点上,设 $OG=c$,砂轮质量为 M ,若 $(M+m_C)b=(m_D+m_E)c$,砂轮即达到平衡。这就是所

谓的“三点平衡法”原理,把平衡砂轮的问题归结为移动平衡块 m_D 、 m_E ,使 m_D 和 m_E 的合成质心位于 G 点上。经过这样的平衡,砂轮可在任何方向都能保持其静态的平衡。

3. 砂轮静态平衡的调整方法

具体的调整步骤如图 1.7-6 所示。

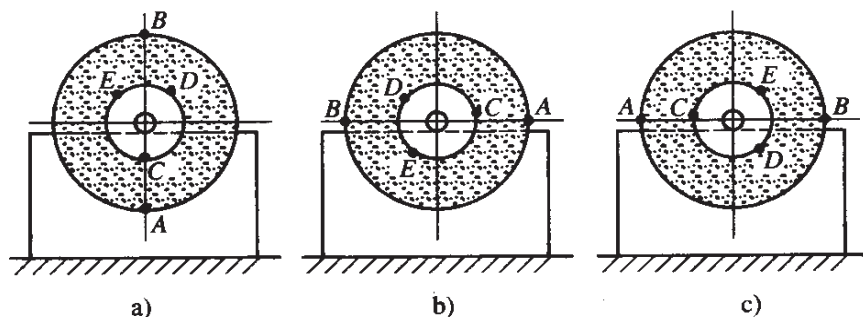


图 1.7-6 砂轮的静态平衡调整

- ① 找出通过砂轮重心的最下位置点 A 。
- ② 与 A 点在同一直径上的对应点记作 B 。
- ③ 加入平衡块 C ,使 A 和 B 两点位置不变。
- ④ 再加入平衡块 D 、 E ,仍使 A 和 B 两点位置不变。如有变动,可上下调整 D 、 E ,使 A 、 B 两点恢复原位。此时砂轮左、右已经平衡。见图 1.7-6 a)。

⑤ 砂轮转动 90° ,使 B 点处于水平位置,如不平衡,可移动 D ,如果 B 点较轻,平衡块 D 向 B 移动;如 B 点较重,平衡块 D 离开 B 点移动。见图 1.7-6 b)。

⑥ 再将砂轮转 180° ,使 B 点处于图 1.7-6 c)所示位置,若不平衡,再移动平衡块 E ,直至砂轮在任何位置都能静止,说明砂轮已平衡好。一般要求达到使砂轮圆周 8 个对应点平衡。

4. 砂轮静平衡的质量

砂轮静态平衡的质量直接影响磨削质量,特别是在高速磨削中,应检测砂轮平衡后振幅量的大小,以确定是否需要再次进行

平衡。

砂轮的平衡质量与振幅的关系见表 1.7-2。

表 1.7-2 砂轮平衡质量和振幅关系

| 测量部位 | 振动方向 | 振 幅(μm) | |
|-----------------|------|----------------------|-------------|
| | | 平衡质量好 | 平衡质量差 |
| 主轴前端 (靠砂轮端) | 水 平 | ≤ 0.3 | ≥ 1.2 |
| | 垂 直 | ≤ 0.2 | ≥ 0.25 |
| 主轴后端 (靠皮带轮端) | 水 平 | ≤ 0.2 | ≥ 0.9 |
| | 垂 直 | ≤ 0.2 | ≥ 0.15 |

一般情况下新砂轮的平衡需要进行 2 次。修整砂轮前先进行一次平衡,装上机床后,修整砂轮外圆和两端面,然后拆下来再进行第二次平衡。有时砂轮用过一段时间,发现工件上产生多角形振痕,也需要拆下砂轮重新平衡后再使用。

(二) 砂轮的动态平衡

随着精密磨削和高速磨削的发展,在磨床上已采用自动或半自动的动态平衡装置。动态平衡装置可使磨床在运转中随时快速平衡砂轮,使砂轮在使用中始终保持良好的平衡状态。

按其结构的不同,动态平衡装置主要有机械式、电气机械式、液体式等。按其控制方式的不同主要有手动、半自动和全自动控制方式等。

1. 安装在砂轮法兰盘端部的手动式平衡装置

如图 1.7-7 所示,整个装置由旋转和固定两部分组成。旋转壳体 1 内的平衡块 2 可以做径向移动和旋转,调整平衡块在砂轮上的位置(偏心量和相位角),便可使砂轮平衡。壳体 7 上的挡杆 9 与砂轮罩壳上的挡杆相碰,使壳体不会跟平衡装置的其他部分一起旋转。手动旋转螺杆 8 使之向前移动时,通过球轴承使大导

程的螺杆 4 向前移动,螺杆 4 用滑键和盖 10 相配,因此在螺杆移动时就迫使螺母 3(没有自锁作用)带动平衡块旋转,调整相位角。螺钉 6 的转动又通过平面止推轴承推动杠杆 5,从而拨动平衡块沿径向移动,调整平衡块的偏心量。

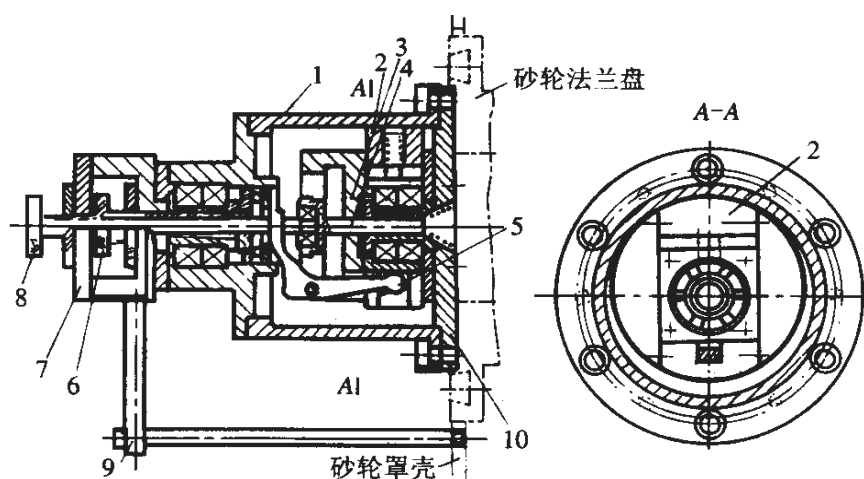


图 1.7-7 安装在砂轮法兰盘端部的手动式平衡装置

1—旋转壳体 2—平衡块 3—螺母 4—大螺距螺杆 5—杠杆
6—螺钉 7—壳体 8—螺杆 9—挡杆 10—盖

2. 安装在主轴锥体内部无附加力偶的电气机械式半自动平衡装置

如图 1.7-8 所示,该装置安装在主轴孔内(装砂轮的部位),平衡锤 2 安装在平衡锤座 1 上,平衡锤与主轴一起转动(工作转速),当平衡锤移离中心位置,就会产生离心力使砂轮平衡。主轴的另一端安装有 2 台微分电机,一台电机转动平衡锤座 1 使平衡锤 2 转至 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 的任意相位。另一台电机使平衡锤沿径向移动,移至使砂轮平衡的位置为止。两台微分电机均有操作钮控制。磨头上则装有测振器 7,其信号经过电子仪器处理后在仪表上显示出振幅、平衡相位及不平衡量等参数。根据这些参数在操作时首先按相位钮,后按径向位置钮,直到仪表所显示的振幅等参数达到零(或允许值)为止。整个平衡操作仅需 1~2 min。

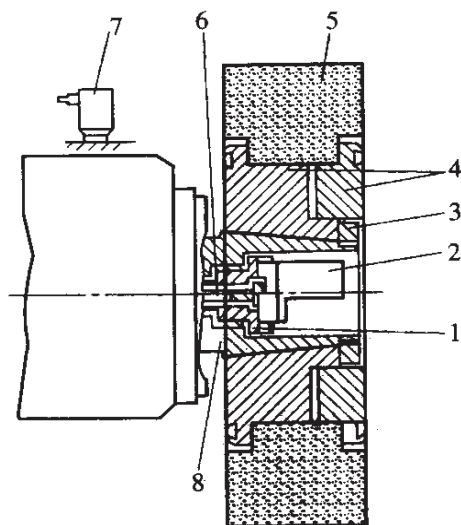


图 1.7-8 电气机械式半自动动态平衡装置

1—平衡锤座 2—平衡锤 3—螺母 4—法兰盘 5—砂轮
6—平衡锤传动轴 7—测振器 8—主轴

3. 液体式自动动态平衡装置

液体式自动平衡装置如图 1.7-9 所示。利用机床本身使用的磨削液,通过阀块组 7 分别进入 4 只转向阀,然后经喷嘴块 4 中的 4 个喷嘴头喷入环形器 8 中的 4 个环形槽及其相对应的 4 个平衡室内。靠砂轮 1 旋转的离心力,将液体有效地贴附在平衡室内壁,使砂轮得到平衡。

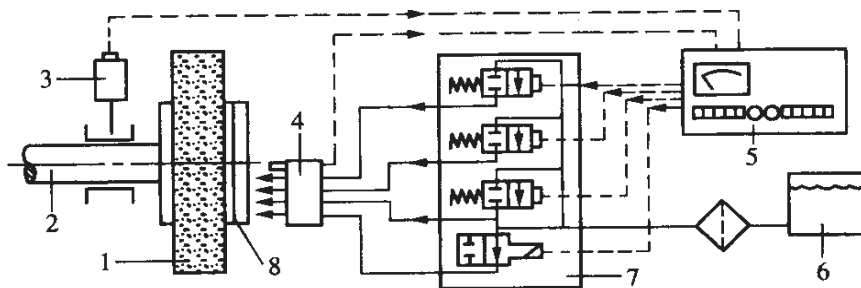


图 1.7-9 液体式自动平衡装置

1—砂轮 2—砂轮主轴 3—测振器 4—喷嘴块 5—电子控制仪
6—磨削液箱 7—阀组块 8—环形器

砂轮的不平衡状态通过测振器 3,将测得的振动信号输入电子控制仪 5,对于主轴旋转频率、不平衡力矩、振幅、平衡相位(4 个腔体所对应的 4 个相位的不平衡状态)显示和判别,并能连续或断续有选择地自动对 4 个平衡室补偿液体。当达到所需要的平衡值以后,装置自动停止工作。其平衡值允差可根据需要在仪器 5 中事先设定。

本装置的不平衡量可以达到 1 g 以内,振幅 $<0.1 \mu\text{m}$,平衡精度高,平衡量大。一般直径 600 mm 的砂轮,在不作任何静平衡的情况下可直接上机进行动态平衡,操作方便,省时省力。平衡时无机械接触、无磨损,使用寿命长。缺点是停车后平衡液体从储存槽中流出,因此每次启动主轴须重新平衡。

(三) 砂轮的动平衡(力偶平衡)

对于多砂轮磨削及宽砂轮磨削,为达到砂轮的力偶平衡,必须在动平衡机上进行动平衡。例如对发动机曲轴的多砂轮磨削就需要对砂轮进行动平衡。动平衡机上装有仪表,由仪表显示出不平衡的端头(左或右)、相位及不平衡量,按照显示的内容由人工对砂轮左、右两侧的平衡块进行调整后再上机进行复测,反复几次将不平衡量控制在允许的范围之内。

二、砂轮的修整

砂轮在使用一段时间后,会发生钝化而丧失磨削能力或失去正确的几何形状。砂轮磨钝一般有磨粒磨钝、磨粒与磨屑黏结、砂轮堵塞、砂轮外形失真等形式。用砂轮修整工具将砂轮工作面已磨钝的表面修整以恢复切削性能和正确的几何形状。砂轮工作表面的磨粒是否锋利及轮廓形状是否失真,对磨削效率及加工工件的表面质量都有着直接的影响。对于磨削表面粗糙度小于 $Ra1.6 \mu\text{m}$ 的工件及成形磨削,都必须通过砂轮的精细修整。现代 CNC 磨床的高效率、高精度成形磨削,已采用每磨 1

只工件就自动修整砂轮 1 次或采用连续修整砂轮技术,从而确保工件表面的粗糙度、形状、尺寸精度及高的生产率。砂轮的及时修整是消除某些磨削缺陷、提高磨削质量及磨削效率的重要措施之一。

(一) 修整砂轮的基本原则

应根据砂轮的性质、工件材料、工件表面精度要求及加工形式等决定砂轮表面修整的粗细及采用的修整方法。

- (1) 工件表面精度要求高,砂轮修整要平细。
- (2) 工件材料硬,接触面积大,砂轮修整要粗糙。
- (3) 横向、纵向进给量小时,砂轮表面要平细。
- (4) 粗磨比精磨的砂轮修整要粗糙。
- (5) 横向、纵向进给量大时,砂轮表面要粗糙。
- (6) 高精度、低粗糙度磨削时,砂轮应适当增加光修次数。

(二) 砂轮修整的基本方法

修整砂轮的基本方法可分为三大类:车削法、滚压法和磨削法。常用的修整工具见图 1.7-10。

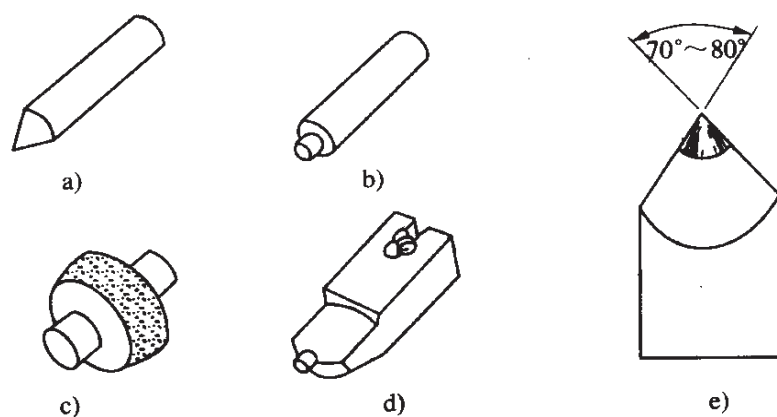


图 1.7-10 常用砂轮修整工具

- a) 金刚钻 b) 金刚石笔 c) 滚轮
d) 金刚石车刀 e) 金刚钻形状

1. 车削法修整

车削法修整砂轮采用金刚石工具,修整速度等于砂轮速度,如图 1.7-11 所示。

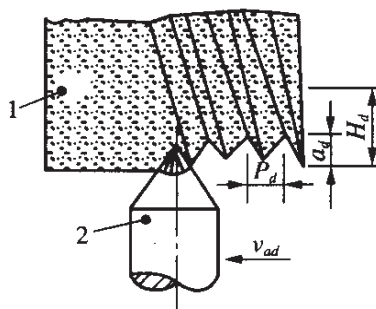


图 1.7-11 车削法修整砂轮示意

1—砂轮 2—金刚石工具

修整工具(金刚石)以修整深度 a_d 切入砂轮并沿砂轮轴向以修整导程 P_d 移动。修整的层厚 $H_d = N_d \cdot a_d$ (N_d 为修整吃刀次数)。车削时利用坚硬的金刚石将脆性磨粒撞碎,使形状不同的磨粒裸露或产生微刃,组成高低不平的表面及锋利的切削刃口。砂轮修整以后具有较强的磨削能力和较高的耐用度。

(1) 砂轮车削修整用工具及修整用量

① 单颗粒金刚石笔

单颗粒金刚石笔其顶角一般取为 $70^\circ \sim 80^\circ$,其形状如图 1.7-10 e) 所示。每次装夹要转动一个方位,以利用金刚石的锋锐面。用钝后要翻修重焊。金刚石颗粒大小的选择应根据砂轮直径、厚度、磨料种类、砂轮硬度和粒度等来选用。砂轮尺寸越大,粒度越粗,硬度越高,金刚石颗粒就应选得越大。

一般情况下可根据砂轮直径大小与磨削方法选择,见表 1.7-3。

单颗粒金刚石修整用量的合理选择对于确保砂轮的修整质量、降低修整工具和砂轮的消耗量非常重要。可根据磨削工序的具体要求进行选择,见表 1.7-4。

表 1.7-3 金刚石笔及其选用

| 磨削方法 | | 砂轮直径(mm) | 金刚石笔型号 |
|-------------------|----------|--|----------------|
| 外圆磨 | | 900~1100 | L1110 |
| | | 600~750 | L1109 |
| | | 300~500 | L1108 |
| | | ≤250 | L1105 |
| 平面磨 | | 300~500 | L1108 |
| | | ≤250 | L1107 |
| 无心磨 | 磨削轮 | 300 $B \leq 100$ | L1108 |
| | | 400~600 $B < 200$ | L1108 |
| | | 600 $B \geq 400$ | L1109 |
| | 导轮 | ≤300 $B < 200$ 300~500 $B \geq 250$ | L1107 L1108 |
| 内圆磨 | | 12~60 | L1104 |
| | | 70~150 | L1105 |
| | | >200 | L1106 |
| 磨沟槽 | | 200 | L1105 |
| 磨槽侧 | | 200 | L1105 |
| 齿轮磨 | | 250 | L1106 |
| 螺纹磨 螺距 (mm) | 0.5 | 400 | L1104 |
| | 0.5~0.8 | 400 | L1104 |
| | 0.8~1.25 | 400 | L1105 |
| | 1.25~2.0 | 400 | L1105 |
| | 2.0~3.0 | 400 | L1106 |
| | 3以上 | 400 | L1108 |

表 1.7-4 单颗粒金刚石修整用量推荐值

| 修整用量 | 磨 削 工 序 | | | | |
|-----------------------|---------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | 粗 磨 | 半精磨 | 精密磨 | 超精磨 | 镜面磨 |
| 修整导程 P_d (mm/r) | 与砂轮 磨粒平均 粒径相近 | 0.03~ 0.08 | 0.02~ 0.04 | 0.01~ 0.02 | 0.006~ 0.01 |
| 修整深度 a_d (mm/st) | 0.01~ 0.02 | 0.0075~ 0.01 | 0.005~ 0.0075 | 0.002~ 0.003 | 0.002~ 0.003 |
| 修整层厚度 H_d (mm) | 0.10~ 0.15 | 0.06~ 0.10 | 0.04~ 0.06 | 0.10~ 0.02 | 0.01~ 0.02 |
| 光修次数 | 0 | 1 | 1~2 | 1~2 | 1~2 |

② 金刚石笔的修整用量见表 1.7-5。

表 1.7-5 金刚石笔的修整用量推荐值

| 修整用量 | 半精磨 | 精 磨 | 精密磨 |
|-----------------------|-----------|------------|-------------|
| 修整导程 P_d (mm/r) | 0.01~0.02 | 0.005~0.01 | 0.003~0.006 |
| 修整深度 a_d (mm/st) | 0.02~0.04 | 0.01~0.02 | 0.006~0.01 |
| 修整层厚度 H_d (mm) | 0.02~0.08 | 0.02~0.06 | 0.01~0.04 |
| 光修次数 | 0 | 1~2 | 1~2 |

③ 磨料修整块

碳化硅修整块和碳化硼修整块为常用的两种。前者主要用于金刚石修整以前的粗修或刀具刃磨砂轮的修整。其硬度比被修砂轮高 1~3 级,粒度粗 2~3 号。多用于手动整修,也可将修整块装夹在夹具上进行机动修整。后者主要用于刀具刃磨砂轮修整和内圆磨削砂轮的粗修整。

(2) 车削法修整砂轮工具的安装

① 单颗粒金刚石的安装如图 1.7-12 所示,由于金刚石刀杆对砂轮半径安装成 $10^\circ \sim 15^\circ$ 角,使金刚石在低于砂轮轴线 2~5 mm 处与砂轮相切,同时沿轴向进给方向倾斜 $10^\circ \sim 15^\circ$ 的偏角,使修整的砂轮更

为锋利,金刚石的寿命也将延长,还可以避免修整时发生颤动或啃刀。

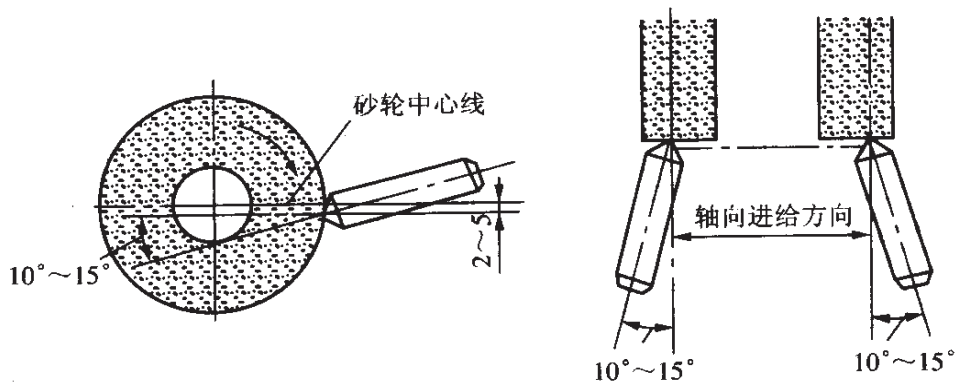


图 1.7-12 单颗粒金刚石安装位置

② 成形磨削砂轮的车削法修整及安装见第三章第二节成形面磨削。

2. 滚压法修整

当滚压轮的速度 v_r 和砂轮的速度 v_s 之比 $q=v_r/v_s=1$ 时的修整称为滚压法修整。滚压修整一般用于成形磨削,也用于普通外圆及平面磨削。滚压修整时,砂轮一般是以 $v_s=0.5\sim 2\text{ m/s}$ 低速带动滚压轮旋转(滚压轮为从动)。但在成形磨削中,滚压轮也可以由专用的手动或机动修整夹具,慢速带动砂轮旋转,但效率较低。

滚压法修整的砂轮切削性能较好,成本较低,但工件的表面粗糙度较粗,滚轮易磨损,寿命短,精度易丧失。此法多用于单件和小批量的生产。

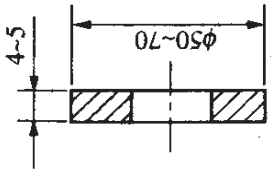
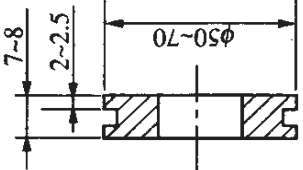
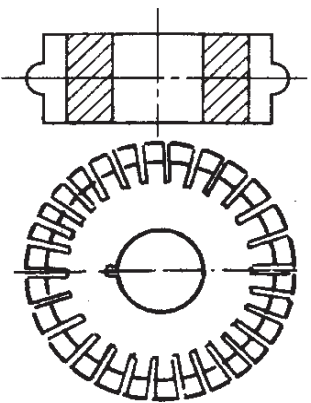
(1) 常用滚压轮的种类

常用的滚压轮一般有金属类、硬质合金类和磨料类。

金属滚压轮成本低,用于中小批量生产。硬质合金滚压轮修整精度、使用寿命都较高,但制造较困难,成本也较高。磨料类滚压轮在滚压法修整中较少采用,但对于超硬磨料砂轮的修整一般选用磨料滚压轮。

常用滚压轮的形式、用料、用途见表 1.7-6。

表 1.7-6 常用滚压轮的种类和使用范围

| 序号 | 示 图 | 名称与材料 | 用 途 |
|----|---|--|---------------------------------------|
| 1 |  | 滚压轮: 钢 20, 渗碳 0.25~0.5 mm, 淬火 56~ 60 HRC, 或 T7、T9 淬火 60~64HRC | ① 用于成形磨削前预 修整 ② 用于普通外圆和平 面磨削 |
| 2 |  | 金属类 滚压轮: T7、T9 CrMn、CrWMn, 淬火 60~64HRC | |
| 3 |  | 成形滚压轮: CrMn、 CrWMn, 淬火 60~64 HRC | 用于成形磨削 |

续表

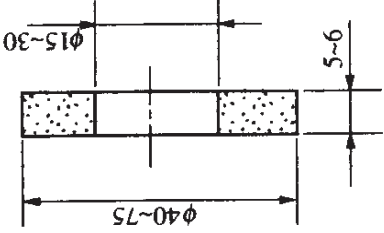
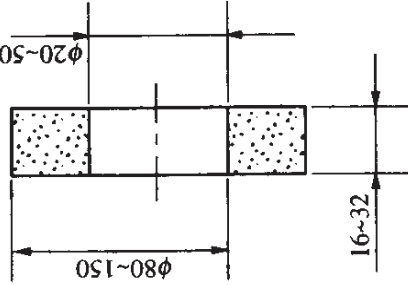
| 序号 | 示图 | 名称与材料 | 用途 |
|----|----|---|---------------|
| 4 | | 滚压轮：硬质合金 | |
| 5 | | 硬质合金类 滚压轮：硬质合金 法兰盘：钢 45，调质 28~32 HRC | 外圆、平面磨床精磨修整砂轮 |

续表

| 序号 | 示图 | 名称与材料 | 用途 |
|----|----|---------------------------|------------------------|
| 6 | | 滚压轮： 1—钢 45 2—硬质合金 | 外圆、平面、无心磨床 粗、精磨修整砂轮 |
| 7 | | 小尺寸整体滚压轮： YG6、YG8、YG15 | 外圆与平面磨床精磨 修整砂轮 |
| 8 | | 小尺寸组合滚压轮： YG6、YG8、YG15 | 外圆与平面磨床精磨 修整砂轮 |

硬 质 合 金 类

续表

| 序号 | 示图 | 名称与材料 | 用途 |
|-----|--|------------------------------|---|
| 9 |  | <p>磨料修整轮^①：刚玉</p> | <p>① 用于外圆及平面磨床粗、精磨修整砂轮 ② 非金属磨削修整 ③ 主要用于磨削法修整,也用于滚压法修整</p> |
| 磨料类 | | | |
| 10 |  | <p>磨料修整轮^①：碳化硅</p> | <p>① 外圆、平面、无心磨床粗、精磨修整砂轮 ② 非金属磨削的修整 ③ 主要用于磨削法修整,也用于滚压法修整</p> |

注：① 在滚压法修整时，磨料修整轮称为磨料滚压轮；在磨削法修整时，磨料修整轮称为磨轮。

(2) 普通磨削滚压修整法及修整用量

① 普通磨削滚压修整法

普通外圆磨削的滚压法修整示意图见图 1.7-13。

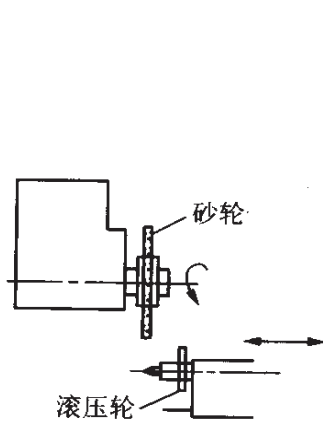


图 1.7-13 普通外圆磨削的滚压法修整示意图

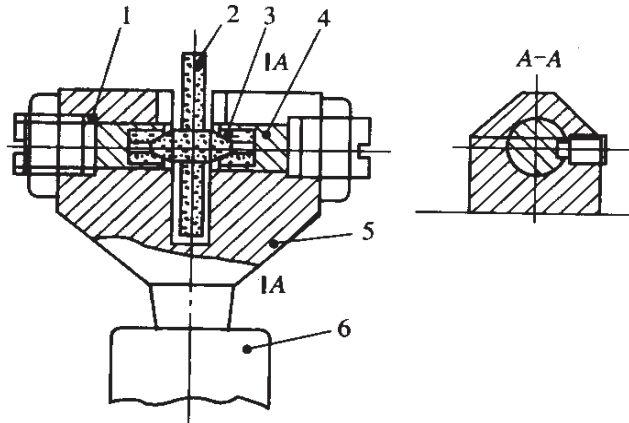


图 1.7-14 外圆和平面磨床用硬质合金滚压轮修整器

- 1—垫圈 2—滚压轮(硬质合金)
3—轴承(硬质合金) 4—钢套
5—带圆锥柄本体 6—底座

外圆和平面磨床用硬质合金滚压轮修整器见图 1.7-14。

外圆和平面磨床用小尺寸硬质合金滚压轮修整器见图 1.7-15。

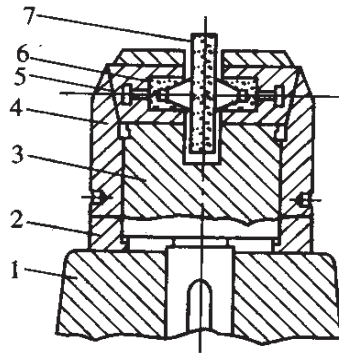


图 1.7-15 小尺寸硬质合金滚压轮修整器

- 1—底座 2—锁紧螺母 3—本体 4—调整螺母
5—键环(防止件 6 转动) 6—轴承(硬质合金)
7—滚压轮(硬质合金)

平面磨床用磨料滚压轮修整器见图 1.7-16。

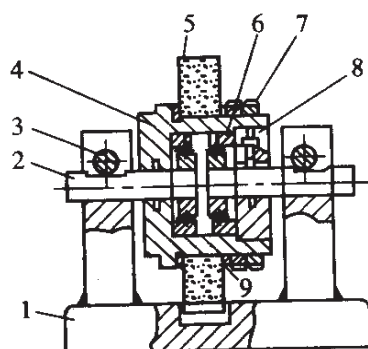


图 1.7-16 平面磨床用磨料滚压轮修整器

1—底座 2—轴 3—锁销 4—本体 5—磨料滚压轮
6—轴承 7—锁紧螺母 8—端盖 9—软垫片

② 普通磨削滚压轮修整用量

金属和硬质合金滚压轮的修整深度 a_d 见表 1.7-7。

表 1.7-7 金属和硬质合金滚压轮的修整深度 a_d

| 修整用量 | 磨削工序 | | |
|---------------|-----------|-----------|------------------------------------|
| | 粗磨 | 一般磨削 | 精磨 |
| a_d (mm/st) | 0.04~0.05 | 0.01~0.02 | 0.01 |
| 最后光修要求 | | 光修 2~3 次 | 光修整导程为每转 0.01~0.02 mm, 光修 一次 |

金属和硬质合金滚压轮的轴向速度 v_{ad} 见表 1.7-8。

表 1.7-8 金属和硬质合金滚压轮的轴向速度 v_{ad} (m/min)

| 修整工具 | 磨削工序 | | |
|-----------|---------|---------|------------|
| | 粗磨 | 半精磨 | 精磨 |
| 整体硬质合金滚压轮 | 0.5~0.6 | 0.1~0.3 | 0.025~0.03 |
| 开槽硬质合金滚压轮 | 0.8~1.0 | <0.3 | 0.1~0.3 |
| 硬质合金碎粒滚压轮 | 1.0~1.5 | 0.4~1.0 | 0.2~0.4 |
| 带槽钢滚压轮 | >0.6 | 0.4~0.6 | — |

(3) 成形磨削的滚压修整、修整特点及修整用量

成形磨削的滚压修整是将与砂轮形状凹凸相反的滚压轮安装在滚压轮修整夹具上进行的修整,见第三章第二节成形面磨削。

① 成形磨削滚压修整的特点

a. 修整的砂轮形面较粗糙,切削性能好,与其他修整方法比较,被磨工件表面粗糙度较高。

b. 金属滚压轮是成形磨削滚压法修整的主要工具,制造容易、成本低。

c. 滚压轮与砂轮之间属纯滚动接触,修整成形面存在着 $v_r/v_s \neq 1$ 的相对滑动而引起各处不均匀的磨损,形面倾斜角越大,不均匀磨损就越严重。因此不宜作复杂形面的修整,如修整磨螺纹砂轮等。但是对于单件及小批量的成形磨削,还是很实用的一种方法。

d. 被修整砂轮硬度的均匀性要好,否则修整后砂轮会产生局部形状失真。

e. 滚压时由于挤压力大,机床工艺系统的刚度要足够;需要对机床进行适当的改造,增加减速装置。

② 成形磨削滚压轮修整用量

修整成形砂轮时,一般先用金刚石笔或砂轮碎块进行粗修,然后再用成形滚压轮挤压修整。砂轮修整时,滚压轮速度高,修整生产率也高,但是对滚压轮的磨损也大。

常用修整用量见表 1.7-9。

表 1.7-9 成形砂轮滚压轮修整用量

| 修整用量 | 粗修整 | 精修整 | 光修整 |
|-------------------------------------|------|-------|------------------------|
| 每转进给量(径向)(滚压轮与砂轮跑合时,砂轮对滚压轮的进给量)(mm) | 0.01 | 0.004 | 成形后,在不进刀情况下,再转 1~2 min |

(4) 滚压修整注意事项

① 滚压轮修整器或夹具的安装,须保证滚压轮轴线与砂轮主轴轴线的平行度,且在同一垂直面内。

② 硬质合金滚压轮使用前应先将其外圆磨圆,装在夹具上的圆跳动应不超过 0.02~0.05 mm;端面跳动应不超过 0.15~0.3 mm。

③ 修整时必须用冷却液且量要充分。并应用铜丝刷刷去砂轮和滚压轮表面的砂粒,以防反压时造成砂轮表面空穴堵塞。

④ 采用轴向滚压法修整时,滚压轮的轴向移动不应超出砂轮的棱边,以免造成砂轮棱边崩碎。

3. 磨削法修整

磨削法修整是指修整轮(磨轮或金刚石滚轮)与砂轮的速比 $q_d = v_r/v_s \neq 1$ 时的修整。当 $v_r/v_s = 0$ 时,即修整轮速度 $v_r = 0$,此时砂轮表面会被磨出圆环形槽,由于两轮接触的部分磨损加剧,修不出所要求的砂轮表面。

(1) 普通外圆磨削的磨轮磨削法修整

如图 1.7-17 所示。利用磨轮或金刚石滚轮的自身旋转及轴向运动,对旋转的砂轮进行磨削,磨轮圆角棱边将砂轮上磨粒打碎,磨轮圆周表面上的磨粒对砂轮修整,使砂轮工作表面上的磨粒顶端被磨平。用磨削法修整的砂轮表面不很锋利,与其他修整方法相比,切削性能较差,但其磨削的工件表面粗糙度较低。

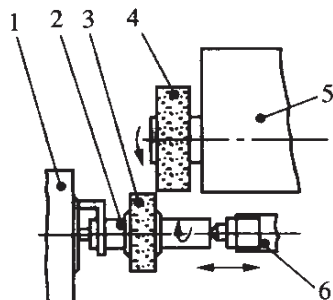


图 1.7-17 普通外圆磨削的磨轮磨削法修整

1—头架 2—心轴 3—碳化硅磨轮 4—砂轮 5—砂轮架 6—尾架

用碳化硅磨轮来修整砂轮,磨轮成本低且选用方便,在普通外圆及平面磨削中经常使用。也可用金刚石滚轮以磨削法修整砂轮。见图 1.7-18。

(2) 磨削法修整磨轮及修整用量

① 磨轮的选择

磨轮的直径选择一般按砂轮直径的 $\frac{1}{3}$ 选用。具体见表 1.7-10。

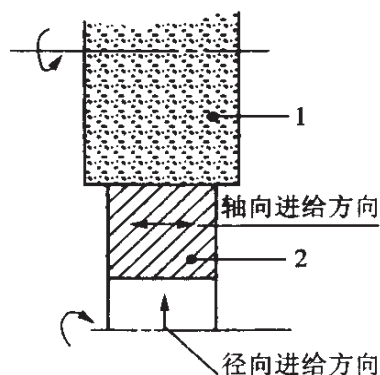


图 1.7-18 普通外圆磨削的金刚石滚轮磨削法修整
1—砂轮 2—金刚石滚轮

表 1.7-10 磨轮直径选择

mm

| 砂轮直径 | 磨轮直径 |
|------|--------|
| >300 | 80~150 |
| ≤300 | 60~80 |

磨轮的粒度选择一般要比被修整砂轮粗 3~4 粒度号,见表 1.7-11。

表 1.7-11 磨轮粒度选择

| 砂轮粒度号 | 磨 轮 粒 度 号 | |
|----------|-----------|---------|
| | 粗 磨 | 精 磨 |
| F36 | F16 | F20 |
| F40~F60 | F16~F20 | F20~F40 |
| F70~F90 | F20~F24 | F24~F36 |
| F100 及更细 | F30~F36 | F36~F46 |

磨轮的硬度选择应比被修整砂轮高,见表 1.7-12。

表 1.7-12 磨轮硬度选择

| | | | |
|------|-----|-----|-----|
| 砂轮硬度 | K~L | M~P | Q~T |
| 磨轮硬度 | S~T | S~Y | Y |

② 磨轮的修整用量

磨轮的速度与被磨工件的速度相近,一般为 15~20 m/min。磨轮修整用量见表 1.7-13。

表 1.7-13 磨轮的修整用量

| 修整用量 | 粗磨 | 半精磨 | 精磨 | 精密磨 |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 轴向修整速度 (m/min) | 1.5~2.0 | 1.0~1.5 | 0.5~1.0 | 0.4~0.5 |
| 修整深度 (mm/st) | 0.03~0.05 | 0.02~0.04 | 0.02~0.03 | 0.02~0.03 |
| 修整次数 | 4~6 | 4~6 | 3~5 | 2~4 |
| 光修次数 | — | 0 | 1~2 | 1~2 |

③ 磨轮安装

安装磨轮时,其两侧面应用 0.5~0.7 mm 厚的软性垫片,磨轮的外径跳动应小于 0.03 mm,见图 1.7-19。

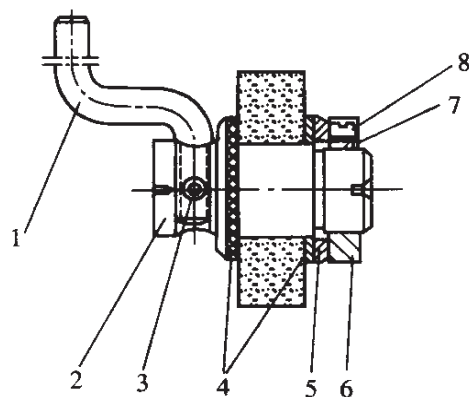


图 1.7-19 磨轮安装图

- 1—拨杆 2—本体(轴) 3—销子 4—软性垫片
5—垫圈 6—圆螺母 7—铅垫 8—支头螺钉

(3) 成形磨削中的金刚石块磨削法修整

平面磨床的成形磨削也可用金刚石块来修整砂轮。

金刚石块如同工件一样做往复运动,砂轮旋转如同磨工件一样靠近金刚石块,慢慢把砂轮修整成形。

(4) 成形磨削的金刚石滚轮磨削法修整

图 1.7-20 所示为成形磨削中的金刚石滚轮磨削法修整,此法修整砂轮可获得良好的质量,又便于实现数控自动化操作,是一种很有发展前途的砂轮修整方法。金刚石滚轮由专用传动机构,带动并可做修整量的径向进给,砂轮以工作速度运转,金刚石滚轮以磨削方式完成对砂轮的成形修整。多用于外圆成形磨削、无心成形磨削及平面磨床的成形磨削。

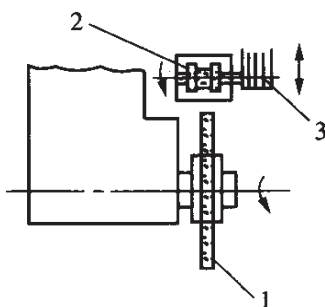


图 1.7-20 成形磨削中金刚石滚轮磨削法修整

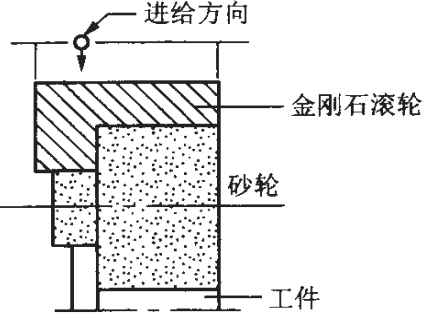
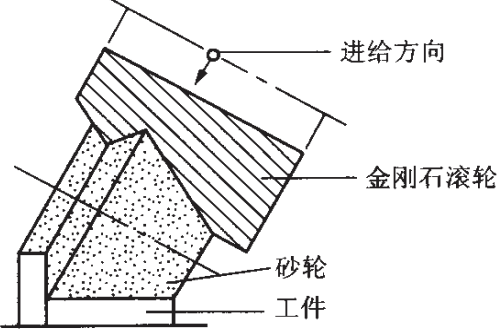
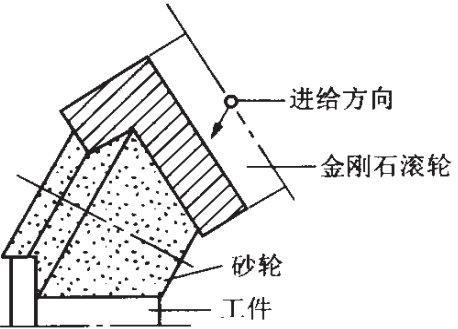
1—砂轮 2—金刚石滚轮 3—传动带

在新型无心磨床上成形磨削的粗、精磨是在一台磨床上完成的,在每一个工作循环的转位时,金刚石滚轮可对粗、精磨砂轮分别进行自动修整。

成形磨削的金刚石滚轮磨削法修整,一般由 CNC 控制对砂轮进行周期性或连续性修整。

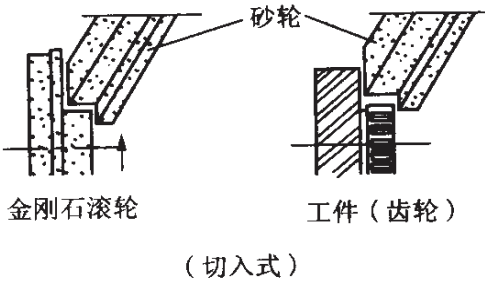
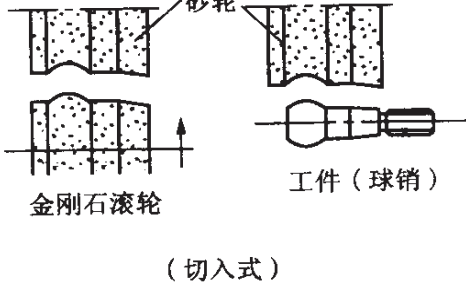
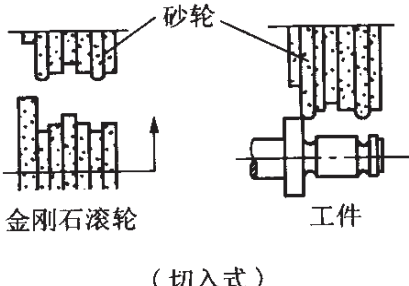
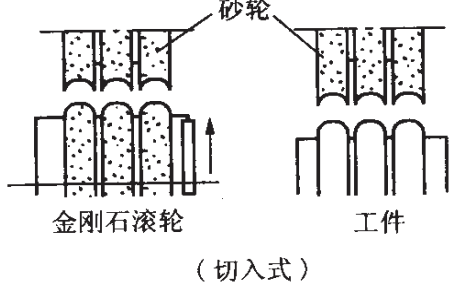
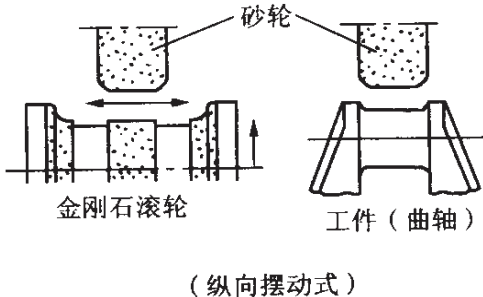
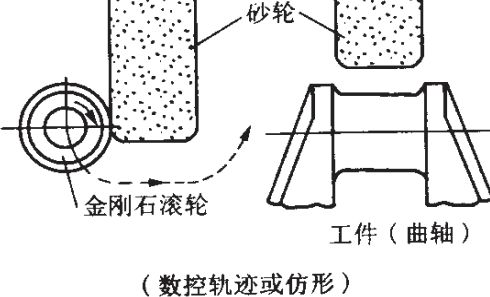
成形磨削中金刚石滚轮、砂轮与工件的相互位置示意图见表 1.7-14。

表 1.7 - 14 成形磨削金刚石滚轮、砂轮与工件的相互位置

| 序号 | 示意图 | 特 点 |
|----|---|--|
| 1 |  | <ul style="list-style-type: none"> ① 滚轮、砂轮、工件的三轴线平行 ② 滚轮修整进给方向垂直于砂轮轴线 ③ 工件端面的磨削不良。砂轮端面修整不良 |
| 2 |  | <ul style="list-style-type: none"> ① 滚轮与砂轮轴线平行 ② 修整进给方向垂直于砂轮轴线 ③ 改善了工件端面的磨削及砂轮端面的修整 ④ 与序号 1 比较, 滚轮较难制造 |
| 3 |  | <ul style="list-style-type: none"> ① 滚轮、砂轮与工件的三轴线不平行 ② 修整进给方向垂直于砂轮轴线 ③ 改善了工件端面的磨削及砂轮端面的修整 ④ 滚轮制造难度与序号 1 相同 |

① 典型工件成形磨削的金刚石滚轮磨削法修整应用举例见表 1.7 - 15。

表 1.7-15 典型工件成形磨削的金刚石滚轮磨削法修整应用举例

| | | |
|-------|---|--|
| 序号 | 1 | 2 |
| 修磨内容 | 齿轮磨削 | 转向节球销磨削 |
| 修整及磨削 |  <p>金刚石滚轮 砂轮 工件 (齿轮) (切入式)</p> |  <p>金刚石滚轮 砂轮 工件 (球销) (切入式)</p> |
| 序号 | 3 | 4 |
| 修磨内容 | 环槽磨削 | 轴承座圈磨削 |
| 修整及磨削 |  <p>金刚石滚轮 砂轮 工件 (切入式)</p> |  <p>金刚石滚轮 砂轮 工件 (切入式)</p> |
| 序号 | 5 | 6 |
| 修磨内容 | 曲轴曲柄销轴径磨削 | |
| 修整及磨削 |  <p>金刚石滚轮 砂轮 工件 (曲轴) (纵向摆动式)</p> |  <p>金刚石滚轮 砂轮 工件 (曲轴) (数控轨迹或仿形)</p> |

② 金刚石滚轮修整用量选择

金刚石滚轮修整用量推荐值见表 1.7-16。

表 1.7-16 金刚石滚轮修整用量推荐值

| 修整用量 | 推荐值 |
|---------------------------------|---------------|
| 滚轮速度 v_r 与砂轮速度 v_s 之比 q_d | +0.4~+0.7 |
| 砂轮每转滚轮的修整深度 a_d (mm/r) | 0.0004~0.0013 |
| 无进给光修次数 (r) | 0~60 |

注：表中十号表示顺修整（一般情况下不采用逆修整）。

当用金刚石滚轮修整砂轮时，采用大的修整用量，被修整砂轮表面较粗糙，切削性能好，磨削力小，磨削温度低，但被磨工件表面的粗糙度较高。修整用量过大时，滚轮磨损加快，使用寿命降低。应尽量减少无进给的光修时间，以免降低砂轮的磨削能力。由于滚轮的转速很高，修整完后要快速退出。

③ 金刚石滚轮的类型选择

金刚石滚轮的类型有三类：电镀法、粉末冶金烧结法和人工植砂法等，是按其制造加工方法的不同而划分。其中电镀法又可分为内、外镀法两种。人工植砂法是由操作人员在显微镜下将一颗颗金刚石按其形状，将锋利刃口向外栽植，或按需要成螺旋线均匀排列栽植。人工植砂的金刚石滚轮修整效果好，寿命长，修整砂轮的表面质量高，但是价格也非常昂贵。

各种不同类型的金刚石滚轮选择见表 1.7-17。

表 1.7-17 金刚石滚轮类型选择

| 内容 | 外镀法 | 内镀法 | 粉末冶金 烧结法 | 人工栽植法 |
|---------|------|------|-------------|-------|
| 基体制造复杂性 | 中等 | 复杂 | 简单 | 中等 |
| 金刚石需要量 | 表面一层 | 表面一层 | 随制造 要求而定 | 表面一层 |

续表

| 内 容 | 外 镀 法 | 内 镀 法 | 粉末冶金 烧结法 | 人工栽植法 |
|-----------|--------------------|-----------|----------------|---------|
| 制造精度 | 差,但可通过修整达到内镀法水平或更高 | 较高 | 最差,可通过修整来提高其精度 | 高 |
| 精度保持性 | 中等 | 较好 | 差 | 好 |
| 适用对象 | 能用轨迹法进行修整的各种形面 | 大多用于复杂形面 | 简单形面 | 一般或复杂形面 |
| 制造周期 | 短 | 较长 | 短 | 长 |
| 制造成本 | 低 | 较高 | 视金刚石层厚度而定 | 高 |
| 修整砂轮的效率 | 较高 | 低 | 中等 | 高 |
| 工艺流程复杂性 | 中等 | 复杂 | 简单 | 复杂 |
| 精度丧失后可修复性 | 可 | 不太方便或不可修复 | 可 | 可 |

④ 金刚石滚轮磨削法修整特点

a. 易于实现对砂轮的连续修整。用金刚石滚轮修整砂轮,虽然其切削性能差于单颗粒金刚石修整的砂轮,但在需要时可实现每磨削一个工件就自动修整或采用不停顿地连续修整砂轮技术,保持和提高砂轮的磨削性能和被磨工件的精度。

b. 适于各种复杂形面的加工。金刚石滚轮可制成各种复杂的形面,还可以用组合法组成各种原来难以制造的复杂组合体形面,见图 1.7-21。解决某些用 CNC 控制的单颗粒金刚石无法修整的复杂形面的磨削加工。

c. 砂轮修整的成本低,生产率高。金刚石滚轮的成本虽高,但由于寿命长,修整时间短,辅助时间少,所以总体上看砂轮修整

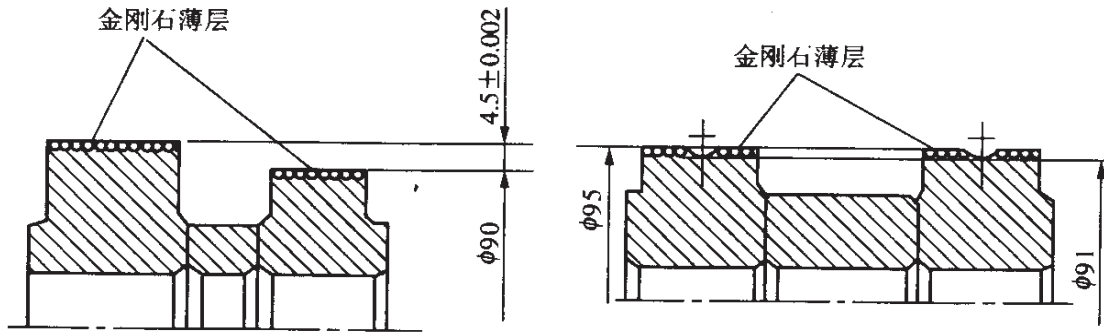


图 1.7-21 金刚石滚轮组合体

的成本仍较低。修整时大多以切入法修整,时间仅 2~10 s,在半自动或 CNC 机床上,修整时间又可与上、下料或转位时间相重合。滚轮修整器结构简单,易于实现 CNC 控制,尤其适宜于大批量生产。

d. 金刚石滚轮精度高、寿命长。金刚石滚轮可达到的精度水平见表 1.7-18。滚轮精度容易保持,被修整砂轮加工的工件精度也相应地提高,且质量稳定。根据不同的制造方法和材质,金刚石滚轮的寿命一般在几千次至几万次,高者达数十万次。

表 1.7-18 金刚石滚轮可达到的精度

| 项 目 | 精 度 |
|--------|------------------------|
| 长度尺寸 | $\pm 0.002 \text{ mm}$ |
| 凹凸圆弧尺寸 | 0.003 mm |
| 坐标尺寸 | $\pm 0.003 \text{ mm}$ |
| 角度 | $\pm 2'$ |

(5) 成形磨削金刚石滚轮连续修整及其特点

① 成形磨削金刚石滚轮的连续修整

在磨削过程中滚轮对砂轮不停顿地连续进行修整,是一项修整砂轮的新技术,见图 1.7-22。在修整过程中,使砂轮的半径按

一定的比例减小,数控装置自动控制不断改变砂轮轴的位置给予补偿(补偿量为 A),使砂轮在磨削工件的同时又得到了金刚石滚轮的修整。

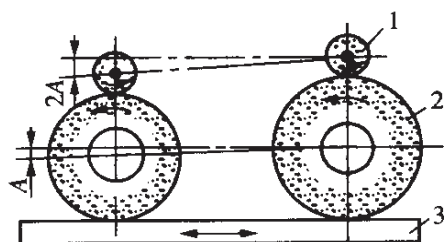


图 1.7-22 金刚石滚轮连续修整砂轮示意图

1—金刚石滚轮 2—砂轮 3—工件

② 连续修整的特点

连续修整时,砂轮工作表面总处于被修整状态,能恒定地保持锋利,提高了磨削效率;使工件的加工质量(表面粗糙度、尺寸精度、形状精度等)稳定。

砂轮磨削与被修整同时进行,加工周期缩短。能够进行工件长度不受限制的缓进给磨削,即在磨削方向上可排列许多相同工件进行磨削加工,生产效率较高。

砂轮工作面的性能发生变化,可根据需要随时改变连续修整砂轮的用量加以调整,即易于把被加工工件的质量控制反馈到修整用量的调整上,而砂轮本身性能的差异对连续修整磨削的效果影响相对较小。但连续修整时,砂轮和滚轮的消耗较大。

第八节 安全防护

安全为了生产,生产必须安全。

每一个操作工人都必须从思想上高度重视安全生产,并应具备一定的安全生产知识,严格遵守安全操作规程。操作时应注意

以下几点：

(1) 工作时,应按规定的要求穿着工作服,女工要戴工作帽。

(2) 必须正确安装和紧固砂轮。新砂轮要用木锤轻轻敲击砂轮的侧面,听砂轮发出的响声是否清脆,若响声暗哑,则该砂轮可能有裂纹,必须经安全回转试验合格后方可使用,否则,该砂轮应报废。校核砂轮的圆周速度不超过砂轮的安全圆周速度。换新砂轮时,必须做砂轮平衡,砂轮平衡经初次修整后还应再做一次平衡。

(3) 树脂与橡胶结合剂砂轮,存放期为1年,超过存放期,必须重新检验后才能使用。

(4) 各种磨床的砂轮必须安装防护罩,不允许在不装防护罩的情况下进行磨削。磨削前,砂轮应空运转2分钟,启动砂轮时,人不应该站在砂轮的正面。

(5) 磨削前,应仔细检查工件装夹是否正确。平面磨床要检查磁性工作台的吸力是否可靠,在磨削窄而高的工件时,工件的前后应放挡铁。

(6) 开车前必须调整好换向挡块的位置并将其紧固。工作台自动进给时,要避免出现砂轮与工件轴肩、夹头或卡盘等相撞。

(7) 不停车测量尺寸时,外圆磨床应将砂轮快速退出,以防砂轮伤手或损坏量具。

(8) 在加工间断表面时,进给量不得过大,以防工件飞出伤人。

(9) 禁止用一般砂轮的端面磨削较宽的平面;禁止在无心磨床上磨削弯曲的零件。

(10) 工件加工完成后,必须将砂轮退到安全位置后才能上下工件。工作结束后,应让砂轮空运转2分钟后再关闭砂轮电源。

(11) 磨床上的所有的外露旋转部分,都应有罩壳加以保护。

(12) 操作时必须精力集中,不允许离开机床等违章操作。

(13) 注意安全用电。出现电气故障时,应请电工进行检查修理,机床操作工人不要打开电器箱和乱动电器设备。

(14) 工作场地应保持整洁,文明生产。

(15) 注意防火。

第二章 普通磨削

第一节 外圆磨削

外圆磨削是磨削加工最基本的形式之一。外圆磨削的对象主要是各种圆柱体、圆锥体、带肩台阶轴、环形工件以及旋转曲面。外圆磨削的尺寸精度可达 IT6~IT7 级,表面粗糙度一般能达到 $R_a 0.2\sim 0.8\ \mu\text{m}$,采用低粗糙度磨削工艺可达 $R_a 0.01\sim 0.16\ \mu\text{m}$ 。

一、外圆磨削方法

外圆磨削的方法很多,常用的有轴向磨削法、径向磨削法、分段磨削法和深度磨削法等四种。磨削时一般根据工件的形状、尺寸、磨削余量、磨削要求以及工件的刚性来选择合适的磨削方法。

(一) 外圆磨削的基本方法

1. 轴向磨削法

磨削时,工件做低速转动(圆周进给)并和工作台一起做直线往复运动(轴向进给),当每一轴向行程或往复行程终了时,砂轮按要求的磨削深度做一次径向进给 f_r (见图 2.1-1),每次的 f_r 很小,磨削余量要在多次往复行程中磨去。这种轴向往复的磨削方法称为轴向磨削法。

砂轮在工件做往返运动时,超越工件两端的长度一般取 $1/3\sim 1/2B$ (B 为砂轮的宽度)。

轴向磨削法的特点:

(1) 运动:磨削时砂轮做旋转运动和径向进给运动;工件做

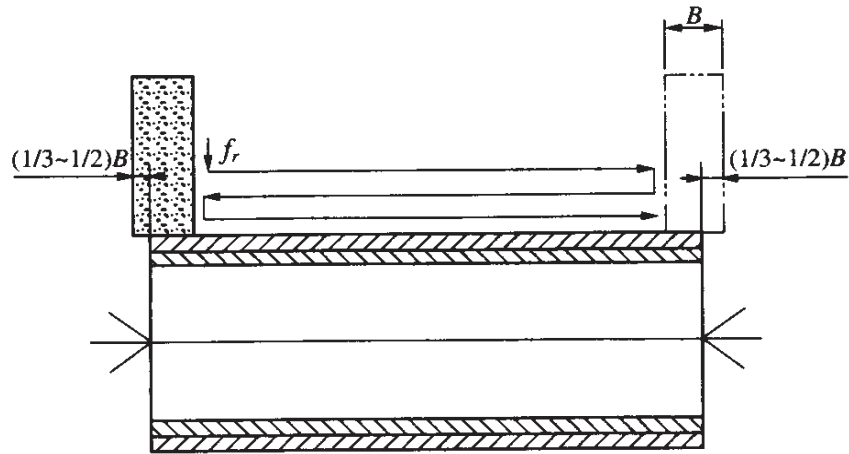


图 2.1-1 轴向磨削法

旋转运动和轴向往复运动。

(2) 工作表面：在砂轮整个宽度上，磨粒的工作情况不同。砂轮的端面边角(轴向进给方向前面部分)起主要的切削作用，担负切除工件的大部分余量，而砂轮宽度上大部分磨粒与已磨削表面接触，切削工作大大减轻，主要起减小工件表面粗糙度的作用。

(3) 磨削质量：由于砂轮的大部分磨粒担负磨光作用，且背吃刀量小，切削力小，磨削温度低，故工件尺寸精度高，表面粗糙度低。如适当增加“光磨”时间，则可进一步提高加工质量。

(4) 磨削效率：由于磨削深度小，需多次走刀才能磨去工件余量，机动时间长，因此生产效率比较低。

(5) 适用范围：在日常生产中，轴向磨削法具有很大的万能性，可以用同一个砂轮加工长度不同的各种工件，而且磨削质量好，所以应用广泛。由于切削力小，适宜加工细长工件；由于效率低，在单件、小批量生产或精磨时采用这种加工方法。

2. 径向磨削法

径向磨削法又称切入磨削法，即砂轮以很慢的速度连续(或断续)向工件作径向进给运动，工作台无轴向往复运动，如图 2.1-2 所示。当砂轮的宽度 B 大于工件磨削长度 l 时，砂轮可径向切入

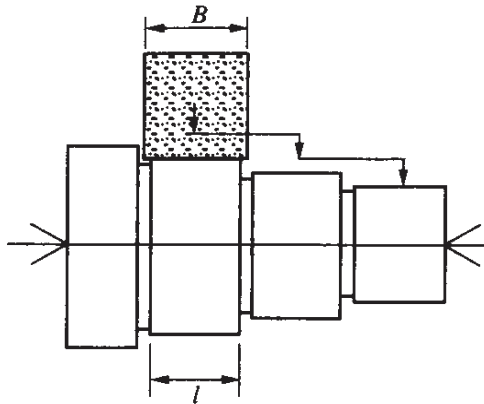


图 2.1-2 径向磨削法

磨削,磨去全部加工余量。

与轴向磨削法比较,径向磨削法的特点是:

(1) 运动: 磨削时砂轮做旋转运动和径向进给运动;工件做旋转运动。

(2) 工作表面: 在砂轮整个宽度上,磨粒的工作情况基本相同,磨粒负荷基本一致。

(3) 磨削质量: 由于无轴向进给,磨粒在工件表面留下重复磨痕,砂轮表面的形态(修整痕迹)会“复制”到工件表面上,降低工件的表面粗糙度和形状精度,一般为 $R_a 0.32 \sim 0.16 \mu\text{m}$ 。另一方面,砂轮整个表面连续做径向切入,排屑困难,砂轮易堵塞和磨钝;同时,磨削热大,散热差,工件易烧伤和发热变形,这也降低了磨削质量。

(4) 磨削效率: 砂轮整个宽度上的磨粒都起切削作用,能连续地做径向进给,在一次磨削循环中,可分粗、精、光磨,因此生产效率比较高。

(5) 适用范围: 由于生产效率高,适合于成批生产。径向法由于受到砂轮宽度的限制,适用于磨削长度较短的外圆表面、两边有台阶的轴颈。另外,可根据成形工件的几何形状,将砂轮外圆修整成成形表面,直接磨出成形表面。

(6) 修整砂轮：采用径向磨削法，砂轮容易堵塞和磨钝，因此应经常修整砂轮。

3. 阶段磨削法

阶段磨削法又称综合磨削法或混合磨削法，是轴向磨削和径向磨削的综合。也就是说，先将工件分成若干小段，用径向磨削法逐段进行粗磨(图 2.1-3 a)，留精磨余量 $0.03\sim 0.04\text{ mm}$ ，然后再用轴向磨削法精磨工件至要求尺寸(图 2.1-3 b)。这种方法既有径向磨削法生产效率高的优点，又兼有轴向磨削法加工精度高的优点。分段磨削时，相邻两段间应有 $5\sim 15\text{ mm}$ 的重叠，以保证各段外圆能够衔接好。

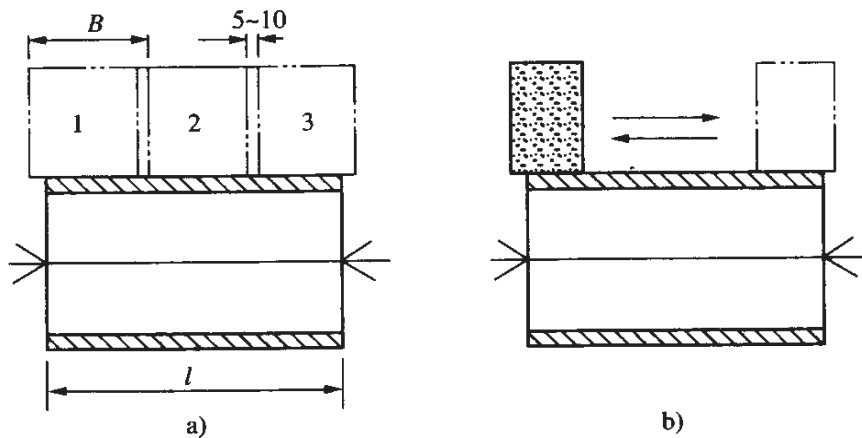


图 2.1-3 阶段磨削法

阶段磨削法的特点：

(1) 运动：径向粗磨时砂轮做旋转运动、径向进给运动，工件做轴向分段进给；轴向精磨时，砂轮做旋转运动、径向进给运动，工件做旋转运动、轴向往复运动。

(2) 工作表面：砂轮的整个宽度以及砂轮的端面边角。

(3) 磨削质量：轴向精磨后尺寸精度高，表面粗糙度低。

(4) 磨削效率：效率较高。

(5) 适用范围：适用于磨削余量大且刚度较好的工件，不适合长

度过长的工件,加工表面长度是砂轮宽度的 2~3 倍较为合适。

4. 深度磨削法

深度磨削法是一种高效率的磨削方法,是将砂轮磨成阶梯状(详细介绍见本章第五节),采用较大的磨削深度,较小的轴向进给量,在一次轴向进给中将工件的全部磨削余量切除。

深度磨削法的特点:

(1) 运动: 砂轮做旋转运动、径向进给运动,工件做旋转运动、轴向进给一次。

(2) 工作表面: 砂轮的整个宽度以及砂轮的端面边角。

(3) 磨削质量: 阶梯砂轮改善了砂轮的受力状态,可使表面磨削精度稳定地达到 IT7 级,表面粗糙度为 $R_a 0.8 \mu\text{m}$ 左右。

(4) 磨削效率: 效率高,是高效磨削方法。

(5) 适用范围: 适用于大批量生产。

(6) 注意事项:

① 由于磨削负荷集中在尖角处,受力状态最差。为此,可将砂轮修成阶梯状(图 2.1-4 a),图 2.1-4 b)),这样可使砂轮阶台的前导部分起主要切削作用,阶台的后部起精磨作用。阶梯砂轮的阶梯数及台阶深度,按磨削余量和工件长度确定。工件长度

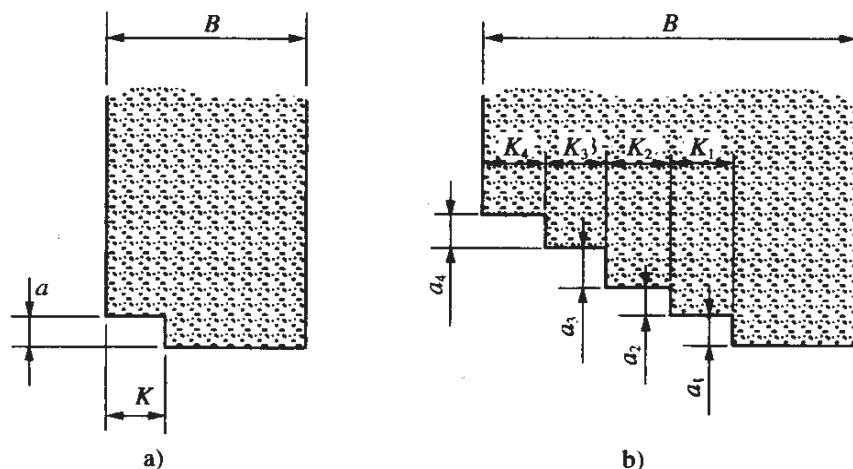


图 2.1-4 深度磨削法

$L \geq 80 \sim 100$ mm, 磨削余量为 $0.3 \sim 0.4$ mm 时, 可采用双阶梯砂轮(图 2.1-4 a)。砂轮的主要尺寸: $a = 0.05$ mm, $K = (0.3 \sim 0.4)B$ (B 为砂轮宽度); 当工件 $L \geq 100 \sim 150$ mm, 磨削余量大于 0.5 mm 时, 则采用五阶梯砂轮(图 2.1-4b)。砂轮的主要尺寸: $a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = 0.05$ mm, $K_1 + K_2 + K_3 + K_4 = 0.6 B$ 。

- ② 机床应具有良好的刚度, 较大的功率。
- ③ 选用较小的轴向进给量。
- ④ 磨削时要锁紧尾座, 防止工件脱落。
- ⑤ 磨削时要注意充分冷却。

(二) 阶台轴的磨削方法

磨削阶台轴的外圆时, 应根据磨削长度选择磨削方法。如果磨削长度大于砂轮宽度, 采用轴向磨削法; 如果磨削长度小于砂轮宽度, 则采用径向磨削法。轴向磨削时要注意以下问题:

(1) 要调整好工作台的行程, 使工作台反向时砂轮离阶台端面的距离尽可能小又不发生碰撞。为确保安全, 需在砂轮不开动的情况下自动换向几次, 检查砂轮是否与阶台面相碰。

(2) 当磨削至阶台一边换向时, 要使工作台停顿片刻。

(3) 径向进给只能在阶台一边换向时进行(图 2.1-5 a)), 否则端面边角 A 易被磨钝和磨圆, 导致阶台根下的圆柱面直径大于其余部分(图 2.1-5 b))。

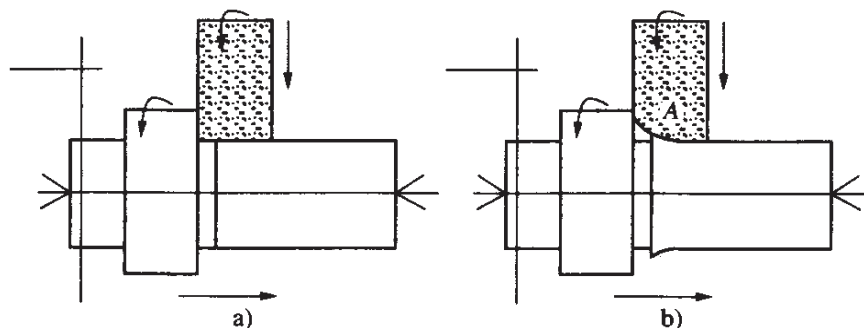


图 2.1-5 阶台旁外圆的磨削 I

(4) 如果阶台轴的外圆面的精度要求不高(如粗磨),为了便于调整,也可先用径向磨削法将阶台下的一段外圆磨至要求(图 2.1-6 a)),然后再用轴向磨削法磨去其余部分(图 2.1-6 b))。

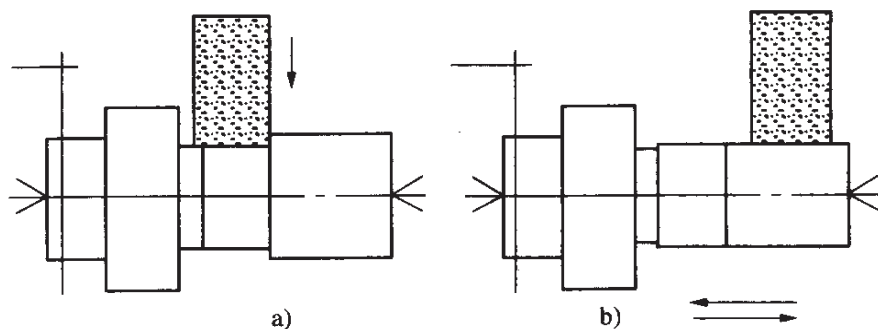


图 2.1-6 阶台旁外圆的磨削 II

(三) 阶台端面的磨削方法

阶台端面通常是在外圆磨削时用砂轮的端面“靠”出。

1. 轴或阶台端面带退刀槽的磨削方法

图 2.1-7 中的阶台端面是在外圆粗磨后,手动沿轴向移动工作台,用砂轮端面磨出。为了减小磨削时砂轮与工件的接触面积,避免工件烧伤和提高工件表面的精度,砂轮的端面通常修成图示的形状(约 1°)。

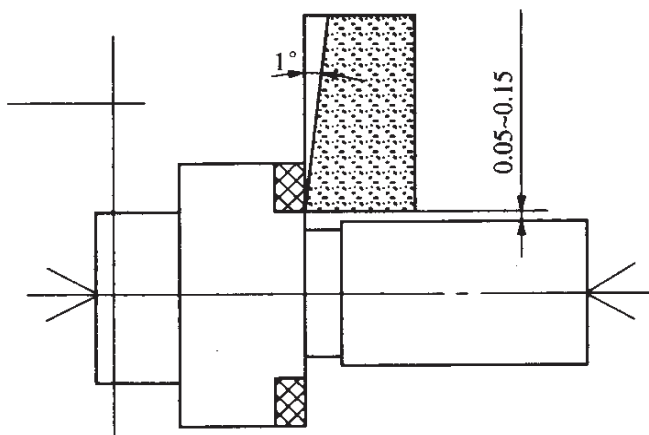


图 2.1-7 带退刀槽的阶台磨削

需要注意的是,外圆粗磨好后,必须把砂轮沿径向稍稍退出一一些(由于丝杠和螺母之间有间隙,不能只是把手轮倒转几格,而是要倒退一转后,再重新摇进砂轮到离原来位置几格的地方),以免砂轮和工件因受轴向力作用而发生变形时,把工件外圆磨小。当然退出距离也不宜过大,否则会在阶台端面根部留下凸台。一般为 $0.05\sim 0.15\text{ mm}$ 。

在大批量生产中,带阶台的轴、套类零件常在端面外圆磨床上磨削。磨床砂轮的轴心线与工件的轴心线成一定的角度($26^{\circ}34'$),并采用特别修整的砂轮(图 2.1-8)。磨削时,砂轮沿斜向切入,可同时磨削外圆和端面,生产效率较高。

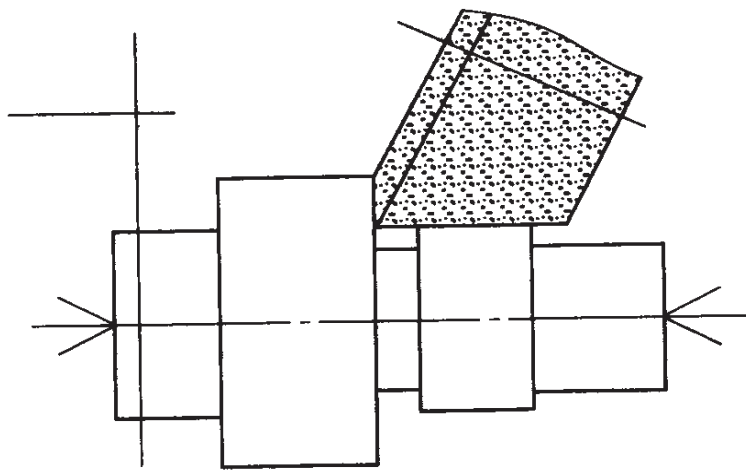


图 2.1-8 用特别修整的砂轮磨削阶台

2. 轴和阶台端面圆弧过渡的磨削方法

磨削前,应根据工件形状把砂轮边角修成圆弧状,如果工件的圆弧要求不高,可用手握持金刚石修出,要求高时,需要用专门的圆弧砂轮修整器修整。如果阶台旁外圆表面的长度比较短,可先用径向磨削法磨外圆,并留 $0.03\sim 0.05\text{ mm}$ 的余量(图 2.1-9 a)),接着把砂轮沿径向退出,再用手动轴向移动工作台使阶台端面与砂轮接触(图 2.1-9 b)),然后慢慢沿径向进给,外圆磨至尺寸(图

2.1-9 c)), 然后用手沿轴向移动工作台, 最后将砂轮径向退出 (图 2.1-9 d))。

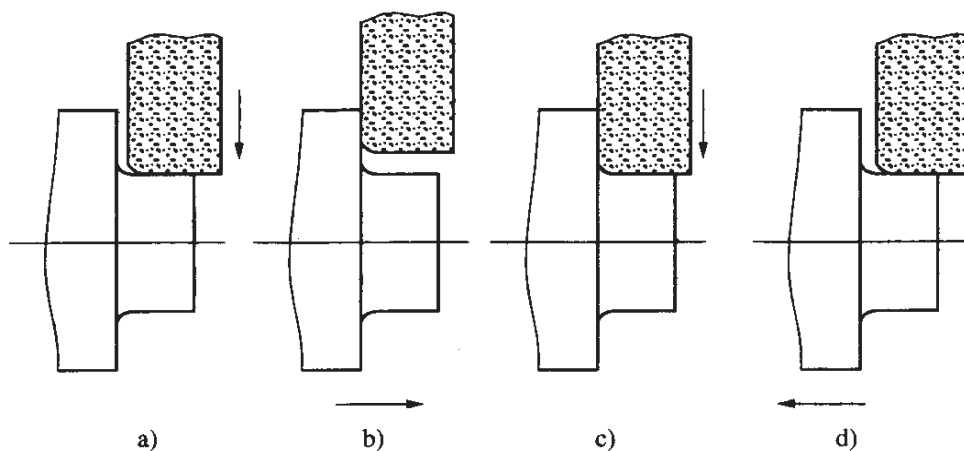


图 2.1-9 轴和阶台端面圆弧过渡的磨削

如果阶台旁外圆表面的长度比较长, 可先用轴向磨削法磨外圆至尺寸, 然后用上述方法磨削端面, 当砂轮径向切入至工件外圆表面距离有 $0.02 \sim 0.05 \text{ mm}$ 时, 先轴向退出工作台, 然后径向退出砂轮。

3. 轴上无退刀槽或过渡圆弧的阶台端面的磨削

磨削方法与轴和阶台端面圆弧过渡相同。但必须注意, 磨削阶台端面时, 砂轮承受着很大的侧压力, 若操作不慎, 很容易使砂轮碎裂。因此, 操作时必须细心地移动工作台, 进给量要小而均匀。此外, 端面磨削接触面大, 磨削温度高, 冷却必须充分。

二、工件的装夹

在磨床上磨削工件, 工件的装夹十分重要。工件的装夹包括定位和夹紧两个部分。工件定位要正确, 夹紧要可靠有效, 否则会影响加工精度以及操作的安全。生产中工件一般用两顶尖装夹, 但有时根据工件的形状和磨削要求也用卡盘装夹。

(一) 用两顶尖装夹工件

用两顶尖装夹工件是一种常用的装夹方法(见图 2.1-10),工件两端中心孔的锥面分别支承在两顶尖(5 和 8)的锥面上,形成工件外圆的轴线定位,夹紧来自尾座顶尖 8 的顶紧力,头架 1 上的拨盘 2 和拨杆 3 带动夹头 4 和工件 7 旋转。磨床采用的顶尖都是固定在头架和尾座的锥孔内的,是不旋转的。因此只要工件中心孔和顶尖的形状和位置正确,装夹合理,可以使工件的旋转轴线始终固定不变,从而获得很高的圆度和同轴度。

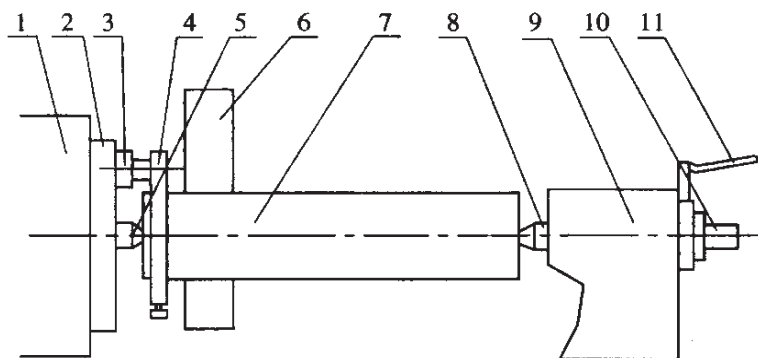


图 2.1-10 两顶尖装夹工件

1—头架 2—拨盘 3—拨杆 4—夹头 5—头架顶尖
6—砂轮 7—工件 8—尾座顶尖 9—尾座
10—工件顶紧压力调节捏手 11—扳动手柄

两顶尖装夹工件的特点是:定位精度高,装卸工件方便、迅速。

1. 夹头

图 2.1-10 中的夹头 4 是起带动工件旋转的作用,常用的几种夹头如图 2.1-11 所示。其中,环形夹头(图 2.1-11 a))和鸡心夹头(图 2.1-11 b)和图 2.1-11 c))都是用一个螺钉直接夹紧工件,使用方便,制造简单,但夹紧力小,适用于中、小型工件的装夹。方形夹头(图 2.1-11 d))用两个螺钉对合夹紧,夹紧力大,用于较大工件的装夹。图 2.1-11e)所示为自动夹头,夹头由偏心杆

自动夹紧。当工件端面有槽时,工件可由专用拨销直接传动。

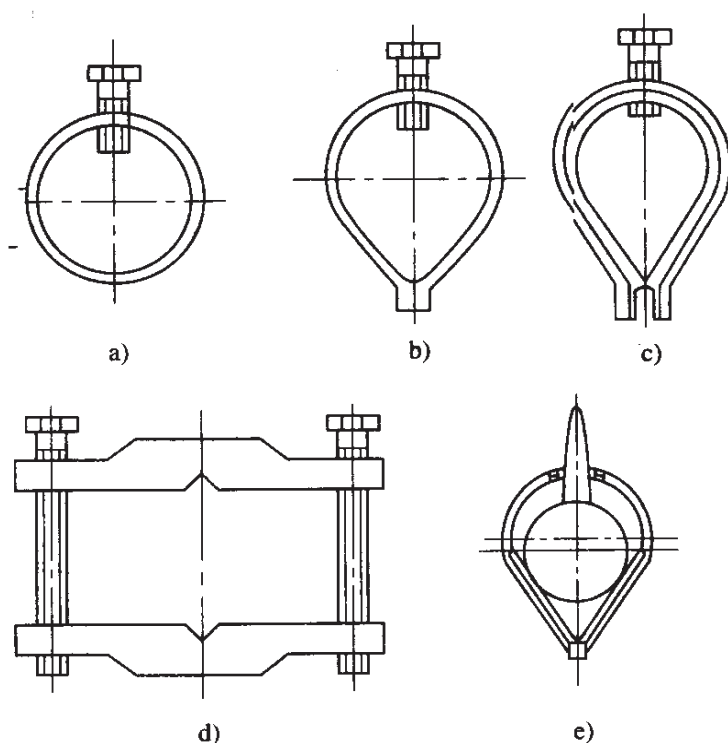


图 2.1-11 夹 头

2. 顶尖

(1) 顶尖的作用

顶尖用来装夹工件,确定工件的回转轴线,承受工件的重力和磨削时的磨削力。

(2) 顶尖的结构和种类

顶尖由头部、颈部、柄部组成。顶尖的头部为 60° 圆锥体,与工件中心孔相配合,用来定位和支承工件。颈部为过渡圆柱。柄部为莫氏圆锥,与头架主轴孔或尾座套筒锥孔相配合,固定在头架或尾座上。

图 2.1-12 所示为各种顶尖,以适合不同工件的装夹。其中凹顶尖(图 2.1-12 d)用于装夹凸顶尖工件,大头顶尖(图 2.1-12 c)用于装夹大孔工件,图 2.1-12 a)、b)、c)、d)、g)所示为高速钢顶尖,易

磨损,但强度好,图 2.1-12 e)所示为硬质合金顶尖,耐磨性好,但强度差,容易折断,图 2.1-12 f)所示为新型顶尖,在结构钢材料上镶硬质合金薄片,既耐磨,强度又好,得到广泛应用。

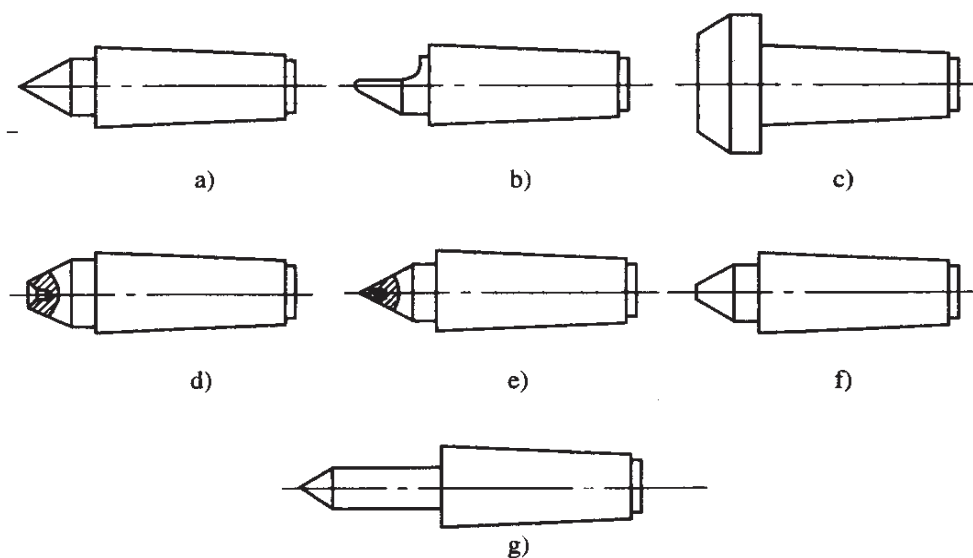


图 2.1-12 顶 尖

3. 中心孔

(1) 中心孔种类和尺寸(GB145—85)

中心孔有 A 型、B 型、R 型、C 型四种,见表 2.1-1。A 型中心孔由圆锥孔、圆柱孔组成,圆锥孔与顶尖锥面配合,起到定中心、承受工件重力和磨削力的作用。前端小圆柱孔可以避让顶尖尖端,使锥面接触良好,并可贮存润滑剂,减少顶尖与中心孔的接触摩擦。B 型中心孔具有 120° 圆锥,可以保护 60° 圆锥孔边缘,避免碰伤,多用于加工精度高、工序过程长的零件,如轴类零件。C 型中心孔,其内螺纹可供旋入钢塞子,起到长期保护中心孔的作用,适用于贵重的零件或工量具等。R 型中心孔,定心作用好,可减小工件的椭圆度,因与顶尖锥面接触面减小,工作时可贮存润滑油,旋转轻快,并可对中心孔起保护作用。

表 2.1-1 中心孔

| A,B,R型 | A型 | | | | B型 | | | R型 | | | C型 | | | | | |
|--------|-------|----------------|----------------|-----|----------------|-------|----------------|------------------|----------------|-------|-----|----------------|----------------|------|-----|-----|
| | D | D ₁ | 参 考 | | D ₁ | 参 考 | D ₁ | l _{min} | r | | D | D ₁ | D ₂ | l | 参 考 | |
| | | | l ₁ | l | | | | | l ₁ | l | | | | | max | min |
| (1.25) | 2.65 | 4.00 | 1.21 | 1.1 | 2.65 | 1.60 | 2.65 | 2.8 | 4.00 | 3.15 | M3 | 3.2 | 5.8 | 2.6 | 1.8 | |
| 1.60 | 3.35 | 5.00 | 1.52 | 1.4 | 3.35 | 1.99 | 3.35 | 3.5 | 5.00 | 4.00 | M4 | 4.3 | 7.4 | 3.2 | 2.1 | |
| 2.00 | 4.25 | 6.30 | 1.95 | 1.8 | 4.25 | 2.54 | 4.25 | 4.4 | 6.30 | 5.00 | M5 | 5.3 | 8.8 | 4.0 | 2.4 | |
| 2.50 | 5.30 | 8.00 | 2.42 | 2.2 | 5.30 | 3.20 | 5.30 | 5.5 | 8.00 | 6.30 | M6 | 6.4 | 10.5 | 5.0 | 2.8 | |
| 3.15 | 6.70 | 10.00 | 3.07 | 2.8 | 6.70 | 4.03 | 6.70 | 7.0 | 10.00 | 8.00 | M8 | 8.4 | 13.2 | 6.0 | 3.3 | |
| 4.00 | 8.50 | 12.50 | 3.90 | 3.5 | 8.50 | 5.05 | 8.50 | 8.9 | 12.50 | 10.00 | M10 | 10.5 | 16.3 | 7.5 | 3.8 | |
| (5.00) | 10.60 | 16.00 | 4.85 | 4.4 | 10.00 | 6.41 | 10.00 | 11.2 | 16.00 | 12.50 | M12 | 13.0 | 19.8 | 9.5 | 4.4 | |
| 6.30 | 13.20 | 18.00 | 5.98 | 5.5 | 13.20 | 7.36 | 13.20 | 14.0 | 20.00 | 16.00 | M16 | 17.0 | 25.3 | 12.0 | 5.2 | |
| (8.00) | 17.00 | 22.40 | 7.79 | 7.0 | 17.00 | 9.36 | 17.00 | 17.9 | 25.00 | 20.00 | M20 | 21.0 | 31.3 | 15.0 | 6.4 | |
| 10.00 | 21.20 | 28.00 | 9.70 | 8.7 | 21.20 | 11.66 | 21.20 | 22.5 | 31.50 | 25.00 | M24 | 25.0 | 38.0 | 18.0 | 8.0 | |

注: 1. 尺寸 l 取决于中心钻的长度 l_1 , 此值不应小于 r 值。

2. 括号内的尺寸尽量不采用。

(2) 中心孔的技术要求

中心孔在外圆磨削中有着非常重要的作用,是工件在磨削加工中的定位基准。中心孔的形状误差和其他缺陷,如椭圆(图 2.1-13 a))、过深(图 2.1-13 b))、太浅(图 2.1-13 c))、钻偏(图 2.1-13 d))、两端不同轴(图 2.1-13 e))、锥角过大(图 2.1-13 f))、锥角过小(图 2.1-13 g))以及碰伤、拉毛等都会影响工件的加工精度。中心孔的椭圆形会“复印”到工件上,中心孔深度不正确,会使顶尖与中心孔的接触不良,中心孔钻偏或两端不同轴,会影响顶尖与中心孔的接触位置,锥角超差会使接触面减小,影响定位精度。

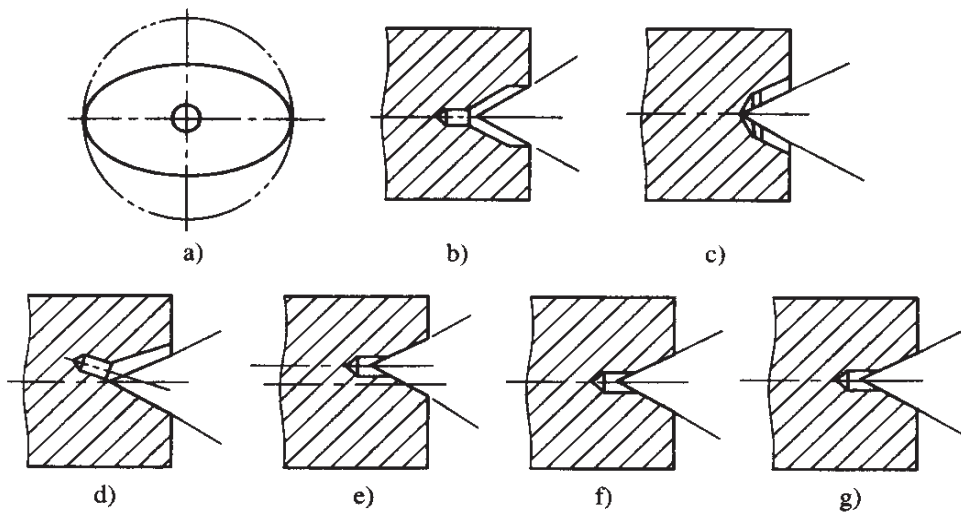


图 2.1-13 中心孔的形状误差

为了保证磨削质量,中心孔必须达到以下要求:

- ① 60° 内锥面的圆度要好,不能有椭圆或多角形误差。检查中心孔用涂色法,要求接触面积大于 80%。
- ② 60° 内锥面不能有毛刺、碰伤等缺陷,表面粗糙度 $R_a 0.8 \mu\text{m}$ 以下。
- ③ 中心孔的尺寸按工件直径选取,大直径大中心孔,小直径小中心孔。

④ 对精度要求较高的轴,淬火前后要修研中心孔。

⑤ 对于要求特殊的工件,可采用特殊结构的中心孔(图 2.1-14)。

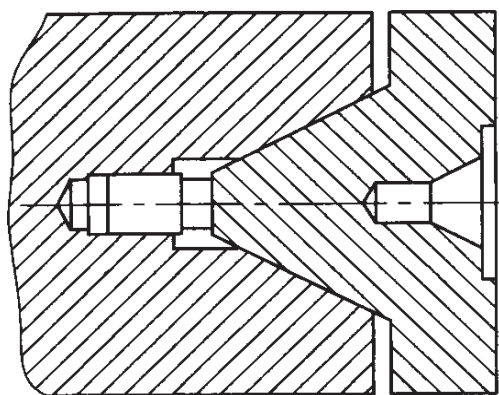


图 2.1-14 特殊结构的中心孔

4. 用两顶尖装夹工件的步骤(图 2.1-10)

(1) 顶尖。根据工件中心孔的形状和尺寸选择合适的顶尖(5 和 8),并把顶尖安装在头架 1 和尾座 9 的圆锥孔内,检查两顶尖是否对正。

(2) 调整。根据工件的长度调整头架 1 与尾座 9 的距离并加以紧固,同时要检查尾座的顶紧力,转动工件顶紧压力调节把手 10,使工件的顶紧力松紧适度。

(3) 夹头。用夹头 4 夹紧工件的一端,夹持精密的表面,可垫上铜皮以不留夹持痕迹。夹头的重量要分布均匀,否则转动时的离心力影响磨削质量。

(4) 润滑。用干净的棉纱擦干净工件中心孔,并注入润滑油或润滑脂。

(5) 左端。左手托住工件,将工件有夹头的一端中心孔支承在头架顶尖 5 上。

(6) 右端。用手扳动手柄 11,使尾座顶尖 8 收缩,将工件右端靠近顶尖,放松扳动手柄,使尾座顶尖逐渐伸出,将尾座顶尖慢慢引入中心孔内,顶紧工件。

(7) 旋转。调整拨杆 3 位置,使其能带动夹头旋转。

(8) 检查。点动主轴,检查工件旋转情况,运转正常后方可进行磨削。

(二) 用三爪或四爪卡盘装夹工件

如一些零件端面不能留中心孔,可以用三爪定心卡盘来装夹圆柱形工件,用四爪卡盘来装夹外形不规则的工件。

用三爪卡盘装夹工件时须注意:

(1) 检查卡盘与头架主轴的同轴度,有误差必须找正。

(2) 找正时,装夹力适当小些,目测工件摆动情况,用铜棒轻敲工件到大致符合要求,再用百分表准确找正,跳动控制在 0.05 mm 左右。

(3) 夹持精加工表面时,必须垫铜皮。

(三) 用卡盘和顶尖装夹工件

工件比较长而且只有一端有中心孔时,可以采用这种装夹方法。

(四) 利用主轴锥孔装夹

例如磨削顶尖或工件圆锥与主轴圆锥相同时,可采用此装夹方式。但要注意内外圆锥配合情况,并做好配合前的清洁工作。

三、磨削用量

(一) 砂轮速度

砂轮速度见表 2.1-2。

表 2.1-2 外圆磨削砂轮速度

| | | |
|-----------|---------|-----------|
| 砂轮速度(m/s) | 陶瓷结合剂砂轮 | ≤ 35 |
| | 树脂结合剂砂轮 | ≤ 40 |

(二) 外圆磨削用量

在砂轮速度 ≤ 35 m/s 时,不同直径工件的磨削用量参考表 2.1-3 和表 2.1-4。

表 2.1-3 粗磨外圆磨削用量

| 1. 工件速度 | | | | | | | |
|---|-----------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 工件磨削表面直径 d_w (mm) | 20 | 30 | 50 | 80 | 120 | 200 | 300 |
| 工件速度 v_w (m/min) | 10~20 | 11~22 | 12~24 | 13~26 | 14~28 | 15~30 | 17~34 |
| 2. 轴向进给量: 粗磨时 $f_a = (0.4 \sim 0.8)B$, 精磨时 $f_a = (0.2 \sim 0.4)B$ 式中 B 为砂轮宽度(mm) | | | | | | | |
| 3. 背吃刀量 a_p | | | | | | | |
| 工件磨削 表面直径 d_w (mm) | 工件速度 v_w (m/min) | 工件纵向进给量 f_a (以砂轮宽度计) | | | | | |
| | | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | | |
| | | 工作台单行程背吃刀量 a_p (mm/st) | | | | | |
| ≤ 30 | 10 | 0.022 | 0.018 | 0.015 | 0.013 | | |
| | 16 | 0.015 | 0.012 | 0.010 | 0.009 | | |
| | 22 | 0.011 | 0.009 | 0.008 | 0.007 | | |
| ≤ 80 | 12 | 0.024 | 0.020 | 0.017 | 0.015 | | |
| | 18 | 0.016 | 0.013 | 0.011 | 0.009 | | |
| | 25 | 0.012 | 0.010 | 0.008 | 0.007 | | |
| ≤ 120 | 14 | 0.026 | 0.022 | 0.018 | 0.016 | | |
| | 20 | 0.018 | 0.015 | 0.012 | 0.010 | | |
| | 28 | 0.013 | 0.011 | 0.009 | 0.008 | | |
| ≤ 200 | 15 | 0.029 | 0.024 | 0.020 | 0.018 | | |
| | 22 | 0.020 | 0.016 | 0.014 | 0.012 | | |
| | 30 | 0.014 | 0.012 | 0.010 | 0.009 | | |
| ≤ 300 | 17 | 0.028 | 0.024 | 0.020 | 0.018 | | |
| | 25 | 0.020 | 0.016 | 0.014 | 0.012 | | |
| | 34 | 0.014 | 0.012 | 0.010 | 0.009 | | |

续 表

| 背吃刀量 a_p 的修正系数 | | | | | | |
|-------------------|-----------------|------|------|------|---------------|------|
| 与砂轮耐用度及直径有关 k_1 | | | | | 与工件材料有关 k_2 | |
| 耐用度 $T(s)$ | 砂轮直径 d_s (mm) | | | | 加工材料 | 系 数 |
| | 400 | 500 | 600 | 750 | | |
| 360 | 1.25 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 耐热钢 | 0.85 |
| 540 | 1.0 | 1.12 | 1.25 | 1.4 | 淬火钢 | 0.95 |
| 900 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.12 | 非淬火钢 | 1.0 |
| 1 440 | 0.63 | 0.71 | 0.8 | 0.9 | 铸 铁 | 1.05 |

注：工作台一次往复行程背吃刀量 a_p 应将表列数值乘 2。

表 2.1-4 精磨外圆磨削用量

| 1. 工件速度 v_w (m/min) | | | | | |
|-----------------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------|-------------|
| 工件磨削表面 直径 d_w (mm) | 加工材料 | | 工件磨削表面 直径 d_w (mm) | 加工材料 | |
| | 非淬火钢 及铸铁 | 淬火钢及 耐热钢 | | 非淬火钢 及铸铁 | 淬火钢及 耐热钢 |
| 20 | 15~30 | 20~30 | 120 | 30~60 | 35~60 |
| 30 | 18~35 | 22~35 | 200 | 35~70 | 40~70 |
| 50 | 20~40 | 25~40 | 300 | 40~80 | 50~80 |
| 80 | 25~50 | 30~50 | | | |
| 2. 纵向进给量 f_a | | | | | |
| 表面粗糙度 R_a 0.8 μm | | $f_a = (0.4 \sim 0.6)B$ | | | |
| 表面粗糙度 R_a 0.4~0.2 μm | | $f_a = (0.2 \sim 0.4)B$ | | | |
| 式中 B 为砂轮宽度 (mm) | | | | | |

续 表

| 3. 背吃刀量 a_p | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 工件磨削 表面直径 d_w (mm) | 工件 速度 v_w (m/min) | 工件纵向进给量 f_a (mm/r) | | | | | | | | |
| | | 10 | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 |
| | | 工作台单行程背吃刀量 a_p (mm/st) | | | | | | | | |
| ≤ 30 | 20 | 0.010 | 0.009 | 0.007 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.002 |
| | 25 | 0.009 | 0.007 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| | 32 | 0.007 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.001 |
| | 40 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.001 |
| ≤ 80 | 25 | 0.014 | 0.012 | 0.009 | 0.007 | 0.005 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.002 |
| | 32 | 0.011 | 0.009 | 0.007 | 0.005 | 0.004 | 0.004 | 0.003 | 0.002 | 0.002 |
| | 40 | 0.009 | 0.007 | 0.006 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.001 |
| | 50 | 0.007 | 0.006 | 0.005 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.001 |
| ≤ 120 | 30 | 0.015 | 0.012 | 0.009 | 0.007 | 0.006 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.002 |
| | 38 | 0.012 | 0.009 | 0.007 | 0.006 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.002 | 0.002 |
| | 48 | 0.009 | 0.007 | 0.006 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| | 60 | 0.007 | 0.006 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.001 |
| ≤ 200 | 35 | 0.016 | 0.013 | 0.010 | 0.008 | 0.006 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.003 |
| | 44 | 0.013 | 0.010 | 0.008 | 0.006 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | 0.002 |
| | 55 | 0.010 | 0.008 | 0.006 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.002 |
| | 70 | 0.008 | 0.006 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.001 |
| ≤ 300 | 40 | 0.017 | 0.014 | 0.011 | 0.009 | 0.007 | 0.005 | 0.005 | 0.004 | 0.003 |
| | 50 | 0.014 | 0.011 | 0.009 | 0.007 | 0.006 | 0.004 | 0.004 | 0.003 | 0.002 |
| | 63 | 0.011 | 0.009 | 0.007 | 0.006 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.002 | 0.002 |
| | 70 | 0.010 | 0.008 | 0.006 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.002 |

续表

| 背吃刀量 a_p 的修正系数 | | | | | | | | | | | | |
|------------------|----------|------|------|------|-----|------|--------------------|-----------------|------|------|------|------|
| 与加工精度及余量有关 k_1 | | | | | | | 与加工材料及砂轮直径有关 k_2 | | | | | |
| 精度等级 | 直径余量(mm) | | | | | | 加工材料 | 砂轮直径 d_s (mm) | | | | |
| | 0.15 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 1.0 | | 400 | 500 | 600 | 750 | 900 |
| IT5 | 0.4 | 0.5 | 0.63 | 0.8 | 1.0 | 1.12 | 耐热钢 | 0.55 | 0.6 | 0.71 | 0.8 | 0.85 |
| IT6 | 0.5 | 0.63 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 淬火钢 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 |
| IT7 | 0.63 | 0.8 | 1.0 | 1.25 | 1.5 | 1.75 | 非淬火钢 | 0.95 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.45 |
| IT8 | 0.8 | 1.0 | 1.25 | 1.6 | 1.9 | 2.25 | 铸铁 | 1.3 | 1.45 | 1.6 | 1.75 | 1.9 |

- 注: 1. 工作台单行程背吃刀量 a_p 不应超过粗磨的 a_p 。
 2. 工作台一次往复行程背吃刀量 a_p 应将表列数值乘 2。

四、外圆磨削砂轮

外圆磨削砂轮的选择见表 2.1-5。

表 2.1-5 外圆磨削砂轮选择

| 加工材料 | 磨削要求 | 磨料 | 磨料代号 | 粒度 | 硬度 | 结合剂 |
|----------------|------|------|--------|----------|-----|-----|
| 未淬火的碳钢、 合金钢 | 粗磨 | 棕刚玉 | A(GZ) | F36~F46 | M~N | V |
| | 精磨 | | | F46~F60 | M~Q | |
| 淬火的碳钢、 合金钢 | 粗磨 | 白刚玉 | WA(GB) | F46~F60 | K~M | |
| | 精磨 | 铬刚玉 | PA(GG) | F60~F100 | L~N | |
| 铸铁 | 粗磨 | 黑碳化硅 | C(TH) | F24~F36 | K~L | |
| | 精磨 | | | F60 | K | |
| 不锈钢 | 粗磨 | 单晶刚玉 | SA(GD) | F36~F46 | M | |
| | 精磨 | | | F60 | L | |

续 表

| 加工材料 | 磨削要求 | 磨料 | 磨料代号 | 粒度 | 硬度 | 结合剂 |
|------|------|-------|-------------------------|---------|-----|-----|
| 硬质合金 | 粗磨 | 绿碳化硅 | GC(TL) | F46 | K | V |
| | 精磨 | 人造金刚石 | RVD(JR _{1,2}) | F100 | | B |
| 高速钢 | 粗磨 | 白刚玉 | WA(GB) | F36~F40 | K~L | V |
| | 精磨 | 铬刚玉 | PA(GG) | F60 | | |
| 软青铜 | 粗磨 | 黑碳化硅 | C(TH) | F24~F36 | K | |
| | 精磨 | | | F46~F60 | K~M | |
| 紫铜 | 粗磨 | 黑碳化硅 | C(TH) | F36~F60 | K~L | B |
| | 精磨 | 铬刚玉 | PA(GG) | F60 | K | V |

选择外圆磨削砂轮时,还需注意:

(1) 磨削导热性能差的金属材料及树脂、橡胶等有机材料,磨削薄壁件及采用深切缓进给磨削等应选择硬度低一些的砂轮,镜面磨削应选择超软磨具。

(2) 工件材料相同,磨削外圆比磨削平面、内孔,或成形磨削等,应选择硬度高一些的砂轮。

(3) 高速、高精密、间断表面磨削、钢坯荒磨、工件去毛刺等,应选择较硬磨具。

(4) 工作时自动进给比手动进给,湿磨比干磨,树脂结合剂比陶瓷结合剂砂轮,选择硬度均应高些。

五、外圆磨削的阶梯砂轮和开槽砂轮

(一) 阶梯砂轮

用深磨法磨削时,根据需要将砂轮修整成阶梯形状,其优点是:生产效率高,磨削质量高,砂轮寿命高,尺寸稳定性好,劳动强度低,易于实现半自动操作。

1. 阶梯的级数

阶梯级数根据加工余量的大小以及砂轮的宽度确定,余量越大、砂轮越宽,分级越多(一般分为4~5级)。

2. 阶梯深度

阶梯深度根据砂轮的硬度、粒度、工件的表面质量和材料性质而定。通常最大深度取0.1~0.15 mm,最小深度取0.01~0.02 mm。另外需要注意的是阶梯深度宜依次递减,见图2.1-15。

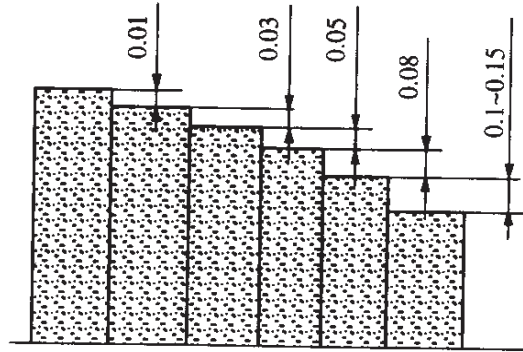


图 2.1-15 阶梯砂轮的深度

3. 阶梯宽度

阶梯宽度取决于砂轮的宽度、工件余量和表面质量。一般砂轮窄,工件余量小,表面粗糙度要求低,砂轮宽度大些;若工件尺寸精度高,表面要求高,则最后一级阶梯应宽些。

4. 阶梯砂轮修整

阶梯砂轮用金刚石修整,可以采用手动或机动。修整余量随每级要求的深度定,每次修整量不超过0.05 mm,最后一级阶梯进给量可适当小些。因最后一级阶梯决定着工件表面的粗糙度和磨削精度,修整时应仔细。参看图2.1-16。

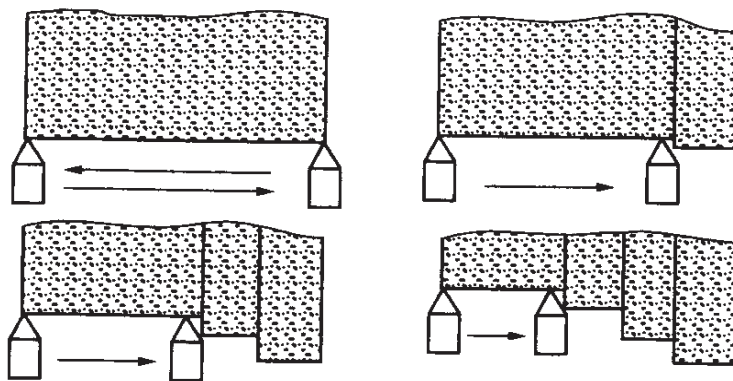


图 2.1-16 阶梯砂轮的修整

砂轮用钝后,进行再修整,只要去掉一层余量即可,不必全部去掉阶梯。

(二) 开槽砂轮

砂轮开槽可以分为厚度方向开槽、直径方向开槽、螺旋方向开槽。

1. 厚度方向开槽

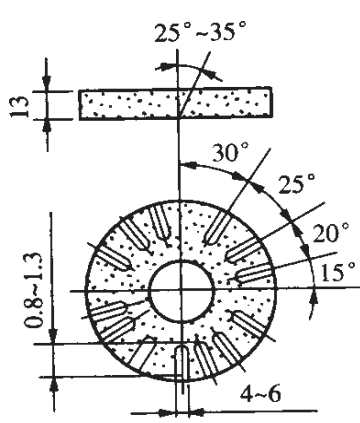
磨削硬质合金工件时,表面易烧伤、产生裂纹。如果在砂轮的厚度方向开槽,那么磨削时工件受到的是间断磨削力,可以减轻或消除烧伤、裂纹现象。用这种方法磨削淬硬钢也能收到良好效果。

开槽方法:

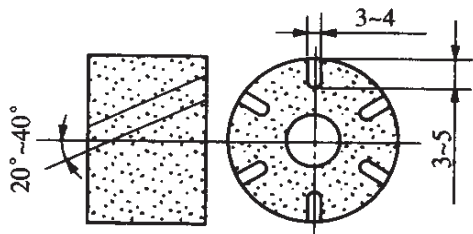
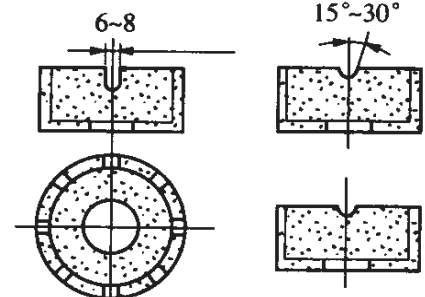
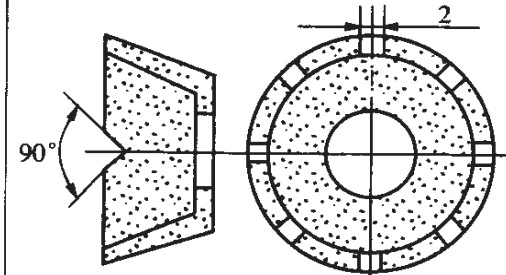
- ① 用锯条加冷却液,手工开槽。
- ② 用废薄片切割砂轮或硬度高的废砂轮、砂条,手工开槽。
- ③ 用铸铁盘装在机床上并加 SiC 磨料(F20~F60),用水和泥浆混合液冷却,机动开槽。
- ④ 用切割砂轮(中硬, F20~F60, 陶瓷或树脂结合剂), 机动开槽。

各种砂轮厚度方向开槽形式见表 2.1-6。

表 2.1-6 各种砂轮开槽形式

| 砂轮 | 用途 | 开槽形式 | 说明 |
|------|-----|---|--|
| 平行砂轮 | 外圆磨 |  | <p>① 沟槽的配置方式采用 90° 内不等分, 圆周上槽数为 16~24;</p> <p>② 在圆周上制成斜槽, 斜槽为 25°~35°, 方向为右旋;</p> <p>③ 沟槽在圆周上对称分布, 沟槽深度、宽度一致</p> |
| | 平面磨 | | 沟槽的配置与外圆磨削砂轮基本相同, 槽数一般为 24~36 |

续表

| 砂轮 | 用途 | 开槽形式 | 说明 | | | | | | | | |
|-------|-----|---|---|------|----|-------|---|-------|---|-------|---|
| 平行砂轮 | 内圆磨 |  | <p>等分开槽,斜角为 $20^\circ \sim 40^\circ$,槽数选择:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>砂轮直径</th> <th>槽数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20 mm</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>30 mm</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>40 mm</td> <td>8</td> </tr> </tbody> </table> | 砂轮直径 | 槽数 | 20 mm | 4 | 30 mm | 6 | 40 mm | 8 |
| 砂轮直径 | 槽数 | | | | | | | | | | |
| 20 mm | 4 | | | | | | | | | | |
| 30 mm | 6 | | | | | | | | | | |
| 40 mm | 8 | | | | | | | | | | |
| 杯形砂轮 | 工具 |  | <p>① 槽形: 90° V形适用于粗磨, R_a 值较大; 矩形直槽用于粗、精磨, R_a 值可达 $0.8 \mu\text{m}$; 矩形斜槽用于精磨, R_a 值可达 $0.4 \mu\text{m}$ 以上;</p> <p>② 槽数为 $4 \sim 18$, 在端面上沿圆周均匀分布;</p> <p>③ 矩形斜槽的斜角为 $15^\circ \sim 20^\circ$, 沟槽倾斜方向与砂轮旋转方向相反</p> | | | | | | | | |
| 碗形砂轮 | 磨 |  | <p>① 沟槽开得浅而窄;</p> <p>② 槽数: 矩形沟槽为 $8 \sim 16$, 90° V形沟槽为 $4 \sim 8$, 在端面上沿圆周均匀分布</p> | | | | | | | | |

续表

| 砂轮 | 用途 | 开槽形式 | 说明 |
|------|-----|------|---|
| 碟形砂轮 | 工具磨 | | <p>① 与杯形砂轮开槽形式相同；</p> <p>② 槽数为 4~8, 在端面上沿圆周均匀分布；</p> <p>③ 其余同杯形砂轮</p> |

2. 直径方向开槽

在加工有色金属件、表面焊锡件、黑色金属件,并且工件薄、面积大、表面粗糙度又较高时,为防止弹性退让和降低表面粗糙度,可采用径向开槽砂轮,见图 2.1-17。

用这种砂轮磨削黏性材料,每次进给量为 0.06~0.08 mm,磨削效率比一般磨削方法提高 1~2 倍以上,效率可提高一倍,表面粗糙度为 $R_a 0.2 \mu\text{m}$;磨削黑色金属件,效率可提高一倍,表面粗糙度为 $R_a 0.2 \mu\text{m}$ 。

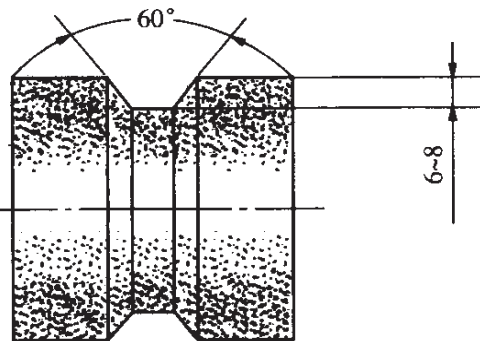


图 2.1-17 径向开槽砂轮

3. 螺旋槽砂轮

螺旋槽砂轮能防止烧伤,提高切削性能,减少磨削力 20%~40%,但会使表面粗糙度增高,应适当增加光磨时间。

随着超硬磨料、磨具的发展,出现了各种带有螺旋沟槽的电镀金刚石或 CBN 砂轮,在解决磨削烧伤、提高磨削性能方面,收到了很好的效果。

六、外圆的测量

(一) 尺寸精度的测量

在单件、小批量生产中,外圆直径的测量一般是用千分尺检验,精密零件可用杠杆式千分尺检验。阶台长度可用游标卡尺、深度游标卡尺、深度千分尺等测量。在大批量生产中,常用极限卡规测量直径尺寸。

(二) 圆度测量

用圆度仪,也可用平板、百分表带指示器的测量架和支承组合使用,见图 2.1-18。

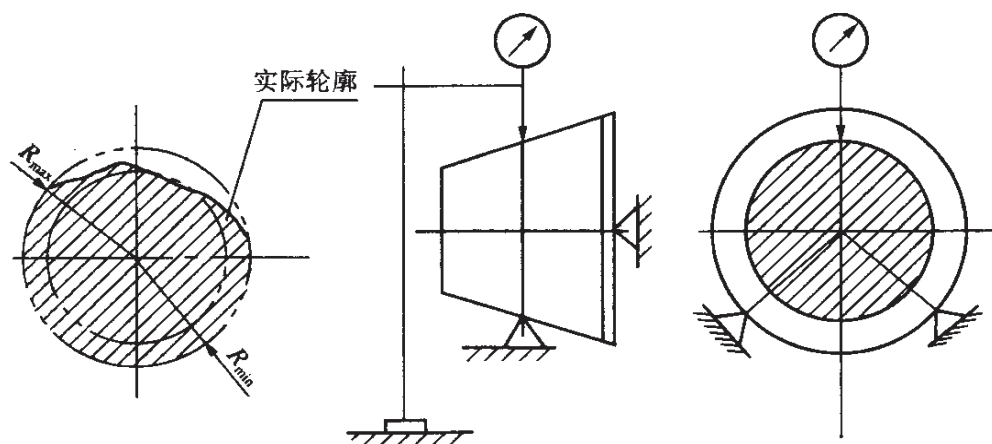


图 2.1-18 圆度测量

圆度误差是在半径方向计量的,单个截面的圆度误差: $\Delta = R_{max} - R_{min}$,如果测量出几个截面的圆度误差,取其中最大的 Δ 值作为被测外圆的圆度误差。

(三) 圆柱度测量

用平板、V形块(长度应大于被测零件的长度)和带指示器的测量架组合使用,见图 2.1-19。测量方法如下:

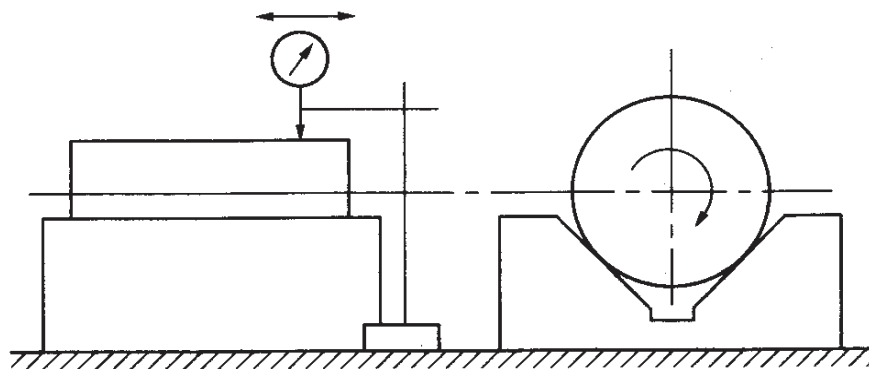


图 2.1-19 圆柱度的测量

(1) 在被测零件回转一周过程中,测量单个横截面上的最大读数和最小读数;

(2) 按上述方法,连续测量若干个横截面。然后取各截面内所测得所有读数中的最大与最小读数的差值的一半,作为圆柱度误差。

七、外圆磨削加工实例

下面以图 2.1-20 所示的心轴磨削为例,说明外圆磨削加工工艺的制订和磨削用量选择。

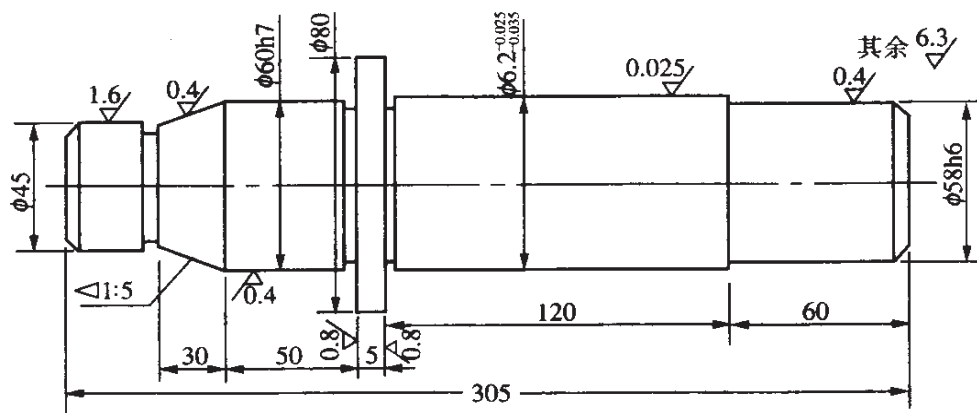


图 2.1-20 心轴

1. 工艺

采用两顶尖装夹方法,工艺制订见表 2.1-7。

表 2.1-7 心轴磨削工艺

| 工序 | 工步 | 工序内容 | 设备 | |
|----|----|---|--------|-----------|
| | | | 砂轮 | 机床 |
| 1 | | 除应力,研磨中心孔,要求达到 R_a 0.63 μm ,接触面积 > 70% | | |
| 2 | | 粗磨各阶外圆,留余量 0.08~0.10 mm | PA46K | M131W |
| | 1 | 磨 $\phi 45$ 至尺寸 | | |
| | 2 | 磨 $\phi 60$ h7,磨出台阶面 | | |
| | 3 | 磨至 $\phi 62^{+0.15}_{+0.08}$ $\phi 62^{-0.015}_{-0.030}$,磨出台阶面 | | |
| | 4 | 磨 $\phi 58$ h6 | | |
| 3 | | 粗磨 1:5 锥度,留余量 0.08~0.10 mm | | M1432A |
| 4 | | 半精磨各外圆,留余量 0.05 mm | PA60K | M1432A |
| 5 | | 氮化、探伤、研磨中心孔,要求达到 R_a 0.2 μm ,接触面积 > 75% | | |
| 6 | | 精磨外圆 $\phi 60$ h7(肩面)、 $\phi 58$ h6、 $\phi 62^{-0.015}_{-0.030}$ 留余量 0.025~0.04 mm | PA100L | M1432A |
| 7 | | 研磨中心孔, R_a 0.1 μm ,接触面积 > 90% | | |
| 8 | | 精密磨 1:5 锥度至尺寸 | WA100K | MMB1420 |
| 9 | | 精密磨 $\phi 62^{-0.015}_{-0.030}$ 至 $\phi 62^{-0.025}_{-0.035}$ (肩面) | WA100K | MMB1420 |
| 10 | | 超精密磨 $\phi 62^{-0.025}_{-0.035}$ 至尺寸,表面粗糙度 R_a 0.025 μm | WA240L | MGB、1420A |

2. 磨削用量

磨削用量见表 2.1-8。

表 2.1-8 磨削用量

| 磨削用量 | 粗、精磨 | 超精磨 |
|---------------|-----------|-----------|
| 砂轮速度(m/s) | 17~35 | 15~20 |
| 工件速度(m/min) | 10~15 | 10~15 |
| 纵向进给速度(m/min) | 0.2~0.6 | 0.05~0.15 |
| 背吃刀量(mm) | 0.01~0.03 | 0.0025 |
| 光磨次数 | 1~2 | 4~6 |

八、外圆磨削常见的缺陷与消除措施

外圆磨削常见的缺陷与消除措施见表 2.1-9。

表 2.1-9 外圆磨削常见的缺陷与消除措施

| 序号 | 缺陷内容 | 缺陷产生原因 | 缺陷消除方法 |
|----|-------------|--------------------------|--|
| 1 | 工件表面出现直波形振痕 | 砂轮不平衡,转动时发生振动 | 注意保持砂轮平衡: (1) 新砂轮需经两次静平衡; (2) 砂轮使用一段时间后,如果又出现不平衡,需做静平衡; (3) 砂轮停车前,先关掉冷却液,使砂轮空转进行脱水,以免冷却液聚集在下部而引起不平衡 |
| | | 砂轮硬度过高 | 根据工件材料性质,选择合适的砂轮硬度 |
| | | 砂轮变钝后没有及时修整 | 修整砂轮 |
| | | 砂轮修得过细,或金刚钻顶角已磨钝,砂轮修整不锋利 | 合理选择修整用量或翻身重焊金刚石,或对金刚石琢磨修尖 |

续 表

| 序号 | 缺陷内容 | 缺陷产生原因 | 缺陷消除方法 |
|----|-------------|----------------------------------|---|
| 1 | 工件表面出现直波形振痕 | 工件圆周速度过大,工件中心孔有多角形 | 适当降低工件转速,修正中心孔 |
| | | 工件直径、重量过大,不符合机床规格 | 改在规格较大的机床上磨削。如设备不允许,可降低磨削深度和纵向进给量以及把砂轮修得锋利些 |
| | | 砂轮主轴轴承磨损,配合间隙过大,产生径向跳动 | 按机床说明书规定调整轴承间隙 |
| | | 头架主轴轴承松动 | 调整轴承间隙 |
| 2 | 工件表面有螺旋形痕迹 | 砂轮硬度高,修得过细,磨削深度过大 | 合理选择砂轮硬度和修整用量,适当减小磨削深度 |
| | | 纵向进给量过大 | 适当降低进给量 |
| | | 砂轮磨损,母线不直 | 修整砂轮 |
| | | 金刚钻在修整器中未夹紧或金刚石在刀杆上未焊牢,修出的砂轮凹凸不平 | 把金刚钻装夹牢固,如金刚石有松动,需重新焊接 |
| | | 冷却液太少或太淡 | 加大或加入浓冷却液 |
| | | 工作台导轨润滑油压过大使工作台浮起,产生摆动 | 调整导轨润滑油压力 |
| | | 工作台运行时有爬行现象 | 打开放气阀,排除液压系统中的空气,或检修机床 |
| | 砂轮主轴有轴向窜动 | 检修机床 | |

续 表

| 序号 | 缺陷内容 | 缺陷产生原因 | 缺陷消除方法 |
|----|-----------|---|-------------------------------------|
| 3 | 工件表面有烧伤现象 | 砂轮太硬或粒度太细 | 合理选择砂轮 |
| | | 砂轮修得过细,不锋利 | 合理选择修整用量 |
| | | 砂轮太钝 | 修整砂轮 |
| | | 磨削深度和纵向进给量过大,或工件的圆周速度过低 | 适当减小磨削深度和纵向进给量,或增大工件的转速 |
| | | 冷却液不充足 | 加大冷却液 |
| 4 | 工件有椭圆度 | 中心孔形状不正确,或内有污垢,铁屑等 | 根据具体情况重新修正中心孔,或把中心孔擦净 |
| | | 中心孔或顶尖因润滑不良而磨损 | 注意润滑,如有磨损,需重新修正中心孔或修磨顶尖 |
| | | 工件顶得过紧或过松 | 重新调节尾架顶尖压力 |
| | | 顶尖在主轴和尾架内贴合不紧,发生摇晃 | 卸下顶尖,擦净后重新装上 |
| | | 砂轮过钝 | 修整砂轮 |
| | | 冷却液不充分或供应不及时 | 保证充足的冷却液 |
| | | 工件刚性差而毛坯形状误差又大,磨削时因余量不均而引起磨削深度变化,使工件弹性变形发生相应变化,磨削后工件部分保留毛坯的形状误差 | 磨削深度不能太大,并应随着余量减小而逐步减小,最后多作几次“光磨”行程 |

续 表

| 序号 | 缺陷内容 | 缺陷产生原因 | 缺陷消除方法 |
|----|--------|---|---|
| 4 | 工件有椭圆度 | 工件有不平衡重量时,由于离心力作用,会在较重的一边磨去较多金属,使工件有椭圆度 | 事先加以平衡 |
| | | 砂轮主轴轴承间隙过大 | 调整主轴轴承间隙 |
| | | 用卡盘装夹磨削外圆时,头架主轴径向跳动过大 | 调整头架主轴轴承间隙 |
| 5 | 工件有锥度 | 工作台未调整好,工件旋转轴线与工作台运动方向不平行 | 仔细找正工作台 |
| | | 工件和机床的弹性变形发生变化 | 应在砂轮锋利的情况下仔细找正工作台,每个工件在精磨时,砂轮的锋利程度、磨削用量和光磨次数应与找正工作台时的情况基本一致,否则需用不均匀走刀加以消除 |
| | | 工作台导轨润滑油压过大,运行中产生摆动 | 调整压力 |
| | | 头架和尾架中心不重合 | 修整使其重合 |
| 6 | 工件有鼓形 | 工件刚性差,磨削时产生弹性弯曲变形 | 减小工件的弹性变形: (1) 减小磨削深度,多作光磨; (2) 及时修整砂轮; (3) 工件很长时,适当使用中心架 |
| | | 中心架调整不适当 | 正确调整支撑和支承块对工件的压力 |

续 表

| 序号 | 缺陷内容 | 缺陷产生原因 | 缺陷消除方法 |
|----|-------------|----------------------|---|
| 7 | 工件两端尺寸过小或过大 | 砂轮越出工件端面太多或太少 | 调整换向撞块位置,使砂轮越出工件端面 1/3~1/2 个砂轮宽度 |
| | | 工作台换向时停留时间过长或过短 | 调整时间 |
| 8 | 阶台旁外圆尺寸大 | 工作台换向时停留时间太短 | 延长停留时间 |
| | | 砂轮磨损,靠阶台旁外角变圆或母线不直 | 修整砂轮 |
| 9 | 阶台端面内部凸起 | 吃刀过大,退刀过快 | 吃刀时纵向摇动工作台要慢而均匀,光磨时间要充分 |
| | | 冷却液不充足 | 加大冷却液 |
| | | 工件顶得过紧或过松 | 调节尾架顶尖压力 |
| | | 砂轮主轴有轴向窜动 | 检修机床 |
| | | 头架主轴轴承间隙大 | 调整间隙 |
| | | 用卡盘装夹磨削端面时,头架主轴轴向窜动大 | 调整间隙 |
| | | 进刀太快,光磨时间不够 | 进刀要慢而均匀,光磨至没有火花为止 |
| | | 砂轮与工件接触面积大,磨削压力大 | 把砂轮端面修成内凹,使工作面尽量狭小,同时先把砂轮退出一段距离后再吃刀,然后逐渐摇进砂轮,磨出整个端面 |

续 表

| 序号 | 缺陷内容 | 缺陷产生原因 | 缺陷消除方法 |
|----|-------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 9 | 阶台端面内部凸起 | 砂轮主轴中心与工作台运动方向不平行 | 调整砂轮架位置 |
| | | 与椭圆度原因 1~5 相同 | 与椭圆度消除措施 1~5 相同 |
| 10 | 阶台轴各外圆表面不同轴 | 磨削用量过大或光磨时间不够 | 精磨时减小磨削深度,多作光磨 |
| | | 磨削步骤安排不当 | 同轴度要求高的表面应分粗精磨,同时尽可能在一次装夹中精磨完毕 |
| | | 用卡盘装夹磨削时,工件找正不对,或头架主轴径向跳动太大 | 仔细找正工件基准面,调整轴承间隙 |

第二节 内圆磨削

内圆磨削可以磨削圆柱孔、圆锥孔、圆柱孔或圆锥孔端面以及成形内表面。内圆磨削的尺寸精度可以达到 IT6~IT7 级,表面粗糙度 $R_a 0.8 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 。采用高精度内圆磨削工艺,尺寸精度可以控制在 0.005 mm 以内,表面粗糙度 $R_a 0.1 \sim 0.025 \mu\text{m}$ 。

与外圆磨削相比,内圆磨削具有以下特点:

(1) 由于受到内圆直径的限制,内圆磨削的砂轮直径小,转速又受内圆磨床主轴转速的限制(一般为 10 000~20 000 r/min),砂轮的圆周速度一般达不到 30~35 m/s,因此磨削表面质量比外圆磨削差。

(2) 内圆磨削时,直径越小,安装砂轮的接长轴直径也越小,悬伸却较长,刚性差,容易产生弯曲变形和振动,影响了尺寸精度和形状精度,降低了表面质量,同时也限制了磨削用量,不利于提高生产率。

(3) 内圆磨削时,砂轮直径小,转速却比外圆磨削高得多,因此单位时间内每一磨粒参加磨削的次数比外圆磨削高,而且与工件成内切圆接触,接触弧比外圆磨削长,再加之内圆磨削处于半封闭状态,冷却条件差,磨削热较大,磨粒易磨钝,砂轮易堵塞,工件易发热和烧伤,影响表面质量。

为了保证磨孔的质量和提提高生产率,必须根据磨孔的特点,合理地使用砂轮和接长轴,正确选择磨削用量,改进工艺。

一、内圆磨削方法

砂轮与工件孔壁接触的位置,由磨床的横向进给机构决定。在万能外圆磨床上磨内圆时,砂轮与孔的前壁接触,这时砂轮的横向进给方向与磨外圆时相同。在内圆磨床上磨削内孔时,为了便于操作者观察加工表面,砂轮一般与孔的后壁接触。另外为了提高磨削效率,砂轮的旋转方向与工件的旋转方向相反。

(一) 纵向磨削法

内圆的纵向磨削法与外圆的纵向磨削法相同,也是应用得最广泛的磨削方法。

1. 光滑通孔磨削

(1) 工艺确定

根据工件的磨削余量、加工精度和表面粗糙度确定粗、精磨削。粗磨时可采用较大的切削用量,磨去大部分余量,精磨时可以使砂轮接长轴在最小的弹性变形状态下工作,以提高磨削精度。内圆磨削的磨削余量见表 2.2-1。

表 2.2-1 内圆磨削的磨削余量

(mm)

| 孔径 范围 | | 孔 长 | | | | | | | | 精磨后 |
|------------|----|----------|------------|-------------|-------------|----------|------------|-------------|-------------|-------|
| | | 工件未经淬火 | | | | 工件经淬火 | | | | |
| | | 50 以下 | 50~ 100 | 100~ 200 | 200~ 300 | 50 以下 | 50~ 100 | 100~ 200 | 200~ 300 | 精磨前 |
| | | 加 工 余 量 | | | | | | | | |
| ≤10 | 最大 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.020 |
| | 最小 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.015 |
| 11~ 18 | 最大 | 0.22 | 0.25 | — | — | 0.25 | 0.28 | — | — | 0.030 |
| | 最小 | 0.12 | 0.13 | — | — | 0.15 | 0.18 | — | — | 0.020 |
| 19~ 30 | 最大 | 0.28 | 0.28 | — | — | 0.39 | 0.30 | 0.35 | — | 0.040 |
| | 最小 | 0.15 | 0.15 | — | — | 0.18 | 0.22 | 0.25 | — | 0.030 |
| 31~ 50 | 最大 | 0.30 | 0.30 | 0.35 | — | 0.35 | 0.35 | 0.40 | — | 0.050 |
| | 最小 | 0.15 | 0.15 | 0.20 | — | 0.20 | 0.25 | 0.28 | — | 0.040 |
| 51~ 80 | 最大 | 0.30 | 0.32 | 0.35 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.45 | 0.50 | 0.060 |
| | 最小 | 0.15 | 0.18 | 0.20 | 0.35 | 0.25 | 0.28 | 0.30 | 0.35 | 0.050 |
| 81~ 120 | 最大 | 0.37 | 0.40 | 0.45 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.55 | 0.60 | 0.070 |
| | 最小 | 0.20 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.05 |

(2) 砂轮直径、接长轴长度选择

根据孔径和孔长,选择合适的砂轮直径和接长轴长度,接长轴的刚度要好,长度略大于孔的长度(图 2.2-1 a))。接长轴太长,磨削时易产生振动,影响磨削效率和加工质量。

(3) 调整工作台行程

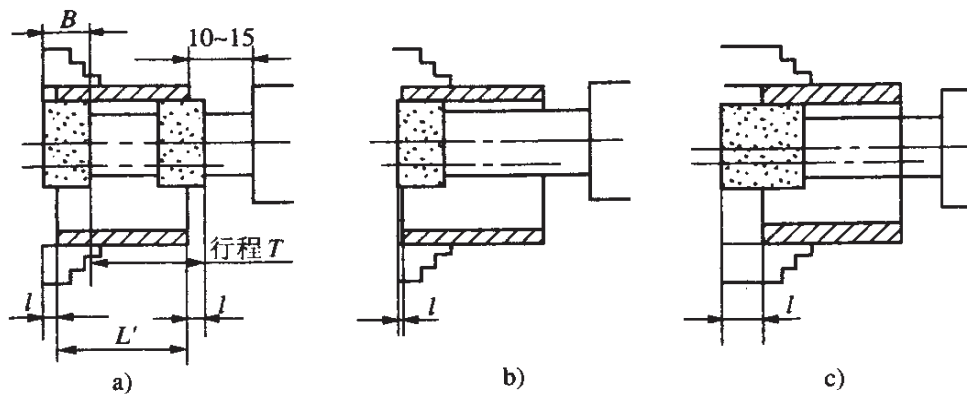


图 2.2-1 砂轮超越孔口长度

行程长度 T 应根据工件长度 L' 和砂轮在孔端的越程 l 计算。长度 l 一般取砂轮宽度 B 的 $1/3 \sim 1/2$ 。因此 $T = L' + l - (B - l) = L' - B + 2 \times (1/3 \sim 1/2) \times B$ 。越程 l 若过小, 则孔的两端磨削时间太短, 磨去的金属会比孔中间的少, 易形成孔中间凹的缺陷 (图 2.2-1 b)); 越程 l 若过大, 砂轮宽度大部分已超过孔端, 此时磨削力明显减弱, 接长轴弹性变形得到恢复, 孔两端的金属就会被多磨去一部分, 形成“喇叭口” (图 2.2-1 c))。孔径小时更明显。

(4) 内孔产生锥度后的调整方法

在万能外圆磨床上磨内圆时, 找正工件锥度与磨外圆时相同。在内圆磨床上磨内孔时, 要找正头架, 即要求头架主轴的回转中心与工作台纵向运动方向平行。如果内圆产生倒锥 (图 2.2-2 a)), 松开头架压紧螺钉, 头架绕轴心做顺时针转动, 让内孔在 a 处多磨去一些; 如果内圆产生顺锥 (图 2.2-2 b)), 头架绕轴心做逆时针转动, 让内孔 b 处多磨去一些。头架转动的数值可以由顶在卡盘外圆上的百分表上读出。可以反复多次, 直到符合要求为止。此外, 砂轮磨钝、堵塞、磨损不均匀, 接长轴的弹性变形, 越程 l 未调整好以及工件的热胀冷缩等都会造成锥度。要具体问题具体分析, 对症下药。

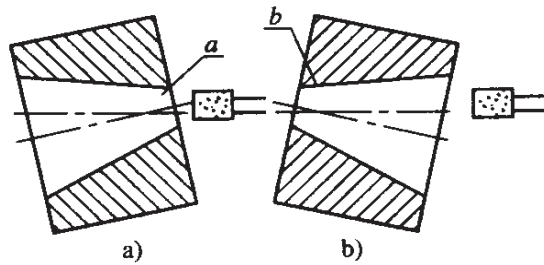


图 2.2-2 内孔产生锥孔

2. 光滑不通孔的磨削

光滑不通孔的磨削与通孔磨削相似,但需注意以下几点:

① 左挡铁必须调整正确,防止砂轮端面与孔底相撞。可先按孔深在外壁上做记号,在砂轮和工件均不转动时,移动工作台纵向行程,到位置后紧好挡铁。

② 为防止产生顺锥,可以在孔底附近做几次短距离的往复行程,砂轮在孔口的越程要小一些。

③ 及时清除孔内的磨屑。

3. 间断表面孔的磨削

内孔表面如有沟槽(图 2.2-3 a)、键槽(图 2.2-3 b)或径向通孔(图 2.2-3 c),则砂轮与孔壁接触有间断现象,内孔容易产生形状误差,磨削时要采取相应的措施。

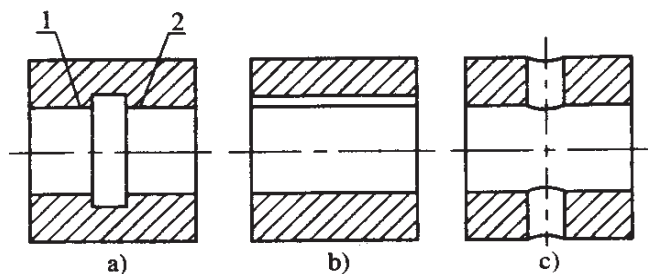


图 2.2-3 间断表面孔

磨削图 2.2-3 a)所示内孔时,在表面 1 和 2 的地方容易产生喇叭口。采取对策是适当加大砂轮宽度,尽量选直径较大的接长

轴,并用金刚石及时修整砂轮。磨削图 2.2-3 b)所示内孔时,在键槽边口容易产生“塌角”,可适当增大砂轮直径,减小砂轮宽度,提高接长轴的刚性。对于精度较高的内孔,则可在键槽内镶嵌硬木或胶木。磨削图 2.2-3 c)所示内孔时,孔壁容易产生多角形,可适当增加砂轮直径,采用刚性好的材料做接长轴,并及时修整砂轮。

上述三种类型的零件在精磨时都应减小背吃刀量,增加光磨次数,方能保证工件的加工精度和表面粗糙度。

此外用纵向磨削法磨削时还应注意:

① 充分冷却。

② 磨台阶孔时,为了保证台阶孔的同轴度,要求工件在一次装夹中将几个孔全部磨好,并细心调整挡铁位置,防止砂轮撞击到孔的内端面。内(或外)端面与孔有垂直度要求时,可选用杯形砂轮,将端面磨出。直径不宜过大,以保证砂轮在工件内端面单方向接触,否则将影响内端面的垂直度。

③ 砂轮退出内孔表面时,要先将砂轮从横向退出,然后再从纵向进给方向退出,以免工件产生螺旋痕迹。

(二) 径向磨削法

与外圆径向磨削法相同。适用于工件长度不大的内孔磨削,生产效率高,见图 2.2-4 a)。磨削时应注意:

(1) 在万能外圆磨床上磨台阶孔时,要检查砂轮轴线与工作台纵向行程方向是否平行;在内圆磨床上磨台阶孔时,检查头架主轴的回转轴线与工作台纵向行程方向是否平行。否则内孔端面会产生中凸或中凹。

(2) 横向切入时,切削负荷重,砂轮易磨钝。可先用粒度号数较小的砂轮,加强接长轴刚性,尽量减小接长轴的悬伸长度,及时修整砂轮。

(3) 为了降低内孔表面的粗糙度,最后可进行光磨,并用手动使工件在纵向有微量的往复行程。

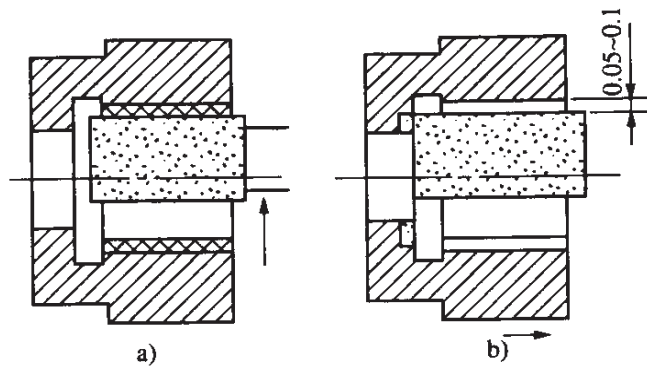


图 2.2-4 横向磨削内孔

二、内圆磨头

(一) 机械传动内圆磨头

机械传动内圆磨头主要由主轴、滚动轴承、套筒壳体和平皮带轮等组成(图 2.2-5)。滚动轴承用锂基润滑脂润滑,须定期清理更换。在磨削小孔或深孔时可采用特殊结构的内圆磨头。磨削不同直径、不同长度的内孔可以通过更换接长轴的办法实现。机械传动磨头适用于中、低转速(一般低于 20 000r/min)。

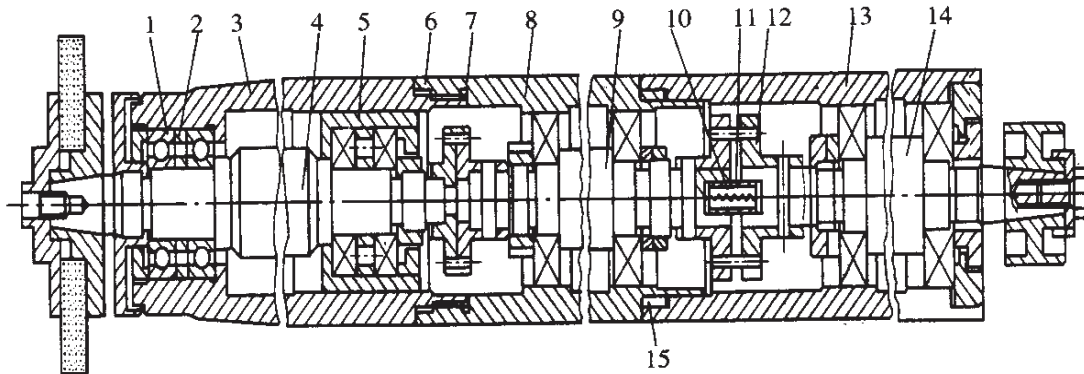


图 2.2-5 机械传动内圆磨头

1—向心推力轴承 2—隔环 3、8、13—壳体 4—主轴 5—轴承套 6、15—青铜套
7、12—联轴器 9—中间轴 10—弹簧 11—弹簧套 14—传动轴

(二) 风动内圆磨头

风动内圆磨头(图 2.2-6)的主轴上带有涡轮,由压缩空气带

动涡轮使主轴高速旋转(转速高达 110 000 r/min),并且振动小。风动磨头还带有一套辅助元件,如调压阀、过滤器、油雾器等。调节气压可实现无级调速。加工表面粗糙度可达 $R_a 0.4 \mu\text{m}$ 。

风动磨头的缺点是受气压波动影响,转速不稳定,噪声高,精度低,一般少用。

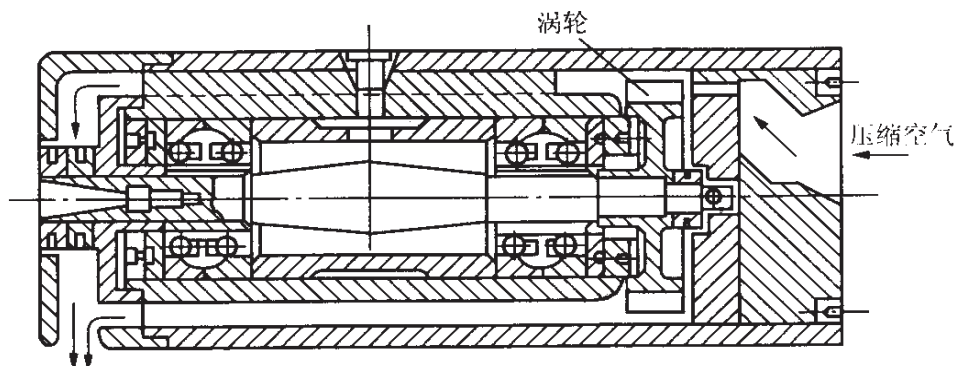


图 2.2-6 风动内圆磨头

(三) 电动内圆磨头

该磨头由三相异步电动机直接带动,或由高频电动机带动(图 2.2-7),两者的工作原理一样。高频电动磨头由于电流频率高,故可达到极高转速(50 000~90 000 r/min),输出功率大,瞬时过载能力强,速度特性硬,振动小,适用于高速内孔磨削。

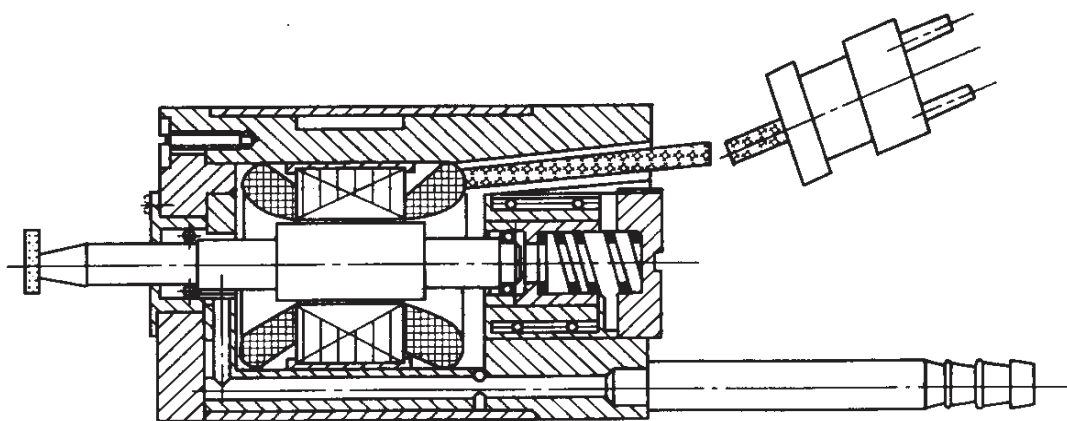


图 2.2-7 高频电动磨头

(四) 变频高速磨头

变频高速磨头(图 2.2-8)采用高效电机及 6 步式变频器提供稳定的转速和额定输出扭矩,功率 0.6~40 kW,最高转速可达 300 000 r/min,用气-油润滑,有效地避免高速旋转时磨损烧伤轴承,磨削时切削液从主轴中供给,提高了冷却效果。所有转动部件都经过精确的动平衡,不平衡性小于 G0.4 度/ISO 标准,静态与动态刚性高。旋转精度、径向及轴向跳动分别小于 0.002 mm 和 0.001 mm。采用特制 9 级精度陶瓷轴承,振动很小,完全达到高速运转要求。变频高速磨头采用快速更换砂轮的装置,可以很方便地安装在内圆磨头上,进行高精度小孔的高速磨削。例如,磨轴承孔可以采用 CBN 砂轮,80 m/s 高速磨小孔。变频高速磨头还可以用于外圆、深孔磨削。

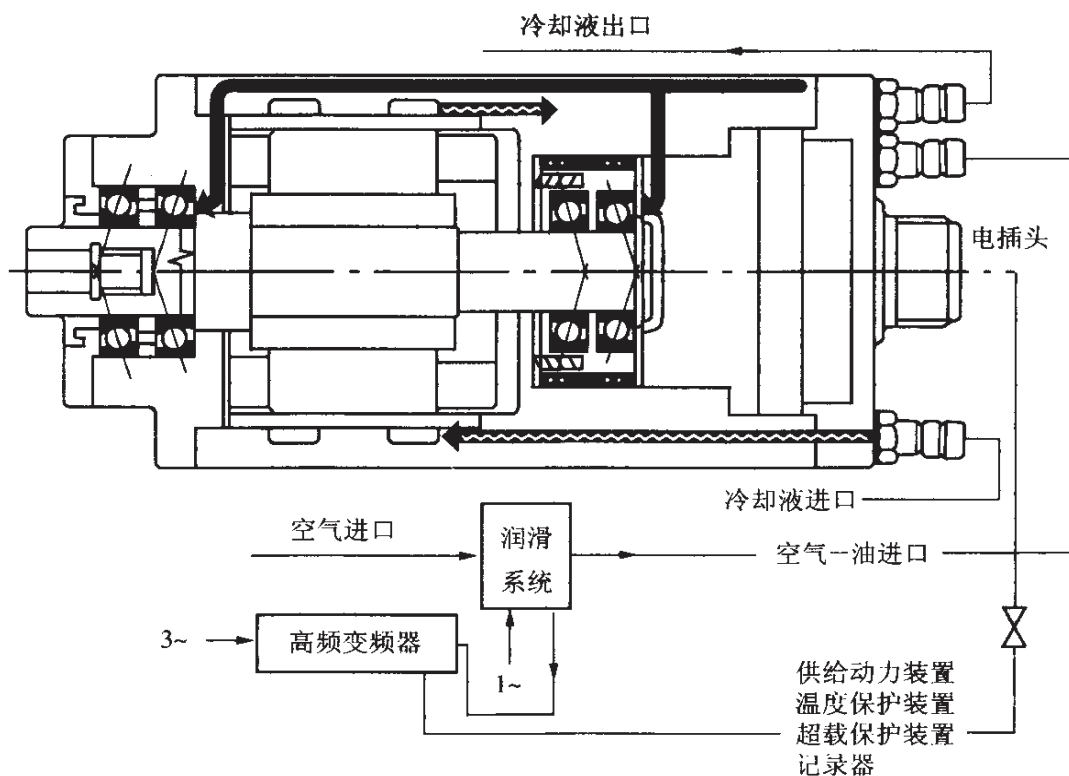


图 2.2-8 变频高速磨头

三、砂轮的选择

(一) 砂轮的尺寸选择

1. 直径选择

砂轮直径的选择要考虑两个方面：一方面，磨削某一内圆时，砂轮直径选大值，其圆周速度得到提高，砂轮接长轴也可选粗些的，刚性好，因而对提高工件的加工精度、降低表面粗糙度有利；但另一方面，砂轮直径加大，它与工件内圆表面的接触弧面积也随着增大，致使磨削热增加，冷却和排屑条件变差，砂轮易堵塞、变钝，这是不利的一面。为了获得良好的磨削效果，砂轮直径与工件孔径应有一个适当的比值，这个比值通常在 0.5~0.9 之间。当内径较小时，主要问题是砂轮的圆周速度低和接长轴刚性差，此时可取较大比值；当内径较大时，砂轮圆周速度较高，接长轴刚性好，磨削热和排屑成为主要问题，所以应取较小比值。可以参照表 2.2-2。

表 2.2-2 内圆磨削时砂轮直径的选择 (mm)

| 被磨孔直径 | 砂轮直径 | 被磨孔直径 | 砂轮直径 |
|--------|------|-----------|------|
| 12~17 | 10 | 100~125 | 80 |
| 17~22 | 15 | 125~150 | 100 |
| 22~27 | 20 | 150~175 | 125 |
| 27~32 | 25 | 175~250 | 150 |
| 32~45 | 30 | 250~350 | 200 |
| 45~55 | 40 | 350~500 | 250 |
| 55~65 | 50 | 500~750 | 350 |
| 65~80 | 60 | 750~1 000 | 450 |
| 80~100 | 70 | | |

2. 砂轮宽度的选择

宽度的选择也有两个方面：一方面，砂轮较宽时，同时参加磨削的磨粒数增加，有利于提高表面粗糙度；可以采用较大的纵向进给量，缩短工作台的纵向行程，减少磨削时间，提高生产率，并可降低砂轮的损耗。另一方面，砂轮宽度增加后，磨削力增大，接长轴的弹性变形增大，磨削区域接触弧面积增大，发热量增加，冷却条件变差，排屑困难，影响工件加工精度和表面粗糙度。

在砂轮接长轴的刚性和机床功率允许的范围内，砂轮宽度可以按工件长度选择(表 2.2-3)。

表 2.2-3 内圆砂轮宽度选择 (mm)

| | | | | |
|------|----|----|----|-----|
| 磨削长度 | 14 | 30 | 45 | >50 |
| 砂轮宽度 | 10 | 25 | 32 | 40 |

(二) 砂轮特性选择

砂轮特征选择见表 2.2-4。

1. 硬度选择

根据内圆磨削的特点，砂轮具有良好的自锐性，才能减小磨削力，减少工件发热，降低磨削区域的温度。通常磨内孔的砂轮要比磨外圆的砂轮硬度要软 1~2 级，但内孔直径小时，硬度要适当硬一些。磨削长度较长时，为避免工件产生锥度，砂轮的硬度则不可太低，一般选择 J~L 级。

2. 粒度选择

为了提高磨粒的切削能力，同时避免工件烧伤，应选择较粗的粒度。磨内孔砂轮的粒度比磨外圆砂轮的粒度小 1~2 号，常用 F36~F60，尤以用 F46 多。

3. 组织选择

因排屑困难，为了有较大的空隙来容纳磨屑，改善磨削区域的冷却条件，避免砂轮过早堵塞，砂轮组织要较疏松一些，通常比磨

外圆砂轮的组织疏松 1~2 号。

(三) 砂轮形状选择

砂轮形状选择见表 2.2-4。

常用砂轮形状有两种：平行砂轮(图 2.2-9 a))和单面凹砂轮(图 2.2-9 b))。平行砂轮(1 型)最常用,可以磨削各种通孔,单面凹砂轮(5 型)除磨削内孔外还可以磨削阶台孔的端面。

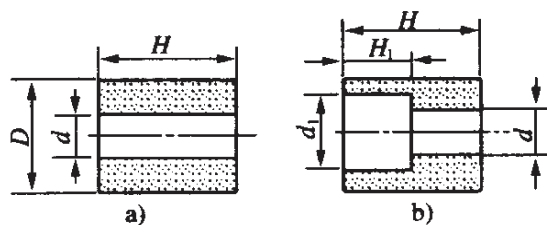


图 2.2-9 砂轮的形状

表 2.2-4 内圆磨削砂轮的选择

| 加工材料 | 磨削要求 | 磨料 | 粒度 | 硬度 | 结合剂 |
|-----------|------|----|---------|-----|-----|
| 未淬火的钢 | 粗磨 | A | F24~F46 | K~M | V |
| | 精磨 | A | F46~F60 | K~M | V |
| 铝 | 粗磨 | C | F36 | K~L | V |
| | 精磨 | C | F60 | L | V |
| 铸铁 | 粗磨 | C | F24~F36 | K~L | V |
| | 精磨 | C | F46~F60 | K~L | V |
| 紫铜 | 粗磨 | A | F16~F24 | K~L | V |
| | 精磨 | A | F24 | K~M | B |
| 硬青铜 | 粗磨 | A | F16~F24 | J~K | V |
| | 精磨 | A | F24 | K~M | V |
| 调质合金钢 | 粗磨 | A | F6 | K~L | V |
| | 精磨 | WA | F60~F80 | K~L | V |
| 淬火的碳钢及合金钢 | 粗磨 | WA | F46 | K~L | V |
| | 精磨 | PA | F60~F80 | K~L | V |
| 氮化钢 | 粗磨 | WA | F46 | K~L | V |
| | 精磨 | SA | F60~F80 | K~L | V |
| 高速钢 | 粗磨 | WA | F36 | K~L | V |
| | 精磨 | PA | F24~F36 | M~N | B |

续 表

| 结合剂 | 平行砂轮(1型) (mm) | | |
|---------------------|---------------|---------------------------------------|--------|
| | 外径 D | 宽度 H | 内径 d |
| V | 20 | 6、10、20、25、32 | 6 |
| | 25 | 6、13、16、25 | |
| | | 25、32、50 | 10 |
| | 30 | 6、10、25、32、40、63 | |
| | 35 | 6、8、10、25、32、40、63 | |
| | 40 | 6、16、32 | |
| | | 6、10 | 13 |
| | 45 | 8、10、25、32、40、50、63 | 16 |
| | | 32 | |
| | 50 | 6 | 13 |
| | | 6、8、10、16、20、25、32、40、50 | 16 |
| | 60 | 32、50 | |
| | | 8、10、13、20、32、50、63 | |
| | 70 | 6、10、13、16、25、32、50 | |
| 8、13、16、20、32、50、63 | | | |
| B | 80 | 20 | |
| V | 90 | 10、13、16、20、25、32、50、63 | 20 |
| B | | 25 | |
| V | 100 | 6、8、10、13、16、20、25、32、40、50、63、75、100 | |
| B | | 6、8、10、13、16、20、25、32、40、50 | |
| R | | 6、8、10、13、16、20、25 | |

续 表

| 结合剂 | 平行砂轮(1型) (mm) | | | |
|-----|---------------|-----------------------------|--------|-------|
| | 外径 D | 宽度 H | 内径 d | |
| V | 120 | 6、8、10、13、16、20、25 | 32 | |
| B | | 6、10、16、25、40 | | |
| V | | 6、8、10、13、16、20、25、32、50 | | |
| B | | 6、8、10、13、16、20、25、32、40、50 | | |
| R | | 6、8、10、13、40 | | |
| V | | 32、40、50 | 16 | |
| R | | 40、50 | | |
| 结合剂 | | 单面凹砂轮(5型) (mm) | | |
| | 外径 D | 长度/深度(H/H_1) | 内径 d | d_1 |
| V | 10 | 13/6 | 3 | 6 |
| | 13 | 10/5、16/8 | 4 | |
| | 16 | 13/6、20/10 | 6 | 10 |
| | 20 | 10/8、25/13 | | |
| | 25 | 20/10、25/13、32/16 | | |
| | 30 | 25/13、40/20 | 10 | 20 |
| | 35 | 25/13、32/16 | | |
| | 40 | 25/13、40/20 | 13 | 25 |
| | | 25/13、40/20、50/30 | | |
| | 50 | 25/13、40/20 | 16 | 32 |
| | | 32/16 | | |
| | 60 | 32/16 | 20 | 40 |
| | | 32/16、50/30 | | |
| | 70 | 40/20、50/30 | 20 | 40 |
| 80 | 32/16、50/30 | | | |

四、砂轮的安装

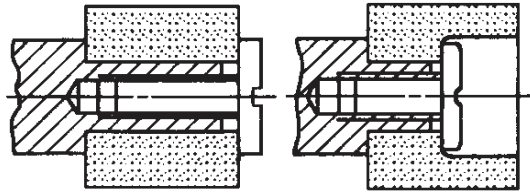
内圆砂轮一般都是安装在砂轮接长轴的一端,接长轴的另一端与磨头主轴联接。但也有些磨床内圆砂轮直接安装在内圆磨具的主轴上。

(一) 砂轮的紧固方法

砂轮与接长轴的紧固方法有螺纹紧固和黏结剂紧固两种方法。

1. 螺纹紧固

螺纹紧固法是常用的机械紧固砂轮的方法(图 2.2-10)。由于螺纹有较大的夹紧力,故可以使砂轮安装得比较牢固,并且可以保证砂轮有正确的定位。



用螺纹紧固砂轮时要注意以下几点:

(1) 接长轴与砂轮内孔配合要适当,最大间隙不要超过 0.2 mm。若间隙过大,可在轴上垫纸或铜皮。间隙过大容易使砂轮偏心,工作时容易松动,修整后会使得砂轮厚薄不均匀,造成砂轮不平衡,在高速运转时产生振动,影响工件加工质量。

图 2.2-10 螺纹紧固

(2) 砂轮的端面必须垫上黄纸片等软性衬垫,厚度以 0.2~0.3 mm 为宜。这样可以使砂轮受力均匀,紧固可靠。

(3) 接长轴与砂轮接触的承压端面要平整,而且不能太小,否则会减小摩擦面积,不能保证砂轮紧固的可靠性。当然也不能太大,大了会减少砂轮的有效使用直径。

(4) 紧固螺钉与砂轮接触的承压端面也要平整,并且与螺纹垂直,以使砂轮受力均匀。

(5) 紧固螺钉的螺旋方向要与砂轮工作的旋转方向相反,这样在磨削力的作用下,可以保证砂轮不会松动。

2. 黏结剂紧固

磨削小孔时($\phi 15$ mm 以下), 砂轮常用黏结剂紧固在接长轴上(图 2.2-11)。常用的黏结剂是磷酸溶液(H_3PO_4)和氧化铜(CuO)粉末调配而成的一种糊状混合物。调配时先将氧化铜粉末放在瓷质容器内, 再渐渐注入磷酸溶液, 同时要不断地搅拌。黏结时, 接长轴与砂轮内孔应有 $0.2\sim 0.3$ mm 的间隙。可

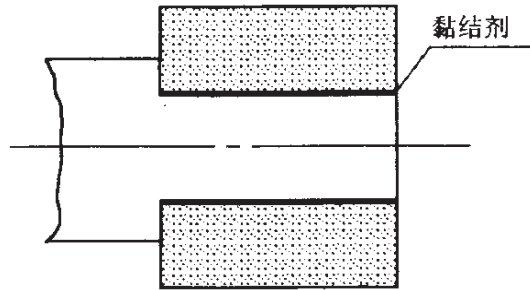


图 2.2-11 黏结剂紧固

可以将接长轴的外圆压成网纹状, 以增加黏结强度。黏结剂应均匀充满孔、轴的间隙, 待自然干燥或烘干, 冷却 5 分钟左右即可。

(二) 砂轮接长轴

为了扩大内圆磨具的适用范围, 砂轮不是直接装在内圆磨具的主轴上, 而是将砂轮紧固在接长轴上。在内圆磨床或万能外圆磨床上使用的接长轴, 可以按经常磨削孔的类型配制一套不同规格的接长轴。当要磨削不同孔径和长度的工件时, 只是更换不同尺寸的接长轴, 这样做既经济又方便。

接长轴的形式如图 2.2-12 所示。生产中多数使用图 2.2-12 a) 的形式, 外锥规格一般均是莫氏锥度或 $1:20$ 锥度。这种接长轴加工方便, 精度高。图 2.2-12 b) 所示是带内锥的接长轴。砂轮外径不大时使用这种接长轴。由于内锥加工困难, 使用不多。图 2.2-12 c) 所示是带圆柱阶台的接长轴, 这种

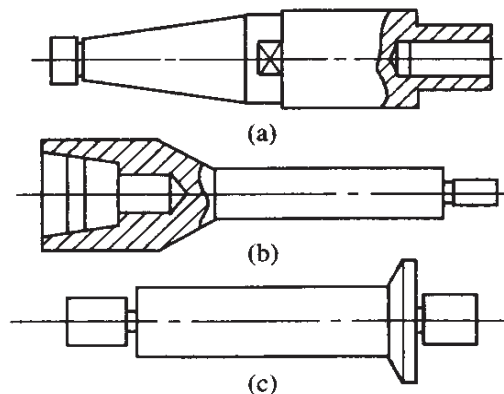


图 2.2-12 砂轮接长轴

接长轴不但加工方便,而且精度高,与内圆磨具主轴的接合强度高,装拆方便,磨削时砂轮不易产生振动和让刀,从而提高了孔的加工精度,降低了表面粗糙度。

从主轴上拆装接长轴时,要弄清楚接长轴的旋向,当内圆砂轮逆时针旋转时,接长轴螺纹是右旋。接长轴一般用 40Cr 制造,并经过淬硬。也可采用 W18Cr4V,刚性好。锥柄接长轴的锥面与磨头主轴的接触面要好,不应有拉毛痕迹,一般接触面积应大于 85%,各表面的同轴度要控制在 0.01 mm 内。

五、工件的安装

(一) 用三爪卡盘装夹工件

三爪卡盘能自动定心,但定心精度较低,工件夹紧后的径向圆跳动在 0.08 mm 左右。

1. 较短工件的装夹

(1) 工件端面与内孔对夹持外圆没有位置精度要求,或内孔磨好后再磨外圆。这种情形可以不用百分表找正,直接装夹。

(2) 工件端面与内孔对夹持外圆有位置精度要求,则要用百分表找正,可以用铜棒轻轻敲击工件右端面(图 2.2-13 a))。

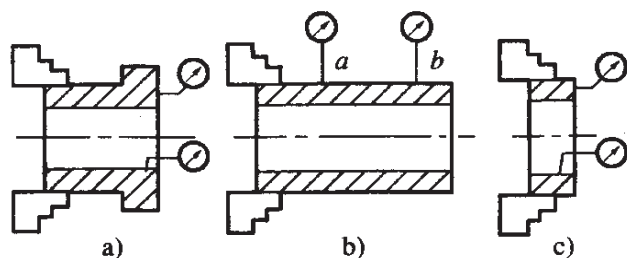


图 2.2-13 较短工件的装夹

2. 较长工件的装夹

工件较长时,装夹容易偏斜,其右端的径向圆跳动量往往也大,需要进行找正。左端夹持 10~15 mm 左右(图 2.2-13 b)),

先找正 a 点,用铜棒轻轻敲击最高点,待 a 点基本符合要求后,再复调 b 点(b 点的跳动量由卡盘本身的精度保证)。待再次夹紧后,复调几次方能加工。

3. 盘形工件的装夹

装盘形工件时,端面容易倾斜。工件夹持部位要短些,找正时用铜棒轻轻敲击(图 2.2-13 c))。如果端面为精基准,则端面的跳动要控制在 0.01 mm 左右,如果端面与内圆同时磨出,端面跳动控制在 0.03 mm 左右。待再次夹紧后,复调一次方能加工。

4. 使用三爪卡盘注意事项

(1) 一个卡爪对应一个径向卡槽,卡爪和卡槽有对应编号,装卡爪时要对号入座。

(2) 经常清理,使卡爪移动灵活。

(3) 卡爪的夹持部分要注意保护,找正工件时不能敲击卡爪。卡爪夹持部分损坏时,允许作适当修磨。

(二) 用四爪卡盘装夹工件

四爪卡盘不能自动定心,装夹工件时必须进行找正。四爪找正的方法如下:

将四卡爪移动适当位置,使相对两爪之间的距离稍大于工件外圆,尽量使各爪与卡盘中心的距离相等。把工件装上,先用相对的两爪夹紧,再夹紧另外一对卡爪,夹紧力适当小一些,便于找正。粗找正时可用划针盘,精找正时再用百分表。如图 2.2-14 a) 所示,如果 A 点偏离中心最大,先松开爪 3,夹紧爪 1,使工件向爪 3 方向移动。移动距离较大时需微量松开爪 2、4,然后调整爪 1、3,再夹紧爪 2、4。大多数情况是两个方向都偏离中心(图 2.2-14 b)),偏离最大点 A 在爪 1 和 4 之间,则应松开爪 2,夹紧爪 4,再松开爪 3,夹紧爪 1。注意各爪松开的距离都应该是微量的,特别在找正接近完成的时候。当工件的中心已基本找好,要继续提高找正精度时,只需将离旋转中心最远的一个爪夹紧些,接着

夹紧相对的卡爪,再夹紧另外一对卡爪。如此反复多次,工件的径向圆跳动已基本符合要求,四个卡爪也全部夹紧工件。

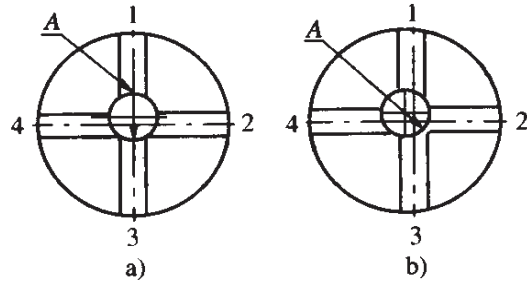


图 2.2 - 14 用四爪卡盘装夹工件

四爪卡盘的装夹,主要用于装夹尺寸较大的工件,或外形为正方形、矩形和其他形状不规则的工件。

(三) 用花盘装夹工件

花盘主要用于装夹外形比较复杂的工件,如铣刀、支架、连杆等。用花盘装夹工件要注意:

(1) 用几个压板压紧工件时,夹紧力要均匀,压板要放平整,夹紧力方向要垂直于工件的定位基准面。

(2) 用花盘装夹不对称的工件时,应在花盘上装上一平衡块,并调整其位置,使花盘保持平衡。

(四) 用卡盘和中心架装夹工件

磨削较长的套类零件内圆时,可以采用卡盘和中心架组合安装的方法(图 2.2 - 15),以提高工件的装夹稳定性。

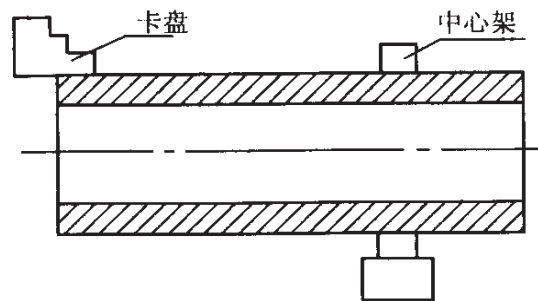


图 2.2 - 15 较长工件的装夹

六、磨削用量

(一) 砂轮速度选择

砂轮速度选择见表 2.2-5。

表 2.2-5 内圆磨削砂轮速度选择

| | | | | | | | | | | |
|----------|----|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|
| 砂轮直径(mm) | <8 | 9~ 12 | 13~ 18 | 19~ 22 | 23~ 25 | 26~ 30 | 31~ 33 | 34~ 41 | 42~ 49 | >50 |
| 速度(m/s) | 10 | 14 | 18 | 20 | 21 | 23 | 24 | 26 | 27 | 30 |

(二) 粗磨内圆磨削用量

粗磨内圆磨削用量见表 2.2-6 和表 2.2-7。

表 2.2-6 粗磨内圆磨削用量

| 1. 工件速度 | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 工件磨削表面直径 d_w (mm) | 10 | 20 | 30 | 50 | 80 | 120 | 200 | 300 | 400 |
| 工件速度 v_w (m/min) | 10~ 20 | 10~ 20 | 12~ 24 | 15~ 30 | 18~ 36 | 20~ 40 | 23~ 46 | 28~ 50 | 35~ 70 |
| 2. 纵向进给量 $f_a = (0.5 \sim 0.8)B$ 式中 B ——砂轮宽度(mm) | | | | | | | | | |
| 3. 背吃刀量 a_p | | | | | | | | | |
| 工件磨削 表面直径 d_w (mm) | 工件速度 v_w (m/min) | 工件轴向进给量 f_a (以砂轮宽度计) | | | | | | | |
| | | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | | | | |
| | | 工作台一次往复行程背吃刀量 a_p (mm/d · st) | | | | | | | |
| 20 | 10 | 0.008 0 | 0.007 0 | 0.005 8 | 0.005 0 | | | | |
| | 15 | 0.005 6 | 0.004 4 | 0.003 8 | 0.003 3 | | | | |
| | 20 | 0.004 0 | 0.003 3 | 0.002 8 | 0.002 5 | | | | |

续 表

| 3. 背吃刀量 a_p | | | | | |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------|---------|---------|
| 工件磨削 表面直径 d_w (mm) | 工件速度 v_w (m/min) | 工件轴向进给量 f_a (以砂轮宽度计) | | | |
| | | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 |
| | | 工作台一次往复行程背吃刀量 a_p (mm/d · st) | | | |
| 25 | 10 | 0.010 0 | 0.008 3 | 0.007 2 | 0.006 3 |
| | 15 | 0.006 6 | 0.005 5 | 0.004 7 | 0.004 1 |
| | 20 | 0.005 0 | 0.004 2 | 0.003 5 | 0.003 1 |
| 30 | 11 | 0.011 0 | 0.009 1 | 0.007 8 | 0.006 8 |
| | 16 | 0.007 5 | 0.006 2 | 0.005 3 | 0.004 8 |
| | 20 | 0.006 0 | 0.005 0 | 0.004 3 | 0.003 8 |
| 35 | 12 | 0.011 6 | 0.001 0 | 0.008 3 | 0.007 3 |
| | 18 | 0.007 8 | 0.006 5 | 0.005 6 | 0.004 9 |
| | 20 | 0.005 9 | 0.005 0 | 0.004 2 | 0.003 7 |
| 40 | 13 | 0.012 3 | 0.010 3 | 0.000 8 | 0.007 7 |
| | 20 | 0.008 0 | 0.006 7 | 0.005 7 | 0.005 0 |
| | 26 | 0.006 2 | 0.005 1 | 0.004 4 | 0.003 8 |
| 50 | 14 | 0.014 3 | 0.011 9 | 0.010 2 | 0.009 0 |
| | 21 | 0.009 6 | 0.007 9 | 0.006 8 | 0.006 0 |
| | 29 | 0.007 0 | 0.005 7 | 0.004 9 | 0.004 3 |
| 60 | 16 | 0.015 0 | 0.012 5 | 0.010 7 | 0.009 4 |
| | 24 | 0.010 0 | 0.008 3 | 0.007 1 | 0.006 3 |
| | 32 | 0.007 5 | 0.006 3 | 0.005 4 | 0.004 7 |

续表

| 3. 背吃刀量 a_p | | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------------------|-----|------------------------|---------|--------------------------------------|-----------|------|------|------|
| 工件磨削 表面直径 d_w (mm) | 工件速度 v_w (m/min) | | 工件轴向进给量 f_a (以砂轮宽度计) | | | | | | |
| | | | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | | | |
| | 工作台一次往复行程背吃刀量 d_w (mm/d · st) | | | | | | | | |
| 80 | 17 | | 0.019 0 | 0.015 8 | 0.013 4 | 0.011 7 | | | |
| | 25 | | 0.012 8 | 0.010 7 | 0.009 2 | 0.008 0 | | | |
| | 33 | | 0.009 7 | 0.008 1 | 0.007 0 | 0.006 1 | | | |
| 120 | 20 | | 0.024 0 | 0.020 0 | 0.017 2 | 0.015 0 | | | |
| | 30 | | 0.016 0 | 0.013 3 | 0.114 0 | 0.010 0 | | | |
| | 40 | | 0.012 0 | 0.010 0 | 0.008 6 | 0.007 5 | | | |
| 背吃刀量 a_p 的修正系数 | | | | | | | | | |
| k_1 (与砂轮耐用度有关) | | | | | k_2 (与砂轮直径 d_s 及工件孔径 d_w 之比有关) | | | | |
| T(s) | ≤96 | 150 | 240 | 360 | 600 | d_s/d_w | 0.4 | ≤0.7 | >0.7 |
| k_1 | 1.25 | 1.0 | 0.8 | 0.62 | 0.5 | k_2 | 0.63 | 0.8 | 1.0 |
| k_3 (与砂轮速度及工件材料有关) | | | | | | | | | |
| 工件材料 | v_s (m/s) | | | | | | | | |
| | 18~22.5 | | | ≤28 | | | ≤35 | | |
| 耐热钢 | 0.68 | | | 0.76 | | | 0.85 | | |
| 淬火钢 | 0.76 | | | 0.85 | | | 0.95 | | |
| 非淬火钢 | 0.80 | | | 0.90 | | | 1.00 | | |
| 铸 铁 | 0.83 | | | 0.94 | | | 1.05 | | |

注：工作台单行程背吃刀量 a_p 应将表列数值除以 2。

表 2.2-7 精磨内圆磨削用量

| 1. 工件速度 v_w (m/min) | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|----------------------|----------------------------|-------------|--------------------------|---------|---------|---------|---------|
| 工件磨削 表面直径 d_w (mm) | 加工材料 | | 工件磨削 表面直径 d_w (mm) | 加工材料 | | | | | |
| | 非淬火钢 及铸铁 | 淬火钢及 耐热钢 | | 非淬火钢 及铸铁 | 淬火钢及 耐热钢 | | | | |
| 10 | 10~16 | 10~16 | 80 | 30~60 | 40~60 | | | | |
| 15 | 12~20 | 12~20 | 120 | 35~70 | 45~70 | | | | |
| 20 | 16~32 | 20~32 | 200 | 40~80 | 50~80 | | | | |
| 30 | 20~40 | 25~40 | 300 | 45~90 | 55~90 | | | | |
| 50 | 25~50 | 30~50 | 400 | 55~110 | 65~110 | | | | |
| 2. 纵向进给量 f_a | | | | | | | | | |
| 表面粗糙度 R_a 1.6~ R_a 0.8 μm | | | | | $f_a = (0.5 \sim 0.9)B$ | | | | |
| 表面粗糙度 R_a 0.4 μm | | | | | $f_a = (0.25 \sim 0.5)B$ | | | | |
| 式中 B ——砂轮宽度 (mm) | | | | | | | | | |
| 3. 背吃刀量 a_p | | | | | | | | | |
| 工件磨削 表面直径 d_w (mm) | 工件速度 v_w (mm/min) | 工件轴向进给量 f_a (mm/r) | | | | | | | |
| | | 10 | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 |
| 工作台一次往复行程背吃刀量 a_p (mm/d·st) | | | | | | | | | |
| 10 | 10 | 0.003 9 | 0.003 1 | 0.002 4 | 0.001 9 | 0.001 5 | 0.001 2 | 0.001 0 | 0.000 8 |
| | 13 | 0.003 0 | 0.002 4 | 0.001 9 | 0.001 5 | 0.001 2 | 0.000 9 | 0.000 8 | 0.000 6 |
| | 16 | 0.002 4 | 0.001 9 | 0.001 5 | 0.001 2 | 0.001 0 | 0.000 8 | 0.000 6 | 0.000 5 |
| 12 | 11 | 0.004 7 | 0.003 7 | 0.002 9 | 0.002 3 | 0.001 9 | 0.001 5 | 0.001 2 | 0.000 9 |
| | 14 | 0.003 7 | 0.002 9 | 0.002 3 | 0.001 8 | 0.001 5 | 0.001 1 | 0.000 9 | 0.000 7 |
| | 18 | 0.002 9 | 0.002 3 | 0.001 8 | 0.001 4 | 0.001 1 | 0.000 9 | 0.000 7 | 0.000 6 |

续 表

| 3. 背吃刀量 a_p | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 工件磨削 表面直径 d_w (mm) | 工件速度 v_w (mm/min) | 工件轴向进给量 f_a (mm/r) | | | | | | | |
| | | 10 | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 |
| | | 工作台一次往复行程背吃刀量 a_p (mm/d · st) | | | | | | | |
| 16 | 13 | 0.006 2 | 0.004 9 | 0.003 9 | 0.003 1 | 0.002 5 | 0.002 0 | 0.001 6 | 0.001 2 |
| | 19 | 0.004 3 | 0.003 4 | 0.002 7 | 0.002 1 | 0.001 7 | 0.001 3 | 0.001 0 | 0.000 9 |
| | 26 | 0.003 1 | 0.002 5 | 0.002 0 | 0.001 6 | 0.001 2 | 0.001 0 | 0.000 8 | 0.000 6 |
| 20 | 16 | 0.006 2 | 0.004 9 | 0.003 8 | 0.003 1 | 0.002 5 | 0.001 9 | 0.001 5 | 0.001 2 |
| | 24 | 0.004 1 | 0.003 3 | 0.002 6 | 0.002 0 | 0.001 7 | 0.001 3 | 0.001 0 | 0.000 8 |
| | 32 | 0.003 1 | 0.002 5 | 0.001 9 | 0.001 6 | 0.001 2 | 0.001 0 | 0.000 8 | 0.000 6 |
| 25 | 18 | 0.006 7 | 0.005 4 | 0.004 2 | 0.003 4 | 0.002 7 | 0.002 1 | 0.001 7 | 0.001 4 |
| | 27 | 0.004 5 | 0.003 6 | 0.002 8 | 0.002 2 | 0.001 8 | 0.001 4 | 0.001 1 | 0.000 9 |
| | 36 | 0.003 4 | 0.002 7 | 0.002 1 | 0.001 7 | 0.001 3 | 0.001 0 | 0.000 8 | 0.000 7 |
| 30 | 20 | 0.007 1 | 0.005 8 | 0.004 4 | 0.003 5 | 0.002 8 | 0.002 2 | 0.001 8 | 0.001 4 |
| | 30 | 0.004 7 | 0.003 8 | 0.003 0 | 0.002 4 | 0.001 9 | 0.001 5 | 0.001 2 | 0.001 0 |
| | 40 | 0.003 6 | 0.002 8 | 0.002 2 | 0.001 8 | 0.001 4 | 0.001 1 | 0.000 9 | 0.000 7 |
| 35 | 22 | 0.007 5 | 0.006 0 | 0.004 7 | 0.003 7 | 0.003 0 | 0.002 3 | 0.001 9 | 0.001 5 |
| | 33 | 0.005 0 | 0.004 0 | 0.003 1 | 0.002 5 | 0.002 0 | 0.001 6 | 0.001 2 | 0.001 0 |
| | 45 | 0.003 7 | 0.002 9 | 0.002 3 | 0.001 8 | 0.001 5 | 0.001 1 | 0.000 9 | 0.000 7 |
| 40 | 23 | 0.008 1 | 0.006 5 | 0.005 1 | 0.004 1 | 0.003 2 | 0.002 5 | 0.002 0 | 0.001 6 |
| | 25 | 0.005 3 | 0.004 2 | 0.003 3 | 0.002 7 | 0.002 1 | 0.001 7 | 0.001 3 | 0.001 0 |
| | 47 | 0.003 9 | 0.003 2 | 0.002 5 | 0.002 0 | 0.001 6 | 0.001 2 | 0.001 0 | 0.000 8 |
| 50 | 25 | 0.009 0 | 0.007 2 | 0.005 7 | 0.004 5 | 0.003 6 | 0.002 8 | 0.002 3 | 0.001 8 |
| | 37 | 0.006 1 | 0.004 9 | 0.003 8 | 0.003 0 | 0.002 4 | 0.001 9 | 0.001 5 | 0.001 2 |
| | 50 | 0.004 5 | 0.003 6 | 0.002 8 | 0.002 3 | 0.001 8 | 0.001 4 | 0.001 1 | 0.000 9 |

续 表

| 3. 背吃刀量 a_p | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------|---------|----------------------|---------|---------|----------------------|-------------------|------------|------------|------------|----------|
| 工件磨削 表面直径 d_w (mm) | 工件速度 v_w (mm/min) | 工件轴向进给量 f_a (mm/r) | | | | | | | | | | | |
| | | 10 | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | | | | |
| | | 工作台一次往复行程背吃刀量 a_p (mm/d · st) | | | | | | | | | | | |
| 60 | 27 | 0.010 0 | 0.008 0 | 0.006 2 | 0.004 9 | 0.003 9 | 0.003 1 | 0.002 5 | 0.002 0 | | | | |
| | 41 | 0.006 5 | 0.005 2 | 0.004 1 | 0.003 2 | 0.002 6 | 0.002 0 | 0.001 6 | 0.001 3 | | | | |
| | 55 | 0.004 8 | 0.003 9 | 0.003 0 | 0.002 4 | 0.001 9 | 0.001 5 | 0.001 2 | 0.001 0 | | | | |
| 80 | 30 | 0.011 2 | 0.009 0 | 0.007 0 | 0.005 5 | 0.004 5 | 0.003 5 | 0.002 8 | 0.002 2 | | | | |
| | 45 | 0.007 7 | 0.006 1 | 0.004 8 | 0.003 8 | 0.003 0 | 0.002 4 | 0.001 9 | 0.001 5 | | | | |
| | 60 | 0.005 8 | 0.004 6 | 0.003 6 | 0.002 9 | 0.002 3 | 0.001 8 | 0.001 4 | 0.001 1 | | | | |
| 120 | 35 | 0.014 0 | 0.011 0 | 0.009 0 | 0.007 1 | 0.005 8 | 0.004 5 | 0.003 5 | 0.002 8 | | | | |
| | 52 | 0.009 5 | 0.007 5 | 0.006 0 | 0.004 8 | 0.003 8 | 0.003 0 | 0.002 5 | 0.001 9 | | | | |
| | 70 | 0.007 0 | 0.005 8 | 0.004 5 | 0.003 5 | 0.002 8 | 0.002 0 | 0.001 8 | 0.001 4 | | | | |
| 背吃刀量 a_p 的修正系数 | | | | | | | | | | | | | |
| k_1 (与加工精度及直径余量有关) | | | | | k_2 (与加工材料及表面形状有关) | | | k_3 (与磨削长度对直径之比有关) | | | | | |
| 精度等级 | 直径余量 (mm) | | | | | 工件材料 | 表面 | | $\frac{l_w}{d_w}$ | ≤ 1.2 | ≤ 1.6 | ≤ 2.5 | ≤ 4 |
| | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.8 | | 无圆角 | 带圆角 | | | | | |
| IT6 | 0.5 | 0.63 | 0.8 | 1.0 | 1.25 | 耐热钢 | 0.7 | 0.56 | k_3 | 1.0 | 0.87 | 0.76 | 0.67 |
| IT7 | 0.63 | 0.8 | 1.0 | 1.25 | 1.6 | 淬火热钢 | 1.0 | 0.75 | | | | | |
| IT8 | 0.8 | 1.0 | 1.25 | 1.6 | 2.0 | 非淬火热钢 | 1.2 | 0.9 | | | | | |
| IT9 | 1.0 | 1.26 | 1.6 | 2.0 | 2.5 | 铸铁 | 1.6 | 1.2 | | | | | |

注：背吃刀量 a_p 不应超过粗磨的 a_p 。

七、内孔的测量

(一) 用内径百分表测量

用内径百分表测量孔径时,要与千分尺或块规组的标准尺寸比较。在批量生产中,也可磨准一只工件的内孔作为校对百分表使用,既经济又方便省时。

(二) 用三爪内径千分尺测量

三爪内径千分尺具有定中心准确、测量力恒定、使用方便等优点,故使用广泛。

(三) 用内径千分尺测量

内径千分尺用于测量 75 mm 以上的内径。

(四) 用内测千分尺测量

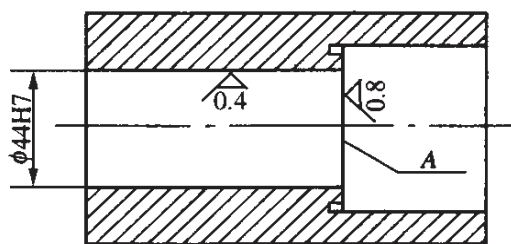
用于测量小孔。

(五) 用塞规测量

在大批量生产中,常用塞规检测工件内圆尺寸。通端能顺利通过孔的全长,而止端不能完全进入孔内。

八、内圆磨削实例

下面以衬套内孔带阶台面磨削为例,说明内圆磨削磨削用量的选择和磨削工艺制订。磨削用量见表 2.2-8,磨削工艺见表 2.2-9。



材料:20Cr
热处理:渗碳淬火HRC58~62

图 2.2-16 衬套磨削

表 2.2-8 磨削用量

| 项 目 | 用 量 |
|---------------|-------------|
| 砂轮速度(m/s) | 15~18 |
| 工件速度(m/min) | 17 |
| 轴向进给速度(m/min) | 0.4 |
| 背吃刀量(mm/st) | 0.003~0.005 |

表 2.2-9 磨削工艺

| 序 号 | 工 序 名 称 | 工 艺 要 求 |
|-----|---------|-------------------------------|
| 10 | 粗 磨 | 粗磨 $\phi 44H7$ |
| 20 | 粗、精磨 | 磨端面 A, $R_a 0.8$ |
| 30 | 精 磨 | 精磨 $\phi 44H7$ 至尺寸, $R_a 0.4$ |

九、内圆磨削常见的缺陷与消除措施

内圆磨削常见的缺陷与消除措施见表 2.2-10。

表 2.2-10 内圆磨削常见的缺陷与消除措施

| 缺陷名称 | 产生原因 | 消除措施 |
|-------------|--|---|
| 表面有振痕、粗糙、烧伤 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 砂轮直径小 2. 头架轴承松动, 砂轮心轴弯曲, 砂轮修整不圆等原因产生强烈振动, 使工件表面产生波纹 3. 砂轮堵塞 4. 散热不良 5. 砂轮粒度过细、硬度高或修整不及时 6. 进给量大, 磨削热增加 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 砂轮直径尽量选得大些 2. 高速轴瓦间隙, 修整砂轮 3. 选取粒度较粗、组织较疏松、硬度较软的砂轮, 使其具有“自觉性” 4. 供给充分的磨削液 5. 选取较粗、较软的砂轮, 并及时修理 6. 减小进给量 |

续 表

| 缺陷名称 | 产生原因 | 消除措施 |
|--------------|--|---|
| 喇叭口 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 轴向进给不均匀 2. 砂轮有锥度 3. 接长轴细长刚性差 4. 砂轮超过孔口长度太长 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 适当控制停留时间,调整砂轮杆伸出长度不超过砂轮宽度的一半 2. 正确修整砂轮 3. 根据工件内孔大小及长度合理选择接长轴的粗细,选用刚性好的材料制造接长轴 4. 缩小超越长度 |
| 锥形孔 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 头架调整角度不正确 2. 轴向进给不均匀,径向进给过大 3. 砂轮在两端的越程不等 4. 砂轮磨损不均匀 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 重新调整角度 2. 减小进给量 3. 调整使越程相等 4. 及时修整砂轮 |
| 圆度误差及内外圆同轴度差 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 工件装夹不牢 2. 薄壁工件夹得过紧而产生弹性变形 3. 调整不准确,内外表面不同轴 4. 卡盘松动,主轴与轴承间间隙过大 5. 接长轴刚性差 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 固紧工件 2. 夹紧力要适当 3. 细心找正 4. 调整松紧量 5. 重新设计接长轴 |
| 端面与孔轴线不垂直 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 找正不正确 2. 进给量太大 3. 头架偏转角度 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 细心找正 2. 减小进给量 3. 调整头架位置 |
| 螺旋痕迹 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 轴向进给量太大 2. 砂轮钝化 3. 接长轴弯曲 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 减小轴向进给量 2. 及时修整砂轮 3. 增强接长轴刚性 |

第三节 圆锥面磨削

日常生活中,常会接触到很多圆锥表面,如麻花钻、机用铰刀等的莫氏锥柄、铣床上的7:24锥孔以及铣刀柄、磨床上的 60° 顶尖、砂轮主轴两端的圆锥体、车床尾架套筒的锥孔等。机械结构中,零件常用圆锥面相配合,这种配合的零件能自动对中心,配合紧密;装拆方便,而且经多次装拆后仍能保持配合性质不变,当圆锥角较小时(如铣刀柄),可传递很大扭矩。所以圆锥配合在机械制造中应用很广,特别是需要经常拆装而又要求保持精确定心的场合,例如机床主轴和刀具、夹具的配合,一般都采用圆锥配合。

一、圆锥尺寸计算和标准

(一) 圆锥各部分名称及计算

(1) 圆锥与轴线成一定角度并与轴线相交的一条直线段 AB (素线)围绕该轴线 AO 旋转形成的表面,称为圆锥体(图2.3-1 a))。斜

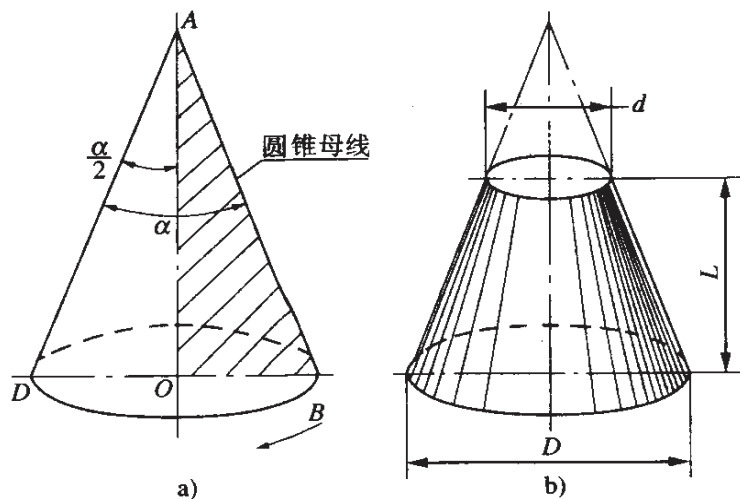


图 2.3-1 圆锥(台)的形式

边 AB 称为圆锥的素线(又叫母线),如果截去尖端即成为圆台(或截锥体)(图 2.3-1 b))。

(2) 圆锥的各部分名称见图 2.3-2。

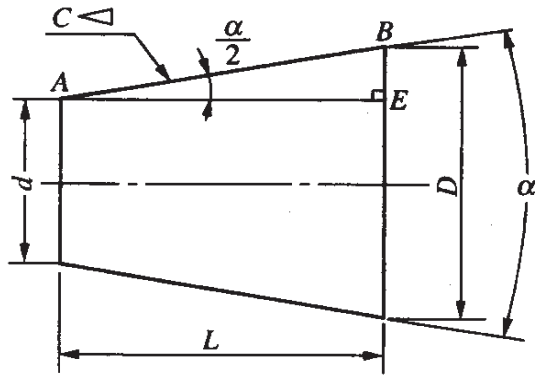


图 2.3-2 圆锥要素

D —圆锥大端直径(mm) d —圆锥小端直径(mm) L —圆锥长度(mm)
 α —圆锥角($^{\circ}$) $\alpha/2$ —圆锥半角($^{\circ}$) C —锥度

圆锥大、小端直径之差与长度之比称为锥度,即:

$$C = (D - d) / L \quad (1)$$

斜度: $M = \frac{C}{2}$

(3) 圆锥四个基本参数之间具有确定的关系,在图 2.3-2 的 $\triangle ABE$ 中, $BE = (D - d) / 2$, $AE = L$,则:

$$\tan(\alpha/2) = BE / AE = (D - d) / 2L \quad (2)$$

显然, $C = 2 \tan(\alpha/2)$ (3)

其他三个参数与 α 的关系:

$$D = d + 2L \tan(\alpha/2) \quad (4)$$

$$d = D - 2L \tan(\alpha/2) \quad (5)$$

图纸上一般只标注其中的任意三个,如 D 、 d 、 L ,但在磨圆锥

时,需要计算出圆锥半角 $\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ 。其他参数值可以利用三角函数关系求出。

例如:一圆锥体, $C=1:5$, $D=62$, $L=50$,求 α 及 d 。

由式(3)得:

$$\begin{aligned}\tan(\alpha/2) &= C/2 = 1:10 = 0.1 \\ \alpha &= 5^{\circ}30'\end{aligned}$$

由式(5)得:

$$d = D - 2L \tan(\alpha/2) = 62 - 2 \times 50 \times 0.1 = 52$$

又如:已知圆锥体 $D=22$, $d=20$, $L=32$,求 α 。

由式(2)得:

$$\begin{aligned}\tan(\alpha/2) &= (D-d)/2L = (22-20)/(2 \times 32) = 0.03125 \\ \alpha &= 3^{\circ}34'\end{aligned}$$

(二) 常用标准圆锥

生产上为了便于互换和使用方便,达到降低成本,各种机器零件和工具上的圆锥一般都采用规定的标准圆锥或标准锥度。换句话说,圆锥的各部分尺寸按照规定的几个号码来制造,使用时只要号码相同,就能紧密配合,实现互换。标准圆锥已经实现国际通用。常用的标准圆锥有莫氏圆锥和米制圆锥两种。

1. 莫氏圆锥

磨床、钻床等的主轴孔、麻花钻刀柄、铰刀柄等,结构上都采用了莫氏圆锥,莫氏圆锥在机器制造业中应用得最广泛。莫氏圆锥有0号、1号、2号、3号、4号、5号和6号共7个号码,最小的是0号,最大的是6号。号数不同,圆锥尺寸和锥度也不同。例如3号莫氏圆锥,锥度 $1:19.922=0.050196$,圆锥角 $2^{\circ}52'32''$, $\alpha/2=1^{\circ}26'16''$ 。

2. 米制圆锥

米制圆锥分 8 个号码, 即 4 号、6 号、80 号、100 号、120 号、140 号、160 号、200 号。它的号码就是圆锥大端的直径, 锥度固定不变, 即 $C=1:20$, 圆锥半角 $\alpha/2=1^{\circ}25'56''$ 。例如 120 号米制圆锥其大端直径为 120 mm, 锥度为 1:20。米制圆锥的优点是锥度不变, 使用方便。

表 2.3-1 是不带扁尾的内外圆锥(图 2.3-3)和带扁尾的内外圆锥(图 2.3-4)的尺寸和公差(GB1443—85)。

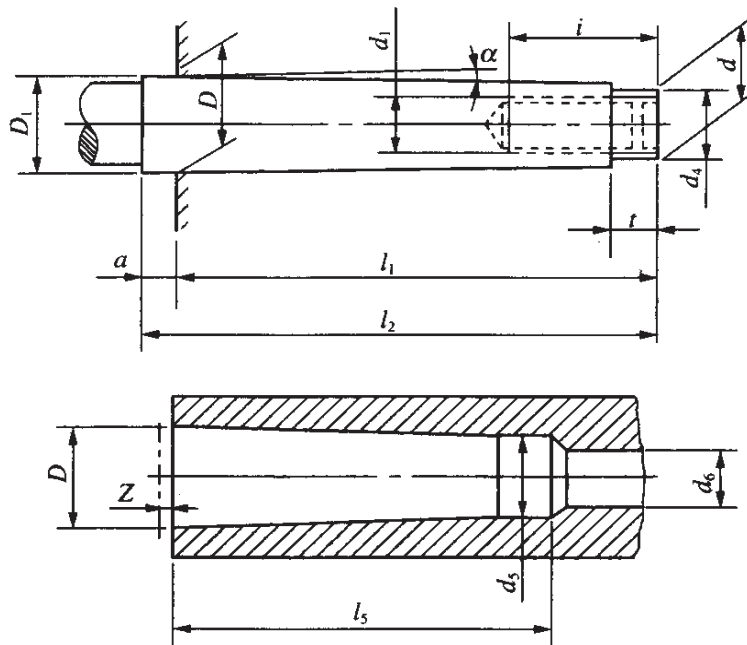


图 2.3-3 不带扁尾的内、外圆锥

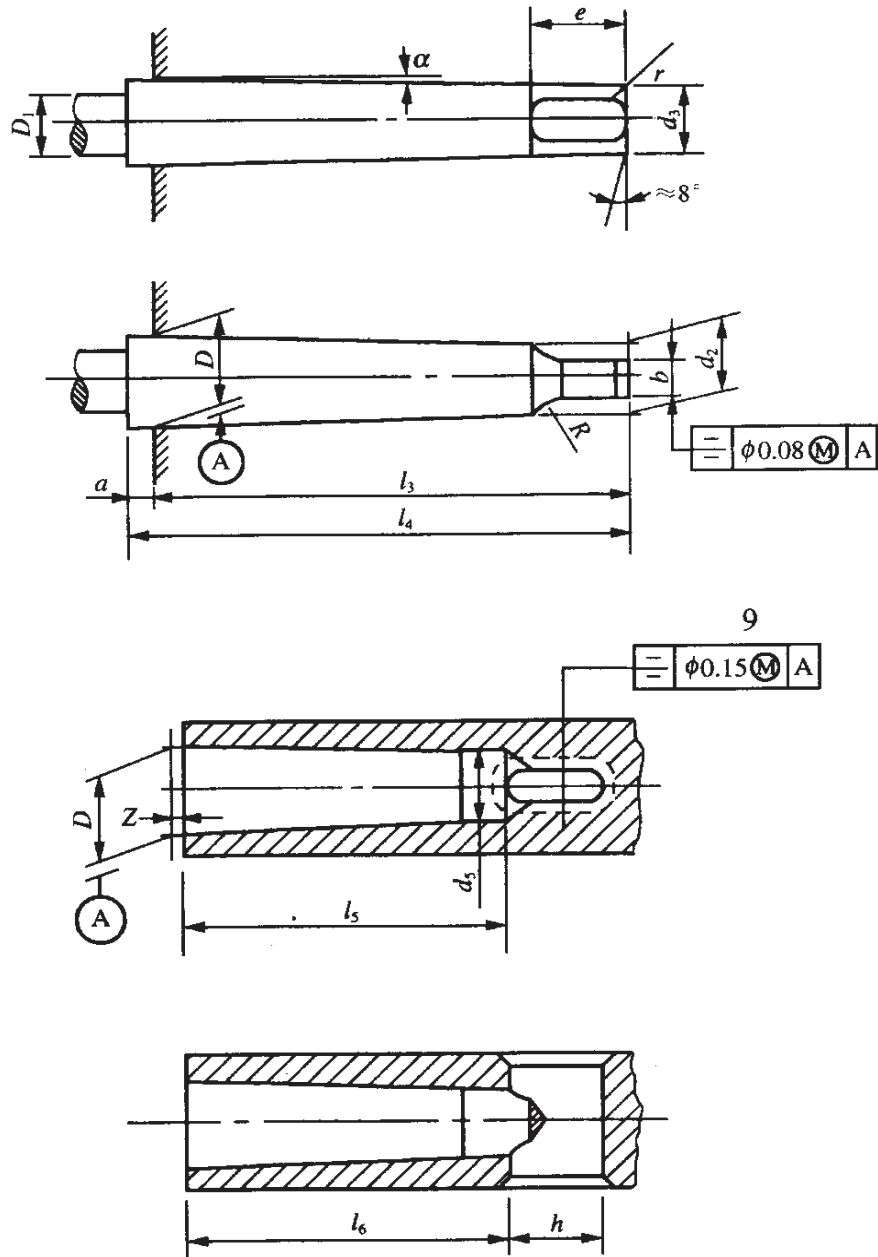


图 2.3-4 带扁尾的内、外圆锥

表 2.3-1 工具柄自锁圆

| 名称 | | 锥度 | 圆锥角 | | 外圆锥 | | | | | | | | | | | |
|------|-----|----------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|------------|------------|------------|------------|-------|-----|
| | | | 2α | | D | a | D_1 | d | d_1 | d_2 | d_{3max} | d_{4max} | l_{1max} | l_{2max} | | |
| | | | 锥角 α | 极限偏差 | | 基本尺寸 | 基本尺寸 | 基本尺寸 | 基本尺寸 | 基本尺寸 | | | | | 基本尺寸 | |
| | | | | 外圆锥 | 内圆锥 | | | | | | | | | | | |
| 米制圆锥 | 4 | 1:20=0.05 | 2°51'51" | +1'43" | 0 | 4 | 2 | 4.1 | 2.9 | — | — | — | 25 | 23 | 25 | |
| | 6 | | | -1'22" | 0 | 6 | 3 | 6.2 | 4.4 | — | — | — | 4 | 32 | 35 | |
| 莫氏圆锥 | 0 | 1:19.212 =0.05205 | 2°58'54" | +1'05" | 0 | 9.045 | 3.2 | 9.212 | 6.4 | — | 6.115 | 6 | 6 | 50 | 53 | |
| | 1 | 1:20.047 =0.04988 | 2°51'26" | 0 | -1'05" | 12.065 | 3.5 | 12.240 | 9.4 | M6 | 8.972 | 8.7 | 9 | 53.5 | 57 | |
| | 2 | 1:20.020 =0.04995 | 2°51'41" | +52" | 0 | -52" | 17.780 | 4 | 17.980 | 14.6 | M10 | 14.059 | 13.6 | 14 | 64 | 69 |
| | 3 | 1:19.922 =0.05020 | 2°52'32" | | | | 23.825 | 4.5 | 24.051 | 19.8 | M12 | 19.131 | 18.6 | 19 | 81 | 86 |
| | 4 | 1:19.254 =0.05194 | 2°58'31" | | | | 31.267 | 5.3 | 31.542 | 25.9 | M16 | 25.154 | 24.6 | 25 | 102.5 | 109 |
| | 5 | 1:19.002 =0.05263 | 3°0'53" | +41" | 0 | -41" | 44.399 | 6.3 | 44.731 | 37.6 | M20 | 36.574 | 35.7 | 35.7 | 129.5 | 136 |
| | 6 | 1:19.180 =0.05214 | 2°59'12" | +33" | 0 | -33" | 63.348 | 7.9 | 63.760 | 53.9 | M24 | 52.419 | 51.3 | 51 | 182 | 190 |
| 公制圆锥 | 80 | 1:20=0.05 | 2°51'51" | | | | 80 | 8 | 80.4 | 70.2 | M30 | 69 | 67 | 67 | 196 | 204 |
| | 100 | | | | | | 100 | 10 | 100.5 | 88.4 | M36 | 87 | 85 | 85 | 232 | 242 |
| | 120 | | | | | | 120 | 12 | 120.6 | 106.6 | M36 | 105 | 102.3 | 102 | 268 | 280 |
| | 160 | | | | | | 160 | 16 | 160.8 | 143 | M48 | 141 | 139 | 138 | 340 | 356 |
| | 200 | | | 200 | 20 | 201.0 | 173.4 | M48 | 177 | 175 | 174 | 412 | 432 | | | |

锥的尺寸和公差

| 外圆锥 | | | | | | | | | 内圆锥 | | | | | | | | |
|------------|------------|------|------------|-----------|-----------|-----------|------|------|-----------|-------------|-------------|-------|------------|----------------|----------------|-----|-----|
| l_{3max} | l_{4max} | b | | e_{max} | i_{min} | R_{max} | r | | l_{min} | d_5 | | d_5 | l_{5min} | g | | h | z |
| | | 基本尺寸 | 极限偏差 | | | | 基本尺寸 | 极限偏差 | | 基本尺寸 | 极限偏差 | | | 基本尺寸 | 极限偏差 | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 3 | +0.060 0 | — | 25 | 2.2 | +0.41 +0.27 | 8 | 0.5 |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 3 | 4.6 | +0.075 0 | — | 34 | 3.2 | +0.45 +0.27 | 12 | 0.5 |
| 56.5 | 59.5 | 3.9 | 0 | 10.5 | — | 4 | 1 | 4 | 6.7 | +0.090 0 | — | 52 | 3.9 | 15 | | 1 | |
| 62 | 65.5 | 5.2 | -0.18 | 13.5 | 16 | 5 | 1.2 | 5 | 9.7 | | 7 | 56 | 5.2 | 19 | 1 | | |
| 75 | 78.5 | 6.3 | 0 | 16 | 24 | 6 | 1.6 | 5 | 14.9 | +0.110 0 | 11.5 | 67 | 6.3 | +0.50 +0.27 | 22 | 1 | |
| 94 | 99 | 7.9 | -0.22 | 20 | 28 | 7 | 2 | 7 | 20.2 | 0.130 0 | 14 | 84 | 7.9 | | 27 | 1 | |
| 117.5 | 124 | 11.9 | 0 | 24 | 32 | 8 | 2.5 | 9 | 26.5 | | +0.160 0 | 18 | 107 | 11.9 | +0.50 +0.28 | 32 | 1.5 |
| 149.5 | 156 | 15.9 | -0.27 | 29 | 40 | 10 | 3 | 10 | 38.2 | 23 | | 135 | 15.9 | 38 | | 1.5 | |
| 210 | 218 | 19 | 0 | 40 | 50 | 13 | 4 | 16 | 54.6 | +0.190 0 | 27 | 188 | 19 | +0.56 +0.29 | 47 | 2 | |
| 220 | 228 | 26 | -0.33 | 48 | 65 | 24 | 5 | 24 | 71.5 | | 33 | 202 | 26 | | 52 | 2 | |
| 260 | 270 | 32 | 0 -0.39 | 58 | 80 | 30 | 5 | 30 | 90 | +0.220 0 | 39 | 240 | 32 | +0.63 +0.30 | 60 | 2 | |
| 300 | 312 | 38 | | 68 | 80 | 36 | 6 | 36 | 108.5 | | 39 | 276 | 38 | | 70 | 2 | |
| 380 | 396 | 50 | 0 -0.46 | 88 | 100 | 48 | 8 | 48 | 145.5 | +0.250 0 | 52 | 350 | 50 | +0.71 +0.32 | 90 | 3 | |
| 460 | 480 | 62 | | 108 | 100 | 60 | 10 | 60 | 182.5 | +0.290 0 | 52 | 424 | 62 | +0.80 +0.34 | 110 | 3 | |

3. 标准锥度和专用锥度及应用

表 2.3-2 标准锥度和专用锥度应用

| 分类 | 基本值 | 圆锥角 α | 锥度 C | 应用 举 例 |
|------------------|---------|--------------|---|---|
| 标 准 锥 度 | 1 : 200 | 0°17'11" | — | 承受振动和冲击交变载荷的连接零件 |
| | 1 : 100 | 0°34'23" | — | 承受振动和交变载荷的连接零件 |
| | 1 : 50 | 1°8'45" | — | 圆锥销、定位销、圆锥销孔的铰刀、镶条 |
| | 1 : 30 | 1°54'35" | — | 锥形主轴颈、铰刀及扩孔钻的锥度 |
| | 1 : 20 | 2°51'51" | — | 公制工具圆锥,锥形主轴颈,圆锥螺栓 |
| | 1 : 15 | 3°49'6" | — | 受承向力的锥形零件的接合面,主轴与齿轮的配合面 |
| | 1 : 12 | 4°46'19" | — | 部分滚动轴承内环的锥孔 |
| | 1 : 10 | 5°43'29" | — | 主轴滑动轴承的调整衬套,受轴向力、径向力及扭矩的接合面,弹性圆柱销联轴器的圆柱销接合面 |
| | 1 : 8 | 7°9'10" | — | 受径向力、轴向力的锥形零件的接合面 |
| | 1 : 7 | 8°10'16" | — | 管件的开头旋塞 |
| | 1 : 5 | 11°25'16" | — | 锥形摩擦离合器,磨床砂轮主轴端部外锥 |
| | 1 : 3 | 18°55'29" | — | 易于拆开的结合,具极限扭矩的摩擦离合器 |
| | 30° | — | 1 : 1.866 | 传动用摩擦离合器,弹簧卡头 |
| | 45° | — | 1 : 1.207 | 管路连接中,轻型螺旋管接口的锥形密合 |
| | 60° | — | 1 : 0.866 | 机床顶尖,工件中心孔 |
| | 75° | — | 1 : 0.652 | 直径小于(或等于)8 mm 的丝锥及铰刀的反顶尖 |
| 90° | — | 1 : 0.500 | 沉头螺钉、沉头铆钉、阀的锥度,重型工件的顶尖孔,重型机床顶尖,外螺纹、轴及孔的倒角 | |
| 120° | — | 1 : 0.280 | 螺纹的内倒角,中心孔的护锥 | |

续表

| 分类 | 基本值 | 圆锥角 α | 锥度 C | 应用举例 |
|------|------|--------------|---------|---------------|
| 专用锥度 | 1:16 | 3°34'47" | 1:16 | 圆锥管螺纹 |
| | 7:64 | 6°15'38" | 7:64 | 刨(插)齿机工作台的心轴孔 |
| | 1:4 | 14°15' | 1:4 | 车床主轴法兰的定心锥面 |
| | 7:24 | 16°35'39" | 7:24 | 铣床主轴孔与刀杆的锥度 |
| | 68° | 68° | 1:0.741 | 管接头锥形结合面 |

二、圆锥面的磨削方法

圆锥的特点是圆锥素线与轴线之间相交一个角度(圆锥的半角),因此,磨圆锥面时只要适当调整磨床,使工件的旋转轴线相对工作台纵向运动方向偏斜一个圆锥半角即可,当偏斜的角度达到要求后,具体的磨削方法与外圆、内圆的磨削方法相同。

(一) 外圆锥面的磨削

外圆锥面一般在外圆磨床或万能外圆磨床上磨削。根据工件的形状和外圆锥(角)度的大小,可以选择下面五种方法磨削:

1. 转动工作台磨外圆锥面

与磨削外圆一样,把工件装夹在两顶尖之间,再根据工件锥角的半角($\alpha/2$)大小,按工作台右端标尺上的刻度,将上工作台绕下工作台逆时针转过 $\alpha/2$ 角度即可(图 2.3-5)。标尺上的刻度通常

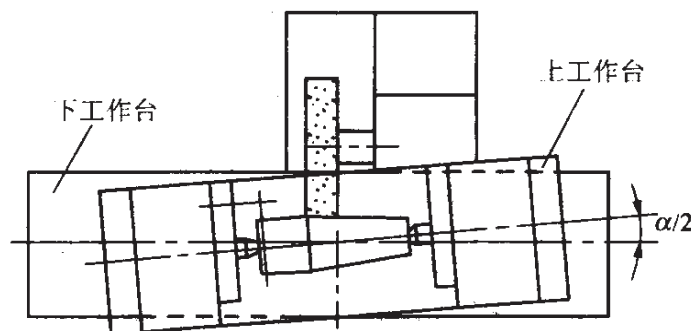


图 2.3-5 转动工作台磨外圆锥面

有两种表示方法,刻度的右边为锥度(图 2.3-6),左边为角度。磨削时,通常采用纵向磨削法,也可以采用分段磨削法。

转动上工作台磨外圆锥面的特点是:

(1) 工件装夹方便。只需将工件装夹在两顶尖之间。这种方法磨削精度高,生产效率高。

(2) 机床调整方便。只要将上工作台逆时针扳转一个圆锥半角就可以了。

(3) 可采用纵向法磨削,工件表面粗糙度值低。

(4) 一般外圆磨床的上工作台回转角度受到限制,这种方法只能磨削锥角小于 $12^\circ \sim 18^\circ$ 的圆锥体。

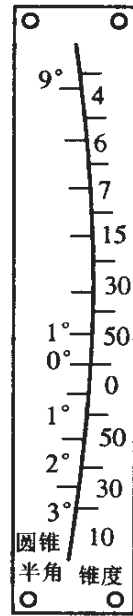


图 2.3-6 标尺刻度

2. 转动头架磨削外圆锥面

当工件的圆锥半角超过上工作台所能回转的最大角度时,这时可采用转动头架的方法。磨削时将工件装夹在头架锥孔内或三爪卡盘中,头架逆时针回转一个圆锥半角 $\alpha/2$ (图 2.3-7),就可以进行磨削。回转角度值从头架下面底座刻度盘上确定。必须注意的是头架刻度不精确,需要通过试磨,调整头架转角,也可对工作

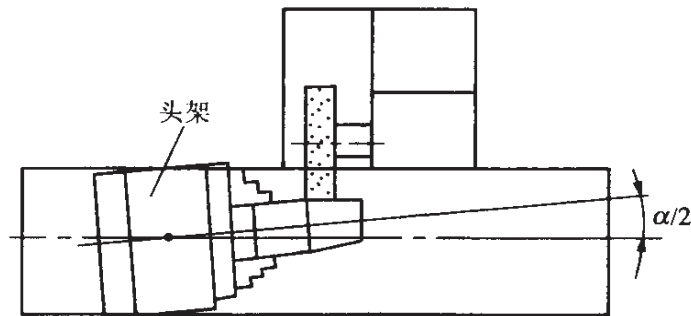


图 2.3-7 转动头架磨外圆锥面

台配合进行微调。

转动头架磨外圆锥面的特点是：

(1) 工件的圆周运动由头架主轴带动，主轴的转动误差(如跳动)会直接反映到工件上来。因此，这种方法的磨削精度不高。

(2) 此法适用于锥度大而长度较短的工件。

3. 转动头架和上工作台磨削外圆锥面

生产中有时会遇到锥度大、长度也较长的工件，用转动头架的方法解决了大锥度的问题，但因工件装夹后伸出较长，砂轮架退到极限位置，仍与工件相碰，不能磨削。如果工件与砂轮的干涉距离不长，可以把上工作台也转动一个角度 β_2 ，使头架的偏转角度 β_1 比原来小些，见图 2.3-8。头架转动角度 β_1 与上工作台转动角度 β_2 的和应该等于工件圆锥半角，即

$$\beta_1 + \beta_2 = \alpha/2$$

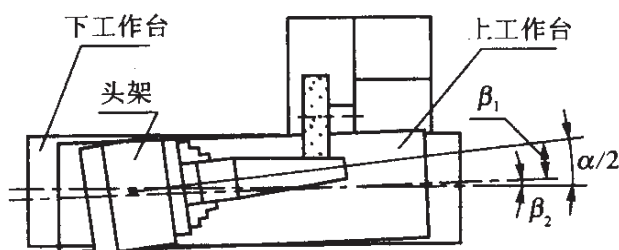


图 2.3-8 转动工作台和头架磨外圆锥面

4. 转动砂轮架磨削外圆锥面

对于锥度较大而又较长的工件，因锥角大，不能采用回转上工作台的方法；又因工件较长，不能用三爪卡盘装夹，即不能用转动头架的方法。所以只能采用转动砂轮架的方法来磨削(图 2.3-9)。

转动砂轮架磨外圆锥面的特点是：

(1) 适用工件长而锥角较大的工件。

(2) 一般要求外圆锥面母线宽度小于砂轮宽度。这是因为砂轮转动后，工作台不能做纵向运动，磨削余量只能用径向进给的方

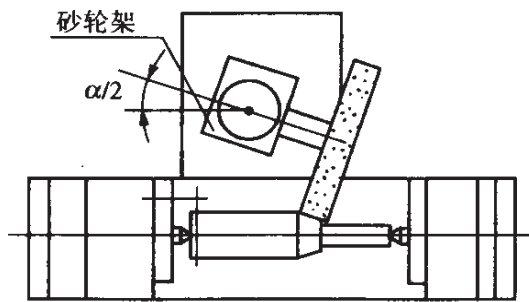


图 2.3-9 转动砂轮架磨外圆锥面

法除去。否则只能用分段接刀的方法进行磨削。

(3) 显然这种方法生产效率低,加工精度低,表面质量差。

(4) 砂轮架转动后,磨削过程中若想修整砂轮,必须将砂轮架转回零位,调整机床比较麻烦。一般情况下很少采用此种方法。

5. 用偏心顶尖装夹磨削外圆锥面

用偏心顶尖装夹来进行磨削(图 2.3-10),偏心顶尖装入头架主轴锥孔和尾架套筒锥孔后,它们的连线已与上工作台往复方向构成一个角度 β_2 。这样上工作台只须回转 $\beta_1 = \alpha/2 - \beta_2$ 。这种方法即使是在小规格的万能外圆磨床上也能实现,而且可以用轴向磨削法,表面质量高,生产效率高。

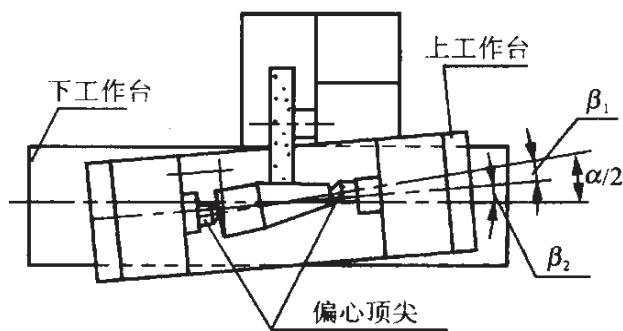


图 2.3-10 用偏心顶尖装夹磨外圆锥面

(二) 内圆锥面磨削

内圆锥面磨削可以在内圆磨床或万能外圆磨床上进行,其磨

削机理与外圆锥面磨削相同,常用三种磨削方法。

1. 转动头架磨削内圆锥面

转动头架磨削内圆锥面(图 2.3-11)可以用于在内圆磨床上磨削各种锥度的内锥孔,以及在外圆磨床上磨削锥度较大的内锥孔。磨削时,将头架转过一个内圆锥半角即 $\alpha/2$,工作台做纵向往复运动,砂轮做径向进给。

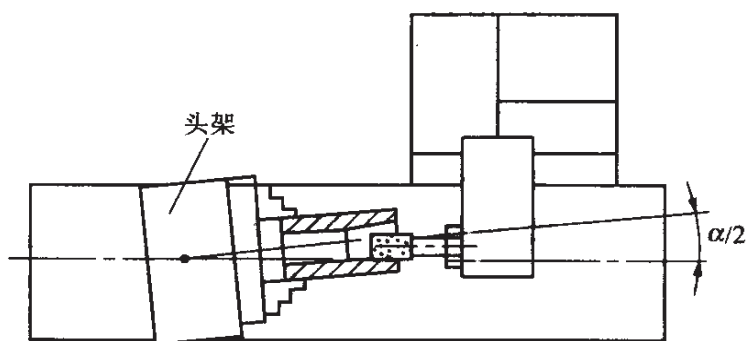


图 2.3-11 转动头架磨内圆锥面

2. 转动工作台磨内圆锥面

在万能外圆磨床上磨内锥孔的方法见图 2.3-12。磨削时将工作台转动半个圆锥锥角,即 $\alpha/2$,工作台做纵向往复运动,砂轮做径向进给运动。这种方法由于受工作台转动的限制,仅限于磨削圆锥角在 18° 以下、长度较长的内圆锥面。如各种机床主轴、尾座套筒的内圆锥。

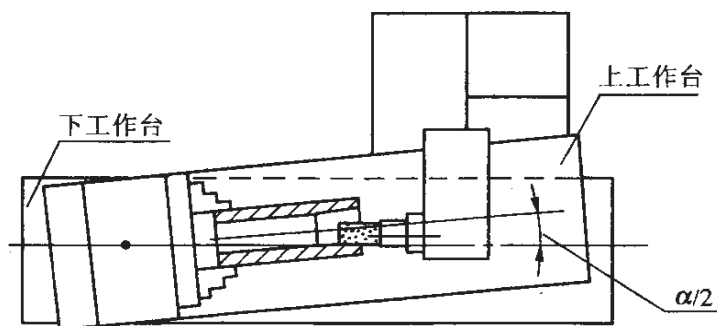


图 2.3-12 转动工作台磨内圆锥面

3. 角度修整砂轮

用角度修整砂轮磨 45° 、 60° 锥面及中心孔。

(三) 磨圆锥面的注意事项

(1) 工件的装夹方法和找正与磨外圆和内圆相同。

(2) 头架、砂轮架、上工作台的转动刻度都不是很准确, 所以磨削时应先进行试磨和测量, 根据测量的结果再进行补充调整。

(3) 磨内圆锥时, 砂轮直径大小应根据圆锥孔的小端尺寸 d 和圆锥角 α 大小确定。砂轮直径应小于图 2.3-13 a) 中的直线段 AB 。对于内锥角小、内锥直径小的工件尤其要注意这一点。

(4) 磨内锥孔时, 要求砂轮的回转圆心与锥孔的回转中心等高(图 2.3-13 b)), 否则锥孔的母线会出现双曲线形状误差。

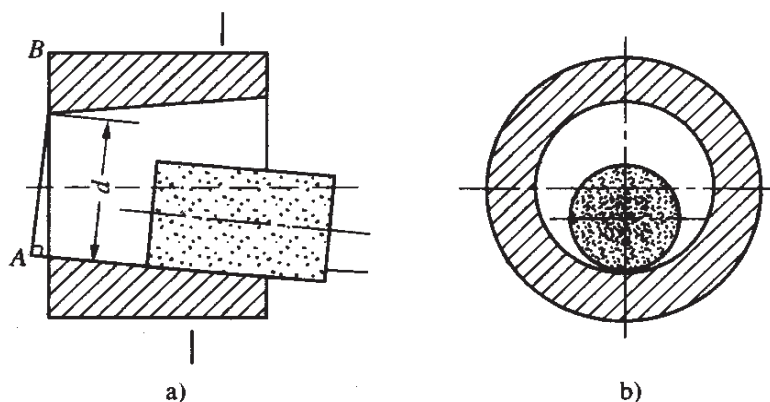


图 2.3-13 砂轮与锥孔的回转中心必须等高

三、圆锥的精度检验

圆锥的精度检验包括圆锥角(或圆锥度)的检验以及大、小端尺寸的检验。

(一) 圆锥角(或圆锥度)的检验

1. 用圆锥量规检验

检验标准内、外圆锥(如莫氏圆锥)时, 可用圆锥塞规或套规来

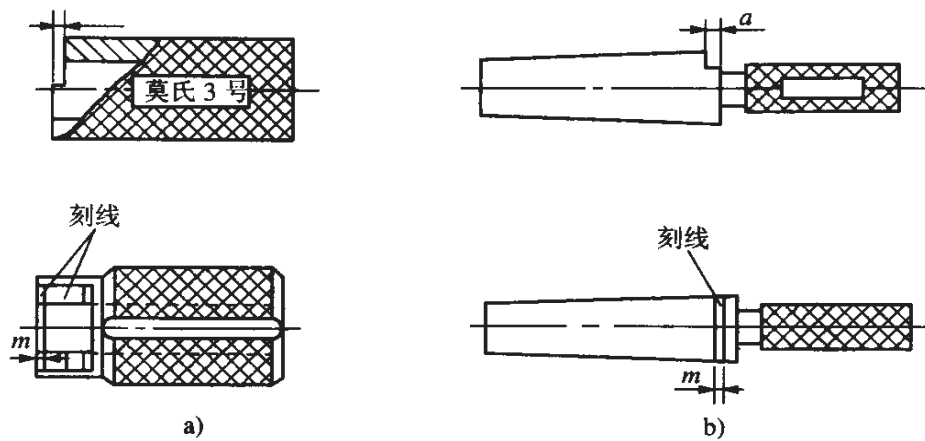


图 2.3-14 圆锥量规

a) 圆锥套规 b) 圆锥塞规

测量,见图 2.3-14。

检验内圆锥时,先在塞规表面顺着圆锥母线(全长上)涂三条极薄的一层显示剂(红油或蓝油),然后把塞规放入圆锥内转动约 $\pm 30^\circ$,取出观察显示剂擦去的情况。如果显示剂擦痕均匀,说明圆锥接触良好,锥度正确。如果小端擦着,大端没擦着,说明圆锥角大了,反之,说明圆锥角小了。

检验外圆锥方法与上面相同,只是把显示剂涂在工件表面上。

用涂色法检验锥度时,要求工件锥体表面接触处靠近大端,接触长度不低于以下规定:高精度的接触长度为工件长度的 85%,精密的接触长度为工件长度的 80%,普通的接触长度为工件长度的 75%。

2. 用扇形游标量角器检验

扇形游标量角器可以测量 $0^\circ \sim 320^\circ$ 范围内的任何角度,其结构形式见图 2.3-15,使用方法见图 2.3-16。

3. 用圆形游标量角器检验

圆形游标量角器结构形式见图 2.3-17。

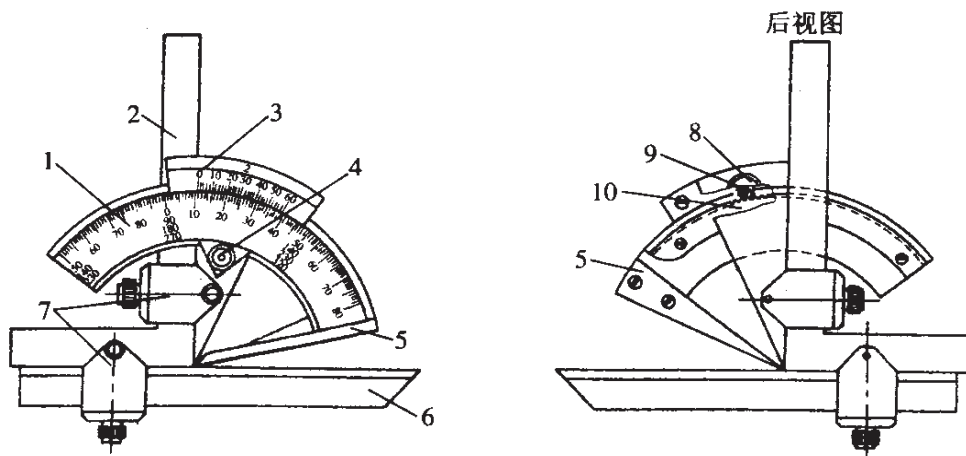


图 2.3-15 扇形游标量角器

1—主尺 2—直角尺 3—游标 4—制动器
5—基尺 6—直尺 7—卡块

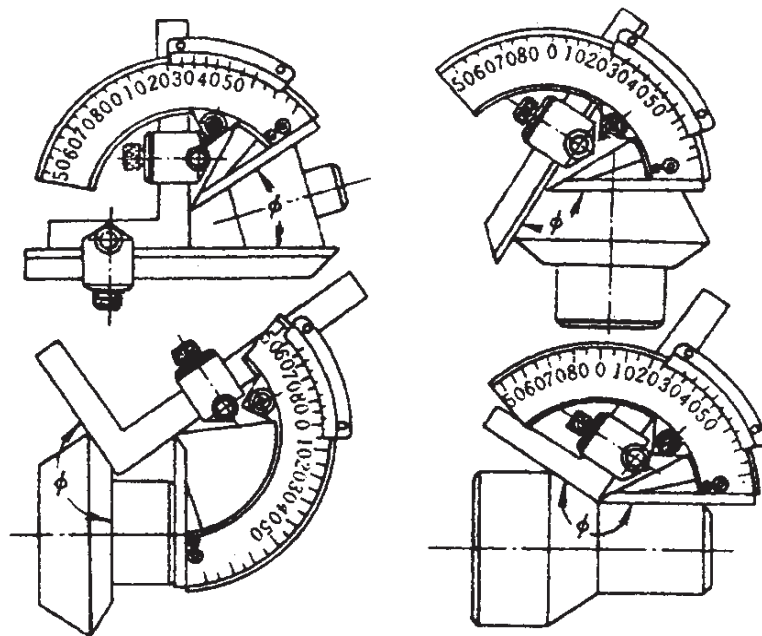


图 2.3-16 扇形游标量角器的使用方法

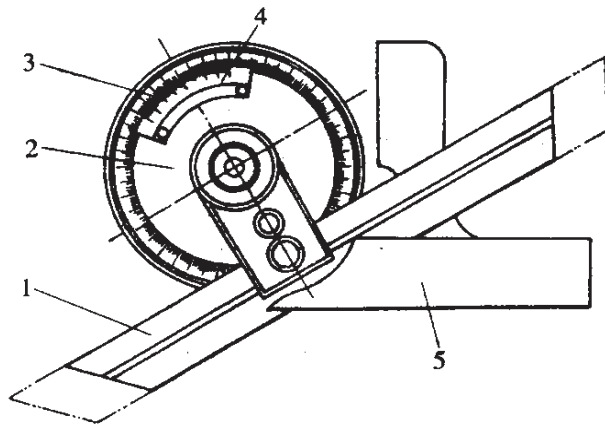


图 2.3-17 圆形游标量角器

4. 用角度样板检验

大批量生产中,一般用专用的角度样板来测量工件(图 2.3-18)。测量时,将样板的 V 形部分安置在圆柱部分(测量基准),用透光法检验圆锥角度是否正确。

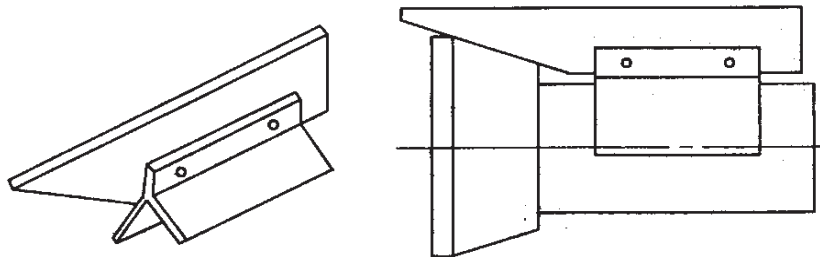


图 2.3-18 用专用角度样板检验

5. 用正弦规检验

正弦规是利用三角形中正弦关系(\sin)来计算测量角度的一种精密量具,由一个准确的钢质长方体和两个精密圆柱组成(图 2.3-19 a))。

测量时,将正弦规安放在精密平板上,工件放在正弦规的平面上,下面垫进量规组(图 2.3-19 b))。量块组高度可根据被测工件圆锥角度进行计算获得,然后用千分表检验工件圆锥体的两端高度。如果读数相同,说明圆锥角度正确。

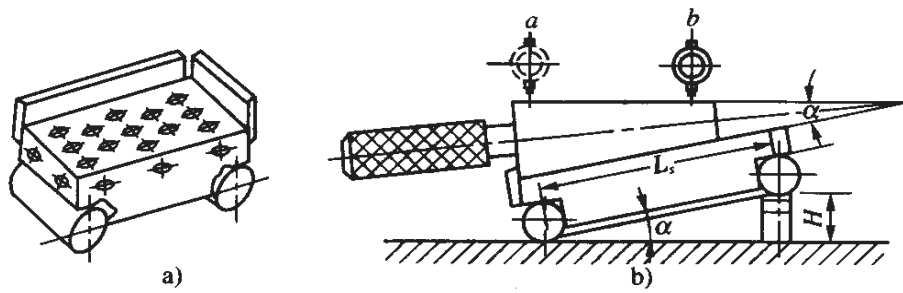


图 2.3 - 19 正弦规
a) 正弦规 b) 测量方法

图 2.3 - 19 b) 中 H 值可根据下式计算:

$$H = L_s \sin \alpha \text{ (mm)}$$

式中 α ——圆锥角,°;

L_s ——正弦规两圆柱中心距,一般为 100 mm 和 200 mm 两种。

(二) 圆锥尺寸的检验

圆锥尺寸(大端直径、小端直径)可用锥度量规来测量。一般来说,外圆锥是通过检验小端直径以控制锥体尺寸,内锥体是通过检验大端直径以控制锥孔尺寸。锥度量规如图 2.3 - 20 所示,它除了有一个精确的圆锥表面外,在塞规和套规上分别具有一个台阶 a (或刻线 m)。这些台阶 a (或线刻 m)就是圆锥大、小端

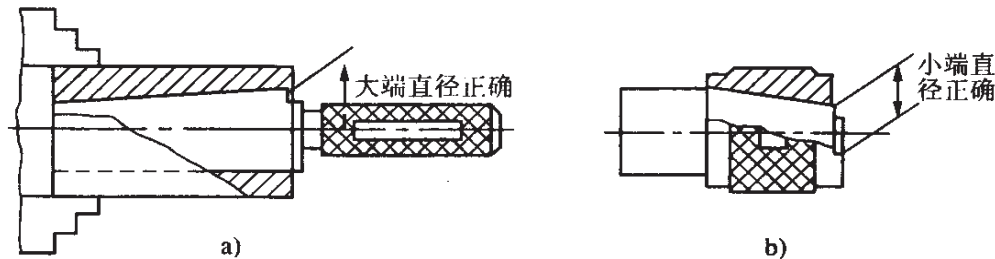


图 2.3 - 20 用锥度量规测量
a) 测量锥孔 b) 测量外锥体

直径的公差范围。检验工件时,当工件的端面在锥度量规阶台(刻线)之间,才算合格。

四、圆锥面磨削常见的缺陷及消除措施

圆锥面磨削常见缺陷及消除措施见表 2.3-3。

表 2.3-3 圆锥面磨削常见的缺陷及消除措施

| 缺陷 | 产生原因 | 消除措施 |
|--------|---|--|
| 锥度不正确 | 由于测量不准确而造成工作台、头架或砂轮架的位置调整不准确。如显示剂涂得太厚或检查时圆锥量规的轴线发生摇晃,以致把不准确的圆锥误认为是准确的 | 显示剂应涂得极薄和均匀,转动角度在 $\pm 30^\circ$ 以内。准确测量后,方可固定工作台、头架或砂轮架 |
| | 用磨钝的砂轮进行精磨时,因弹性变形的影响,使锥度发生变动 | 经常修整砂轮,精磨时需光磨到火花基本消失 |
| | 磨削直径小而长的内锥孔时,由于砂轮接长轴细长,刚性差,再加上砂轮圆周速度低,切削能力差而引起 | 砂轮接长轴尽量选得短而粗些,减小砂轮宽度,精磨余量尽量小些 |
| | 机床运动过程中,局部地方由于发热,也会使工件的锥度发生变动。床身导轨上润滑油过多,工作台漂浮,也会使锥度变化 | 机床刚开始工作的1~2小时内热变形量最为显著,应多测量,适当调整润滑油量 |
| 圆锥母线不直 | 砂轮架(或内圆砂轮轴)的旋转轴线与工件旋转轴线不等高而造成双曲线误差(图 2.3-21) | 修理或调整机床,使轴线等高 |
| 圆度不好 | 与外圆柱面相同 | 与外圆柱面相同 |

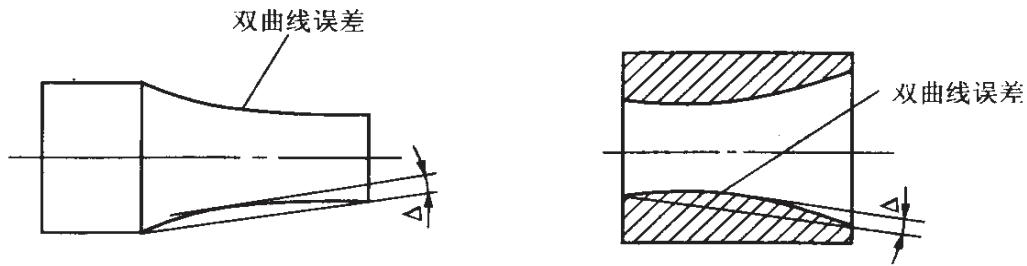


图 2.3-21 圆锥的双曲线误差

第四节 平面磨削

零件除了带有内外圆柱面、内外圆锥面外,还有若干平面组成,如零件底平面,零件上相互平行、垂直或成一定角度的平面。这些平面所要求达到的技术要求主要是平面的平面度,平面间的平行度、垂直度、倾斜度以及平面与其他要素之间的位置度,还有平面表面粗糙度。当这些要求较高时,特别是加工淬硬平面,就需要进行磨削。平面磨削通常是在平面磨床上进行,小型零件的平面也可在工具磨床上磨削,大尺寸圆盘的端面可在万能外圆磨床上用转动头架的方法磨削。

平面磨削后的表面,精度一般可达 IT6 级,表面粗糙度达 $R_a 0.4 \sim 0.1 \mu\text{m}$,平行度在 100 mm 长度内为 0.01 mm。

一、平面磨削的方法

根据磨削时砂轮工作表面的不同,平面磨削的方法可以划分成圆周面磨削和端面磨削两种方式。

(一) 圆周面磨削

是用砂轮的圆周面(图 2.4-1))磨削平面,砂轮与工件接触面小,磨削时发热量小,热变形小,磨削力小,排屑和冷却条件好,有利于提高磨削精度。另一方面,由于需要用间断的横向进给来

完成整个工作表面的磨削,所以生产效率较低。这种方法适用于精磨各种平面零件,一般能达到 $0.01\sim 0.02/100\text{ mm}$ 的平面度,表面粗糙度可达到 $R_a 1.25\sim 0.20\ \mu\text{m}$ 。

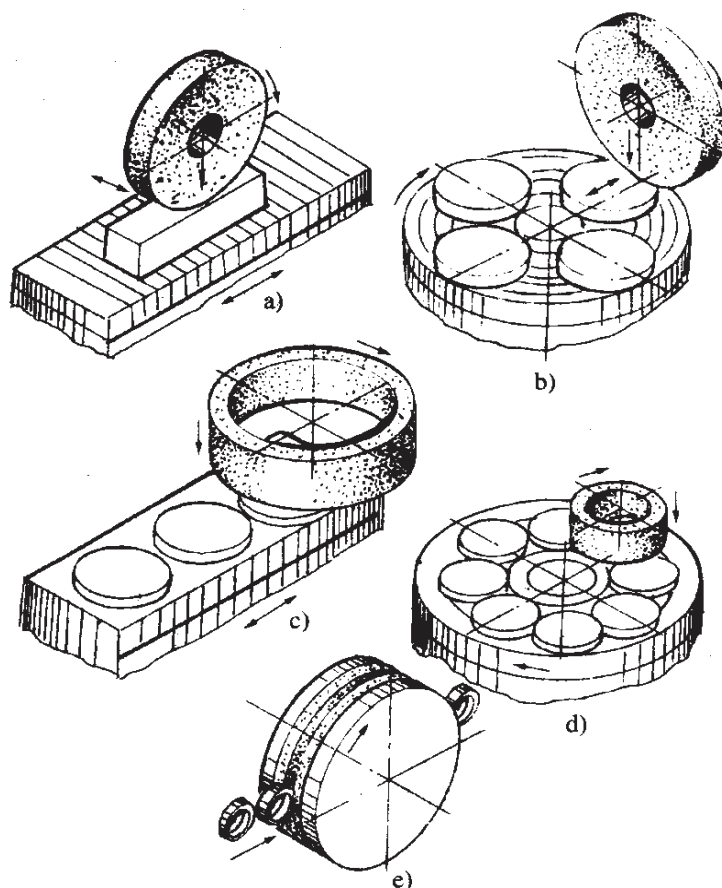


图 2.4-1 平面磨削的方法

(二) 端面磨削

端面磨削时,砂轮的工作表面是端面(图 2.4-1),砂轮端面与工件表面接触,接触面大,磨削过程中发热量大,切削液不易直接浇到磨削区,排屑困难,工件的热变形大,易烧伤,因此磨削质量比圆周磨差一些。但是另一方面,端面磨削时,砂轮主轴主要承受轴向力,主轴的弯曲变形小,刚性好,磨削用量可适当选大些。如果用桶形砂轮磨削,同时参加磨削的磨粒多,所以生产效率较高。

针对端面磨削方法的不足,可以采取一些措施加以改善:

(1) 选用粒度较粗、硬度较软的树脂结合剂砂轮。

(2) 冷却液供液要充分。

(3) 改进砂轮，采用镶块砂轮（见图 2.4-2）。

镶块砂轮由几块扇形砂瓦，用螺钉、楔块等固定在金属法兰盘上构成。显然镶块砂轮磨削，减少了砂轮与工件的接触面积，改善了冷却和排屑条件，提高了砂轮的使用寿命。但镶块砂轮是间断切削，磨削时易产生振动，磨削表面粗糙度较差。

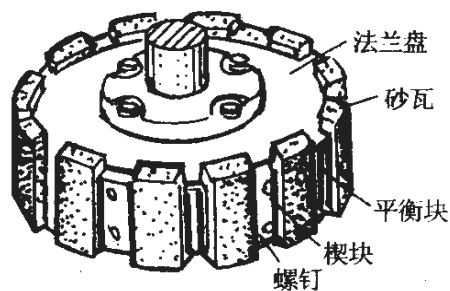


图 2.4-2 镶块砂轮

(4) 将砂轮端面修成内锥形，这样磨削时为端面圆线接触，改善散热条件。

(5) 调整磨头使其倾斜一个微小的角度 α (图 2.4-3)，以减小砂轮与工件的接触面积，改善散热条件。但这样会引起加工表面凹陷。凹陷值 A 可按下式近似计算：

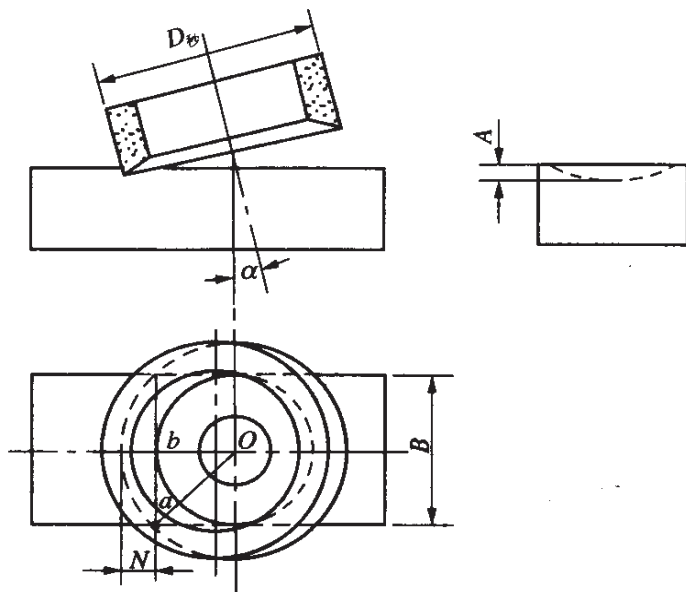


图 2.4-3 磨头偏斜时对加工精度的影响

$$A = N \cdot \tan\alpha = \frac{1}{2}(D - \sqrt{D^2 - B^2}) \cdot \tan\alpha (\text{mm})$$

式中 D ——砂轮直径(mm);
 B ——磨削表面宽度(mm);
 α ——磨头倾斜角度($^{\circ}$)。

从上式可以看出, α 、 B 值增大, A 值增大; D 值增大时, A 值减小。为了不影响磨削表面的平面度, 倾斜角度 α 一般应小于 $30'$ 。且此种方法只适用于粗磨。精磨平面时, 磨头主轴必须严格垂直于工作台, 以保证加工精度。判断磨头主轴是否准确地垂直于工作台有一个十分简便的方法, 即通过观察加工面的痕迹, 若呈交叉花圆弧也叫双刀花圆弧(图 2.4-4), 则可判断垂直, 若呈单刀花圆弧, 则需重新调整磨头主轴。

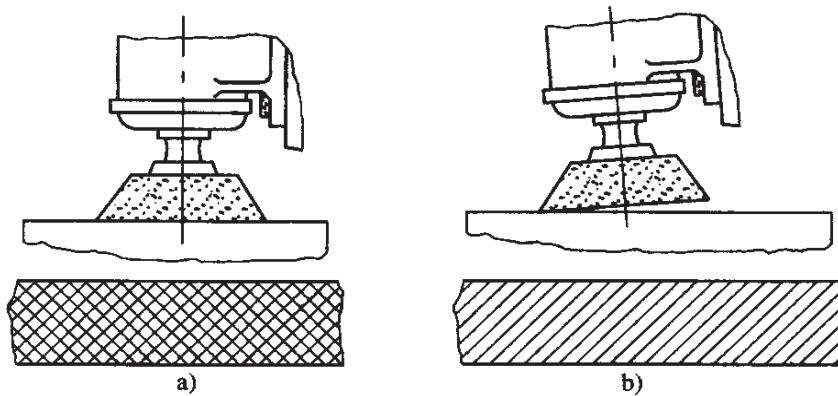


图 2.4-4 端面磨的磨削痕迹

a) 双刀花圆弧 b) 单刀花圆弧

二、电磁吸盘的使用

电磁吸盘是平面磨削中最常使用的夹具之一, 凡是由钢、铸铁等磁性材料制成的具有两个平行面的零件, 都可用电磁吸盘装夹。

(一) 电磁吸盘的工作原理和结构

1. 电磁吸盘的工作原理

电磁吸盘是根据电的磁效应原理制成的。在由硅钢片叠成的

铁心体上绕以线圈,当电流通过时,铁心被磁化,形成带磁性的电磁铁,这时若把铁块引向铁心,铁块将立即被铁心吸住,其工作原理见图 2.4-5。图中 1 为钢制吸盘体,在它的中部凸起的心体 5 上绕有线圈 2,钢制盖板 3 被绝磁层 4 隔成一些小块。当线圈 2 通过直流电时,心体 5 就被磁化,磁力线由心体经过工作台盖板、工件,再经过工作台盖板、吸盘体、心体而闭合(图 2.4-5 中虚线所示),工件被吸住。绝磁层 4 由铝、铜或巴氏合金等非磁性材料制成,它的作用是使绝大部分磁力线都能通过工件回到吸盘体,而不致通过盖板回去,以构成完整的磁路。

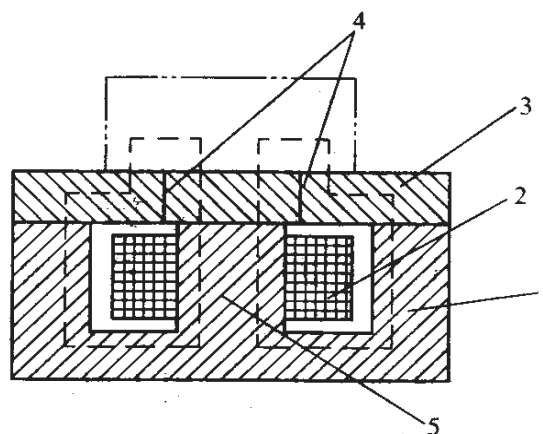


图 2.4-5 电磁吸盘工作原理

1—吸盘体 2—线圈 3—盖板
4—绝磁层 5—心体

2. 电磁吸盘的结构

电磁吸盘有长方形和圆形两种,长方形的用于矩形工作台平面磨床,圆形的用于圆形工作台平面磨床。

电磁吸盘由吸盘体、工作台板、线圈、绝磁层等组成。

(二) 电磁吸盘的使用

电磁吸盘使用十分方便,但应注意:

(1) 使用中,当切断电磁吸盘的电源后,工件和电磁吸盘上仍会保留一部分磁性,即剩磁,因此,工件不易取下。这时只要将开关转到退磁位置,多次反复改变线圈中的电流方向,把剩磁去掉,工件就容易取下。

(2) 对于底面积较大的工件,光滑表面间黏附力较大,再加上剩磁存在,更不容易取下工件。这时可根据工件的形状,先用木棒、铜棒或扳手(扳手钳与工件表面间应垫好铜皮),将工件扳松后

再取下。防止将工件从台面上硬拉下来而拉毛工件表面和吸盘台面。

(3) 装夹工件时,工件底面盖住绝磁层条数应尽可能的多,以充分利用磁性吸力。对于小而薄的工件应放在绝磁层中间(图 2.4-6 b),要避免放成图 2.4-6 a)所示的位置,并在其左右放置挡板(图 2.4-6 c)),以防止工件松动。装夹高而底面较窄的工件时,应在工件四周放上面积较大的挡块(图 2.4-7),挡块的高度应略低于工件高度。这样可避免因吸力不够而造成工件翻倒使砂轮碎裂的事故。

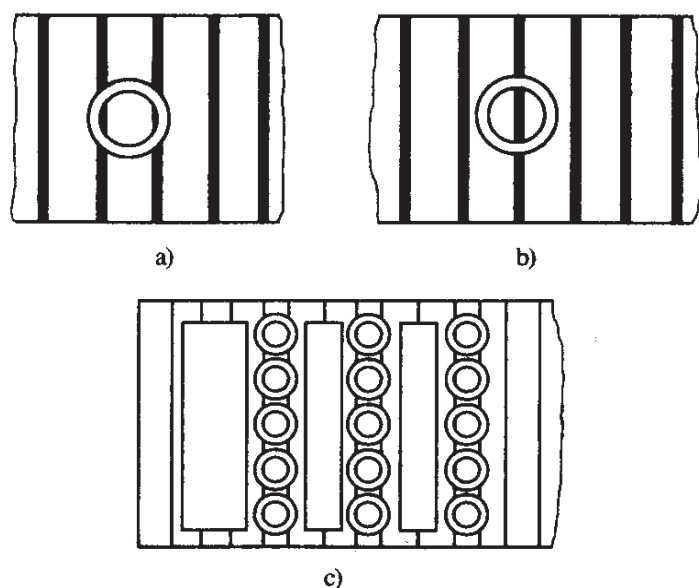


图 2.4-6 小而薄工件的放置

(4) 电磁吸盘使用较长时间后,中间部分的精度较差,假如要磨较小的工件,平行度要求较高,此时可将工件安装在台面的两端进行磨削。

(5) 电磁吸盘台面如果拉毛,可用油石或细砂皮修光,再用金相砂纸将台面抛光。如果台面上划痕和细麻点较多,或台面已经不平时,可以对电磁吸盘台面进行一次修磨。修磨时,电磁吸盘应

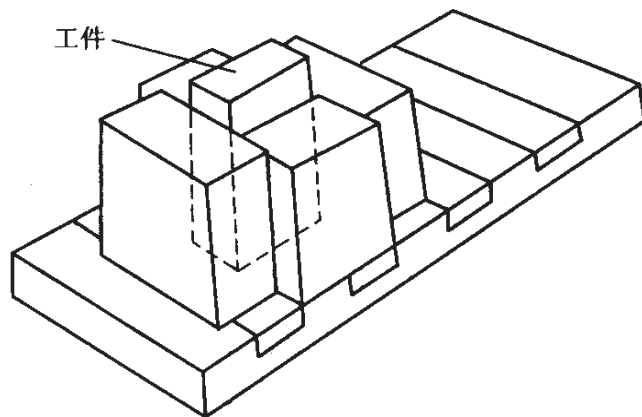


图 2.4-7 高而窄工件的放置

接通电源,使它处于工作状态,磨削量和走刀量都要小,冷却要充分,待磨光至无火花出现时即可。当然要尽量减少修磨次数,以延长电磁吸盘的使用寿命。

(6) 工作结束后,应将吸盘台面擦干净,否则冷却液会渗入吸盘体内部。使线圈受潮而损坏。

三、磨削用量

(一) 砂轮速度选择

砂轮速度选择见表 2.4-1。

表 2.4-1 平面磨削砂轮速度选择

| 磨削形式 | 工件材料 | 粗磨(m/s) | 精磨(m/s) |
|------|------|---------|---------|
| 圆周磨削 | 灰铸铁 | 20~22 | 22~25 |
| | 钢 | 22~25 | 25~30 |
| 端面磨削 | 灰铸铁 | 15~18 | 18~20 |
| | 钢 | 18~20 | 20~25 |

2. 其他用量选择

其他用量的选择见表 2.4-2、表 2.4-3、表 2.4-4 和表 2.4-5。

表 2.4-2 粗磨平面磨削用量—矩形工作台平面磨

| (1) 纵向进给量 | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------|---------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|------|
| 加工性质 | | 砂轮宽度 b_s (mm) | | | | | | |
| | | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | |
| | | 工作台单行程纵向进给量 f_a (mm/st) | | | | | | |
| 粗磨 | | 16~24 | 20~30 | 25~38 | 32~44 | 40~60 | 50~75 | |
| (2) 背吃刀量 | | | | | | | | |
| 纵向进给量 f_a (以砂轮 宽度计) | 耐用度 T (s) | 工件速度 v_w (m/min) | | | | | | |
| | | 6 | 8 | 10 | 12 | 16 | 20 | |
| | | 工作台单行程背吃刀量 a_p (mm/st) | | | | | | |
| 0.5 | 540 | 0.066 | 0.049 | 0.039 | 0.033 | 0.024 | 0.019 | |
| 0.6 | | 0.055 | 0.041 | 0.033 | 0.028 | 0.020 | 0.016 | |
| 0.8 | | 0.041 | 0.031 | 0.024 | 0.021 | 0.015 | 0.012 | |
| 0.5 | 900 | 0.053 | 0.038 | 0.030 | 0.026 | 0.019 | 0.015 | |
| 0.6 | | 0.042 | 0.032 | 0.025 | 0.021 | 0.016 | 0.013 | |
| 0.8 | | 0.032 | 0.024 | 0.019 | 0.016 | 0.012 | 0.010 | |
| 0.5 | 1 440 | 0.040 | 0.030 | 0.024 | 0.020 | 0.015 | 0.012 | |
| 0.6 | | 0.034 | 0.025 | 0.020 | 0.017 | 0.013 | 0.010 | |
| 0.8 | | 0.025 | 0.019 | 0.015 | 0.013 | 0.010 | 0.008 | |
| 0.5 | 2 400 | 0.033 | 0.023 | 0.019 | 0.016 | 0.012 | 0.0093 | |
| 0.6 | | 0.026 | 0.019 | 0.015 | 0.013 | 0.0097 | 0.0078 | |
| 0.8 | | 0.019 | 0.015 | 0.012 | 0.0098 | 0.0073 | 0.0059 | |
| (3) 背吃刀量 a_p 的修正系数 | | | | | | | | |
| k_1 (与工件材料及砂轮直径有关) | | | | | | | | |
| 工件材料 | | 砂轮直径 d_s (mm) | | | | | | |
| | | 320 | 400 | 500 | 600 | | | |
| 耐热钢 | | 0.7 | 0.78 | 0.85 | 0.95 | | | |
| 淬火钢 | | 0.78 | 0.87 | 0.95 | 1.06 | | | |
| 非淬火钢 | | 0.82 | 0.91 | 1.0 | 1.12 | | | |
| 铸铁 | | 0.86 | 0.96 | 1.05 | 1.17 | | | |
| k_2 (与工作台充满系数 k_f 有关) | | | | | | | | |
| k_f | 0.2 | 0.25 | 0.32 | 0.4 | 0.5 | 0.63 | 0.8 | 1.0 |
| k_2 | 1.6 | 1.4 | 1.25 | 1.12 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.71 |

注：工作台一次往复行程的背吃刀量应将表列数值乘 2。

表 2.4-3 精磨平面磨削用量—矩形工作台平面磨

| (1) 纵向进给量 | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|--------------------|-----------|-------|-------|-------|------|------|
| 加工性质 | 砂轮宽度 b_s (mm) | | | | | | | | | | |
| | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | | | | | |
| | 工作台单行程纵向进给量 f_a (mm/st) | | | | | | | | | | |
| 精磨 | 8~16 | 10~20 | 12~25 | 16~32 | 20~40 | 25~50 | | | | | |
| (2) 背吃刀量 | | | | | | | | | | | |
| 工件速度 v_w (m/min) | 工作台单行程纵向进给量 f_a (mm/st) | | | | | | | | | | |
| | 8 | 10 | 12 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | | |
| | 工作台单行程背吃刀量 a_p (mm/st) | | | | | | | | | | |
| 5 | 0.086 | 0.069 | 0.058 | 0.046 | 0.035 | 0.028 | 0.023 | 0.017 | 0.014 | | |
| 6 | 0.072 | 0.058 | 0.046 | 0.039 | 0.029 | 0.023 | 0.019 | 0.014 | 0.012 | | |
| 8 | 0.054 | 0.043 | 0.035 | 0.029 | 0.022 | 0.017 | 0.015 | 0.011 | 0.086 | | |
| 10 | 0.043 | 0.035 | 0.028 | 0.023 | 0.019 | 0.014 | 0.012 | 0.096 | 0.069 | | |
| 12 | 0.036 | 0.029 | 0.023 | 0.019 | 0.014 | 0.012 | 0.096 | 0.072 | 0.058 | | |
| 15 | 0.029 | 0.023 | 0.018 | 0.015 | 0.012 | 0.092 | 0.076 | 0.058 | 0.045 | | |
| 20 | 0.022 | 0.017 | 0.014 | 0.012 | 0.086 | 0.069 | 0.058 | 0.043 | 0.035 | | |
| (3) 背吃刀量 a_p 的修正系数 | | | | | | | | | | | |
| k_1 (与工件材料及砂轮直径有关) | | | | | k_2 (与加工精度及余量有关) | | | | | | |
| 工件材料 | 砂轮直径 d_s (mm) | | | | 尺寸精度 (mm) | 加工余量 (mm) | | | | | |
| | 320 | 400 | 500 | 600 | | 0.12 | 0.17 | 0.25 | 0.35 | 0.5 | 0.70 |
| 耐热钢 | 0.7 | 0.78 | 0.85 | 0.95 | 0.02 | 0.4 | 0.5 | 0.63 | 0.8 | 1.0 | 1.25 |
| 淬火钢 | 0.78 | 0.87 | 0.95 | 1.06 | 0.03 | 0.5 | 0.63 | 0.8 | 1.0 | 1.25 | 1.6 |
| 非淬火钢 | 0.82 | 0.91 | 1.0 | 1.12 | 0.05 | 0.63 | 0.8 | 1.0 | 1.25 | 1.6 | 2.0 |
| 铸铁 | 0.86 | 0.96 | 1.05 | 1.17 | 0.08 | 0.8 | 1.0 | 1.25 | 1.6 | 2.0 | 2.5 |
| k_3 (与工作台充满系数 k_f 有关) | | | | | | | | | | | |
| k_f | 0.2 | 0.25 | 0.32 | 0.4 | 0.5 | 0.63 | 0.8 | 1.0 | | | |
| k_2 | 1.6 | 1.4 | 1.25 | 1.12 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.71 | | | |

注：1. 精磨的 f_a 不应超过粗磨的 f_a 值。

2. 工件的运动速度, 当加工淬火钢时取大值; 加工非淬火钢及铸铁时取小值。

表 2.4-4 粗磨平面磨削用量—圆形工作台平面磨

| (1) 纵向进给量 | | | | | | | | |
|-------------------------|----------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|
| 加工性质 | | 砂轮宽度 b_s (mm) | | | | | | |
| | | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | |
| | | 工作台纵向进给量 f_a (mm/r) | | | | | | |
| 粗磨 | | 16~24 | 20~30 | 25~38 | 32~44 | 40~60 | 50~75 | |
| (2) 背吃刀量 | | | | | | | | |
| 纵向进给量 f_a (以砂轮宽度计) | 耐用度 T (s) | 工件速度 v_w (m/min) | | | | | | |
| | | 8 | 10 | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 |
| | | 磨头单行程背吃刀量 a_p (mm/st) | | | | | | |
| 0.5 | 540 | 0.049 | 0.039 | 0.033 | 0.024 | 0.019 | 0.016 | 0.013 |
| 0.6 | | 0.041 | 0.032 | 0.028 | 0.020 | 0.016 | 0.013 | 0.011 |
| 0.8 | | 0.031 | 0.024 | 0.021 | 0.015 | 0.012 | 0.009 8 | 0.0080 |
| 0.5 | 900 | 0.038 | 0.030 | 0.026 | 0.019 | 0.015 | 0.012 | 0.010 |
| 0.6 | | 0.032 | 0.025 | 0.021 | 0.016 | 0.013 | 0.010 | 0.008 |
| 0.8 | | 0.024 | 0.019 | 0.016 | 0.012 | 0.010 | 0.008 | 0.006 |
| 0.5 | 1 440 | 0.030 | 0.024 | 0.020 | 0.015 | 0.012 | 0.009 6 | 0.008 |
| 0.6 | | 0.025 | 0.020 | 0.017 | 0.013 | 0.010 | 0.008 | 0.006 |
| 0.8 | | 0.019 | 0.015 | 0.013 | 0.009 | 0.008 | 0.006 1 | 0.005 |
| 0.5 | 2 400 | 0.023 | 0.019 | 0.016 | 0.012 | 0.010 | 0.007 5 | 0.006 |
| 0.6 | | 0.019 | 0.015 | 0.013 | 0.010 | 0.008 | 0.006 2 | 0.005 |
| 0.8 | | 0.015 | 0.012 | 0.010 | 0.007 | 0.006 | 0.004 7 | 0.004 |

续表

| (3) 背吃刀量 a_p 的修正系数 | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| k_1 (与工件材料及砂轮直径有关) | | | | | | | |
| 工件材料 | 砂轮直径 d_s (mm) | | | | | | |
| | 320 | 400 | 500 | 600 | 800 | 1000 | 1250 |
| 耐热钢 | 0.7 | 0.78 | 0.85 | 0.95 | 1.05 | 1.15 | 1.25 |
| 淬火钢 | 0.78 | 0.87 | 0.95 | 1.06 | 1.17 | 1.28 | 1.39 |
| 非淬火钢 | 0.82 | 0.91 | 1.0 | 1.12 | 1.24 | 1.36 | 1.48 |
| 铸铁 | 0.86 | 0.96 | 1.05 | 1.17 | 1.29 | 1.41 | 1.53 |
| k_2 (与工作台充满系数 k_f 有关) | | | | | | | |
| k_f | 0.25 | 0.32 | 0.4 | 0.5 | 0.63 | 0.8 | 1.0 |
| k_2 | 1.4 | 1.25 | 1.12 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.71 |

表 2.4-5 精磨平面磨削用量—圆形工作台平面磨

| (1) 纵向进给量 | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 加工性质 | 砂轮宽度 b_s (mm) | | | | | | | | |
| | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 |
| | 工作台纵向进给量 f_a (mm/r) | | | | | | | | |
| 精磨 | 8~16 | 10~20 | 12~25 | 16~32 | 20~40 | 25~50 | 32~63 | 40~80 | 50~100 |
| (2) 背吃刀量 | | | | | | | | | |
| 工件速度 v_w (m/min) | 工作台纵向进给量 f_a (mm/r) | | | | | | | | |
| | 8 | 10 | 12 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 |
| | 磨头单行程背吃刀量 a_p (mm/st) | | | | | | | | |
| 8 | 0.067 | 0.054 | 0.043 | 0.036 | 0.027 | 0.022 | 0.019 | 0.014 | 0.011 |
| 10 | 0.054 | 0.043 | 0.035 | 0.029 | 0.022 | 0.017 | 0.015 | 0.011 | 0.086 |

续表

| (2) 背吃刀量 | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|--------------------|-----------|---------|---------|---------|------|------|------|
| 工件速度 v_w (m/min) | 工作台纵向进给量 f_a (mm/r) | | | | | | | | | | | |
| | 8 | 10 | 12 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | | | |
| | 磨头单行程背吃刀量 a_p (mm/st) | | | | | | | | | | | |
| 12 | 0.045 | 0.036 | 0.029 | 0.024 | 0.018 | 0.015 | 0.012 | 0.009 | 0.007 2 | | | |
| 15 | 0.036 | 0.029 | 0.022 | 0.019 | 0.015 | 0.011 | 0.010 | 0.007 2 | 0.005 8 | | | |
| 20 | 0.027 | 0.021 | 0.018 | 0.015 | 0.011 | 0.009 | 0.007 2 | 0.005 4 | 0.004 3 | | | |
| 25 | 0.021 | 0.017 | 0.014 | 0.012 | 0.009 | 0.006 9 | 0.005 8 | 0.004 3 | 0.003 4 | | | |
| 30 | 0.018 | 0.014 | 0.013 | 0.010 | 0.007 2 | 0.005 7 | 0.004 8 | 0.003 6 | 0.002 9 | | | |
| 40 | 0.013 | 0.011 | 0.009 | 0.007 | 0.005 4 | 0.004 3 | 0.003 6 | 0.002 7 | 0.002 2 | | | |
| (3) 背吃刀量 a_p 的修正系数 | | | | | | | | | | | | |
| k_1 (与工件材料及砂轮直径有关) | | | | | k_2 (与加工精度及余量有关) | | | | | | | |
| 工件材料 | 砂轮直径 d_s (mm) | | | | 尺寸精度 (mm) | 加工余量 (mm) | | | | | | |
| | 320 | 400 | 500 | 600 | | 0.08 | 0.12 | 0.17 | 0.25 | 0.35 | 0.50 | 0.70 |
| 耐热钢 | 0.56 | 0.63 | 0.70 | 0.80 | 0.02 | 0.32 | 0.4 | 0.5 | 0.63 | 0.8 | 1.0 | 1.25 |
| 淬火钢 | 0.80 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 0.03 | 0.4 | 0.5 | 0.63 | 0.8 | 1.0 | 1.25 | 1.6 |
| 非淬火钢 | 0.96 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 0.05 | 0.5 | 0.63 | 0.8 | 1.0 | 1.25 | 1.6 | 2.0 |
| 铸铁 | 1.28 | 1.45 | 1.6 | 1.75 | 0.08 | 0.63 | 0.8 | 1.0 | 1.25 | 1.6 | 2.0 | 2.5 |
| k_3 (与工作台充满系数 k_f 有关) | | | | | | | | | | | | |
| k_f | 0.2 | 0.25 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | | | | |
| k_2 | 1.6 | 1.4 | 1.25 | 1.12 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.71 | | | | |

注：1. 精磨的 f_a 不应超过粗磨的 f_a 值。

2. 工件的运动速度，当加工淬火钢时用大值；加工非淬火钢及铸铁时取小值。

四、砂轮的选择

根据磨削方式、工件材料及磨削要求选择砂轮,见表 2.4-6。

表 2.4-6 平面磨削砂轮选择

| 1. 砂轮形状选择 | | | | | |
|-----------|-----|--------------------|-------|--------------------|-----|
| 磨削方式 | | 圆周磨削 | | 端面磨削 | |
| 砂轮形状 | | 平行砂轮系列 | | 筒形或碗形砂轮,粗磨时可采用镶块砂轮 | |
| 2. 砂轮特性选择 | | | | | |
| 工件材料 | | 非淬火碳钢 | 调质合金钢 | 淬火的碳钢合金钢 | 铸铁 |
| 砂轮特性 | 磨料 | A | A | WA | C |
| | 粒度 | F36~F60 其中 F46 最常用 | | | |
| | 硬度 | H~L | K~M | J~K | J~L |
| | 组织 | 5~6 | | | |
| | 结合剂 | V | | B 或 V | |

五、平行平面、垂直平面和倾斜面的磨削

(一) 平行平面的磨削

磨削工件上相互平行的两个平面或平行于某一基准面的平面,是平面磨削的主要工作内容。磨削平行面需要达到的技术要求是:平面本身的平面度和表面粗糙度、两平面间的平行度及尺寸精度。一般磨削步骤是:

(1) 应首先清除工件定位底面的毛刺和热处理后的氧化层。工具一般选择锉刀、砂皮、油石或废旧砂轮块等。同时检查工件的磨削余量。工件批量大时,可根据余量多少分组、分批磨削。

(2) 将工件排列在电磁吸盘上并通电将工件吸住。

(3) 启动机床液压油泵,砂轮做连续横向进给移动至工件上方;摇动垂直进刀手轮,调整磨头高度;调整纵向进给挡铁。

(4) 磨削方法。

① 横向磨削法

横向磨削法是最常用的一种方法。每当工作台纵向行程终了时,砂轮主轴做一次横向进给,待工件上磨去一层余量后,砂轮再做垂直进给,直至切除全部余量(图 2.4-8 a)。为获得较高的平行度,可将工件翻身,反复多磨几次。

这种磨削方法发热较小,排屑和冷却条件较好,因而容易保证工件的平行度和平面度,但生产效率较低。适用于长而宽的平面工件。

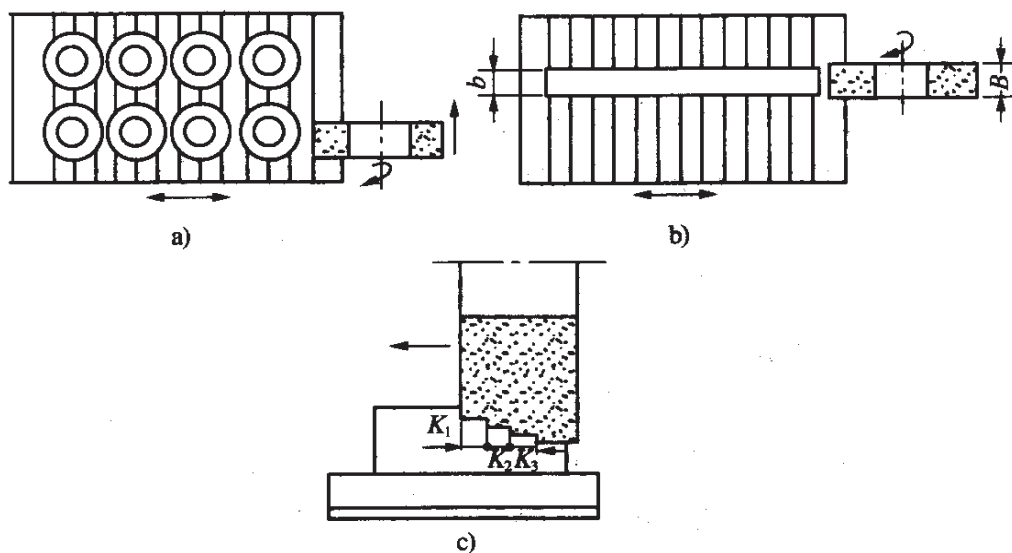


图 2.4-8 横向磨削法

② 切入磨削法

当砂轮宽度 B 大于工件磨削面宽度 b 时,可采用切入磨削法(图 2.4-8 b)。磨削时,砂轮不做横向进给,节省了机动时间。在磨削将结束时,砂轮做适当横向移动,可降低工件表面的粗糙度。

③ 深磨削法

深磨削法是一种高效磨削方法。粗磨时,采用阶梯砂轮可提高垂直进给量。精磨时阶梯砂轮可改善砂轮的受力情况,对减低工件表面粗糙度和减小平行度误差是有利的。根据工件的磨削余量,将砂轮修整成阶梯形(图 2.4-8 c)),并采用较小的横向进给量,阶梯 $a=0.05\text{ mm}$, $k_1+k_2+k_3=0.5B$ 。运用这种方法,机床必须有较高的刚度。

④ 修整砂轮

利用装在磨头上的金刚石修整器修整砂轮。

(二) 垂直平面磨削

垂直平面是指被磨平面与基准平面成 90° 角的平面。工件装夹的方法很多,但不论哪种方法都要保证平面间的垂直度要求和表面粗糙度。

1. 用精密平口钳装夹工件

磨削垂直面时,先把平口钳的底平面吸紧在电磁吸盘上,再把工件夹在钳口内,先磨削第一面,然后把平口钳连同工件一起翻转 90° ,将平口钳侧面吸紧在电磁吸盘上,再磨削垂直面。

2. 用精密角铁装夹工件

精密角铁是用铸铁制成的,具有两个相互垂直的工作平面(图 2.4-9),垂直度公差为 0.005 mm ,因此可以达到较高的加工精度。磨削时先将角铁吸紧在电磁吸盘上,把工件精加工过的面紧贴在角铁的垂直面上,再用百分表找正被加工平面成水平位置,最后用压板将工件压紧。这种方法可以获得较高的垂直精度,适用于工夹具的制造。

3. 用导磁直角铁装夹工件

导磁直角铁的四个工作面是相互垂直的。它由纯铁 1 和黄铜片 2 制成(图 2.4-10)。使用时,黄铜片须与电磁吸盘的绝磁层对齐,电磁吸盘上的磁力线就会延伸到导磁直角铁上。这样,当电

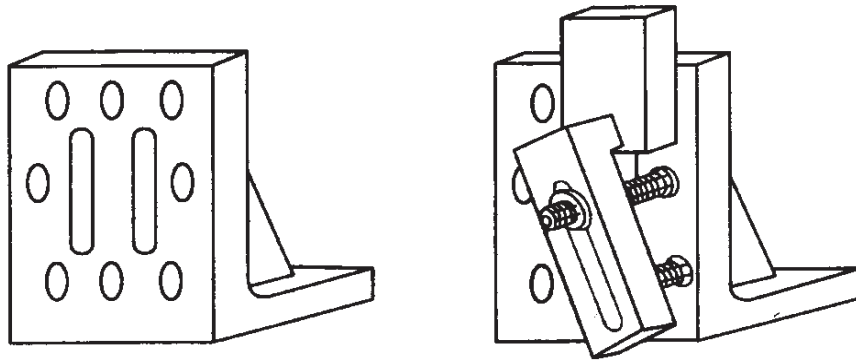


图 2.4-9 用精密角铁装夹工件

磁吸盘通电时,工件的侧面就会吸紧在导磁直角铁的侧面上,从而达到较高的垂直度。这种方法适用于比较狭长的工件。

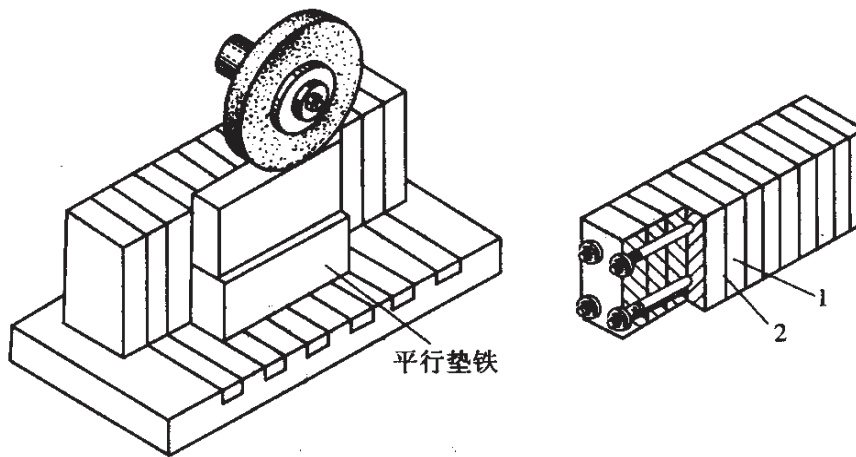


图 2.4-10 用导磁直角铁装夹工件

1—纯铁 2—黄铜片

4. 用精密 V 形铁装夹工件

图 2.4-11 所示为用精密 V 形铁装夹圆柱工件,磨削端面,保证端面对圆柱轴线的垂直度要求。此法适用于磨削较大的圆柱端面零件。

5. 用垫纸法磨削垂直面

有时缺少上面提到的工具,可采用垫纸法,找正垂直面进行磨削。

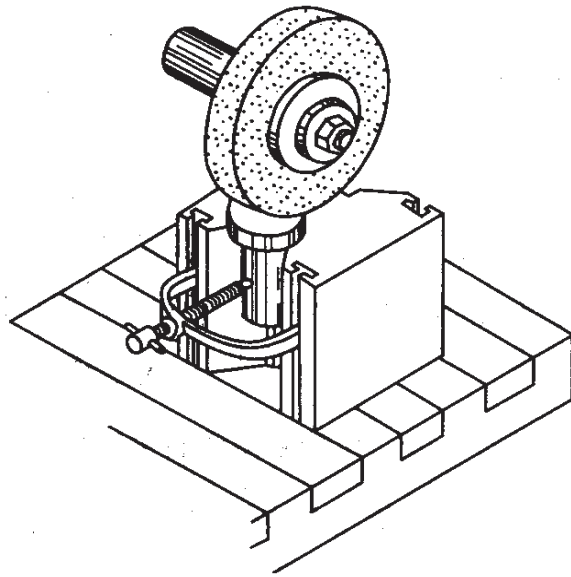


图 2.4-11 用精密 V 形铁装夹工件

(1) 用百分表找正垂直面

将百分表吸在磨头上(图 2.4-12),升降磨头,测量 A 面的垂直度误差,并在工件底面适当的部位垫纸,使百分表读数在要求的范围内变动。然后磨削 B 面,保证 A、B 两面垂直度要求。

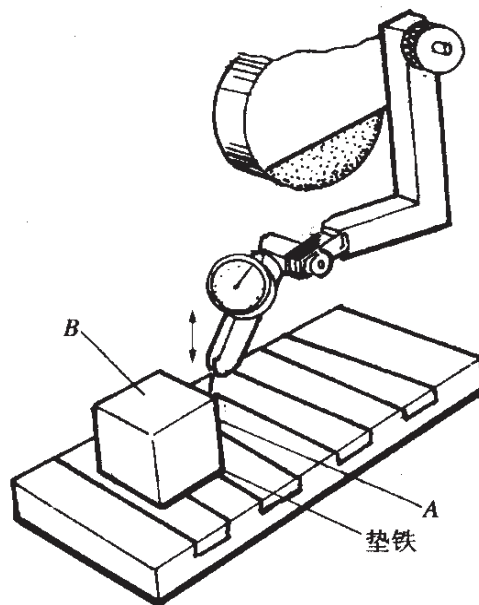


图 2.4-12 用百分表找正垂直面

(2) 用圆柱角尺找正垂直面

将圆柱角尺放在平板上,再将工件已磨好的平面靠在圆柱角尺的母线上,看两者间的透光,根据透光的大小、上下位置,判断在什么位置垫纸(图 2.4-13)。如上段透光,则应在右端面垫纸;如下段透光,则应在左端面垫纸。一直垫至不透光为止,然后将工件连同垫好的纸一起放在电磁吸盘上,通电吸住,磨出平面。这种方法的特点是,操作麻烦,精度不易控制,生产率低。

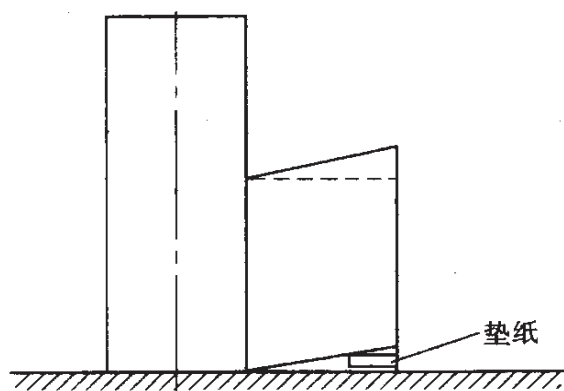


图 2.4-13 用圆柱角尺找正垂直面

(3) 用专用百分表座找正垂直面

使用之前,必须校对百分表,方法如图 2.4-14 a)所示。把圆柱角尺放在平板上,百分表座的定位点及百分表触点均与圆柱角尺接触,百分表指针调零。再测量工件,方法同上,观察百分表的读数,如果读数大了,就在工件右端垫纸(图 2.4-14 b)),反之则在左端垫纸。直到百分表读数再次对零。然后将工件连同垫纸一起放在电磁吸盘上,磨出平面。这种方法加工精度较高,但找正时要防止百分表走动。

(三) 倾斜面磨削

倾斜面与基准平面的倾斜程度可以用斜角或斜度来表示。斜角 β 即二面间夹角,斜度 S 是表示棱体斜面大、小端高度之差与棱体长度的比,即

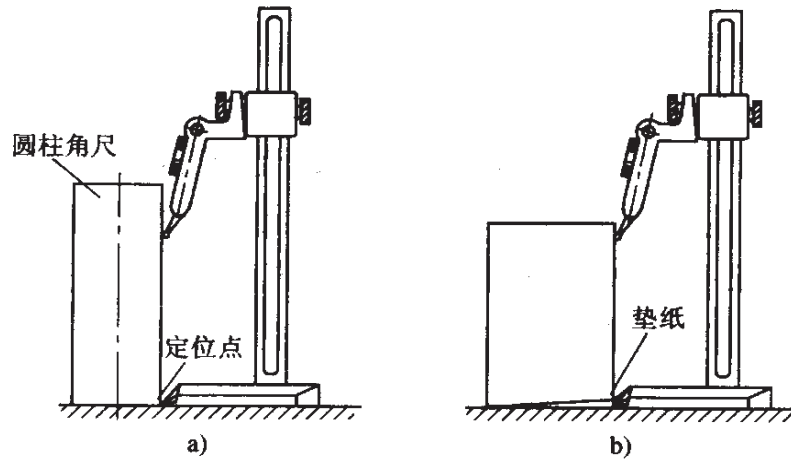


图 2.4-14 用专用百分表座找正垂直面

$$S = (H - h) / L$$

式中 H ——斜面大端高度(mm);

h ——斜面小端高度(mm);

L ——长度(mm);

斜度 S 与角度 β 之间的关系为:

$$S = \tan\beta$$

1. 用正弦精密平口钳装夹

正弦精密平口钳主要由带精密平口钳的正弦规与底座组成(图 2.4-15 a)。将工件装夹在平口钳中,在正弦圆柱 4 和底座 1 的定位面之间垫入块规组 5,使正弦规与工件一起倾斜成需要的角度,即待磨平面处于水平位置(图 2.4-15 b),将正弦圆柱 2 用锁紧装置紧固在底座的定位面上,同时拧紧螺钉 3,通过撑条 6 把正弦规紧固。这样便可进行磨削了。这种装置最大的倾斜角为 45° 。

2. 用正弦电磁吸盘装夹

把正弦精密平口钳的平口钳换成电磁吸盘,便成了正弦电

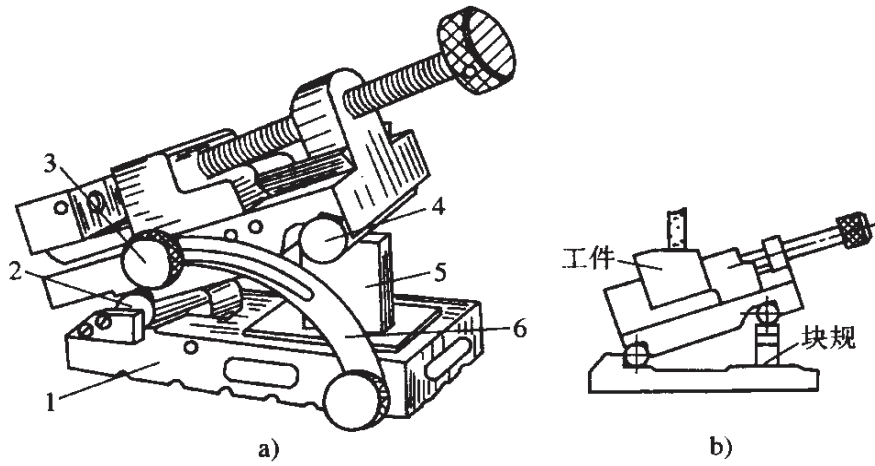


图 2.4-15 用正弦精密平口钳装夹工件

1—底座 2—正弦圆柱 3—螺钉
4—正弦圆柱 5—块规 6—撑条

磁吸盘(图 2.4-16 a))了。工件安装时在纵向行程方向应找正。这种装置最大的倾斜角同样为 45° , 适用于磨削扁平工件(图 2.4-16 b))。

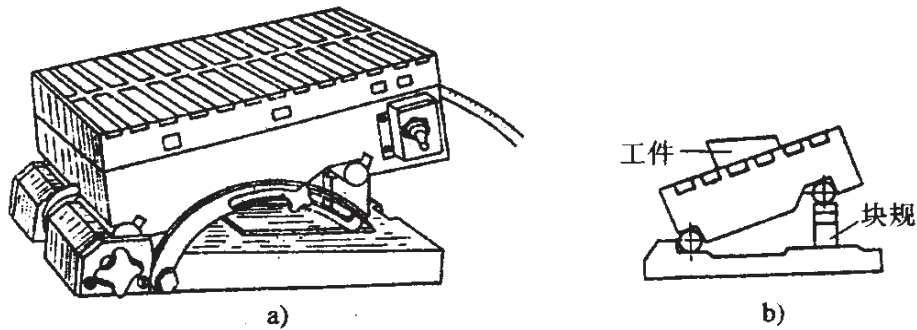


图 2.4-16 用正弦电磁吸盘装夹工件

3. 用导磁 V 形铁装夹

导磁 V 形铁(图 2.4-17 a))的构造和工作原理与导磁铁相似,它的两工作面的夹角应根据工件要求制成。图 2.4-17 b)和 c)是磨削斜面时装夹工件的示意图。

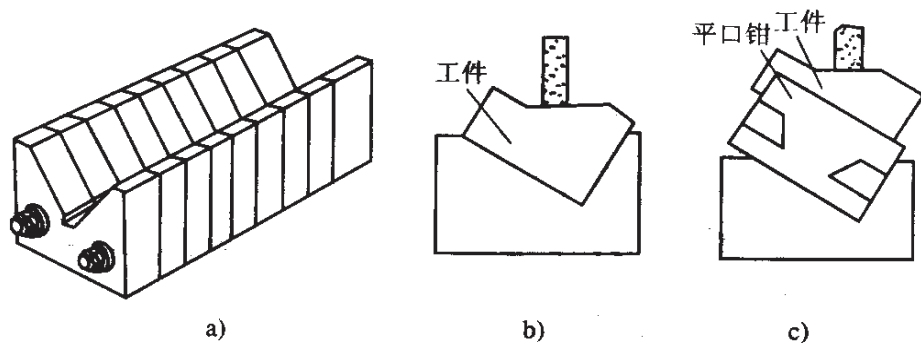


图 2.4-17 用导磁 V 形铁装夹磨斜面

4. 用正弦规和精密角铁装夹

装夹前应根据工件的斜角算出块规组的高度(图 2.4-18 a)),然后将正弦规侧面紧固在精密角铁垂直面上,工件放在正弦规上并用压板螺钉压紧(图 2.4-18 b))。

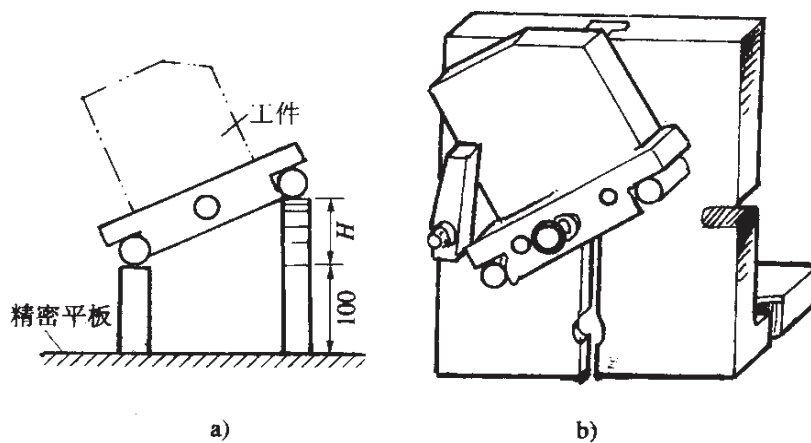


图 2.4-18 用正弦规和精密角铁装夹工件

六、薄片平面的磨削

有些工件如垫圈、摩擦片和镶钢导轨等较薄而狭长的工件,刚性差,散热困难,磨削时很容易受热变形和受力变形,需要采取各种措施来减少工件的发热和变形。

(一) 磨削参数选择

选用较软的砂轮,采用较小的磨削深度和较高的纵向进给速度,供应充分的磨削液等来改善磨削条件。

(二) 装夹方法

1. 垫弹性垫片

在工件下面垫很薄的橡皮或海绵等弹性物质(图 2.4-19),并交替磨削两平面。因橡皮等能够压缩,因而减少工件的弹性变形,磨出的工件较平直。当工件两平面交替磨削几次后,工件的平面度误差会逐渐减小。

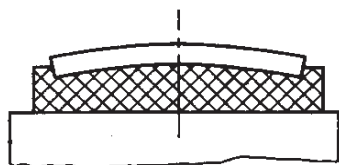


图 2.4-19 垫弹性垫片法



图 2.4-20 垫纸法

2. 垫纸

首先要分辨出弯曲的方向,用电工纸垫入空隙处,并粘在工件上(图 2.4-20),以垫平的一面吸在电磁吸盘上,磨另一面。磨出一个基准面并交替磨削两面。

3. 涂蜡

工件一面涂以白蜡,并在砂轮端平面上摩擦,使之与工件齐平,吸住该面磨另一面。磨出一个基准面并交替磨削两面。



图 2.4-21 涂蜡法

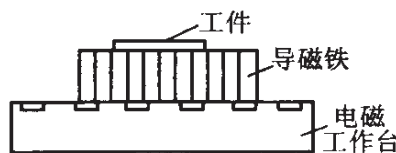


图 2.4-22 用导磁铁法

4. 用导磁铁

为了减小电磁对工件的吸力,可以把工件放在导磁铁上(图

2.4-22)。导磁铁的绝磁层与电磁吸盘绝磁层对齐,导磁铁的高度应适当,保证工件能吸牢。由于导磁铁作用减小磁力线对工件的吸力,而使工件弹性变形得到改善。

5. 在外圆磨床上磨削

薄片环形工件可空套在夹具端面的小台阶上(图 2.4-23),靠摩擦力带动工件旋转,弹性变形基本不存在。转动头架时,用竹片轻挡工件的被磨削面。两面交替磨削。磨削前要将砂轮修成内凹,以减小工件的变形。

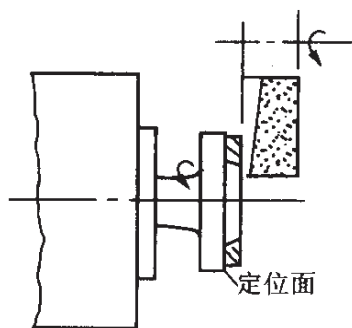


图 2.4-23 在外圆磨床上磨削

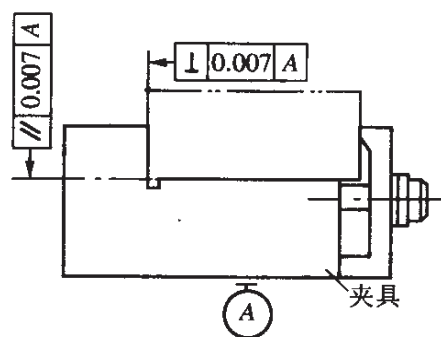


图 2.4-24 用专用夹具

6. 用夹具

有些零件如长导轨,磨削时可以采用专用夹具装夹(图 2.4-24),将工件一面磨好,减少弹性变形。然后以此面为基准吸在电磁吸盘上磨另一平面。

7. 先研磨出一个基准面

先用手工或机械方法研磨出一个基准面(图 2.4-25),然后吸住磨另一面,再交替磨削。

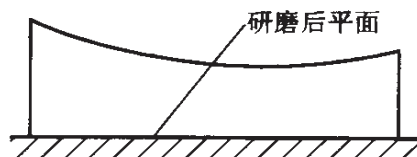


图 2.4-25 先研磨出一个基准平面

8. 利用工作台剩磁

工作台剩磁吸力比较小,可以利用这一点装夹小工件(图 2.4-26),减小弹性变形。注意磨削深度一定要小,并充分冷却。

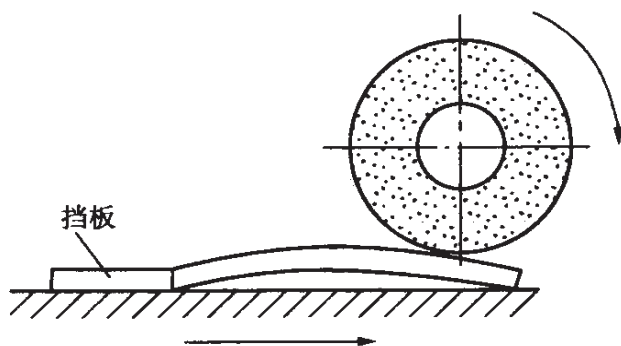


图 2.4-26 利用工作台剩磁

七、平面的精度检验

主要检验平面的平面度、平行度、垂直度、角度以及尺寸精度。

(一) 平面度的检验

1. 透光法

用样板平尺检验。样板平尺有刀刃式(也叫直刃尺)、宽面式和楔式等几种,以刀刃式最准确,应用最广。

测量时,将样板平尺刃口放在被测平面上,对着光源看透光情况。可以多观察几个方向。依据经验,估计出平面误差的大小。这种方法比较常用。

2. 着色法

在工件的被测平面上均匀地涂上一层极薄的红丹粉或蓝油,再将工件放在精密平板上,平稳地前后左右移动几下,取下工件,观察平面上摩擦痕迹的分布情况,就可以确定平面度的好坏。

3. 用千分表检验

在精密平板上用三只千斤顶将工件顶住,用千分表把工件表面的 A、B、C、D 四个点调至高度相等,误差不大于 0.005 mm。

再用千分尺测量整个平面,看千分表的读数是否有变化,变动量即是平面度误差(图 2.4-27)。

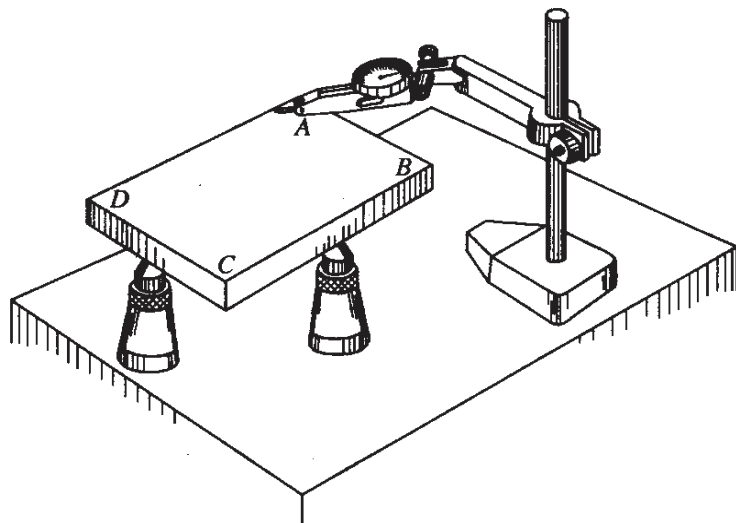


图 2.4-27 用千分表检验平面度

(二) 平行度的检验

1. 用千分尺或杠杆式千分尺测量

当基准面的平面度符合要求时,可以采用此法。相隔一定距离测量厚度,厚度差值的最大值即为工件的平行度误差。

2. 用百分表或千分表测量

将工件和表架放在平板上,装上测量头,顶在被测平面上,然后移动工件或拖动表架,读数变动量的最大值即为工件的平行度误差。

(三) 垂直度的检验

1. 用角尺检验

检验小型工件两平面的垂直度时,可以用角尺测量。测量时,先将角尺的一个边紧贴平板的一个面,让角尺的另一个边逐渐靠近工件,看透光情况判断垂直度误差。

2. 用圆柱角尺检验

圆柱角尺检验在实际生产中应用很广。检验时将圆柱角尺放在精密平板上,被测工件慢慢向圆柱角尺的素线靠拢,根据透光情

况判断垂直度误差。

3. 用百分表直接测量

上面两种方法只能定性地判断垂直度的情况；不能作定量分析。为了确定工件垂直度的具体数值，可采用百分表直接测量(图 2.4-28 a))。测量时，应事先将工件的平行度测量好，将工件的平面轻轻地向圆柱量棒靠紧，此时可从百分表上读出数值；工件转向 180° ，百分表及圆柱量棒位置不动，将另一平面也轻轻靠向圆柱量棒，从百分表上再读出数值。两次读数差值的一半，即为底面与被测平面的垂直度误差(图 2.4-28 b))。

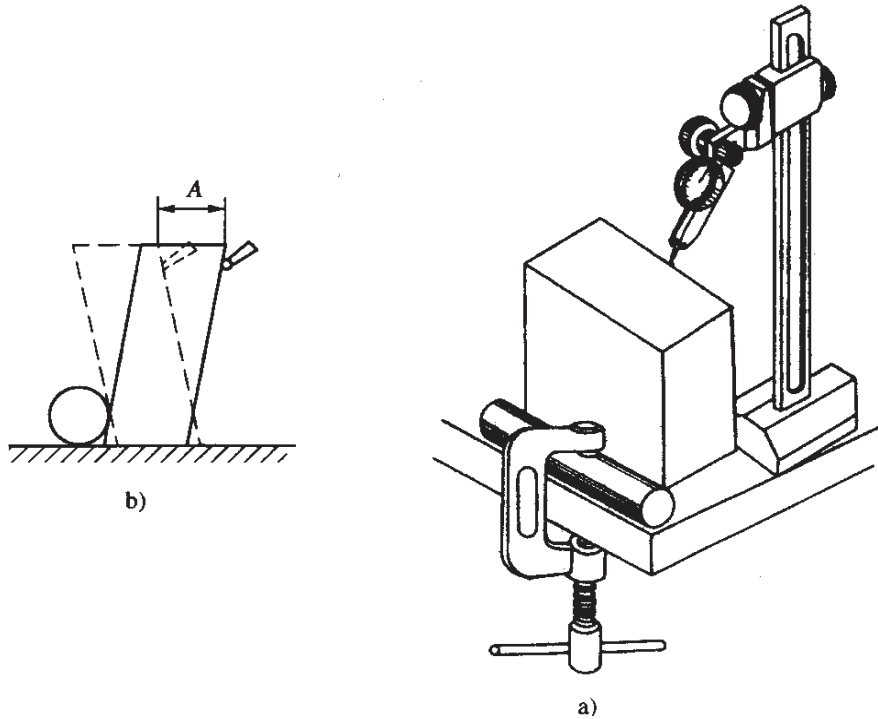


图 2.4-28 用百分表直接测量垂直度

4. 用精密角铁测量

如图 2.4-29 所示，将工件的一面紧贴在精密角铁的垂直面上，百分表测量头在工件的另一边上从头至尾移动，百分表在全长两点上读数差，就是工件在该距离上的垂直度偏差值。

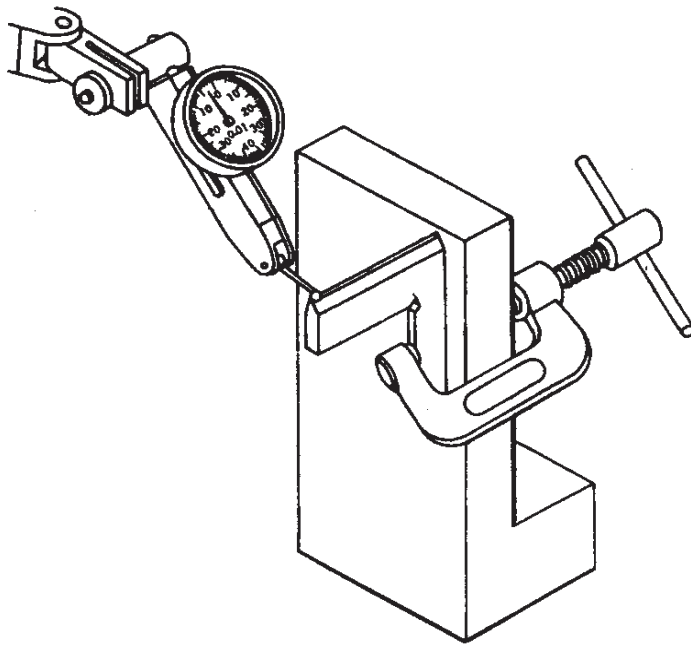


图 2.4 - 29 用精密角铁测量垂直度

(四) 角度的检验

斜面与基准面的夹角,如果要求不太高时,可以用角度尺或万能游标角度尺检验。精度要求高时,可以用正弦规检验。小型工件的斜角,可以用角度量块比较测量(图 2.4 - 30)。

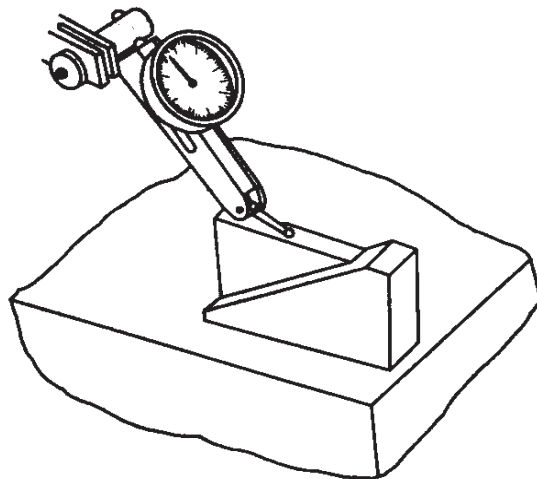


图 2.4 - 30 用角度量块测量角度

八、平面磨削常见的缺陷和消除措施

平面磨削常见的缺陷和消除措施见表 2.4-7。

表 2.4-7 平面磨削常见的缺陷和消除措施

| 缺陷名称 | 产生原因 | 消除措施 |
|-----------|---|---|
| 工件表面烧伤 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 径向进刀量过大; 2. 冷却不充分; 3. 砂轮硬度较硬; 4. 砂轮钝化等 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 根据工件的形状和尺寸大小严格控制径向进刀量,特别是薄片工件; 2. 保持冷却液清洁,充分冷却并注意冷却液的浇注位置; 3. 选用较软砂轮; 4. 修磨砂轮 |
| 表面进给痕迹 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 砂轮素线不直; 2. 进给量过大; 3. 砂轮主轴轴承间隙大 | 调整机床主轴轴承间隙,并精细修整砂轮 |
| 工件平面呈中凹形 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 进给量过大; 2. 砂轮硬度偏高; 3. 冷却不充分 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 减小进给量; 2. 选择合适砂轮,改善砂轮自锐性; 3. 充分冷却 |
| 塌角或侧面呈喇叭口 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 主轴轴承间隙过大; 2. 砂轮磨钝; 3. 进给量过大 | 在工件两端加辅助块一起磨削 |
| 表面产生波纹 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 磨头系统刚性不足; 2. 塞铁间隙过大; 3. 主轴轴承间隙过大; 4. 砂轮不平衡; 5. 砂轮硬度太硬,砂轮堵塞; 6. 工作台换向冲击太大; 7. 液压系统振动; 8. 径向进给量过大 | 分别找出振动部位,然后采取措施消除 |

续 表

| 缺陷名称 | 产生原因 | 消除措施 |
|-------|--|---|
| 线性划伤 | 1. 磨削液太少; 2. 工件表面排屑不良 | 加大切削液流量,调整好切削液喷嘴位置 |
| 平面度超差 | 工件变形 | 采取措施减少工件变形;合理选择磨削用量;修整砂轮 |
| 平行度超差 | 1. 工件定位面和电磁吸盘表面不清洁; 2. 有电磁吸盘表面毛刺或本身平面度超差; 3. 砂轮磨损不均匀 | 1. 擦净; 2. 修磨电磁吸盘,较小的工件可放在吸盘的两端; 3. 修整砂轮 |

第五节 无心磨削

无心磨削就是工件不定中心自由地置于磨削轮、导轮之间,并以托板支承所进行的磨削。无心外圆磨削示意图 2.5-1。

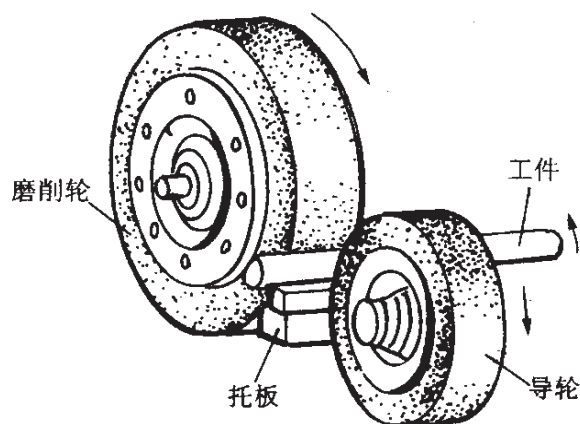


图 2.5-1 无心外圆磨削示意图

无心磨削主要有无心外圆磨削和无心内圆磨削。无心磨削可以对工件的外圆面、内圆面、内外圆锥面等进行磨削,还能磨削螺

纹及其他形面,是一种能适应大批量生产的高效磨削方法。外圆磨削的加工精度可达 IT6~IT7 级;圆度可达 $0.0005\sim 0.001$ mm,表面粗糙度可达 $R_a0.2\sim 0.08$ μm 。

一、无心磨削的基本原理

(一) 无心磨削的特点

(1) 外圆磨削工件两端不打中心孔,不用顶针支承工件。由于工件不定中心,磨削余量相对减少。

(2) 外圆磨削不能磨轴向带槽沟的工件,磨削带孔的工件时,不能纠正孔的轴心线位置,工件的同轴度较低。

(3) 内圆磨削一般情况下只能加工可放于滚柱上滚动的工件,特别适宜磨削套圈等薄壁工件。磨套类零件由于零件是自身外圆为定位基准,因此不能修正内、外圆间的原有同轴度误差。

(4) 无心磨削机动时间与上、下料时间重合,易于实现磨削过程自动化,生产效率高。

(5) 在无心磨削过程中,工件中心的位置变化大小取决于工件磨削前的原始误差、工艺系统刚性、磨削用量及其他磨削工艺参数(如工件中心高、托板角等)。

(6) 无心磨削工件运动的稳定性、均匀性取决于机床传动链、工件形状、重量,导轮及支承的材料、表面形态,磨削用量及其他工艺参数。

(7) 无心磨削机床的调整时间较长,对调整机床的技术要求也较高,不适用于单件小批量生产。

(二) 无心外圆磨削过程

1. 导轮转速,倾角与工件转速的关系

在无心外圆磨削中,导轮的直径尺寸和转速都比磨削轮要小,工件与导轮之间的摩擦力较大,所以工件被导轮带动并与导轮成相反方向旋转,同时为了满足贯穿法磨削的要求,导轮轴心线在垂

直面内倾斜一个 θ 角,此时导轮的圆周速度 v_o 分解为垂直方向分速度 v_w 和水平方向分速度 v_f 。因工件的纵向进给速度等于导轮纵向分速度,工件的圆周速度等于导轮的切向分速度。如果导轮与工件表面之间无滑动,则工件的纵向进给速度取决于导轮的转速和倾角的大小。

导轮的倾角增大时,工件纵向进给速度增大,生产效率提高,但工件表面粗糙度值增大。通常精磨时取 $\theta=1^{\circ}30' \sim 2^{\circ}30'$;粗磨取 $\theta=2^{\circ}30' \sim 4^{\circ}$ 。

导轮倾角、转速与工件转速的关系见图 2.5-2。

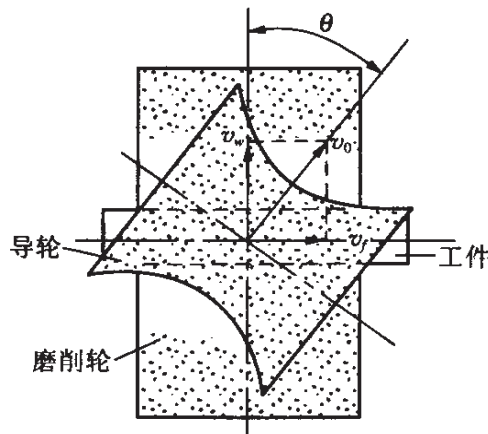


图 2.5-2 导轮倾角、转速与工件转速的关系

$$v_w = v_o \cdot \cos\theta$$

$$v_f = v_o \cdot \sin\theta$$

式中 v_w ——工件的圆周速度;
 v_f ——工件的纵向进给速度;
 v_o ——导轮的圆周速度;
 θ ——工件与导轮轴心线夹角(导轮倾角)。

2. 导轮表面的外形

贯穿法磨削时导轮轴线在垂直面内倾斜 θ 角,如果导轮是圆柱形的,则工件与导轮将是点接触,工件无法正常磨削,为了使工

件与导轮沿母线全长接触,导轮外形应为单叶双曲线回转体。如图 2.5-3 所示,设想在两块薄圆盘沿其圆周布满许多拉紧的细线,形成一个圆柱形的表面,见图 2.5-3 a),倾斜的圆柱形表面代表导轮,处于水平位置的直线 AB 代表工件圆柱形表面的一根母线,只能与导轮的母线 KM 接触于一点 O。如果将两块圆盘按图 2.5-3 b)所示方向扭转,直至导轮的母线 KM 处于水平位置,与工件母线 AB 全部接触,这时导轮表面应是一个旋转双曲面。因此,当导轮倾斜 θ 角时,导轮表面必将修整为旋转双曲面。

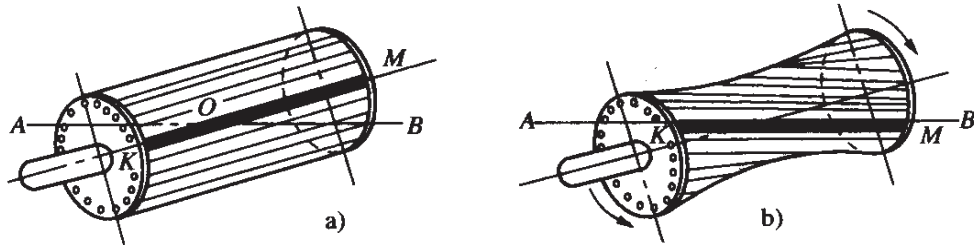


图 2.5-3 旋转双曲面的形成

3. 工件在磨削过程中的状态

工件在磨削过程中的状态分析见图 2.5-4。

工件置于导轮及托板之间,以导轮工作面上的 C 点和托板工作面上的 B 点定位,借助于横向进给运动使工件与磨削轮接触进行磨削加工。在加工过程中,导轮、磨削轮均按顺时针方向旋转,工件磨削的线速度方向与磨削轮接触点 G 的线速度方向一致,工件的运动轨迹是磨削轮和导轮共同作用的结果。导轮是单叶回转双曲面,其工作面上各点直径不同,各点的线速度也不相同。由图 2.5-4 a)、b)和 c)知,磨削轮对工件的径向作用力为 R_g 、切向作用力为 P_g ,合力 $N_g = \vec{R}_g + \vec{P}_g$ 。导轮对工件的径向作用力 R_c 、切向作用力 P_c ,合力 $N_c = \vec{P}_c + \vec{R}_c$ 。托板对工件的法向作用力 R_b 、切向作用力 P_b ,合力 $N_b = \vec{P}_b + \vec{R}_b$ 。上述各力在工件磨削加工过程中始终保持着平衡状态。

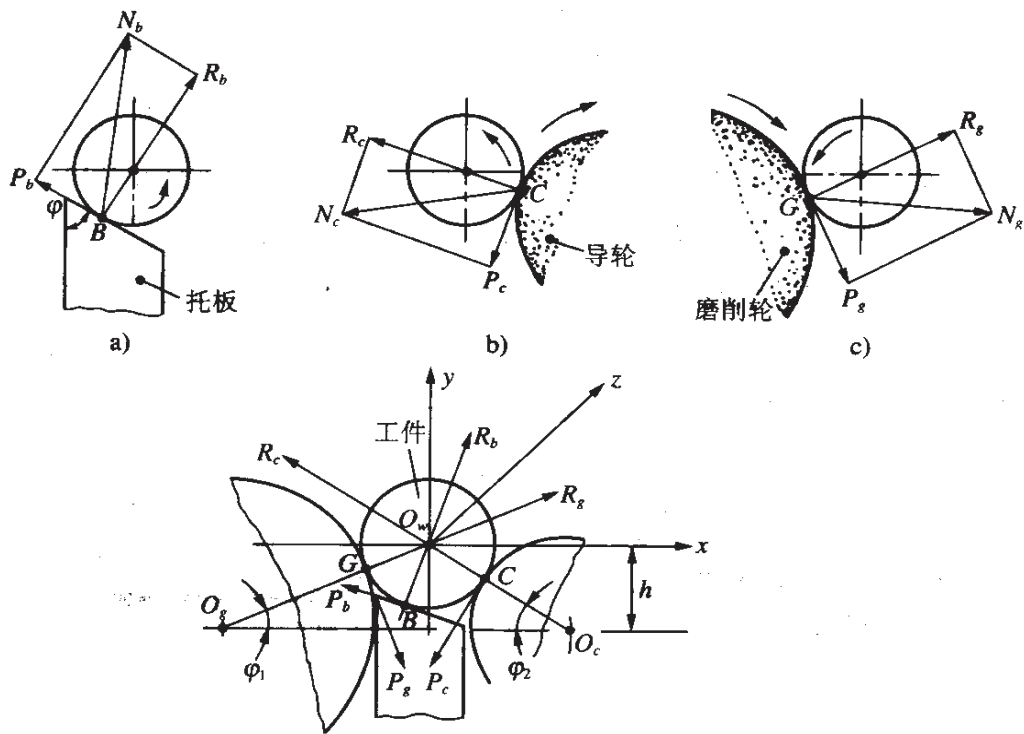


图 2.5-4 无心外圆磨削受力分析

(三) 无心外圆磨削的成圆分析

工件外圆无心磨削的加工面就是定位基面,工件在磨削前的原始圆度误差及磨削后的表面圆度误差都会反映为定位误差,影响工件的外圆精度。

工件外圆的形成过程见图 2.5-5。设工件在 G 点开始磨削,在磨削 GG_1 段圆弧时,其定位误差主要取决于工件在精车外圆时的圆度误差(见图 2.5-5 a)),即磨削的原始误差。当初磨点 G 到达托板定位点 B 时,则 B 点的定位误差取决于已磨削表面的圆度误差,此时 C 点的定位误差仍取决于精车外圆时的原始圆度误差(图 2.5-5 b))。在初磨点 G 未触及导轮定位点 C 之前,工件磨削表面形状取决于精车外圆时的原始圆度误差及 B 点的定位误差(图 2.5-5 c))。当初磨点 G 到达导轮定位点 C 时,引起 C 点定位误差的变化,并影响到磨削的表面形状(图 2.5-5 d))。工

件在磨削一周后,其圆度误差应为磨前原始圆度误差与磨后的合成误差之差。所以在无心磨削加工中只有调整好各有关参数,才能加工出合格的外圆。

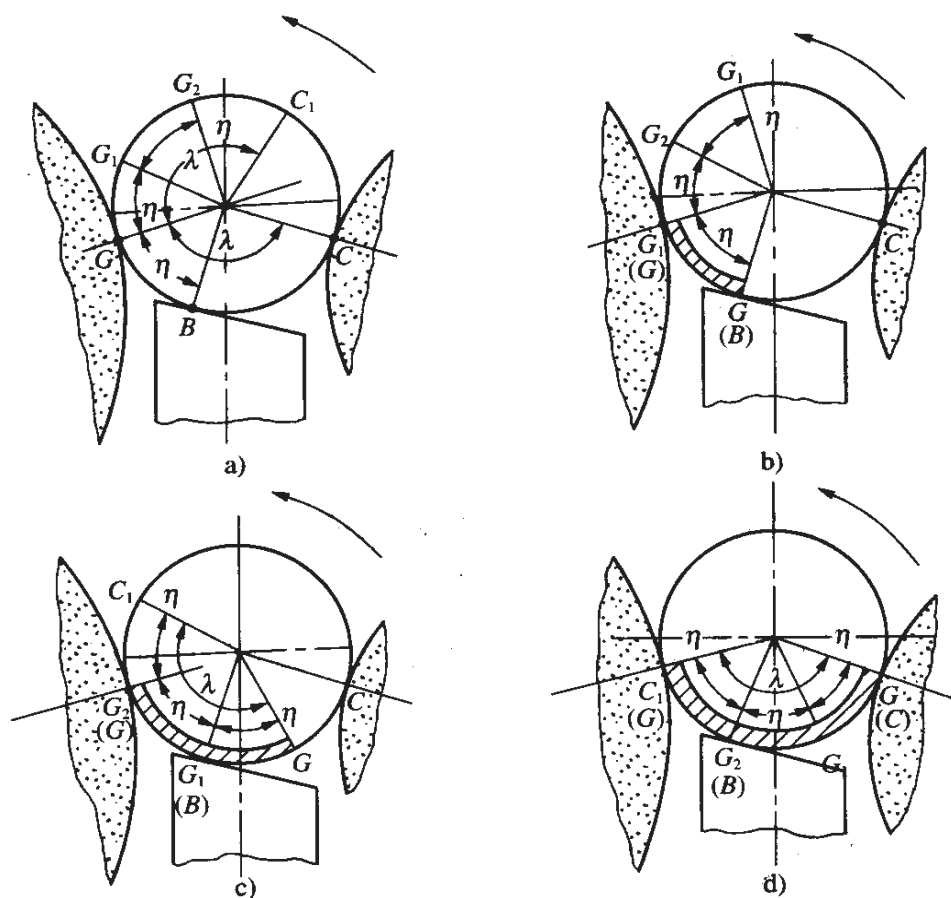
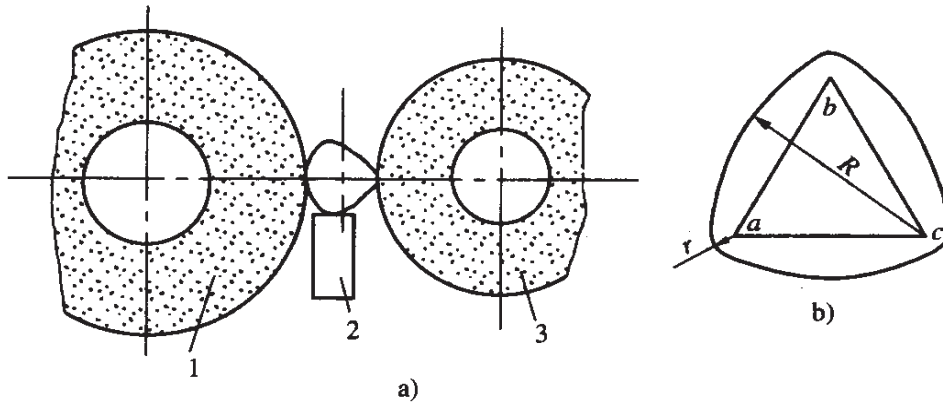


图 2.5-5 工件外圆的形成过程

无心磨削时必须使工件的中心高于磨削轮与导轮的中心连线,工件才能磨圆。

图 2.5-6 所示为工件中心与两轮中心等高,而且托板为水平面支承时的情况。两轮与工件外圆的接触点位于工件同一直径上,在磨削过程中,如遇工件表面上一微小凸出部分,当与导轮接触时导轮把工件推向磨削轮,于是在工件凸出部分的对面被磨出一个凹部,且凹面深度与凸点深度相等。当工件凸出部分与磨削

轮接触时,凹部正好与导轮接触,工件靠向导轮,于是凸出部分无法磨去。虽然磨出的工件在各方向上直径都相等,但不是圆形,而是一个等直径棱圆,如三角形或多边形棱圆等,如图 2.5-6 b)。



a) 工件中心与两轮中心等高 b) 工件是等直径的三棱圆

图 2.5-6 工件中心与两轮中心等高产生棱圆

1—磨削轮 2—托板 3—导轮

图 2.5-7 所示为工件中心比两轮中心线高,且托板顶平面为斜面的情况。

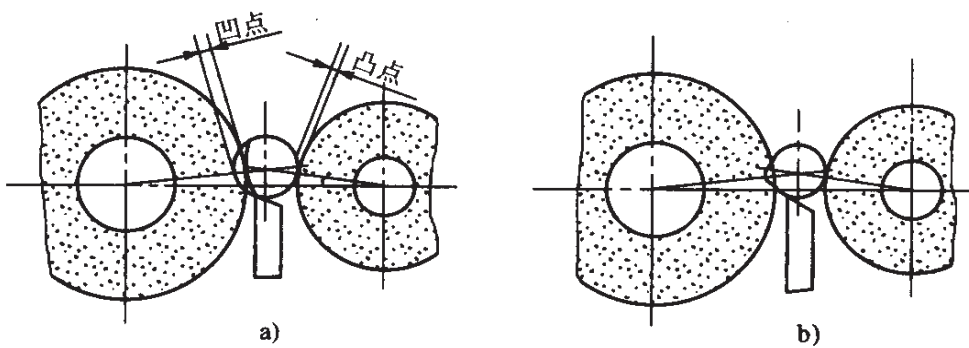


图 2.5-7 无心磨削工件被磨圆的分析

工件的凸出部分与凹部不会在同一直径上,因而工件凸部会被磨削,凸度逐渐减小,而凹面会逐渐变浅,这样不断磨削的结果,工件逐渐被磨圆。

二、无心磨削方法和磨削用量

(一) 无心磨削方法

常用的无心磨削方法有纵向贯穿磨法(通磨外圆)、切入磨法、定程磨法、混合磨法、无心顶尖磨法及无心内圆磨法等,见表 2.5-1。

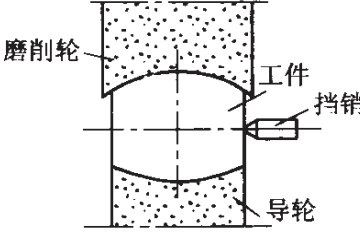
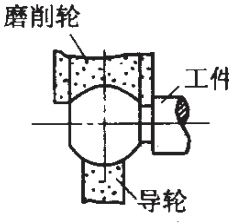
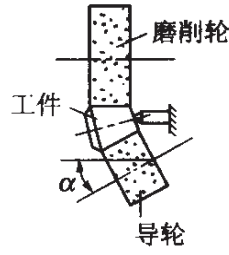
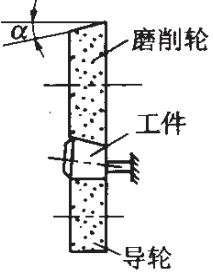
表 2.5-1 无心磨削常用的方法

| 磨削方法 | 磨削表面特性 | 简图 | 说明 |
|--------------|------------|----|--|
| 纵向贯穿磨法(通磨外圆) | 细长轴 | | <p>导轮倾角 $1^{\circ}30'$ ~ $2^{\circ}30'$, 若工件弯曲度大需多次磨削时为 $3^{\circ} \sim 4^{\circ}$, 工件中心应低于砂轮中心, 工件直线通过。注意正确调整导板、托架</p> |
| | 同轴同径不连续外圆面 | | <p>工件较短, 磨削重心在磨削轴颈外, 工件要靠在一起, 形成一个整体, 贯穿磨削</p> |
| | 外圆锥面 | | <p>修导轮成螺旋形带动工件前进磨削, 又称为强迫通磨, 适宜大批量生产</p> |

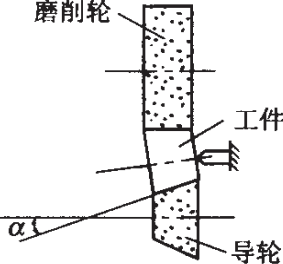
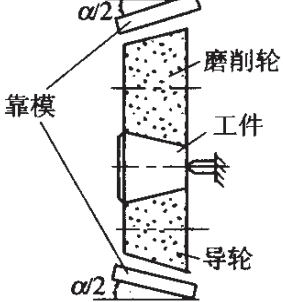
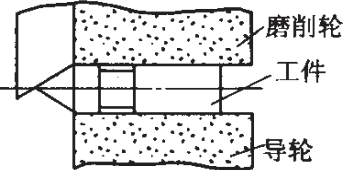
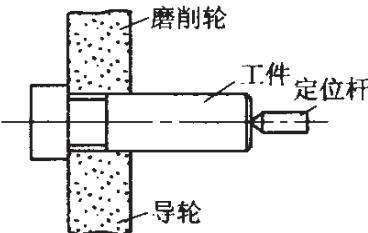
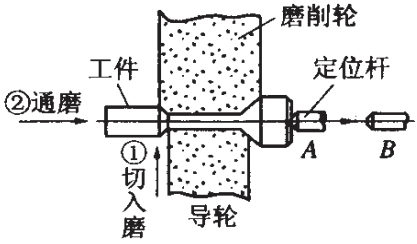
续表

| 磨削方法 | 磨削表面特性 | 简图 | 说明 |
|--------------|--------|----|--|
| 纵向贯穿磨法(通磨外圆) | 球面滚子外圆 | | <p>修导轮成相应形状,通磨,适用于大批量生产</p> |
| | 圆球面 | | <p>鼓轮开有槽口绕常规导轮慢速旋转,槽口相当于磨削支板,导轮回转使工件自转,压紧轮使工件与导轮接触保证恒速自转</p> |
| 切入磨法 | 台阶轴外圆 | | <p>导轮倾角 $15' \sim 30'$,工件在很小的轴向力作用下贴靠挡销,修整导轮磨削轮,使其形状和尺寸与工件相对应。导轮进给或导轮与磨削轮同时进给</p> |
| | 台阶轴外圆 | | <p>导轮倾斜 $15' \sim 30'$,磨削轮修整成一个台阶,尺寸与工件相对应。一般导轮进给</p> |

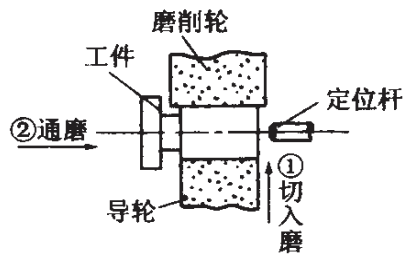
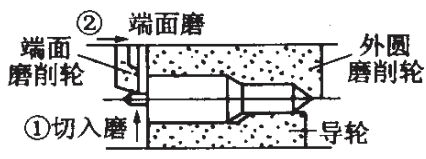
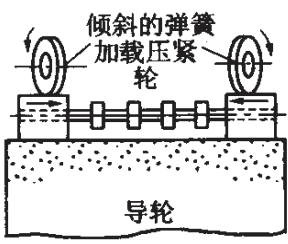
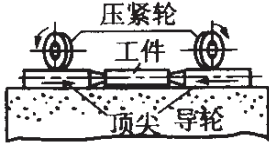
续表

| 磨削方法 | 磨削表面特性 | 简图 | 说明 |
|------|--------|---|---|
| 切入磨法 | 球面滚子外圆 |  | 导轮、磨削轮都修整成球面,切入磨 |
| | 圆球面 |  | 磨削轮修整为凹球面,导轮进给 |
| | 外锥面 |  | 导轮架转 α 角(等于工件锥角),适于 α 较小的场合 |
| | 外锥面 |  | 将磨削轮修整成斜角为 α ,适于 α 较小的时候 |

续表

| 磨削方法 | 磨削表面特性 | 简图 | 说明 |
|------|---------|---|--|
| 切入磨法 | 外锥面 |  | <p>将导轮修整成斜角 α, 适用于 α 较小时</p> |
| | 外锥面 |  | <p>工件锥角 α 较大时, 磨削轮和导轮都修整成斜角为 $\alpha/2$ 的锥形; 若 $\alpha/2$ 超出机床刻度, 修整磨削轮、导轮时, 要采用斜度为 $\alpha/2$ 靠模</p> |
| | 顶尖形工件外圆 |  | <p>磨削轮修整成相应形状, 导轮送进</p> |
| 定程磨法 | 带端面外圆 |  | <p>通磨外圆后工件顶住定位杆后定程磨削, 适用于阶梯轴、衬套、锥销等</p> |
| 混合磨法 | 带圆角外圆 |  | <p>切入磨-通磨, 切入磨中间外圆与圆弧后, 定位杆由 A 退至 B, 通磨小端外圆</p> |

续表

| 磨削方法 | 磨削表面特性 | 简图 | 说明 |
|--------|--------------|---|--|
| 混合磨法 | 带端面外圆 |  | 切入磨-通磨-定程磨 |
| | 阶梯外圆与端面垂直 |  | 切入磨-端面磨, 切入磨阶梯外圆, 再由端面砂轮轴向进给磨端面 |
| 无心顶尖磨削 | 光滑外圆、阶梯套筒外圆等 |  | <p>同心度和圆度都要求很高($<1\ \mu\text{m}$)的细长工件,用普通贯穿法磨削达不到要求,可在工件每端选配一高精度(公差为$0.5\ \mu\text{m}$)顶尖,此组件由两个弹簧加载的压紧轮压在导轮与基板形成的V形内。压紧轮使顶尖始终顶住工件,导轮转动,顶尖也带动工件转动,磨削轮进给磨削工件。</p> <p>顶尖和工件形成一个整体,在磨削时是不定中心的</p> |
| | 外圆面 |  | |

续表

| 磨削方法 | 磨削表面特性 | 简图 | 说明 |
|---------|----------|----|--|
| 无心内圆磨削法 | 内孔 | | <p>工件在导轮带动下,在支承轮上回转,工件磨削轮中心连线与导轮中心等高,支承轮有振摆</p> |
| | 内孔 | | <p>工件、磨削轮中心连线高于导轮中心,加工精度高</p> |
| | 内孔 | | <p>工件靠外圆定位,由支承块支承,刚性好,常用电磁无心夹具装夹</p> |
| | 内孔 | | <p>工件被压紧轮压在拨盘上,支承块支承,工件中心和主轴中心偏心安装,靠工件端面和拨盘间摩擦力将工件压在支承块上旋转</p> |
| | 滚子轴承圈内球面 | | <p>在轴承磨床上,工件和磨削轮互成 90° 旋转,磨出球面,称为横轴磨削法</p> |

续表

| 磨削方法 | 磨削表面特性 | 简图 | 说明 |
|---------|--------|----|----------------|
| 无心内圆磨削法 | 内锥面 | | 导轮与支承轮一起转过一个角度 |

(二) 无心磨削用量

磨削轮速度一般为 $v_s = 25 \sim 35 \text{ m/s}$, 高速无心磨削可达 $60 \sim 80 \text{ m/s}$, 导轮速度为 $0.33 \sim 1.33 \text{ m/s}$ 。

当 $v_s = 25 \sim 35 \text{ m/s}$ 时的磨削用量见表 2.5-2、表 2.5-3 和表 2.5-4。

表 2.5-2 无心磨粗磨磨削用量(通磨钢制零件外圆)

| 双面的磨削深度 $2a_p$ (mm) | 工件磨削表面直径 d_w (mm) | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 5 | 6 | 8 | 10 | 15 | 25 | 40 | 60 | 80 | 100 |
| | 纵向进给速度 (mm/min) | | | | | | | | | |
| 0.10 | — | — | — | 1 910 | 2 180 | 2 650 | 3 660 | — | — | — |
| 0.15 | — | — | — | 1 270 | 1 460 | 1 770 | 2 440 | 3 400 | — | — |
| 0.20 | — | — | — | 955 | 1 090 | 1 325 | 1 830 | 2 550 | 3 600 | — |
| 0.25 | — | — | — | 760 | 875 | 1 060 | 1 465 | 2 040 | 2 880 | 3 820 |
| 0.30 | — | — | 3 720 | 635 | 730 | 885 | 1 220 | 1 700 | 2 400 | 3 190 |
| 0.35 | — | 3 875 | 3 200 | 545 | 625 | 760 | 1 045 | 1 450 | 2 060 | 2 730 |
| 0.40 | 3 800 | 3 390 | 2 790 | 475 | 547 | 665 | 915 | 1 275 | 1 800 | 2 380 |

续 表

| 纵向进给速度的修正系数与工件材料、砂轮粒度和硬度有关 | | | | | |
|----------------------------|----------------|---------|------|---------|------|
| 非淬火钢 | | 淬火钢 | | 铸 铁 | |
| 砂轮粒度与硬度 | 系数 | 砂轮粒度与硬度 | 系数 | 砂轮粒度与硬度 | 系数 |
| 46M | 1.0 | 46K | 1.06 | 46L | 1.3 |
| 46P | 0.85 | 46H | 0.87 | | |
| 60L | 0.90 | 60L | 0.75 | | |
| 46Q | 0.82 | 60H | 0.68 | | |
| 与砂轮尺寸及耐用度有关 | | | | | |
| 耐用度 $T(s)$ | 砂轮宽度 $b_w(mm)$ | | | | |
| | 150 | | 250 | | 400 |
| 540 | 1.25 | | 1.56 | | 2.0 |
| 900 | 1.0 | | 1.25 | | 1.6 |
| 1 500 | 0.8 | | 1.0 | | 1.44 |
| 2 400 | 0.63 | | 0.8 | | 1.0 |

- 注：1. 纵向进给速度建议不大于 4 000 mm/min。
 2. 导轮倾斜角为 $3^\circ \sim 5^\circ$ 。
 3. 表内磨削用量能得到加工表面粗糙度 $R_a 1.6 \mu m$ 。

表 2.5-3 无心磨精磨磨削用量(通磨钢制零件外圆)

| 1. 精磨行程次数 N 及纵向进给速度 $v_f(mm/min)$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| 精度等级 | 工件磨削表面直径 $d_w(mm)$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | | 10 | | 15 | | 20 | | 30 | | 40 | | 60 | | 80 | | 100 | |
| | N | v_f | N | v_f | N | v_f | N | v_f | N | v_f | N | v_f | N | v_f | N | v_f | N | v_f |
| IT 5 级 | 3 | 1 800 | 3 | 1 600 | 3 | 1 300 | 3 | 1 100 | 4 | 1 100 | 4 | 1 050 | 5 | 1 050 | 5 | 900 | 5 | 800 |
| IT 6 级 | 3 | 2 000 | 3 | 2 000 | 3 | 1 700 | 3 | 1 500 | 4 | 1 500 | 4 | 1 300 | 5 | 1 300 | 5 | 1 100 | 5 | 1 000 |
| IT 7 级 | 2 | 2 000 | 2 | 2 000 | 3 | 2 000 | 3 | 1 750 | 3 | 1 450 | 3 | 1 200 | 4 | 1 200 | 4 | 1 100 | 4 | 1 100 |
| IT 8 级 | 2 | 2 000 | 2 | 2 000 | 2 | 1 750 | 2 | 1 500 | 3 | 1 500 | 3 | 1 500 | 3 | 1 300 | 3 | 1 200 | 3 | 1 200 |

续表

| 纵向进给速度的修正系数 | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 工件材料 | 壁厚和直径之比 | | | | | | | | |
| | >0.15 | 0.12~0.15 | 0.10~0.11 | 0.08~0.09 | | | | | |
| 淬火钢 | 1 | 0.8 | 0.63 | 0.5 | | | | | |
| 非淬火钢 | 1.25 | 1.0 | 0.8 | 0.63 | | | | | |
| 铸钢 | 1.6 | 1.25 | 1.0 | 0.8 | | | | | |
| 2. 与导轮转速及导轮倾斜角有关的纵向进给速度 v_f | | | | | | | | | |
| 导轮转速 (r/s) | 导 轮 倾 斜 角 | | | | | | | | |
| | 1° | 1°30' | 2° | 2°30' | 3° | 3°30' | 4° | 4°30' | 5° |
| | 纵向进给速度 v_f (mm/min) | | | | | | | | |
| 0.30 | 300 | 430 | 575 | 720 | 865 | 1 000 | 1 130 | 1 260 | 1 410 |
| 0.38 | 380 | 550 | 730 | 935 | 1 110 | 1 270 | 1 450 | 1 610 | 1 790 |
| 0.48 | 470 | 700 | 930 | 1 165 | 1 400 | 1 600 | 1 830 | 2 030 | 2 260 |
| 0.57 | 550 | 830 | 1 100 | 1 370 | 1 640 | 1 880 | 2 180 | 2 380 | 2 640 |
| 0.65 | 630 | 950 | 1 260 | 1 570 | 1 880 | 2 150 | 2 470 | 2 730 | 3 040 |
| 0.73 | 710 | 1 060 | 1 420 | 1 760 | 2 120 | 2 430 | 2 790 | 3 080 | 3 440 |
| 0.87 | 840 | 1 250 | 1 670 | 2 130 | 2 500 | 2 860 | 3 280 | 3 630 | 4 050 |
| 纵向进给速度的修正系数 | | | | | | | | | |
| 导轮直径(mm) | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 500 | | | |
| 修正系数 | 0.67 | 0.83 | 1.0 | 1.17 | 1.33 | 1.67 | | | |

注：1. 精磨用量不应大于粗磨用量(见表 2.5-2)。

2. 表内行程次数是按砂轮宽度 $b_s = 150 \sim 200$ mm 计算的。当 $b_s = 250$ mm 时,行程次数可减少 40%;当 $b_s = 400$ mm 时,减少 60%。

3. 导轮倾斜角磨削 IT5 级精度时用 $1^\circ \sim 2^\circ$; IT6 级精度用 $2^\circ \sim 2^\circ 40'$; IT8 级精度用 $2^\circ 30' \sim 3^\circ 30'$ 。

4. 精磨进给速度建议不大于 2 000 mm/min。

5. 磨轮的耐用度等于 900 s 机动时间。

6. 精磨中最后一次行程的磨削深度: IT5 级精度为 0.015~0.02 mm; IT6 及 IT7 级精度为 0.02~0.03 mm; 其余几次都是半精行程,其磨削深度为 0.04~0.05 mm。

表 2.5-4 切入式无心磨磨削用量

| (1) 粗磨 | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------|-----------|-----------------|----------------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| 磨削直径 d_w (mm) | 3 | 5 | 8 | 10 | 15 | 20 | 30 | 50 | 70 | 100 | 120 | |
| 工件速度 v_w (m/min) | 10~15 | 12~18 | 13~20 | 14~22 | 15~25 | 16~27 | 16~29 | 17~30 | 17~35 | 18~40 | 20~50 | |
| 径向进给速度 (mm/min) | 7.85 | 5.47 | 3.96 | 3.38 | 2.54 | 2.08 | 1.55 | 1.09 | 0.865 | 0.672 | 0.592 | |
| 径向进给速度的修正系数 | | | | | | | | | | | | |
| 与工件材料和砂轮直径有关 | | | | | | 与砂轮耐用度有关 | | | | | | |
| 工件材料 | 砂轮直径 d_s (mm) | | | 耐用度 T (s) | 360 | 540 | 900 | 1440 | | | | |
| | 500 | 600 | 750 | | | | | | | | | |
| 耐热钢 | 0.77 | 0.83 | 0.95 | 修正系数 | 1.55 | 1.3 | 1.0 | 0.79 | | | | |
| 淬 火 钢 | 0.87 | 0.95 | 1.06 | | | | | | | | | |
| 非淬 火 钢 | 0.91 | 1.0 | 1.12 | | | | | | | | | |
| 铸 铁 | 0.96 | 1.05 | 1.17 | | | | | | | | | |
| (2) 精磨 | | | | | | | | | | | | |
| 磨削直 径 d_w (mm) | 工件速度 (m/min) | | 磨削长度 (mm) | | | | | | | | | |
| | 非淬 火 钢 及 铸 铁 | 淬 火 钢 | 25~32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | | |
| | | | 径向进给速度 (mm/min) | | | | | | | | | |
| 6.3 | 0.20~0.32 | 0.29~0.32 | 0.11 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | | |
| 8 | 0.21~0.36 | 0.30~0.36 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | | |
| 10 | 0.22~0.38 | 0.32~0.38 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | | |
| 12.5 | 0.23~0.42 | 0.33~0.42 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | | |
| 16 | 0.23~0.46 | 0.35~0.46 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | |
| 20 | 0.23~0.50 | 0.37~0.50 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | | |
| 25 | 0.24~0.54 | 0.38~0.54 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | | |
| 32 | 0.25~0.60 | 0.40~0.60 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | | |
| 40 | 0.26~0.65 | 0.42~0.65 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | | |
| 50 | 0.27~0.68 | 0.44~0.68 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | | |

续 表

| (2) 精磨 | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------|-----------|----------------|------|------------------|----------|------|------|------|------|
| 磨削直径 d_w (mm) | 工件速度(m/min) | | 磨削长度(mm) | | | | | | | |
| | 非淬火钢 及铸铁 | 淬火钢 | 25~ 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 |
| | | | 径向进给速度(mm/min) | | | | | | | |
| 63 | 0.27~0.77 | 0.46~0.77 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| 80 | 0.28~0.83 | 0.48~0.83 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 100 | 0.28~0.90 | 0.50~0.90 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 125 | 0.29~1.00 | 0.53~1.00 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 160 | 0.30~1.08 | 0.55~1.08 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 径向进给速度的修正系数 | | | | | | | | | | |
| 与工件材料和砂轮直径有关 k_1 | | | | | 与精度和加工余量有关 k_2 | | | | | |
| 工件材料 | 砂轮直径 d_s (mm) | | | | 精度等级 | 直径余量(mm) | | | | |
| | 400 | 500 | 600 | 750 | | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 1.0 |
| 耐热钢 | 0.55 | 0.58 | 0.7 | 0.8 | IT5 级 | 0.5 | 0.63 | 0.8 | 1.0 | 1.26 |
| 淬火钢 | 0.8 | 1.9 | 1.0 | 1.1 | IT6 级 | 0.63 | 0.8 | 1.0 | 1.25 | 1.6 |
| 非淬火钢 | 0.95 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | IT7 级 | 0.8 | 1.0 | 1.25 | 1.6 | 2.0 |
| 铸铁 | 1.3 | 1.45 | 1.6 | 1.75 | IT8 级 | 1.0 | 1.25 | 1.6 | 2.0 | 2.5 |

注：砂轮圆柱表面的耐用度为 900 s，圆弧表面为 300 s。

三、M1080 型无心外圆磨床简介

M1080 型无心外圆磨床，属中等规格的无心外圆磨床，生产中应用很广泛，适用于磨削直径 5~80 mm、长度 180 mm 之内的圆柱形或圆锥形外表面，也可磨削长度不超过 140 mm 的成形旋转体工件。

M1080 型无心外圆磨床的外形见图 2.5-8。主要由床身、导轮架、磨削轮架、工件支架、导轮修整器和磨削轮修整器等组成。

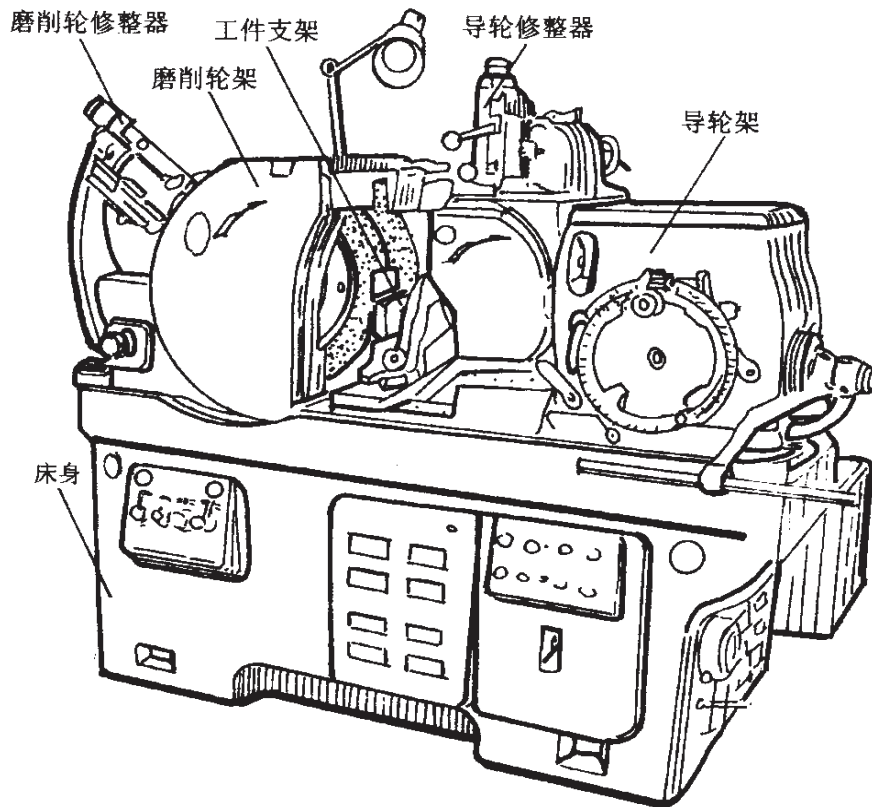


图 2.5-8 M1080 型无心外圆磨床

导轮架由转动体 5 和导轮架座 6 等组成,如图 2.5-9 所示。导轮架座 6 装在拖板 12 上,可以沿拖板上的燕尾导轨做横向进给,拖板 12 装在回转座 10 的燕尾导轨上,回转座可以在水平面内回转一定角度,但不可以移动。

导轮架转动体 5 可在垂直平面内做 $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 角度的转动,使导轮轴线在垂直平面内倾斜一个角度 θ 。

导轮修整器座 4 可连同导轮修整器 1 在水平面内做较小角度(不大于 5°)的回转,以便把导轮修整成双曲线旋转体。垂直回转板 3 可连同导轮修整器在垂直平面内做较小角度(不大于 3°)的转动,以便把导轮修整成圆锥形。当导轮需要修整成较大锥度(圆锥

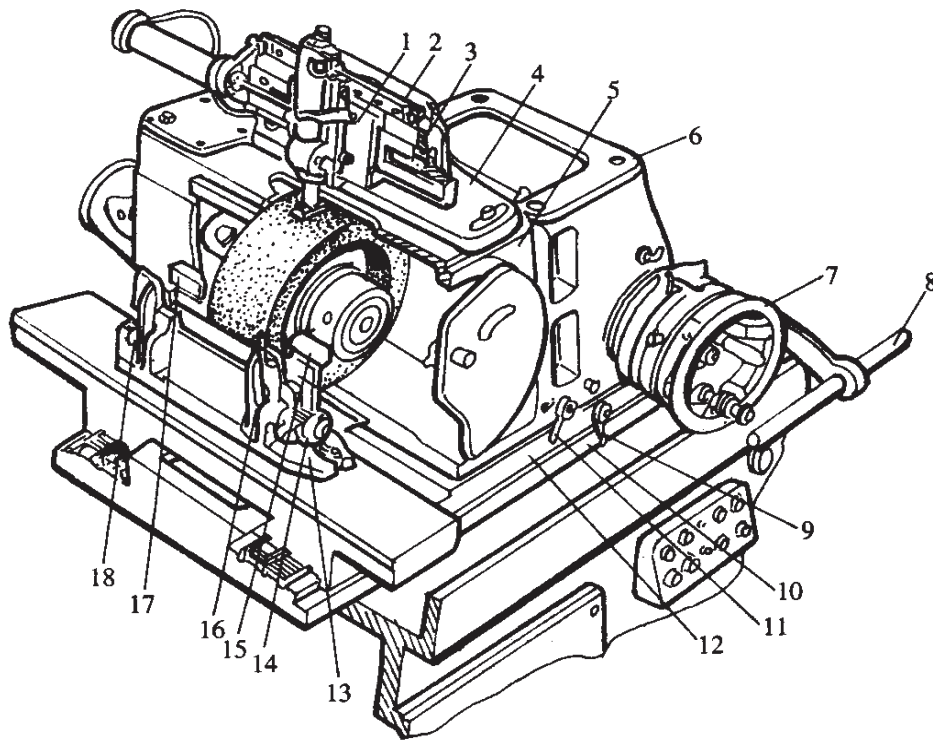


图 2.5-9 M1080 型无心外圆磨床的导轮架、修整器及工件支架

1—导轮修整器 2—靠模 3—垂直回转板 4—导轮修整器座 5—转动体
 6—导轮架座 7—手轮 8—快速手柄 9、11—手柄 10—回转座 12—拖板
 13—支架底座 14—托板 15、16—前导板 17、18—后导板

角大于 6°) 或成形面时,可用靠模 2 来修整导轮。

工件支架用来安装托板、导板等,以支持工件,它由支架底座 13、托板 14、前导板 15、16 及后导板 17、18 等组成。托板 14 的高低可由托板两端下面的螺钉调节,靠导轮一侧的前、后导板的位置可用螺钉调节,靠磨削轮一侧的前、后导板的位置可手动调节,调后用螺钉固定。工件支架固定在拖板 12 上,当紧固手柄 11,松开手柄 9 时,导轮架与拖板 12 连接在一起,可以沿回转座 10 移动,以改变工件支架与磨削轮之间的距离。松开手柄 11,紧固手柄 9 时,导轮架可沿拖板 12 移动,以此调整导轮与磨削轮之间距离,而工件支架的位置不变。

磨削轮架装在床身的左边,固定不动。磨削轮修整器可以倾斜较小角度(不大于 3°),可将磨削轮修整成圆锥形。若需将磨削轮修整成较大锥度(圆锥角大于 3°)或成形面时,可采用靠模装置。

导轮可慢速或快速横向移动。慢速移动时,转动手轮 7;快速移动时,扳动快速移动手柄 8。

导轮和磨削轮分别由两台电动机各自驱动。磨削轮的转速为 1 340 r/min;导轮的转速:工作转速为 13~94 r/min;修整转速为 300 r/min。

四、无心外圆磨床的调整

(一) 磨削轮的选择和修整

磨削轮的形状直接影响磨削质量、生产效率和耐用度。一般要求磨削轮形状能适应喂料、预磨、精磨、光磨、退料等过程。

图 2.5-10 所示为贯穿法磨削用磨削轮。当磨削深度大时, l_1 、 l_2 长些,角 γ_1 、 γ_2 大些;当磨削深度小时, l_3 长些,角 γ_1 、 γ_2 小些。

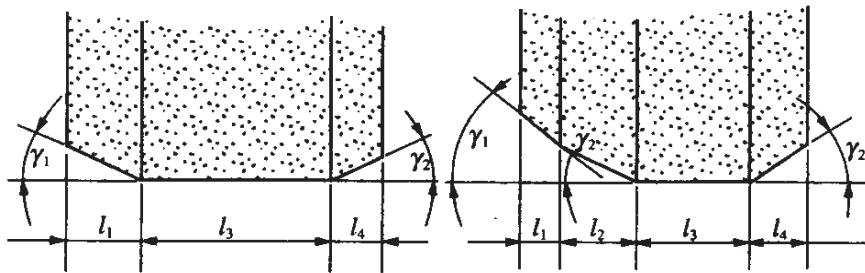


图 2.5-10 贯穿法磨削用磨削轮

图 2.5-11 所示为宽磨削轮,喂料区 l_1 约 10~15 mm; l_2 是预磨区,由磨削用量定。 l_3 是精磨或光磨区,粗磨时约 20 mm,精磨时约 50 mm。 l_4 为退料区,约 5~10 mm。 A 等于最大磨削余量。 Δ_1 为进料口,约 0.5 mm, Δ_2 为出料口,约 0.2 mm。

在正常情况下,磨削火花主要集中在磨削区域,当工件进入精

磨及光磨区后,火花应逐渐减少,在出口前,应完全没有火花。

磨削轮的特性通常和导轮结合考虑。磨削轮和导轮的最大外径及宽度是由机床决定的。磨削轮的宽度当采用贯穿磨时,磨削轮和导轮相同;当采用切入磨削时,一般也相同;磨球面工件,导轮窄一些,但不小于 25 mm。

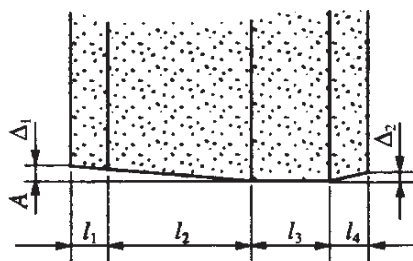


图 2.5 - 11 宽磨削轮形状

磨削轮的磨料、粒度、硬度、结合剂选择与一般外圆磨削基本相同。但通常比一般外圆磨削磨削轮稍硬;无心贯穿磨比切入磨稍软;多磨削轮磨削时,直径小的磨削轮稍硬,导轮比磨削轮稍硬,粒度稍细。

(二) 导轮的选择和修整

导轮曲面与托板工作面构成 V 形定位装置,导轮又与磨削轮一起使工件获得均匀的回转运动及轴向送进运动。所以导轮的选择和修整对磨削质量、生产率和磨耗都有很大影响。

导轮的直径由机床决定。导轮宽度与磨削轮一般相同。但在磨削阶梯工件时,导轮宽度应按工件上最长的一段外圆长度来选取,如果磨削球面工件,导轮宽度应选得窄一些,但不得小于 25 mm。导轮的特性为 A80~120P 至 R 的橡胶结合剂砂轮。

1. 导轮倾角 θ 的选择

导轮轴线在垂直面内倾斜角度决定工件的纵向进给速度和磨削精度,应根据磨削方式、工序来选择。贯穿磨时:粗磨 $\theta=2^\circ\sim 6^\circ$,精磨 $\theta=1^\circ\sim 2^\circ$;切入磨时: $\theta=0^\circ\sim 0.5^\circ$;长工件磨削时: $\theta=0.5^\circ\sim 1.5^\circ$ 。

2. 导轮修整角 θ' 和金刚石位移量 h'

导轮倾斜 θ 角以后,为使工件与导轮仍满足线接触,提高磨削稳定性,就需要导轮修整器的金刚石滑座相应转过一个角度 θ' 。

此外,由于工件中心比两轮中心高出 H ,而使工件的接触点处于 h' 位置,因此金刚石也应偏移 h' 值,详见图 2.5-12 和图 2.5-13。

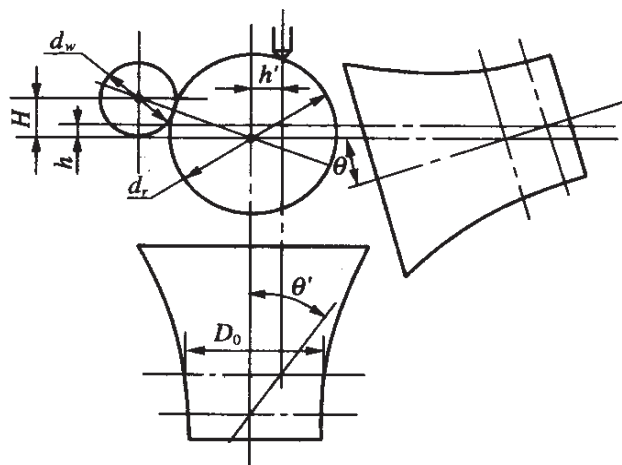


图 2.5-12 导轮修整原理

图 2.5-12 为导轮修整原理图,由算法可确定 θ' 和 h' 值。

$$\theta' = \theta \cdot \frac{D_o + d_w/2}{D_o + d_w}$$

$$h' = H \cdot \frac{D_o + d_w/2}{D_o + d_w}$$

式中 θ ——导轮倾角;
 H ——工件中心高;
 D_o ——导轮喉截面直径;
 d_w ——工件直径。

角 θ' 也可按表 2.5-4 选择。

表 2.5-5 修整导轮时金刚石滑座的回转角度 θ'

| D_o/d_w | 3 | 3.5 | 4 | 5 | 6 | 7 | 12 | 18 | 24 | 48 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|----|
| θ | | | | | | | | | | |
| 1 | 50' | 50' | 55' | 55' | 55' | 55' | 55' | 1° | 1° | 1° |
| 2 | 1°45' | 1°45' | 1°50' | 1°50' | 1°50' | 1°55' | 1°55' | 2° | 2° | 2° |
| 3 | 2°35' | 2°40' | 2°40' | 2°45' | 2°50' | 2°50' | 2°55' | 2°55' | 3° | 3° |

续表

| D_o/d_w θ | 3 | 3.5 | 4 | 5 | 6 | 7 | 12 | 18 | 24 | 48 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4 | 3°30' | 3°30' | 3°35' | 3°40' | 3°45' | 3°45' | 3°50' | 3°55' | 4° | 4° |
| 5 | 4°20' | 4°25' | 4°30' | 4°35' | 4°40' | 4°40' | 4°50' | 4°55' | 5° | 5° |
| 6 | 5°15' | 5°15' | 5°25' | 5°30' | 5°35' | 5°40' | 5°45' | 5°55' | 5°55' | 5°55' |
| 7 | 6°10' | 6°10' | 6°20' | 6°25' | 6°30' | 6°35' | 6°45' | 6°50' | 6°55' | 6°55' |

导轮修整的实际操作见图 2.5-13。把导轮修整成旋转双曲面的步骤如下：

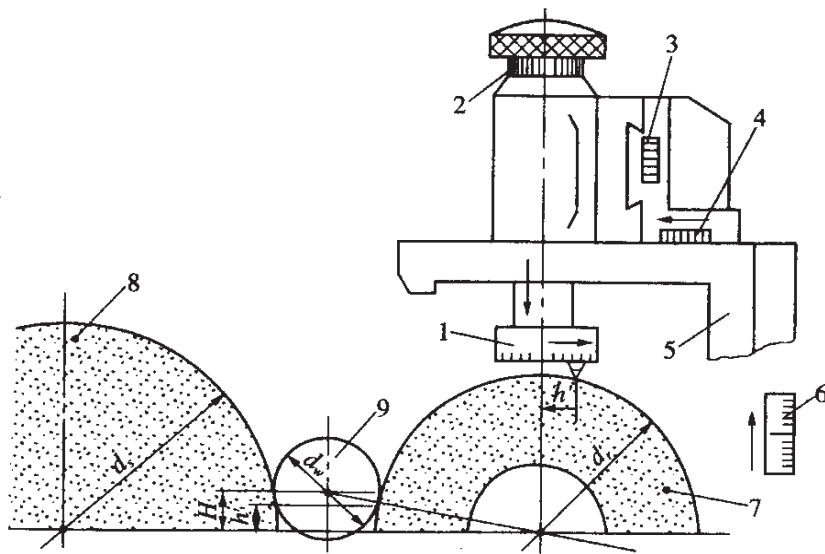


图 2.5-13 导轮修整器

- 1—金刚钻偏移刻度板 2—金刚钻进给刻度盘
 3—修整器垂直面内倾斜刻度板 4—修整器水平面回转刻度板
 5—导轮架 6—导轮垂直面倾斜刻度板
 7—导轮 8—磨削轮 9—工件

① 调节导轮主轴(导轮架)在垂直平面内的倾斜角 θ , 靠机床操作者一端较高, 另一端较低, 角度值由刻度板 6 读出。

② 调节导轮修整器在水平面内的回转角 θ' , 数值与导轮倾角 θ 相同或者稍小于 θ 角值, 可从刻度板 4 读出。

③ 调节金刚钻的偏移量 h' , 可从刻度板 1 读出, 并固定金刚钻位置。

④ 修整导轮时, 金刚钻的进给由手轮控制, 进给量由刻度盘 2 读出。

⑤ 将导轮主轴转速调整到修整转速 300 r/min, 启动导轮进行修整。

3. 导轮工作速度选择

磨削大而重的工件, 取 0.33~0.67 m/s; 磨削小而轻的工件, 取 0.83~1.33 m/s; 磨削细长杆件时, 取 0.5~0.75 m/s; 工件圆度误差较大时, 适当提高导轮工作速度; 贯穿法磨削时, 导轮工作速度应比切入磨时高一些。

(三) 托板的选择和调整

在磨削过程中, 托板是用来支承工件的, 它根据工件的直径、长度、材料的不同而选用不同的形状、尺寸和材料的托板。

1. 托板的形状及尺寸

常见托板见图 2.5-14, 其中 b) 使用得最普遍。

(1) 托板角

托板角的大小影响工件棱圆的边数。一般托板角 β 在 $20^\circ \sim 60^\circ$ 内选用, 常用 20° , 30° 和 45° 。粗磨及磨削大直径工件时, 选取较小的 β 角; 精磨及磨削较小直径工件时, 宜选取较大的 β 角; 磨削直径很小的工件及磨细长杆件并低于磨削轮中心磨削时, 可选 $\beta = 0^\circ$, 以增加托板的

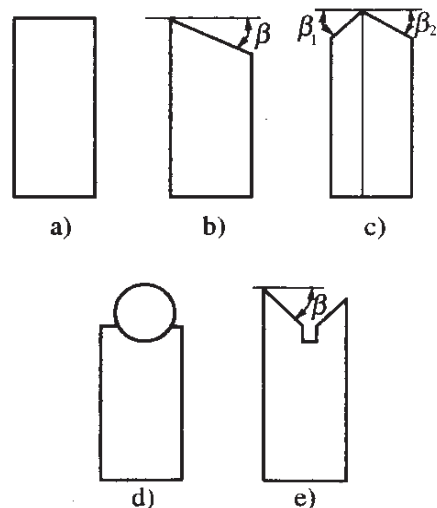


图 2.5-14 托板

刚性。

(2) 托板长度

托板长度的选取见图 2.5-15。当贯穿磨削时,托板长度:

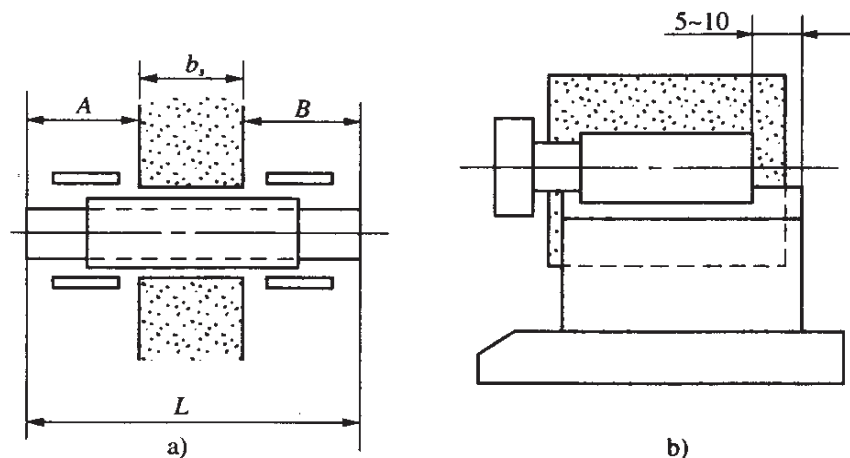


图 2.5-15 托板长度

a) 贯穿磨削 b) 切入磨削

$$L = A + B + b_s$$

式中 A ——磨削区前伸长度,为(1~2)倍工件长度;

B ——磨削区后伸长度,为(0.75~1)倍工件长度;

b_s ——磨削轮宽度。

当切入磨削时,托板比工件长 5~10 mm 即可。

(3) 托板厚度

托板厚度一般比工件直径小 1.5~2 mm。

(4) 托板高度

托板高度由工件中心高决定,可在托板下垫等厚垫片调节。

工件中心高 H 的计算原理如见图 2.5-16。

$$H = \frac{\pi}{360} \cdot r \cdot \frac{(d_s + d_w)(d_r + d_w)}{(d_s + d_w) + (d_r + d_w)}$$

式中 d_s ——磨削轮直径;

d_w ——工件直径；
 d_r ——导轮直径；
 r ——工件与磨削
 轮、导轮接触点的
 切线角，取 $5^\circ \sim 11^\circ$ 。

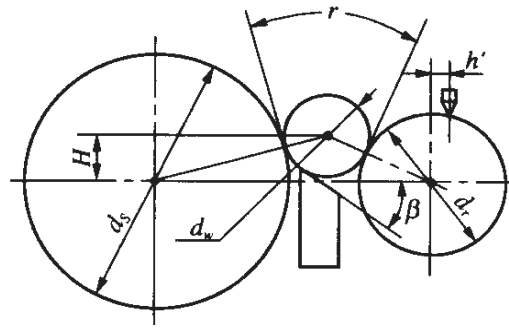


图 2.5-16 工件中心高 H 计算原理图

对于薄壁套类工件，
 宜取较大的 H 值，可不受
 上述公式限制；细长杆件

宜取较小的 H 值，对于工件直径小于 6 mm 细长杆，为平稳磨削，
 可取 H 为负值，但此时托板角 $\beta=0^\circ$ ；工件直径大， H 取大些，对直
 径相等的工件，重量大，刚性好， H 应取小些；粗磨比精磨时 H 应
 取大些；工件原始椭圆度大， H 取小些；棱圆度大， H 取大些；椭圆
 度、棱圆度都大时，先取大的 H 值磨削消除棱圆，再取较小的 H
 值精磨，消除椭圆；磨削过程中若工件稳定性差或工件表面有振
 纹，应降低 H 后再磨削。

H 的推荐值见表 2.5-6。

2.5-6 工件中心高 H 的数值 (mm)

| 导轮直径 | 300 或 350 | | | | | | | | | | | | |
|------|-----------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 工件直径 | 2 | 6 | 10 | 14 | 18 | 22 | 26 | 30 | 34 | 38 | 42 | 46 | 50 |
| H | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |

中心高 H 的调整见图 2.5-17。

$$H = H' - A - \frac{d_w}{2}$$

式中 H' ——高度尺读数值；
 A ——机床主轴中心高；
 d_w ——工件直径。

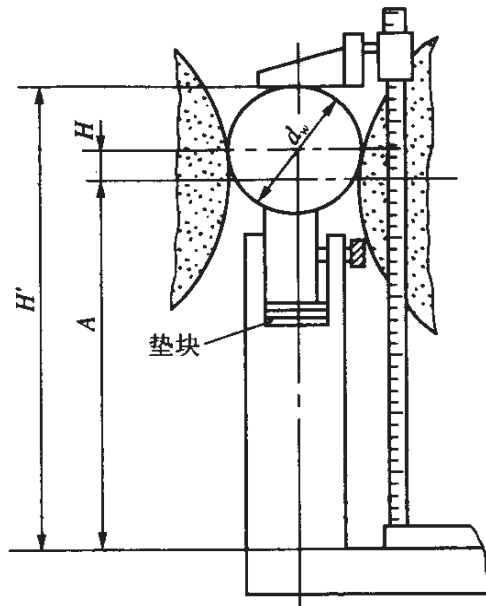


图 2.5-17 工件中心高调整

(5) 托板与磨削轮距离 c

表 2.5-7 列出了 c 值的推荐范围。选取时应注意,此值不宜过小,否则会影响冷却与排屑。

表 2.5-7 托板与磨削轮距离推荐值 (mm)

| 工件直径 | 托板与砂轮距离 c |
|-------|-------------|
| 5~12 | 1~2.4 |
| 12~25 | 1.65~4.75 |
| 25~40 | 3.75~7.5 |
| 40~80 | 7.5~10 |

2. 托板的材料选择

托板的材料选择视工件材料而定,一般用高碳合金钢、高碳工具钢、高速钢或镶硬质合金。磨软金属时,可选用铸铁,磨不锈钢时可选用青铜。

(四) 导板的选择和调整

1. 导板的位置及尺寸选择

导板的作用是引导工件正确地进入磨削区和离开磨削区,所以在贯穿法磨削中导板起着重要作用。导板的长度一般不宜过长,可按工件长度选择。工件长度 L_1 大于 100 mm, 导板长度 $L = (0.75 \sim 1)L_1$; 工件长度 L_1 小于 100 mm, 导板长度 $L = (1.5 \sim 2.5)L_1$ 。

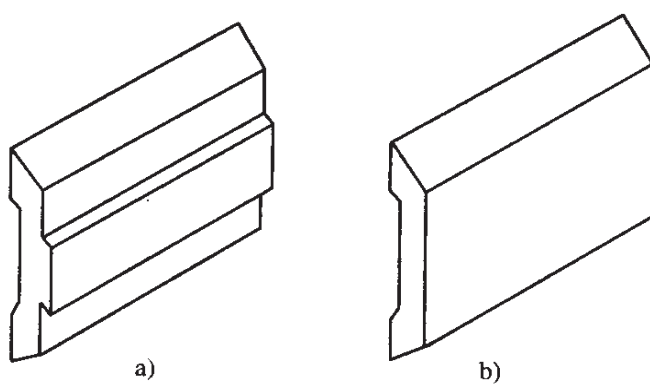


图 2.5-18 导板

导板的位置对工件的影响见表 2.5-8。

表 2.5-8 导板位置对工件的影响

| 导板角度 | $\alpha_1 > 0 \quad \alpha_2 = 0$ | $\alpha_1 = 0 \quad \alpha_2 < 0$ | $\alpha_1 < 0 \quad \alpha_2 = 0$ | $\alpha_1 = 0 \quad \alpha_2 > 0$ |
|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 导板位置 | | | | |
| 磨削后工件形状 | | | | |

续表

| 导板角度 | $\alpha_1 > 0 \alpha_2 < 0$ | $\alpha_1 < 0 \alpha_2 > 0$ | $\alpha_1 > 0 \alpha_2 > 0$ | $\alpha_1 < 0 \alpha_2 < 0$ |
|---------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 导板位置 | | | | |
| 磨削后工件形状 | | | | |

注： α_1 在第 3 象限小于零，在第 4 象限大于零； α_2 在第 1 象限小于零，在第 2 象限大于零。

2. 导板的形状与材料选择

(1) 导板的形状

导板是工件定位装置的延长部分，它引导工件正确进入、退出磨削区，其形状见图 2.5-18。工件直径小于 12 mm 时选用图 a) 所示的结构；工件直径大于 12 mm 时选用图 b) 所示的结构，其尺寸由工件尺寸和托架结构决定。

(2) 导板的安装与调整

导板安装时(见图 2.5-19)，前后导板与托架定向槽平行(平行度应在 0.01~0.02 mm 内)，而且与磨削轮、导轮工作面应留有合理间隙，导轮一边 $\Delta_1 = \frac{A}{2}$ (A 为加工余量)， $\Delta_2 \approx 0.012 \sim 0.025$ mm。

磨削轮一边应留有较大间隙，前后均约 0.1~0.8 mm。

(3) 导板的材料选择

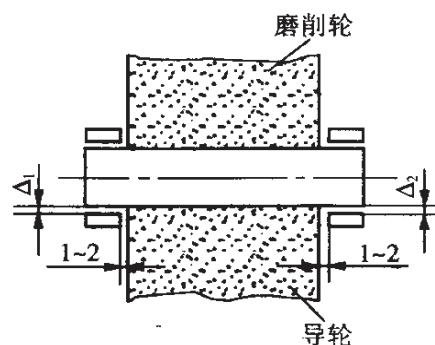


图 2.5-19 导板安装与调整

导板的材料选择与托板相同。

五、无心外圆磨削实例

(一) 磨削圆柱体

图 2.5-20 为磨削的活塞销零件图。

工件材料: GCr15

热处理: 62HRC

磨削余量: 0.3 mm

加工工序: 粗磨

磨削方法: 贯穿磨削

磨削轮: A60JV

导轮: A100PR

v_s : 35 m/s

v_w : 35 m/min

托板角 β : 30°

中心高 H : 14 mm

导轮倾角 θ : 粗磨 $2.5^\circ \sim 3.5^\circ$

精磨 $1^\circ \sim 1.5^\circ$

径向进给速度 v_r : 0.03 mm/min(粗磨)

磨削次数及余量分配:

粗磨 2 次, 每次磨去 0.1 mm

半精磨 1 次, 磨去 0.04~0.045 mm

精磨 1 次, 磨去 0.005~0.01 mm

加工精度: 圆度和圆柱度 $3 \mu\text{m}$

表面粗糙度 R_a : $0.2 \mu\text{m}$

(二) 磨削圆锥体

磨削圆锥体采用切入法, 根据工件斜角 α 调整机床和修整磨削轮、导轮。

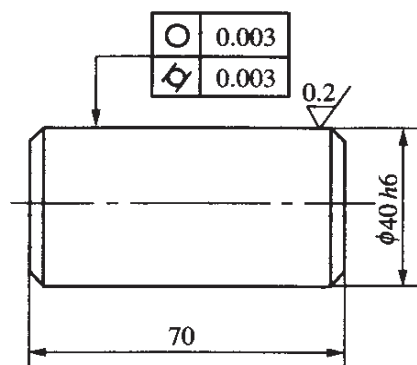


图 2.5-20 活塞销加工图

斜角 α 较小时(如 1 : 50 锥销), 只要偏转导轮架回转座, 使其转角等于 2α (图 2.5 - 21 a)), 或者将磨削轮修整成斜角等于 2α (图 2.5 - 21 b)), 或者将导轮修整成斜角等于 2α (图 2.5 - 21 c))。

工件锥度较大时, 需要将磨削轮和导轮都修整成锥形, 而且要采用具有纵向倾角等于斜角 α 的托板(图 2.5 - 21 d))。

当工件斜角很大时($\alpha=5^\circ$), 超出机床刻度所允许范围, 则修整磨削轮和导轮时都需要采用具有斜角 α 的靠模(图 2.5 - 21 e))。

当工件斜角特小时, 则不宜在无心中圆磨床上加工。

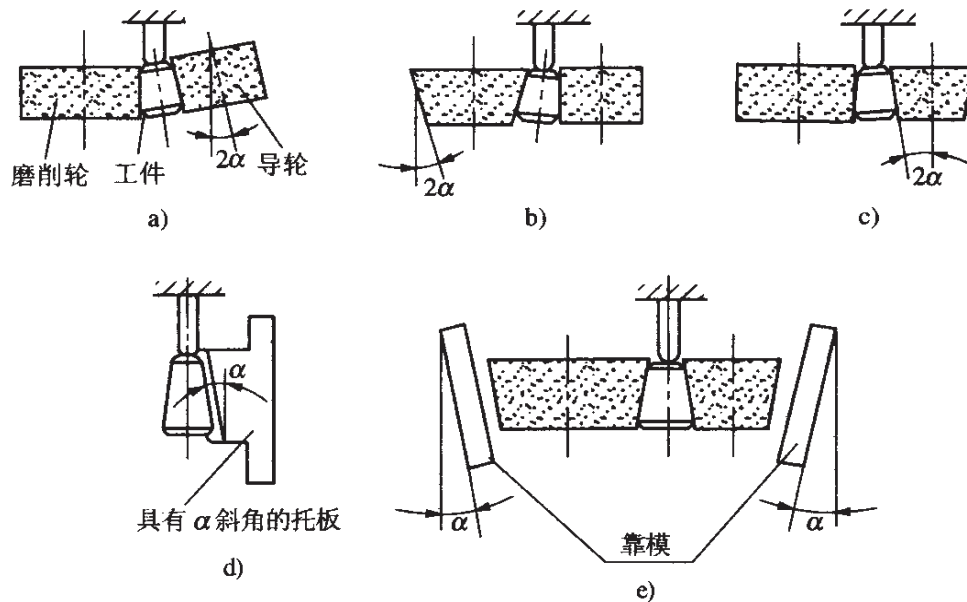


图 2.5 - 21 磨削圆锥体

磨削圆锥体工件的步骤:

- ① 选择适当硬度、粒度和尺寸的磨削轮并正确安装。
- ② 确定工件安装高度, 并选择和安装托板高度。

③ 工件斜角 α 较小时, 如磨削一般的圆锥销, 首先将导轮在垂直面内倾斜角扳到 1° , 金刚石修整器在水平面内回转角也扳到 1° , 然后修整导轮, 根据工件斜角 α 将磨削轮修整成锥形。安装挡销, 挡销的纵向位置根据工件待磨表面长度决定。

④ 试磨工件。磨削方法与切入法相同。若工件有倒退现象，则需加大导轮倾斜角，同时调整导轮修整器的回转角，并重新修整导轮，直至工件能自动贴紧挡销而无后退现象为止。

⑤ 测量工件锥度。可用套规或万能游标量角器，精度较高的圆锥销可用正弦规测量。若加工出的锥度不正确（即斜角 α 太大或太小），则需适当调整导轮架的回转座或调整修整器的倾斜角。

（三）磨削油针

工件图如图 2.5-22。

工件材料：GCr15

热处理：62HRC

磨削余量：0.03 mm

磨削方法：切入磨削

加工工序：粗磨

磨削轮：WA80MV

端面砂轮：WA100NV

导轮：A100PR

v_s ：35 m/s

v_w ：35 m/min

托板角 β ：30°

中心高 H ：8 mm

导轮倾角 θ ：0.5°

径向进给速度 v_r ：1.5 mm/min

磨削次数及余量分配：

一次切入，同时磨出端面

加工精度：圆度 $2 \mu\text{m}$

圆柱度 $4 \mu\text{m}$

表面粗糙度 R_a ：0.4 μm

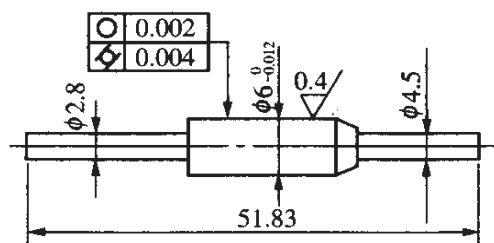


图 2.5-22 油针加工图

六、无心磨削常见缺陷及消除措施

(一) 工件产生圆度误差

(1) 导轮未修圆或工作过久,已失去正确的几何形状,需要修圆导轮,修到无断续声即可。

(2) 磨削轮磨钝,及时修整磨削轮。

(3) 工件中心高不当,应适当调整。

(4) 托板太薄或顶面倾斜角过大时,及时更换托板。

(5) 工件轴向推力过大,使工件不能均匀转动时,需要减小导轮倾角。

(6) 磨削轮或导轮平衡不好,应仔细平衡两轮并重新修整。

(7) 前道工序工件有椭圆、棱圆时,可减少导轮的横向进给量,增加磨削次数。

(二) 工件有锥度

(1) 前导板向导轮方向倾斜,引起工件前部直径偏小;或后导板向导轮方向倾斜引起工件后部直径偏小。调整前后导板,使与导轮母线平行,且在同一直线上。

(2) 磨削轮修整不准确,本身有锥度。根据工件锥度的方向,调整磨削轮修整器的角度,重修磨削轮。

(3) 工件轴线与磨削轮和导轮轴线不平行时,应调整托板前后的高低或修调托板。

(4) 磨削轮和导轮的表面已磨损时,需要重新修整磨削轮和导轮。

(三) 工件产生圆柱度误差

工件有圆柱度误差是因为在磨削过程中,工件中心的实际运动轨迹偏离理论运动轨迹直线,工件在水平面内转动及导轮修整不正确等。应根据具体情况进行修整。例如磨削轮太软,磨损不均匀。应增加修整次数或增加磨削次数。

（四）工件产生细腰形或腰鼓形

1. 工件产生细腰形

① 前后导板均偏向于磨削轮一侧，工件进入或退出磨削区域时呈倾斜状态，磨削轮端角将工件中部磨去较多。调整前后导板至正确位置。

② 导轮修整呈中间凹下状，切入法磨削时磨削轮修整成中间凸出，均导致工件呈细腰形。正确修调导轮和磨削轮，消除凹凸现象。

2. 工件产生腰鼓形

① 前后导板均偏向于导轮，工件倾斜进入磨削区，使前端磨去较多；工件将要退出磨削区时，使后端磨去较多。需正确调整前后导板。

② 前、后导板均低于导轮外圆表面，工件进入磨削区时，会被导轮将其前端抬起，使工件向磨削轮倾斜进入；当工件退出磨削区时，也会使工件倾斜，尾部向磨削轮翘起，使工件两端磨去较多，呈腰彭形。应正确调修前、后导板，使其不低于导轮外圆表面。

③ 导轮表面修整成中间凸起或磨削轮表面修整成中间凹下（切入法磨削），均使工件磨成腰鼓形。正确修调两轮，消除导轮和磨削轮表面的凹凸现象。

（五）工件表面有缺陷

（1）工件表面粗糙度较差。

① 磨削轮粒度过粗或修整时金刚钻进给速度过快。更换细粒度的磨削轮，合理选择修整速度。

② 导轮倾斜角太大或转速太高，导致工件圆周速度和轴向进给速度加快。减小导轮倾斜角并降低其速度。

③ 冷却液不清洁或浓度不够时，应更换清洁并有一定浓度的冷却液。

（2）工件表面有烧伤。

① 磨削轮粒度太细或硬度太高,应更换磨削轮,选用适宜的粒度和硬度。

② 导轮转速太慢及导轮倾斜角太大,需要提高导轮转速,减小导轮倾斜角。

③ 磨削量过大或过小。磨削量小时出现烧伤,可增加纵向进给速度;磨削量大时出现烧伤,可增加磨削次数。

④ 工件在入口处或出口处磨去太多,引起烧伤或磨削区火花集中在某一点。正确调整导轮架、导板和修整器。

⑤ 磨削轮已钝,硬度太高,切削液不足或烧注方法不正确。修整磨削轮,更换软一级的磨削轮并修整、加大切削液量并正确浇注。

(3) 工件表面有鱼鳞斑及直线白色线条。

① 磨削轮不平衡或者已磨钝、磨削轮太硬、粒度太细或没有修整好。仔细平衡磨削轮,更换较软一级的磨削轮并进行修整等。

② 导轮转速太高。适当降低导轮转速。

③ 工件中心过高,引起跳动。适当降低托板高度。

④ 托板刚性不足。加厚托板并紧固。

(4) 工件前端表面切去一块。前导板突出于导轮,把前导板向后放松一些。

(5) 工件后端表面切去一块。后导板突出于导轮表面,将后导板适当地后移。

(6) 工件后部表面有三角形切口或微小痕迹。后导板落后于导轮表面,将后导板适当前移。

(7) 工件中心过高。适当降低工件中心高度。

第三章 特殊零件磨削

第一节 细长轴磨削

一、磨削特点

一般把长度与直径之比大于 10 的工件称为细长轴。细长轴的刚性很差,磨削时,细长轴在磨削力和磨削热的作用下容易产生变形;当工件长径比超过 40 后,由于工件自重产生的挠度会使工件在加工中产生让刀现象,导致被加工表面出现素线不直的缺陷。由于自身刚度较差,磨削过程中容易产生受迫振动和自激振动,使表面产生直波振纹和多角振纹并出现径向跳动误差。因此,影响磨削加工精度的主要因素是工件自身刚性不足和加工中的磨削力和磨削热。磨削细长轴的关键是如何增加工件的支承刚度,减小磨削力和磨削热。

二、磨削方法

磨削细长轴时应在操作和装夹方法上设法减少工件的变形,具体注意以下几点:

(1) 工件在磨削前,应增加校直和消除应力的热处理工序,避免磨削时由于产生内应力使工件变形。

(2) 合理选择砂轮。应选择粒度较粗、硬度较低和宽度较窄的砂轮,为了减少磨削力,可以将较宽的砂轮修窄。

(3) 因砂轮愈钝磨削径向力愈大,工件愈易产生弯曲变形,有

必要经常修整砂轮,以保证工件的几何精度。粗磨的砂轮要用尖角的金刚石,采用较大的修整量进行修整,磨削过程中,要经常使砂轮保持锋利。

(4) 为减少工件的圆度误差和振动,可采用双拨杆拨盘,使工件受力均衡。

(5) 尾架顶尖对工件的顶紧程度应比一般磨削松一些,这样可防止工件因顶紧力而引起的弯曲变形,也可以减小工件在磨削时因热变形伸长而引起的弯曲变形。

(6) 采用中心架支承。中心架的数量应根据工件的长度和直径来确定,见表 3.1-1。安装中心架时应注意支持中心与工件中心相重合。为了保证托架与工件的理想外圆表面接触,应预先在工件的支承处磨出一小段支承外圆,并要留有精磨余量,必须随机床加工。支承圆制作的优劣,将直接影响细长轴加工后的尺寸精度和形状精度。随后调整中心架支承块,轻轻接触工件表面。当支承圆和工件全长接刀磨平后,随着工件直径的继续磨小,需要随之调整中心架。磨削后的支承圆的径向跳动偏差在 $0.02 \sim 0.03 \text{ mm}$ 之间。精磨阶段要求磨后的支承圆的径向跳动误差小于 0.005 mm 。

图 3.1-1 是 M1432A 磨床上常用的中心架。图 3.1-1 a) 所示为开式中心架,是磨削细长轴最常用的支承工具。其结构为两点支承,使用时以其水平支承爪和垂直支承爪与砂轮在工件上的磨削点三点共同构成对工件的支承圆。图 3.1-1 b) 所示为三爪式闭式中心架,使用时用圆周均布的三个支承爪共同围成对工件的支承圆。无论采用哪种形式的中心架支承工件,使用时都应首先根据工件的要求,保证各支承爪所构成的支承中心与工件的回转中心重合。

(7) 磨削过程中,冷却液要充分。

(8) 工件精磨前也应该经过校直和消除应力处理,以减少工

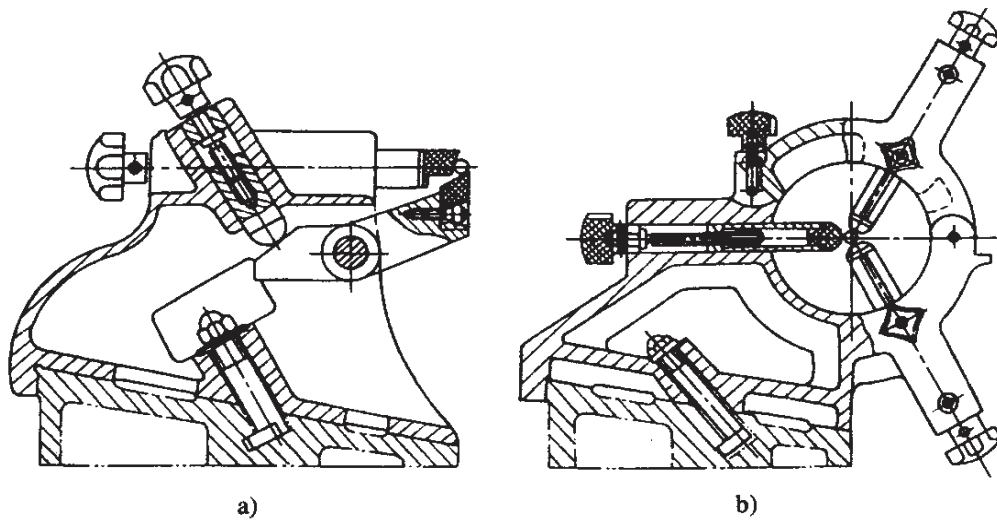


图 3.1-1 M1432A 磨床上常用的中心架

件的弯曲应力。

表 3.1-1 中心架的数量的确定

| 工件直径(mm) | 工件长度(mm) | | | | | | | |
|----------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
| | 150 | 300 | 450 | 700 | 750 | 900 | 1 050 | 1 200 |
| | 托架数目 | | | | | | | |
| <20 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | — |
| ≥20~25 | — | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| ≥25~30 | — | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| ≥30~50 | — | — | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| ≥50~60 | — | — | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| ≥60~75 | — | — | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| ≥75~100 | — | — | — | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| ≥100~125 | — | — | — | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| ≥125~200 | — | — | — | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

(9) 工件中心孔应经过研磨。为了减少中心孔和顶尖间的摩擦,磨削过程中还要经常加润滑油。

(10) 合理选择磨削用量。由于车削等造成的工件弯曲,使砂轮做间断磨削,因此最初的几次背吃刀量和进给要小,以减小磨削力。工件的转速可以选得低些,以免磨削振动。粗磨时, $v_s = 30 \text{ m/s}$, $v_w = 15 \text{ m/min}$, $a_p = 0.01 \sim 0.02 \text{ mm}$, $v_{fa} = 1 \sim 2 \text{ m/min}$; 精磨时, $v_s = 15 \sim 20 \text{ m/s}$, $v_w = 10 \text{ m/min}$, $a_p = 0.002 \sim 0.005 \text{ mm}$, $v_{fa} = 0.3 \sim 0.5 \text{ m/min}$, 最后应增加光磨次数。磨削时从细长轴全长考虑,靠近两端可用稍大轴向进给量,靠近中间时,进给速度要慢些,并适当增加走刀次数。

三、磨削实例

工件如图 3.1-2 所示。

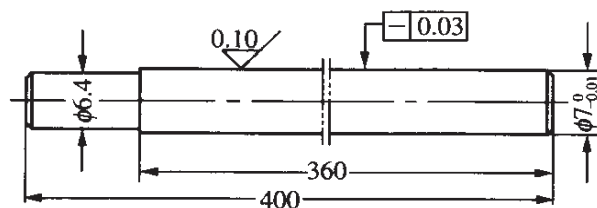


图 3.1-2 精密细长轴

加工步骤:

- (1) 工件时效处理。
- (2) 清理和研磨工件两端中心孔,擦净孔后涂润滑脂。
- (3) 安装工件,用切入磨削法预磨中心架部位的支承外圆,装夹前需找正两端外圆径向圆跳动量误差 $< 0.01 \text{ mm}$ 。

(4) 调整中心架,当工件上的支承圆磨出后,中心架就支承在支承面上,中心架在支承部位的支承精度直接影响着细长轴的磨削质量,因此安装时应借助百分表认真调整,其方法为:

将百分表触及在与工件垂直轴线成 45° 的素线上,转动工件并旋转相应捏手,使上支承块刚刚接触工件支承圆(以表的变动量监视),调整百分表“0”位,转动下支承块捏手,使工件中心向上移

动 0.02 mm,同时转动支承块捏手,让支承块将工件中心向砂轮方向移动,百分表的变化值为 0.025 mm。使垂直枕块紧贴已磨外圆表面,水平枕块压力不要太大,只要轻轻接触不松动即可。

(5) 粗磨外圆,留余量 0.2 mm。

(6) 校直工件,时效处理。

(7) 调整中心架。随着磨削的深入,需要不间断地对托架各支承块进行调整,使之始终保持精确的支承精度。在磨削过程中要对工件各个位置尺寸及径向跳动量进行测量,以便根据测量结果调整相应的支承块。

当工件中间尺寸大于两端时,可根据具体情况调整水平支承块,使工件的中心向上移动;如果工件的径向跳动超差,则应对支承圆重新加工。

(8) 半精磨外圆,留余量 0.05 mm,保证各外圆径向圆跳动量误差 <0.02 mm。

(9) 精研中心孔。

(10) 校直工件,时效处理。

(11) 调整中心架。在对细长轴进行精磨前,应对托架各支承块进行精细调整,在工件旋转的情况下,调整相应捏手,使表在各方向的变动值保持在 0.005~0.01 mm 之间。

对一些长径比较大及刚性特差的细长轴,精磨时的调整应充分考虑工件挠度因素的影响,一般在调整时,可将工件的自然中心向上多移动一个适当的值(一般取 $1/4\sim 1/2$ 挠度值)。

(12) 精磨外圆至要求,注意多光磨几次。

第二节 成形面磨削

凡形状不同于平面和圆柱面的表面,均称为成形面。成形面一般分为三类:旋转体成形面,如图 3.2-1 a)所示;直母线成形

面,如图 3.2-1 b)所示;立体成形面,如图 3.2-1 c)所示。

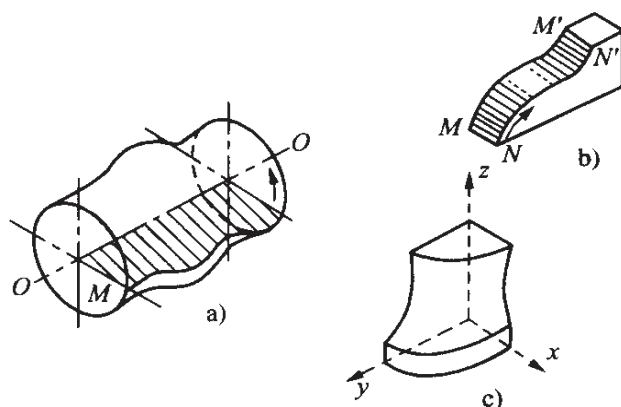


图 3.2-1 成形面的分类

一、成形面的磨削方法

(一) 成形砂轮磨削法

将砂轮修整成与工件形面完全吻合的反形面,然后切入磨削,以获得所需要的形状。其特点是生产效率高,加工精度稳定,需配置合适的砂轮修整器。

(二) 成形夹具磨削法

使用通用或专用夹具,在磨床上对工件的成形面磨削。

(三) 仿形磨削法

在专用磨床上按放大样板(或靠模)或放大图进行磨削。

(四) 坐标磨削法

在坐标磨床上,工作台或磨头按坐标运动及回转,实现所需要的运动轨迹,磨削工件的成形面。

二、成形砂轮磨削法

(一) 成形砂轮的修整

1. 砂轮角度的修整

图 3.2-2 所示的砂轮角度修整夹具,其修整角度的原理是利

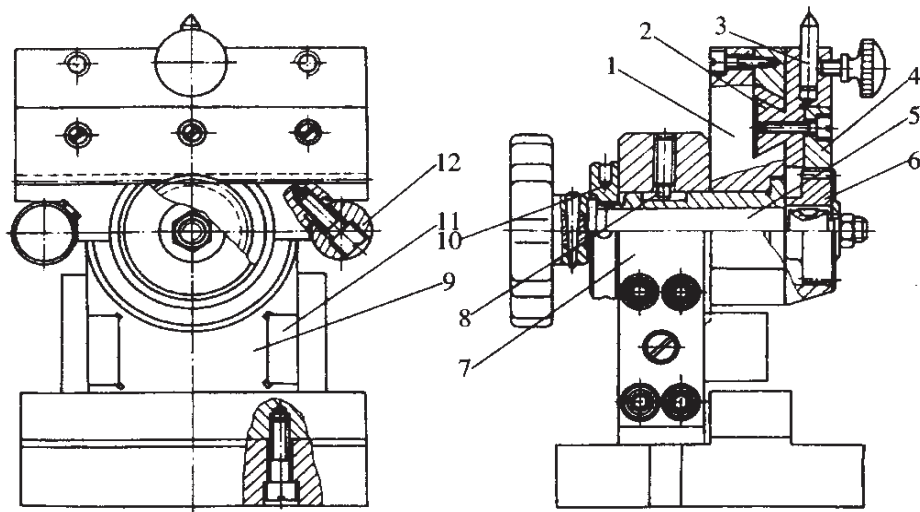


图 3.2-2 砂轮角度修整夹具

用垫块来控制角度。使装有金刚石笔 3 的滑块 2 可在正弦尺座 1 的燕尾导轨内滑动,滑块 2 上的齿条 4 与装在心轴上的小齿轮 5 啮合。可按计算尺寸组合量块,垫在量块平台、量块侧垫板与正圆柱之间,使带有金刚石笔的游尺的运动方向与水平线的夹角等于砂轮需要的角度。当垫好量块,将正弦尺调至所需角度后,旋紧螺母 10,把正弦尺座 1 压紧在夹具体 9 上,修整砂轮时转动手轮,通过小齿轮 6 及传动齿条 4,使装在滑块 2 上的金刚石笔移动。根据修整砂轮位置的需要,金刚石笔可插入滑块 2 的左、中或右位置的孔内,用螺钉固定。此种夹具可修整 $0^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 范围的各种角度砂轮。

用垫标准块的方法控制角度,标准块高度的计算(图 3.2-3)如下:

当 $\alpha = 0^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 时

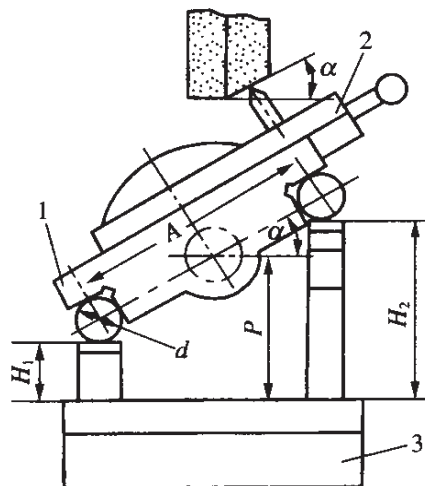


图 3.2-3 砂轮角度的修整方法

$$H_1 = P - \frac{A}{2} \sin\alpha - \frac{d}{2}$$

$$H_2 = P + \frac{A}{2} \sin\alpha - \frac{d}{2}$$

式中 P ——夹具回转中心到垫块规基面高度(mm)

d ——圆柱的直径(mm)

A ——夹具两圆柱中心的距离(mm)

2. 砂轮圆弧面的修整

砂轮圆弧面的修整,是通过调整金刚石笔尖到夹具回转中心的距离来控制的。

图 3.2-4 所示为立式砂轮圆弧修整夹具,主要由支架、转盘和滑座等组成。

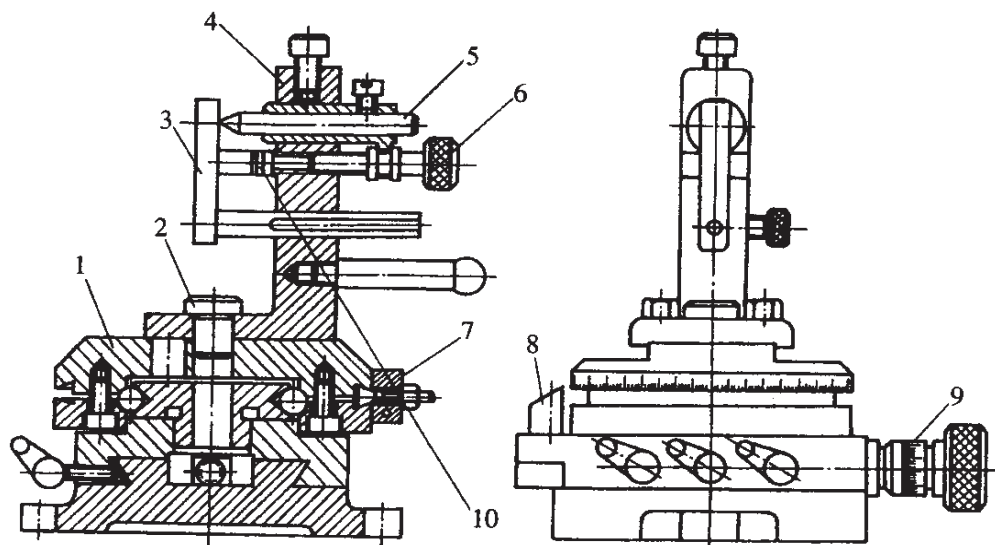


图 3.2-4 砂轮圆弧面的修整夹具

支架 4 固定在转盘 1 上,金刚石笔 5 装在支架上,当转动螺钉 6 时,使金刚石笔轴向移动,移动距离可用定位板 3 和量块 10 测量。

修整砂轮时,先按计算尺寸将一组量块垫上,使定位板 3 与之贴紧,紧固金刚石笔,取开定位板 3 和量块 10,参照转盘上的刻度

确定撞块 7 的位置,转动转盘,使金刚石笔绕轴承座轴线转动,砂轮进行修整。撞块 7 与固定块 8 相碰控制回转的角度。

砂轮圆弧半径采用垫量块的方法控制,量块高度 H 的计算方法为:

修整凸圆弧砂轮时,定位销 2 插入位于夹具回转中心的孔中。

图 3.2-5 a)

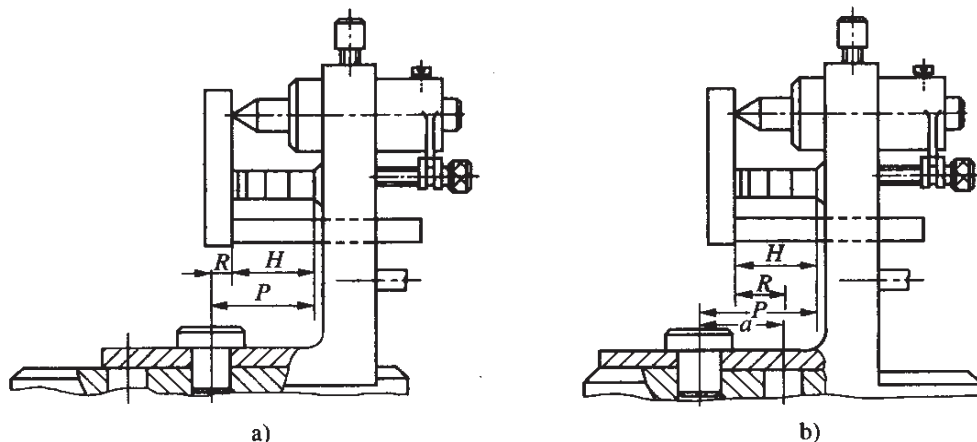


图 3.2-5 砂轮圆弧面修整夹具的调整方法

$$H = P - R$$

修整凹圆弧砂轮时,定位销 2 插入夹具的另一孔中。图 3.2-5 b)

$$H = P - a + R$$

式中 H ——计算的量块高度

P ——当定位销 2 位于夹具回转中心时,支架 4 上的基面至夹具回转中心的距离

a ——转盘上两个定位孔的中心距

R ——砂轮成形半径

图 3.2-6 所示为卧式修整工具。该工具主要由摆杆、滑座和夹具体组成。使用时,先按计算尺寸在底面和金刚石笔间垫一组垫块,回转金刚石笔支架进行修整。

修整凸圆弧砂轮时,金刚石笔尖在主轴 3 中心线上方,此时

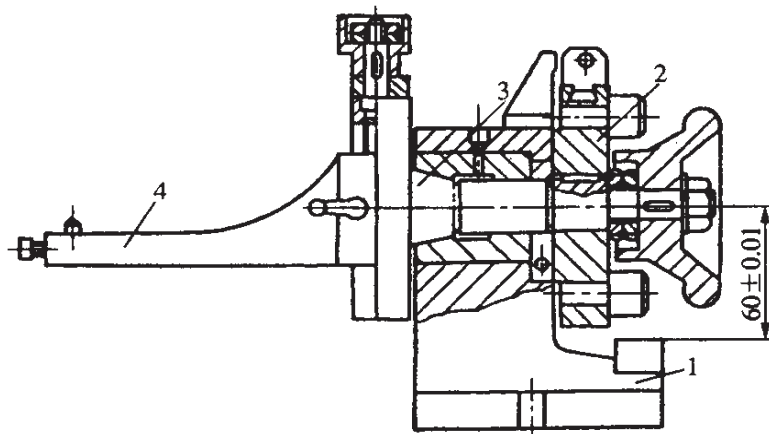


图 3.2-6 卧式修整工具

1—底座 2—正弦尺分度盘 3—主轴 4—金刚石支架

(见图 3.2-7 a))

$$H = P + R$$

修整凹圆弧砂轮时, 金刚石笔尖在主轴 3 中心线下方, 此时
(见图 3.2-7 b))

$$H = P - R$$

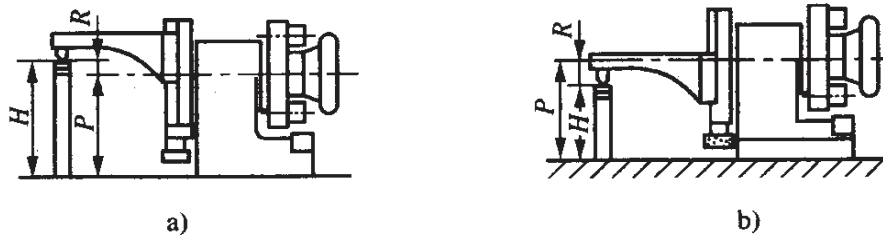


图 3.2-7 砂轮圆弧面的修正方法

(二) 成形砂轮的修整要点

(1) 金刚石笔尖应与夹具回转中心在同一平面内, 修整时, 应通过砂轮主轴中心。

(2) 为减少金刚石笔消耗, 粗修可用碳化硅砂轮。

(3) 砂轮要求修整的形面如果是两个凸圆弧相连接, 应先修整大的圆弧; 如是一凸一凹圆弧连接, 应先修整凹圆弧; 若是凸圆弧与直线

连接,应先修整直线;若是凹圆弧与直线连接,应先修整凹圆弧。

(4) 修整凸圆弧时,砂轮半径应比所需磨削半径小 0.01 mm;修整凹圆弧时,应比所需磨削半径大 0.01 mm。修整凹圆弧时,最大圆心角与金刚石笔杆直径的关系(见图 3.2-8)由下式求得:

$$\sin\beta = \frac{d+2\alpha}{2R}$$

$$\alpha = 180^\circ - 2\beta$$

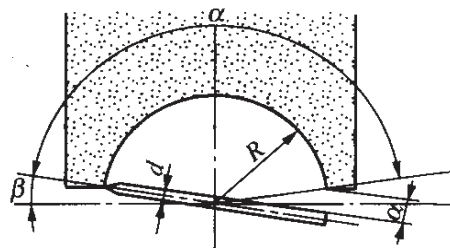


图 3.2-8 最大圆心角与金刚石笔杆直径的关系

三、成形夹具磨削

(一) 用分度夹具磨削成形面

分度夹具 分度夹具适用于磨削具有一个回转中心的各种成形面,与成形砂轮配合使用,能磨削比较复杂的形面。常用分度夹具有:立式回转夹具(图 3.2-9)、卧式回转夹具(图 3.2-10)和正弦分度夹具等(图 3.2-11)。

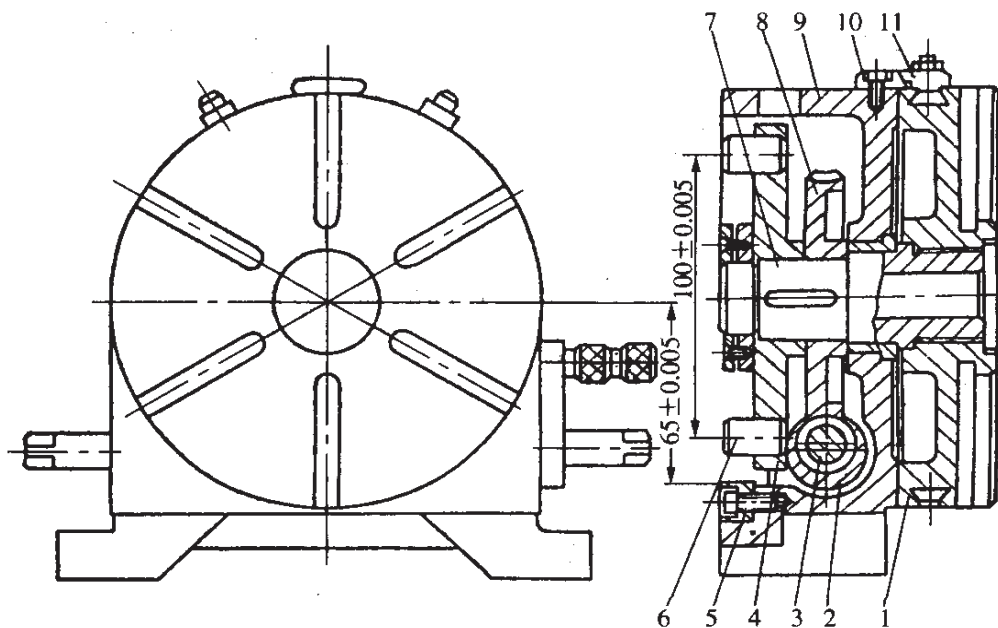


图 3.2-9 立式回转夹具

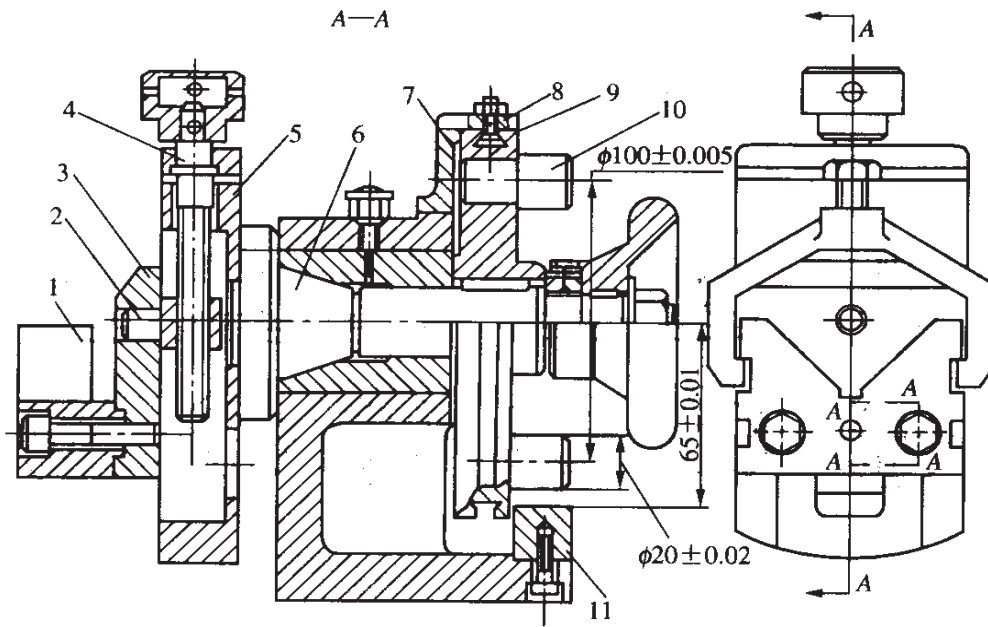


图 3.2-10 卧式回转夹具

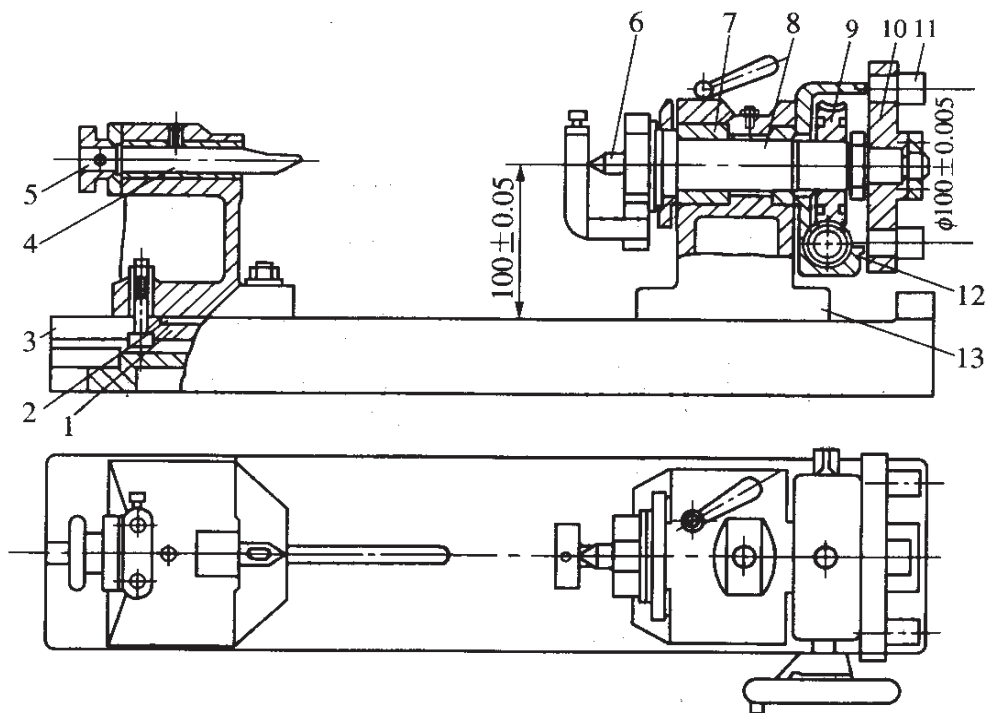


图 3.2-11 正弦回转夹具

用分度夹具磨削的典型工件形状有：带有台肩的多角体、等分槽及凸圆弧工件，如图 3.2-12 a)；具有一个回转中心的多角体、分度槽（一般工件无台肩），如图 3.2-12 b)；具有一个（或多个）回转中心并带有台肩的多角体，如图 3.2-12 c)。

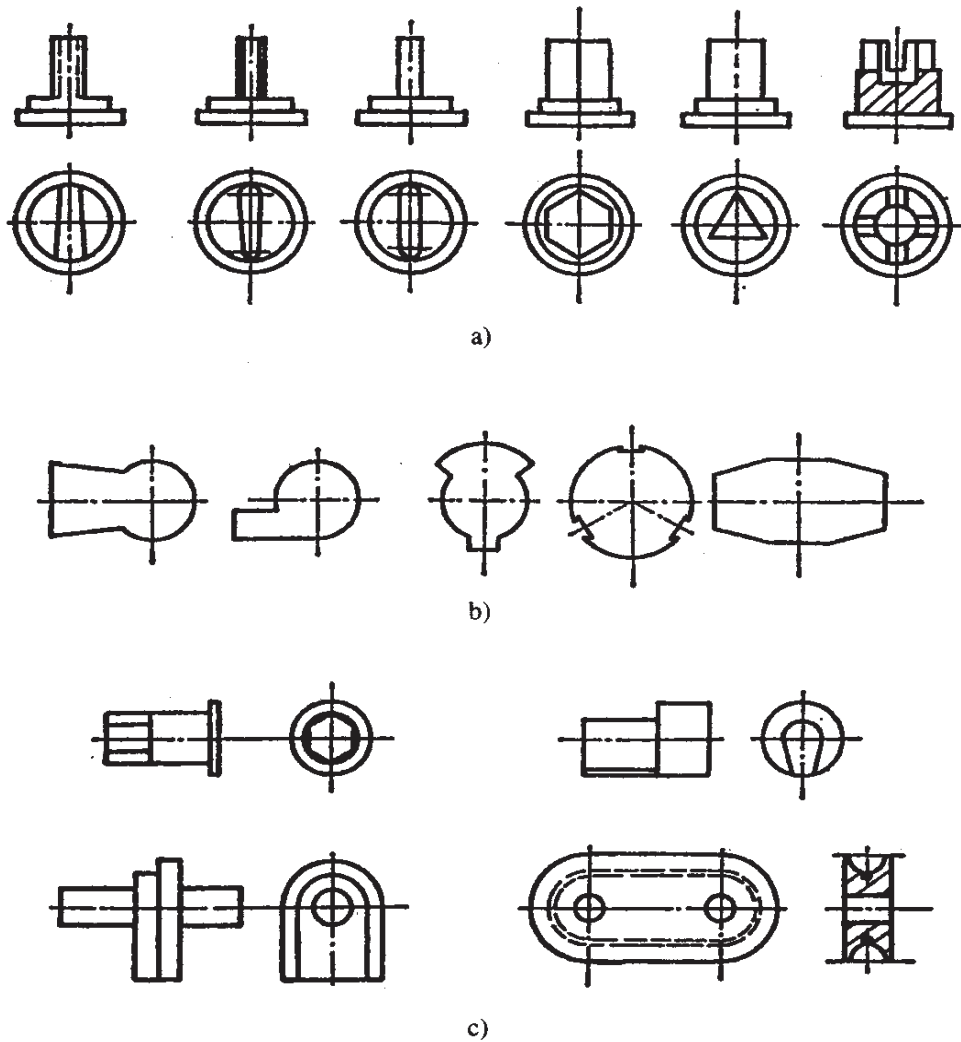


图 3.2-12 用分度夹具磨削的典型工件形状

在将夹具安装到磨床工作台上时，必须校正夹具中心线与磨床纵向导轨平行或垂直。分度时在正弦圆柱与固定在基座上的精密垫板间垫以一定尺寸量块，可控制所需回转角度。量块值根据下式计算（见图 3.2-13）：

$$H_{1,2} = H_0 \pm L \sin\alpha - \frac{d}{2}$$

式中 $H_{1,2}$ ——需垫的量块值
 H_0 ——夹具主轴中心至精密垫板的距离
 L ——夹具主轴中心至正弦圆柱中心的距离
 α ——需回转的角度, 当 $\alpha < 45^\circ$ 时, 量块垫在 1、3 圆柱下, 当 $\alpha > 45^\circ$ 时, 量块垫在 2、4 圆柱下
 d ——正弦圆柱直径

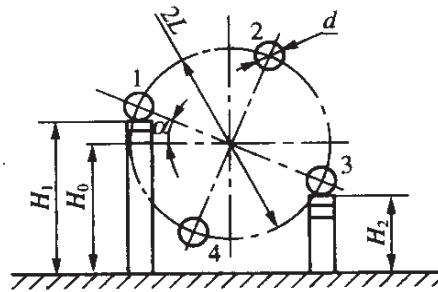


图 3.2-13 分度时量块值的计算

“±”判定: 如图, 若量块在第 I、II 象限时, 取“+”; 在第 III、IV 象限时, 取“-”。

(二) 用万能夹具磨削成形面

图 3.2-14 所示是一种万能夹具。

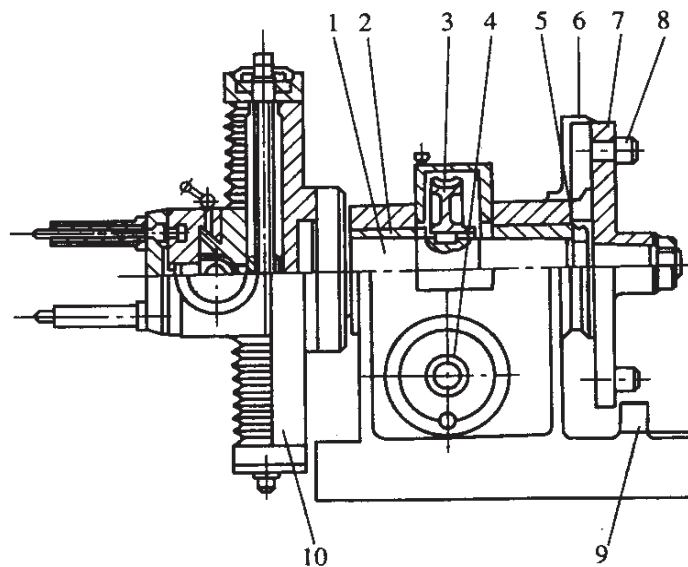


图 3.2-14 磨削成形面的万能夹具

使用万能夹具磨削的要点如下:

(1) 先将形状复杂的形面分解成若干直线、圆弧段,再按顺序磨出各段形面。

(2) 根据被磨削工件的形状,选择回转中心,视工件情况不同,回转中心可以是一个或多个。磨削时,要依次调整回转中心与夹具中心重合,工件以此中心回转,并借以测量各磨削面的尺寸。

(3) 成形磨削时的工艺基准不尽一致,往往需要进行工艺尺寸换算。主要计算尺寸为:各圆弧面的中心之间的坐标尺寸;从一个已选定的中心至各平面或斜面间的垂直距离;各斜面对坐标轴的倾斜角度及各圆弧面包角等。

(4) 对有的形面部分采用成形砂轮进行磨削,可提高精度和效率。

(三) 成形夹具磨削实例

图 3.2-15 为专用仿形轴。

磨削工艺:

(1) 研中心孔。

(2) 在万能外圆磨床上粗磨各部外圆及各端面, $\phi 108.2 \pm 0.05$ 磨至 $\phi 108_{-0.021}^0$, 33.1 ± 0.03 磨至 30 ± 0.1 ,其余留磨量 $0.3 \sim 0.4$ 。

(3) 消除应力。

(4) 研磨中心孔。

(5) 调整万能外圆磨床,精磨各部外圆至尺寸, $\phi 108.2 \pm 0.05$ 磨至 $\phi 108_{-0.021}^0$, $\phi 60_{\pm 0.02}^{+0.03}$ 磨至 $\phi 60_{-0.021}^0$,长度 100 至尺寸, 33.1 ± 0.03 磨至 30 ± 0.1 。

(6) 调整万能外圆磨床,磨 $14^\circ 30'$ 至尺寸。

(7) 在万能外圆磨床上,修整器修整砂轮 45° 及 $R8_{0}^{+0.05}$,磨试件并检验。

(8) 在万能外圆磨床上,精磨 45° 、 $R8_{0}^{+0.05}$ 、 $\phi 60_{-0.021}^0$ 至尺寸,控制长度 57.1 至尺寸。

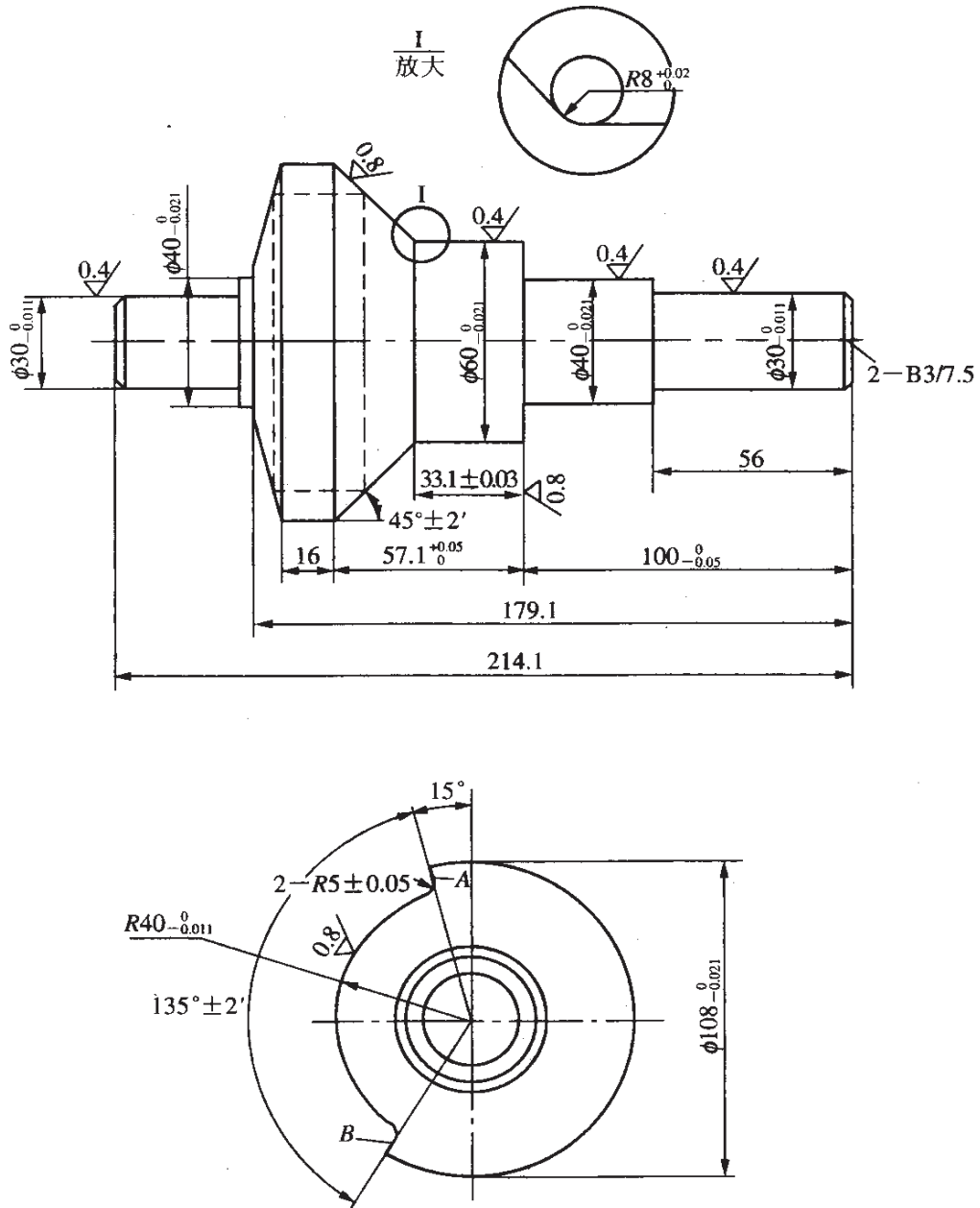


图 3.2-15 专用仿形轴

(9) 在工具磨床上,粗磨 $R40$ 留余量 0.05 。

(10) 在工具磨床上,修整砂轮,粗磨 $R5 \pm 0.05$ 留余量 0.05 (A、B 面不磨)。

(11) 在工具磨床上,精磨 $R40_{-0.011}^0$ 至尺寸。

(12) 在工具磨床上,修整器修整砂轮 $R5 \pm 0.05$,调整机床精磨 $R5 \pm 0.05$ 及 A 面至尺寸,工件调头粗磨 B 面及 $R5 \pm 0.05$ 。

(13) 检测计算,在工具磨床上精磨 $R5 \pm 0.05$ 及 B 面至尺寸,保证 135° 至要求。

四、仿形磨削

仿形磨削是在专用磨床上按放大样板、放大图或计算机指令进行加工的方法。仿形加工时,砂轮不断改变运动轨迹,将工件磨削成形。其主要方法有:缩放尺曲线磨床磨削、光学曲线磨床磨削、靠模仿形磨削和数控仿形磨削等。其中,光学曲线磨床由光学投影仪与曲线磨床组合构成。使用光学曲线磨床可以磨削精密样板、对合曲线的对板和精密成形刀具。表面粗糙度可达 $R_a 0.4$ 。其磨削工艺要点是:

(1) 正确制作放大图:光屏放大图是工件装夹、调整和加工的基准。制作时,比例和尺寸应尽可能精确,线条粗细取 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ 较好。为减少像差,一般尽量利用投影仪的中间部分。制作放大图时,线段划分一般不超过 9 mm (50 倍时),分段线最好选在有规则的线段上,并按序标出符号、移动的方向和坐标尺寸。

(2) 正确修整砂轮形状,修整用量选择:粗磨时,对于粒度 F100 砂轮,为 0.14 mm/r ;对于粒度 F180 砂轮,为 0.08 mm/r 。精磨时,一般为 0.04 mm/r 。

(3) 正确选择照明方式:一般磨削薄件及圆柱形工件时用透射光;厚件及妨碍投射的工件用反射光。为增加清晰度,在磨

削厚件时,往往同时使用透射光和反射光,并将光栅孔径适当调小。

(4) 正确选择磨削用量,具体数值如下表。

| 磨削用量 | 砂轮架滑板往复速度(次/min) | 单斜面滑板纵向进给速度(mm/s) | 滑板纵、横向复合速度(mm/s) | 磨削深度(mm) |
|------|------------------|-------------------|------------------|-------------|
| 粗磨 | 85 | 0.6 | 0.03~0.08 | 0.02 |
| 精磨 | 45 | 0.03~0.16 | 0.0016~0.005 | 0.003~0.005 |

在光学曲线磨床上磨削工件主要用轨迹法和切入法。轨迹法又称逐点磨削法,砂轮在垂直方向不停地往复运动,同时砂轮架滑板做纵、横向进给运动,其合成运动与放大图曲线相吻合,从而磨出工件形面;切入法是用成形砂轮做切入式磨削。

五、坐标磨床磨削

(一) 坐标磨床

坐标磨床有立式和卧式两种,有单柱的,也有双柱固定桥式的,控制方法有手动、程序控制、人工编程和计算机编程,进给系统有机械系统、直流电机驱动系统和直流伺服驱动系统。因而可以做连续轨迹磨削,有的还可以作 x 、 y 、 z 坐标点位数控(主轴旋转角度)。磨头速度最高已达 200 000 r/min,定位精度可在任意 30 mm 内达到 $0.8 \mu\text{m}$,全行程达 $2.3 \mu\text{m}$,连续数控轮廓精度在全行程内达到 $7.5 \mu\text{m}$ 。

在加工复杂形面时,根据需要将上述基本磨削方法进行组合,就可加工出理想形面。

(二) 坐标磨床磨削实例

将图 3.2-16 所示零件,用连续轨迹数控坐标磨床制造其凹凸磨具,方法如下:

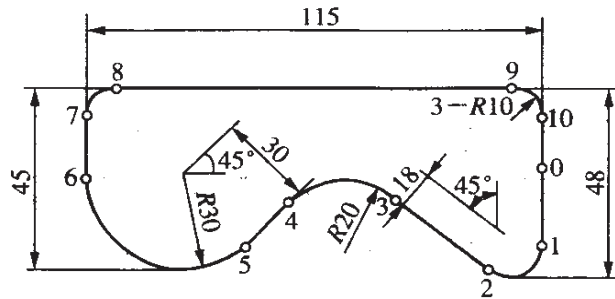


图 3.2-16 零件图

1. 模具制造工艺过程

(1) 凸模工艺过程如下:

- ① 刨、铣外形六面、粗加工凸模外形。
- ② 平磨外形六面。
- ③ 坐标镗钻螺孔,画凸模形状线,钻定位销孔,留磨量 0.3 mm。
- ④ 铣凸模形状,单边留磨量 0.2 mm。
- ⑤ 进行热处理,热处理后硬度应达 62~65 HRC。
- ⑥ 平磨外形六面。
- ⑦ CNC 坐标磨床磨定位销孔,编程磨凸模形面,在机床上检验和记录形面尺寸与定位销孔的相对位置。

(2) 凹模工艺过程如下:

- ① 刨、铣外形六面、粗加工内形面。
- ② 平磨外形六面。
- ③ 坐标镗钻螺孔,画凸模形状线,钻镗定位销孔,留磨量 0.3 mm。
- ④ 进行热处理,热处理后硬度应达 62~65 HRC。
- ⑤ 平磨外形六面。
- ⑥ NC 线切割以定位销孔为基准,编程切割内形,单边留磨量 0.05~0.1 mm。

⑦ CNC 坐标磨床按凸模程序,改变入口圆位置和刀补方向,磨内形面,磨好定位销孔。

2. 程序编制

工作图→工艺分析→数据计算→后置处理→CNC 坐标磨

(1) 工艺分析: 确定加工方式、路线及工艺参数。图 3.2-17 所示为坐标磨削时磨削路线及砂轮中心轨迹。为保证多次循环进给在切入处不留痕迹,一般应编一个砂轮进入的入口圆。磨凸模时,砂轮由 A 点逆时针运动 270°,在 B 点切向切入轮廓表面。编程时,不计算砂轮中心运动轨迹插补参数,只计算工件轮廓轨迹插补参数。

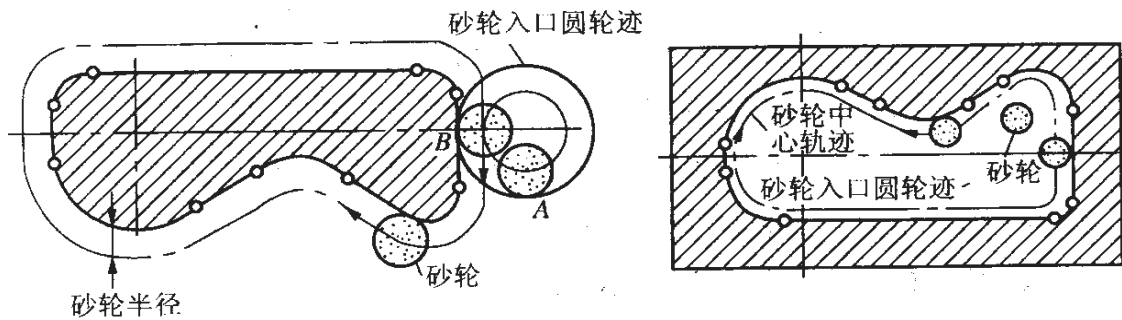


图 3.2-17 凹凸模加工示意

工具参数如下:

| | | |
|-------------|--------|-----|
| T1: K10.13 | V0.04 | E3% |
| T2: K10.01 | V0.003 | E3% |
| T3: K10.001 | V0.001 | E1% |
| T4: K10.000 | V0.000 | E1% |

即砂轮半径 10 mm,加工余量单边为 0.13 mm,用 T1 砂轮磨 3 次,每次进给 0.04 mm;T2 砂轮磨 3 次,每次进给 0.003 mm;T3 砂轮磨 1 次,每次进给 0.001 mm;T4 砂轮磨 1 次,不进给。

(2) 数据计算: 目的是向机床输入待加工零件几何信息,以适应机床插补功能。内容包括: 直线和圆弧起始点坐标,圆弧半

径及其他有关插补参数。

(3) 后置处理：任务是将工艺处理信息和数值计算结果的数据编写成程序单，输入机床数控装置。

(4) 磨削模具的完整加工程序如下：

```
N1    X0    Y0    M00 (MAINPROGRAM$)
N2    T1    G71  J100$
N3    T2    G71  J100$
N4    T3    G71  J100$
N5    T4    G71  J100$
N6    G01   X150 • F1500  M02$
N100  X100 • Y-15 • M00 (SUBROUTINE)$
N105  G13   X85 • Y0 • G41  G78  F500  K15 • $
N110  G01   Y-18 • $
N115  G02   X67.929  Y-25.071  K10 • $
N120  G01   X56.784  Y-13.926$
N125  G03   X28.50  K20 • $
N130  G01   X21.213  Y-21.213$
N135  G02   X-30  Y0  K30 • $
N140  G01   Y10 • $
N145  G02   X-20  Y20  K10 • $
N150  G01   X75 • $
N155  G02   X85  Y10  K10 • $
N160  G01   Y0 • $
N165  G03   X100  Y-15  G79  K15 • $
N170  G72$
```

加工凹模时只需改变入口圆位置和将左刀补改为右刀补即可，其余程序不变。

第三节 花键轴磨削

一、花键概述

花键联接在机械设计中应用广泛,常用于定中心的联接或传递扭矩。花键按齿形可分为矩形花键、渐开线花键、梯形花键和三角形花键等。由于矩形花键的齿形简单,加工工艺性好,在各种机械中应用最多。

矩形花键有两种定心方式,即小径定心和大径定心,如图 3.3-1 所示。

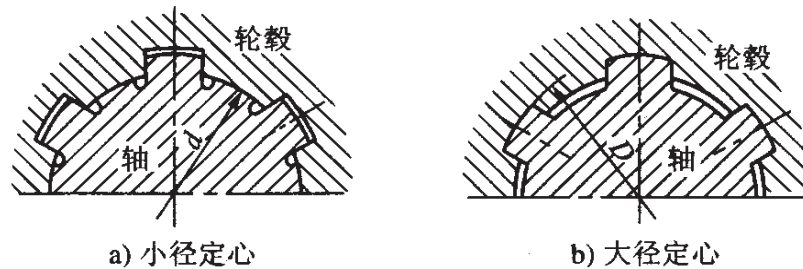


图 3.3-1 矩形花键的两种定心方式

(一) 小径定心

小径定心是花键联接最精密的方式,定心精度高,其小径和键侧均需磨削,加工难度较大,多用于机床行业。

(二) 大径定心

大径定心加工方便,定心精度低于小径定心,多用于汽车、摩托车和拖拉机。

二、矩形花键轴的磨削方法

矩形花键轴的磨削是在花键轴磨床上进行的。磨削内容有花键键侧的磨削,花键小径的磨削和花键大径的磨削。磨削时,工件

装夹在机床的两顶针间,工作台做纵向走刀,工件每往复一次行程做一次分度。每完成一周磨削后砂轮做一次垂直进给,直至达到工艺要求为止。矩形花键轴的大径在外圆磨床上磨削和磨削一般圆柱面的方法相同。

(一) 花键键侧的磨削

花键键侧的磨削方法主要有双平行砂轮磨削和双角度砂轮磨削两种方法。

1. 双平行砂轮磨削

双平行砂轮磨削见图 3.3-2 a)。在机床砂轮主轴上安装两个平行砂轮同时磨削花键的两个侧面。这种方法调整简便。两个砂轮间的距离 L 按下式计算:

$$L = \sqrt{d^2 - B^2}$$

式中 d ——花键小径(mm)

B ——花键宽度(mm)

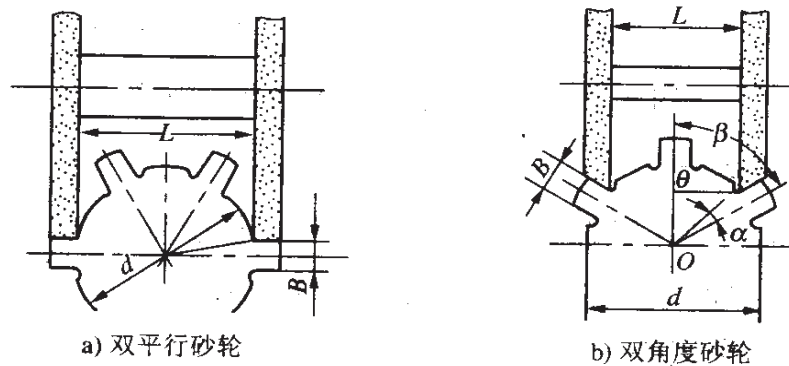


图 3.3-2 花键键侧的磨削

2. 双角度砂轮磨削

双角度砂轮磨削见图 3.3-2 b)。在机床砂轮主轴上安装两个角度砂轮同时磨削花键的两个侧面。这种方法调整较简便,两个砂轮间的距离 L 准确性要求严格。 L 按下式计算:

$$L = d \sin \theta$$

$$\theta = \beta - \alpha$$

$$\beta = \frac{360^\circ}{N}$$

$$\sin \alpha = \frac{B}{d}$$

式中 d ——花键小径(mm)
 B ——键宽(mm)
 N ——键数
 β ——相邻两键中心夹角($^\circ$)

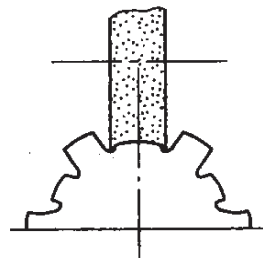


图 3.3-3 花键小径的磨削

(二) 花键小径磨削
 用成形圆弧砂轮磨削(见图 3.3-3),圆弧直径等于花键轴小径。这种磨削方法简便,使用普遍,生产率高。

(三) 花键键侧及花键小径同时磨削

这是一种复合磨削方法,有单片砂轮磨削法和三片砂轮磨削法。

1. 单片砂轮磨削法

和齿轮的成形磨削法相似。用成形砂轮同时磨削花键一个齿槽的三个面,见图 3.3-4。这种方法调整简便,效率高。

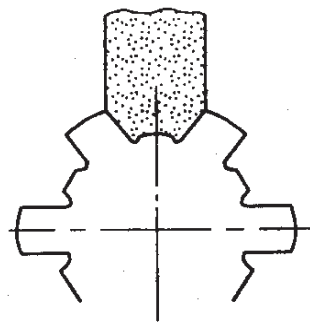


图 3.3-4 单片砂轮磨削法

2. 三片砂轮磨削法

在机床砂轮主轴上安装三个砂轮,同时磨削花键的两个键侧面和小径的圆弧面,见图 3.3-5。这种方法调整较复杂,尺寸 C 准确性要求严格。 C 按下式计算:

$$C = \frac{d}{2} \sin\theta - \frac{B}{2}$$

$$\theta = \beta - \alpha$$

$$\beta = \frac{360^\circ}{N}$$

$$\sin\alpha = \frac{B}{d}$$

式中 d ——花键小径(mm)
 B ——键宽(mm)
 N ——键数
 β ——相邻两键中心夹角($^\circ$)

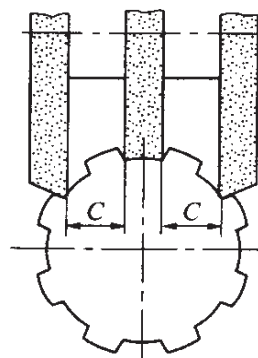


图 3.3-5 三片砂轮磨削法

三、砂轮的选择与修整

(一) 砂轮的选择

1. 磨料

被磨花键的材料为一般牌号的淬硬合金钢时,磨料应选用白刚玉(WA)。

2. 硬度

用成形砂轮磨削花键键侧和小径时,因接触面较大,应选用中软(K~L)硬度的砂轮;用成形砂轮只磨削花键小径时,宜选用偏软(J~K)一些的砂轮;用双砂轮只磨削花键键侧时,则选用偏硬(L~M)一些的砂轮。

3. 粒度

粒度的选择应能保证被磨花键允许的精度和表面粗糙度,精度和表面粗糙度要求越高,选择粒度应越细。一般选用 F46~F60,精磨时选用 F60~F80。

4. 结合剂

一般多选用性能稳定的陶瓷结合剂。

5. 组织

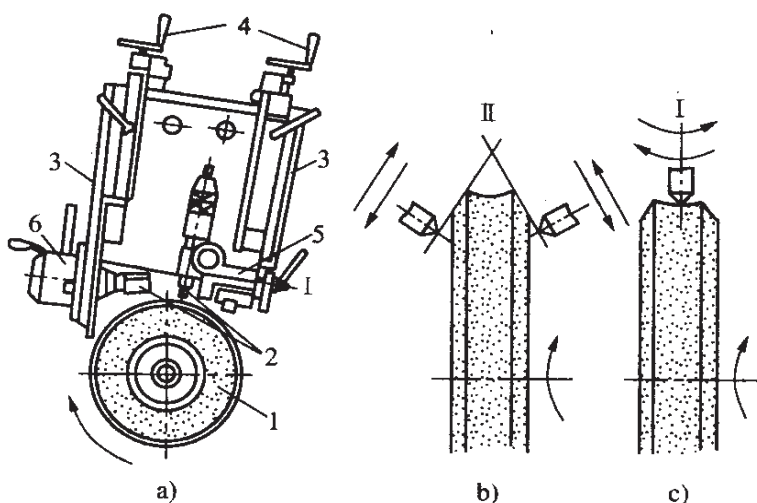
宜选用介于紧密和中等之间的 4~5 号。

(二) 砂轮的修整

磨削矩形花键的砂轮修整是借助于砂轮修整器,用金刚石笔进行。

1. 成形砂轮的修整

图 3.3-6 是成形砂轮修整器,用它可以修整成形砂轮的两个侧面和砂轮中间的圆弧面。它可以安装在砂轮架的壳体上。图中: 1—被修整砂轮, 2—金刚石笔, 3—托架, 4—切入进给手轮, 5—修整砂轮圆弧面的旋转支座, 6—修整砂轮侧面的支座。



a) 修整器 b) 修整砂轮两侧面 c) 修整砂轮圆弧

图 3.3-6 成形砂轮修整器

2. 双砂轮的修整

图 3.3-7 是双砂轮修整器,用它可以修整两片砂轮的圆锥面或圆柱面。它安装在机床的工作台上。图中: 1—被修整砂轮, 2—底座, 3—金刚石笔, 4—支座, 5—移动托架, 6—旋转板, 7—机床工作台。

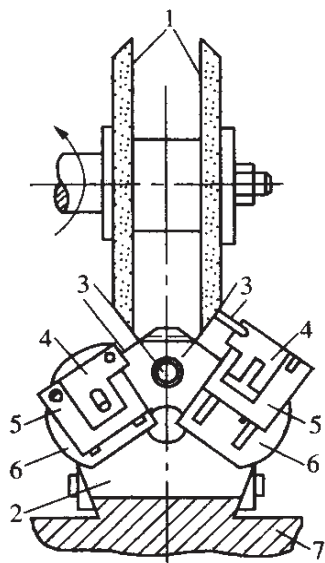


图 3.3-7 双砂轮修整器

四、磨削用量的选择

1. 砂轮圆周线速度

一般在 $25 \sim 45 \text{ m/s}$ 之间选择,当用较小直径砂轮时,选用偏下限的值。

2. 工作台运动速度

取决于被磨花键的长度。当键长为 60 mm 时,工作台运动速度取 $5.0 \sim 8.0 \text{ m/min}$,当键长到 250 mm 时,工作台运动速度取 $12.5 \sim 16 \text{ m/min}$ 。若工作台用挡块换向时,工作台运动速度不应超过 8 m/min 。

3. 砂轮径向进给量和行程次数

砂轮径向进给量取决于磨削接触长度和工作台运动速度。磨削接触长度长或工作台运动速度大时都应取下限值。行程次数与加工精度、磨削接触长度和花键轴的长径比有关。当花键精度和表面粗糙度要求高时,应增加光磨行程次数,当磨削接触长度超过 16 mm 或花键轴的长径比大于 4 时,应增加总行程次数。

磨削淬火钢花键的磨削用量见表 3.3-1。

表 3.3-1 淬火钢矩形花键磨削用量

| 单面加工余量 h (mm) | 工作台运动速度 (m/min) | 砂轮径向进给量(mm/d·st) | | | | | | 行程数 | | | |
|--------------------|--------------------|------------------|-------|-------|----|-----|----|-----|-----|----|----|
| | | 行程名称 | | | | | | 粗磨 | 半精磨 | 光磨 | 共计 |
| | | 粗磨 | 半精磨 | 光磨 | 粗磨 | 半精磨 | 光磨 | | | | |
| 0.16 | 5.0~8.0 | 0.032~0.043 | 0.010 | 0.003 | 3 | 3 | 1 | 7 | | | |
| | 8.0~10.0 | 0.028~0.038 | 0.009 | 0.003 | 4 | 3 | 1 | 8 | | | |
| | 10.0~12.5 | 0.025~0.034 | 0.009 | 0.003 | 4 | 3 | 1 | 8 | | | |
| | 12.5~16.0 | 0.022~0.029 | 0.007 | 0.002 | 5 | 3 | 1 | 9 | | | |
| 0.20 | 5.0~8.0 | 0.036~0.048 | 0.012 | 0.004 | 4 | 2 | 1 | 7 | | | |
| | 8.0~10.0 | 0.032~0.042 | 0.010 | 0.003 | 4 | 3 | 1 | 8 | | | |
| | 10.0~12.5 | 0.028~0.037 | 0.009 | 0.003 | 5 | 3 | 1 | 9 | | | |
| | 12.5~16.0 | 0.024~0.032 | 0.008 | 0.003 | 6 | 3 | 1 | 10 | | | |
| 0.25 | 5.0~8.0 | 0.040~0.054 | 0.014 | 0.004 | 5 | 2 | 1 | 8 | | | |
| | 8.0~10.0 | 0.035~0.047 | 0.012 | 0.004 | 6 | 2 | 1 | 9 | | | |
| | 10.0~12.5 | 0.031~0.042 | 0.010 | 0.003 | 6 | 3 | 1 | 10 | | | |
| | 12.5~16.0 | 0.027~0.035 | 0.009 | 0.003 | 7 | 3 | 1 | 11 | | | |
| 0.30 | 5.0~8.0 | 0.046~0.061 | 0.005 | 0.005 | 6 | 2 | 1 | 9 | | | |
| | 8.0~10.0 | 0.040~0.054 | 0.004 | 0.004 | 7 | 2 | 1 | 10 | | | |
| | 10.0~12.5 | 0.036~0.048 | 0.004 | 0.004 | 8 | 2 | 1 | 11 | | | |
| | 12.5~16.0 | 0.030~0.040 | 0.003 | 0.003 | 8 | 3 | 1 | 12 | | | |

续表

| 单面加工余量 h (mm) | 工作台运动速度 (m/min) | 砂轮径向进给量(mm/d·st) | | | | | | 行程数 | | | |
|--------------------|--------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|----|-----|-----|----|----|
| | | 粗磨 | | 半精磨 | | 光磨 | | 粗磨 | 半精磨 | 光磨 | 共计 |
| | | 粗磨 | 半精磨 | 半精磨 | 光磨 | 光磨 | 粗磨 | 半精磨 | 光磨 | 共计 | |
| 0.40 | 5.0~8.0 | 0.051~0.068 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 7 | 2 | 1 | 10 | |
| | 8.0~10.0 | 0.045~0.060 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 8 | 2 | 1 | 11 | |
| | 10.0~12.5 | 0.040~0.053 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 9 | 2 | 1 | 12 | |
| | 12.5~16.0 | 0.034~0.045 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 9 | 3 | 1 | 13 | |
| 0.50 | 5.0~8.0 | 0.057~0.076 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 8 | 2 | 1 | 11 | |
| | 8.0~10.0 | 0.050~0.067 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 9 | 2 | 1 | 12 | |
| | 10.0~12.5 | 0.045~0.059 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 10 | 2 | 1 | 13 | |
| | 12.5~16.0 | 0.038~0.050 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 11 | 2 | 1 | 14 | |

五、花键轴磨削实例

(一) 被磨削花键轴参数

被磨削花键轴参数如下：

齿形：矩形；键数： $N=8$ ；键宽： $B=7\text{ mm}$ ；大径： $D=40\text{ mm}$ ；
小径： $d=36\text{ mm}$ ；键长： $l=200\text{ mm}$ 。

(二) 花键轴磨削方法

同时磨削花键轴二侧面和小径表面。

(三) 机床调整步骤

1. 砂轮的选择、安装和修整

砂轮型号为 4 型 $250\times 20/6\times 75\text{A}60\text{M}4\text{V}$ 。

将砂轮 3 安装在机床主轴上(图 3.3-8)，在砂轮和压板 1、6 之间垫上纸垫 2、4，在紧固前用滑块 5 调整平衡。调换带轮，保证砂轮合适的圆周线速度。

用砂轮修整器的金刚石笔修整砂轮的两侧锥面和外圆圆弧面。

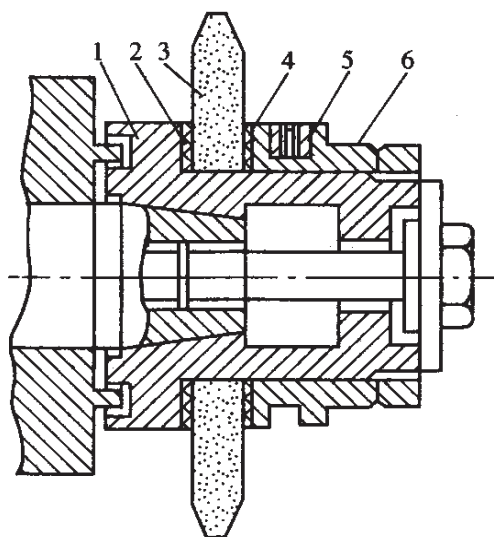


图 3.3-8 砂轮的安装

2. 调整工作台行程

根据花键长度调整挡块位置。砂轮中心应远离工件键槽右端,以便头架的分度机构进行分度,离开的距离 l_1 可按切入量公式计算:

$$l_1 = \sqrt{2(l-2)} + 15$$

键长 $l=200$ 时, $l_1 \approx 35$,为安全起见,取 $l_1=48$ 。工作台的行程为 $200+2 \times 48=296$ mm。

3. 调整自动分度机构

使用点动分度按钮,检查分度是否正确。

4. 检查头架顶尖的同轴度

顶尖的径向跳动应在 0.005 mm 以内,以减少小径与支承轴径的同轴度偏差的影响。用千分表接触顶尖,使头架旋转一周,即可从表中读到顶尖的径向跳动量。

5. 检查两顶尖的中心连线对导轨的平行度

在两顶尖间装上标准心轴,用千分表检查测量心轴的上母线和侧母线。中心连线对导轨平行度的允差为 $500:0.005$ mm。

6. 选取和调整磨削用量

(1) 工作台运动速度(即纵向进给量) $v_f=5 \sim 10$ m/min。

(2) 花键的单边余量 $h=0.16$ mm。

(3) 行程:五次粗磨,三次半精磨和一次光磨。

(4) 砂轮最大垂直移动量为 2.1 mm。

(5) 半精磨余量 0.06 mm,光磨无进给量。

机床调整完毕后即可进行磨削。磨削前应对工件的两端中心孔进行仔细研磨。磨削时,砂轮每垂直进给一次,花键轴旋转一周,各键依次磨去一层余量,直到符合要求为止。

六、花键轴磨削的缺陷及消除措施

在花键轴磨削中常出现的缺陷、产生原因和解决措施见表 3.3-2。

表 3.3-2 键轴磨削中常出现的花键误差、产生原因和解决措施

| 花键误差 | 产生原因 | 解决措施 |
|---|--|---|
| 小径出现锥形、鼓形,圆弧对中心线偏移 | ① 因头、尾架高度不一致,产生锥形 ② 磨削细长花键轴时,因工件的弹性变形,产生鼓形 ③ 砂轮修整装置的圆弧中心线与分度机构中心线不重合,砂轮纵断面的对称线与分度机构中心线不重合,砂轮磨损等 | ① 用千分表和标准心轴校正头、尾架顶尖高度 ② 用千斤顶或中心架支撑工件中部,克服磨削变形 ③ 用对刀样板检查金刚石笔位置,调整偏移量小于0.01 mm ④ 定期修整砂轮,修整后不得出现横移 |
| 花键轴的大径与小径同轴度超差 | ① 花键轴的顶尖孔有缺陷 ② 加工大小径的基准不一致 ③ 分度头架的轴承间隙大 ④ 分度头架顶尖的径向跳动大 | ① 研磨花键轴的中心孔 ② 统一加工大小径的基准 ③ 重新调整轴承,保证合适间隙 ④ 仔细检查和调整顶尖的径向跳动,重新安装顶尖 |
| 花键圆周分布不均匀,键侧有不等分误差;键侧对中心线不平行,有齿向误差;花键两侧面不平行 | ① 分度机构不准确,分度板等分和内孔精度差 ② 分度板插销未插好 ③ 分度头架顶尖的径向跳动大 ④ 头尾架顶尖的轴线不同轴 ⑤ 头尾架顶尖的中心连线与工作台导轨不平行 ⑥ 砂轮夹角大于或小于工件夹角 | ① 检查分度板的分度精度和内孔精度,若精度超差应修整或更换分度板 ② 确认分度板插销工作正常 ③ 仔细检查和调整顶尖的径向跳动,重新安装顶尖 ④ 用千分表和标准心轴校正两顶尖轴线的重合度和纵向偏差 ⑤ 调整头、尾架顶尖的上下、前后螺钉 ⑥ 用对刀样板调整砂轮修整器角度 |
| 花键轴加工表面的粗糙度不符合要求 | ① 砂轮特性的选择不正确 ② 磨削用量的选择不正确 | ① 选择粒度号较大的砂轮 ② 调整磨削用量 |

第四节 球面磨削

一、球面磨削原理

球面磨削一般用成形磨削或范成磨削两种方法。范成磨削不需要特殊设备,可用普通磨床、车床等进行磨削,砂轮也不需要特殊的成形修整,应用较普遍。

如图 3.4-1 所示,杯形砂轮与工件安装成轴线相交 α 角,砂轮与工件同时绕各自的轴线旋转。根据平面与球面相截,所得截形是个圆的基本原理。例如截面 $J-J$,所截形为 $J-J$ 圆,圆心与球心 O 重合,所截圆直径 D_J 大小与截平面至球心距离 e 大小有关。

磨削时,当工件绕垂直轴线旋转时,砂轮与工件接触点 J 的轨迹为水平的 $J-J$ 圆周,同时砂轮绕自身轴线高速旋转,对球面产生磨削作用,

磨刃轨迹复盖在全部球面上,当砂轮沿轴线进给时,就能磨出合乎要求的球面。球面磨削的基本要求是:

(1) 砂轮轴线必须通过球心,使工件上某点(例 J 点)的运动轨迹与球面这点的截形圆相重合,例如砂轮 B 点的轨迹圆与球面柄部截面位置圆相重合,其截形圆所在截平面至球心距离为 K 。

(2) 砂轮轴线与球面轴心线夹角为 α 角,以确定球面的加工

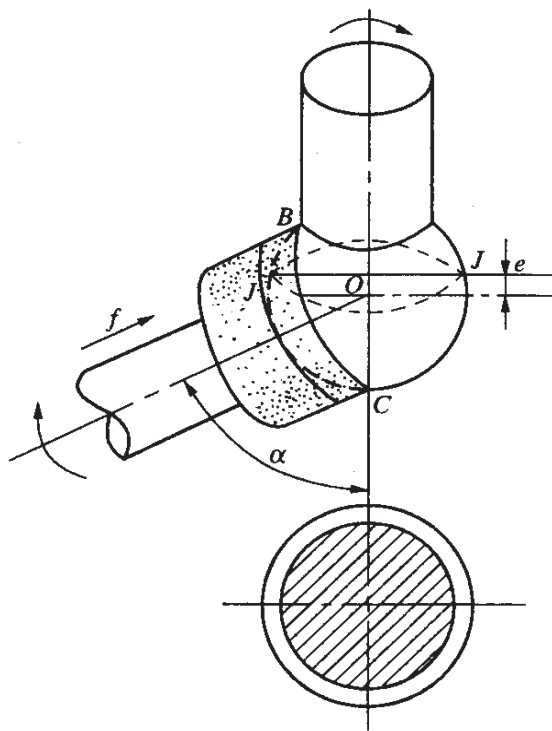
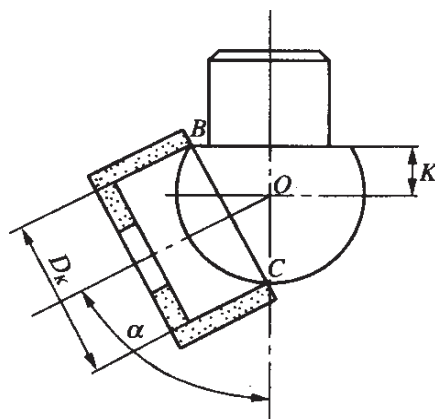


图 3.4-1 球面磨削原理

位置。

二、外球面磨削砂轮的选择和修整

外球面磨削,常用杯形砂轮(代号 6 型,旧标准 B 型)或单面凹砂轮(代号 5 型,旧标准 PDA 型)。砂轮内孔直径大小与工件球面大小有关。由图 3.4-2 可知,砂轮内孔直径 D_K 应等于工件截面中的弦长 BC 。在加工前,应根据工件的尺寸计算出砂轮的直径。计算公式如下:



$$D_K = \sqrt{D(D/2 + K)}$$

式中 D_K ——砂轮磨削圆直径(mm) 图 3.4-2 砂轮的直径和安装角度

D ——球面直径(mm)

K ——球肩部至球心 O 的距离(mm)

式中的 K 值,当工件球部大于半圆时为正值,小于半圆时为负值,等于半圆时为零。

砂轮的内孔,用金刚石修整。磨削外球面时,砂轮孔径可选较计算值稍小一些,以便精确修整到要求的尺寸。如果没有合适规格的砂轮,可选尺寸接近的砂轮,然后用金刚石加以修整即可。

砂轮宜选用较软的砂轮(K 级、L 级),一般选用 WA60JV 砂轮;磨削用量也宜选小些, V_s 取 15~20 m/s, $V_w = 1 \sim 5$ m/min,粗磨时 $a_p = 0.02 \sim 0.04$ mm,精磨取 $a_p = 0.002 \sim 0.005$ mm。

三、外球面的磨削方法

(1) 机床调整: 根据公式 $\sin \alpha = D_K / D$ 求出砂轮安装斜角。

转动机床头架使其符合 α 角。一般球面磨削,砂轮的安裝斜

角比较大,调整时由于头架偏离磨削位置太远,砂轮架退不出去,无法进行磨削加工,所以,在实际调整时,往往采取转动砂轮架和磨头的方法来解决(图 3.4-3)。

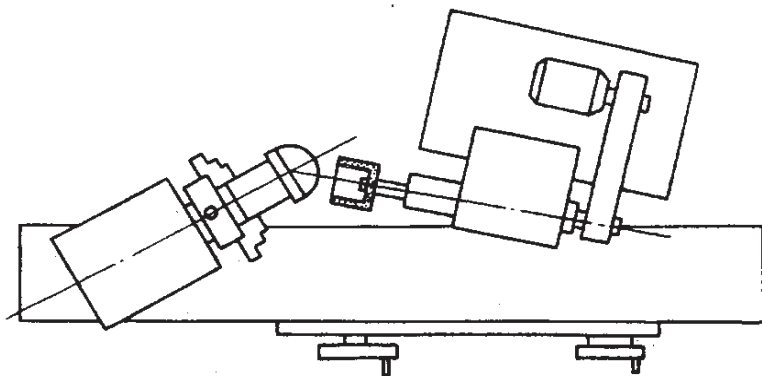


图 3.4-3 磨外球面机床的调整

(2) 用四爪卡盘夹持圆柱柄部外圆,找正外圆和球面的径向圆跳动;跳动量在 0.02 mm 以内。

(3) 修整砂轮内孔,使内径尺寸基本符合计算值。

(4) 转动砂轮架和头架,使砂轮架、头架与工件球面相对位置等于砂轮安装角 α 。

(5) 移动工作台和砂轮架,使工件外球面接近砂轮磨削位置。

(6) 启动砂轮进行对刀磨削,如果靠近球面外缘部分先磨到,砂轮架应横向微量退刀。通过多次调整,使砂轮均匀磨削工件外球面。

(7) 根据成形磨削原理砂轮轴线应与工件轴线等高,以保证加工球面的圆度。一般可检查磨削痕迹,如果工件球体表面呈凸状花纹时(图 3.4-4 a)),说明砂轮的下半周参加磨削,砂轮的轴心高于工件中心。反之,如果工件球体表面呈凹状花纹时(图 3.4-4 b)),说明砂轮的上半周参加磨削,砂轮的轴心低于工件中心,应调整砂轮的轴心位置,使砂轮轴心与工件中心等高。当工件球面上呈交叉网状花纹(图 3.4-4 c))时,说明砂轮轴心已与工件中心等高。

其误差要求在 0.003~0.004 mm 范围。

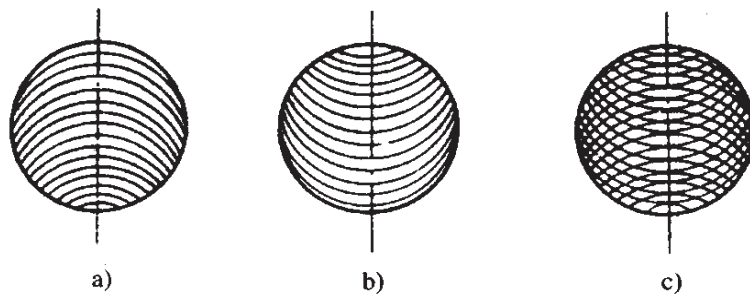


图 3.4-4 球面磨削痕迹

(8) 用球面套规检验外球面的弧度误差,如果球心部分有显示剂痕迹,说明角度偏小,可微调上工作台,使角度增大。反之,如果球外缘部分有显示剂痕迹,说明角度偏大,上工作台反向调整,使角度减少,通过多次调整、试磨,使外球面的弧度符合图纸要求。

四、容易产生的问题和注意事项

(1) 由于外球面磨削,砂轮架转动了一定角度。所以,砂轮内孔尺寸的修整应在机床调整前完成。砂轮在磨削过程中产生磨钝现象后不必修整内孔,只要用砂条修整砂轮的端面就可使砂轮既恢复锋利又保证尺寸不变。

(2) 当砂轮磨钝后,砂轮与工件接触弧宽度增加,影响磨削质量,应及时用砂条修整砂轮端面,以利提高加工精度。

(3) 在进行球面磨削时,砂轮轴线与工件轴线不可能绝对等高,反映在工件上会产生一个很小台阶,影响加工精度,这时可在球面顶端钻一个 <1 mm 的中心孔来避免。

五、内球面磨削

(一) 内球面磨削砂轮的选择与修整

内球面磨削常采用平行砂轮(代号 1 型,旧代号 P 型),砂轮外

径的大小直接与工件球面大小有关。砂轮的直径 D_K 应等于工件内圆截面的弦长 BC (图 3.4-5)。计算直径的公式与外球面磨削公式相同： $D_K = \sqrt{D\left(\frac{D}{2} + K\right)}$ 。

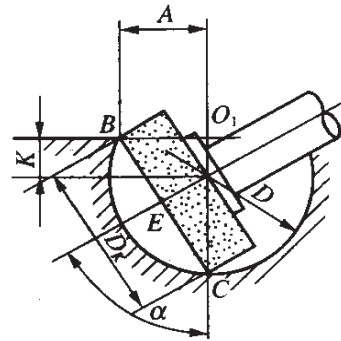


图 3.4-5 磨内球面时砂轮的直径和角度

砂轮外径可选择比计算值稍大一些,然后用金刚石修整至要求尺寸。

(二) 内球面磨削方法

(1) 机床调整:先根据公式 $\sin\alpha = D_K/D$ 求出砂轮安装斜角。然后转动砂轮架和头架,使砂轮与工件内球面轴线的相对角度等于砂轮安装角 α (图 3.4-6)。

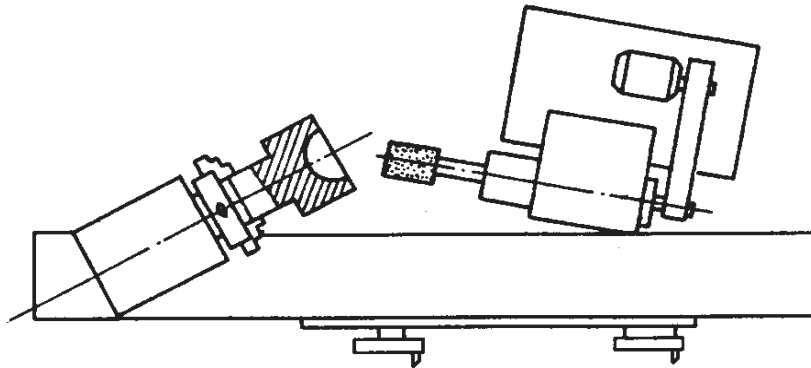


图 3.4-6 磨内球面机床的调整

(2) 用四爪卡盘夹持圆柱柄部外圆,找正外圆和球面的径向圆跳动,跳动量在 0.02 mm 以内。

(3) 修整砂轮外圆,使外圆尺寸基本符合计算值。

(4) 转动砂轮架和头架,使工件球面与砂轮轴线等于安装角。图中球面为半圆,故安装角 $\alpha = 45^\circ$ 。

(5) 启动砂轮进行对刀、调整,经过多次调整,使砂轮均匀磨削内球面。

(6) 检查磨削痕迹,调整中心位置,使砂轮轴线与工件中心等高。

(7) 用球面塞规检验内球面的弧度误差,经过多次调整,使内球面弧度符合图纸要求。

(三) 注意事项

(1) 内球面磨削,砂轮外径大小影响内球面弧度的大小,当砂轮磨钝后,一般不修整外圆,而修整端面,以保持砂轮锋利。

(2) 砂轮与工件接触面积大,热量不易散发,因此,磨削液必须充分。

(3) 砂轮横向进给量不宜太大,否则易发生振动、梗刀,使磨削精度和表面粗糙度受影响。

第五节 套类零件磨削

一、薄壁套类零件磨削

薄壁套类零件是指孔壁厚度为孔径的 $1/8 \sim 1/10$ 的零件。这类零件在磨削加工时受夹紧力、磨削力和磨削热等影响,会使工件局部产生新的应力,这种应力在不同时期不断地释放,从而破坏零件的制造精度。为解决这类零件的变形问题,在工艺过程中应特别注意改进零件的装夹方法;细化加工工艺,划分为粗磨、半精磨、精磨工序;合理地选择砂轮与磨削用量参数;采取消除工件内应力的措施。

(一) 装夹方法

工件在内外圆磨削时均采用夹具装夹,以减少工件的受力变形,其中内圆磨削最关键。主要装夹方法有:

1. 电磁夹具

如图 3.5-1 所示,利用电磁夹具将工件吸在磁盘上。此种装

夹适用于长度较短的零件,以端面作定位基准进行内孔磨削。

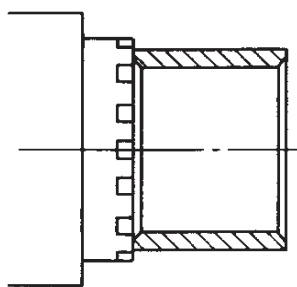


图 3.5-1 用专用电磁盘安装

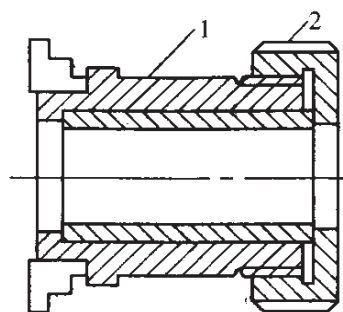


图 3.5-2 用专用夹具安装

1—定位套 2—锁紧螺母

2. 专用夹具

如图 3.5-2 所示,装夹方法适于长度较长的零件,工件靠螺母在端面方向夹紧,夹持力的方向作用在工件刚性较强的轴向部位,从而避免和减少工件径向几何变形量。此种装夹要求夹紧元件定位套 1 的外螺纹和锁紧螺母 2 的内螺纹的轴线应和机床回转中心同心,同时锁紧螺母的内端面与螺纹的轴线相垂直。此种装夹方法多用于批量生产。

3. 用普通辅具装夹

如图 3.5-3 所示,安装时压板压紧力要均匀一致,压板要放平整,夹紧力方向应垂直于工件的定位基准面。

4. 胀套装夹

如图 3.5-4 所示,为心轴胀套装夹,心轴体 1 制成 1:20 锥形,其上装可胀弹性套 2。胀套装夹可使工件外圆受力均匀,以减少工件变形。它的直径可在一定范围内调

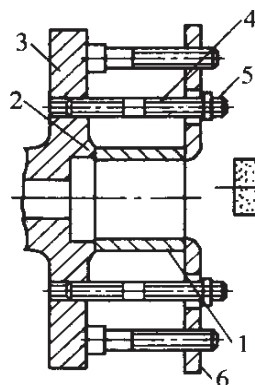


图 3.5-3 用压板压紧

1—工件 2—定位面 3—圆盘
4—螺栓 5—螺母 6—压板

整,定位精度高,夹紧可靠。用胀套心轴夹紧时要注意进给方向,只能向左(大径端)方向进给,以免造成事故。

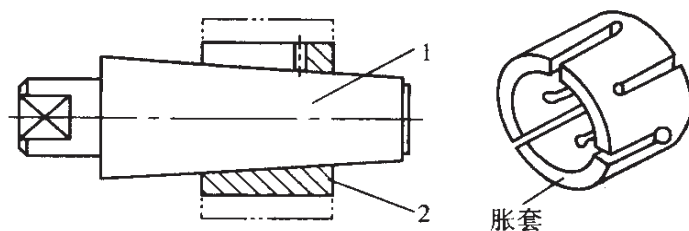


图 3.5-4 胀力心轴

1—心轴体 2—胀套

5. 用微锥心轴

心轴锥度一般可取每 100 mm 长度内,两端直径差 0.014~0.02 mm,根据工件的精度而定。心轴外圆与工件内孔之间配合,以能克服磨削力为准,不宜过紧而使工件变形。一般多用于小批生产。

6. 有锥孔的薄壁套磨外圆心轴

图 3.5-5 a)所示为薄壁套在心轴上装夹情况,工件在夹紧力的作用下,由于锥体的作用而产生径向分力,会使工件变形。图 3.5-5 b)为改进后的心轴,其定位锥体可沿轴向浮动,以使端面 A 承受夹紧力,消除工件的径向变形。

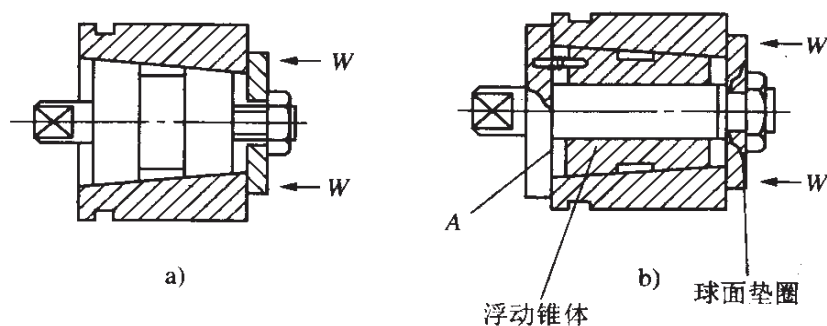


图 3.5-5 磨锥孔心轴

7. 闭式中心架

磨削较长的套类零件内孔时,常采用四爪卡盘和闭式中心架装夹。装夹时工件的一端用卡盘夹持,另一端用支承爪支承在工件的外圆表面上。装夹前要求工件外圆须经过预磨,并保持较好的圆度。

(二) 减少热变形

磨削热是引起薄壁套变形的原因之一,由于工件内壁磨削热不易散失,工件会磨成凹面(图 3.5-6 a))。因此,磨削时应增大磨削液的压力和流量,改进喷注方法,以增加冷却效果。对长薄壁套工件可采用图 3.5-6 b)带有内冷却的心轴,可大大改善工件受热情况,保证工件精度。

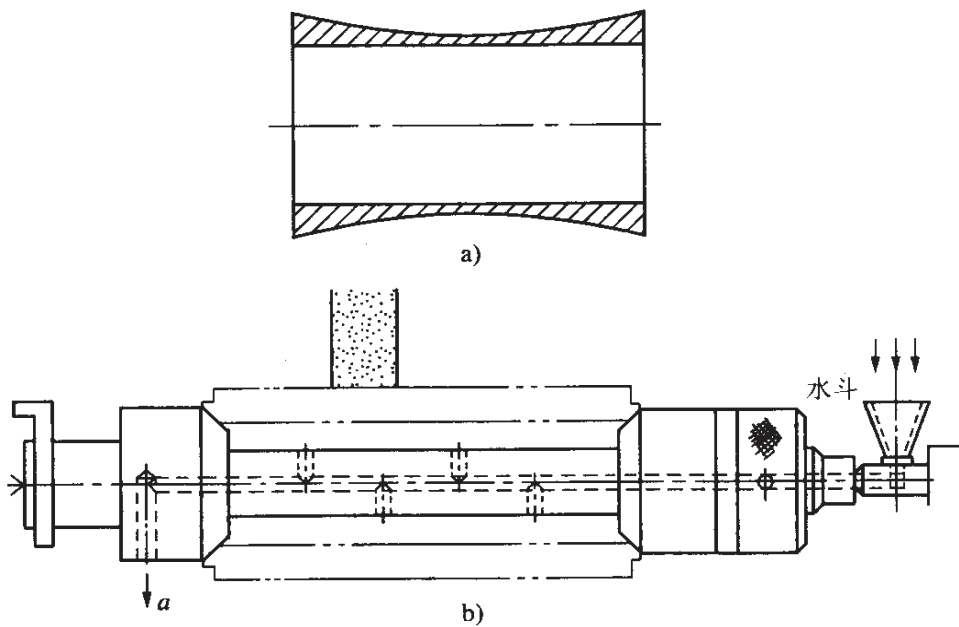


图 3.5-6 薄壁套的形状误差和带有内冷却的心轴

(三) 砂轮的选择

薄壁套内孔磨削时,散热和冷却较差,因此宜选切削性能好的白刚玉(WA)或铬刚玉(PA)砂轮;粗磨、半精磨选 F60 粒度,精磨选 F80 粒度;硬度宜选较软砂轮,可相应降低磨削应力和磨削热。

使砂轮有较好的自锐性。一般选 K 级或根据情况选 J 和 L 级。

(四) 细化加工工艺,合理选择磨削用量

细化加工工艺,对提高薄壁零件的质量很重要,应划分粗磨、半精磨与精磨工序,合理分配加工余量,精磨时尽可能选用小的背吃刀量,使工件的各种变形与质量缺陷在多次加工工序中消除,以达到最终的精度要求。在粗磨前后工件应进行消除应力措施,以消除因热处理、磨削力和磨削热引起的内应力。

粗磨时磨削速度 $v_s = 25 \sim 30$ m/s,精磨时可低些,可选 $v_s = 20$ m/s,以减少振动。工件速度 $v_w = 25 \sim 50$ m/s,精磨时工件速度可比粗磨时稍高一些,以加快磨削区内的温度与磨削液的交换周期,有利于减少磨削热向工件内部传递。精磨时尽可能减慢工作台移动速度,工作台纵向移动速度在 $50 \sim 80$ mm/min 之间较合适。应注意控制工作台往复换向时的冲击。

(五) 磨削实例——精密薄壁套磨削

图 3.5-7 所示精密薄壁套,要求 $\phi 90$ H6 孔的圆度为 0.005 mm,表面粗糙度值 $R_a 0.4 \mu\text{m}$,其工艺过程如下:

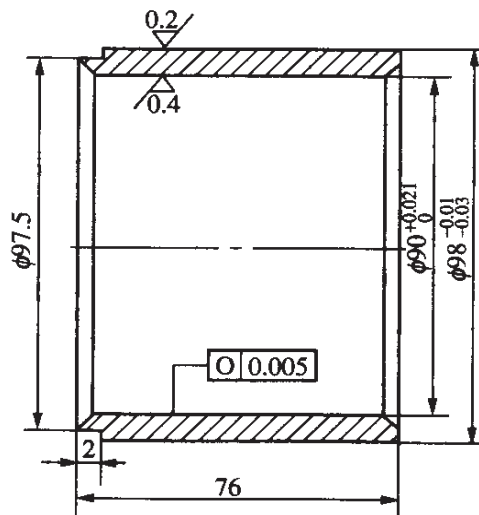


图 3.5-7 薄壁套

粗车内外圆→热处理,消除应力→精车内外圆→热处理,淬硬至 HRC52→平磨二端面,控制平行度 $<0.02\text{ mm}$;长度要求 1T14, $R_a0.8$ →粗磨 $\phi90\text{H6}$ 孔,留精磨余量 $0.10\sim0.15\text{ mm}$ →粗磨 $\phi98$ 外圆;留精磨余量 $0.10\sim0.2\text{ mm}$ →热处理,消除应力→平磨二端面,控制平行度 $<0.01\text{ mm}$ →研磨 $\phi97.5$ 端面,控制平行度 $<0.003\text{ mm}$ →精磨 $\phi90\text{H6}$ 内孔至尺寸,表面粗糙度值 $R_a0.4\ \mu\text{m}$ →精磨 $\phi98$ 外圆至尺寸,表面粗糙度值 $R_a0.2\ \mu\text{m}$ 。

本薄壁套壁厚与孔径比 $1/22$,因此刚性很差。为防止和减少工件变形,整个工艺过程中应采取以下措施:

(1) 粗磨前后对零件应进行消除应力处理,以消除因热处理、磨削力和磨削热所引起的应力变形,保证工件精度的稳定性。

(2) 工艺上采取粗精磨分开,依次减少磨削深度和对磨削力、磨削热的影响。

(3) 改进装夹方式,减少变形。其中磨内圆是关键,采用图 3.5-2 的装夹方法,工件是靠螺母的端面方向夹紧,工件变形很小,可保证磨孔的精度要求。磨外圆以 $1:3\ 000$ 锥度心轴装夹。

二、精密轴套磨削

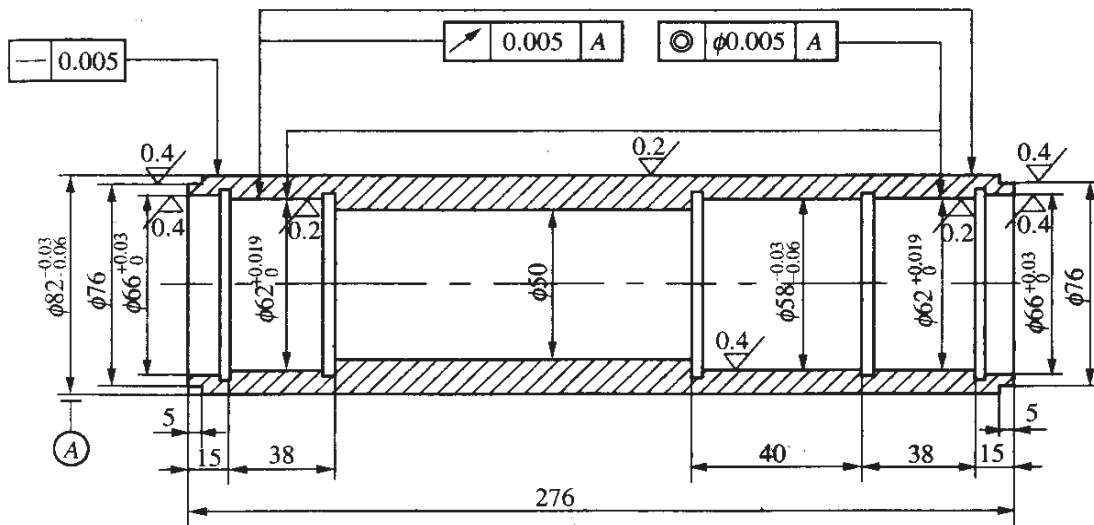
精密轴套类零件,大都由内、外圆柱面组成,结构比较复杂。一般内外圆柱面较长,有较高的尺寸精度和同轴度要求。表现为零件的尺寸精度、形状位置精度、表面粗糙度及微观表面质量(如裂纹、表面烧伤、加工应力等)都有较高的要求。通常两端面支撑孔的尺寸精度为 1T8~1T5 级,同轴度公差为 $2\sim5\ \mu\text{m}$,表面粗糙度为 $R_a0.8\sim0.1\ \mu\text{m}$ 。而且,工件外圆也有较高的尺寸精度及较低的表面粗糙度要求,一般内孔与外圆有较高的同轴度要求。因此给加工带来一定的难度。

磨削加工轴套类零件,首先考虑零件装夹定位要合理;为了消除磨削热等所产生的变形,除尽量细化工艺外。还要选择合理的

磨削用量和砂轮特性参数;防止和减少磨削热等影响,需采取合理的工序间热处理,以稳定材料的组织,控制加工中应力的产生。例如粗加工后的调质处理,主要目的是细化组织,稳定结构;粗磨后的时效处理,可消除粗加工产生的内应力等,为精磨工序提供质量保证。

(一) 工艺分析

图 3.5-8 所示为精磨主轴套筒,工件精度要求高,磨削工艺关键是内孔相对于外圆的径向跳动和同轴度要求,外圆长度长,内孔精度高,以及内、外圆表面粗糙度值小,因此给加工带来一定难度。磨削工艺应采取以下措施:



技术要求

材料 38CrMoAlA, 渗氮淬硬至 900 HV, 并时效处理。

图 3.5-8 精磨主轴套筒

(1) 细化工艺,主要表面磨削分粗磨、半精磨、精磨和精密磨四个阶段完成,合理的分配磨削余量,逐步减少磨削深度以达到加工精度要求。

(2) 采用外圆与内孔互为基准的定位磨削。首先外圆经过精磨,达到较高的精度和圆度后,以外圆作为基准定位磨削内孔。精

磨内孔后,以内孔为基准用心轴装夹精磨外圆,以达到精度和内外圆同轴度要求。

(3) 在粗磨前须进行调质处理(硬度为 28~32 HRC),粗磨后要进行探伤、高温时效去除应力和渗氮淬火处理。

(4) 砂轮的选择和修整如表 3.5-1。

表 3.5-1 砂轮的选择和磨削用量

| 参 数 | | 外 圆 | 内 孔 | 精 密 磨 |
|---------------|--------|------------|------------|-------------|
| 砂 轮 | 粗磨、半精磨 | WA60KV | WA46JV | |
| | 精磨 | WA60KV | PA60KV | WA100LV |
| 砂轮速度(m/s) | | 35 | 20~25 | 15~20 |
| 工件速度(m/min) | | 15~20 | 25~40 | 10~15 |
| 纵向进给速度(m/min) | | 1.8~3.0 | 1.0~2.0 | 0.12~0.18 |
| 背吃刀量(mm) | | 0.005~0.02 | 0.003~0.01 | 0.002~0.005 |
| 光磨次数 | | 1~3 | 1~3 | 4~8 |

(二) 精密轴套磨削工艺(表 3.5-2)

表 3.5-2 精密轴套磨削工艺

| 序号 | 内 容 | 砂轮 | 机床 | 基准 |
|--------------|--|--------|--------|----|
| 1. 粗磨 外圆 | 上心轴,找正外圆跳动量 <0.05 粗磨外圆至 $\phi 82.7_{-0.05}^0, R_a 0.8 \mu\text{m}$ | WA60KV | M131W | 内孔 |
| 2. 热处理 | 探伤高温时效 | | | |
| 3. 半精磨 外圆 | (1) 上心轴,找正外圆跳动量 <0.05 磨外圆至 $\phi 82.2_{-0.025}^0, R_a 0.63 \mu\text{m}$ (2) 磨两端面至 276 ± 0.02 | WA60KV | M1432A | 内孔 |

续 表

| 序号 | 内 容 | 砂轮 | 机床 | 基准 |
|--------------|--|--------|--------|----|
| 4. 粗磨 内孔 | 工件一端装夹,一端用中心架支撑 (1) 磨 $\phi 66$ 孔至 $\phi 65.75^{+0.05}_0$, $R_a 0.8 \mu\text{m}$ (2) 磨 $\phi 62$ 孔至 $\phi 61.75^{+0.035}_0$, $R_a 0.8 \mu\text{m}$ (3) 磨 $\phi 58$ 孔至 $\phi 57.75^{+0.035}_0$, $R_a 0.8 \mu\text{m}$ 并磨出台阶,调头装夹 (4) 磨 $\phi 66$ 孔至 $\phi 65.75^{+0.05}_0$, $R_a 0.8 \mu\text{m}$ (5) 磨 $\phi 62$ 孔至 $\phi 61.75^{+0.035}_0$, $R_a 0.8 \mu\text{m}$ 并磨出台阶面 | WA46JV | M1432A | 外圆 |
| 5. 热处理 | 渗氮、淬硬 900HV | | | |
| 6. 半精磨 外圆 | 上心轴,找正外圆跳动量 < 0.01 磨外圆至 $\phi 82^{+0.04}$ 圆度误差 < 0.005 $R_a 0.4 \mu\text{m}$ | WA60KV | M1432A | 内孔 |
| 7. 半精磨 内孔 | 工件一端装夹,一端用中心架支撑,找正外圆跳动量 < 0.005 (1) 磨 $\phi 66$ 孔至 $\phi 65.95^{+0.025}_0$, $R_a 0.4 \mu\text{m}$ (2) 磨 $\phi 62$ 孔至 $\phi 61.95^{+0.025}_0$, $R_a 0.4 \mu\text{m}$ (3) 磨 $\phi 58$ 孔至 $\phi 57.95^{+0.025}_0$, $R_a 0.4 \mu\text{m}$,调头装夹 (4) 磨 $\phi 66$ 孔至 $\phi 65.95^{+0.025}_0$, $R_a 0.4 \mu\text{m}$ (5) 磨 $\phi 62$ 孔至 $\phi 61.95^{+0.025}_0$, $R_a 0.4 \mu\text{m}$ | WA46JV | M1432A | 外圆 |
| 8. 精磨 内孔 | 工件装夹同上 各孔达到图中尺寸公差要求与表面粗糙度要求 并保证两端磨 $\phi 62^{+0.019}$ 孔对外圆 $\phi 82^{+0.03}$ 的径向圆跳动和同轴度 0.005 的要求 | PA60KV | M1432A | 外圆 |

续 表

| 序号 | 内 容 | 砂轮 | 机床 | 基准 |
|----------|---|----------|---------|----|
| 9. 精密磨外圆 | 工件两端配闷头(与 $\phi 62^{+0.019}_0$, 两孔配合)找正外圆径向圆跳动 <0.005 磨外圆至 $\phi 82^{-0.03}$, $R_a 0.2 \mu\text{m}$ 并保证素线的直线度公差为 0.005 | WA 100LV | MG1432A | 内孔 |

第六节 齿轮磨削

磨齿是齿轮精加工方法的一种,主要用于磨削精度高和淬硬的齿轮,磨削齿轮其精度可达 7~4 级,表面粗糙度可达 $R_a 0.63 \sim 0.16 \mu\text{m}$ 。和其他齿轮的精加工方法(如剃齿和珩齿)相比,磨齿有很多优点,剃齿和珩齿的加工精度与齿轮预加工精度的关系较大,它们对齿轮预加工的某些误差纠正能力较弱,剃齿还不能加工淬硬的齿轮,而磨齿则不仅能加工淬硬的齿轮,而且纠正齿轮预加工的各项误差能力强,还能消除热处理产生的变形,精度也比剃齿和珩齿高。磨齿的主要缺点是磨齿设备价格昂贵,生产效率低,对操作技术要求较高,生产成本低。

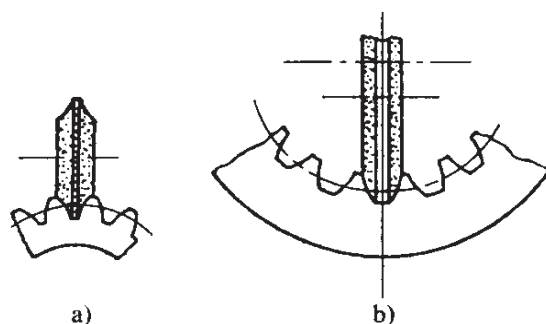
一、磨齿的方法和特点

(一) 成形法磨齿

1. 成形法磨齿原理

成形法磨齿是利用渐开线成形砂轮磨削齿轮的渐开线齿形,因而机床不需做展成运动,机床结构比较简单。在磨削直齿外齿轮(图 3.6-1 a))和直齿内齿轮(图 3.6-1 b))时,砂轮轴线垂直于齿轮的轴线,砂轮截形的中心线和被磨齿槽的中心线重合,砂轮的截形就是齿槽的截形。

成形法磨齿无展成运动,分度由分度机构的分度盘完成。



a) 磨直齿外齿轮 b) 磨直齿内齿轮

图 3.6-1 成形法磨齿

2. 成形法磨齿的特点

- (1) 磨削接触面积大,易烧伤齿面,不能干式磨削。
- (2) 齿形精度取决于砂轮的成形精度,修整砂轮机构复杂。
- (3) 生产效率较高,若采用了 CBN 砂轮可大大减少修整砂轮的次数,进一步提高生产效率。

(二) 展成法磨齿

1. 锥面砂轮磨齿

(1) 锥面砂轮磨齿原理:用锥面砂轮磨削齿轮的渐开线齿面是按齿轮和齿条啮合的原理进行的,砂轮的两个锥面相当于假想齿条的一个齿的两个齿面。在磨削过程中,齿条的节线和齿轮的节圆做纯滚动,图 3.6-2 所示为锥面砂轮磨齿的主要运动。

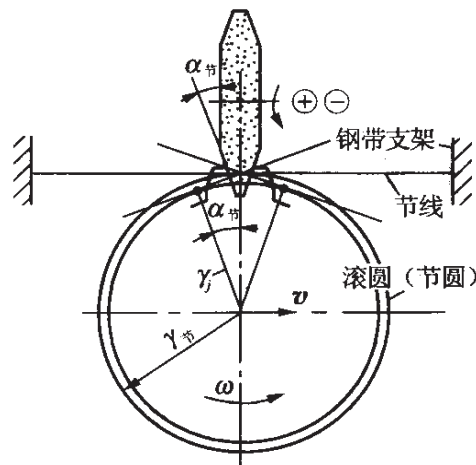


图 3.6-2 锥面砂轮磨齿的主要运动

① 工件的展成运动。被磨齿轮绕自身轴线的反复转动和轴线在水平面内平行于节线的往复移动。这两个运动必须

严格保持齿条的节线和齿轮的节圆做纯滚动。

② 工件的分度运动。

③ 砂轮的转动。

④ 砂轮沿被磨齿轮的轴向往复运动。该运动是为了磨出齿轮整个齿宽上的齿面。

(2) 锥面砂轮磨齿有如下特点：

① 砂轮厚，刚性好，可大切深量加工。

② 生产效率较高。

③ 磨头往复运动有冲击，影响加工质量。

④ 磨削齿轮精度稍低。

2. 碟形双砂轮磨齿

(1) 碟形双砂轮磨齿原理：它和锥面砂轮磨齿原理一样，也相当于齿条和齿轮的啮合，所不同的是它以两个碟形砂轮的工作面作为假想齿条的两个对应齿面，而不是一个齿槽中的两个齿面。

碟形双砂轮磨齿有 $15^\circ/20^\circ$ 磨削法和 0° 磨削法，如图 3.6-3 所示。

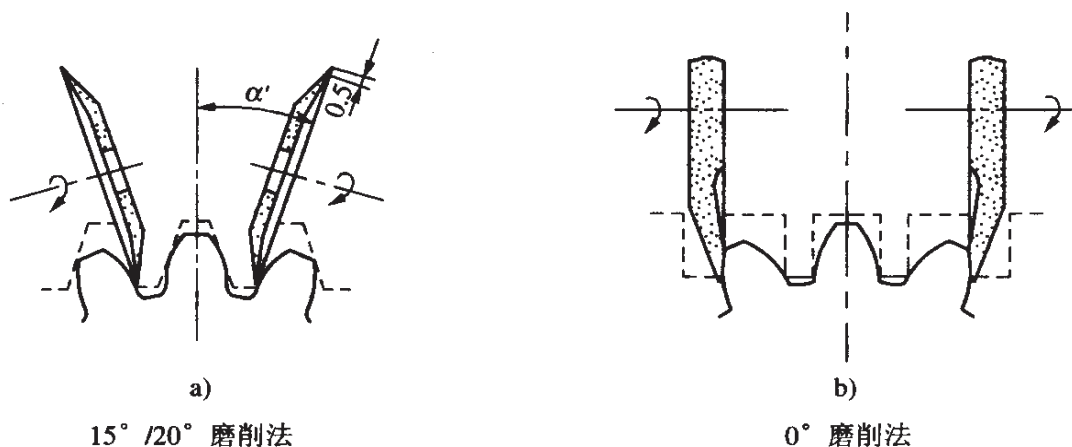


图 3.6-3 碟形双锥砂轮磨齿原理

砂轮的倾斜角 α' 可调成 15° 或 20° ，构成假想齿条的压力角。钢带带动滚圆盘做纯滚动，使被磨齿轮的磨削节圆沿假想齿条的

节线滚动展成渐开线。

当两个砂轮的轴线调到水平位置在同一轴线上时,则为 0° 磨削法,即 $\alpha'=0^\circ$,这时砂轮成为压力角为 0° 的齿条和被磨齿轮啮合,齿轮的磨削节圆直径等于其基圆直径,啮合线是和齿轮基圆相切的一条水平线。

采用 $15^\circ/20^\circ$ 磨削法磨削齿轮的齿面上的是网状纹,它对润滑有利;采用 0° 磨削法,可对被磨齿轮的齿形进行修形及磨削鼓形齿。

碟形双砂轮磨齿的运动如图 3.6-4 所示。

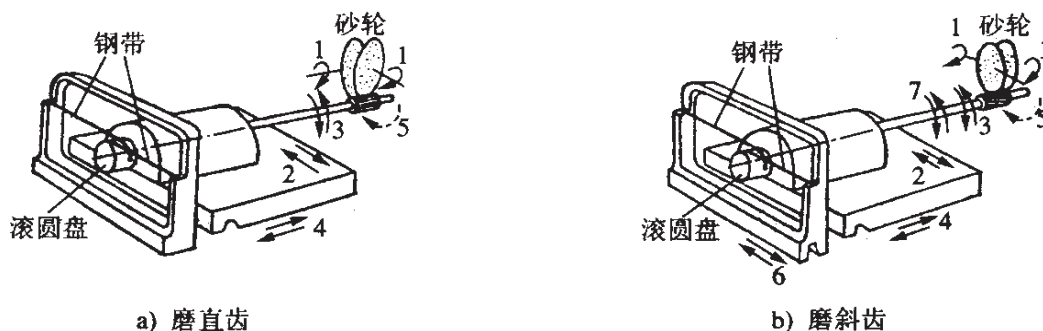


图 3.6-4 碟形双锥砂轮磨齿的运动

① 砂轮的旋转运动 1。

② 工件的展成运动。它是由被磨齿轮轴线在垂直于轴线的平面内平行于节线的往复移动 2 和通过钢带滚圆盘产生的绕自身轴线的反复转动 3 组成。这两个运动必须严格保持齿条的节线和齿轮的节圆做纯滚动。

③ 进给运动 4。工件沿自身的轴线方向的往复运动,是为了磨出齿轮整个齿宽上的齿面。

④ 分度运动 5。每当磨完一个齿,进给拖板将要反向时,工件分过一齿,使下一个齿进入磨削位置。

⑤ 以上是磨削直齿轮所需的运动。磨削斜齿轮除需要上述运动外,工件在沿自身轴线进给的同时,还需要使钢带支架获得一

横向移动 6,通过钢带滚圆盘的作用使工件产生绕自身轴线的附加运动 7,得到所需要的工件螺旋角。

(2) 碟形双砂轮磨齿有如下特点:

- ① 参加磨削的砂轮边窄,易修整,发热少。
- ② 采用钢带滚圆盘展成和分度盘分度,磨削齿轮精度高。
- ③ 砂轮薄,刚性差,磨削深度不能太深,生产效率低。
- ④ 磨齿所需的运动多,机床结构复杂。加工成本高。

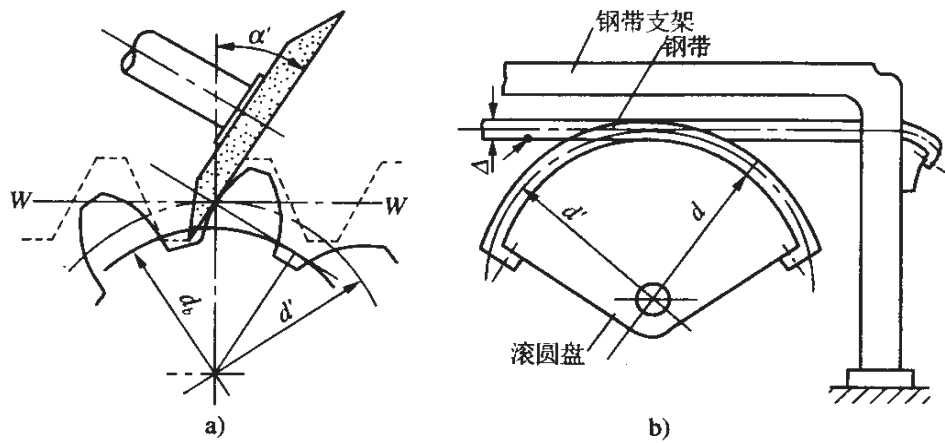
3. 大平面砂轮磨齿

(1) 大平面砂轮磨齿原理:大平面砂轮磨齿也是利用齿条与齿轮啮合的原理磨削齿轮的。磨直齿相当于直齿轮和直齿条啮合,磨斜齿相当于斜齿轮和斜齿条啮合。它的砂轮工作面相当于假想齿条的一个齿面,每次只能磨削齿轮的一侧齿面。当齿轮的一侧齿面全部磨完后,把被磨齿轮翻转一面安装,再磨削另一侧齿面。

从展成运动的形成方法来看,大平面砂轮磨齿机主要有两大类。一类采用钢带和滚圆盘形成展成运动,主要机型有国产 YT7432 型。另一类是采用渐开线凸轮和挡块形成展成运动,主要机型有国产 Y7125 型。

① 钢带和滚圆盘形成展成运动。大平面砂轮的平面倾斜一个磨削角 α' ,相当于齿条上的一个齿面,如图 3.6-5 a)所示。磨齿时砂轮的位置固定不动,被磨齿轮做展成运动磨出要求的渐开线齿形。展成运动是由钢带和滚圆盘实现的,如图 3.6-5 b)所示。滚圆盘和被磨齿轮装在同一轴上,滚圆盘的外圆表面上水平绕着两根钢带,钢带的一头紧固在滚圆盘上,另一头紧固在钢带支架上。磨齿时,钢带支架固定不动,当滚圆盘和被磨齿轮的轴线左右移动时,钢带则迫使滚圆盘转动,形成了展成运动。滚圆盘直径 d 与钢带厚度 Δ 的和相当于节圆直径 d' ,水平张紧钢带的中心线则相当于节线 $W-W$ 。

② 渐开线凸轮和挡块形成展成运动。砂轮的工作端面相当



a) 大平面砂轮磨齿原理 b) 由钢带和滚圆盘形成展成运动

图 3.6-5 Y7432 型磨齿机磨齿原理

于假想齿条的一个齿面,砂轮的轴线始终位于水平位置,不需要调整,假想齿条的节线 $W-W$ 则是倾斜的(见图 3.6-6)。渐开线凸轮 3 和被磨齿轮装在同一轴上,渐开线凸轮紧靠在固定不动的挡块 4 上,挡块的端面垂直于头架滑座 2 的滑动方向,即节线 $W-W$ 。磨齿时,渐开线凸轮和被磨齿轮一方面转动,一方面受到挡块的推挡,迫使它和头架滑座一起沿着节线 $W-W$ 的方向滑动。这就相

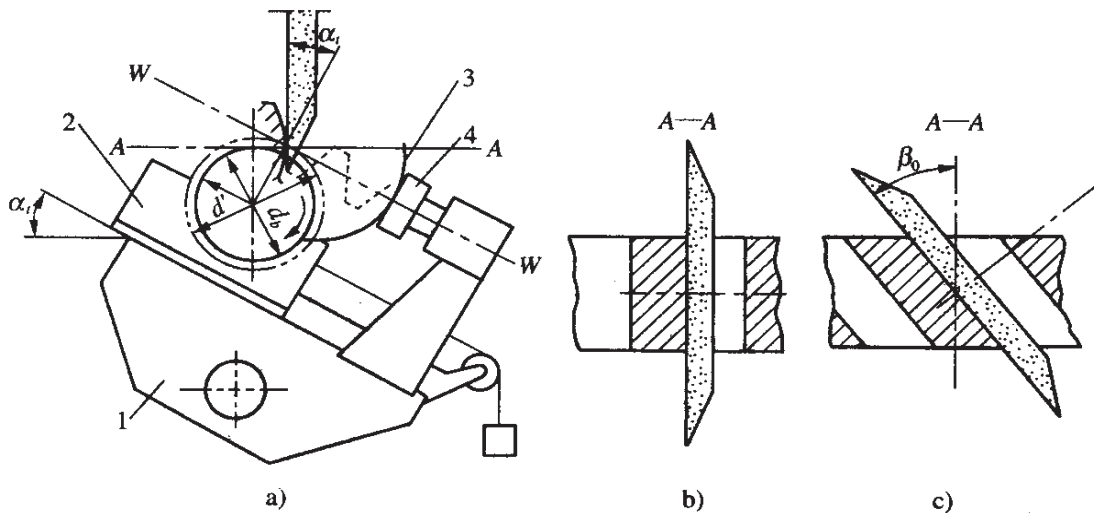


图 3.6-6 Y7125 型磨齿机磨齿原理

当于以渐开线凸轮的基圆做滚动节圆,沿滚动节线 W-W 进行纯滚动。被磨齿轮的基圆和滚动节圆及渐开线凸轮基圆的关系为:

$$d' = d_{b0}$$

$$d_b = d' \cos \alpha_t = d_{b0} \cos \alpha_t$$

式中 d' ——滚动节圆直径(mm)

d_{b0} ——渐开线凸轮的基圆直径(mm)

d_b ——被磨齿轮的基圆直径(mm)

α_t ——头架滑座的安装角,滚动节线 W-W 和水平线 A-A 的夹角($^{\circ}$)

磨斜齿轮时,应将砂轮的轴线在水平面内旋转一个角度,其大小等于被磨齿轮的基圆螺旋角 β_0 。

(2) 大平面砂轮磨齿有如下特点:

① 砂轮直径大(400~800 mm)不易磨损,使砂轮修整次数减少。

② 无轴向进给,机床结构简单,被磨齿轮的齿宽受限制。齿面呈圆弧磨纹。

③ 单侧齿面磨削,磨完一侧齿面后,被磨齿轮调头安装后再磨另一侧齿面。

④ 磨削齿轮精度高,生产率较低。

⑤ 对砂轮修形后能磨出修齿形的齿轮,适合于剃齿刀的修磨。

4. 蜗杆砂轮磨齿

(1) 蜗杆砂轮磨齿原理:蜗杆砂轮磨齿的基本原理类似于滚刀切削齿轮,蜗杆砂轮相当于一个渐开线蜗杆,其法向基节等于被磨齿轮的法向基节。磨齿时,蜗杆砂轮和被磨齿轮相对转动啮合,如图 3.6-7 所示。其传动速比取决于蜗杆砂轮的齿数和被磨齿轮的齿

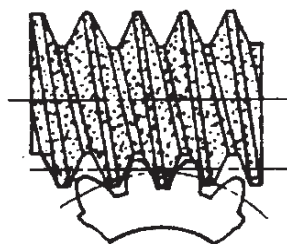


图 3.6-7 蜗杆砂轮磨齿原理

数。当蜗杆砂轮的螺线是单头时,砂轮每转一转被磨齿轮转过一个齿,当蜗杆砂轮的螺线是双头时,砂轮每转一转被磨齿轮转过两个齿。

和滚齿一样,用蜗杆砂轮磨齿时砂轮还需沿被磨齿轮的轴线进给移动,以便使被磨齿轮的全部齿宽都被磨到;磨削斜齿轮时,还需通过差动装置使被磨齿轮得到一个附加转动,从而获得所需的螺旋角。

(2) 蜗杆砂轮磨齿有如下特点:

- ① 砂轮成形要求高,修整相当复杂。
- ② 展成运动和分度运动合一连续,在各种磨齿方法中生产效率最高。
- ③ 磨削齿轮精度较高。
- ④ 多用于磨削中小模数的齿轮。

二、砂轮的选择和平衡

(一) 砂轮的选择

(1) 磨料:被磨齿轮的材料为一般牌号的淬硬合金钢和高速钢时,磨料应选用白刚玉(WA),铬刚玉(PA),或白刚玉和铬刚玉的混合磨料。

(2) 硬度:被磨齿轮的硬度越高,选用砂轮的硬度应越软。用成形砂轮磨齿时,因砂轮的接触面大,易烧伤,应选用稍软些的砂轮,但为保持砂轮的形状精度,也不能过软。干磨时因散热差,选用的砂轮硬度也应偏软些。

(3) 粒度:粒度的选择应能保证被磨齿轮允许的齿面精度和表面粗糙度,齿面精度和表面粗糙度要求越高选择粒度应越细。

(4) 结合剂:一般多选用性能稳定的陶瓷结合剂,若是高速磨削,则应选用适应高速磨削的特殊陶瓷结合剂。

选取以上参数时,应根据被磨齿轮的精度要求、生产率和磨齿

机等因素综合考虑。另外,当被磨齿轮的齿面精度和表面粗糙度要求都很高且磨削余量又比较大时,最好能选择不同硬度和粒度的砂轮分别进行粗精磨。

表 3.6-1 给出了几种磨齿机选用砂轮特性的实例,供选择砂轮时参考。

表 3.6-1 磨齿机选用砂轮特性的实例

| 磨齿机型号 | 被加工齿轮模数(mm) | 选用砂轮特性 |
|-----------------|-------------|-------------------------|
| 586 | >2 | WA F60~F80 K~L V |
| Y7032 Y70160 | 2~12 | WA(WA/PA)F40~F60 J~K V |
| Y7131 5831 | 1.5~6 | WA(WA/PA)F80 L~M V |
| Y7125 | 2~12 | WA(WA/PA)F46~F60 H~J V |
| 5892A | 2~12 | WA(WA/PA)F80~F150 H~J V |
| Y7120K | 0.5~2 | WA F120~F180L V |
| 5832 | 0.1~0.4 | WA F220~F400 M V |

(二) 砂轮的平衡

磨齿是精密加工,砂轮的平衡尤其重要。否则,磨削时不仅会出现振动,还会影响被磨齿面的表面粗糙度和精度,严重时甚至影响磨齿机的使用寿命。

砂轮必须经过两次静平衡,第一次静平衡后粗修砂轮,然后再进行第二次静平衡,再精修砂轮。对于蜗杆砂轮,因其尺寸大、重量重,还必须进行动平衡后才能保证被磨齿轮有良好的精度和表面粗糙度。现在,数控磨齿机的砂轮主轴上大都装有自动动平衡系统,但仍需仔细进行两次静平衡。

如果新砂轮的修整量比较大,应先在磨床上粗修成形后再进行静平衡。

三、磨削余量的确定

磨削余量的大小取决于热处理前的齿加工精度、热处理的变形和热处理后磨孔可能出现的径向偏差等因素。总的磨削余量应是在磨出全部齿面后尚有合适的精磨量以便精磨齿面。为了提高磨齿效率,避免磨齿中出现的烧伤和裂纹,应尽可能减少磨削余量。一般齿轮的磨削余量见表 3.6-2,汽车齿轮的磨削余量见表 3.6-3。

表 3.6-2 一般齿轮磨齿齿厚余量 (mm)

| 模 数 | 齿轮分圆直径 | | | | |
|----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | <100 | 100~200 | 200~500 | 500~1 000 | >1 000 |
| <3 | 0.15~0.20 | 0.15~0.25 | 0.18~0.30 | — | — |
| 3~5 | 0.18~0.25 | 0.18~0.30 | 0.20~0.35 | 0.25~0.45 | 0.30~0.50 |
| 5~10 | 0.25~0.40 | 0.30~0.50 | 0.35~0.60 | 0.40~0.70 | 0.50~0.80 |
| 10~12 | 0.35~0.50 | 0.40~0.60 | 0.50~0.70 | 0.50~0.70 | 0.60~0.80 |
| 齿厚公差(负值) | 0.065~0.080 | 0.10 | 0.12 | 0.15 | 0.18 |

表 3.6-3 汽车齿轮磨齿齿厚余量 (mm)

| 精度等级 (GB10095—88) | 模 数 范 围 | | | |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | >2~3 | >3~4 | >4~5 | >5~6 |
| 5 | 0.08~0.12 | 0.10~0.15 | 0.15~0.20 | 0.20~0.25 |
| 6 | 0.10~0.15 | 0.15~0.20 | 0.20~0.25 | 0.25~0.30 |
| 7 | 0.20~0.25 | 0.25~0.30 | 0.30~0.35 | 0.30~0.35 |

表中齿厚余量是指牙齿两侧的余量和,磨齿时两面的磨量应均匀。

a) 单:

第一种方法生产效率低,但磨削的螺纹精度较高,主要用于单件和小批量生产;第二、三种方法生产效率高,常用于大批量生产。对于螺距大于 3 mm 的螺纹,应先进行螺纹预加工后再磨螺纹;对于螺距小于 3 mm 的螺纹,不需预加工而可直接磨出螺纹,这种方法适于加工小螺距,且螺纹长度小于砂轮宽度的工件。

二、机床的安装和使用

(一) 机床的安装

(1) 磨螺纹是在专用螺纹磨床上进行的,若是加工单件和小批量的精密螺纹,机床应安装在恒温室内,温度控制在 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$,若是加工大批量的螺纹,机床可安装在条件比较好的普通车间内。

(2) 机床应安装在牢固的地基上并设有防震沟,远离外界的震动源。机床安装的水平允差应在机床规定的范围内。

(二) 机床的使用

(1) 机床从开机到热平衡稳定状态需要一定的时间,粗磨时应空运转 30 min 以上,精磨时应空运转 1 h 以上;磨削高精度的螺纹时,应空运转 1.5 h 以上。

(2) 尾架顶尖的压力调整应适当,对于粗短的工件可大一些,对于细长的工件应小一些。

(3) 为保证零件的尺寸精度,磨削时在接近最终尺寸时,横向进给量不能太大,一般应在 0.01 mm 之内。

(4) 精磨时,应尽量从尾架至头架方向进行磨削,以减少螺距误差。

(5) 万能螺纹磨床备有一套磨内螺纹装置。工件夹在四爪卡盘内,用表将工件的端面和内孔校正到规定的精度后再进行磨削,修整砂轮时,可用试磨薄钢片的方法校正砂轮的牙形角。

(6) 磨削多头螺纹利用机床附件分度卡盘。分度卡盘齿数可根据需要选择。当只有分度齿数为 30、48 两种分度卡盘时,需分

7、9、11 等线数,应采用挂轮分度。

(7) 磨削中磨削液必须充分地喷在磨削区内,以保证迅速冷却工件和冲刷磨屑。在用多线砂轮磨螺纹时尤其重要。磨削液箱的容量应足够大并设有可靠的过滤系统,以保证磨削液的降温和清洁。

三、砂轮的选择和修整

(一) 砂轮的选择

(1) 磨料: 磨削碳钢和合金钢,选用白刚玉、铬刚玉磨料;磨削不锈钢和高钒高速钢,选用单晶刚玉磨料;磨削硬质合金,选用金刚石磨料。

(2) 粒度: 粗磨和磨削韧而黏的材料,应选择较粗的粒度;精磨和磨削硬而脆的材料,则应选择较细的粒度。另外,磨削小螺距的螺纹时也应选择较细的粒度。

(3) 硬度: 砂轮的硬度过高易烧伤工件,硬度过低则不易保持砂轮的形状。磨削小螺距工件,应选用硬度高些的砂轮;磨削合金钢和梯形螺纹,应选择硬度低些的砂轮。

(4) 结合剂: 大都采用陶瓷结合剂;大批量生产中等精度的螺纹时,可采用树脂结合剂;磨削小螺距螺纹时,采用加入硼和铅元素的陶瓷结合剂,可改善砂轮尖角的保持性。

单线砂轮选用参见表 3.7-1,多线砂轮选用参见表 3.7-2。

表 3.7-1 单线砂轮选用表

| | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|------|------|---------|------|------|----------|------|------|------|
| 螺距 $P(\text{mm})$ | 0.25 | 0.4 | 0.5 | 0.7~0.8 | 1 | 1.25 | 1.5~1.75 | 2 | 2.5 | 3~5 |
| 磨料 | WA、PA | | | | | | | | | |
| 粒度 | F600 | F500 | F400 | F360 | F320 | F280 | F240 | F180 | F150 | F120 |
| 结合剂 | V | | | | | | | | | |
| 硬度 | M~P | | | L~N | | | K~L | | H~K | |

表 3.7-2 多线砂轮选用表

| | | | | |
|-------------|------|------|----------|-------|
| 螺距 P (mm) | 1 | 1.25 | 1.5~1.75 | 2~2.5 |
| 磨料 | WA | | | |
| 粒度 | F320 | F240 | F220 | F180 |
| 结合剂 | V | | | |
| 硬度 | L~M | K~L | | K |
| 砂轮宽度(mm) | 16 | | 20 | 25 |

(二) 砂轮的修整

(1) 砂轮装在法兰盘上时,砂轮的内孔与法兰盘的定位面之间的间隙应分布均匀,砂轮与法兰盘接触端面必须垫软纸垫,逐步对称拧紧螺钉。磨螺纹是精密加工,砂轮应进行多次平衡,尽量减少运转中的震动。若用平行砂轮,应先在车床上改制成形和静平衡后再装到螺纹磨床上进行修整。

(2) 单线砂轮修整用金刚石笔,借助于砂轮修整器(见图 3.7-2)手动修整,螺纹半角用定位块 2 调整,修整器 1 实现微进给。粗磨时修整量为 $0.10 \sim 0.20 \text{ mm/d} \cdot \text{str}$,精磨时修整量为 $0.03 \sim 0.10 \text{ mm/d} \cdot \text{str}$ 。磨小螺距螺纹时,应选用尖锐的金刚石修整工具。修整砂轮时,只允许单方向、由外向里修整,以保证砂轮的尖部形状准确。

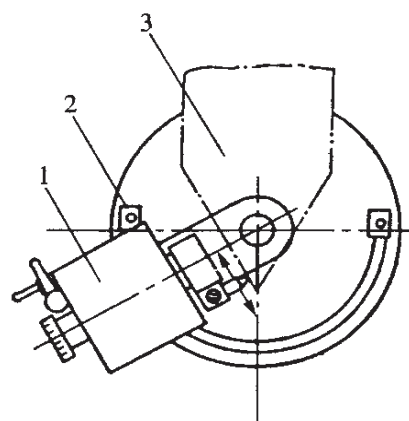


图 3.7-2 手动砂轮修整器示意图

1. 修整器 2. 定位块 3. 砂轮

(3) 多线砂轮修整用滚轮。滚轮用高速钢、硬质合金或金刚石制成,修整时滚轮和砂轮对滚(见图 3.7-3)。用高速钢滚轮修

整,砂轮的圆周线速度为 $0.5\sim 2\text{ m/s}$;用金刚石滚轮修整,滚轮圆周线速度为 $10\sim 15\text{ m/s}$,砂轮的圆周线速度为 35 m/s ,砂轮的进给量为 $0.8\ \mu\text{m/r}$ 。

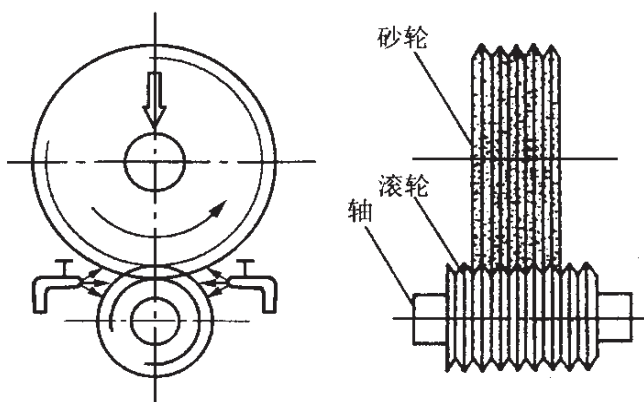


图 3.7-3 滚轮修整砂轮示意图

四、磨削用量的选择

磨削普通螺纹、梯形螺纹和滚珠螺纹的磨削用量按表 3.7-3 选用,磨削高速钢丝锥时,工件转速见表 3.7-4 和表 3.7-5。

表 3.7-4 单线磨螺纹转速表

| | | | | | | | | | |
|-------------------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 工件直径 (mm) | 3~ 4 | 5~ 6 | 8~ 10 | 12~ 14 | 16~ 18 | 20~ 24 | 27~ 30 | 33~ 39 | 42~ 48 |
| 粗磨工件转速 (r/min) | 40 | | 30 | 24 | 18 | 15 | 12 | 10 | |
| 精磨工件转速 (r/min) | 35 | 30 | 20 | 16 | 12 | 9 | 7 | 6 | |

表 3.7-5 多线磨螺纹转速表

| | | | | | | | | |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 工件直径(mm) | 10~ 12 | 14~ 16 | 18~ 20 | 22~ 24 | 27~ 30 | 32~ 36 | 36~ 40 | 42~ 45 |
| 工件转速(r/min) | 160 | | 100 | | 63 | | 52 | 40 |

表 3.7-3 螺纹磨削用量表

| | | 磨削用量 | | | | | | |
|------|---------|-------------------|-----------|---------|----------------|---------------------|-----------------|---------------|
| | | 粗磨 | | 半精磨 | | 精磨 | | |
| 螺纹种类 | 螺距 (mm) | 材料 | 直径 (mm) | 长度 (mm) | 砂轮选择 | 工件转速 (r/min) | 磨削深度 (mm/d·str) | |
| 梯形螺纹 | 3~6 | 9Mn2V 56~58HRC | 40 | ≤400 | WA80 ~120 J | 4~6 | 2~3 | |
| | 6~8 | | | 1~1.5 | | | | |
| | 6~8 | 70 | 500~1 000 | 3~4 | | 0.5~1 | 0.04~ 0.08 | |
| 滚珠螺纹 | 2~5 | GCr15 50CrMo | ≤50 | ≤1 000 | WA80~ 120 J | 7~12 | | |
| | 6~8 | | ≤80 | ≤4 000 | | | 0.2~0.8 | 0.03~ 0.08 |
| | 10~12 | | ≤100 | ≤4 000 | | | | |
| 普通螺纹 | ≤3 | 钢 ≤60HRC | ≤50 | | WA150~ 180K | 一次磨出 工件转速=1~3 r/min | | |

第四章 刀具的刃磨

第一节 刀具的基本概念

一、刀具的组成及几何参数

(一) 刀具的组成

刀具是由工作部分和连接部分组成的,图 4.1-1 是铰刀的结构。

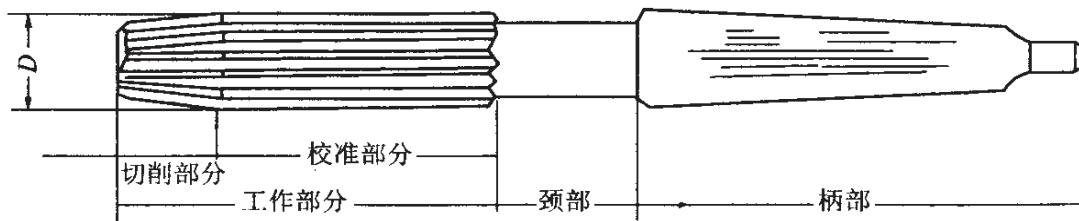


图 4.1-1 铰刀的结构

1. 工作部分

刀具的工作部分由切削和校准两部分组成。在切削部分上有一条或数条切削刃,在切削力的作用下,将工件表面上的多余金属切削掉。校准部分起修光切削表面和引导刀具前进的作用。拉刀、铰刀和丝锥等刀具既具有切削部分也具有校准部分,车刀、圆柱铣刀、齿轮插刀和齿轮滚刀等刀具则只有切削部分而无校准部分。

2. 连接部分

连接部分即为刀具的柄部或刀体,是用来装夹或固定刀具的

部位,把机床的切削动力传递到刀具的工作部分。连接部分的形状有杆状、圆柱体、圆锥体、圆柱孔和圆锥孔等。

(二) 刀具的几何参数

1. 切削部分的组成

以车刀为例,图 4.1-2 所示为车刀的组成要素。

外圆车刀切削部分的组成如下。

(1) 前刀面 A_γ 即刀具与切屑相接触的表面。

(2) 主后刀面 A_α 对着工件切削表面的表面。

(3) 副后刀面 A'_α 对着工件已加工表面的表面。

(4) 主切削刃 是前刀面和主后刀面的交线,大部分金属是主切削刃切下的。

(5) 副切削刃 是前刀面和副后刀面的交线。它切下已加工表面上的一部分金属,因此,副切削刃对加工表面的质量有直接影响。

(6) 刀尖 主切削刃与副切削刃的交点。

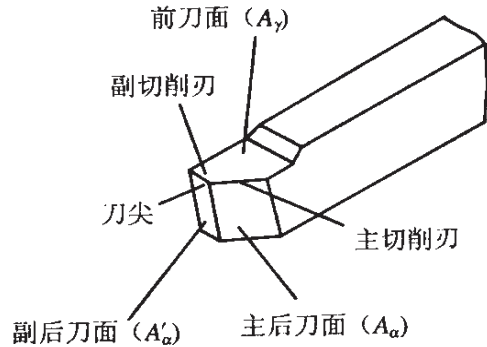


图 4.1-2 车刀的组成要素

2. 刀具角度的定义和作用(图 4.1-3)

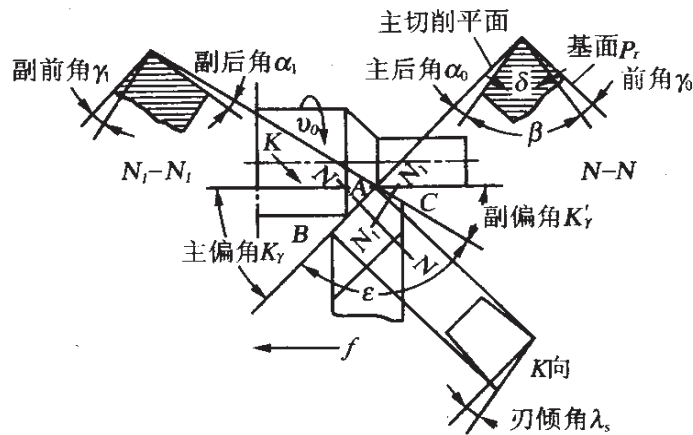


图 4.1-3 车刀的几何角度

(1) 切削角 δ 是前刀面与切削平面之间的夹角。切削角 δ 愈大,刀头强度及散热性能愈好。

(2) 前角 γ_0 是前刀面与基面之间的夹角,也是切削角的余角 ($\gamma_0 = 90^\circ - \delta$)。前角愈大刀具愈锋利,但降低了切削刃的强度。

(3) 后角 α_0 是后刀面与切削平面之间的夹角。后角大,后刀面和加工表面之间的摩擦减小。

(4) 楔角 β 是前刀面和主后刀面之间的夹角。 β 愈大,切削刃和刀头的强度就愈高,散热条件也愈好。

$$\beta = 90^\circ - (\gamma_0 + \alpha_0)$$

(5) 主偏角 K_r 是主切削刃在基面上的投影与走刀方向之间的夹角。它的大小直接影响主切削刃的工作长度、切削厚度和切削宽度以及切削力的方向。

(6) 副偏角 K_r' 是副切削刃在基面上的投影与走刀方向之间的夹角。它直接影响加工表面的粗糙度。

(7) 刀尖角 ϵ_r 是主切削刃和副切削刃在基面上的投影之间的夹角。它的大小影响刀尖的强度和散热条件。

$$\epsilon = 180^\circ - (K_r + K_r')$$

(8) 刃倾角 λ 是主切削刃和基面之间的夹角。其大小直接影响切屑流出的方向和切削刃的强度。当刀尖位于切削刃上最低点时,刃倾角为负值;当刀尖位于切削刃上最高点时,刃倾角为正值;主切削刃与基面重合时,刃倾角为零。

二、刀具材料

刀具应具有高硬度和耐磨性;有足够的强度和韧性;高耐热性和良好的工艺性。常用的刀具材料有碳素工具钢、合金工具钢、高速钢和硬质合金等。

(一) 碳素工具钢

碳素工具钢是含碳量较高的碳钢,通常含碳量在 0.75%~1.5% 之间。含碳量愈高其硬度和耐磨性愈好,但韧性愈差。碳素工具钢淬硬后硬度在 60~65 HRC,但其耐热性很差,当切削刃的工作温度超过 250℃ 时,其硬度会显著下降,失去切削性能。碳素工具钢的淬透性差,易产生淬火变形。一般常用于制造切削速度低,尺寸较小的手用刀具,如锉刀、刮刀和铰刀等。常用的牌号有: T7~T13、T7A~T13A 等。

(二) 合金工具钢

在碳素工具钢中加入一些合金元素,如钨、铬、钼、钒、锰、硅等即成合金工具钢。合金工具钢的淬硬后硬度在 60~65 HRC,其耐热性稍高,在 300~400℃,切削速度可比碳素工具钢高 20% 左右。与碳素工具钢相比,它的主要优点是热处理淬火变形小,淬透性高,常用来制造较复杂的低速刀具,如丝锥、扳牙、铣刀等。常用的牌号有: 9CrSi、CrWMn、GCr15 等。

(三) 高速钢

高速钢是一种含钨、钼、铬、钒、铝等元素较多的高合金工具钢。

高速钢具有较高的强度和韧性,热处理后的硬度为 63~66 HRC(超硬高速钢硬度为 65~70 HRC),且热处理变形较小。高速钢还具有较高的耐热性,在 550~650℃ 仍能保持切削性能。它的切削速度比合金工具钢高 2~3 倍。另外,高速钢的加工性能好,常用来制造形状复杂,热处理后变形较小的刀具,如铣刀、拉刀、齿轮插刀、齿轮滚刀等。常用的牌号有: W18Cr4V、W9Cr4V2、W6Mo5Cr4V2、W6Mo5Cr4V2A1 等。

(四) 硬质合金

硬质合金是以钨的碳化物(WC)、钛的碳化物(TiC)的粉末为基础,以钴为黏结剂,用粉末冶金法经高温烧结而成。硬质合金中

碳化物含量愈高合金的硬度与高温硬度也愈高;含黏结剂愈多强度也愈高。合金中加入 TaC、NbC 有利于细化晶粒,提高合金耐热性等。硬质合金在常温硬度可达 89~94 HRA。硬质合金的耐磨性很好,耐热可达 800~1 100 °C,它的切削性能远超过高速钢,刀具耐用度可提高几倍到几十倍,在相同的耐用度下切削速度可提高几倍。但硬质合金抗弯强度低,脆性大,怕震动和冲击。常用的硬质合金有钨钴类合金(YG)和钨钛钴类合金(YT)两大类。牌号有:YG3、YG6、YG8 和 YT5、YT15、YT30 等。硬质合金大量用来制造刀片,如各种型号的车刀刀片、铣刀刀片等,还用来制造镶片式滚刀的切削齿条及一些小型刀具如钻头等。

三、刀具磨损

刀具切削部位在高温与高压作用下会逐渐被磨损。刀具磨损的原因很复杂,它涉及到机械、物理、化学和金相等的作用,有磨粒磨损、黏结磨损、扩散磨损、相变磨损和氧化磨损等。刀具磨损会影响加工表面质量、生产效率和加工成本等。

(一) 刀具磨损的形式

刀具磨损的形式主要是前刀面磨损、后刀面磨损和前后刀面同时磨损。

1. 前刀面磨损

切削塑性金属时,切削速度较高及切削厚度较大,在前刀面上磨出小月牙凹槽,当刀具磨损继续扩大时,导致崩刃、刀具损坏。

2. 后刀面磨损

切削硬度高的脆性金属时,如切削速度和进给量较低,一般都发生后刀面磨损。这种磨损形式发生在与切削刃连接的后刀面上,磨出后角等于或小于零的棱面。

3. 前后刀面同时磨损

在切削塑性金属过程中,采用中等切削速度和中等进给量时

常会发生这种磨损形式。

(二) 刀具的磨损过程

图 4.1-4 是刀具磨损过程典型曲线,可将此曲线划分为如下三个阶段。

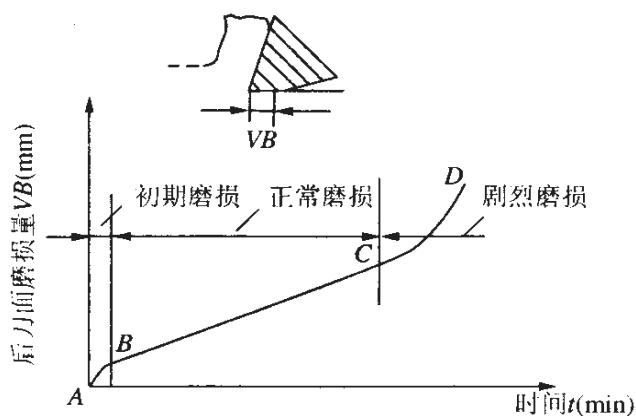


图 4.1-4 刀具磨损过程典型曲线

1. 初期磨损阶段

图中的曲线 AB 段,此阶段刀具磨损较快。这是因为刀具表面粗糙不平或表层组织缺陷而引起的。

2. 正常磨损阶段

图中的曲线 BC 段,这一阶段接触面积加大,压强变小,磨损速度已经减慢,磨损随时间的增加而均匀增加,切削稳定;曲线 BC 段近似直线,这是刀具工作的有效阶段。

3. 急剧磨损阶段

图中的曲线 CD 段,刀具经过正常磨损达到一定程度后(C点),如继续切削,温度剧增,切削力增大,磨损加快,甚至引起崩刃而损坏刀具。使用中应严格规定刀具在进入急剧磨损阶段前换刀刃磨。

(三) 刀具的磨钝标准

刀具磨损到一定程度就不应继续使用,这个磨损限度称磨钝标准。通常规定以后刀面上测定的磨损带宽度 VB(见图 4.1-4)作为刀具的磨钝标准。表 4.1-1 是硬质合金车刀的磨钝标准,供参考。

表 4.1-1 硬质合金外圆车刀、端面车刀的磨钝标准

| 工件材料 | 加工性质 | VB _{max} (mm) |
|-------------|--------|------------------------|
| 碳钢、低合金钢 | 粗车 | 0.8~1.2 |
| | 精车 | 0.4~0.6 |
| 铸铁 | 粗车 | 0.8~1.0 |
| | 半精车 | 0.6~0.8 |
| 耐热钢、不锈钢、钛合金 | 粗车 | 0.6~1.0 |
| | 半精车、精车 | 0.3~0.5 |
| 淬火钢 | 精车 | 0.5~0.8 |

在实际生产中,常根据切削中发生的一些现象来判断刀具是否已经磨钝。在粗加工时,可观察加工的表面是否出现亮带,切屑的颜色和形状是否出现异样,是否出现了不正常的声音等。精加工时可观察加工表面的粗糙度是否发生变化以及测量零件的尺寸和形状精度等。在大批量生产中,由于切削条件稳定,可通过工艺试验来确定刀具的磨钝标准,并把磨钝标准转化为容易控制的加工零件数量或切削时间,据此强制换刀刃磨,确保刀具不进入急剧磨损阶段。

由于加工条件的不同,磨钝标准也各不相同。精加工的磨钝标准值要小于粗加工的磨钝标准值。不同材料和类型的刀具的磨钝标准也不尽相同。

第二节 刃磨机床及其附件

刀具刃磨机床种类很多,这里主要介绍 MA6032 型万能工具磨床(咸阳机床厂产品)。它适于各种刀具成批或单件刃磨需要,与同类产品相比,具有设计新颖、构思独特、操作方便、适用范围广

泛等优点。还可以应用 CBN 与金刚石砂轮进行高速刃磨。

一、MA6032 型万能工具磨床的特征

(1) 该机床总体布局与国内现有各种工具磨床布局形式完全两样,有三个操作位置任选,结构紧凑,伸手可及、操作方便,布局合理。

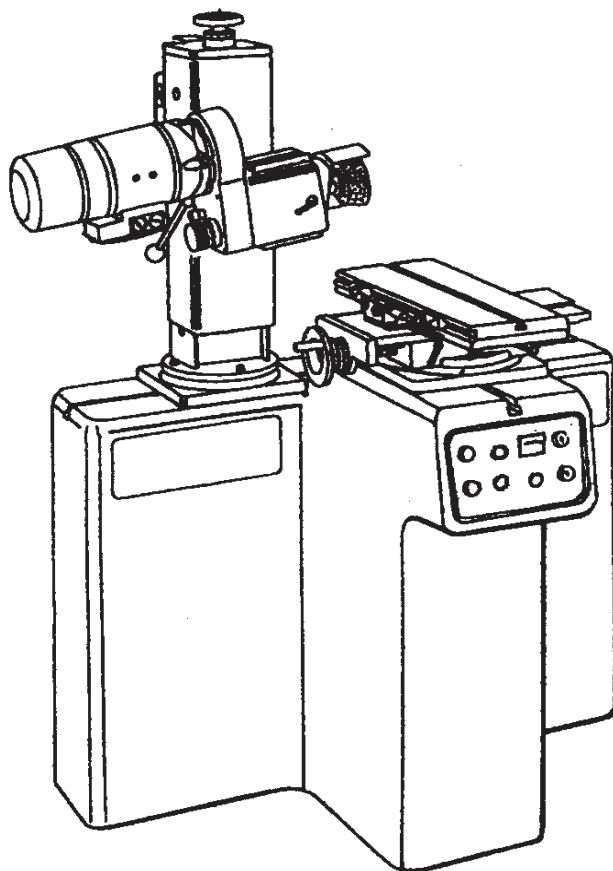


图 4.2-1 MA6032 万能工具磨床主机外观图

(2) 该机床主参数超大发挥,刀具磨架中心高 185 mm,最大工件回转直径 350 mm、620 mm、(刀具磨架立放)。

(3) 具有 ISO 40 锥孔的刀具磨架及众多附件,随时可置于十字工作台上,操作灵活,调整方便。

(4) 精密的轴承,精密的检测,精细研配的主轴系统,具有超长寿命。特有的主轴轴向进刀更加方便操作。

(5) 高精度、高转速的砂轮主轴采用精密低噪声交流变频调速电机,2 000~10 000 r/min。无级调速、多种转速由操作者任选。

(6) 工作台移动采用高精密十字交叉导轨,经精细装配,刚性强,精度高,精度稳。

(7) 立柱升降机构,机动、手动兼有,立柱大范围的卸荷移动,独具特色,800 mm 范围随时可定位。

(8) 十字工作台的水平面、砂轮架和刀具磨架的水平面、垂直面共有五个 360° 旋转轴,足以使机床实现多种调节,适用多种复杂磨削。

(9) 众多的随机、特殊附件,使机床功能得到最大发挥。适于螺旋槽刀具、球头刀具、阶梯钻及一些特种刀具的刃磨。

二、主要用途和适用范围

该机床是一种新型的手动万能工具磨床,它广泛适用于各种刀具刃磨。其主要适合于刃磨以下工件:

- (1) 外圆、平面、平面沟槽及螺旋槽。
- (2) 直柄及锥柄钻头、阶梯钻头。
- (3) 直柄、锥柄铰刀。
- (4) 普通车刀、圆弧车刀、成形车刀。
- (5) 圆柱铣刀、三面刃铣刀、锥柄铣刀、盘铣刀、单角及双角铣刀、磨具铣刀、圆弧铣刀。
- (6) 齿轮滚刀、蜗轮滚刀、花键滚刀、插齿刀等刀具。
- (7) 组合式平面拉刀。

该机床具有 5 个可旋转 360° 的转轴,可满足工件不同方位各种形面的磨削。适用于工具、磨具生产及一机多用的场合。

三、MA6032 型万能工具磨床技术参数

| | |
|---------------------|--------|
| 工件夹持范围： | |
| 刀具磨架中心高 | 185 mm |
| 尾架中心高 | 120 mm |
| 带中间支架的中心高 | 185 mm |
| 顶尖间最大工件直径： | |
| 尾座间工件直径 | 230 mm |
| 带尾座和中间支架工件直径 | 320 mm |
| 带刀具磨架和中间支架的尾座间工件直径 | 320 mm |
| 装夹在刀具磨架上工件直径(立式安装) | 620 mm |
| 顶尖间工件最大长度： | |
| 尾座间工件最大长度 | 450 mm |
| 带中间支架的尾座间工件长度 | 710 mm |
| 在刀具磨架和带中间支架的尾座间工件长度 | 550 mm |
| 刀具磨架主轴内孔锥度 | SK40 |
| 机床床身 T 形槽尺寸 | 12 mm |
| 其他部件 T 形槽尺寸 | 8 mm |
| 运动范围： | |
| 工作台横向行程 | 100 mm |
| 工作台纵向行程 | 190 mm |
| 砂轮架升降行程 | 320 mm |
| 砂轮架主轴轴向进给行程 | 5 mm |
| 砂轮架纵向移动行程 | 800 mm |
| 刀具磨架在工作台上移动行程 | 330 mm |

续 表

| | |
|--|--|
| 旋转方向： 刀具磨架水平、垂直旋转 十字工作台旋转 砂轮架水平、垂直旋转 螺旋运动： 螺旋槽磨削时升程范围 螺旋槽磨削长度 螺旋槽磨削时分度头最大转动范围 | 各 360° 360° 各 360° ∞~0 mm 190 mm 1.5 r |
| 磨削主轴： 砂轮架电机名称 砂轮架电机功率 砂轮架主轴转速 砂轮最大直径 切割砂轮直径 | 低噪声低振动专用电机 1.1 kW 2 000~10 000 r/min φ 150 mm φ 200 mm |
| 机床主要尺寸： 长×宽×高 重量 | 1 100 mm×800 mm ×1 760 mm 600 kg |

四、传动系统

该机床主要运动有砂轮架主轴回转运动、升降和轴向运动；工作台的横向运动、纵向运动和转动；刀具磨架的分度回转运动、螺旋回转运动和机动回转运动等。传动系统见图 4.2-2。

砂轮轴由变频电机 1 驱动，经同步带轮 2、同步带及主轴带轮 3 驱动主轴旋转运动，可使主轴获得 2 000~10 000 r/min。砂轮架快速升降由电机 4 驱动，通过同步带轮 5、同步带及带轮 6 驱动

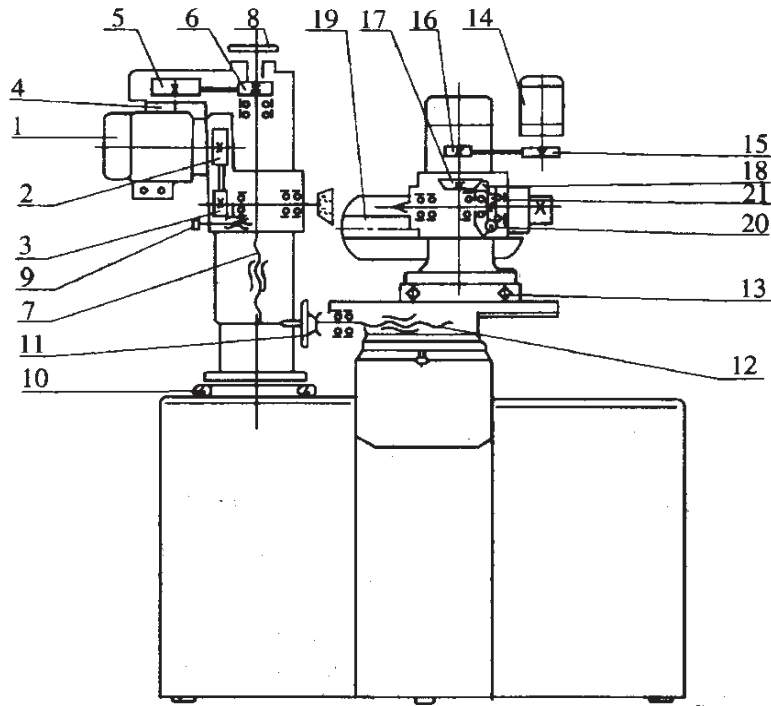


图 4.2-2 MA6032 传动系统图

丝杆 7, 由丝杆与螺母位移带动砂轮架升、降。手动砂轮架升降直接转动手轮 8 即可。

砂轮架移动分主轴轴向移动和砂轮架移动。主轴轴向进给移动是转动捏手 9 通过螺杆与螺母使主轴套筒轴向移动, 从而实现轴向进刀。砂轮架移动, 松开夹紧手柄, 由于有四个卸荷轮 10 支撑, 砂轮架立柱可十分轻巧地移动。然后拧紧、夹紧手柄即可。

工作台手摇移动靠手轮 11、丝杆螺母 12 实现。上台面移动靠手推动, 由于有预加负荷的滚动导轨 13, 移动十分轻便。

工作台可作 360° 回转以适应各种磨削需要。

刀具磨架分度回转靠手动, 蜗杆 20 可进行圆周进刀。机动回转由电机 14 驱动, 通过同步带轮 15、同步带及带轮 16、再经过一对伞齿轮 17、18, 带动主轴机动回转; 此时应特别注意蜗杆 20 与蜗轮 21 应脱开。刀具磨架螺旋运动主要靠正弦尺 19 来控制, 由

手动操作来完成。

刀具磨架的分度回转,该机床配有 8 种分度盘可进行 1~15 任意等分的分度,其他分度可专门提供专用分度盘。

五、刀具磨架

刀具磨架(图 4.2-3)为该机主要附件,可供夹持各种工具进行磨削。

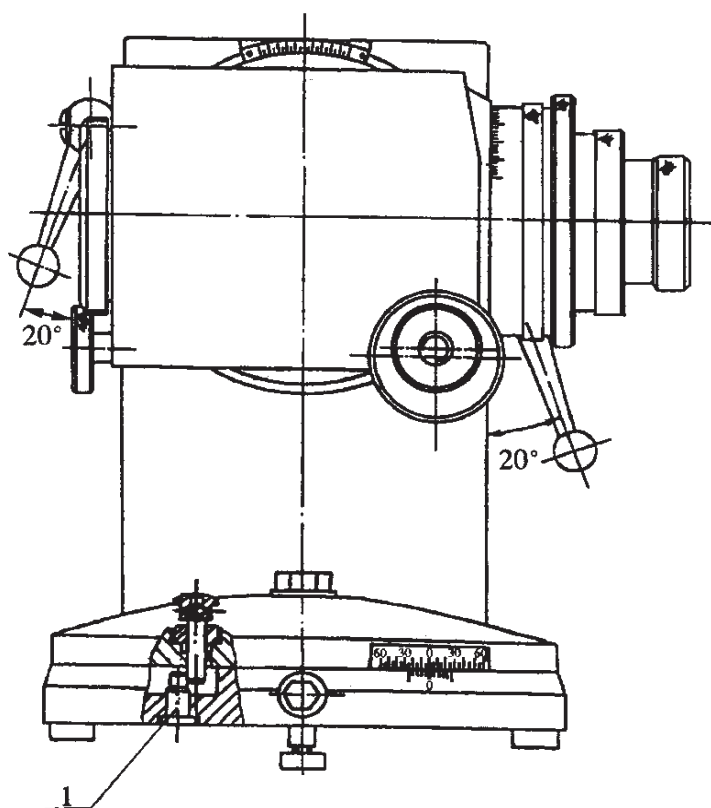


图 4.2-3 刀具磨架

刀具磨架可实现手动分度回转;与外圆磨架配合机动回转,借助弹簧夹头、正弦规还可进行螺旋回转运动,实现螺旋磨削。

刀具磨架主轴内锥为 SK40,可直接安装各种工具,也可通过各种变径套、弹簧套夹持各种尺寸,操作更换十分方便。

刀具磨架主轴可在水平面和垂直面实现各 360°任意回转,调

整方便,适用面广。

六、砂轮修整器

利用修整器可进行砂轮圆周修整、端面修整;还可进行凹凸砂轮半径的修整,见图 4.2-4。图中回转中心 S 至 F 面的尺寸为 30 mm, 回转角半径大小可利用挡块 B 调整来控制。

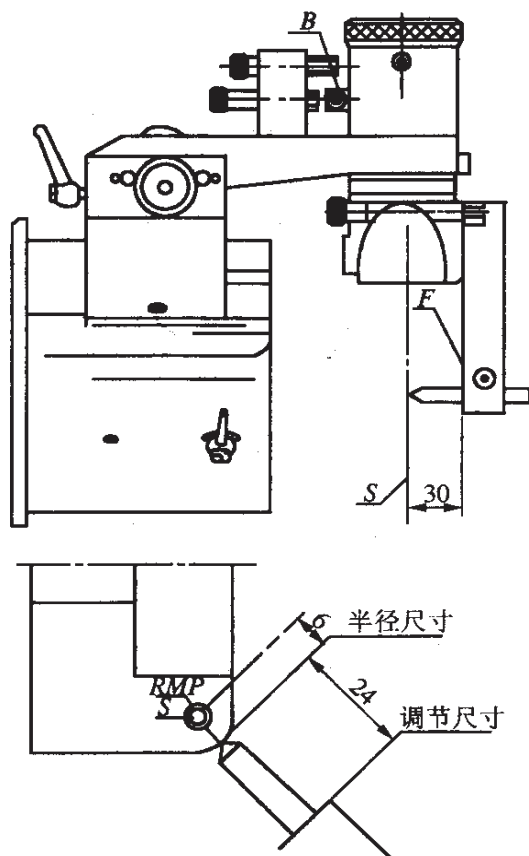


图 4.2-4 砂轮半径修整

七、主要附件

(一) 螺旋磨削及铲磨装置

见图 4.2-5。工作时移动工作台 4, 由于正弦规 1 倾斜, 使齿条壳上的导轮 5 随正弦规运动。导轮的运动带动齿条 2 运动, 齿

条带动刀具磨架的齿轮 3 转动,这样刀具磨架主轴既做旋转运动又做直线运动,实现了刀具的螺旋磨削。此装置也可进行轴向或径向铲磨,在螺旋磨削时,导轮位于导向板与铲磨板之间;在铲磨时导轮位于铲磨板上,用铲磨挡块限制铲磨行程。

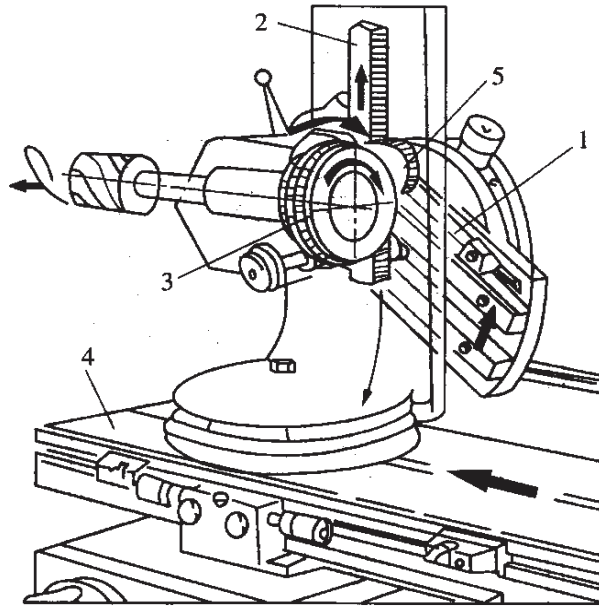


图 4.2-5 螺旋磨削及铲磨装置

(二) 阶梯钻刃磨

阶梯钻刃磨机床的调整如图 4.2-6 所示,钻头 K_r 角由搬动刀具磨架与工作台夹角而定,一般取 15° 左右,切削刃后角大小由正弦规来调整。

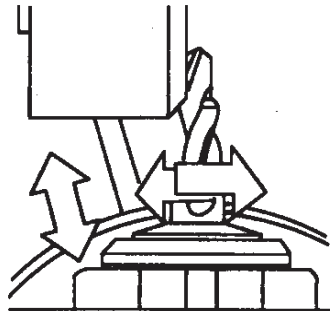


图 4.2-6 阶梯钻刃磨

(三) 球头铣刀刃磨

球头铣刀的刃磨分为圆周刃和球头刃的刃磨,两刀刃要求一次完成。

圆周刃刃磨靠手推动工作台,支片紧贴在刀具的前刀面槽内,并要准确定位(图 4.2-7a))。

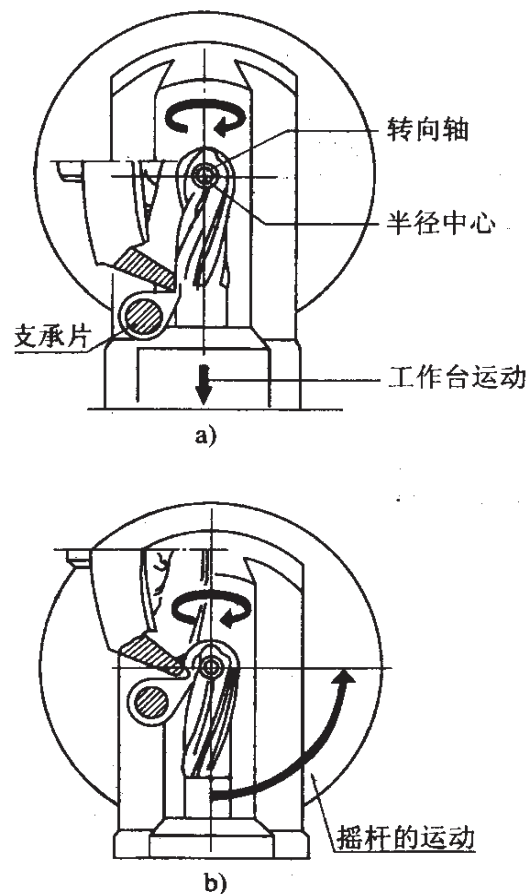


图 4.2-7 球头铣刀刃磨

当圆周刃刃磨到定位块碰上挡块后摆动摇杆,此时刀具绕圆弧中心转向轴摆动,支承片仍必须紧贴前刀面槽内。后角的大小靠倾斜砂轮架来完成。

(四) 附件与主机的连接

该机床附件较多,图 4.2-8 为附件与主机连接示意图。

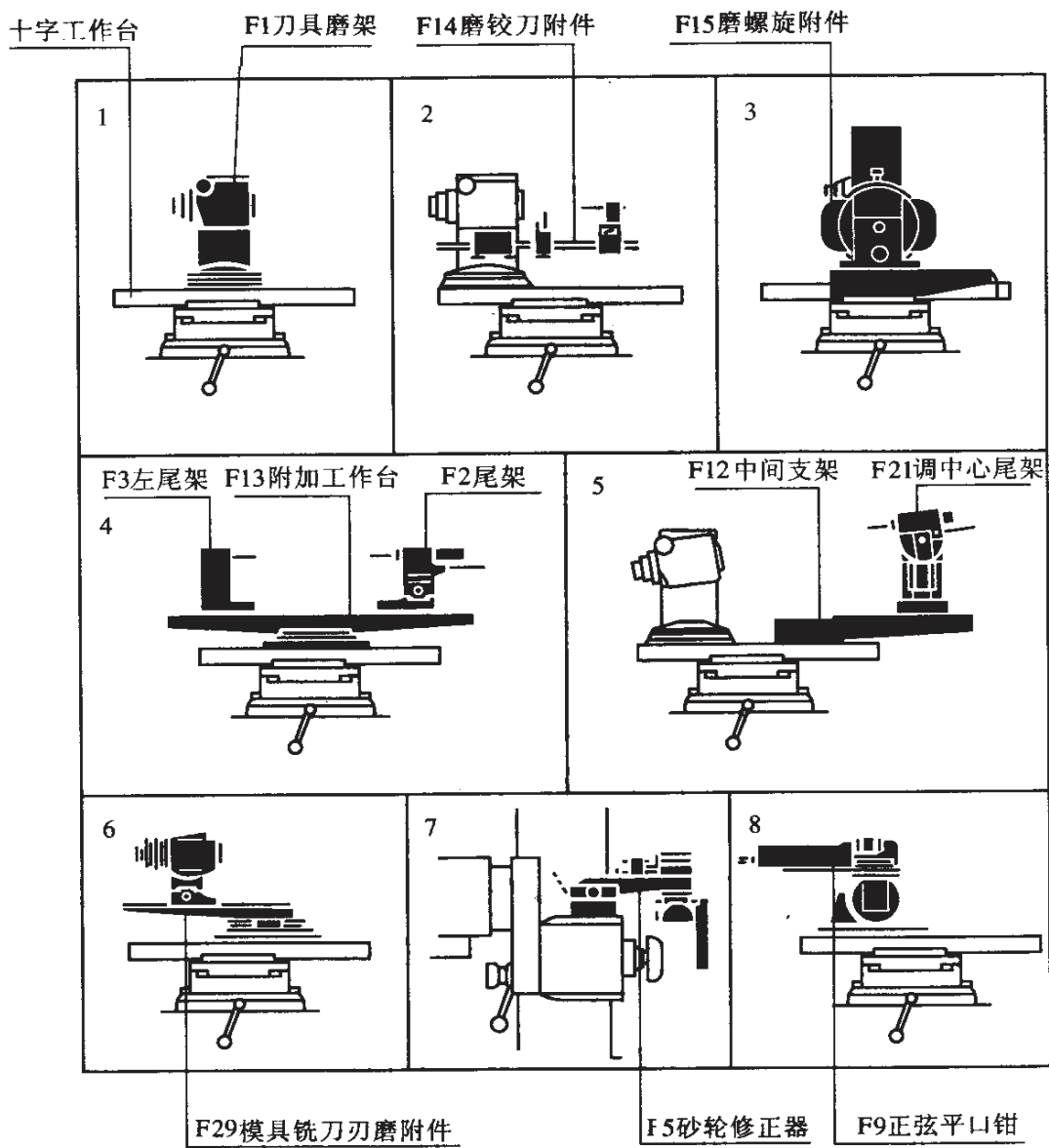


图 4.2 - 8 附件与主机连接示意图

第三节 硬质合金车刀的刃磨

一、可转位硬质合金刀片的刃磨

可转位硬质合金车刀的刀片大多是多边形,具有多个切削刃,当一个刀刃磨钝后,可把锋利的刀刃换到切削部位上去工作,直到全部的刀刃都磨钝后才把该刀片换下来,重新刃磨后可再使用。

(一) 刀片底面的研磨

刀片底面的研磨一般都在单面研磨机上进行。研磨机的结构简单,其原理如图 4.3-1 所示。铸铁的研磨圆盘由电机驱动低速旋转,在盘内放入碳化硼研磨粉和煤油。刀片放在铸铁压块内槽中,刀片底面与铸铁的研磨圆盘接触,在加压顶尖的作用下,铸铁压块绕顶尖中心回转。经过一段时间的研磨,刀片的底面即可研平。

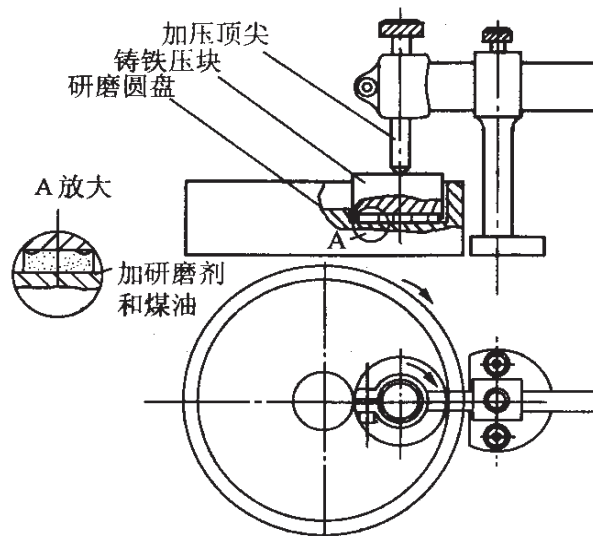


图 4.3-1 刀片底面的研磨

(二) 刀片周边的刃磨

刀片周边的刃磨可在万能工具磨床上进行,也可在专用的磨床上进行。砂轮选用碗形金刚石砂轮,粒度 F100~F150,树脂结

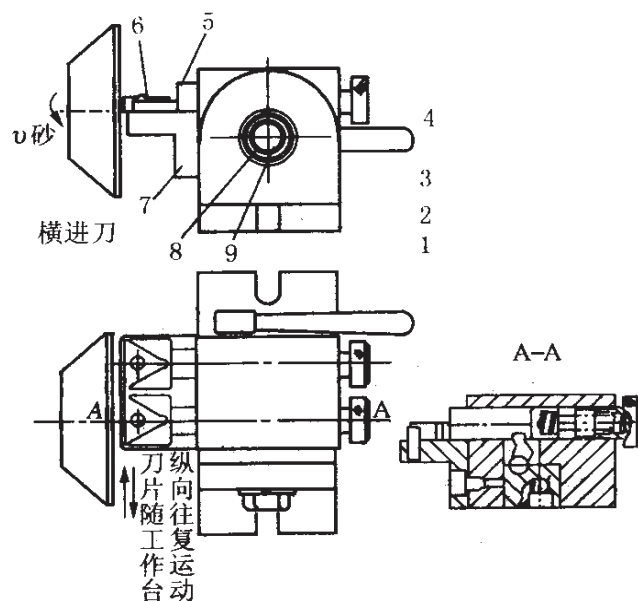


图 4.3-2 刃磨刀片周边的夹具

合剂。用冷却液刃磨,冷却液的流量必须足够连续充分,常用冷却液有煤油或亚硝酸钠、聚乙二醇、三乙醇胺和水的混合液。

二、硬质合金车刀刃磨

(一) 砂轮的选择

刃磨硬质合金车刀一般选用绿碳化硅砂轮或金刚石砂轮,砂轮的选择见表 4.3-1。

表 4.3-1 刃磨硬质合金车刀砂轮的选择

| 刃磨要求 | 粗磨 $Ra0.8\sim1.6(\mu m)$ | 精磨 $Ra0.1\sim0.4(\mu m)$ | 粗磨 $Ra0.4\sim0.8(\mu m)$ | 精磨 $Ra0.2(\mu m)$ |
|------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| 磨料 | GC | GC | RVD(MBD) | RVD |
| 粒度 | F46~F60 | F60~F120 | 100/120~ 120/140 | 170/200~ 200/230 |
| 硬度 | H~K | H~K | | |
| 结合剂 | V | V | B(M,V) | B(V) |
| 组织 | 6~8 | 6~7 | | |
| 浓度 | | | 75~100 | 50~75 |

(二) 刃磨工艺

1. 砂轮刃磨

刃磨切削速度：YT、YW 和 YN 类， $v=10\sim 12$ m/s；YG 类， $v=12\sim 16$ m/s。砂轮的旋转方向应从刀刃向刀体。刃磨顺序：粗磨前刀面→粗磨副后刀面→粗磨主后刀面→精磨前刀面(包括断屑槽)→精磨主后刀面→精磨副后刀面→精磨刀尖圆弧。

2. 研磨

研磨可以有效地降低刀具表面粗糙度值，提高刀具的耐用度。研磨盘的圆周线速度通常为 70 m/min，刀具对研磨盘的压力为 5~7 N。研磨方向是从刀体到刀刃。研磨的顺序：主后刀面→副后刀面→刀尖圆弧→前刀面。

3. 电解磨削

电解磨削硬质合金可避免刃磨龟裂和提高刃磨效率。刃磨时，电解液流量应保持在 $17\sim 50\times 10^{-8}$ m³/s 范围内，精磨时用小磨量，保证电解液能均匀散布在刀具和磨轮之间。磨削速度为 12~25m/s，刀具对磨轮的压强为 50~200 kPa。为减少二次电解对磨削表面的影响，磨削的顺序一般是先磨大面积的表面，后磨小面积的表面；先磨要求不高的表面，后磨要求高的表面。

(三) 刃磨注意事项

- (1) 砂轮不能出现震动和轴向窜动。
- (2) 及时修整砂轮，保持磨粒的锋利状态。
- (3) 若需要磨去刀杆的多余部分，应选用刚玉砂轮。
- (4) 刃磨过程中应严格控制磨削温度的升高，避免出现磨削裂纹。

第四节 麻花钻的刃磨

一、麻花钻的结构和几何参数

标准麻花钻由三部分组成：工作部分、柄部和颈部(图 4.4-1)。

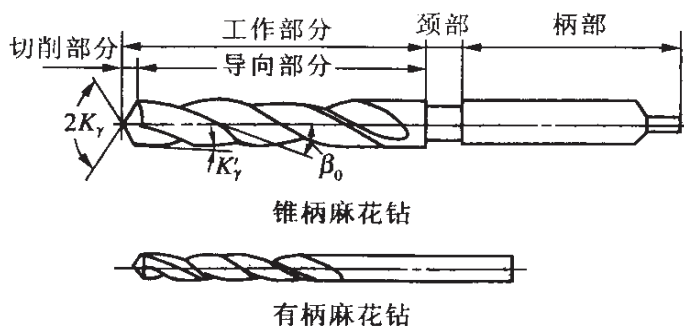


图 4.4-1 标准麻花钻的组成

(一) 工作部分

是钻头的主要部分。其前端为切削部分,担负主要的切削工作;后端是导向部分,也是切削部分的被磨部分。

(二) 柄部

是钻头的夹持部分,并用来传递扭矩。柄部分直柄和锥柄两种,直柄传递扭矩小,一般用于直径小于 12 mm 的钻头。锥柄用于直径大于 12 mm 的钻头。

(三) 颈部

是工作部分和柄部的过渡部分,在磨削柄部时供砂轮退刀用;当柄部和工作部分采用不同材料时,多在颈部对焊,钻头标记亦注于此。

麻花钻的导向部分有两条螺旋槽,用于容屑和排屑,也是切削液的通道。导向部分的外缘留有窄的棱边,用以减少与工件间的摩擦。导向部分的外径从切削部分向柄部呈逐渐减少的倒锥形,以减小棱边与孔壁的摩擦。

麻花钻的切削部分由前刀面、后刀面、副后刀面、主切削刃、副切削刃及横刃组成(图 4.4-2)。

前刀面——主切削刃附近的螺旋槽表面。

后刀面——与工件加工表面相对的表面。

副后刀面——在钻头外缘上靠近主切削刃的棱边即为副后

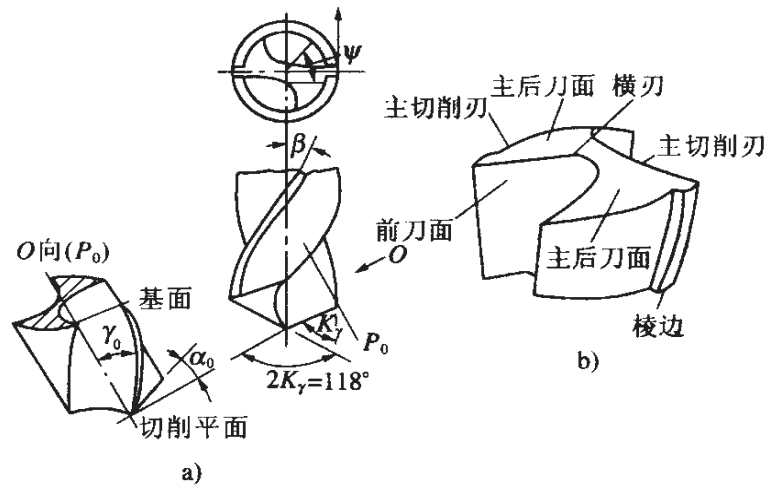


图 4.4-2 麻花钻的各部分名称

a) 麻花钻的角度 b) 头部名称

刀面。

主切削刃——后刀面与螺旋槽(前刀面)的交线为切削刃。

横刃——由两后刀面相交线而形成的刀刃。

切削部分主要有以下几何参数：

(1) 螺旋角 β_0 钻头外圆柱面与螺旋槽交线的切线与钻头轴线的夹角。标准麻花钻 $\beta_0 = 18^\circ \sim 30^\circ$ 。钻头外径处螺旋角最大，越靠近钻心其螺旋角越小。螺旋角影响前角大小。

(2) 锋角 $2K_r$ 为两主切削刃在与其平行的平面上投影的夹角。标准麻花钻 $2K_r = 118^\circ$ 。

(3) 前角 γ_0 主切削刃上各点前角变化很大，外缘处接近 30° ，钻心处为 -30° ，其大小与螺旋角、锋角和钻头直径等有关。

(4) 后角 α_0 后角由刃磨产生。要求外缘处小，而接近钻心处大。外缘处后角取值为：

$$D < 15 \text{ mm}: \alpha_0 = 10^\circ \sim 15^\circ;$$

$$D = 15 \sim 30 \text{ mm}: \alpha_0 = 10^\circ \sim 15^\circ;$$

$$D > 30 \text{ mm}: \alpha_0 = 8^\circ \sim 10^\circ.$$

(5) 横刃斜角 ψ 横刃与主刀刃在端面上投影间的夹角。后角磨大时, ψ 角就小, 横刃变长, 轴向力增大。标准钻头 $\psi=50^\circ\sim55^\circ$ 。

(6) 副后角 α_1 钻头的副后刀面就是棱边, 因与孔壁接触, 所以 $\alpha_1=0^\circ$ 。

二、标准麻花钻的修磨方法

(一) 修磨横刃

横刃处前角为负前角(约 $-54^\circ\sim-60^\circ$)。恶劣的切削条件会导致钻削轴向力 45%~55% 由横刃产生, 因此须修磨横刃。

修磨方法:

(1) 磨去横刃(图 4.4-3a)), 形成新的切削刃(鱼嘴形)。修磨后加大该处前角, 使轴向力大大降低。但这种刃形切削时定心不好, 钻孔精度差; 且钻心强度减弱, 易崩刃。只用于钻铸铁等强度低材料, 一般少用。

(2) 十字形刃磨(图 4.4-3b)), 横刃长度不变, 修磨处加大横刃前角, 但钻心强度减弱, 不宜加工硬质材料, 主要用于钻深孔。它须用专用夹具刃磨。

(3) 修磨横刃或称综合式刃磨(图 4.4-3c)), 磨短横刃, 磨出新的内直刃, 加大修磨处前角。有利于分屑和断屑, 增大钻心部分排屑空间, 定心作用好。

生产中常用的是综合式刃磨, 其修磨参数为:

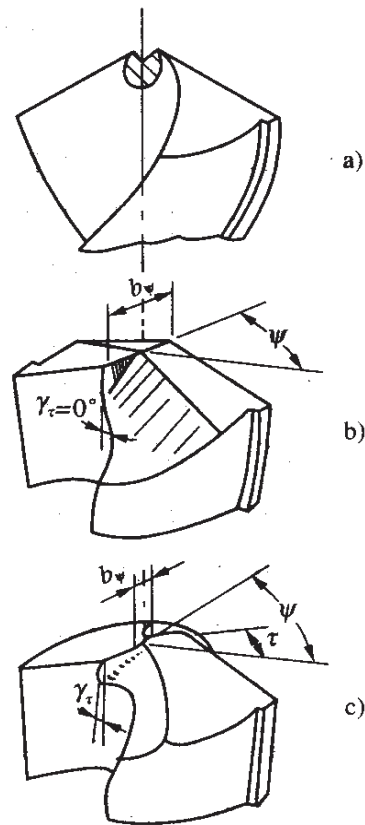


图 4.4-3 横刃修磨形式

$$b_{\psi} = (0.04 \sim 0.06)D, \quad \tau = 20^{\circ} \sim 30^{\circ} \quad \gamma_{\tau} = 0^{\circ} \sim -15^{\circ}.$$

(二) 修磨锋角或称修磨过渡刃

在钻头转角处磨出锋角 $2\phi_1 = 70^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 的过渡刃(图 4.4-4a)。由于外刃处锋角减少,过渡刃刀尖角增大,增加了强度和散热条件,并可降低已加工表面粗糙度。直径大的钻头,也可磨出三重锋角。

(三) 磨出分屑槽(图 4.4-4b))

在钢件等韧性材料上钻孔,切屑较宽,不易卷屑和断屑,排屑不畅,须在外刃上开分屑槽。分屑槽开在后刀面上,重磨时每次都须修磨分屑槽。也可开在前刀面上,这种方法是在制造钻头时铣出。

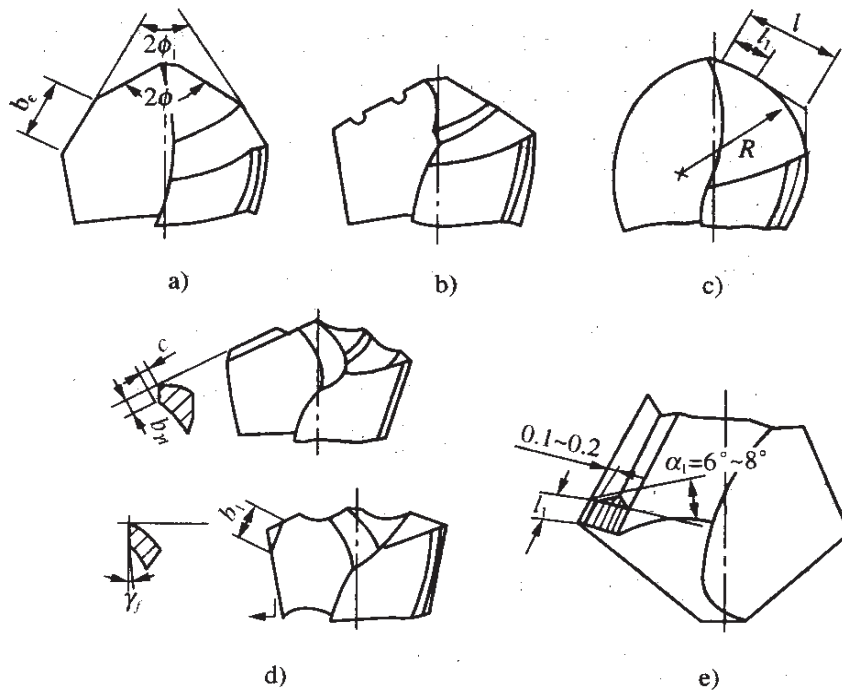


图 4.4-4 麻花钻的修磨形式

分屑槽参数见表 4.4-1 所示。

表 4.4-1 分屑槽参数

(mm)

| 钻头直径 d | 总槽数 | 槽宽 b_1 | l_1 | l_2 | l_3 | 槽深 C |
|----------|-----|----------|-------|-------|-------|---------------|
| 12~18 | 2 | 0.85~1.3 | 2.3 | 4.6 | — | $>f_a$ 进给量 |
| >18~35 | 3 | 1.3~2.1 | 3.6 | 7.2 | 7.2 | |
| >35~50 | 5 | 2.1~3.0 | 5.0 | 10.0 | 10.0 | |

(四) 修磨圆弧刃(图 4.4-4 c))

将钻头主切削刃外缘段修磨成圆弧刃。圆弧刃上各点的锋角皆不相等,由里向外逐渐减少。圆弧刃使切削刃增长,单位长度上切削负荷减轻,改善散热条件,提高钻头耐用度,并可减少孔钻透时的毛刺。对钻削低碳钢钢板小孔时效果较好。

(五) 修磨前刀面(图 4.4-4 d))

当加工较硬材料时,修磨外缘处前刀面,使此处前角减少,提高该处强度和降低前面表面粗糙度,提高钻头耐用度;当加工较软材料时,可将近钻心处前角磨大,使切削轻快。

(六) 修磨棱边

钻头棱带的副后角为 0° ,与孔壁摩擦磨损较严重,特别是大于 12 mm 的钻头。如图 4.4-4e 所示,将棱带磨出 $6^\circ\sim 8^\circ$ 的副后角,并留一条宽为 0.1~0.2 mm 的刃带。经修磨后,钻头的耐用度约提高一倍,并改善钻头表面粗糙度。对表面有硬皮的铸件不宜采用此种修磨方法。

三、普通麻花钻的刃磨

普通麻花钻刃磨的基本要求有三个:一是正确磨出锋角及按外小内大分布的主刃后角;二是形成适当的横刃斜角及横刃前、后角;三是控制左、右切削刃的对称性。

钻头的刃磨一般用手工进行,但机械刃磨质量更有保证。直径小于 30 mm 的钻头可用手工刃磨,直径较大或批量生产时宜采

用机械刃磨。

常用的机械刃磨法有锥面磨法、螺旋面磨法、圆柱面磨法与平面磨法四种。平面磨法磨出的后刀面为平面,后角较大,适用于小直径钻头。圆柱面磨法磨出圆柱形后刀面,切削时各点后角相等,仅适合双重锋角钻头的外锋角。螺旋面磨法磨出螺旋后刀面,钻头较锋利,适合大直径钻头。锥面磨法适用于中等直径钻头,应用广泛,近年来已代替螺旋面磨法。

锥面磨法刃磨原理:图 4.4-5 所示为采用正锥法刃磨工作原理。钻头装夹在夹具中,绕假想圆锥轴线 O_z-O_z 转动,钻头的后刀面磨成了假想锥体上的表面。由于钻头中心与假想锥中心间有偏距 e ,所以磨出的 A、B 两点后角不等。B 点后角大于 A 点后角。

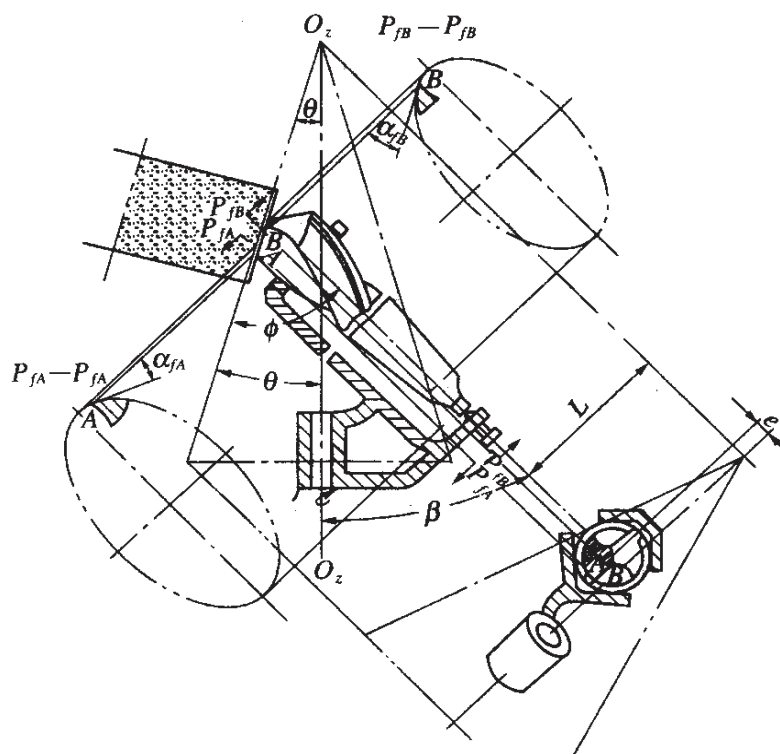


图 4.4-5 麻花钻锥面刃磨法原理

根据麻花钻刃磨要求, 夹具参数应符合以下条件:

钻头轴线与假想锥轴线间夹角 $\beta = 30^\circ \sim 45^\circ$ (当 $K_r = 60^\circ$ 时, $\beta = 45^\circ$); 假想锥半角 θ 常取 $13^\circ \sim 15^\circ$; 钻头中心与假想锥中心有一偏距 $e = (1/10 \sim 1/13)D$; 假想锥锥尖至钻头中心距 $L = 1.9D$ 。调整夹具参数 L 、 e 、 θ 及 β 等可改变钻头后角的大小及其内外分布的范围。

四、群钻的刃磨

(一) 标准麻花钻的缺陷

(1) 标准麻花钻主切削刃上各点的前角内外相差太大。在外缘处前角约为 $+30^\circ$, 而接近钻心处前角为 -30° , 此处前角太小, 造成切屑变形大, 切削阻力大; 而外缘处前角大, 在加工硬质材料时, 切削刃强度不足。

(2) 横刃嫌长, 横刃的前角是负值, 达 $-54^\circ \sim -60^\circ$, 从而产生很大的轴向力。

(3) 主切削刃太长, 不利于分屑与断屑。

(4) 刃带(副切削刃)处副后角为零, 造成副后刀面与孔壁间摩擦加大, 切削温度上升, 导致外缘转角处磨损严重, 已加工表面粗糙度恶化。

(二) 群钻的几何形状

图 4.4-6 为中等直径 67 基本型群钻的切削部分图形, 其几何参数见表 4.4-2。 l 为外直径刃 AB 的长度, l_2 为一侧外刃分屑槽宽度, l_1 为分屑槽距外缘的距离, C 为分屑槽深度。 R 为圆弧刃 BC 段的圆弧半径, CD 为内切削刃近似为一条直线, h 为尖高, b_ψ 为横刃长度, $2K_r$ 为外刃锋角, $2K_r'$ 为内直刃锋角, τ 为内直刃斜角, ψ 为横刃斜角。这些几何参数决定着钻头各部分的强度、锋利程度和分屑、断屑性能。并影响钻头工作时的磨损和耐用度。

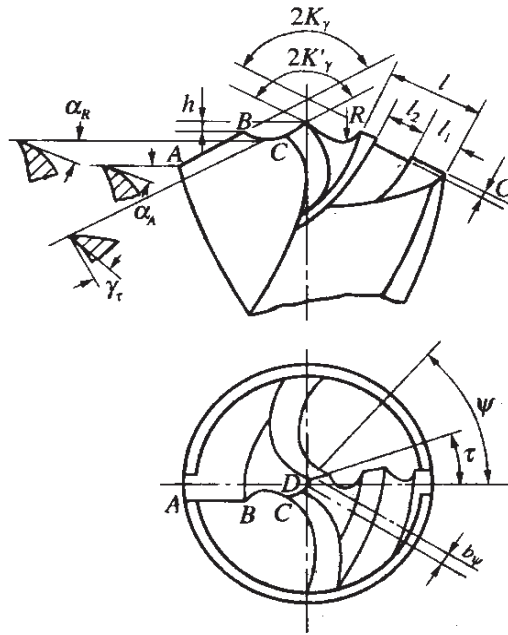


图 4.4-6 67 型群钻切削部分几何参数

表 4.4-2 标准群钻切削部分的几何参数

| 钻头直径 D | 尖高 h | 圆弧半径 R | 外刃长 l | 槽距 l ₁ | 槽宽 l ₂ | 横刃长 b _φ | 槽深 C | 槽数 Z | 外刃锋角 2K _r | 内刃锋角 2K' _r | 横刃斜角 ψ | 内刃前角 γ _r | 外刃后角 α | 圆弧后角 α _R | 内刃斜角 τ |
|------------|------|--------|-------|-------------------|-------------------|--------------------|------|------|----------------------|-----------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|
| (mm) | | | | | | | 条 | (°) | | | | | | | |
| >15 ~20 | 0.55 | 1.5 | 5.5 | 1.4 | 2.7 | 0.45 | 1 | 1 | 125 | 135 | 65 | -15 | 12 | 15 | 25 |
| >20 ~25 | 0.7 | 2 | 7 | 1.8 | 3.4 | 0.6 | | | | | | | | | |
| >25 ~30 | 0.85 | 2.5 | 8.5 | 2.2 | 4.2 | 0.75 | | | | | | | | | |
| >30 ~35 | 1 | 3 | 10 | 2.5 | 5 | 0.9 | | | | | | | | | |
| >35 ~40 | 1.15 | 3.5 | 11.5 | 2.9 | 5.8 | 1.05 | | | | | | | | | |

群钻的几何特征,可用四句话总结和概括:三尖七刃锐当先,月牙弧槽分两边,一侧外刃再开槽,横刃磨低窄又尖。

(三) 群钻的切削效果

(1) 前角分布较合理。圆弧刃(BC 段)上前角平均加大 $10^{\circ}\sim 14^{\circ}$,内刃(CD 段)上加大 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$,横刃上加大 5° 。因前角加大,可减小切削变形,降低切削力及切削温度。

(2) 钻削力和切削扭矩降低,钻钢材时其轴向力比普通麻花钻约降低 $35\%\sim 47\%$,扭矩约减小 $10\%\sim 30\%$ 。钻削力及扭矩降低后,有利于降低切削温度及提高钻孔质量。

(3) 分屑、断屑、排屑得到改善。因此切削液较易到达孔底与钻尖,能充分发挥冷却、润滑作用。

(4) 钻头耐用度提高。由于横刃磨窄、两个侧刃尖和圆弧刃对钻头定心作用好。有稳定、定向作用,且轴向力减小,故提高了钻孔精度及钻孔表面质量。

由于群钻具有以上优点,40余年来驰名中外,得到广泛应用。

(四) 群钻的刃磨步骤和要领

群钻可用手工刃磨和机械刃磨。掌握手工刃磨群钻是有关工人必须掌握的基本功。只要掌握刃磨要领、步骤和方法,很快就会掌握,反而比磨普通麻花钻又长又直的刀刃容易掌握。

1. 磨外刃

刃磨参数:外直刃锋角 $K_r=60^{\circ}$;后角 $\alpha_0=10^{\circ}\sim 16^{\circ}$ 。

(1) 将外刃摆平,磨削点略高于砂轮水平中心面,如图4.4-7a)所示,使钻头轴线与砂轮圆周母线在水平面内的夹角等于 $K_r(60^{\circ})$ 。开始刃磨时,此时钻头轴线与水平面夹角近似于钻头后角 α_0 (约 12° ,钻头后角大小是以此夹角和进给量大小来确定的)。

(2) 钻尾摆动不得高出起始位置,更不能高出水平面(图4.4-7b))以防止磨出的后角太小或出现负后角。

(3) 开始刃磨时,钻刃先接触砂轮,由刃口向刃背方向磨,即

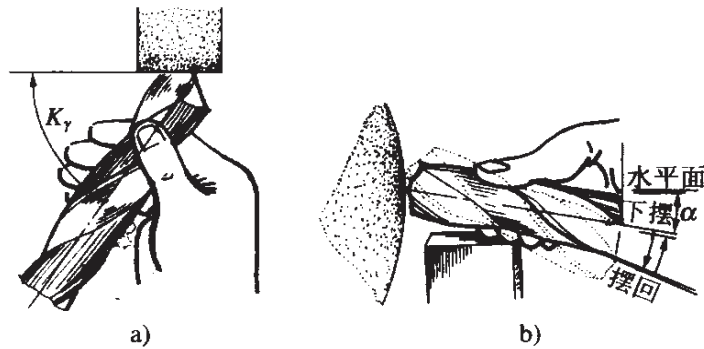


图 4.4-7 磨外刃初始位置及摆动情况

刃口向上摆动(柄尾向下摆动),以免刃口退火。在刃磨时要经常蘸水冷却。

(4) 在刃磨之前,先对两外直刃观察,可根据磨损情况先将高刃磨去。使两刃初步对称,然后再磨两刃。此时应注意两刃的刃磨次序要相同,刃磨量也要相同。不要先磨好一刃,再磨另一刃,而要两刃逐次磨成,以保证两刃的对称。

2. 磨月牙槽

刃磨参数:圆弧刃后角 $\alpha_R = 15^\circ \sim 18^\circ$;横刃斜角 $\psi = 65^\circ$;钻心尖角高 $h = (0.03 \sim 0.04)D$ mm。

(1) 先将砂轮左侧修成圆角(右侧也可以,但左侧可以合理利用砂轮),以便磨出月牙槽。砂轮圆周面与钻轴线间夹角为 $55^\circ \sim 60^\circ$ (图 4.4-8),目的是将钻尖磨低;磨出内直刃锋角 $K_r' = 67^\circ 30'$ 。

(2) 钻尾要适当向下倾斜 $\alpha_R 12^\circ \sim 15^\circ$,开始刃磨时,要平稳前进,缓慢进刀,磨出后面形成弧槽。要保证圆弧半径 R 和外刃长度 l ,当两钻刃都磨出弧槽后,注意观察尖高、刃长、弧槽大小及两刃是否对称。

注意:钻头只能平稳前进,不能使钻尾上下摆动。以保证弧槽 B 点处后角为正值;主刃应保持水平位置,如高于水平位置,磨出的横刃斜角 $\psi < 65^\circ$,主刃低于水平时, $\psi > 65^\circ$;不许钻尾上下

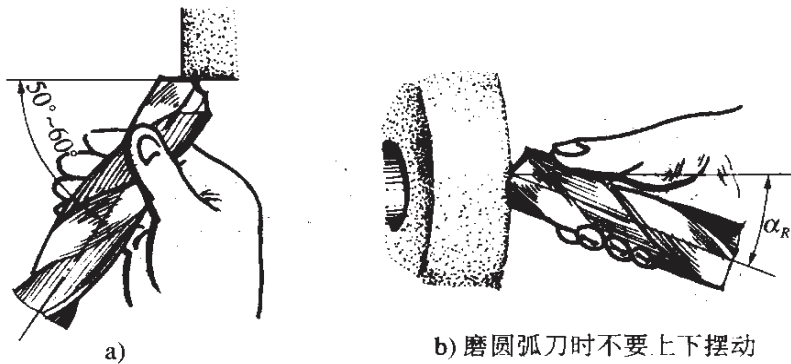


图 4.4-8 磨圆弧刀初始位置

摆动,也不许绕钻轴转动,否则会使钻头横刃变成 S 形,横刃斜角变小,而且圆弧形状也不易控制对称。

3. 磨横刃和内直刃

刃磨参数: 横刃长 $b_\psi \cong 0.03D$ mm; 内刃斜角 $\tau = 25^\circ$; 内刃前角 $\gamma_\tau = -10^\circ$; 内刃锋角 $2K_r' = 135^\circ$ 。

(1) 按图示位置(图 4.4-9)放置钻头,使外刃后面背棱先靠上砂轮(图 4.4-9a)),砂轮的侧面与钻轴线夹角为 θ 角。 θ 角的大小直接影响内直刃的前角。 θ 值越大内直刃越锋利,但钻尖的强度减弱。一般钻轴左斜 $\theta = +15^\circ$ 。

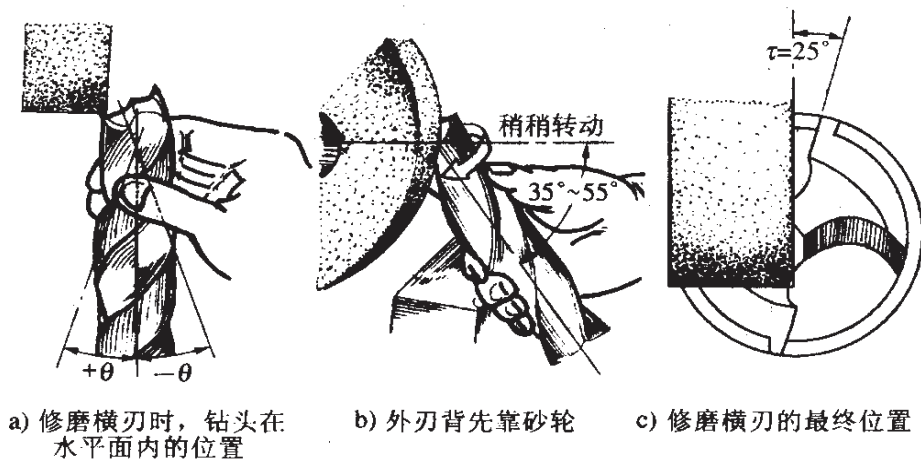


图 4.4-9 修磨横刃

(2) 钻尾下倾 $35^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 。此角越大钻心越尖,内直刃越锋利。标准群钻取 55° 。

(3) 外刃与砂轮侧面夹角 $\tau=25^{\circ}$,此角很重要,此角过小,会导致砂轮磨到圆弧刃甚至外刃上;二是控制横刃的宽度,防止磨窄。刃磨时逐渐由外刃背向钻心移动,逐渐磨出内直刃前角,最终位置要保证钻头内刃斜角 $\tau=25^{\circ}$,并保证横刃长度。

4. 磨外刃分屑槽

刃磨参数:槽距 l_1 、槽宽 l_2 、槽深 C 。

选两外刃中较高的一个外刃上开分屑槽,最好用橡胶切割砂轮,如用普通小砂轮,则砂轮的圆角半径要修小一些。位置如图 4.4-10。

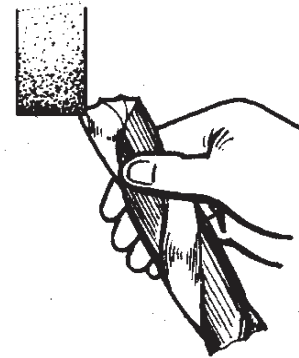


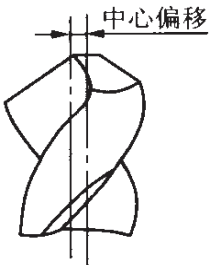
图 4.4-10 磨分屑槽

开始刃磨时,后面先接触砂轮,钻头做轴向送进和旋转运动的同时,钻尾做上下摆动。注意分屑槽应上窄下宽,以形成合理的后角。

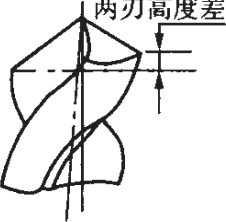
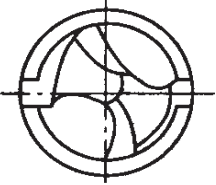
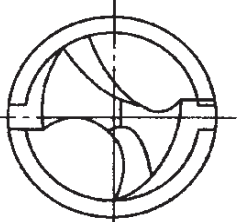
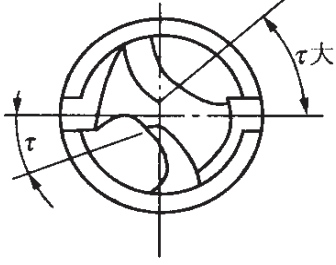
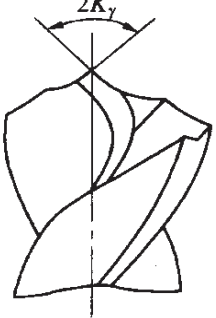
(五) 刃磨群钻常见的疵病

刃磨群钻时常见疵病见表 4.4-3。

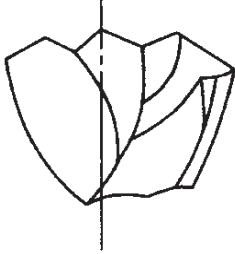
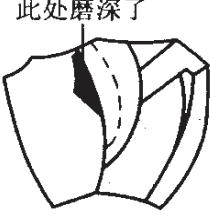
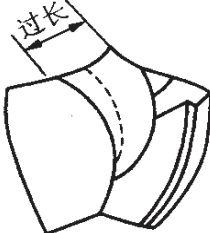
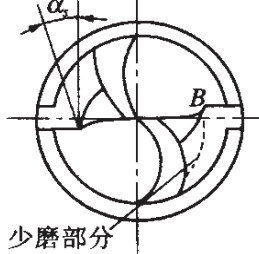
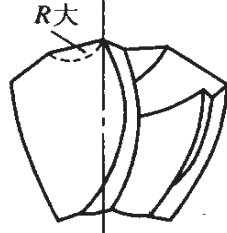
表 4.4-3 刃磨群钻常见疵病

| 疵病 | 产生后果 | 产生原因 |
|---|------|----------|
| 钻心偏移,造成主切削刃长短不一致  | 钻出孔大 | 刃磨时观察不仔细 |

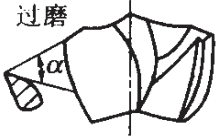
续 表

| 疵 病 | 产生后果 | 产生原因 |
|--|--------------|---|
| <p>两主切削刃高度不一致</p>  | <p>单刃切削</p> | <p>刃磨方法不当及观察不仔细</p> |
| <p>横刃不在中心线上</p>  | <p>钻出孔大</p> | <p>修磨横刃时, 两边修磨不均</p> |
| <p>两月牙弧槽不对称, 一个靠里, 一个靠外</p>  | <p>钻出孔大</p> | <p>刃磨时未注意观察</p> |
| <p>两内刃斜角 τ 不一致</p>  | <p>钻出孔大</p> | <p>修磨横刃时, 钻头外直刃与砂轮侧面的夹角不一致</p> |
| <p>内刃锋角 $2K_r$ 小</p>  | <p>钻头易断尖</p> | <p>磨月牙槽时, 钻头轴线与砂轮侧面夹角小于 55°</p> |

续表

| 疵病 | 产生后果 | 产生原因 |
|---|--------------------------------------|------------------------------|
| 后刀面磨去过多  | 切削刃强度降低、散热不好, 钻钢件时产生抖动, 易扎刀, 但适于钻铝合金 | 修磨横刃时, 钻尾下倾太大, 超过 55° |
| 钻心太薄  | 钻心强度低, 容易崩尖 | 修磨横刃时钻尾下倾和左倾皆偏大 |
| 内直刃过长  | 月牙弧处前角减少, 使切削条件变坏 | 修磨横刃时, 外直刃与砂轮侧面夹角过小 |
| B 点处无侧后角  | B 点处刀尖易磨损 | 磨月牙槽时, 外直刃未放平, 往上翘 |
| 弧底浅 R 太大  | 分屑不好或不起分屑作用 | 砂轮圆周过大 |

续表

| 疵病 | 产生后果 | 产生原因 |
|---|---------------|------------------------------|
| 外刃后角过大  | 钻孔时产生强烈震动,易崩刃 | 磨外直刃时,钻尾向下摆动太大,钻头磨削点高于砂轮中心平面 |

第五节 铰刀的刃磨

一、铰刀的结构要素和几何参数

铰刀是一种多刃刀具,用于孔的半精加工和精加工。铰刀的切削余量一般很小,约 0.02~0.05 mm。

铰刀的种类和规格很多,通常按下列方法分类:

按加工孔的形状分为圆柱形铰刀和圆锥形铰刀;按使用方法分为机用铰刀和手用铰刀;按刀具结构分为整体铰刀和套装铰刀;按铰刀直径的调整分为可调直径铰刀和不可调直径铰刀;按铰刀槽形分为直齿铰刀和螺旋齿铰刀;按刀具材料分为高速钢铰刀和硬质合金铰刀等。

图 4.5-1 所示为几种常用铰刀。

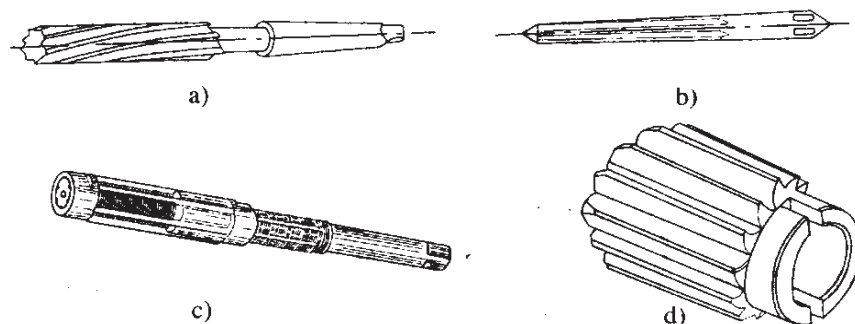


图 4.5-1 几种常用铰刀

a) 螺旋槽铰刀 b) 锥度铰刀 c) 可调铰刀 d) 套式机用铰刀

(一) 铰刀的结构要素

铰刀由工作部分、颈部和连接部分等组成,如图 4.5-2 所示。工作部分由切削部分、校准部分和倒锥部分组成,切削部分用于切除加工余量,校准部分起校准、修光和备磨作用,倒锥部分可减少刀齿与孔壁之间的摩擦,防止校准部分刮大孔径和退刀时划伤孔壁表面。连接部分与机床连接并传递扭矩。颈部起联结工作部分和连接部分的作用。

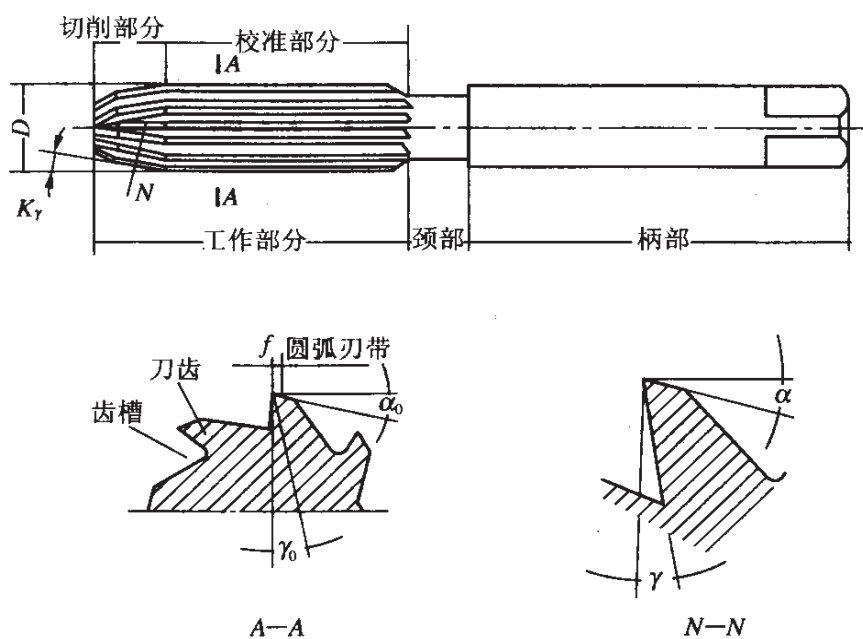


图 4.5-2 铰刀的结构和几何参数

(二) 铰刀的几何参数

(1) 前角 γ_0 铰刀的切削余量小,一般取前角 $\gamma_0 = 0^\circ$;加工韧性金属的铰刀,前角 $\gamma_0 = 5^\circ \sim 10^\circ$;硬质合金铰刀,前角 $\gamma_0 = -3^\circ \sim -5^\circ$ 。

(2) 后角 α_0 后角主要是减少刀齿与孔壁之间的摩擦,一般取后角 $\alpha_0 = 4^\circ \sim 8^\circ$ 。在校准部分刀齿的前刀面与后刀面之间有一条宽约 0.1~0.3 mm 的圆柱刃带 f ,其用途是在铰孔时起导向作用,减少铰刀的颤动,压光孔壁和便于测量铰刀的直径。

(3) 切削锥角 $2K_r$ 它是对称于主切削刃之间的夹角,其半

角 K_r 相当于主偏角。手用铰刀的锥角较小,可减少铰孔时的轴向力, $2K_r=0^{\circ}30' \sim 1^{\circ}$ 。机用铰刀采用的锥角较大, $2K_r=10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。

(4) 螺旋角 ω 指螺旋槽铰刀刀齿展开成直线后与铰刀轴线间的夹角。 $\omega=0^{\circ}$,即直槽铰刀。高速钢螺旋槽铰刀,取 $\omega=8^{\circ}$ 。硬质合金螺旋槽铰刀,取 $\omega=3^{\circ}$ 。

二、铰刀的刃磨

(一) 前刀面的刃磨

一般是在万能工具磨床上用碟形砂轮的平端面刃磨铰刀的前刀面。

(1) 选好砂轮并装在磨头上,将碟形砂轮的平端面修整成边缘高中心底的锥面。

(2) 将铰刀顶在两顶针间。

(3) 根据确定的砂轮退刀方向,将磨头转过 $30' \sim 1^{\circ}$ (图 4.5-3),以便于砂轮退刀,也使得砂轮只有一个边缘参与磨削。

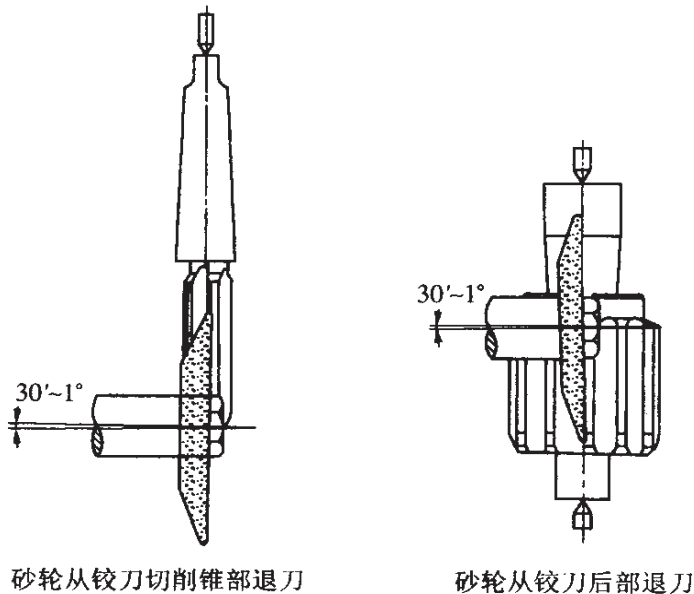


图 4.5-3 磨头偏转的方向

(4) 调整铰刀与砂轮的相对位置,刃磨 $\gamma=0^\circ$ 前角的铰刀,砂轮的端面应通过铰刀的中心,刃磨 $\gamma>0^\circ$ 前角的铰刀,砂轮的端面对铰刀的中心应有一个偏位量 H (图 4.5-4)。

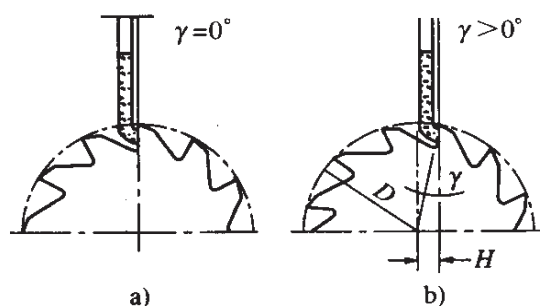


图 4.5-4 刃磨铰刀的前刀面

$$H = \frac{D}{2} \sin \gamma$$

式中 H ——砂轮端面对铰刀中心的偏位量(mm)

D ——铰刀直径(mm)

γ ——铰刀前角($^\circ$)

(5) 启动砂轮,开始刃磨。手扶铰刀,使铰刀的前刀面靠在砂轮的端面上,工作台做纵向进给,手给铰刀一定的作用力代替横向进给。磨完一个刀齿后再磨另一个刀齿,直至磨完全部刀齿。手给铰刀的作用力要均匀、大小适当,应防烧伤刀齿。砂轮磨至铰刀的两头时,因磨削面积逐渐变小,手的作用力也应相应变小,砂轮不要脱出铰刀的两端,避免铰刀两端出现塌角。

(二) 后刀面的刃磨

一般是在万能工具磨床上用碗形砂轮的平端面刃磨铰刀的后刀面。

(1) 选好砂轮并装在磨头上,将砂轮修成向中心倾斜 $15^\circ \sim 20^\circ$ 的锥面。

(2) 转动磨头,使砂轮的端面与铰刀的轴线成 $K_\gamma + (1^\circ \sim$

3°), 使砂轮只有一个边缘参与磨削, 以避免砂轮的另边缘磨伤已磨过的表面。

(3) 利用中心规调整齿托片的高度, 使待刃磨的切削刃比较刀中心低 H (图 4.5-5)。

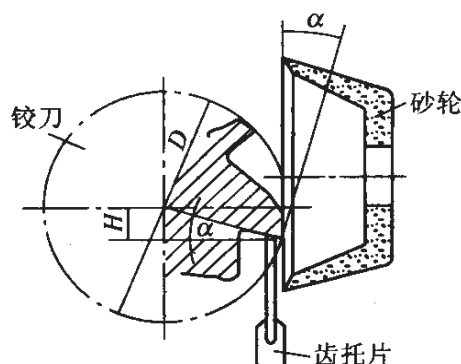


图 4.5-5 刃磨铰刀的后刀面

$$H = \frac{D}{2} \sin \alpha$$

式中 H ——齿托片比较刀中心的下降值(mm)

D ——铰刀直径(mm)

α ——铰刀后角($^{\circ}$)

(4) 先刃磨铰刀的校准部分。手扶铰刀, 使刀齿的前刀面紧贴齿托片的顶端, 令一手推动工作台纵向进给, 逐齿刃磨, 磨完一圈后做一次横向进给, 继续刃磨。刀齿上应留有圆柱刃带 f , $f=0.1\sim 0.2$ mm。再刃磨切削锥上的后刀面。转动工作台成 $K_{\gamma}+(1\sim 3^{\circ})$, 切削锥的后角比较校准部分的后角稍大, 可将齿托片适当调低一些, 刃磨方法与刃磨校准部分相同。

刃磨铰刀后刀面时砂轮相对于铰刀的旋转方向有两种情况:

(1) 砂轮顺转磨削。砂轮的旋转使铰刀的前刀面紧贴齿托片, 见图 4.5-6 a), 刃磨比较安全, 但因砂轮的旋转方向是从齿背到刃口, 刀刃上易产生毛刺和烧伤。

(2) 砂轮逆转磨削。砂轮的旋转有使铰刀的前刀面脱离齿托

片的趋势,见图 4.5-6 b),刃磨时手扶铰刀较困难,甚至会发生事故。因砂轮的旋转方向是从刃口到齿背,刀刃上无毛刺且不易烧伤。

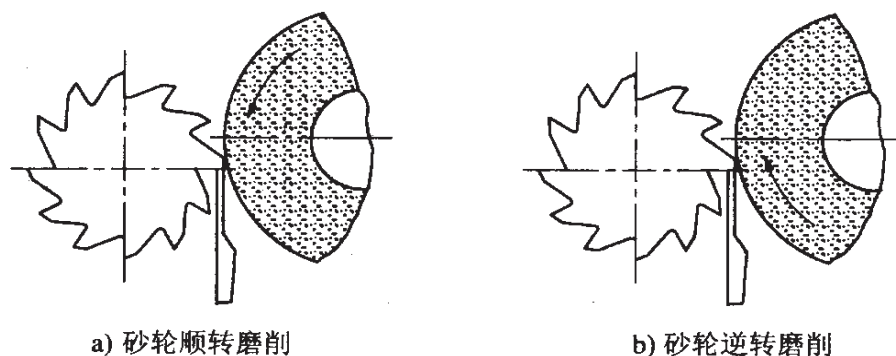


图 4.5-6 砂轮的旋转方向

(三) 铰刀的研磨

为进一步提高铰刀的铰孔质量,刃磨后的铰刀应进行研磨。研磨可在一般的车床上进行,用铸铁套加研磨剂即可。图 4.5-7 是在车床上研磨铰刀校准部分刃带外圆,车床带动铰刀反向低速旋转,手扶研磨套沿铰刀轴线做往复运动。

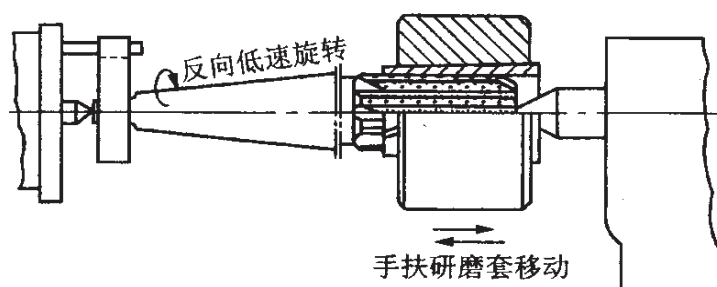


图 4.5-7 在车床上研磨铰刀

图 4.5-8 是两种研磨套的结构,研磨套材料为铸铁。图 4.5-8 a) 是根据铰刀校准部分外径加工出研磨套(内套)的内孔,内套的外径是圆锥面,纵向开一斜槽。外套的内孔是与内套的外锥相配的内锥孔。研磨时,利用锥面可调节内套与铰刀外径的间隙。图

4.5-8 b) 所示的研磨套的内外套配合面是圆柱面,调节内套与铰刀外径的间隙可利用装在外套上的三个螺钉。

用上述研磨套,手工方法也可研磨。

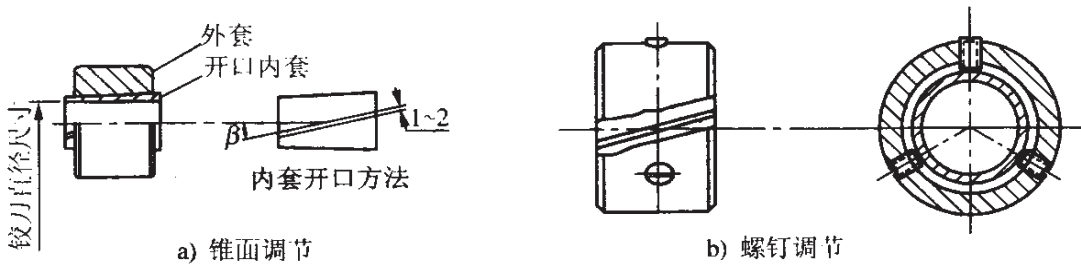


图 4.5-8 研磨套的结构

三、刃磨时注意事项

铰刀刃磨前,应先把铰刀两端的中心孔清理干净,除去中心孔内的锈斑,涂上黄油,然后将铰刀顶在两顶针间,顶针的轴向力大小要合适,顶得太紧,铰刀转动时不灵活,小直径铰刀易产生弯曲;顶得太松,铰刀易产生轴向窜动,使刃磨后的铰刀形状误差较大。

铰刀齿数较少时,宜采用大直径砂轮,为避免磨伤邻齿,可把砂轮架转过 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$,用砂轮的一个边缘磨后刀面。

刃磨前刀面时,若砂轮先接触刃口部位,则表明前角比原来磨小了,砂轮应横向进刀;若砂轮先接触齿根部位,则表明前角比原来磨大了,砂轮应横向退刀;若砂轮在齿向方向接触不均匀,表明工作台有斜度,应调整工作台。

磨完一个刀齿的后刀面后,应观察刃带的宽窄是否一致,若不一致,则表明有锥度,应调整工作台。

刃磨过程中,应确保刀齿始终贴紧在齿托片的顶端,齿托片应尽可能装在靠刀刃处,防止齿托片滑向刀齿的根部。

刃磨时,工作台的纵向进给要均匀,尤其不能使砂轮在铰刀的某一处停留较长时间,以防烧伤刀齿及在停留处产生凹痕。

刃磨螺旋齿槽铰刀时,用手扶持刀柄并使刀齿前面贴紧齿托片,铰刀在转动中不能停留,在螺旋刀刃的全长上应在手的一次转动下磨出后角,防止中途磨伤刀齿。

四、铰刀的检验

(一) 铰刀直径的测量

铰刀的校准部分中直径是最重要的尺寸。对于偶数直齿铰刀,可用外径千分尺直接在铰刀的刃带部位测量;对于奇数齿或螺旋槽铰刀,可采用比较测量法。测量时,先准备一个尺寸和被测铰刀直径相当的标准件并测量实际直径尺寸,将其顶在两顶针间,用千分表的测头接触标准件的圆柱面,转动标准件并将表的零位对准指针。取下标准件,将被测铰刀顶在两顶针间,注意此时应使千分表的测头放在齿槽间,然后转动铰刀,使后刀面慢慢接触千分表的测头,当千分表的测头测量到刃带处时,千分表的读数即为铰刀半径与标准件半径的差值。

(二) 铰刀前角的测量

1. 用多刃角尺测量铰刀的前角(见图 4.5-9 a))

多刃角尺可测量 $\phi 6 \sim 80$ mm、刀齿不少于 4、齿槽等分、刀齿的前后刀面直线部分不小于 1 mm 的铰刀。

测量时,把多刃角尺的量块 1 和靠尺 5 分别放在铰刀相邻的两个刀齿的前后刀面上,量尺 2 与铰刀的轴线垂直,转动扇形刻度游标 3 使量尺 2 的测量面与刀齿的前刀面完全贴合,按铰刀齿数读出半圆尺 4 上的齿数刻线所对准的游标 3 的刻度,此值即为铰刀前角的度数值。

2. 用高度游标尺测量铰刀的前角(见图 4.5-9 b))

将铰刀顶在两顶针间并测出尺寸 A ,使高度游标尺的测量面与刀齿的前刀面完全贴合,读出尺寸 B ,铰刀的前角 γ 可由下式算得:

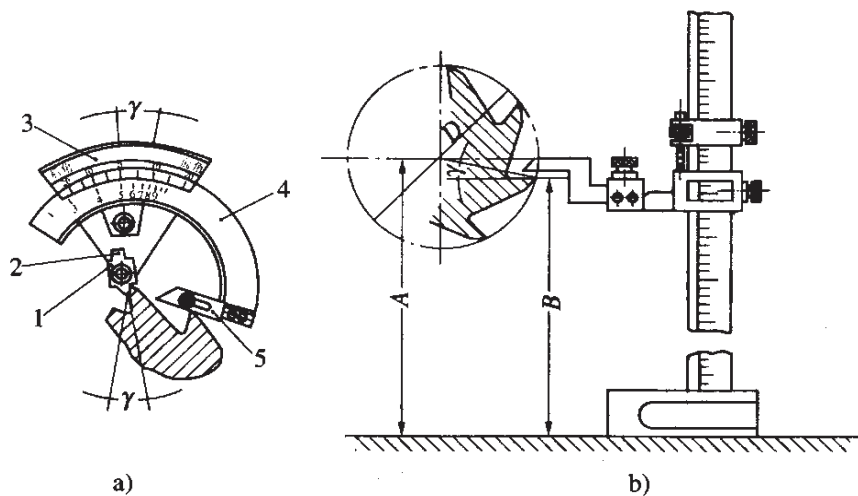


图 4.5-9 铰刀前角的测量

$$\sin\gamma = \frac{2(A-B)}{D}$$

式中 A ——铰刀中心距平板的高度(mm)
 B ——铰刀前刀面距平板的高度(mm)
 D ——铰刀直径(mm)
 γ ——铰刀前角($^{\circ}$)

测量螺旋槽铰刀的前角时,测出的前角是端剖面前角 γ_1 ,法向前角 γ_n (垂直于螺旋刃剖面上的前角)是从端剖面前角 γ_1 换算而来的:

$$\tan\gamma_n = \tan\gamma_1 \cdot \cos\omega$$

式中 γ_n ——铰刀的法向前角($^{\circ}$)
 γ_1 ——铰刀的端剖面前角($^{\circ}$)
 ω ——铰刀的刀齿螺旋角($^{\circ}$)

(三) 铰刀后角的测量

1. 用多刃角尺测量铰刀的后角(见图 4.5-10a))

测量铰刀后角的方法与测量前角的方法相似,将量块 1 的工

作面与铰刀的后刀面完全贴合,即可从扇形刻度游标 3 上读出后角的度数。

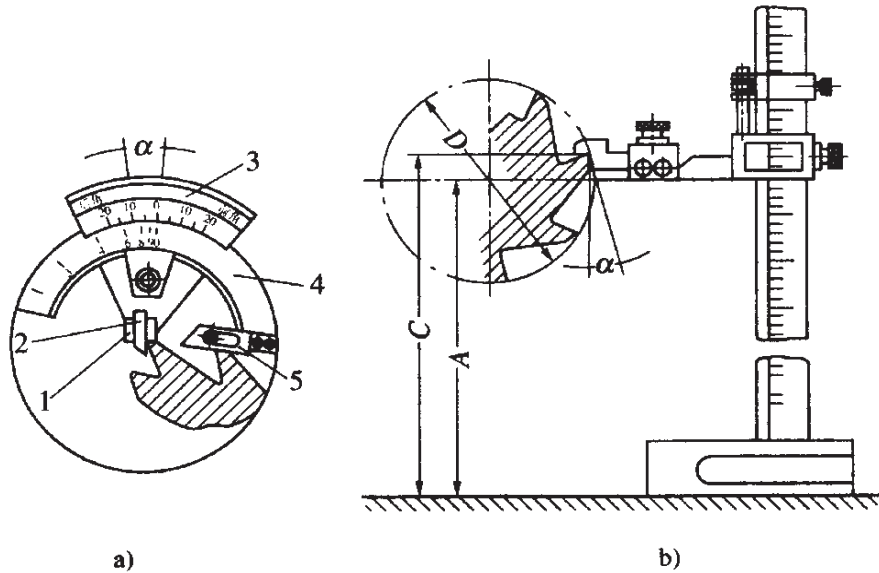


图 4.5-10 铰刀后角的测量

2. 用高度游标尺测量铰刀的后角(见图 4.5-10b))
测量出尺寸 A 和 C 后,按下式计算后角:

$$\sin\alpha = \frac{2(C-A)}{D}$$

式中 A——铰刀中心距平板的高度(mm)
C——铰刀刀齿顶部距平板的高度(mm)
D——铰刀直径(mm)
 α ——铰刀后角($^{\circ}$)

(四) 铰刀刀齿径向圆跳动测量及外观检查

将铰刀顶在两顶针间,用千分表的测头接触铰刀校准部分刀齿的后刀面,慢慢转动铰刀,使千分表的测头从后刀面到刃带,即可测得各刀齿的径向跳动值。

铰刀刀齿前后刀面的表面粗糙度可目测或用粗糙度样板比较

测量。目测铰刀表面,不得有裂纹、划痕、锈迹以及磨削烧伤等影响使用性能的缺陷。

第六节 铣刀的刃磨

一、铣刀的类型、用途和几何参数

铣刀的种类繁多(图 4.6-1),常用的铣刀有圆柱形铣刀、角度铣刀、立铣刀、三面刃铣刀、槽铣刀和成形铣刀等。

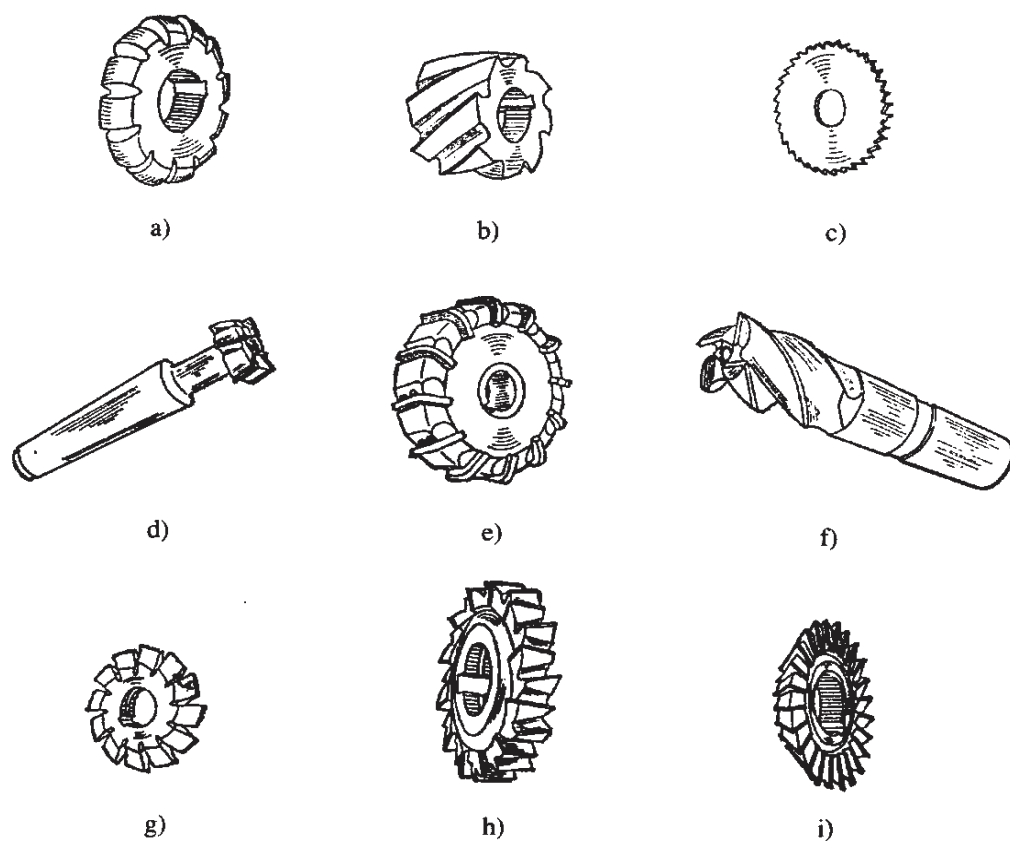


图 4.6-1 各种铣刀

图 4.6-1 a)是凸半圆成形铣刀(铲齿铣刀),在卧铣上铣削圆弧底槽。

图 4.6-1 b) 是圆柱形铣刀, 在卧铣上铣削平面, 有螺旋齿和直齿之分。

图 4.6-1 c) 是锯片铣刀, 在卧铣上用于切槽和切断。

图 4.6-1 d) 是槽铣刀, 用在立铣上加工 T 形槽。

图 4.6-1 e) 是机械夹固硬质合金铣刀, 有机夹三面刃铣刀和机夹两面刃铣刀。

图 4.6-1 f) 是立铣刀, 有锥柄和直柄之分。用于立铣铣削工件外侧或内侧表面, 还可铣槽或铣台阶面。

图 4.6-1 g) 是齿轮铣刀(铲齿铣刀), 用于铣削齿轮的齿槽。

图 4.6-1 h) 是三面刃铣刀, 有直齿和错齿之分。在卧铣上可用于铣削槽、台阶面。当铣刀宽度小于 5 mm 时, 可用于切断。

图 4.6-1 i) 是角度铣刀, 有单角和双角之分。用于在卧铣上铣削刀具的齿槽、齿背以及其他角度等。

虽然各种铣刀的用途和结构不同, 按刀齿截形可分为尖齿铣刀和铲齿铣刀两大类。图 4.6-2 所示为铣刀刀齿截形。图 4.6-2 a) 是两条直线构成的齿背, 图 4.6-2 b) 是三条直线构成的齿背, 图 4.6-2 c) 是一条直线和一条曲线构成的齿背, 这三种刀齿截形的铣刀属尖齿铣刀。图 4.6-2 d) 是铲齿铣刀, 其齿背曲线经铲削而成, 常用的曲线为阿基米德螺旋线。

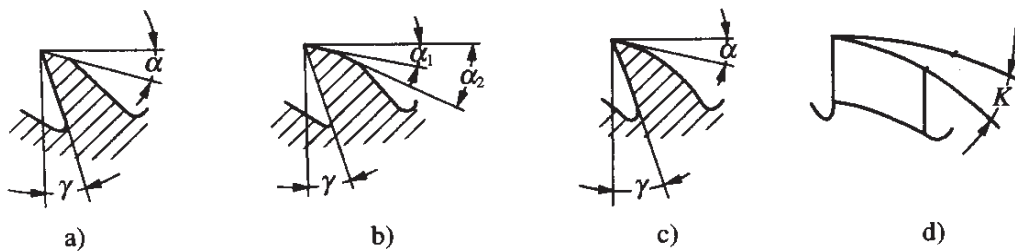


图 4.6-2 铣刀刀齿的截形

(一) 尖齿铣刀

尖齿铣刀有圆柱形铣刀、立铣刀、三面刃铣刀等。

圆柱形铣刀是铣床上用来加工平面的常用刀具。其几何角度及参数有：前角 γ 、后角 α 、螺旋角 ω 、外径 D 、孔径 d 和长度 L 等（图 4.6-3）。

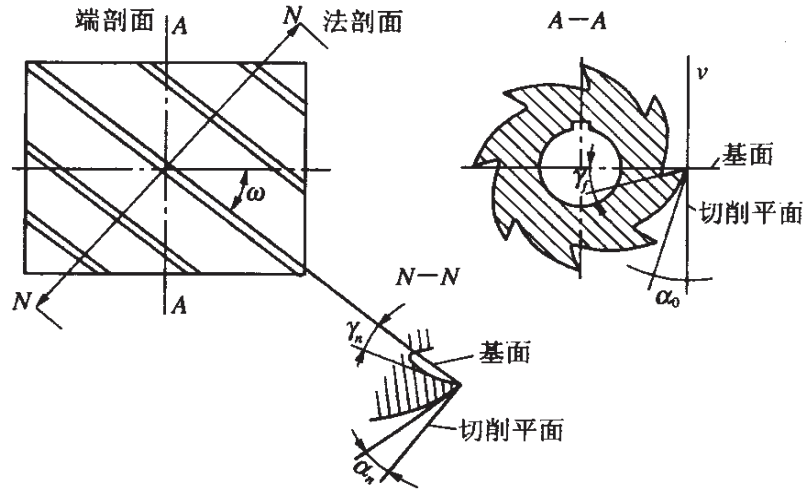


图 4.6-3 圆柱形铣刀的几何角度

1. 前角 γ

螺旋槽铣刀的前角分为法向前角 γ_n 和端面前角 γ_f 。法向前角 γ_n 是在法剖面内前刀面和基面之间的夹角。端面前角 γ_f 是在端剖面内前刀面和基面之间的夹角。端面前角和法向前角的关系是

$$\tan\gamma_f = \frac{\tan\gamma_n}{\cos\omega}$$

若 $\omega=0$ ，即直槽铣刀，端面 γ_f 等于法向前角 γ_n 。

《圆柱形铣刀》(GB1115—85)标准中规定， $\gamma_n=15^\circ$ 。

2. 后角 α

螺旋槽铣刀的后角分为法向后角 α_n 和端面前角 α_0 。法向后角 α_n 是在法剖面内后刀面和切削平面之间的夹角。端面前角 α_0 是在端剖面内后刀面和切削平面之间的夹角。端面前角和法向后角

角的关系是

$$\tan\alpha_0 = \tan\alpha_n \cdot \cos\omega$$

若 $\omega=0$, 即直槽铣刀, 端面后角 α_0 等于法向后角 α_n 。

《圆柱形铣刀》(GB1115—85)标准中规定, $\alpha_0=12^\circ$ 。

尖齿铣刀的刀齿磨损后, 只刃磨后刀面, 以保证刀齿的强度和后角的正确。

(二) 铲齿铣刀

铲齿铣刀有齿轮铣刀、螺纹铣刀、凸(凹)半圆铣刀等。

铲齿铣刀的刀背为阿基米德螺旋线, 见图 4.6-2d)。其刃形及后角都是在铲齿车床上铲削或铲磨而成。

铲齿铣刀的刀齿磨损后, 只刃磨前刀面。铲齿铣刀刃磨后, 刀齿的轴向截形不变, 后角的变化很小。

二、尖齿铣刀的刃磨

尖齿铣刀一般在万能工具磨床上进行。新刀在热处理后先磨削前刀面, 再磨外圆, 最后磨后刀面。尖齿铣刀磨钝后刃磨时, 只刃磨后刀面。

(一) 前刀面的刃磨

直槽尖齿铣刀前刀面的刃磨和直槽铰刀前刀面的刃磨基本相同。螺旋槽尖齿铣刀的前刀面是螺旋面, 应用碟形砂轮的锥面磨削。若用碟形砂轮的平面磨削, 会产生干涉现象, 这和刃磨螺旋槽滚刀相同。

前刀面刃磨可按下列步骤进行。

(1) 选用合适的碟形砂轮装在磨头上, 用金刚笔修正砂轮的锥面。

(2) 转动磨头架, 转动的角度比铣刀的螺旋角小 $1^\circ\sim 2^\circ$ 。

(3) 将铣刀装在心轴上, 顶在两顶尖间。

(4) 调整砂轮和铣刀的相对位置,将砂轮引进齿槽内,转动铣刀,使其前刀面与砂轮的锥面接触。

(5) 启动砂轮开始刃磨,手握铣刀,使其前刀面接触砂轮的锥面,工作台做纵向进给的同时,手扶铣刀匀速转动。当磨削到齿槽端部时,手对铣刀的作用力应逐渐减小。

刃磨螺旋槽尖齿铣刀的前刀面不用齿托架,齿槽的分度由手工进行。

(二) 后刀面的刃磨

用碗形砂轮刃磨直槽尖齿铣刀的后刀面和刃磨直槽铰刀的后刀面的方法基本相同,用平形砂轮刃磨直槽尖齿铣刀的后刀面。

(1) 砂轮的安装及修整:将平形砂轮安装在磨头上,使砂轮轴与工作台成 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 角,修整砂轮,将其周面的一边缘修整成 $2 \sim 3 \text{ mm}$ 的锥面,再将磨头架转回 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 。用中心规调整砂轮的圆心与顶尖中心同高,然后按铣刀后角的大小将砂轮的圆心升高 H (图 4.6-4), H 值按下式计算:

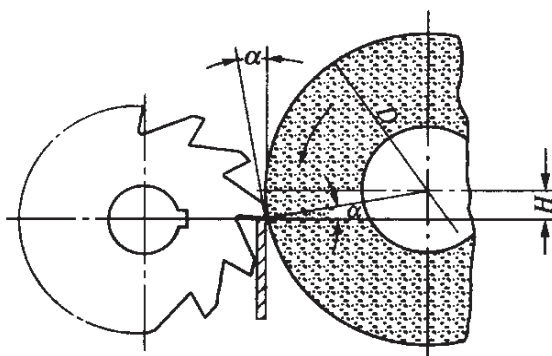


图 4.6-4 用平形砂轮刃磨螺旋槽铣刀的后刀面

$$H = \frac{D}{2} \sin \alpha_0$$

式中 H ——砂轮中心与铣刀中心的高度差(mm)
 D ——砂轮直径(mm)

α_0 ——铣刀端面后角($^\circ$)

安装齿托架 将齿托架安装在磨头架上,调整齿托片顶端与两顶尖中心等高。

(2) 启动砂轮开始刃磨:手握铣刀,使刀齿的一个螺旋面与齿托片顶端紧紧靠住,在工作台纵向进给的同时,手握铣刀随前刀面做螺旋运动。磨完一个齿后将铣刀退出齿托片转过一槽,继续刃磨另一槽的后刀面,依此逐槽刃磨,磨完一周后,砂轮做横向进给,进给量不能太大,一般为 $0.02\sim 0.05$ mm,以免烧伤后刀面。

三、铲齿铣刀的刃磨

铲齿铣刀大都是成形铣刀。精度较高的铲齿铣刀,在淬火前铲削齿背,淬火后铲磨齿背。一般精度的铲齿铣刀,淬火后不铲磨齿背。铲齿铣刀的磨损一般在后刀面,但只刃磨前刀面,后刀面是不刃磨的,和齿轮滚刀相同。

(一) 在滚刀刃磨机床上刃磨

将一件或数件同规格的铲齿铣刀(多指新刀刃磨)装在心轴上(图 4.6-5),在锁紧前把各铣刀的前刀面对齐;锁紧后,把心轴连同铣刀装在滚刀刃磨机床上两顶尖间。刃磨方法和刃磨齿轮滚刀相同。用滚刀刃磨机床刃磨铲齿铣刀效率高,分度精度高,刃磨质量好。

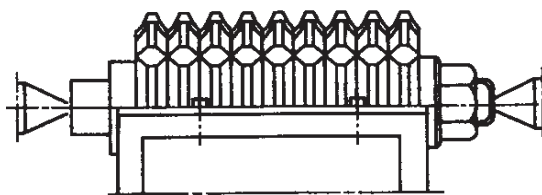


图 4.6-5 刃磨铲齿铣刀前刀面的装夹

(二) 在万能工具磨床上刃磨

在万能工具磨床上刃磨铲齿铣刀,若用砂轮的锥面进行磨削,修整砂轮时需将磨头偏转一 β 角度(图 4.6-6),然后移动工作台,用砂轮修整器将砂轮修出圆锥面后再把磨头恢复到原来的位置。若用砂轮的平面进行磨削,应将砂轮的工作面修成向内倾斜状,以减少砂轮与被刃磨铣刀前刀面的接触面积。刃磨铣刀时的分度靠与被磨铣刀装在同一心轴上的分度板完成(图 4.6-7)。

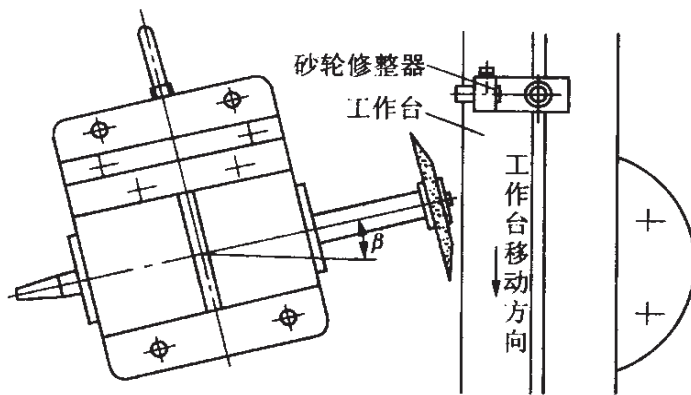


图 4.6-6 砂轮锥面的修整方法

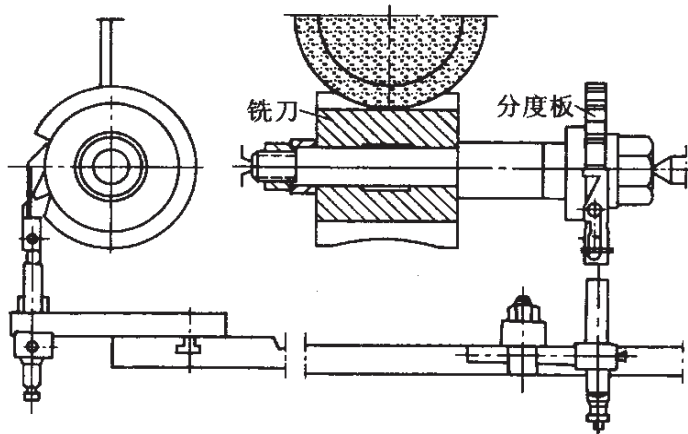


图 4.6-7 用分度板刃磨铣刀的前刀面

四、铣刀的测量

直槽尖齿铣刀前角和后角的测量都可用多刃角尺,测量方法与测量铰刀的前角和后角相同。螺旋尖齿铣刀一般在图样上给出的都是法向前角和端面后角,应先把法向前角转换成端面前角后再按直齿测量。

铲齿铣刀前角的测量方法与直槽尖齿铣刀前角相同,也可用图 4.6-8 所示的方法测量。把铣刀装在测量心轴上并顶在偏摆检查仪的两顶尖之间,若铣刀的前角等于零度,则铣刀的前刀面应通过铣刀中心,即通过偏摆检查仪的两顶尖的中心线。标准块的高度等于偏摆检查仪的两顶尖的中心线的高度。若杠杆表测得的 A、B、C 点在同一高度,则表明前角正好为零度,若 A 点与 C 点等高,而 B 点与 C 点不等高,则表明前角不等于零度。若铣刀的前角大于零度,前刀面对铣刀中心有一个正偏位置量 h ,标准块的高度低于铣刀中心,如图中的双点划线所示,若铣刀的前角刃磨正确,则 A'、B'、C' 点应等高。图中铣刀上面的百分表用来测量铣刀的径向摆差,测量时慢慢转动铣刀,使百分表与齿背的接触点由低点转向刃口,转动一周后,即可从百分表上读得各齿刃口的径向位置。

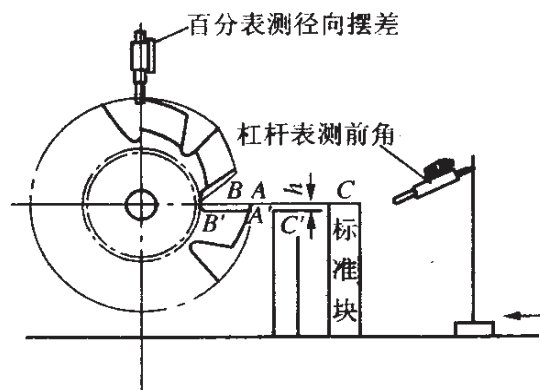


图 4.6-8 铲齿铣刀的前角及径向摆差的测量方法

第七节 齿轮滚刀的刃磨

一、齿轮滚刀的结构要素和几何参数

齿轮滚刀按其结构不同,可分为整体滚刀(图 4.7-1)和镶片滚刀(图 4.7-2)两种。按其基本蜗杆形式不同,可分为阿基米德滚刀和法向直廓滚刀。

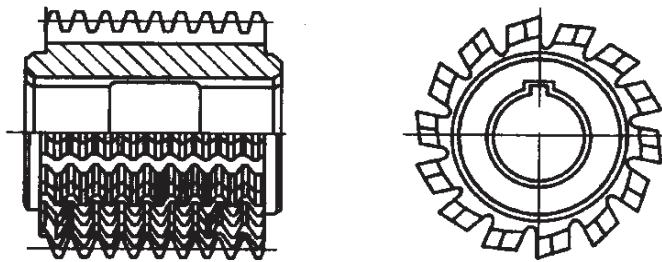


图 4.7-1 整体滚刀

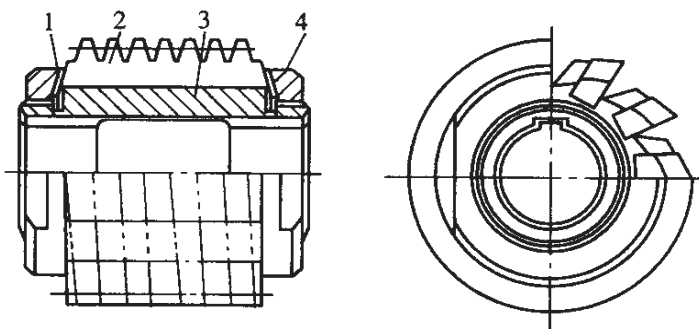


图 4.7-2 镶片滚刀

1—垫片 2—刀片 3—刀体 4—压紧螺母

(一) 齿轮滚刀的结构要素

齿轮滚刀的基本尺寸有外径 d_e , 孔径 D , 长度 L , 轴台宽度 a , 容屑槽数 Z (图 4.7-3)。滚刀长度一般等于其外径。滚刀的轴台是用作检验滚刀安装准确程度的基准,它与滚刀的孔有严格的要求。

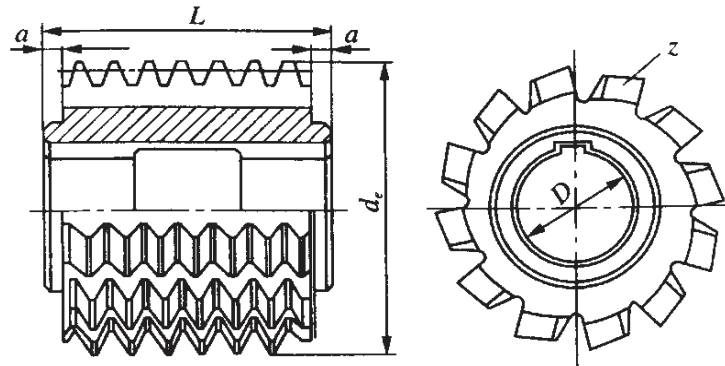


图 4.7-3 滚刀的基本尺寸

GB6083—85《齿轮滚刀的基本形式和尺寸》对标准滚刀的形式和尺寸作了规定(表 4.7-1)。

表 4.7-1 齿轮滚刀的形式及尺寸 (mm)

| 模数系列 | | I 型 | | | | | II 型 | | | | |
|------|------|-------|-----|-----|-----------------|-----|-------|-----|-----|-----------------|-----|
| 1 | 2 | d_e | L | D | $a(\text{min})$ | Z | d_e | L | D | $a(\text{min})$ | Z |
| 1 | 1.25 | 63 | 63 | 27 | | 16 | 50 | 32 | 22 | | |
| 1.5 | | | | | | | | 40 | | | |
| 2 | 1.75 | 71 | 71 | 32 | 5 | | 63 | 50 | 27 | 5 | 12 |
| 2.5 | 2.25 | 80 | 80 | | | | 71 | 56 | | | |
| 3 | 2.75 | 90 | 90 | 40 | | 14 | 80 | 63 | 32 | | 10 |
| 4 | 3.25 | 100 | 100 | | | | | 71 | | | |
| | 3.5 | 112 | 112 | | | | 90 | 80 | | | |
| | 3.75 | | | | | | | 90 | | | |
| | 4.5 | | | | | | 90 | 90 | | | |

续 表

| 模数系列 | | I 型 | | | | | II 型 | | | | |
|------|-----|-------|-----|-----|-----------------|-----|-------|-----|-----|-----------------|-----|
| 1 | 2 | d_e | L | D | $a(\text{min})$ | Z | d_e | L | D | $a(\text{min})$ | Z |
| 5 | 5.5 | 125 | 125 | 50 | 5 | 12 | 100 | 100 | 32 | 5 | 10 |
| 6 | | | | | | | 112 | 112 | | | |
| 7 | 6.5 | 140 | 140 | 60 | 5 | 12 | 118 | 118 | 40 | 5 | 10 |
| | | | | | | | 8 | 118 | | | |
| 9 | 7 | 160 | 160 | 60 | 5 | 12 | 125 | 132 | 40 | 5 | 10 |
| | | | | | | | 10 | 140 | | | |
| 10 | 9 | 180 | 180 | 60 | 5 | 12 | 150 | 170 | 50 | 5 | 10 |
| 10 | 10 | 200 | 200 | 60 | 5 | 12 | 150 | 170 | 50 | 5 | 10 |

在大批量生产汽车齿轮时,为了提高滚齿效率和精度,减少换刀次数和增加滚刀的使用寿命,选择的滚刀直径和长度一般都比标准规定大,直径可大1~2档,长度可长1.5~2倍。滚刀直径加大可使孔径加大,有利于提高刀杆刚性和提高滚齿效率。滚刀外径愈大则分圆螺纹升角愈小,可使廓形误差减小,还可使容屑槽数量增加。容屑槽数量愈多切削过程愈平稳,齿形的包络误差愈小,齿形精度愈高,齿面粗糙度愈低。滚刀长度增加则直接增加了滚刀的有效切削部分长度,增加了滚刀两次刃磨间的加工零件数量。但滚刀直径和长度的增加会使滚刀制造难度加大,滚刀的价格增高。

表面涂镀氮化钛(TiN)的滚刀,其耐用度显著提高,在大批量的齿轮生产中已广泛使用。

(二) 齿轮滚刀的几何参数

齿轮滚刀的几何参数主要有:前角 γ ,顶刃后角 α_e ,侧后角 α_c ,分圆直径 d_{fg} ,分圆螺纹升角 λ_f ,螺纹线数 N ,容屑槽螺旋角 β_f ,容

屑槽槽形角 θ , 容屑槽深度 H , 轴向齿距 t_z , 轴向齿厚 S_{fz} , 轴向齿形角 α_z , 齿顶高 h_{ag} , 齿全高 h_g 等。

二、齿轮滚刀的刃磨

(一) 滚刀刃磨的操作步骤

1. 安装及修整砂轮

刃磨滚刀所用的砂轮一般采用粒度为 F46~F60, 硬度 K~L, A 的 12 型碟形砂轮, 砂轮线速度 35 m/s。刃磨螺旋槽滚刀必须用砂轮锥面刃磨滚刀的前刀面。滚刀的前刀面应保持良好的直线性, 必须修正砂轮的工作面使其保持平直, 刃磨时应及时修整砂轮。

2. 找正砂轮的位置

对于前角等于零的滚刀, 砂轮的工作面应与滚刀的轴线平行, 滚刀各刀齿的前刀面都应通过滚刀中心。对于正前角或负前角滚刀, 应保证各刀齿的前刀面到滚刀中心的距离即偏位量符合滚刀图纸要求。刃磨螺旋槽滚刀时, 将砂轮的工作面相对于滚刀的轴线偏转一个角度 β_f 并与滚刀的容屑槽方向一致, β_f 等于滚刀分圆处的容屑槽螺旋升角。

3. 安装滚刀

中小模数滚刀可装在 1:4 000 或 1:5 000 的锥度心轴上, 大模数滚刀应紧固在精密的圆柱心轴上。

4. 刃磨滚刀前刀面

直槽滚刀的前刀面是一个平面, 刃磨时只要机床工作台做直线往复运动即可。螺旋槽滚刀的前刀面是一个不能展平的阿基米德螺旋面, 刃磨较复杂, 在机床工作台做直线往复运动的同时滚刀还必须绕轴线自转运动, 这样才能磨出一个螺旋面。刃磨螺旋面必须使用砂轮锥面, 绝不可使用砂轮平面, 否则会产生砂轮的平面干涉螺旋面。

滚刀刃磨机床具有精确的螺旋运动机构、分度机构、砂轮修整机构和砂轮头架调整机构等装置,应正确调整和使用。

砂轮和滚刀的相对位置必须仔细调整,以保证滚刀的前角正确。图 4.7-4 所示刃磨零前角滚刀时滚刀和砂轮的相对位置。图中用对刀样板使砂轮锥面的母线通过滚刀中心。

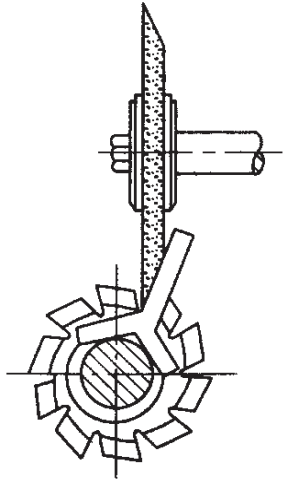


图 4.7-4 刃磨零前角滚刀的对刀装置

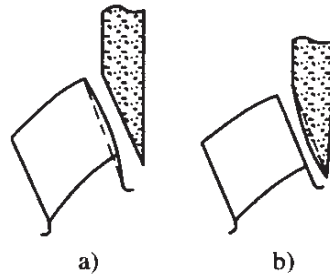


图 4.7-5 刃磨螺旋槽滚刀砂轮的修正

5. 刃磨后精度检查

GB6084—85《齿轮滚刀通用技术条件》对滚刀的精度作了规定,滚刀刃磨后至少应检查表 4.7-2 列出的精度项目。

表 4.7-2 齿轮滚刀刃磨后的检查项目 (μm)

| 序号 | 检查项目 | 公差代号 | 精度等级 | 模数 mm | | | | | | |
|----|----------|-----------------|------|-------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
| | | | | 1~2 | >2~3.5 | >3.5~6.3 | >6.3~10 | >10~16 | >16~25 | >25~40 |
| 1 | 刀齿前面的径向性 | δ _{fr} | AA | 11 | 12 | 15 | 19 | 25 | 36 | 53 |
| | | | A | 18 | 20 | 24 | 30 | 40 | 55 | 85 |
| | | | B | 32 | 36 | 42 | 53 | 70 | 100 | 150 |
| | | | C | 32 | 36 | 42 | 53 | 70 | 100 | 150 |

续 表

| 序号 | 检查项目 | 公差代号 | 精度等级 | 模 数 mm | | | | | | |
|----|----------------------|--------------|------|------------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|
| | | | | 1~2 | >2~3.5 | >3.5~6.3 | >6.3~10 | >10~16 | >16~25 | >25~40 |
| 2 | 容屑槽周节的最大累积误差 | δF_p | AA | 26 | 30 | 36 | 45 | 60 | 85 | 120 |
| | | | A | 42 | 48 | 55 | 70 | 95 | 130 | 200 |
| | | | B | 75 | 85 | 100 | 125 | 170 | 240 | 350 |
| | | | C | 75 | 85 | 100 | 125 | 170 | 240 | 350 |
| 3 | 刀齿前面与内孔轴线的平行度(仅用于直槽) | δf_x | AA | 25 | 40 | 50 | 70 | 90 | 125 | 190 |
| | | | A | 35 | 50 | 65 | 90 | 120 | 170 | 250 |
| | | | B | 40 | 65 | 80 | 110 | 140 | 200 | 300 |
| | | | C | 60 | 90 | 110 | 150 | 200 | 280 | 420 |
| 4 | 容屑槽的导程误差(仅用于螺旋槽) | δp_k | AA | 60/100 mm | | | | | | |
| | | | A | 80/100 mm | | | | | | |
| | | | B | 100/100 mm | | | | | | |
| | | | C | 140/100 mm | | | | | | |
| 5 | 刀齿前面的表面粗糙度 R_a | | AA | 0.63 | | | | | | |
| | | | A | 0.63 | | | | | | |
| | | | B | 0.63 | | | | | | |
| | | | C | 1.25 | | | | | | |

注：对前角等于 0° 的滚刀，检查刀齿前面的径向性，对前角不等于 0° 的滚刀，检查刀齿前面对内孔中心线偏位量的偏差。

三、齿轮滚刀的刃磨缺陷及消除措施

刃磨直槽滚刀时，砂轮工作面(锥面)的母线应是直线，才能使刃磨的滚刀前刀面平直。刃磨螺旋槽滚刀时，若仍采用直母线的锥面砂轮，刃磨后的滚刀前面将呈中凸状，见 4.7-5 a)，且前面的中凸程度随容屑槽螺旋角的增大而加剧。当容屑槽螺旋角大于

8°时,必须对砂轮的工作母线进行修形。修形的方法是将砂轮的工作母线略修凸,见图 4.7-5 b),就能刃磨出直线性好的滚刀前面。砂轮的工作母线修凸的程度因滚刀而异,操作者应在工作中积累经验。

在不使用冷却液的滚刀磨床上刃磨滚刀时,要特别注意防止刀齿退火(齿面出现黄色或蓝黑色),否则,滚刀的切削性能将大幅下降甚至不能切削。要控制横向进刀量不宜太大,一般控制在 0.02~0.03 mm 内,工作台的纵向进给量在 8~10 mm/min,砂轮要经常修整,保持锋利。

第八节 插齿刀的刃磨

一、插齿刀的结构要素和几何参数

插齿刀按其形式不同可分为盘形插齿刀、碗形插齿刀和锥柄插齿刀。按其加工齿轮不同可分为直齿插齿刀和斜齿插齿刀。

(一) 插齿刀的结构要素

GB6081—85《直齿插齿刀的基本形式和尺寸》对标准直齿插齿刀的形式和尺寸作了规定,插齿刀分三种形式和三种精度等级。

I 型——盘形直齿插齿刀(图 4.8-1),其公称分圆直径 d 为 75、100、125、160、200 五种,精度等级分 AA、A、B 三种。

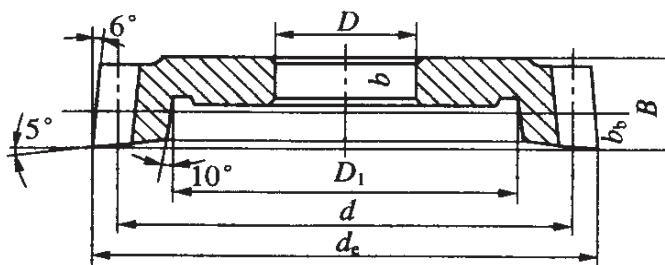


图 4.8-1 盘形直齿插齿刀

Ⅱ型——碗形直齿插齿刀(图 4.8-2),其公称分圆直径 d 为 50、75、100、125 四种,精度等级分 AA、A、B 三种。

Ⅲ型——锥柄直齿插齿刀(图 4.8-3),其公称分圆直径 d 为 25、38 两种,精度等级分 A、B 两种。

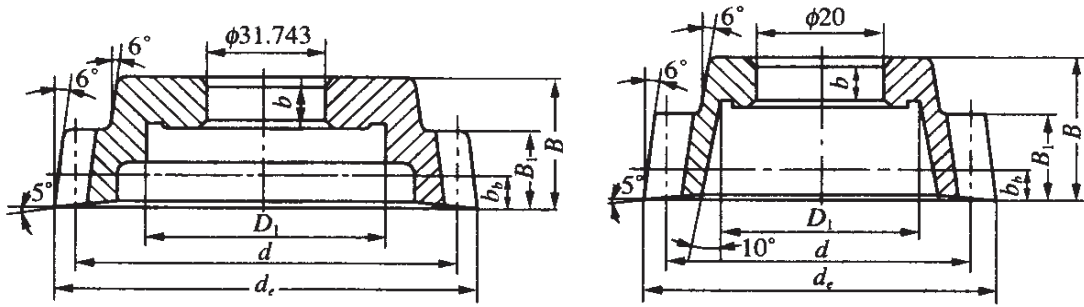


图 4.8-2 碗形直齿插齿刀

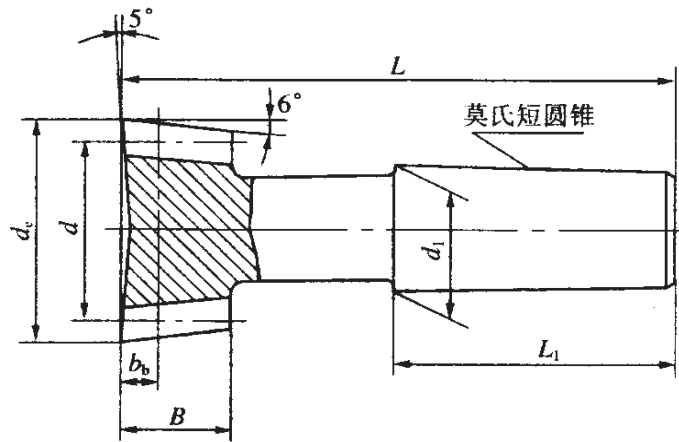


图 4.8-3 锥柄直齿插齿刀

(二) 插齿刀的几何参数

插齿刀的刀齿有三个刀刃,其中一个顶刃和两个侧刃。

1. 前角 γ

插齿刀的前角是前刀面(内圆锥面)的母线和前端面的夹角,标准中规定前角 $\gamma=5^\circ$ 。

2. 主后角 α_c

插齿刀的主后角是齿顶圆锥母线和插齿刀轴线的夹角,标准

中规定主后角 $\alpha_e = 6^\circ$ 。

3. 侧后角 α_c

插齿刀的侧刃后角是从齿根到齿顶逐渐变大的,一般所说的侧后角是指插齿刀分圆处的侧后角,即在垂直于渐开线分圆处的切线的剖面中,渐开螺旋面与插齿刀轴线的夹角。

二、插齿刀的刃磨

刃磨直齿插齿刀比较简单,只要将前刀面磨成正确的圆锥面即可。刃磨高速钢插齿刀可采用 WA60~80H~KV 或 B 砂轮,也可采用 WA80~100J~KV 的砂轮。

插齿刀在万能工具磨床上刃磨(图 4.8-4)。直齿插齿刀是用砂轮的外圆柱面刃磨,刃磨时,万能夹头应调整一个等于插齿刀前角的角度,使前刀面圆锥母线平行于砂轮的外圆柱面的母线。插齿刀和砂轮都绕自身的轴线转动,砂轮还沿自身的轴线方向往复运动。

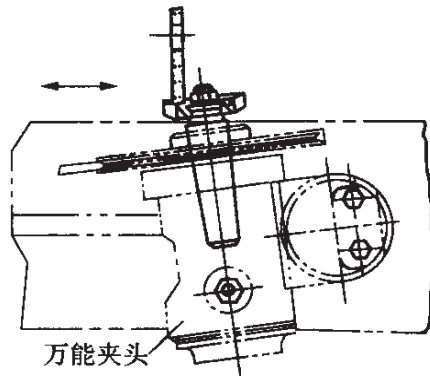


图 4.8-4 在万能工具磨床上刃磨插齿刀

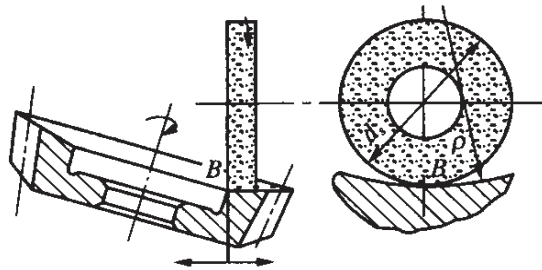


图 4.8-5 砂轮直径的选择

为避免出现干涉现象,选用砂轮时,砂轮的半径 r_s 应略小于插齿刀前刀面圆锥的曲率半径 ρ 。砂轮的直径 d_s 应满足以下条件:

$$d_s \leq \frac{d_{ig}}{2\sin\gamma}$$

式中 d_{ig} ——插齿刀齿根圆直径

γ ——插齿刀前角

因插齿刀的前角比较小,所以在一般情况下,砂轮的半径可以取得较大。

GB6082—85《直齿插齿刀通用技术条件》对插齿刀的精度作了规定,插齿刀刃磨后应检查表 4.8-1 中列出的精度项目。

表 4.8-1 插齿刀刃磨后的检查项目 (μm)

| 序号 | 检查项目 | 公差代号 | 公称直径 mm | 精度 等级 | 模 数 mm | | | | |
|----|---------------------|---------------|------------|----------|-------------|------------|--------------|-------------|-----|
| | | | | | 1~2 | >2 ~3.5 | >3.5 ~6.3 | >6.3 ~10 | >10 |
| 1 | 前刀面的 斜向圆跳动 | δ_{fr} | ≤ 50 | A | 14 | 14 | 14 | — | — |
| | | | | B | 20 | 20 | 20 | — | — |
| | | | 70~125 | AA | 12 | 12 | 12 | 12 | — |
| | | | | A | 16 | 16 | 16 | 16 | — |
| | | | 160~200 | B | 25 | 25 | 25 | 25 | — |
| | | | | AA | — | — | 20 | 20 | 20 |
| 2 | 前角偏差 | — | — | A | $\pm 5'$ | | | | |
| | | | | B | $\pm 12'$ | | | | |
| | | | | AA | $\pm 8'$ | | | | |
| 3 | 刀齿前面表 面粗糙度 R_a | — | — | A | ≤ 0.32 | | | | |
| | | | | B | ≤ 0.63 | | | | |
| | | | | AA | ≤ 0.32 | | | | |

三、插齿刀的刃磨缺陷及消除措施

前刀面的斜向圆跳动和前角偏差是插齿刀刃磨后的检查项目。刃磨插齿刀时,应仔细调整好万能夹头的偏转角度,安装插齿刀的心轴的跳动以及和插齿刀的配合应符合要求,砂轮的轴线应和插齿刀的轴线调在同一平面中。

在不使用冷却液的滚刀磨床上刃磨插齿刀时,要特别注意防止刀齿退火(齿面出现黄色或蓝黑色),否则,插齿刀的切削性能将大幅下降甚至不能切削。要控制横向进刀量不宜太大,插齿刀的圆周进给速度一般控制在 $20\sim 25\text{ m/min}$ 。此外,砂轮要经常修整,保持锋利。

第九节 刃磨砂轮的选择和使用

一、砂轮的选择

选择砂轮可从以下五个方面考虑:

1. 砂轮形状和尺寸的选择

根据被磨刀具的形状、磨削部位和磨削方式而定。

2. 磨料的选择

应根据刀具的材料和热处理等因素合理选用。刃磨高速钢刀具常选用白刚玉砂轮,若选用铬刚玉砂轮效果较好。刃磨超硬高速钢刀具,可选用单晶刚玉砂轮。近年来推广用CBN砂轮刃磨高速钢或超硬高速钢刀具,效果很好,可大大提高刃磨质量,降低成本,提高生产效率。

刃磨硬质合金刀具时可选用绿色碳化硅砂轮和金刚石砂轮。粗磨用绿色碳化硅砂轮,然后用金刚石砂轮精磨。近年来有些硬质合金刀具也可直接用金刚石砂轮刃磨,效果较好。

3. 砂轮粒度的选择

刃磨刀具的砂轮粒度常选用 F46~F80 范围内。粗糙度要求高、刃磨接触面小、磨削量小时应选用 F60~F80 粒度的砂轮；特别是刀具的前、后刀面精磨，可选用 F60~F100 粒度。生产效率要求高的，一般指粗磨，应选用较粗的 F46~F60 粒度的砂轮。用金刚石或 CBN 砂轮时，粗磨可选 100/120~140/170 粒度，精磨可选 140/170~230/270 粒度。

4. 砂轮硬度的选择

刃磨刀具砂轮，其硬度多在 H~L 范围。刃磨高速钢刀具，当磨削面积大时，采用较软的 H 级硬度砂轮；当磨削面积小，磨削量少时，一般选用 J 级硬度砂轮；当刃磨成形刀具及精密小刀具时，则用 H 级、J 级硬度砂轮。

5. 砂轮结合剂的选择

结合剂的选择一般是根据被磨刀具的磨削部位及表面粗糙度而定。磨削刀具的内圆、外圆、平面及刀具的前刀面、后刀面时，可选择陶瓷结合剂砂轮；刃磨硬质合金刀具、插齿刀的前刀面和丝锥的排屑槽时，可选用树脂结合剂砂轮。

刃磨砂轮的选择可参考表 4.9-1

表 4.9-1 刃磨用砂轮的选择参考表

| 刀具材料 | 磨料/代号 | 粒度 | 硬度 | 结合剂/代号 |
|----------------|----------|---------------------------------|-----|---------|
| 高速钢刀具 工具钢刀具 | 白刚玉/GB | 粗磨 F46~F60 精磨 F60~F100 | H~L | 陶瓷结合剂/A |
| | 铬刚玉/GG | | | |
| | 微晶刚玉/GW | | | |
| 硬质合金刀具 | 绿色碳化硅/TL | F60~F120 | H~J | 陶瓷结合剂/A |
| | 人造金刚石/JR | 100/120~230/270 | — | 树脂结合剂/S |
| | 天然金刚石/JT | | | |

二、砂轮的安装

砂轮安装的正确与否将直接影响刀具的刃磨质量。

刃磨刀具的砂轮直径一般小于 200 mm,其磨削速度大都在 20 m/s 内,所以砂轮是一般不进行平衡的,这就更要求砂轮的安
装必须正确无误。

刃磨用砂轮先装在法兰盘或连接轴上,然后一起装到磨床主
轴上,用端面开槽的圆螺母锁紧。安装砂轮的法兰盘或连接轴的
内锥面与磨床主轴的外锥面配合的接触面积应不小于 80%,安装
砂轮的外圆与内锥的同轴度允差也应在机床的允许范围内。压紧
砂轮的垫圈与砂轮接触面应为平面或稍向内凹,与砂轮之间应加
纸垫。在砂轮启动前必须装上砂轮罩。因砂轮没有平衡,启动应
先采用“点动”,仔细观察砂轮的运转是否正常,如果确认砂轮运转
正常,再启动砂轮。否则,应重新安装砂轮,直至砂轮运转正常。

三、砂轮的修整

刃磨砂轮的修整方法有三种,第一种用废砂轮修整,第二种是
用砂棒修整,第三种是用金刚石修整。第一种方法和第二种方法
都是手工进行,常用于新装的砂轮,其操作简便,易于掌握,且修整
量较大,但修整质量差,多用作粗修。第三种方法是精修,因借助
于修整夹具和金刚石,所以修整质量好,是刀具刃磨质量的保证。

修整砂轮时,不管用哪种方法都要求运动平稳,尤其是手工修
整时不能有抖动现象,否则会使被修砂轮表面出现凸凹不平的小
坑而影响刃磨质量。

在修整成一定形状的砂轮后,要注意保持原形及表面修整质
量,尤其在修整砂轮的锥面时不仅要保持锥面的角度,而且还须使
砂轮的锥面达到直而光滑的程度,否则也会影响刀具的刃磨质量。

砂轮经过一段时间的使用后,砂轮上磨粒的棱角会磨损变钝,

这就要对砂轮及时修整,否则将会使刀具产生烧伤刀齿现象。

在刃磨铲齿刀具时,砂轮除要及时修整外,还要进行外锥面的正确修整,否则会使刀具产生齿形不正的现象。

为了减少砂轮与刀具的接触面,防止退火,防止砂轮干涉已磨表面,刃磨前应将磨头转 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$,使砂轮磨削点在砂轮的一边。刃磨螺旋槽或斜槽的刀具前面时,磨头转动的角度应比刀具的螺旋角或斜角小 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$,必须采用碟形砂轮的锥面,刃磨直槽刀具的前刀面时提倡采用碟形砂轮的锥面。

第五章 高速高精磨削

第一节 高速磨削

普通磨削砂轮的圆周线速度一般在 30~35 m/s 左右,当砂轮的圆周线速度提高到 45 m/s 以上时,则称为高速磨削。采用高速磨削可获得明显的技术经济效益,若将砂轮的圆周线速度从 35 m/s 提高到 50~60 m/s 时,一般生产率可提高 30%~100%;砂轮的耐用度可提高 1 倍左右,工件表面粗糙度值可降低约 50%,能稳定在 R_a 0.8~0.4 μm 。

高速磨削已广泛应用于各种磨削工艺,无论是粗糙还是精磨,小批量还是大批量生产,都已获得了良好的效果。

一、高速磨削的特点

(1) 砂轮圆周线速度提高后,单位时间参加磨削的磨粒数量大大增加,若保持每颗磨粒切去的磨屑厚度不变,则可增大进给量,提高金属切除率。在同样磨削余量情况下,磨削时间可大大缩短,生产效率显著提高。

(2) 砂轮圆周线速度提高后,若进给量保持不变,则每颗磨粒切去的磨屑厚度变薄,磨粒的负荷减小,使每次修整砂轮可磨去更多的金属,从而使砂轮的耐用度得以提高。

(3) 随着磨削速度的提高,磨粒切去的切屑厚度减小,每颗磨粒在工件表面上的切痕深度减小,相应地降低了工件表面粗糙度。另外,由于切屑厚度变薄,工件上的法向磨削力减小,提高了加工

精度。

二、高速磨削对机床和砂轮的要求

(一) 高速磨削对机床的要求

(1) 砂轮驱动电机的功率要相应加大,比普通磨削加大 40%~100%。驱动电机的功率相应加大,有关电器元件的容量也应相应增大。

(2) 正确选择砂轮主轴与轴承的间隙。由于砂轮的转数提高后,主轴与轴承之间的摩擦加剧,温度也升高,易出现因热膨胀而造成的“咬死”现象,因此砂轮主轴与轴承的间隙要适当增大,以保证在热平衡时的间隙合适;间隙也不能过大,否则会影响砂轮主轴回转精度,间隙可适当增大至 0.04~0.05 mm。

(3) 采用皮带卸荷装置。当传动带拉紧时,不致影响主轴间隙的大小,保证主轴的回转中心不受影响。卸荷装置要精确,避免其回转时可能产生的震动,从而影响加工面的表面质量。皮带卸荷装置如图 5.1-1 所示,图中:1 体座,2 带轮,3、4 垫圈,5 轴承,6 法兰盘,7 衬套,8 锥套,9、10 螺母。

(4) 强化主轴的润滑系统,选用黏度较小的 2~3 号专用主轴油,或采用 10% 的 22 号汽轮机油加 90% 的无水煤油。最好能采用循环冷却润滑系统。

(5) 由于高速磨削的磨削区温度高,因此冷却系统要相应改进。加大磨削液的压力和

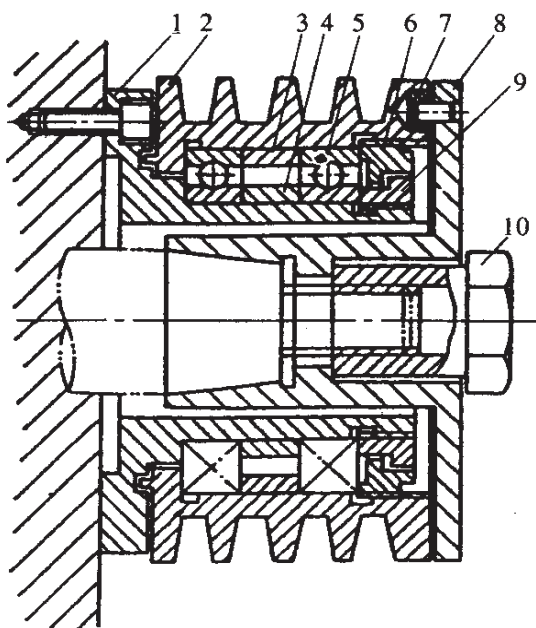


图 5.1-1 卸荷带轮

流量,能有效地防止工件烧伤,还可加强对砂轮的冲洗,一般外圆磨床采用流量为 25 L/min,扬程为 3 m 的冷却泵,高速磨削时可改为流量为 45 L/min,扬程为 5.5 m 的冷却泵;采用带空气挡板的冷却喷嘴(图 5.1-2),克服高速气流的影响,将磨削液射入磨削区域;增加磨削液箱的容量,降低磨削液的温度;对磨削液进行过滤,采用磁过滤系统,最好能采用纸过滤系统,确保磨削液的清洁;机床应具有防磨削液飞溅装置,最好采用全封闭结构。

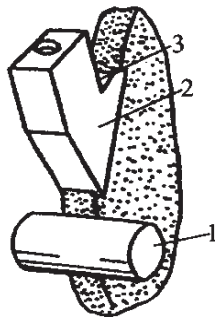


图 5.1-2 带空气挡板的冷却喷嘴

1. 工件 2. 侧板 3. 横板

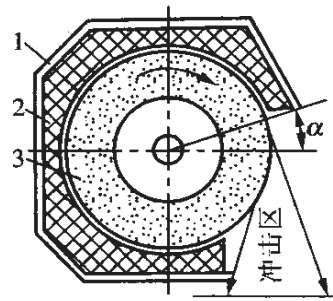


图 5.1-3 加强的砂轮防护罩

1. 砂轮罩壳 2. 吸能层 3. 砂轮

(6) 加强砂轮的防护罩(图 5.1-3),以防止砂轮意外破裂时伤及人身及设备。增加砂轮防护罩的厚度,比普通防护罩厚度增加 40%以上;尽量减小防护罩的开口角,开口角越小砂轮碎裂时碎片飞出区域就越小;在防护罩内设置一层吸能材料,以减少砂轮碎裂时对防护罩壳的冲击。

(7) 机床必须采取有效的防震措施。对高速旋转部件要经过仔细平衡;传动皮带应长短一致;轴承的间隙要调整合适;加大整个系统的刚性;隔离外来震动的影响。

(8) 砂轮必须经过仔细地平衡,至少要静平衡二次。机床最好具有自动平衡砂轮系统。

(二) 高速磨削对砂轮的要求

高速磨削除要求砂轮具有足够的强度以保证在高速磨削时不

致破裂外,还要求砂轮具有良好的磨削性能,以获得高的磨削效率、耐用度和良好的表面加工质量。

(1) 磨料: 高速砂轮主要选用韧性较高的刚玉系磨料,以棕刚玉(A)应用较普遍。磨削一般碳钢和合金钢时,选用棕刚玉(A)磨料较理想;磨削球墨铸铁材料时,选用棕刚玉(A)或棕刚玉与绿碳化硅(GC)混合的磨料。

(2) 粒度: 高速砂轮的粒度大都选用 F60、F70、F80,较普通砂轮的粒度细。粒度细,单颗粒负荷相应减小,不易钝化;磨粒自激脱落比较均匀,砂轮正确的几何形状保持性好,切削平稳,砂轮的耐用度高。一般精磨时宜选用 F70、F80,有利于提高砂轮的切削能力和耐用度。加工塑性材料及避免工件表面烧伤时,宜选用略粗一些粒度的砂轮。当砂轮的线速度大于 80 m/s 时,粒度宜选 F80~F100。

(3) 硬度: 高速砂轮的硬度比普通砂轮的硬度稍低些,一般在 J~M 范围内,精磨时宜选软些的;粗磨和磨削余量大时可选硬些。对于磨削一些不平衡的零件,如曲轴、凸轮轴等,由于不能提高工件转数来减少表面烧伤,砂轮硬度可适当选软些。此外,砂轮硬度必须均匀,否则各部位磨粒破裂和脱落不均匀,破坏了砂轮的正确几何形状及砂轮的工作平稳性。

(4) 结合剂: 高速砂轮多采用硼玻璃陶瓷结合剂。在陶瓷结合剂中加入硼、锂、钡、钙等特殊化学成分,以提高结合剂强度。

(5) 组织: 高速磨削时,因进给量加大,砂轮的粒度较细,因此要求砂轮的表面上有一些微小气孔,以利于磨屑和磨削热的排除,使磨削效率和砂轮的耐用度得以提高。但气孔不能太大,否则使磨粒不均匀脱落加剧。

三、砂轮的补强措施

高速磨削砂轮除提高结合剂强度外,还应注意补强措施。

(一) 砂轮孔区补强

砂轮旋转时最大拉应力位于孔周壁上,最初的破裂是沿周壁发生的,后扩展到整个砂轮,所以采用孔区补强是提高砂轮强度的有效方法。图 5.1-4 是常用的砂轮补强措施。

图 a: 砂轮孔区部分采用细粒度磨粒和较高的砂轮硬度,砂轮破裂速度可提高 20%~25%。

图 b: 孔区部分渗入树脂液补强剂,通过孔周壁渗透到砂轮内部。用此法砂轮强度可提高 5%~10%,气孔率大的砂轮强度提高得更多。

图 c: 用一金属环黏结在砂轮孔区,金属环可用钢或耐热合金制成,用环氧树脂等与砂轮黏结。

图 d: 在树脂砂轮中加玻璃纤维网。

图 e: 增加砂轮孔区的厚度。

图 f: 用法兰盘装夹提高孔区强度。

图 e 和图 f 两种方法多用于薄片砂轮,效果明显。

(二) 改变砂轮形状

改变砂轮形状以改变砂轮应力分布状况。当砂轮高速运转时,孔壁处应力最大,孔径越小,应力也越小。应尽量选用孔径与外径比值($K=r_f/R$)小的砂轮或无孔砂轮。通常砂轮孔径与外径之比不应超过表 5.1-1 所列数值。

表 5.1-1 砂轮孔径与外径之比值 K 的最大允许值

| 砂轮速度(m/s) | <45 | 45~60 | 60~80 | 80~100 |
|-----------|-----|-------|-------|--------|
| K | 0.6 | 0.5 | 0.33 | 0.2 |

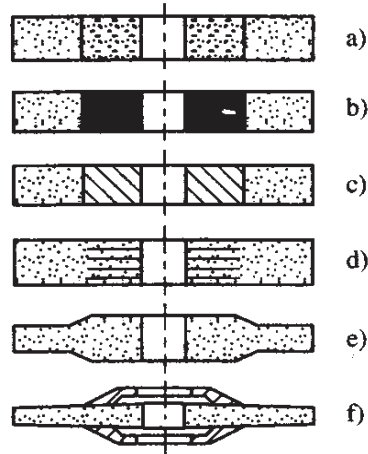


图 5.1-4 砂轮的补强措施

无孔砂轮多用法兰盘黏结或在半径为 152 mm(视砂轮外径大小而定)的圆周上开几个孔,用螺钉固定在机床上。

(三) 采用梯形砂瓦组合砂轮

梯形砂瓦组合砂轮如图 5.1-5 所示。当砂轮旋转时,砂瓦由受拉应力变为受压应力,而砂轮材料所能承受的抗压强度是抗拉强度的 6 倍,因此,这种组合砂轮可在较高的速度下安全运行。

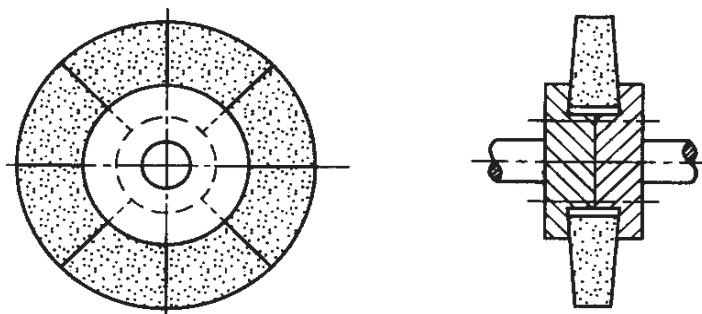


图 5.1-5 梯形砂瓦组合砂轮

四、高速磨削的工艺参数

1. 砂轮线速度

目前普遍采用 50~60 m/s,磨削条件好时可达 80 m/s。

2. 工件速度

随着砂轮速度和进给量的增加,高速磨削时磨削温度增高,易烧伤工件表面。提高工件速度,可使热源作用于工件的时间缩短,且减少了工件每转的进给量,可改善工件磨削表面的烧伤程度。但工件速度太高时,易引起工件、砂轮系统的自激振动,顶尖加速磨损。一般砂轮的线速度与工件的线速度之比在 60~100 之间。对于细长轴和不平衡的零件,工件速度不宜太高,其比值可取 100~250 之间。

3. 轴向进给量

轴向进给量的大小直接影响磨削效率、砂轮耐用度和加工表

面质量。当轴向进给量增加时,工件每转在砂轮宽度上参加磨削的磨粒数目增加,磨削效率提高。但磨削力加大,砂轮的不均匀磨损加剧,易导致工件表面粗糙度提高。一般可取 $f_a = (0.2 \sim 0.5) b_s / r$ (b_s 为砂轮宽度)。

4. 背吃刀量

背吃刀量的大小对磨削过程的影响与轴向进给量相似。在选择背吃刀量时还要考虑机床和工件的刚性以及驱动砂轮的电机功率能否满足要求。一般粗磨 $f_r = 0.02 \sim 0.07$ mm/dst,精磨 $f_r = 0.005 \sim 0.02$ mm/dst,磨细长轴宜选较小值,磨短粗工件宜选大值。

高速磨削用量选择见表 5.1-2。

表 5.1-2 高速外圆磨削钢材的磨削用量

| 砂轮速度 v_s (m/s) | 速比 v_s/v_w | 切入磨削 v_f (mm/min) | 纵向磨削 | |
|---------------------|-----------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| | | | 纵向进给速度 v_{fa} (m/s) | 背吃刀量 f_a (mm/dst) |
| 45 | 60~90 | 1~2 | 0.016~0.033 | 0.015~0.020 |
| 50~60 | | 2~2.5 | 0.033~0.042 | 0.020~0.030 |
| 80 | 60~100 | 2.5~3 | 0.042~0.050 | 0.040~0.050 |

五、超高速磨削

磨削速度在 150 m/s 以上的磨削称超高速磨削。超高速磨削可大幅度提高磨削效率、延长砂轮寿命和降低加工表面粗糙度值,可以对硬脆性材料实现延性域磨削,对高塑性和难磨材料也有良好效果。

在超高速外圆磨床上可将毛坯直接磨成曲轴,每分钟可磨除 2 kg 金属。在普通磨削速度下,磨削镍基高温合金,磨削力随磨除率提高而迅速增加。由于受砂轮磨损和热损伤的限制,镍基合金只能在低磨除率条件下进行磨削。但在 ≥ 140 m/s 的磨削速度

下,磨削力随磨除率提高而增加很少,所以进给速度可提高 60 倍(普通磨削进给速度不超过 1 m/min),磨除率大大提高,同时不发生热损伤。

国外在实验室已开发出磨削速度 500 m/s 的超高速砂轮。陶瓷结合剂 CBN 砂轮磨削速度可达 160 m/s。成形磨削可用金刚石滚轮修整成形,磨削形面精度可达 ± 0.005 mm;钢轮体电镀 CBN 砂轮,磨削速度在 80~200 m/s;单层高温钎焊 CBN 砂轮的材料磨除率高于电镀 CBN 砂轮,砂轮磨耗小,寿命长,磨削速度可达 300 m/s 以上;铸铁基金刚石微粉砂轮,可用电解在线修整法(FLID)整形,适用于玻璃、陶瓷等硬脆非金属材料的超高速精密磨削。

六、高速点磨削

高速点磨削是使砂轮的轴线和工件轴线在水平面内形成一个很小的倾角,这样砂轮和工件在理论上成为点接触,这不但减少了磨削接触区的面积,也不存在磨削封闭区,有利于磨削液注入到磨削区。由于磨削接触区小,切削力也减小,减少了磨削产生震动的可能性,使磨削变得更平稳。

高速点磨削因磨削接触区的减小而损失的磨削效率,被提高了的磨削速度来补偿。提高磨削速度可充分利用超硬磨料的高硬度和高耐磨性,目前投入使用的磨削速度已达 120~180 m/s。由于磨削速度的提高,每粒磨粒的切削厚度下降,减轻了磨粒上的负荷,有利于排屑,提高了砂轮的寿命。还因磨削速度的大大提高,使得磨削时的大量热量来不及传导到砂轮和工件上而被切屑带走,是一种冷态磨削,从而提高了被加工零件的表面质量。

高速点磨削还因磨削接触区的减小,可减薄砂轮的厚度,这样降低了砂轮的价格,还减少了砂轮修整的费用。减薄砂轮的厚度

减轻了砂轮的重量,还有利于砂轮的质量均匀和砂轮的平衡。

第二节 宽砂轮磨削

宽砂轮磨削也是一种高效磨削,它靠增大磨削宽度来提高磨削效率。一般外圆磨削砂轮的宽度仅为 50 mm 左右,而宽砂轮外圆磨削砂轮的宽度可达 300 mm 左右;平面磨削砂轮的宽度可达 400 mm;无心磨削砂轮的宽度可达 800~1 000 mm。在外圆和平面磨削中,一般采用切入磨削法,在无心磨削中除采用切入磨削法外,还采用通磨。宽砂轮磨削工件精度可达 h6,表面粗糙度可达 $R_a 0.63 \mu\text{m}$ 。

一、宽砂轮磨削的特点

(1) 砂轮经成形修整后可磨成形面,能保证零件的成形精度;同时,因采用切入磨削,比纵向往复磨削效率高。

(2) 由于磨削宽度大,所以磨削力、磨削功率大,磨削时产生的热量也多,应加强冷却。

(3) 因砂轮宽度大,主轴悬臂伸出较长。

(4) 要求砂轮的硬度不仅在圆周方向均匀,而且在轴向也要均匀,否则会使砂轮不均匀磨损,影响加工工件的精度和表面质量。

由于上述磨削特点,宽砂轮磨削适于大批量工件的磨削加工,如花键轴、电机轴、汽车拖拉机的驱动轴和麻花钻等。

在生产线上采用宽砂轮磨削,可减少磨床台数和占地面积。

二、宽砂轮磨削对机床和砂轮的要求

(一) 宽砂轮磨削对机床的要求

(1) 砂轮主轴系统刚性要好,主轴回转精度要高。由于宽砂

轮磨削的磨削力大,砂轮的重量大,要求主轴系统刚性好,以避免主轴产生变形。为使主轴有较好的刚性,主轴悬臂的伸长应尽可能短,并选择合理的轴承结构。采用静压轴承可得到较好的刚性和回转精度且易于启动。

(2) 头架、尾架应有足够的刚性。头架主轴和尾架套筒悬伸应尽可能短,以便选用直径较大、悬伸较短的顶尖。为使头架、尾架的刚性相等,可选用不同尺寸的顶尖,并使尾架套筒的压簧具有足够的压紧力。

(3) 砂轮架导轨应有足够的刚性。应选择合适的导轨结构,适当加长砂轮架的导轨和增大砂轮架导轨的跨距,同时提高导轨的制造精度。

(4) 合理选择砂轮驱动电机功率。宽砂轮磨削力大且多用于大批量生产,砂轮驱动电机功率要留有合理裕量。

(5) 磨削液的供应。宽砂轮磨削磨削液的供应量应充分,可按下列经验公式估算:

$$Q = \frac{b_s}{2}$$

其中 Q ——流量(L/min)

b_s ——砂轮宽度(mm)

宽砂轮磨削时,砂轮回转产生的气流较大,磨削液喷嘴和砂轮罩应设挡气流隔板,喷嘴的形状应保证磨削液喷至整个砂轮的宽度上,并有吸雾装置。

宽砂轮磨削最好采用控制力磨削,即可充分发挥砂轮的效能,又可避免超负荷磨削,以保证操作安全。

(二) 宽砂轮磨削对砂轮的要求

普通砂轮的选择原则,基本适用于宽砂轮。此外,还应考虑砂轮宽度上的磨损均匀,所以宽砂轮磨削应着重选用磨损均匀、形状

精度保持好的砂轮。

宽砂轮应选用韧性好、形状保持性好的磨料,如铬刚玉(PA)、棕刚玉(A)等;因磨削负荷大,粗磨时常选用 F46 粒度,精磨时可选用 F60 粒度;宽砂轮硬度的选择很重要,硬度太高工件易烧伤,金属切除率低;太软,则形状保持性不好,砂轮的消耗增加。根据经验,多在 J~L 的范围内选用。

三、宽砂轮磨削工艺参数

1. 工件速度的选择

宽砂轮磨削时,工件速度比普通磨削低。工件速度过高,磨削时易产生自激振动,工件表面质量差,砂轮耐用度低;但工件速度太低,易使工件表面烧伤。一般取砂轮速度与工件速度之比在 120~200 之间,工件直径较小时宜取较大值。

2. 径向进给速度的选择

径向进给速度受工艺系统刚性、砂轮驱动电机功率及工件形状精度等限制。当工艺系统刚性不足时,径向进给速度宜选择小一些,否则,工件变形大,影响加工精度,一般在 0.5~0.7 mm/min 的范围内。

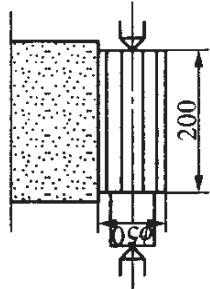
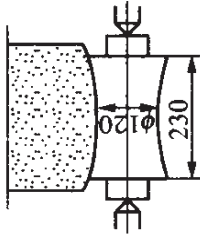
3. 光磨时间的选择

由于宽砂轮磨削的磨削力大,使工艺系统的弹性变形也大,因此,光磨的时间相应增加,以消除弹性变形的影响,获得较高的精度。一般多选取光磨至火花基本消失为止。

四、宽砂轮磨削加工实例

宽砂轮磨削加工实例见表 5.2-1。

表 5.2-1 宽砂轮磨削实例

| 加工工件 | 冷锻花键轴外圆 | 双曲线轧滚成形面 | 滑阀外圆 |
|-------------------------------|----------------------|---|---|
| | |  |  |
| 材 料 | 40Cr | 9Mn2V HRC64 | 20Cr 渗碳淬硬 |
| 加工机床 | H 107 宽砂轮磨床 | MB 1532 | H107 宽砂轮磨床 |
| 砂 轮 | 7 型 600×250×305A46kV | 7 型 600×300×305A46kV | 7 型 600×150×305MA60kV |
| 加工余量(mm) | 0.5 | 2 | 0.25 |
| 砂轮速度(m/s) | 35 | 35 | 35 |
| 砂轮修整用量 | f_d (mm/r) | 0.2 | 0.4 |
| | a_d (mm/st) | 0.1 | 0.1 |
| 工件速度(m/min) | 10 | 10 | 9.5 |
| 径向进给速度(mm/min) | 1.5 | 手进 | 1.3 |
| 光磨时间(s) | 火花消失为止 | 火花消失为止 | 15 |
| 表面粗糙度 R_a (μm) | 2.5~1.25 | 0.63~0.20 | 0.63~0.20 |
| 单件工时对比 | 4 | 1 440 | 2 |
| (min) | 0.33 | 30 | 0.5 |
| | 普通外圆纵磨 | | |
| | 宽砂轮切入磨 | | |

第三节 多砂轮磨削

一、多砂轮磨削的特点

多砂轮磨削是在磨床上的一个砂轮主轴上安装两片或两片以上的砂轮,同时加工零件的几个表面。例如,大批量生产的发动机曲轴轴颈的磨削(图 5.3-1)。多片砂轮排列成相应的间隔,各片砂轮同时横向切入工件,在一次装夹中完成多轴颈磨削,可提高各轴颈的同轴度和生产效率。

多砂轮磨削实质上是宽砂轮磨削的另一种形式。采用多砂轮磨床可减少磨床数量和占地面积。目前,多砂轮磨削主要用于外圆磨床和平面磨床上。

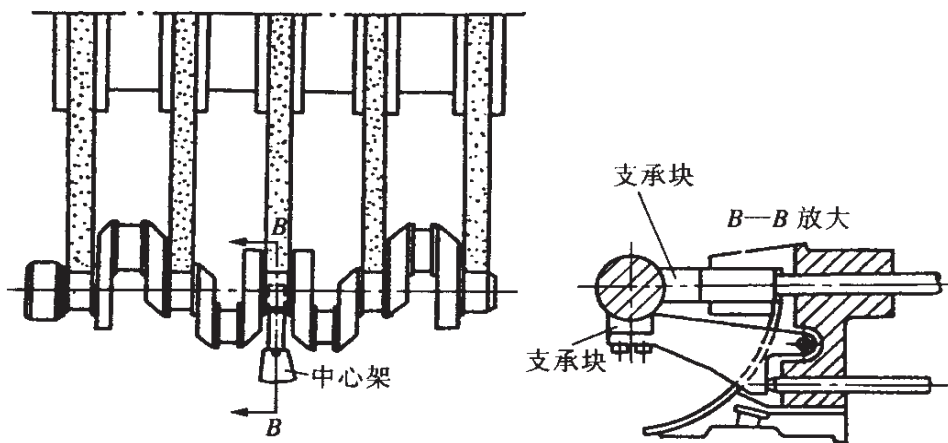


图 5.3-1 多砂轮磨削曲轴轴颈

二、多砂轮磨削对机床和砂轮的要求

多砂轮磨削对机床和砂轮的要求和宽砂轮磨削对机床和砂轮的要求基本相同。但有时多砂轮磨削的砂轮组合片数较多,砂轮的组合长度和砂轮的磨削长度都会比宽砂轮磨削更长,所以,多砂

轮磨削对机床的刚性及对整个工艺系统的刚性要求比宽砂轮磨削更严格。多砂轮磨削的轴一般会比宽砂轮磨削的轴细长,应设有自动跟踪中心架,提高工艺系统的刚性,保证工件的尺寸及形位精度要求。还因为是多片砂轮磨削,因此要求同组砂轮的硬度相同,组织均匀,以保证砂轮的磨削性能和磨损基本一致。

砂轮的修整方法采用强迫修整法。为保证尺寸一致,应同时对各片砂轮进行修整,以达到各轴颈的尺寸要求,有时也可对单片砂轮进行修整。

对于多砂轮磨削的测量,一般机床都备有自动测量装置,但也要随时测量各轴颈的尺寸,以免砂轮磨损不一致等而造成废品。另外,应能及时补偿修整。

第四节 缓进给磨削

缓进给磨削是强力磨削的一种,又称深切缓进给磨削或蠕动磨削。与普通磨削相比,磨削深度可达 30 mm,约为普通磨削的 100~1 000 倍。工件进给速度缓慢,约为 5~300 mm/min。磨削工件经一次或数次行程即可磨到所要求尺寸、形状精度。缓进给磨削适合磨削高硬度高韧性材料,如耐热合金钢、不锈钢、高速钢等的形面和沟槽。其加工精度可达 2~5 μm ,表面粗糙度可达 R_a 0.63~0.16 μm ,加工效率比普通磨削高 1~5 倍。缓进给磨削目前主要用于成形磨削和深槽磨削。

一、缓进给磨削的特点

(1) 磨削深度大。砂轮与工件接触弧长,金属切除率高。粗磨、精磨在一道工序中完成,生产效率比普通磨削高 3~5 倍。

(2) 砂轮磨损小。由于进给速度很低,磨屑厚度薄,单颗磨粒所承受的磨削力小,磨粒不易磨损和破碎脱落;其次,工作台往复

行程次数少,进给缓慢,砂轮与工件撞击次数少,减轻了砂轮与工件边缘的冲击,使砂轮能在较长时间内保持精度。

(3) 由于单颗磨料所承受的磨削力小,所以磨削精度高和表面粗糙度低。同时因砂轮的廓形保持性好,加工精度比较稳定。此外,接触弧长可使磨削震动衰减、减少颤震,使工件表面波纹度和表面应力减小,不易产生磨削裂纹。

(4) 经济效益好。因切深大,磨削几乎不受工件表面的缺陷影响,如氧化皮,铸件的白口层等,可直接将精铸或精锻的毛坯磨削成形,减少机加工工序,减少毛坯加工余量及工时,缩短生产周期,降低生产成本。

(5) 设备成本高。缓进给磨床须增大磨床功率与刚性,具有缓速进给及变速系统、砂轮自动修整与自动补偿等装置以及强冷却系统等,因此,磨床结构复杂,精度要求高,设备成本要比普通磨床高得多。

(6) 接触面大,使磨削热增大,且接触弧长使磨削液难以进入磨削区,工件表面容易烧伤,应配有强冷却系统。

二、缓进给磨削对机床要求

(一) 磨削功率

缓进给磨削是高效磨削,大多用于成形磨削,因此要求砂轮驱动电机具有足够大的功率,一般要求在 18 kW 以上。

(二) 工作台进给运动

工作台缓进给时,要求在进给速度 20 mm/min 时平稳无爬行现象。一般不采用液压传动,而采用机械传动。目前多采用丝杆副或滚珠丝杆副,保证机床有较高的传动刚度。还应有无级调速和快速退回机构。

(三) 机床的刚度

工艺系统的刚度是引起工件加工误差的原因之一。缓进给磨

削要求机床的动、静刚度。为了提高系统静刚度,可在前后床身、立柱和拖板等主要构件上采用双层筋壁结构;加大主轴直径;磨头垂直运动导轨和立柱拖板横向移动的侧导向面采用预加负荷滚柱导轨结构,以消除导轨间隙,提高接触刚度。

(四) 主轴系统精度

由于缓进给磨削主轴功率大,又是成形磨削,因此要求主轴刚性好,不允许有轴向或径向窜动。图 5.4-1 所示为平面磨床上采用的滚动轴承的磨头结构。前轴承 2 是一对圆锥滚子轴承,承受主要的磨削负荷。由于止推环安排在主轴前端,减小了由于主轴发热伸长对磨削形面位置的影响。中轴承 3 是双排滚子径向轴承,其径向可预紧,以获得较高的主轴刚度,并能长时间保持精度。后端支承 5 是径向轴承,仅起辅助支承作用,承受由于电机转子与风扇的平衡引起的离心力,以及电机磁场对主轴的径向力。轴承靠过盈配合的高压油涨环 1 和 4 固定。

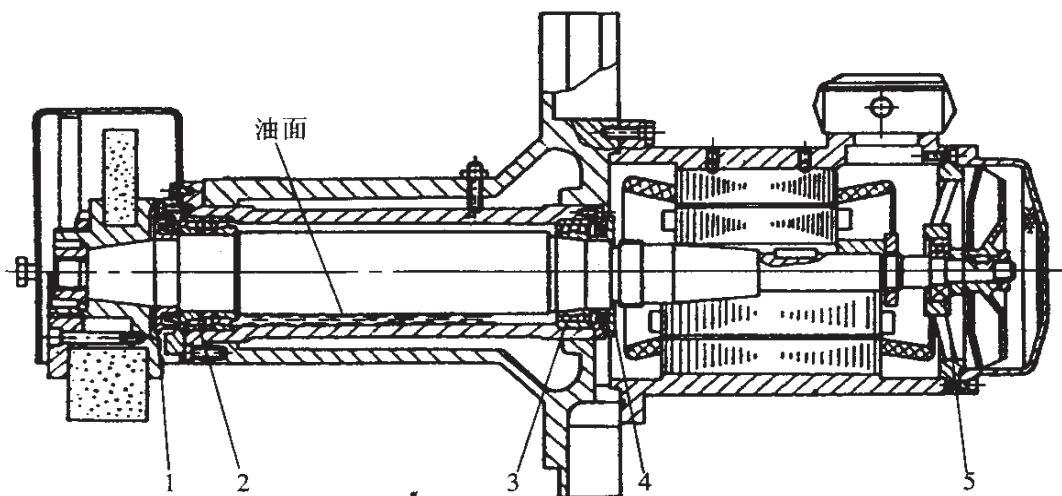


图 5.4-1 磨头结构

(五) 冷却和冲洗

缓进给磨削存在两个特殊的问题:一是磨屑薄而长,易堵塞和黏附于砂轮表面;二是单个磨粒承受的磨削力小,砂轮自锐性

差,易使工件表面烧伤。所以要求加强磨削液的冷却和冲洗作用。一般冷却喷嘴流量应大于 80 L/min (约每毫米砂轮宽度上为 $1.5 \sim 2 \text{ L/min}$),压力为 $(2 \sim 3) \times 10^5 \text{ Pa}$;冲洗喷嘴流量为 200 L/min ,压力为 $(8 \sim 12) \times 10^5 \text{ Pa}$ 。由于大量的磨削热要求冷却系统吸收并迅速散发,因此,磨削液箱的容量要足够大,约 2000 L 。

喷嘴的形式有小孔式和缝隙式两种(图 5.4-2)。小孔式喷射流较集中,效果好,多用于冲洗;缝隙式射流不均匀,且缝宽 b 在 0.3 mm 以下时易堵塞,但制造容易,多用于冷却。为使砂轮的形面上都能得到等效的冲洗效果,喷嘴可根据砂轮的轮廓形状制成相应的形状(图 5.4-3)。为获得最佳的冲洗效果,在随着砂轮的修整其直径变小时,应及时调整喷嘴位置,使喷嘴距砂轮表面的距离保持在 $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ 。

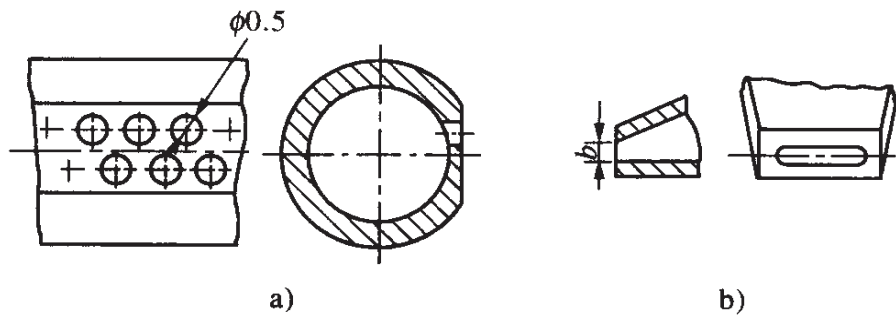


图 5.4-2 喷嘴形式

a) 小孔式 b) 缝隙式

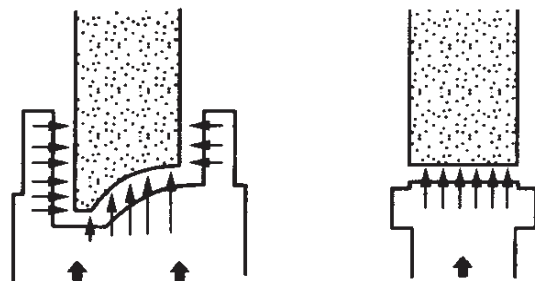


图 5.4-3 成形喷嘴

为保证冷却和冲洗效果,磨削液应保持清洁,磨削液箱必须具有可靠的过滤系统。

冷却效果还与采用的磨削方向有关。顺磨时冷却条件好,磨削液可顺利带入磨削区,冷却效果好;逆磨时,磨削液不易进入磨削区,冷却效果差。另外,顺磨时砂轮的脱粒只能落在已磨削的表面上,被磨削液冲去不会划伤已加工的表面。

三、缓进给磨削砂轮的选择和修整

(一) 砂轮的选择

(1) 磨料:磨料主要根据工件材料的性质选择。磨削一般合金钢可选用白刚玉(WA)和棕刚玉(A)磨料。磨削铸造高温合金等难加工材料可选用白刚玉(WA或MA)等磨料。目前,推广采用超硬磨料CBN砂轮。与普通砂轮相比,它可显著提高金属切除率,工件热损伤小,可提高加工精度及降低表面粗糙度,并可显著提高砂轮的耐用度。

(2) 粒度:一般选用F46~F60粒度。当成形面圆角小、形面要求精度高和表面粗糙度低或采用金刚石滚轮修整时,粒度可细一些,例如,在磨削航空发动机叶片榫齿时,由于圆角小,宜选用F80~F100粒度。

(3) 硬度:为避免磨削表面烧伤,要求砂轮的自锐性好,因此,应选择比普通砂轮软得多的砂轮。一般选用软级(G~J)砂轮。磨削铸造高温合金等难加工材料可选用超软级(D、E、F)砂轮。但砂轮越软其形面越不易保持,在磨削高精度形面时,在不烧伤磨削表面的前提下尽可能把砂轮选得硬一些。

(4) 结合剂:一般采用陶瓷结合剂。

(5) 组织:由于缓进磨削的金属切除率高,产生的热量多,一般采用大气孔或微气孔的松组织砂轮,常用砂轮组织号在12~14号范围。

(二) 砂轮的修整

在大批量生产、工件形状复杂、精度要求高时,多采用金刚石滚轮修整砂轮,其优点是形面精度保持好,使用寿命长,修整时间短,可实现修整过程自动化。

缓进给磨削还采用连续修整法修整砂轮。在磨削过程中,金刚石滚轮始终与砂轮保持接触,边磨削边将砂轮修锐整形。

四、高速深切快进给磨削

为克服缓进给磨削工件表面易烧伤问题,在磨削用量上应尽量避开高温区,在加大切深与提高砂轮速度的同时,提高工件进给速度,以提高金属切除率。这种工艺多用于较小的工件,如钻头沟槽、转子槽和棘轮的大批量生产。高速深切快进给磨削与缓进给磨削的工艺差别见表 5.4-1。

表 5.4-1 缓进给磨削与高速深切快进给磨削比较

| 磨削方法 | 缓进给磨削 | 高速深切快进给磨削 |
|-----------------------|-----------|-------------|
| 砂轮速度 v_s (m/s) | 30~35 | 60~120 |
| 工件进给速度 v_f (mm/min) | 100~1 000 | 1 000~2 500 |
| 磨削深度 a_p (mm) | ≤ 30 | ≤ 30 |
| 砂轮① | WA60HV | WA60HV |
| 磨削液 | 水基磨削液 | 油溶性液② |

注: ① 有条件最好采用金属或树脂结合剂的 CBN 砂轮。

② 磨削时工件和砂轮完全浸泡在压力油中。

五、缓进给磨削加工实例

(一) 三爪卡盘卡爪导向槽成形磨削

三爪卡盘卡爪零件见图 5.4-4。热处理前粗加工出槽形,留

出磨削余量,热处理后再磨成形。

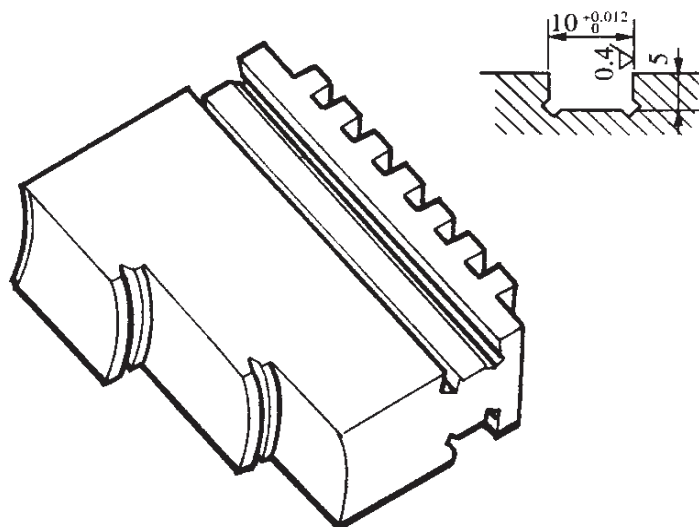


图 5.4-4 三爪卡盘卡爪导向槽

机床: 卧轴矩台平面磨床, 主轴功率 22 kW。

工件材料: 45, 渗氮淬火 HRC48。

槽侧留磨余量: 0.25 mm。

砂轮: 1 型 400×10×127 WA46EV, $v_s=35$ m/s。

修整工具: 单颗粒金刚石。

修整方法: 先修两侧面至要求宽度, 以后砂轮磨损仅需修整砂轮的周边。

工件纵向进给速度: 80 mm/min, 一次装夹 3 件。

经济效果: 加工质量稳定, 两侧面粗糙度 R_a 0.4 μm 左右, 沟槽平直度小于 5 μm , 生产率提高 3~4 倍。

(二) 油泵转子滑槽成形磨削

零件形状见图 5.4-5。

工件材料: 16MnCr5, 硬度: HRC 61~63。

砂轮: WA60FV。

滑槽不经预加工, 一次进给磨至全深, 两侧面表面粗糙度达

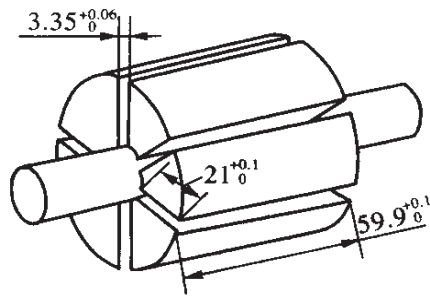


图 5.4-5 油泵转子滑槽

R_a 0.4 μm , 精度达到图纸要求。

缓进给磨削特别适用于磨削各种精密沟槽。过去加工沟槽先经铣刨等预加工,再用砂轮分别精磨沟槽的两侧面,每次进给量小,磨削效率低。由于砂轮薄易变形,致使沟槽的上下和两端有喇叭口。缓进给磨削,一次磨至全深,无须预加工,精度和表面粗糙度可达到较高要求。

有条件最好选用陶瓷(或树脂)结合剂的 CBN 砂轮,可获得较好效果。

第五节 恒压力磨削

恒压力磨削是切入磨削的一种类型,在磨削过程中,无论其他因素(如磨削余量、硬度、砂轮磨钝程度等)如何变化,砂轮与工件间保持预选的压力不变(粗磨时压力高,精磨时压力低),因此称恒压力磨削,也称控制力磨削。

一、恒压力磨削的特点

(1) 可减少空行程时间,节省辅助时间,无需光磨阶段。所以,磨削时间短,提高了磨削效率。

(2) 恒压力磨削过程中,法向磨削力比切向磨削力大 2~3 倍,较易控制。

(3) 恒压力磨削是在最佳磨削用量下进行的磨削,效率高。还可避免超负荷工作,操作安全。

(4) 恒压力磨削对电气、液压和砂轮等无特殊要求,磨床结构简单,易于推广。

二、恒压力磨削的实现

一般恒压力磨削的控制方法有挂重锤法、差动液压缸法和电气机械组合法等方法。图 5.5-1 是 3MZ1313 轴承磨床控制力磨削示意图。它可实现快速移动和粗进给、精进给三种速度。为提高其灵敏度,头架支承采用交叉滚柱导轨。

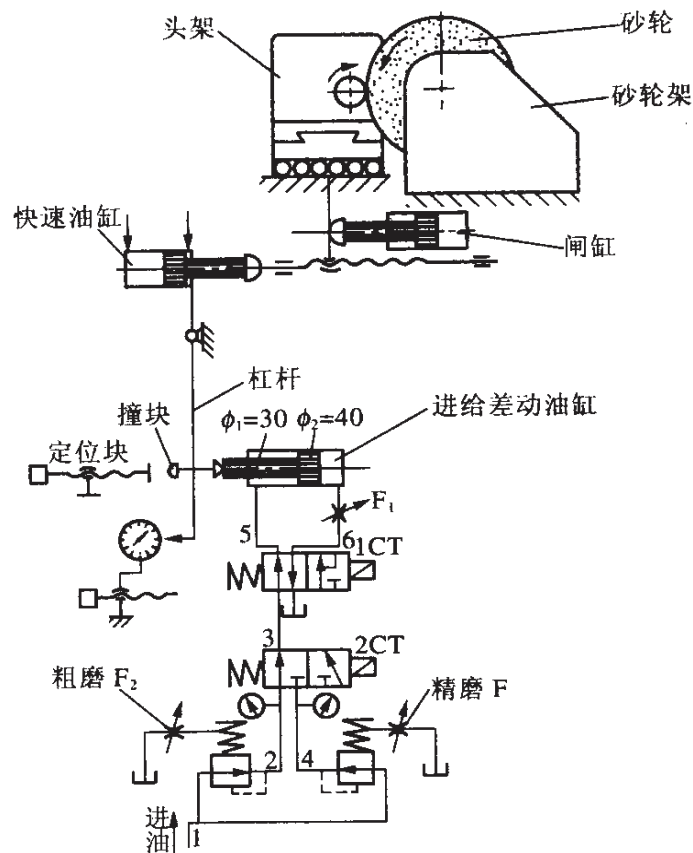


图 5.5-1 控制力磨削示意图

快速液压缸可使头架得到 20 mm 的快速移动量,在工件接近砂轮时快速移动结束,同时发出信号,使二位四通电磁阀 1CT 吸上,处于右端位置,则压力油由 1→粗磨减压阀 F_2 →2→二位三通电磁阀 2CT→3→二位四通电磁阀→5、6→节流阀 F_1 →差动液压缸两端,由于活塞两端的面积差使活塞得到一个恒定的推力,推动杠杆做顺时针摆动,使头架被这一恒定力推动,做快速移动进行粗磨。当杠杆下端碰到百分表,并使百分表移动到预先调整量后,即发出信号使二位三通电磁阀 2CT 吸上,油路移至右端位置,于是压力油由 1→精磨减压阀 F_3 →4→二位三通电磁阀→3→二位四通电磁阀→5、6、节流阀 F_1 →差动液压缸两端,使头架做精磨进给。当杠杆下端撞块碰到定位块时,停止进给,做无进给磨削,时间由时间继电器控制,并发出信号,快速液压缸退回,电磁阀 1CT、2CT 释放,差动油缸进出油路换向,头架在闸缸的作用下退回原处。

图中 F_1 是控制头架空程速度的。当工件与砂轮接触后,通过此阀的流量较少,甚至不起作用。控制力由减压阀 F_2 、 F_3 调节, F_2 控制 $(3\sim 6)\times 10^5$ Pa 的粗磨压力, F_3 控制 $(2\sim 4)\times 10^5$ Pa 的精磨压力。

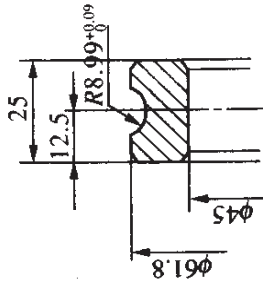
三、恒压力磨削实例

恒压力磨削实例见表 5.5-1。

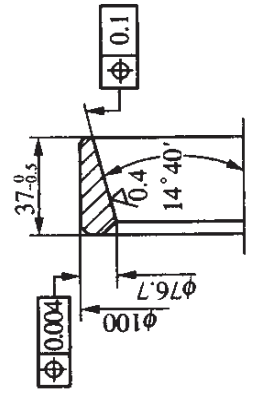
表 5.5-1 恒压力磨削实例

| 工件 | 磨削余量 (mm) | 砂轮 | 工件转速 (r/min) | 砂轮速度 (m/s) | 磨削进给速度 (mm/min) | 快速趋进速度 (mm/min) | 恒压力 (N) | 单件磨后尺寸 (s) | 圆度 (μm) | 表面粗糙度 R_a (μm) | 功率消耗 (kW) |
|---------|-----------|-------------------------|--------------|------------|-----------------|-----------------|---------|------------|----------------------|-------------------------------|-----------|
| 309/02 | 0.25~0.45 | 1型 500×15×305 WA80LV | 320 | 35 | 2.6 | 4 | 174 | 12 | 7 | 0.63 | 1.8 |
| 7909/01 | 0.4~0.55 | 1型 70×50×20 MA80LV | 300 | 50 | 0.4 | 8 | 350 | 42 | 8 | 0.4 | 9 |

309/02
球轴承内圆沟道
材料: GCr15
HRC 62~64



7909/01
圆锥滚柱轴承外圈
材料: GCr15
HRC 62~64



第六节 低粗糙度磨削

低粗糙度值磨削包括精密磨削、超精磨削和镜面磨削等,可获得加工表面粗糙度 R_a $0.16\sim 0.0025\ \mu\text{m}$ 、较高的工件形位和尺寸精度。与手工研磨相比,生产率高,易实现自动测量,而且加工范围广泛。按表面加工粗糙度分类见表 5.6-1。

表 5.6-1 低粗糙度值磨削分类及应用范围

| 磨削分类 | 表面粗糙度值 R_a (μm) | 应用范围 |
|------|-----------------------------------|---|
| 精密磨削 | $0.16\sim 0.04$ | 液压滑阀、油嘴油泵针阀、机床主轴、滚动导轨、量规、四棱尺、高精度轴承和滚柱等。 |
| 超精磨削 | $0.04\sim 0.0125$ | 精密磨床和坐标镗床主轴、高精度滚柱导轨、刻线尺、环规、塞规、伺服阀、量棒、半导体硅片、精密轧辊 |
| 镜面磨削 | ≤ 0.01 | 特殊精密轧辊、精密刻线尺 |

低粗糙度值磨削是一种严格而复杂的新工艺技术,它依靠精度高、性能优良的机床、砂轮的精密修整技术与一定的操作技能而达到 R_a $0.1\sim 0.006\ \mu\text{m}$ 粗糙度值。我国从 20 世纪 60 年代初就开始推广镜面磨削,当时在普通外圆磨床上,用精密修整石墨砂轮达到镜面磨削要求。不久我国开发出 MBG1432 型高精度半自动外圆磨床、高精度平面磨床等,在新型磨床上还配备有磨削指示仪等检测仪器,为发展低粗糙度值磨削提供了设备条件。

一、低粗糙度磨削机理

(一) 微刃的切削作用

低粗糙度值磨削系采用较小的修整导程和修整进给量精细修整砂轮,使磨粒产生细微的破碎而产生很多等高微刃,磨削时,用

很小的磨削用量进行磨削,在砂轮很多微刃精细切削和摩擦抛光作用下而形成低粗糙度值表面。

(二) 微刃的等高性作用

砂轮经精细修整后,要求微刃在砂轮表面分布呈等高性,如图 5.6-1。这些等高的微刃能从工件表面上切除极薄的余量,并能消除一些微量的缺陷和误差。为了达到等高性要求,除修整用量要小以外,机床的精度和震动等也有很大的影响。

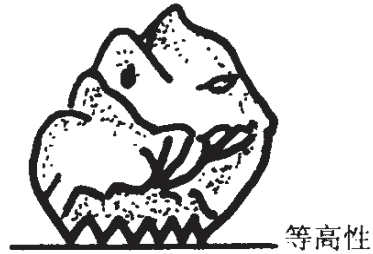


图 5.6-1 磨粒的微刃和等高性

(三) 微刃的摩擦抛光作用

砂轮刚修整后得到的微刃比较锋利,切削作用强。随着磨削时间的增加,微刃逐渐被磨钝,这时微刃的等高性也进一步得到改善,切削作用减弱,而摩擦抛光作用增强。在磨削区高温作用下使金属软化,钝化的微刃在工件表面滑擦挤压,表面被碾平,从而使工件表面变得更光滑。

(四) 微刃的过余量磨削

所谓过余量磨削就是磨削时的进给量与实际磨去的量不相等,实际磨去量小于进给量。使用 F600 细粒度树脂加石墨的砂轮,其微刃等高性好,再加上石墨的润滑抛光作用,在过余量磨削下,经过 20 多次反复磨削,使工件上留下的痕迹更趋于平滑,工件表面粗糙度值达到 $R_a 0.01 \mu\text{m}$ 以下,即形成镜面。

二、低粗糙度磨削砂轮的选择

(一) 磨料的选择

磨钢件和铸铁件皆宜选刚玉类砂轮。通常磨铸铁件选用碳化硅磨料,但因碳化硅磨料本身质脆,易崩碎,修整后难以形成等高

性好的微刃,而铸铁中含有石墨等夹杂物,易使微刃产生细微的破裂,破坏微刃的等高性。而刚玉类磨料韧性较好,能保持等高性微刃。在刚玉类磨料中,以白刚玉和铬刚玉应用较普遍;采用单晶刚玉效果较好,可提高砂轮耐用度。也有人选用白刚玉与绿碳化硅的混合磨料,用石墨作填料,可获得较低的表面粗糙度值。

(二) 粒度的选择

在精密磨削和超精磨削时,通常选用 F60~F80 粗粒度砂轮,经过精细修整后,可以获得 R_a 0.08~0.025 μm 的粗糙度值。优点是此粒度砂轮的生产率较高,砂轮的供货容易,缺点是易产生拉毛等缺陷,须采取措施加以克服。采用 F240~F320 号粒度的树脂结合剂砂轮,可以获得低于 R_a 0.025 μm 粗糙度值,拉毛等现象少,质量较稳定。镜面磨削宜用 F500 或更细的粒度,并以石墨为填料的砂轮,以加强摩擦抛光作用,经过精细修整。可获得小于 R_a 0.01 μm 的粗糙度值。

(三) 硬度的选择

在低粗糙度值磨削中主要要求磨粒的微刃与等高性保持良好。硬度太软,磨粒容易脱落,微刃不易保持,易引起工件表面划伤,摩擦与抛光作用减弱。硬度太硬砂轮的弹性差,磨削时会出现螺旋形烧伤、花斑与振纹。低粗糙度值磨削仅切除一层微量的金属,磨削负荷集中在微刃上,不致使磨粒整体脱落,所以硬度应比一般砂轮的硬度稍软一些。精密磨削与超精磨削砂轮,粒度为 F60~F80 号,硬度以 J、K、L 中软级较适中。镜面磨削,要求砂轮有良好的弹性和抛光作用,粒度选用细粒度或微粉,硬度宜选 E、F 超软级,并要求硬度均匀性好,否则达不到粗糙度要求。

(四) 结合剂选择

精密磨削和超精磨削,选用粗粒度陶瓷结合剂砂轮,一般皆能达到低粗糙度要求。如出现螺旋形、烧伤等缺陷时,用树脂结合剂较好。镜面磨削时,树脂结合剂具有较好的抛光性能,用它制成细

粒度砂轮,或外加适量石墨作充填剂可取得较好效果。

(五) 组织选择

低粗糙度值精密磨削要求砂轮表面磨粒均匀分布,所以选用较紧密的组织,其磨粒数和微刃数多而且均匀分布。组织号比一般砂轮较紧密即可。

砂轮的选择可参考表 5.6-2。

表 5.6-2 低粗糙度值磨削砂轮的选择

| 种类 | 磨料 | 粒度 | 结合剂 | 硬度 | 组织 | 表面粗糙度 $R_a(\mu\text{m})$ | 特 点 |
|------|---------------------|--------------------------------|----------------|-----|----|-----------------------------|-------------------------|
| 精密磨削 | WA PA | F60~ F80 | V | K、L | 紧密 | 0.08~ 0.025 | 生产率高、砂轮易供应、但表面易拉毛 |
| 超精磨削 | PA WA | F240~ F280 F360~ F500 | B R | H、J | 紧密 | 0.025~ 0.0125 | 质量较上粗 粒度稳定、拉毛 现象少 |
| 镜面磨削 | WA WA+GC 石墨填料 | F500 以下微粉 | B 或聚丙 乙烯 | E、F | 紧密 | 0.01 | 可达到低粗 糙度镜面磨削 |

三、砂轮的修整

(一) 修整工具及安装

一般多用单颗金刚石笔修整,金刚石要求有合理的顶角($70^\circ\sim 80^\circ$)和锐利的尖锋。不能用磨钝的金刚石修整砂轮,否则达不到微刃的要求,达不到磨削表面粗糙度要求,磨削表面发暗,且较易烧伤。也可采用多颗粒金刚石笔修整,修整效率高。

金刚石笔的安装见图 5.6-2。安装角一般在 10° 左右,金刚石的尖锋应低于砂轮中心 0.5~1.0 mm,效果较好。金刚石的安装位置应符合修整时的位置,位于砂轮磨削工件时位置(图 5.6-2a)),

如果位置相差太大(5.6-2b),就会因砂轮架导轨扭曲,导致磨削时出现单面接触,使磨削表面粗糙度变差,引起工件表面出现螺旋线等缺陷。

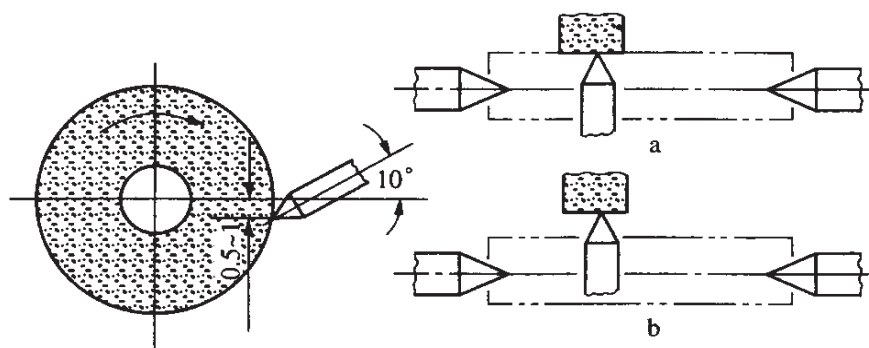


图 5.6-2 金刚石笔安装位置

(二) 修整用量

1. 修整导程(纵向进给量) f_d

磨粒的微刃性和微刃的等高性与修整导程 f_d 密切相关。由图 5.6-3 可看出,随着 f_d 的减小,工件表面粗糙度值降低。另一方面 f_d 减小时,修整力较小,磨粒被剥落较细微,有利于产生较多的等高性微刃。当 f_d 太小时,工作台的速度很低,会产生爬行现象,从而影响工件表面粗糙度。另外 f_d 太小时,修整的砂轮切削性能差,工件易烧伤和产生螺旋形等缺陷。

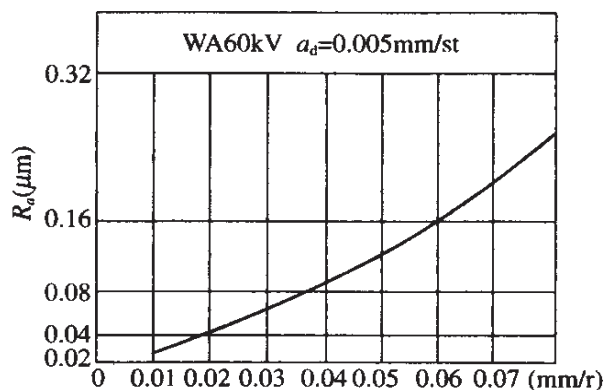


图 5.6-3 修正导程对表面粗糙度的影响

一般超精磨削, f_d 可选取 $0.008 \sim 0.012$ mm/砂轮每转。镜面磨削时可参考取较小值。

2. 修整深度(横进给量) a_d

a_d 减小时, 金刚石在砂轮表面切痕深度减小, 同时修整力也减小, 从而使磨粒产生细微剥落, 而形成数量多而等高的微刃。 a_d 对工件表面粗糙度影响见图 5.6-4。 a_d 的合理范围: 精密磨削 $a_d \leq 0.005$ mm/单程; 超精磨削和镜面磨削为 $0.002 \sim 0.003$ mm/单程。

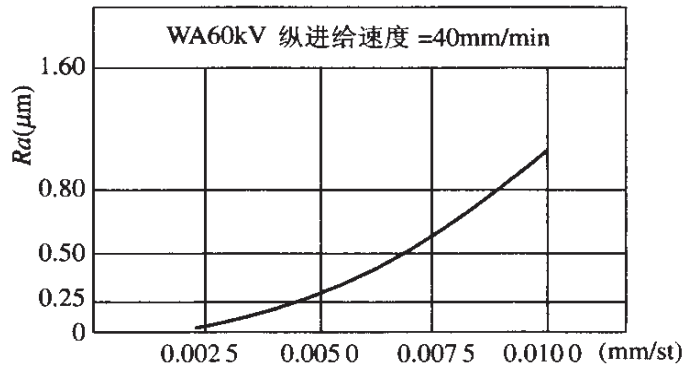


图 5.6-4 修整深度对表面粗糙度的影响

3. 修整次数

在超精磨削和镜面磨削时, 砂轮磨损很小, 一般修去 0.05 mm 就足以使砂轮恢复切削能力, 不必将砂轮表面发黑层全部修去。修整次数不必过多, 因修整导程小, 每修整一次所需时间较长, 应选择合理的修整次数。修整时可分粗修与精修。粗修时可采用较大的修整导程和修整深度, 每次修整的 f_d 和 a_d 逐次减小, 最后取 $f_d = 0.01$ mm/r, $a_d = 0.002 \sim 0.003$ mm/st, 一般精修次数只需 $2 \sim 3$ 次。

光修(无横向进给)的目的是去除砂轮表面上个别突出的微刃和已被打松而未脱落的微粒, 以免磨削时工件表面被划伤和拉毛; 另一方面将砂轮表面修平直, 避免砂轮与工件产生单角接触而导致磨削表面产生螺旋形缺陷。光修次数不宜过多, 一般只光修一次。

四、磨削用量

(一) 砂轮速度 v_s

普通磨削时,砂轮速度增高,可改善表面质量、提高生产效率。但对低粗糙度值磨削,由于砂轮已精细修整,随着 v_s 进一步提高,砂轮切削能力增强,相对摩擦抛光作用减弱,因此,磨削表面粗糙度反不如低速时好。另外,因 v_s 增高,磨削热增加,机床震动也增大,容易产生烧伤、震纹、螺旋形波纹等缺陷。因此,低粗糙度值磨削宜采用较低的磨削速度。一般取 $v_s = 15 \sim 20 \text{ m/s}$ 。

(二) 工件速度 v_w

工件速度在一般常用范围内对表面粗糙度影响不明显。但 v_w 较高时,则易产生震动,使工件表面波纹深度增加;当 v_w 较低时,工件表面易烧伤和出现螺旋形等缺陷。一般宜采用速比 $q = \frac{v_s}{v_w} = 120 \sim 150$, 镜面磨削时宜选较大速比,也就是说工件速度较低些有利。

(三) 轴向进给量 f_a

当工件轴向进给量增大时,砂轮磨粒的负荷增加,磨削力和磨削热也随着增加,工件易产生烧伤、螺旋形、多角形等缺陷,使表面粗糙度增大。但 f_a 太低,又会影响生产效率。因此在保证不产生螺旋形等缺陷的条件下, f_a 宜适当选大些。镜面磨削时,由于多采用石墨砂轮磨削,一般不会产生明显的螺旋形,即使产生轻微的螺旋形,也可在以后的光磨时磨去。因此,为了提高生产效率,在磨削开始阶段,宜采用较大的轴向进给量, $f_a = 0.25 \sim 0.5 \text{ mm/r}$; 磨削一段时间后再采用较小的轴向进给量, $f_a = 0.06 \sim 0.25 \text{ mm/r}$ 。

(四) 背吃刀量 a_p

在超精磨削时, a_p 增加,磨削压力增加,易产生螺旋形和工件烧伤,甚至破坏砂轮的微刃。 a_p 的选择原则是不能超过微刃的高度。

特别是第一次进刀尽可能选小些。一般采用 $a_p \leq 0.0025 \text{ mm/st}$ 。超精磨直径余量一般为 $0.01 \sim 0.015 \text{ mm}$ ，因此进给次数约为 $2 \sim 3$ 次。

镜面磨削时，径向进给量的选择比较困难。磨削余量一般只有 $0.002 \sim 0.003 \text{ mm}$ ，只进给一次就达到粗糙度要求。镜面磨削是典型的过余量磨削，主要是靠砂轮和工件的摩擦抛光作用来达到要求。合适的 a_p 才可保证合理的磨削压力。镜面磨削只能由操作者凭经验控制进给量。一般 $a_p = 0.005 \sim 0.01 \text{ mm}$ 。

(五) 光磨

为了降低表面粗糙度，往往需要增加光磨次数。光磨前的一次走刀实际磨去量小于进给量，光磨时，砂轮与工件间仍能维持一定压力，以充分发挥半钝化微刃的摩擦抛光作用。

超精磨削时，在光磨开始阶段，工件表面粗糙度随光磨次数的增加而降低(图 5.6-5)。一般光磨 $4 \sim 8$ 个行程后，砂轮的抛光性能就可发挥出来，可达到 $R_a 0.05 \sim 0.025 \mu\text{m}$ 。

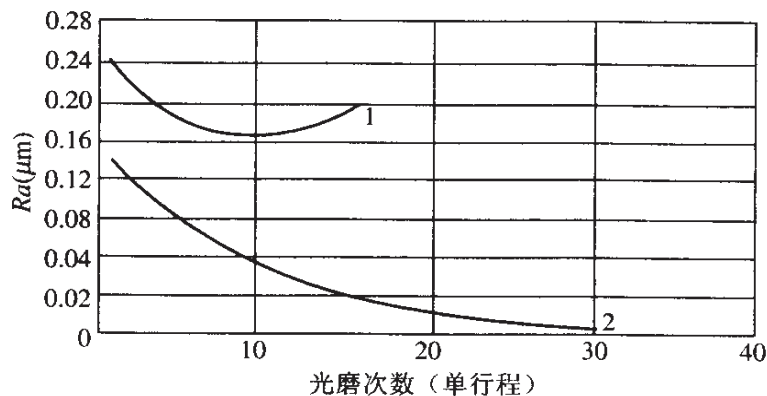


图 5.6-5 光磨次数对表面粗糙度的影响

1—粗粒度砂轮(PA60kV)

2—细粒度砂轮(WA/GC600KR)

镜面磨削时，光磨次数对工件表面粗糙度影响较大，光磨次数多，表面粗糙度就低。一般只进刀一次磨削后继续光磨，直至达到 $R_a \leq 0.01 \mu\text{m}$ 为止。往往需要 20 多个行程。

为便于使用时参考,特将各种低粗糙度值磨削工艺参数分别列于表 5.6-3~表 5.6-5。

表 5.6-3 外圆低粗糙度磨削工艺参数

| 工艺参数 | 精密磨削 $R_a 0.16 \sim 0.04 \mu\text{m}$ | 超精磨削 $0.04 \sim 0.0125 \mu\text{m}$ | | 镜面磨削 $\leq 0.01 \mu\text{m}$ |
|--------------------------------|--|--|--------------------------|---------------------------------|
| | F60~F80 | F60~F120 | F240~F320 | $\leq F500$ |
| 砂轮粒度 | F60~F80 | F60~F120 | F240~F320 | $\leq F500$ |
| 修整工具 | 单颗粒 L 型金刚石笔 或 C 型金刚石笔 | 单颗粒 L 型金刚石笔 或 C 型金刚石笔 | 单颗粒 L 型金刚石笔 或 C 型金刚石笔 | 锋利单颗粒金刚石笔 L 型 |
| 砂轮速度(m/s) | 17~35 | 15~20 | 15~20 | 15~20 |
| 修整时工作台进给速度(mm/min) | 15~50 | 10~15 | 10~25 | 6~10 |
| 修整时横向进给量(mm) | ≤ 0.005 | 0.002~0.003 | 0.002~0.003 | 0.002~0.003 |
| 修整时横向进给次数(单程) | 2~4 | 2~4 | 2~4 | 2~4 |
| 光磨次数(单程) | | 1 | 1 | 1 |
| 工件速度(m/min) | 10~15 | 10~15 | 10~15 | < 10 |
| 磨削时轴向进给速度(mm/min) | 80~200 | 50~150 | 50~200 | 50~100 |
| 磨削时背吃刀量(mm) | 0.002~0.005 | < 0.0025 | < 0.0025 | < 0.0025 |
| 磨削时径向进给次数(单程) | 1~3 | 1~3 | 1~3 | 1 |
| 光磨次数(单程) | 1~3 | 4~6 | 5~15 | 20~30 |
| 磨削前工件表面粗糙度 $R_a (\mu\text{m})$ | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.025 |

表 5.6-4 内圆低粗糙度磨削工艺参数

| 工艺参数 | 精密磨削 | 超精磨削 | 镜面磨削 |
|--|---------------|---------------|---------------|
| 砂轮转速(r/min) | 10 000~20 000 | 10 000~15 000 | 10 000~15 000 |
| 修整纵向进给速度 (mm/min) | 30~50 | 10~20 | 10~20 |
| 修整横向进给量 (mm) | ≤0.005 | ≤0.005 | 0.002~0.003 |
| 修整横向进给次数 (单程) | 2~3 | 2~3 | 2~6 |
| 光磨次数(单程) | 1 | 1 | 1 |
| 工件速度(m/min) | 7~9 | 7~9 | 7~9 |
| 磨削时轴向进给速度 (mm/min) | 120~200 | 60~100 | 60~100 |
| 磨削时背吃刀量(mm) | 0.005~0.01 | 0.002~0.003 | 0.002~0.003 |
| 磨削时横向进给次数 (单程) | 1~4 | 1~2 | 1 |
| 光磨次数(单程) | 4~8 | 4~10 | 20 |
| 磨削前工件表面粗糙 度 R_a (μm) | 0.4 | 0.2 | 0.025 |

- 注：1. 表中采用 WA60K 或 PA60K 砂轮。
2. 修整砂轮工具用锋利单颗粒金刚石。

表 5.6-5 平面低粗糙度磨削工艺参数

| 工艺参数 | 精密磨削 | 超精磨削 | 镜面磨削 |
|-----------|-----------------------------|----------------|----------------|
| 砂轮粒度 | F60~F80 | F60~F320 | ≤F500 |
| 修整工具 | 单颗粒 L 型 或多颗粒 C 型 金刚石笔 | 锋利金刚石 笔 L 型 | 锋利金刚石 笔 L 型 |
| 砂轮速度(m/s) | 17~35 | 15~20 | 15~20 |

续 表

| 工 艺 参 数 | 精密磨削 | 超精磨削 | 镜面磨削 |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 修整时磨头移动速度 (mm/min) | 20~50 | 6~12 | 6~10 |
| 修整时垂直进给量 (mm) | 0.003~0.005 | 0.002~0.003 | 0.002~0.003 |
| 修整时吃刀次数 | 2~3 | 2~3 | 2~3 |
| 光磨次数(单程) | 1 | 1 | 1 |
| 工作台轴向进给速度 v_{fa} (m/min) | 15~20 | 15~20 | 12~14 |
| 磨削时背吃刀量(mm) | 0.003~0.005 | 0.002~0.003 | 0.001~0.002 |
| 磨削时吃刀次数 | 2~3 | 2~3 | 1 |
| 光磨次数(单程) | 1~2 | 2 | 3~4 |
| 磨削前工件表面粗糙度 R_a (μm) | 0.4 | 0.2 | 0.025 |
| 磨头周期进给量(mm) | 0.2~0.25 | 0.1~0.2 | 0.05~0.1 |

五、低粗糙度磨削对机床的要求

低粗糙度精密磨削,关键的问题取决于砂轮的选择和修整、磨削用量的选择和机床精度与要求。在专用高精磨床上,一般都能满足磨削要求,而一般的 M1432、M131 等普通磨床,只要能保证主轴精度、工作台无抖动、慢速时不产生爬行现象,都可使用。否则对普通机床须进行调整、改装以达到低粗糙度磨削要求。

(一) 磨床的几何精度

1. 砂轮主轴的回转精度

砂轮主轴回转精度要求高,主轴回转时径向跳动量和轴向窜动量不得大于 0.001 mm。可以采取以下措施:

(1) 提高主轴本身加工精度。主轴精度对回转精度有直接影

响,因此,主轴应经过超精磨削提高主轴精度。

(2) 选择合理的轴承。常用轴承有短三块瓦或长三块瓦油膜轴承、整体多油油楔式滑动轴承和静压轴承。以上轴承都能达到低粗糙度磨削要求。采用滑动轴承,须合理调整间隙至 $0.01\sim 0.015\text{ mm}$,静压轴承能获得较高的主轴回转精度,其圆跳动应小于 0.05 mm 。采用短三块新轴瓦,在小间隙($0.005\sim 0.01\text{ mm}$)及小负荷的条件下,回转精度可达 0.001 mm 左右。

合理调整间隙很重要。间隙小,主轴的跳动小,但间隙过小,可能产生抱瓦现象。

(3) 控制轴向窜动。应将轴向窜动控制在 0.005 mm 以内。

2. 工作台几何精度

其中床身纵向导轨直线度和平行度,床身横向导轨直线度,头、尾架中心连线与工作台移动方向平行度,砂轮主轴中心线对工作台移动方向平行度等,均应达到普通精密磨床出厂技术要求。

如横向进给机构的精度不高,使修整砂轮时微进给量难以控制,达不到微刃等高性要求。在磨削时,会因横进给量太大而烧伤工件,或因横进给量太小致砂轮与工件间磨削压力小,达不到摩擦抛光作用。

(二) 工作台低速运动稳定性

低粗糙度磨削均采用低速修整砂轮,要求工作台低速(10 mm/min)时无爬行和冲击现象。产生爬行的原因是驱动系统刚性差,摩擦阻力大以及摩擦力变化大,因此要清除爬行,可采取下列措施。

(1) 液压系统油路中混入空气,可在工作台液压缸上增加一只放气阀,以便排除空气。

(2) 改善导轨润滑效果。工作台导轨一般采用压力润滑。如果润滑油压力过高或油量过多,会使工作台在运动时产生漂浮。避免漂浮可改变导轨面油槽的结构,使油槽与大气相通,或将工作

台两条导轨润滑管路中各加一只三通阀,使润滑油回到油池,使工作台导轨实现无压供油润滑。

(3) 油压波动要小。当液压系统中采用齿轮泵时,其瞬时流量不均匀,由此引起油压脉动。可采用叶片泵或螺杆泵代替齿轮泵。

(4) 工作台换向要平稳。工作台在换向时会引起油压的波动,特别是工作台换向有快跳动作的机床,在快跳时有液压冲击,因此应取消快跳换向。

(三) 减少机床震动

(1) 静平衡砂轮。一般要进行两次静平衡。如果有条件,可以采用动平衡或砂轮自动平衡装置。

(2) 消除电动机震动。砂轮架电机的震动会直接传给砂轮,对磨削影响最大,对以下情况可采取不同的减震措施。

① 转子不平衡。可以在装上皮带轮后进行整机平衡。如有条件,可用整机动平衡仪进行整机动平衡,效率高,平衡的质量好。要求平衡后振幅小于 $1\sim 2\ \mu\text{m}$ 。

② 轴承精度低或轴承磨损。可更换 A 级精度轴承。

③ 安装时在电动机与砂轮架之间用硬橡皮防震(图 5.6-6)。

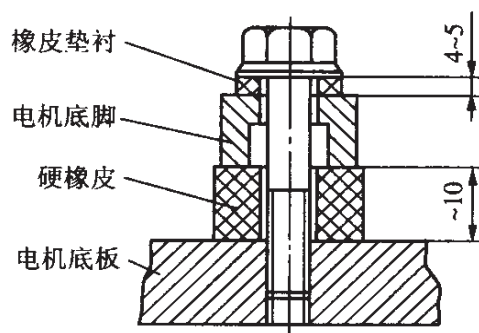


图 5.6-6 电动机隔震装置

④ 砂轮轴传动用的三角带要求长度一致、厚薄均匀,尽可能减少皮带根数。

头架电动机震动较大时,也应采取上述措施。油泵电机对机床震动影响较小,最好将油泵装置与机床隔开。

六、低粗糙度磨削实例

图 5.6-7 所示为轧制微米级带箔用精密轧辊简图。

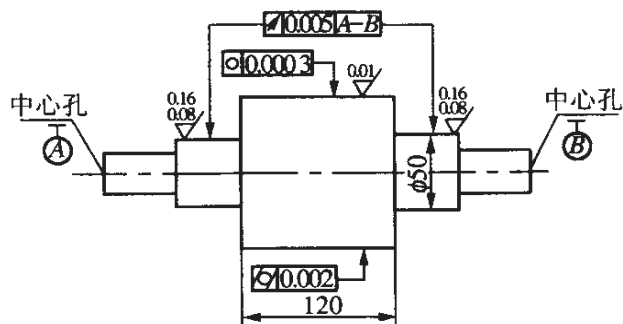


图 5.6-7 精密轧辊简图

(一) 工艺特点与精磨要求

(1) 在精磨前,中心孔应进行仔细研磨,检查中心孔与顶尖的接触情况,根据检查结果进行研修,使其圆度和同轴度达到 $0.2 \mu\text{m}$ 。

(2) 为保证工件要求,应分为精磨、超精磨和镜面磨削。如在同一磨床进行磨削,必须在精磨时达到精度要求,因以后超精磨、镜面磨削去除余量很小,主要是改善表面粗糙度。

(3) 工件上三个加工面应在一次装夹中磨出,以保证它们的同轴度。

(4) 由于一对轧辊其尺寸差要求较严,为此宜选余量较小的一只先磨。

(5) 在超精磨前的精磨必须达到:

① 轧辊工作面和两轴颈的圆跳动应小于 0.005 mm 。

② 轧辊工作面圆柱度应小于 0.002 mm 。

③ 轧辊工作面和两轴颈应留 $0.01 \sim 0.02 \text{ mm}$ 的超精磨余量;表面粗糙度应低于 $R_a 0.2 \mu\text{m}$ 。

(二) 超精磨削

(1) 机床: MG1432, MG1432A

(2) 砂轮: WA240kV

(3) 砂轮修整: 用锋利金刚石。 $f_d = 0.012 \text{ mm/r}$ (此时工作台速度约为 10 mm/min); $a_d = 0.0025 \text{ mm/单程}$, 修 3 次, 光磨一次。

(4) 磨削用量: $v_s = 18 \text{ m/s}$, $v_w = 10 \text{ m/min}$, $v_{fa} = 50 \sim 100 \text{ mm/min}$, $a_p = 0.0025 \text{ mm/双行程}$, 横进给次数不宜过多, 约 2 次即可。

磨削后表面粗糙度达 $R_a 0.04 \sim 0.0125 \mu\text{m}$ 。留镜面磨削余量 $0.002 \sim 0.003 \text{ mm}$ 。

(三) 镜面磨削(轧辊工作面)

(1) 砂轮: WAF600EB(加石墨作填充剂)

(2) 砂轮修整: 用锋利金刚石。 $f_d = 0.01 \text{ mm/}$; $a_d = 0.0025 \text{ mm/单程}$, 修整三次, 光修一次, 用油石把二棱边修圆。

(3) 磨削用量: $v_s = 18 \text{ m/s}$, $v_w = 8 \text{ m/min}$, $v_{fa} = 50 \sim 100 \text{ mm/min}$, $a_p = 0.0025 \sim 0.005 \text{ mm}$ 。

(4) 对刀: 第一次磨削对刀特别重要, 如第一次进给量太大, 会破坏砂轮表面微刃, 使工件表面产生烧伤与螺旋形缺陷。一般可采用下列对刀方法:

① 用磨削指示仪。

② 磨前在工件表面涂上一层极薄的红油, 然后使砂轮慢慢接近工件, 当砂轮刚刚擦掉工件上的红油后, 停止进给, 并纵走刀一次, 然后再进给。

③ 通过观察砂轮上的水纹或听声音的变化来判断。此法靠操作者的经验, 难以作为精确对刀方法, 只能配合上两种方法使用, 以便减少对刀时间。

(5) 光磨: 光磨约 $2 \sim 4 \text{ h}$ (光磨次数约 20 次)。光磨后, 工件表面粗糙度 $R_a \leq 0.01 \mu\text{m}$, 圆度可达 0.002 mm 。

七、镜面磨削的缺陷及改进措施

镜面磨削的缺陷及改进措施可参见表 5.6-6。

| 问 题 | 原 因 | 措 施 |
|------------|---|---|
| 1. 产生螺旋线 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 砂轮架刚度低、砂轮架前轴承间隙大于后轴承、V形导轨前后段磨损不一致 2. 工作台左右速度不一致,使砂轮外缘修成凹缘或凸缘 3. 机床头架热变形,使前顶尖偏移 4. 精磨时受力大,超精磨时受力小,由于前后顶尖座与床身刚度差而顶尖偏移 5. 镜面磨削时砂轮上有残留碎粒、切屑及砂轮修整不平造成 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 控制砂轮架前、后轴承间隙及 V 形导轨面的直线性 2. 调整机床操纵箱节流阀,使工作台左右速度相等、修整时行程加长待工作台平稳后再修整砂轮,砂轮两侧轮缘修出小圆弧 3. 当磨削一段时间后,变形量较大时,调整工作台角度 4. 提高顶尖刚度、顶尖尽可能短、多次空行程,使顶复位 5. 重新修整砂轮,修整后用煤油清洗或用冷却液冲洗砂轮 |
| 2. 表面产生斑纹 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 机床震动引起 2. 砂轮选择不当 3. 横向进给量大 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 采取减震措施 2. 适当降低砂轮硬度及选较粗粒度 3. 适当减小横进给量 |
| 3. 产生多角形震纹 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 砂轮表面钝化 2. 砂轮硬度太高 3. 用油石修整后,表面产生多角形震纹 4. 机床本身或外来震动 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 重新修整砂轮 2. 换稍软的砂轮 3. 用油石修整后,微刃未钝化,仍以切削为主,此时,可减小磨削量,重复多次无火花磨削震纹会慢慢消除 4. 消除震源 |

续 表

| 问 题 | 原 因 | 措 施 |
|---------------|--|---|
| 4. 表面有刻痕 | 1. 砂轮表面有残留磨粒 2. 磨削液不清洁 | 1. 冲洗砂轮或重新修整砂轮 2. 仔细过滤磨削液 |
| 5. 镜面磨削后表面有裂纹 | 1. 锻造或淬火后产生, 裂纹较深或深浅不一 2. 粗磨时, 表面烧伤经磨削液冷却淬火造成的裂纹, 在表面较浅 | 1. 从锻造或淬火工艺解决 2. 磨削产生裂纹较浅, 如果余量足够, 可多磨几次去除 |

八、高速低粗糙度磨削

一般所谓低粗糙度磨削是指砂轮速度在 $10\sim 30\text{ m/s}$ 范围。表面粗糙度越低, 所采用的速度也越低, 同时要求砂轮粒度也越细, 还须采用高精度磨床。目前, 在试验推广高速低粗糙度磨削, 可在普通磨床采用粗粒度砂轮进行磨削, 达到 $R_a \leq 0.02\ \mu\text{m}$ 的要求。

高速低粗糙度磨削与低速磨削相比, 切屑形成机理发生变化, 磨粒切削刃的切削能力加强, 即使在光磨若干行程后, 借助工艺系统的弹性恢复, 仍能切下微量的金属, 而不致产生隆起和堆积现象。因此, 随着光磨次数的增加, 工件表面粗糙度也逐次降低。高速低粗糙度磨削的工艺参数及效果对比如下:

(一) 修整用量提高

图 5.6-8、图 5.6-9 分别显示修整导程 f_d 、修整深度 a_d 对表面粗糙度的影响。从图中可看出, 采用 $v_s = 50\text{ m/s}$ 高速磨削时, 在较大的修整用量下 ($f_d = 0.1\text{ mm/r}$, $a_d = 0.01\text{ mm/单程}$), 仍能稳定获得 $R_a 0.04\ \mu\text{m}$ 的要求, 而与 $v_s = 20\text{ m/s}$ 相比, 在同样修整条件下, 表面粗糙度要低出很多。由图中可看出, 为了达到同一表面粗糙度要求 (例如 $R_a = 0.04\ \mu\text{m}$), 则修整效率可提高 5 倍以上。

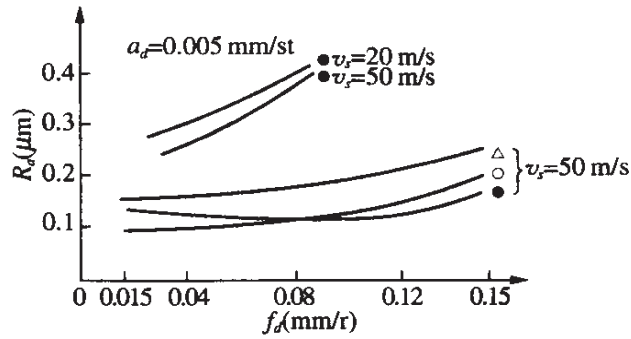


图 5.6-8 f_d 对 R_a 的影响

材料: \triangle —QT \bullet —45 \circ —40Cr

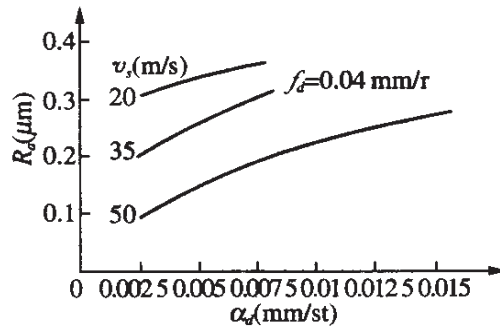


图 5.6-9 a_d 对 R_a 的影响

(二) 金属切除率提高

图 5.6-10、图 5.6-11 分别为工作台纵向进给速度 v_f 和砂轮径向进给量 f_r 对工件表面粗糙度影响曲线。当 $v_s = 50$ m/s, 图

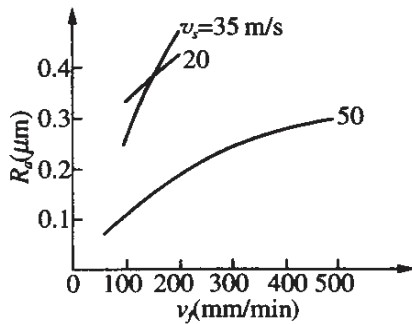


图 5.6-10 v_f 对 R_a 的影响

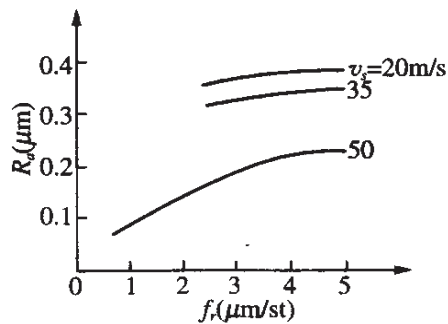


图 5.6-11 f_r 对 R_a 的影响

$f_r = 0.0025$ mm/st; $q = 170$; $N = 3$ (光磨次数) $v_f = 100$ mm/min; $q = 170$; $N = 3$ (光磨次数)

中 $v_f=500$ mm/min 和 $f_r=5$ $\mu\text{m}/\text{st}$ 时, 仍可获得低于 $R_a0.04$ μm 的粗糙度。相反, 如保持 $R_a0.04$ μm 不变, 当 $v_s=20\text{m}/\text{s}$ 时, 必须降低 v_f 和 f_r 。显然, 高速磨削使金属切除率提高, 磨削效率提高。同时由于加快了工作台速度, 就降低了对机床工作台低速时的稳定性要求。

(三) 砂轮耐用度提高

低速磨削时, 为了获得低粗糙度表面, 须不断地修整砂轮, 砂轮消耗大。当速度提高后, $v_s=50$ m/s, 单颗磨刃切削厚度减小, 磨刃的切削作用增强, 摩擦抛光作用相对减弱, 磨削力降低, 因此磨刃耐用度高。

(四) 缩短工件加工周期

低速磨削时, 低粗糙度表面不能一次获得, 须在多道工序并更换砂轮逐级达到。而采用高速磨削, 磨前工件表面粗糙度只要求达到 $R_a1.25\sim0.32$ μm , 而且只用同一台磨床, 同一粗砂轮, 在一道工序内就可获得 $R_a0.012\sim0.008$ μm 的表面。大幅度缩短了加工周期, 生产效率显著提高。

(五) 其他经济指标

(1) 因有火花磨削, 对刀方便, 对工人操作技能要求降低。

(2) 易于控制工件的尺寸和形状精度。因砂轮速度提高, 磨削力减小, 砂轮的切削作用增加, 容易消除前道工序留下的误差和表面缺陷而达到工件加工要求。

(3) 生产成本低。高速低粗糙度磨削可在普通高速磨床上使用普通粗粒度高速砂轮进行, 节省了投资, 且提高了生产率, 生成成本降低。

外圆高速低粗糙度磨削主要工艺参数推荐如表 5.6-6。

表 5.6-6 外圆高速低粗糙度磨削工艺参数

| 工艺参数 | 参数值 |
|---------------------------------|--------------|
| 砂轮参数 | WAF(60~80)kV |
| 砂轮速度(m/s) | 50~60 |
| 修整导程(mm/r) | 0.015~0.05 |
| 修整横向进给量(mm) | 0.003~0.005 |
| 纵向进给速度(mm/min) | 100~500 |
| 横向进给量(mm/st) | ≤0.005 |
| 磨前表面粗糙度 R_a (μm) | 0.32~0.8 |

九、硬脆材料镜面磨削

在当前大量使用的新材料中,如各种工程陶瓷、光学玻璃,单晶硅等,它们多属于硬脆材料,用一般切削方法很难达到要求。目前,可采用镜面磨削方法达到精密镜面磨削要求。

(一) 磨削机理

硬脆材料的特点是硬度很高,但韧性、塑性很差,断裂韧性小,切削时主要是以裂纹—扩展—碎裂过程而生成切屑,以一种脆性断裂方式去除材料,因此,加工表面质量差。

硬脆材料的镜面磨削,主要以塑性方式磨削,以塑性剪切方式去除切屑。实验证明,只要去除极小单位切屑,此时产生塑性变形所需的能量小于脆性断裂所需能量,为塑性剪切方式去除材料,而不是脆性断裂方式切除材料。关键是稳定地实现足够小的去除单位切削,就可达到无裂纹,高质量的镜面磨削,表面粗糙度 R_a 可达 $0.003\sim 0.008\ \mu\text{m}$ 。

(二) 对砂轮的要求

砂轮的切削刃应极微小、等高而且要锋利,以实现微细的切除切屑。砂轮在磨削过程中应有较好地保持锋利的能力,以保证切削过程的稳定。为此使用超微细粒度的超硬磨料(金刚石或

CBN)砂轮进行精密镜面磨削。与普通砂轮相比,其特点如下:

(1) 磨粒顶尖角小,尖端锋锐,当切入深度减小,切削层可以经过较小变形而被切除。

(2) 砂轮微刃等高性好,磨粒的实际切削深度很小,处于微量切削,所形成的沟痕很浅,因此可降低表面粗糙度。

(3) 微刃高出结合剂很小,往往容屑空间不够,砂轮易堵塞。

(4) 磨粒在结合剂中固着面积较小,对磨粒把持能力低,磨粒易脱落,因此金属结合剂,特别是铸铁结合剂的出现,大大提高了超硬微粉磨料的把持能力,使磨粒不易脱落,提高了超硬磨料砂轮的利用率。

(三) 采用在线电解方法修整砂轮

使用金属结合剂超硬磨料砂轮,更易发生堵塞问题,同时使砂轮的修整困难。20世纪80年代开始有人用在线电解作用对砂轮进行修整(简称ELID)。即在磨削过程中利用电解作用对砂轮表面的金属结合剂进行微量去除,但对磨料不起作用,从而逐渐露出锋利的磨刃,同时也形成容屑空间。

在磨削时,磨削液同时当作电解液,铸铁基砂轮作为阳极(电刷与砂轮接触),电极作为阴极,在电解电流的作用下砂轮被腐蚀,使磨粒露出砂轮表面,同时,在砂轮表面形成一层氧化物钝化膜,阻止砂轮表面进一步过度电解。当磨削时磨粒开始磨钝后,钝化膜开始被破坏,电解作用又继续进行,因此使磨刃始终保持切削作用。钝化膜还可避免铸铁结合剂划伤工件表面,而钝化膜还有一定的摩擦抛光作用,有效地改善加工表面质量。

(四) 硬脆材料镜面磨削对机床的要求

对机床的要求与普通镜面磨削相同。只是更强调机床主轴具有极高的动态刚度,且轴向、径向跳动小于 $0.001\ \mu\text{m}$;进给系统刚性好,平滑、无蠕动;主轴砂轮系统要求精密平衡、无震动;砂轮经平衡后,要高精度修整整形;以保证回转偏差不大于 $0.001\ \text{mm}$ 等要求。

第六章 高速重负荷磨削

人们长期认为磨削主要是精加工方法,但近年来已快速向高效化方向发展。例如钢坯表面缺陷层的切除,磨削量大,要求快速切除余量,而对磨削表面质量、加工精度和表面粗糙度等要求不高,故又称为荒磨。高速重负荷磨削主要用于钢坯的修磨,磨除钢锭表面缺陷层(夹渣、结疤、气泡、裂纹和脱碳层),以保证钢材成品最终质量和成材率。此外,还用于大型铸件、锻件的加工,例如大型机床床身铸件的粗磨及铸锻件的飞边、毛刺、浇冒口等的清理加工。

一般工业发达国家,100%的合金钢,50%的碳钢要经过修磨,磨除切屑重量约占钢坯重量的3%~7%。可见高速重负荷磨削在磨削加工中占有重要的地位。

第一节 高速重负荷磨削特点和磨削方法

一、磨削特点

高速重负荷磨削与普通磨削相比,具有以下特点。

(1) 采用定负荷自由磨削方式,磨除一定厚度缺陷层。适用于切入量、进给量等磨削条件不确定的荒磨。

(2) 采用高速磨削($v_s = 60 \sim 80 \text{ m/s}$)和高的法向磨削力(可达2 500~5 000 N),金属切除率高,每小时可达100 kg以上。

(3) 在磨削过程中不修整砂轮。为了确保砂轮自锐的能力,同时保证砂轮消耗不致过大,须选择合适的砂轮。

(4) 多采用干磨方式,因此工件表面易发生烧伤。

二、磨削方法

(一) 90°磨削法

90°磨削法(见图 6.1-1)也称横向修磨法,在磨削过程中砂轮端面与进给方向相垂直。其主要工艺参数为:砂轮速度 $v_s = 60 \text{ m/s}$,纵向进给速度 $v_{fa} = 40 \sim 50 \text{ m/min}$,法向磨削力 $F_n = 3\ 000 \sim 5\ 000 \text{ N}$,机床功率 $P = 60 \sim 120 \text{ kW}$ 。

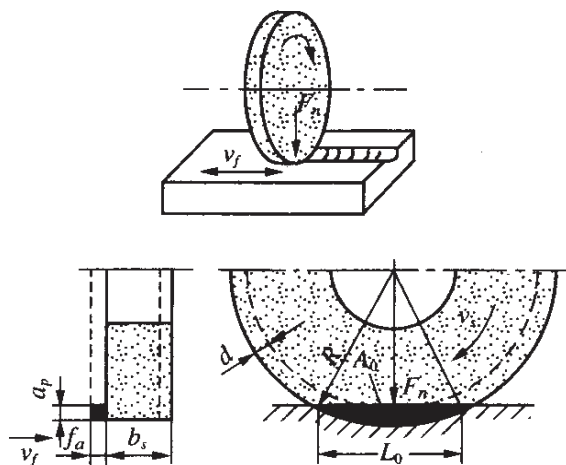


图 6.1-1 90°磨削法示意图

当用新砂轮修磨时,砂轮端面磨粒承受较大的磨削力,磨粒很快发生破碎或脱落,经短时间使用后,砂轮侧面产生圆角(图 6.1-2),后逐渐在砂轮宽度方向上形成半径较大的圆弧。

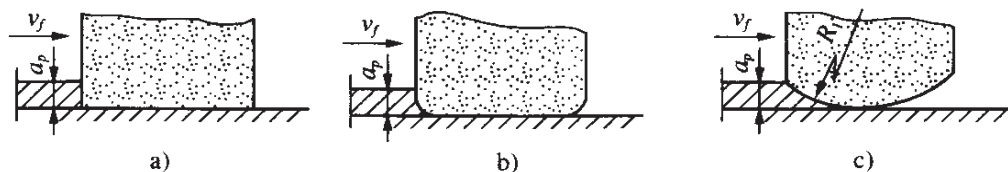


图 6.1-2 砂轮宽度方向圆弧的形成

90°磨削法主要参数的计算见表 6.1-1。

表 6.1-1 90°磨削法参数计算公式

| 磨削参数 | 公 式 | 备 注 |
|---------------------------------|---|------------------------------------|
| 砂轮修磨宽度(mm) | $L_0 = 2 \sqrt{d_s a_p - a_p^2}$ | d_s ——砂轮直径(mm) |
| 砂轮与钢坯接触弧长 (mm) | $L_c \approx 2 \sqrt{d_s a_p}$ | a_p ——背吃刀量(mm) $D_1 = 2R_1$ |
| 砂轮与钢坯接触面积 (mm ²) | $A_0 = \frac{\pi}{2} a_p \sqrt{d_s D_1}$ | C_g ——砂轮表面单 位面积上磨 粒数 |
| 单颗磨粒未变形切屑 的平均厚度(mm) | $\bar{a}_g = \sqrt{\frac{1}{2\pi \operatorname{tg} \theta C_g} \frac{v_f}{v_s} \sqrt{\frac{a_p}{d_s}}}$ | $J = D_1/d_s$ θ ——磨粒顶角之半 |
| 金属切除率(mm ³) | $Z = \sqrt{d_s a_p^3 v_f \rho}$ | ρ ——金属材料相对 密度 |
| 背吃刀量 a_p (mm) | $a_p = \left[\frac{Z}{\rho v_f d_s^{1/2}} \right]^{2/3}$ | |

由表中公式可看出,在钢坯磨削时,提高 v_s , 增大 d_s , 减小 v_f 和 a_p , 可减少切屑厚度, 有利于提高砂轮寿命。但 d_s 的影响远不如 v_s 与 v_f 对切屑厚度的影响大。

(二) 45°磨削法

采用 45°修磨比 90°修磨具有以下优点。

(1) 在相同条件下, 修磨宽度 L_{02} 几乎比 90°修磨增加一倍(图 6.1-3), 因此 45°修磨时间短, 生产效率提高。

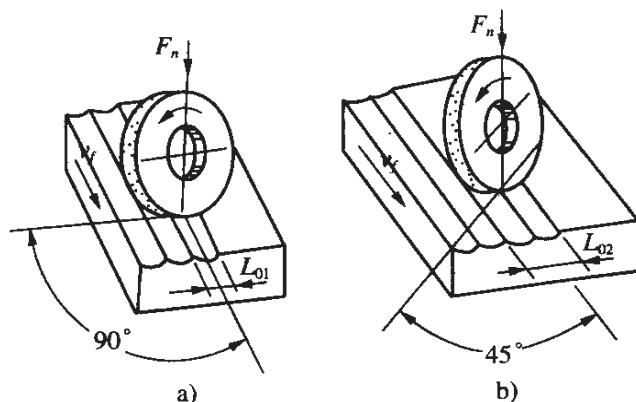


图 6.1-3 90°与 45°磨削法比较

L_{01} 、 L_{02} —修磨宽度

(2) 磨痕可适当覆盖,形成较平滑的表面(图 6.1-4),提高钢坯加工表面质量,并可节约钢坯材料约 1%。

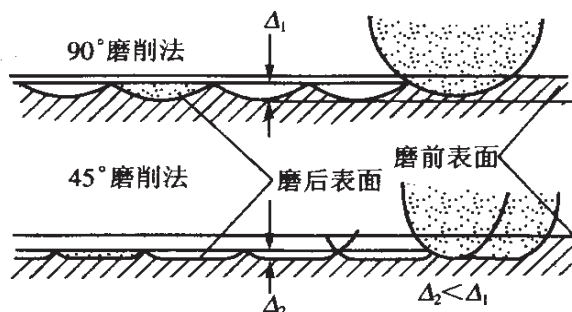


图 6.1-4 钢坯表面残留面积高度

(3) 砂轮与钢坯接触面积大,砂轮可顺利越过棱边和凹凸不平的表面,适于磨削弯曲度大、表面不平的钢坯。

(4) 砂轮与钢坯接触面积大,使散热条件改善,减少钢坯表面烧伤程度。

45°修磨要求砂轮轴线转一定角度,机床需增加一些附加机构,因此机床较复杂。当转动砂轮主轴使砂轮端面与钢坯往复运动方向一致时,则称为 0°修磨。

(三) 热修磨法

热修磨法的优点:

(1) 当磨高合金耐热钢时,极易出现裂纹,当加热至 250~500°C 时修磨可防止裂纹的产生。

(2) 金属切除率高。例如,在 650°C 时修磨不锈钢钢坯,金属切除率比不加热时可提高 40% 左右。

(3) 可提高磨削比,增加砂轮使用寿命。例如,温度在 540°C 时,磨削比比常温时可增加 16%,因为在高温下,磨削力降低,致使磨粒脱落、破碎的情况降低。

(4) 比磨削能降低。当温度在 650°C 时,比磨削能下降 30% 左右,节约能源,降低磨削成本。

(5) 热修磨法可利用铸造或锻造的余热,将修磨组成连续作业线,既节省辅助时间,又可节约能源。

(6) 可获得较好的表面质量。

(四) 砂带修磨法

在磨削刚性极差的带钢和线材时,采用砂带修磨更具有适应性,而且修磨后表面粗糙度低(参见第八章砂带磨削)。

三、磨削工艺参数对磨削过程的影响

(一) 金属切除率(Q_w)

金属切除率,根据试验可得如下公式:

$$Q_w = KF_n^\beta \cdot v_s^\alpha \text{ (kg/h)}$$

式中 $\alpha=1.5\sim 2.8$

$\beta=1.7\sim 2.2$

K ——系数,因砂轮与钢材而异

当砂轮为 A16QBP,钢坯材料为 60Si2Mn, $v_w=25$ m/min, $v_s=60$ m/s, $F_n=1\ 000$ N 时,公式为: $Q_w=3.61 \times 10^{-8} v_s^{2.76} F_n^{1.98}$ (kg/h)

从式中可看出,提高 v_s ,同时增大磨削压力是提高金属切除率的最重要途径。

(二) 砂轮磨损率(Q_s)及磨削比(G)

砂轮磨损率 Q_s (kg/h)指每小时砂轮消耗量。 Q_s 随 F_n 及 v_s 的增加而增加,其磨损率较其他磨削方式大得多。

磨削比 $G=\frac{Q_w}{Q_s}$,表征砂轮的抗磨损性能,表示消耗单位重量的砂轮所能磨除的金属量。 G 随 F_n 的增大而降低,随 v_s 的提高而相应增高。

(三) 法向磨削力和磨削功率

由于砂轮未经过平衡,加上磨损量不均匀,磨削时产生的震动

对法向磨削力影响很大,其变化频率与砂轮角频率相同,实际法向分力 F_n 的极限值分别为:

$$F_{n\max} = F + \frac{W}{g} e \omega^2 (\text{N})$$

$$F_{n\min} = F - \frac{W}{g} e \omega^2 (\text{N})$$

式中 F ——磨削压力
 W ——砂轮重量
 e ——砂轮偏心距
 ω ——砂轮角频率
 g ——重力加速度

在计算主电动机功率时,应考虑实际法向分力。磨削功率可由下式估算:

$$P_m = 0.0025 F_n v_s (\text{kW}) \quad \text{当 } Q_w \geq 50 \text{ kg/h}$$

$$P_m = 0.0021 F_n v_s (\text{kW}) \quad \text{当 } Q_w < 50 \text{ kg/h}$$

或按下列经验公式计算:

$$P_m = 2.2 Q_w^{0.65} (\text{kW}) \quad \text{当 } Q_w < 80 \text{ kg/h}$$

$$P_m = 0.48 Q_w (\text{kW}) \quad \text{当 } Q_w = 80 \sim 200 \text{ kg/h}$$

(四) 比磨削能 \bar{u}_c

在钢坯磨削中常以比磨削能来衡量电能的消耗,即以切削单位重量的金属所消耗电能的多少来衡量 $[(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{kg}]$ 。一般随着 v_s 和 F_n 的增加,比磨削能 \bar{u}_c 明显地降低,见表 6.1-2。

表 6.1-2 磨削参数对磨削过程的影响

| 磨削参数 | | v_s | 40 m/s | 50~60 m/s | 80 m/s |
|-------|----------|-------|--------|-----------|---------|
| | | F_n | 500N | 2 000 N | 4 000 N |
| 砂 轮 | | | A16QB | A12QB | A12QB |
| Q_w | 数值(kg/h) | | 6 | 40~50 | 150 |
| | 相对比值 | | 100% | 670%~830% | 2 500% |

续 表

| 磨削参数 | | v_s | 40 m/s | 50~60 m/s | 80 m/s |
|-------------|-------------|-------|--------|-----------|---------|
| | | F_n | 500N | 2 000 N | 4 000 N |
| \bar{u}_c | 数值(kW·h/kg) | | 0.61 | 0.48 | 0.35 |
| | 相对比值 | | 100% | 79% | 57% |

从表中可看出,提高 v_s 和 F_n , 不仅可大幅度提高金属切除率 (Q_c), 而且可降低切削所消耗的电能, 从而有利于提高磨削效率和降低成本。从表中还可看出, 与普通磨削 ($v_s = 40$ m/s, $F_n = 500$ N) 相比, 高速重负荷磨削 \bar{u}_c 值要低得多, 这也是钢坯修磨的一个特点。

四、砂轮参数的选择

高速重负荷磨削的砂轮是在高速和高压下进行强力磨削, 因此要求砂轮具有很高的强度。近 20 年来, 大都采用热压成形锆刚玉树脂砂轮, 代替普通刚玉砂轮。

(一) 磨料

磨料应选用优质高韧性的, 常用的磨料种类及性能见表 6.1-3。

表 6.1-3 各种磨料性能及磨削比(G)

| 磨料 | 使用性能 | 磨削比 G | |
|----------------------------------|------------------------------|-------|-------------------|
| | | 合金钢 | 不锈钢 1Cr18Ni9Ti |
| 微晶刚玉 MA(相当美 52A) | 韧性大, 强度高, 自锐性好, 适于修磨碳素钢 | 100 | 95 |
| 铝氧粉烧结刚玉(相当美 76A) | 韧性好, 适于修磨不锈钢 | 130 | 140 |
| 矾土烧结刚玉(相当美 75A) | 强度不高, 但韧性好, 适于修磨不锈钢 | 140 | 150 |
| 锆刚玉 GA(ZrO_2 10%) (相当美 ZS) | 韧性和耐磨性显著提高, 适于高压重负荷修磨合金钢、不锈钢 | 120 | 140 |

续 表

| 磨 料 | 使用性能 | 磨削比 G | |
|---|--|-------|-------------------|
| | | 合金钢 | 不锈钢 1Cr18Ni9Ti |
| 锆刚玉 GA(ZrO ₂ 25%) (相当奥地利 28A) | 韧性和强度高,寿命长, 适于高压重负荷修磨耐热 合金、不锈钢 | 150 | 140 |
| 烧结刚玉(相当奥地 利 13A) | 每个颗粒都具有相同棒 状,韧性很高,很少破碎, 多为磨耗磨损,适于修磨 合金钢及较光整表面 | 210 | 170 |

由表中看出锆刚玉砂轮的磨削比较高,耐磨性好,适于修磨钢坯。其他刚玉由于价廉、韧性好,也可采用。在国外钢坯修磨多用锆刚玉砂轮。

(二) 结合剂

高速重负荷砂轮普遍采用结合强度高,略有弹性的酚醛树脂作结合剂。修磨时,此结合剂易被磨削区高温烧损,有利于砂轮的自锐作用,以保持砂轮较好的切削性能,又可减轻工件表面烧伤。但这种结合剂砂轮抗碱性差,在潮湿的气候下也会受到影响,因此,要注意保管,存放期不能超过一年。

(三) 粒度

为了使砂轮在高速重负荷条件下,增大单颗磨粒切深,减少砂轮表面堵塞,一般采用粗粒度(见表 6.1-4)

表 6.1-4 高速重负荷砂轮常用粒度

| 加 工 要 求 | 粒 度 |
|-----------------------|---------|
| 高压重负荷修磨高合金钢,工件表面无光整要求 | F6~F14 |
| 修磨高级合金钢,工件表面有一定光整要求 | F14~F20 |
| 修磨高级合金钢,工件表面有光整要求 | F16~F30 |

(四) 硬度

为了使砂轮在高速重负荷条件下磨粒不易脱落,砂轮的硬度应比一般磨削砂轮硬度高,通常在 P~Y 范围内选用,见表 6.1-5。

表 6.1-5 钢坯磨削砂轮硬度

| 硬 度 等 级 | | | 磨削压力 (N) |
|---------|------|-----|--------------|
| 大 级 | 小 级 | 国 标 | |
| 中 硬 | 中硬 1 | P | 500~1 500 |
| | 中硬 2 | Q | |
| | 中硬 3 | R | |
| 硬 | 硬 1 | S | >1 500~2 000 |
| | 硬 2 | T | |
| 超 硬 | | | >2 000~6 000 |

随着砂轮速度和磨削压力不断提高,砂轮硬度也相应增高,国外现大多采用超硬砂轮,参见表 6.1-6。

表 6.1-6 砂轮硬度与磨削技术参数

| 砂轮硬度 | 磨削压力 F_n (N) | 金属切除率 Z (kg/h) | 砂轮主轴功率 P_m (kW) |
|---------------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| Y~Z | 2 000~5 000 | 50~100 | 22~55 |
| Z~Z ⁺ | 4 000~6 000 | 90~250 | 55~110 |
| Z ⁺ ~ZZ ⁺ | >5 000 以上 | 250 以上 | 110 以上 |

注: 1. 国标超硬级暂未分级,美国为 Y、Z;日本为 T、U、V、W、X、Y。

2. Z⁺~ZZ⁺为日本 Ncrite 公司产品。

(五) 组织

为保证砂轮的高强度、大密度,常采用紧密级组织(1~4 号),磨粒率为 60%~54%,砂轮的气孔率很小,趋近于零,砂轮相对密度可

达 $3.5 \sim 4.5 \text{ g/cm}^3$ (一般树脂砂轮相对密度仅为 $2.4 \sim 2.6 \text{ g/cm}^3$)。

(六) 砂轮尺寸

砂轮尺寸见表 6.1-7。

表 6.1-7 修磨钢坯砂轮尺寸

| 砂轮尺寸(mm) (外径×厚度×孔径) | 工作速度(m/s) | |
|------------------------|-----------|----|
| | 45~60 | 80 |
| 400×50×152.4 | • | |
| 457×50×203.2 | • | |
| 500×50×203.2 | • | • |
| 500×50×152.4 | • | |
| 500×50×127 | • | |
| 610×63×203.2 | | • |
| 610×76×203.2 | | • |
| 610×63×305 | • | • |
| 610×76×305 | • | • |
| 910×100×305 | | • |
| 910×125×305 | | |

为保证砂轮在高速回转条件下正常工作,对砂轮基本尺寸、几何精度、允许的静不平衡数值都有较严格规定。为保证砂轮使用安全,便于维持恒速,及时变换主轴转速,在砂轮端面印有变转速标志线和极限线。见表 6.1-8 至表 6.1-11。

表 6.1-8 基本尺寸的极限偏差(mm)

| 砂轮外径 D | | 砂轮厚度 H | | 砂轮孔径 d | |
|----------|------|----------|------|----------------|------|
| 基本尺寸 | 极限偏差 | 基本尺寸 | 极限偏差 | 基本尺寸 | 极限偏差 |
| 500 | ±3 | 65 | +2 | 203.2 | +0.4 |
| 600 | | 75 | -1 | 203.2 304.8 | -0.1 |

表 6.1-9 砂轮几何精度的极限偏差(mm)

| 砂轮外径 | 极 限 偏 差 | | | | |
|------------|---------|-----|-----|------|-----|
| | 平行度 | 同轴度 | 平面度 | 圆度 | 圆柱度 |
| 500 600 | 0.7 | 0.5 | 1.5 | 0.75 | 1.2 |

表 6.1-10 允许的静不平衡数值

| 砂轮厚度 <i>H</i> (mm) | 砂轮外径 <i>D</i> (mm) | | 砂轮孔径 <i>d</i> (mm) |
|-----------------------|--------------------|-----|-----------------------|
| | 500 | 600 | |
| | 允许的不平衡数值(g) | | |
| 65 | 114 | — | 203.2 |
| 75 | — | 152 | |
| | | — | 136 |

表 6.1-11 砂轮变速极限标志线(mm)

| 砂轮直径 | 变速线的直径 | | | |
|------|--------|-----|-----|-----|
| | 第一条 | 第二条 | 第三条 | 极 限 |
| 500 | 450 | 400 | 350 | 330 |
| 600 | 540 | 480 | 420 | 400 |

五、对钢坯磨床的要求

(一) 机床动力

机床动力应足够大,要求在 60~120 kW 范围内。

(二) 机床主轴系统

由于砂轮轴端要承受上吨重的磨削压力,转速高达 2 000~4 000 r/min,以及砂轮不平衡引起的震动,要求主轴系统能承受高

速、重载、高震动的工作条件,其结构要求:

(1) 采用大直径主轴,以加强主轴的刚性。

(2) 主轴宜采用多列配置的滚动轴承作前后支承,载荷重的前端多采用滚柱轴承,以增强支承刚性和抗震性。

(3) 主轴采用稀油强制方式润滑。

(三) 动力传动系统

(1) 带传动:常采用同步齿形带和大功率三角带传递功率。此结构简单,成本低,但功率损耗较大,对传动带要求高。

(2) 齿轮传动:齿轮传动功率损失小,但对齿轮精度要求高,结构复杂,这种传动多用于直流电机无级变速。

(3) 皮带-齿轮传动:为便于角度修磨,前部采用皮带传动,最后一级采用螺旋锥齿轮传动。

(4) 直联传动:利用液压电机与主轴直联。这种结构简单、灵活。适于局部修磨机床动力传动。

(四) 工作台

应具有夹紧与翻坯系统。工作台的移动速度在 40~60 m/min 范围。

(五) 排屑除尘设备

由于钢坯磨削生产率高,每小时磨除金属可达 100~200 kg,砂轮消耗量也相应在上百千克左右,因此要求配置可靠的集屑排尘设备,以保证良好的作业环境。

六、常见的问题及解决途径

(一) 砂轮黏屑现象

高速重负荷磨削,其切屑形态可分为:带状切屑、熔融型片状屑(为砂轮表面黏屑部分脱落)、熔融型球状屑、复合型切屑(带状屑-熔融型)。部分熔融型切屑在砂轮前方挡板上形成熔屑堆,有时导致磨床吸尘口被堵塞。熔融型切屑在高温高压下,在磨粒切

刃上产生黏结物,在砂轮表面上形成切屑黏着型堵塞。从外观上看,砂轮表面形成大小不一、分布不均匀的黏屑亮点。

黏屑结果使磨粒丧失切削能力。此时摩擦加强,大量摩擦热传入钢坯表面,引起表面烧伤,同时使金属切除率显著降低,比磨削能 \bar{u}_c 增加。

影响黏屑因素较大的为磨削速度和磨削压力。当 v_s 增加时,带状切屑变细变薄,熔融型切屑比例增大,黏屑加重;当磨削压力增加时,带状切屑变粗变厚,黏屑现象减轻。

(二) 钢坯表面烧伤

1. 影响表面烧伤的因素

(1) v_s 及 F_n 对烧伤影响较大。随着 v_s 及 F_n 的提高,钢坯表面烧伤加剧,甚至出现大面积烧伤。

(2) 进给速度 v_w 增加时,可适当降低磨削区温度,减轻钢坯表面烧伤。

(3) 砂轮震动对烧伤的影响:砂轮震动将引起瞬时磨削深度不断变化,结果在钢坯表面产生波形月牙震纹,在月牙底部由于切深大,热量集中不易传出,因而产生条纹状深度烧伤,见图 6.1-5。

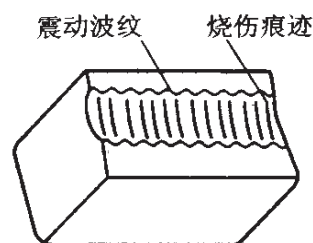


图 6.1-5 砂轮震动对烧伤的影响

2. 减轻烧伤的途径

(1) 根据磨削条件选择相应的砂轮。粒度选粗些,硬度选低些,可减轻工件烧伤。

(2) 提高钢坯纵向进给速度。钢坯进给速度与砂轮速度之比值 $k_v = \frac{v_f}{v_s} = \frac{1}{60} \sim \frac{1}{100}$ 为宜。

(3) 钢坯表面要求较高时,可先采用高速重负荷磨削,以切除钢坯表面缺陷层,然后再采用较软砂轮进行轻负荷磨削,以清除表面烧伤层。

(4) 采用冷却措施。当不宜采用水溶性磨削液时,可采用吹风冷却。

第二节 高速切断磨削

切断磨削指用大直径薄片砂轮以切入方式进行切断或切槽加工。

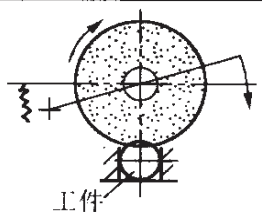
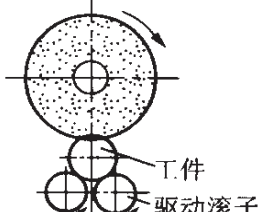
普通磨削时,热源在整个磨削表面上移动,而切断磨削,热源几乎集中在砂轮前进方向的待磨层,使材料的机械强度降低。因此,当砂轮切入进给量大,砂轮磨损反而因负荷增加而相对有所减小,磨削比 G 比普通磨削低。当砂轮在不发生弯曲和破碎的限度内,采用高速重负荷磨削有利。

切断磨削的特点:可切断各种高硬材料、电缆、管件、建材、轴承、磁铁、硅钢片等材料;时间短、效率高、砂轮不须修整;设备简单、操作方便,成本低。

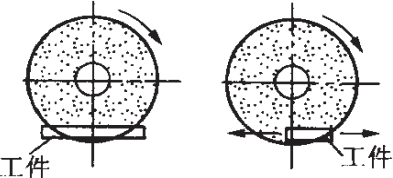
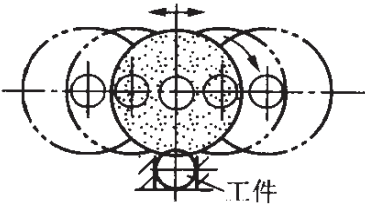
一、切断磨削方式

切断磨削方式见表 6.2-1。

表 6.2-1 切断磨削方式

| 切断方式 | 特点 | 备注 |
|---|--|----------|
|  | 悬挂式,工件固定安装,以手动下压切断工件 | 应用普遍 |
|  | 工件旋转,砂轮切入工件。此方式较悬挂式效率高,相同的砂轮直径,可切断工件直径加倍 | 用于切断较大工件 |

续 表

| 切断方式 | 特 点 | 备 注 |
|---|--------------------|----------|
|  | 横向进给式。砂轮或工件做往复运动 | 多用于板材的切断 |
|  | 往复式。砂轮在切入同时做左右往复移动 | 切断效率高 |

二、切断砂轮参数的选择

切断砂轮多用树脂结合剂砂轮,精密切断或开槽可选用橡胶结合剂砂轮;磨料的选择与普通磨削原则相同,但常用的为棕刚玉A,价格便宜;粒度以F24~F36为主;硬度在M~R中等或中硬范围。多数切断砂轮需采取增强措施。

三、磨削用量

磨削速度 v_s 不宜太低,常用的磨削速度为,树脂砂轮 $v_s=35\sim 60\text{ m/s}$,橡胶砂轮 $v_s=30\sim 45\text{ m/s}$ 。切入进给速度不宜太慢,当磨削热向工件深处传导的速度超过砂轮的切入速度,工件温度会升高,树脂结合剂会因温度过高而丧失黏结能力,砂轮的磨损、消耗增快。因此,切断磨削宜采用高速、大进给磨削。切断磨削时冷却作用很重要,砂轮与工件接触弧长度越短冷却周期越长,因此切断工件尺寸较大时,应相应增加砂轮的直径。同时在条件许可时,尽量采用水基磨削液进行冷却。

第三节 清理磨削

清理磨削是指切入量、进给量都不确定的磨削,例如去毛刺、飞边、刻痕、氧化层、锈斑、浇冒口、焊缝、修磨圆角、清理表面缺陷层、改善表面粗糙度和精度的抛光等。使用的设备有携带式砂轮机、台式砂轮机、摆动式砂轮机等,多以手动方式进行磨削。

清理磨削速度,一般为 $16\sim 35\text{ m/s}$ 的范围。例如橡胶结合剂砂轮,硬度低的选小值,硬度高的选大值。

砂轮的粒度,手动磨削选 F16~F36 粒度;台式、携带式砂轮机选 F24~F46;摆动式砂轮机选 F16~F24;平板砂轮机选 F16~F24;表面抛光和修饰精磨可选 F80~F250 范围。

砂轮的硬度一般选取 S、T 级或超硬级 Y 级;在平板砂轮机上应用,可选中硬级 P~R 级。

结合剂一般选用树脂结合剂,有时也选用陶瓷结合剂。当磨窄槽和加工不同弯曲半径的表面或抛光用砂轮,宜选用橡胶结合剂。

第七章 超硬磨料磨具磨削

第一节 金刚石砂轮磨削

一、金刚石砂轮磨削的特点

(1) 金刚石的硬度高、耐磨性好,适于加工各种高硬度、高脆性材料,如硬质合金、陶瓷、宝石、光学玻璃和半导体材料等。

(2) 金刚石砂轮磨削能力强、耐用度高,磨削效率高。

(3) 磨粒切刃锋利,磨削力小,磨削温度低,有利于提高工件加工精度和降低表面粗糙度。可避免工件烧伤、裂纹及表面组织变化等疵病。

(4) 金刚石砂轮使用寿命长,磨耗小,节约工时,使用经济。

(5) 修整较困难。

二、金刚石砂轮磨削用量的选择

(一) 磨削速度

人造金刚石砂轮一般都采用较低速度,具体数值见表 7.1-1。虽然砂轮速度提高可获得较低的表面粗糙度,但磨削温度随之升高,砂轮磨损加剧。但速度太低单颗磨粒切削厚度加大,将使工件表面粗糙度增大,同时也导致砂轮磨损增加。通常干磨时砂轮速度 v_s 要低些;金属结合剂比树脂结合剂砂轮速度要低些;深槽或切断磨削也应选用较低的砂轮速度。

表 7.1-1 金刚石砂轮磨削速度

| 结合剂种类 | 冷却方式 | 砂 轮 速 度 v_s (m/s) | | | |
|-------|------|---------------------|-------|-------|-------|
| | | 平面磨削 | 外圆磨削 | 内圆磨削 | 刀具刃磨 |
| 金属结合剂 | 干 磨 | — | — | 10~15 | 10~15 |
| | 湿 磨 | 15~25 | 15~25 | 15~20 | 15~25 |
| 树脂结合剂 | 干 磨 | — | — | 12~20 | 15~20 |
| | 湿 磨 | 25~30 | 20~30 | 12~25 | 18~25 |

(二) 背吃刀量

背吃刀量增大时,磨削力和磨削温度显著增大。一般考虑磨粒突出黏结剂约为磨粒的三分之一。如果过大,结合剂对磨粒的把持力就下降,会使磨粒脱落加快。如果太小,气孔减少,磨粒切入就困难,排屑不易。因此,磨削深度与磨粒的粒度、结合剂种类有关,与磨削方式也有关。一般可按表 7.1-2 选择。

表 7.1-2 背吃刀量的选择

| 金刚石粒度 | 磨 削 方 式 | | | |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 平 面 磨 削 | | 外 圆 磨 削 | |
| | 金属结合剂 | 树脂结合剂 | 金属结合剂 | 树脂结合剂 |
| 70/80~120/140 | 0.010~0.025 | 0.010~0.015 | 0.015~0.030 | 0.010~0.020 |
| 140/170~230/270 | 0.005~0.015 | 0.005~0.010 | 0.009~0.015 | 0.005~0.010 |
| 270/325 及更细 | 0.005~0.007 | 0.002~0.005 | 0.005~0.008 | 0.002~0.005 |
| 金刚石粒度 | 磨 削 方 式 | | | |
| | 内 圆 磨 削 | | 刀 具 刃 磨 | |
| | 金属结合剂 | 树脂结合剂 | 金属结合剂 | 树脂结合剂 |
| 70/80~120/140 | 0.007~0.010 | 0.005~0.010 | 0.010~0.030 | 0.010~0.020 |
| 140/170~230/270 | 0.005~0.007 | 0.005~0.007 | 0.008~0.020 | 0.005~0.015 |
| 270/325 及更细 | 0.002~0.007 | 0.001~0.007 | 0.005~0.010 | 0.005~0.009 |

(三) 工件速度

工件速度一般在 10~20 m/min 范围内选取。内圆磨削及细粒度砂轮磨削,可适当提高工件速度,在 20~40 m/min,但不宜过高,否则砂轮的磨损加快,磨削时震动也大,并出现噪音。

(四) 进给速度

进给速度增大,砂轮磨耗增大,表面粗糙度增高,特别是对树脂砂轮更严重。一般选用范围见表 7.1-3。

表 7.1-3 进给速度的选择

| 磨削方式 | 进给运动方向 | 进给速度(m/min) |
|---------|--------|-----------------|
| 内圆、外圆磨削 | 纵向 | 0.5~1 |
| 平面磨削 | 纵向 | 10~20 |
| | 横向 | 0.5~1.5(mm/双行程) |
| 刀具刃磨 | 纵向 | 1~2 |

注: 1. 平面磨削纵向进给速度即工件速度;横向进给速度即轴向进给量。

2. 横向进给速度,不能超过磨料层的 1/4 宽。

第二节 立方氮化硼砂轮磨削

一、立方氮化硼砂轮磨削特点

立方氮化硼(CBN)砂轮的的特性要素选择与金刚石砂轮类同。但其有以下磨削特点。

(1) 热稳定性好。其耐热性(1 250~1 350℃)比金刚石砂轮(800℃)高,当磨削出现火花时,仍能保持其优良的磨削性能。

(2) 化学惰性强。不易和铁族元素产生化学反应。故适于磨削各种高速钢、工具钢、模具钢和高温合金等高温硬度高、热传导率低的材料。

(3) 耐磨性好。磨削合金钢时其磨耗仅是金刚石砂轮的 1/3 左右,是普通砂轮的 1%。因此,CBN 砂轮寿命长,在整个切削过程中能保持其较好的切削性能,因此有利于实现加工自动化。

(4) 磨削效率高。在加工高速钢、耐热钢和模具钢等合金钢时,其生产率比白刚玉砂轮高 60~100 倍;比金刚石砂轮高 10 倍。

(5) 加工表面质量好。CBN 砂轮磨削能获得高的尺寸精度和低的表面粗糙度,加工表面不易产生裂纹和烧伤,残余应力小。

(6) 加工成本低。虽然 CBN 砂轮价格高,但具有加工效率高、表面质量好、寿命长、容易控制尺寸精度、辅助工时少、废品率低等优点,所以综合成本低。

CBN 砂轮不宜磨削硬质合金及非金属硬材料,在 300℃ 碱性溶液中会分解,在沸水中能微量分解,使用时要特别注意。

二、立方氮化硼砂轮磨削用量的选择

(一) 磨削速度

CBN 砂轮磨削速度可比金刚石砂轮高一些,以充分发挥其磨削性能。CBN 砂轮磨削速度见表 7.2-1。

表 7.2-1 立方氮化硼砂轮磨削速度

| 磨削方式 | v_s (m/s) | | 结合剂种类 | 备 注 |
|------|-------------|-------|-------|-------|
| | 湿 磨 | 干 磨 | | |
| 平面磨削 | 28~33 | 20~28 | 树脂 | 通常用湿磨 |
| 外圆磨削 | 30~35 | 20~28 | 树脂 | 通常用湿磨 |
| 内圆磨削 | 17~25 | 15~22 | 树脂 | 通常用湿磨 |
| 工具刃磨 | 22~28 | 15~25 | 树脂、陶瓷 | 通常用干式 |

随着砂轮速度的提高,砂轮磨耗降低,磨削比增大,加工表面粗糙度降低。所以,在机床、砂轮等加工条件许可下,CBN 砂轮可

以提高磨削速度。例如青铜结合剂砂轮,速度可达 45~60 m/s,用陶瓷结合剂砂轮磨轴承内孔速度可提高到 80 m/s。切断砂轮(宽度大于 8 mm)磨削速度达 80 m/s。通常用湿磨,刀具刃磨有时用干磨。金属结合剂砂轮速度可适当减小些。

(二) 背吃刀量

背吃刀量可参考表 7.1-2 金刚石砂轮背吃刀量的选择。CBN 砂轮热稳定性好,耐磨性好,磨削效率高,所以背吃刀量可略大于金刚石砂轮。

(三) 工件速度和进给速度

工件速度对磨削效果影响较小,一般在 10~20 m/min 范围选择。当选用较高的砂轮速度时,可适当提高工件速度,以减少工件的烧伤情况;精磨时,采用细粒度砂轮,可适应提高工件速度。

轴向进给速度或轴向进给量的选择原则与普通砂轮相同,可参考普通砂轮磨削选取,也可参考表 7.1-2 选取。一般在 0.45~1.8 m/min 范围,粗磨时选大值,精磨时选小值。

第三节 超硬磨料砂轮使用要求

一、使用超硬磨料砂轮对机床的要求

使用超硬磨料砂轮与普通磨料砂轮相比,要求加工稳定性高,震动小,否则会影响加工表面质量和尺寸精度,并使砂轮使用寿命降低,为此要求机床符合下列要求:

- (1) 砂轮主轴回转精度高,一般要求轴向窜动小于 0.005 mm,径向振摆小于 0.01 mm。
- (2) 磨床应有足够的刚度,要求比普通磨床刚度提高 50% 左右。当机床静刚度提高 20% 时,则砂轮寿命可提高 50% 以上。
- (3) 磨床的密封必须可靠,尤其是头架主轴和轴承部分密封

要可靠。

(4) 磨床进给机构的精度要高,应保证均匀准确送进,平稳无窜动,有 0.005 mm/次以下的进给机构。

(5) 磨床应有防震措施。

二、磨削液的选择

超硬磨料砂轮磨削对磨削液除一般磨削要求外,还应考虑砂轮本身的特殊性。与普通砂轮比较,其硬度高、组织致密、气孔少,磨削过程中易被堵塞,要求磨削液具备良好的浸润性和清洗性,黏度要小。当用树脂结合剂砂轮时,湿磨可降低磨削温度,减少磨粒附近结合剂的热分解,比干磨可提高砂轮寿命 40%左右,并可提高加工表面质量。

金刚石砂轮磨削液常用洗涤性强的煤油,也可用轻柴油或低号机械油和煤油的混合油(1:10)。还可用各种水溶性磨削液及弱碱性乳化液。其中以煤油、柴油和水溶性磨削液效果较好。例如,磨硬质合金普遍采用煤油,如磨削时烟雾较大,可用混合水溶液,但不宜使用乳化液。树脂结合剂砂轮不宜使用苏打水及碱性强的乳化液,其 pH 不超过 9,液温不超过 30℃。表 7.3-1 为金刚石砂轮常用的水溶性磨削液配方。

表 7.3-1 金刚石砂轮水溶性磨削液配方

| 成 分 | 配方(重量比) | | 作 用 |
|------|---------|--------|-------|
| | I | II | |
| 聚乙二醇 | 0.03% | 0.04% | 洗涤 |
| 三乙醇胺 | 0.07% | 0.09% | 洗涤 |
| 亚硝酸钠 | 0.44% | 0.31% | 防锈、防腐 |
| 水 | 99.46% | 99.56% | 冲洗、冷却 |

仿形磨削、螺纹磨削与齿轮磨削用极压油性磨削液效果较好，能相应提高加工表面质量，磨削刻痕纹路浅，同时增加砂轮使用寿命。

CBN 砂轮一般不用水溶性磨削液，而多用轻质矿物油（煤油、柴油等）。因 CBN 磨粒在高温下与水会起化学反应，称水解作用，加剧了磨料的磨损。当必须用水溶液时，应加极压添加剂以减轻水解作用。

超硬磨料砂轮如采用干磨工艺时，应适当选择结合剂与粒度，并减少背吃刀量和进给量，以降低磨削温度。

三、超硬磨料砂轮的修整

修整通常包括整形和修锐。整形是使砂轮达到要求的几何形状和精度，同时达到平衡的要求。修锐是指砂轮钝化或不锋利，修整时去除磨粒间的结合剂，使磨粒露出一定高度，以形成切削刃，并使磨粒间有一定空隙，以容纳切屑。

普通砂轮整形和修锐可在一次修整中完成，而对超硬磨料砂轮，往往要分先、后两道工序。因为用单颗粒金刚石来修整超硬磨料砂轮，由于修整工具过快磨损，影响砂轮的形状和尺寸精度。如用金刚石滚轮修整，则可避免修整工具磨损过快。但修整后的形面非常光滑，磨削性能差，还须整形后再行修锐。常用的修整方法如下：

（一）磨削法

磨削法常用绿色碳化硅砂轮和金刚石砂轮修整（图 7.3-1 a）。采用带驱动装置的绿色碳化硅砂轮修整时，被修整表面粗糙，磨料裸露明显，磨削性能好；采用带驱动装置的金刚石砂轮修整时，被修整表面平滑，形状精度高，但磨削性能较差。为了达到超硬磨料磨具有较高的形状精度，同时要求有一定的磨削能力，这时可将以上两种工具结合使用：先用金刚石砂轮修整，以达到较高的形状精度，再用绿碳化硅稍许修一下，以提高其磨削能力。

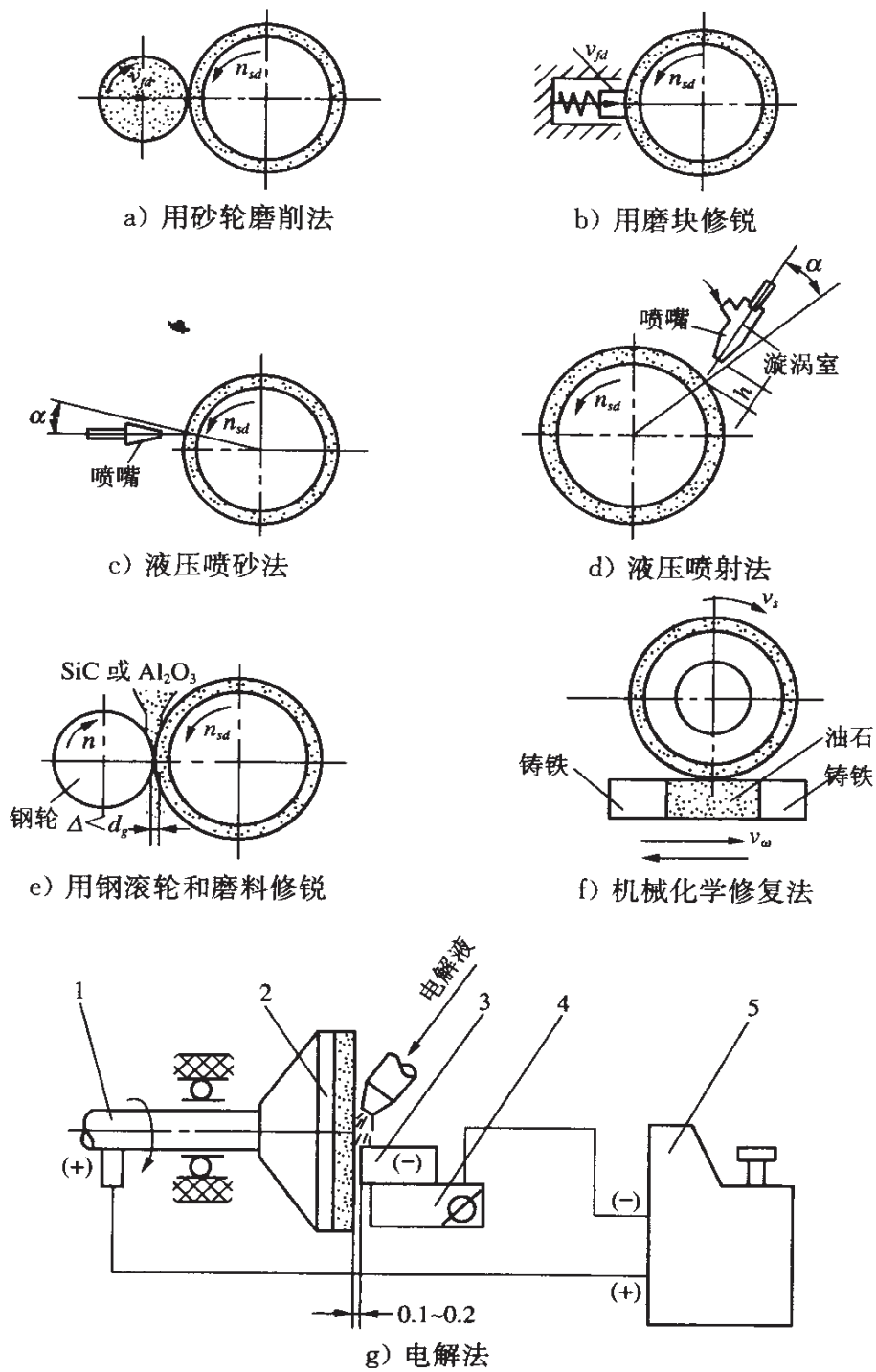


图 7.3-1 超硬磨料砂轮修整法

- 1—主轴 2—金属结合剂砂轮 3—修整块
4—工作台 5—直流电源

绿色碳化硅砂轮的粒度、硬度等应根据被修整砂轮的特性进行选择,具体可见表 7.3-2。

表 7.3-2 修整磨具的选择

| 超硬磨料砂轮 | | 修整用磨具 | | | |
|--------|-----------------|------------|---------|-----|-----|
| 结合剂种类 | 粒 度 | 磨 料 | 粒 度 | 硬 度 | 结合剂 |
| 金属结合剂 | 50/60~100/120 | GC | 60~80 | P~Q | V |
| | 120/140~200/230 | | 100~150 | M~N | |
| | 230/270 及更细 | | 170~200 | K~L | |
| 树脂结合剂 | 70/80~100/120 | GC 或 WA | 80~100 | L~M | |
| | 120/140~170/200 | | 120~180 | K~L | |
| | 230/270 及更细 | | 200~240 | J~K | |

注:修整 CBN 砂轮时,修整磨具的硬度宜较软些。

磨削法修整时,为了提高修整效率和形状精度,应尽量降低被修整砂轮的速度(一般为 20~30 m/min)。而修整砂轮则应用较高的速度(一般为 20~35 m/s)。

背吃刀量,粗修一般为 0.02~0.04 mm/双行程,精修为 0.01 mm/双行程。

修整时应尽可能采用磨削液。

(二) 用磨块修整

磨块修整所用工具为绿色碳化硅或刚玉磨块(图 7.3-1 b)),与超硬磨料磨粒接触后,磨块磨粒被破碎,对树脂结合剂起切削作用,钝化的磨粒因失去结合剂的把持作用而脱落,因此被修整砂轮切削力强。一般采用湿磨法。

用磨块修整的主要缺点是普通磨料砂轮或油石消耗快,修整表面较粗糙,形面精度低。例如修整平行砂轮时,其母线会变成斜线或出现中凸现象。

(三) 液压喷砂法和液压喷射法

液压喷砂法(图 7.3-1 c))以碳化硅或刚玉磨粒从高速喷嘴喷出,喷射到转动的砂轮表面上,因而去除部分结合剂,裸露出切削刃。喷嘴安装角 $\alpha=5^{\circ}\sim 15^{\circ}$,一般喷射时间约 30 s 即可。

液压喷射法(图 7.3-1 d))用高压泵输出冷却液,流量为 20 L/min,压力为 150 Pa。当冷却液进入漩涡室,形成低压吸入大量空气,碳化硅磨粒从边孔进入与冷却液混合,以高速从喷嘴喷出。

此法修锐的砂轮锋利,形面精度较好,修锐时间短。作用角 $\alpha\leq 10^{\circ}$,时间宜短些,可根据情况调整。

(四) 用普通磨料和钢滚轮修锐

钢滚轮和超硬磨料砂轮的圆周速度相等(图 7.3-1 e)),依靠普通碳化硅或刚玉磨粒挤轧超硬磨料砂轮,使磨粒露出结合剂表面。注意两轮的间隙小于碳化硅或刚玉磨粒的直径 d_g 。

(五) 机械化学复合修整法

机械化学复合修整法(图 7.3-1 f)),是利用铸铁和油石对金刚石砂轮进行修整。其作用一是利用金刚石中碳原子和铁原子扩散亲和作用,在金刚石砂轮表面形成碳化铁层,然后经过油石磨去碳化铁层,对金刚石砂轮进行迅速整形;二是油石对金刚石砂轮进行修锐,同时也有一定修整作用。最后在修整完后,去掉铸铁块,再单独用油石对金刚石砂轮进行修锐,进一步提高砂轮的锋利性。

利用铸铁和油石块的修整方法,无需特殊装置,简单易行,易于推广。本方法修整效率及修整精度都比较高。实践证明,整形后砂轮回转精度高,外圆径向跳动量小。

(六) 电解法

电解法是利用电解加工去除表面层的结合剂(图 7.3-1 g))。被修整砂轮接电源正极,铜块接在阴极,利用电解液中的阳极溶解

原理,去除一定量的金属结合剂,使磨钝的磨粒剥落,新磨粒裸露出来,同时对被修整砂轮的形状也有一定的修整作用。

电解常用参数:被修整砂轮与修整块之间隙控制在 0.1~0.2 mm 之间,电压取 8~12 V,电流密度约为 5~10 A/cm²,被修整砂轮的转速取 30~60 r/min。新砂轮一般经过 20~30 min 可处理好,以后再次处理约需 2~10 min。

此法用于金属结合剂导电砂轮,修整效率高。但精度低,电解过程中结合剂会被局部溶解腐蚀,减弱结合强度,降低砂轮的使用寿命,操作上不易掌握。

除上述修整方法外,还有电火花修整法、硝酸液浸蚀修整法、超声波活化法和激光修整法等,但这些方法需要特殊装置,又局限于特定的结合剂,所以推广具有一定的难度,还有待进一步开发。

四、超硬磨料砂轮使用实例

超硬磨料砂轮使用实例见表 7.3-3 和表 7.3-4 所示。

磨孔实例(普通刚玉砂轮与 CBN 砂轮比较)

工件:轴承,磨内孔 $\phi 18^{+0.01}_0$ mm,材料 GCr15,硬度 58~62HRC。

砂轮: $\phi 14 \times 12 - 45$ 带柄砂轮,砂轮主要参数:陶瓷结合剂 VD49*,粒度 230/270,硬度 L,组织 8,浓度 75% * 为奥泰利莱公司产品。

磨削用量: $n_s = 110\ 000$ r/min $v_s = 80$ m/s
 $n_w = 455$ r/min $v_w = 20$ m/min
 $v_f = 400$ mm/min
 $a_p = 0.005 \sim 0.008$ mm/双行程

磨削液:极压乳化液。

磨削效果:与普通刚玉砂轮对比见表 7.3-5。

表 7.3-3 金刚石砂轮使用实例

| | | | |
|---|--|--|---|
| 工 序 | φ30H7 硬质合金铰刀 刃磨前刀面 | 陶瓷片平面磨削 | 花岗石切割 |
| 工件材料 | TG6X | 高铝陶瓷片 | 花岗石 (900 mm×600 mm×20 mm) |
| 机 床 | M6025 万能工具磨床 | M7120A 平面磨床 | 自动液压切割机床 |
| 砂 轮 | 12A2/20 125×13×32 RVD 170/200 B75 | 粗磨 1A1/T2 250×15×75 RVD 100/120 MI100 精磨 1A1/T2 250×15×75 RVD 12~22 B50 | 1A1/T1 480×1.9×50 RVD 60/70 M25 |
| 磨削用量 v_s (m/s) | 粗磨 15, 精磨 20 | 38 | 40 |
| 轴向进给速度 v_f (m/min) | 粗磨 0.5, 精磨 0.01 | 轴向进给量 0.5~1 mm/st | 0.6~0.7 |
| 工件速度 (m/min) | | 12 | |
| 背吃刀量 (mm) | 粗磨 0.01, 精磨 0.002 | 粗磨 0.03, 精磨 0.005~0.01 | |
| 磨削液 | 干磨 | “401”切削油, 5%浓度 | 水 |
| 磨削效果 效率 表面粗糙度 R_a (μm) 工具费用/年* 砂轮耐用度 | 较 GC 砂轮提高 5~10 倍 0.4~0.2 节约 25%~50% 增加 50 倍以上 | 0.4 | 较 GC 砂轮提高 4~7 倍 光亮整洁, 质量提高 节约 60%~75% |

* 与普通磨料磨具相比。

表 7.3-4 CBN 砂轮使用实例

| | | | |
|------------------|--|---|---|
| 工序 | 精磨拉刀底平面 | 轴承套圈外滚道磨削 | 精磨滚珠丝杆 |
| 工件材料 | W10Mo4Cr4V3A1 HRC66~67 | 2916Q1Ni/01 Cr4Mo4V HRC62 | GQ60×8 GCr15 HRC58~62 |
| 机床 | M7120A 平面磨床 | M228 | S7432 丝杆磨床 |
| 砂轮 | 1A1/T2250×10×75×10×3 CBN 100/120 B100 | 1A1/T2 90×50×25 CBN 100/120 B100* | IDD1 450×14×305×10×10 CBN 120/140 V150 |
| 磨削用量 | $v_s = 18.3 \text{ m/s}$ $v_w = 12 \sim 14 \text{ m/min}$ $f_a = 2 \text{ mm/st}$ $f_r = 0.005 \text{ mm/st}$ | $v_s = 35 \text{ m/s}$ $v_w = 20 \text{ m/min}$ $v_f = 0.40 \text{ m/min}$ $v_r = 0.08 \text{ mm/min}$ | $v_s = 30 \text{ m/s}$ $v_w = 1.5 \text{ m/min}$ $f_r = 0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$ |
| 磨削液 | 极压乳化液 | 碳酸钠、亚硝酸钠水溶液 | 特种磨削液, 流量 50~70 L/min |
| 磨削效果表面 粗糙度及其他 | $R_a = 0.4 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 直线度 500 : 0.002 | $R_a = 0.4 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 无烧伤 金属磨除率 $Z = 512 \text{ mm}^3/\text{min}$ 磨削比 $G = 1000$ 砂轮耐用度 $T = 347 \text{ min}$ | $R_a = 0.4 \mu\text{m}$ 精度 D4 无烧伤 加工总长 360 m, 比金刚石砂轮 耐用度提高 16 倍以上 |

* CBN 磨料电镀 Ni 衣。

表 7.3-5 CBN 砂轮与普通刚玉砂轮磨小孔对比

| | 刚玉砂轮 | CBN 砂轮 | 备注 |
|-------------------|---|---|------------------|
| 班产量 | 2 000 件 | 6 500 件 | 效率提高 3~4 倍 |
| 废品率 | 40 件/班产,占 2% | 6 件/班产,占 0.1% | 废品降低约 20 倍 |
| 产品质量 | 表面粗糙度 $R_a=0.2$ | 表面粗糙度 $R_a \leq 0.1$ | 质量达到和超过工件要求 |
| | 圆度 ≤ 0.006 | 圆度 ≤ 0.002 | |
| 砂轮修整成本 | 表面有烧伤情况 | 表面无烧伤 | 砂轮寿命提高 15 000 倍 |
| | 单颗金刚石笔:价 1 800 元 修整一次磨一件 砂轮寿命:共磨 20 件 | 金刚石旋转修整杯:价 3 200 元 修整一次可磨 600~800 件 砂轮寿命:共修整 400~600 次,可磨 300 000 件 | |
| 砂轮消耗成本 | 金刚石笔寿命:2 个月 修整成本:0.02 元/件 | 修整杯寿命:一年 修整成本:0.002 元/件 | 修整成本降低 10 倍 |
| | 一只砂轮价 2 元 成本: $2 \div 20 = 0.1$ 元/件 | 一只砂轮价 3 200 元 成本: $3\,200 \div 360\,000 = 0.009$ 元/件 | 砂轮消耗成本降低 11 倍 |
| 每件工件分摊 砂轮与修整费用 | $0.02 + 0.1 = 0.12$ 元/件 | $0.002 + 0.009 = 0.011$ 元/件 | 砂轮与修整费用成本降低 10 倍 |

以上还不包括机床利用率的提高、工人工资、废品率减少及产品质量改善等所带来的效益。实践证明,应用 CBN 陶瓷结合剂砂轮,对磨轴承、小行星齿轮和油嘴油泵等零件小孔,无疑会带来巨大的经济效益。

第八章 砂带磨削

砂带磨削是用砂带代替砂轮作切削工具的一种先进的磨削方法。砂带磨削的历史由来已久。砂带磨削技术已远远超过原来用作粗加工或抛光的使用范围。砂带磨削的加工效率甚至超过车、铣、刨等粗加工工艺,磨削精度可与砂轮磨削相比,而且对几乎所有材料,金属还是非金属都可进行磨削加工,并能适应各种工件形状的变化,还能磨削特殊曲线形状。

第一节 砂带磨削的机理和特点

一、砂带磨削的一般机理

砂带磨削是由砂带、接触轮、张紧轮、工作台等基本部件组成。其磨削加工机理参见图 8.1-1。

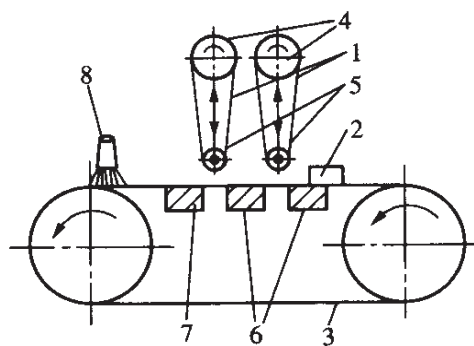


图 8.1-1 砂带磨削机理图

- 1—砂带 2—工件 3—输送带 4—张紧轮
5—接触轮 6—电磁盘 7—脱磁器 8—清洗刷子

接触轮的作用在于控制砂带磨粒对工件的接触压力而使砂带磨粒切削。接触轮一般用钢或铸铁做心,其上浇注一层硬橡胶制成。橡胶越硬,金属磨除率越高,而轮面较软,则磨削表面粗糙度值较低。

张紧轮起张紧砂带的作用,是用铸铁或钢制成的滚轮。张紧力大时,磨削效率高。由于砂带磨粒排列整齐均匀,具有较小的负前角与较大的后角,且可使磨粒同时参加切削,因此效率高,磨削热产生少、散热效果好。

与砂轮磨削相似,切屑的形成也有弹性摩擦变形、刻划、切削三个阶段,但砂带由于具有上述优点,使磨削工件表面残余应力和加工硬化深度均大大低于砂轮磨削。

二、砂带磨削的特点

(1) 砂带磨削效率高,有很高的金属切除率。其效率已达到铣削的 10 倍、普通砂轮磨削的 5 倍。

(2) 由于摩擦产生热量少,且磨粒散热时间间隔长,可有效减少工件变形、烧伤,有“冷态”磨削之称。加工精度一般可达普通砂轮磨削的加工精度,有的尺寸精度可达 ± 0.005 mm,最高可达 0.0012 mm,平面度可达 0.001 mm。

(3) 砂带与工件柔性接触,具有较好的跑合、抛光作用,可磨削各种复杂的成形面,工件表面粗糙度可达 $R_a 0.8 \sim 0.2$ μm 。

(4) 适应性强,可在普通车床、立车、龙门刨床等利用砂带磨头对外圆、内圆、平面等进行磨削加工。

(5) 设备结构简单。接触轮很少磨损,可使砂带保持恒速;传动链短,增加了磨削的稳定性,机床功率利用率达 85% 以上。

(6) 辅助时间少,工件一次定位以后,可多次更换砂带完成全部加工,无需像砂轮那样进行平衡及修整工作。

(7) 操作简单、维修方便,安全可靠,机床有较高的抗震性。

第二节 砂带磨削应用范围和磨削方式

一、砂带磨削应用范围

砂带磨削的应用范围远比砂轮磨削广泛,凡是砂轮磨床不能磨削的大型平面,难以加工的材料等都能用砂带磨削。

(1) 外圆(锥):中、大尺寸的轴类、管件、圆柱形大型容器外表面,以及半径为 3 mm 的线材等。

(2) 内圆:一般通孔、深孔、大型圆柱形容器内表面以及直径 1 mm 左右的小孔。

(3) 平面:各类大型金属板材、卷板材、带材、难磨的不锈钢、钛合金板材,及电子印刷线路板、硅钢片、各种材料的薄片工件、箱体平面、电气轻工产品的平面工件等。

(4) 曲面:各类汽轮机、涡轮机、导航器的叶片,犁铧以及聚光灯反射曲面等,还可加工手表表壳及大型球体容器的内表面。

(5) 各类非金属材料:木材、塑料、石料、混凝土、橡胶及各种高硬度材料,如单晶硅体、宝石等。

(6) 其他:打磨铸件浇冒口残蒂、结渣、飞边,大件及桥梁的焊缝以及大型容器壳体、箱体的大面积除锈、除残漆等。

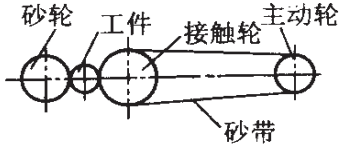
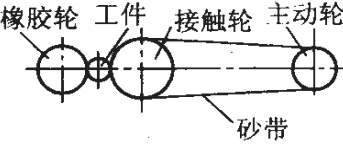
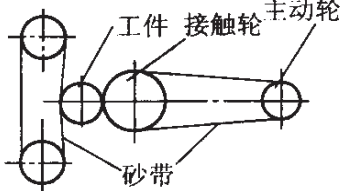
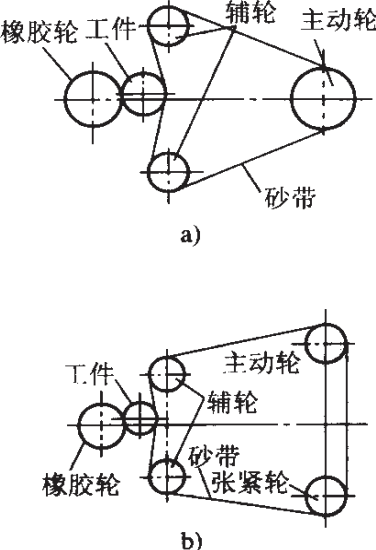
但是,对齿轮、盲孔、阶梯孔以及各种型腔、退刀槽、小于 3 mm 的多阶梯外圆,目前还难以加工。对精度要求很高的工件,也不能与砂轮的高精度磨削相媲美。

二、砂带磨削方式

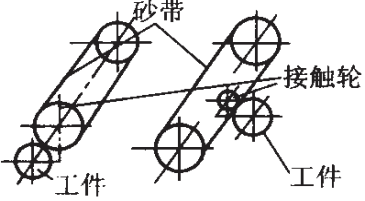
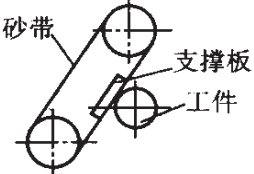
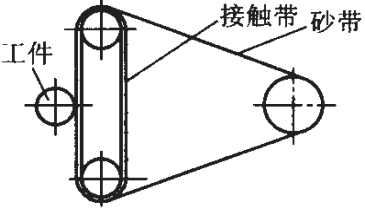
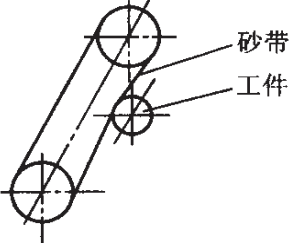
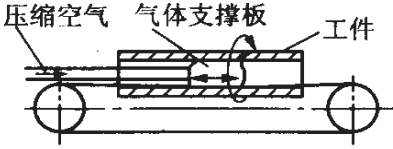
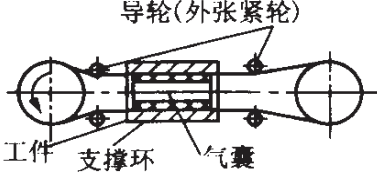
按砂带与工件的接触形式可分为接触轮式、支撑板式、自由接触式与自由浮动接触式几种。

按常规磨削方式分,种类繁多,具体可见表 8.2-1。

表 8.2-1 砂带磨削方式及其特点

| 磨削方式 | 类型 | 示意简图 | 特点 |
|--------------------|------------------------|--|--------------------|
| 砂带 无心砂带 外圆磨削 | 1. 砂轮导轮式 |  | 磨削精度一般,但磨削量较大 |
| | 2. 橡胶导轮式 |  | 磨削精度一般,但磨削量较大 |
| | 3. 砂带充当导轮式 |  | 磨削量很大,但磨削精度较低 |
| | 4. 橡胶导轮加辅轮式有 a)、b) 等形式 |  | 可得到粗糙度很低的表面,但磨削量较小 |

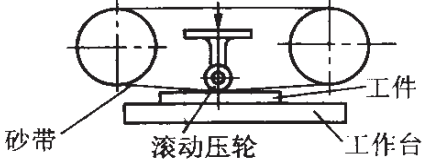
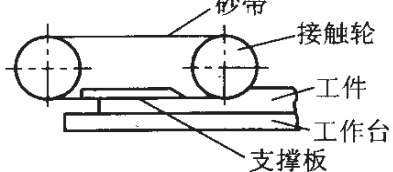
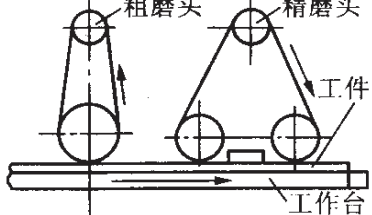
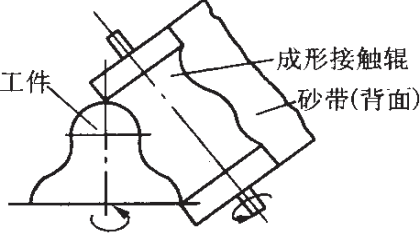
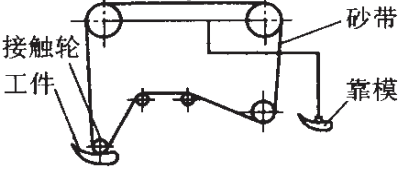
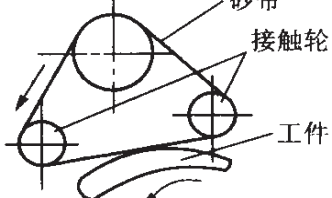
续表

| 磨削方式 | 类型 | 示意简图 | 特点 |
|--------------------|-------------|--|-----------------------------|
| 砂带 定心砂带 外圆磨削 | 5. 接触轮式 |  | 磨削量一般较大,但精度一般 |
| | 6. 支撑板式 |  | 精度较高,但磨削量较小 |
| | 7. 接触带式 |  | 粗糙度低,但其磨削量比接触轮式小 |
| | 8. 自由式 |  | 粗糙度低,磨削量比接触带式小 |
| 砂带内圆磨削 | 9. 黏胶气体支撑板式 |  | 用于细长孔磨削 |
| | 10. 支撑环式 |  | 采用无接头砂带,加工 $\phi 25$ mm以上短孔 |

续表

| 磨削方式 | 类型 | 示意简图 | 特点 |
|--------|------------|------|--|
| 砂带内圆磨削 | 11. 自动爬行式 | | 加工大型管道内壁,磨头自身旋转、行进,可获得粗糙度较低的加工表面 |
| | 12. 旋转式 | | 利用工件旋转,磨头不动或摆动,加工大型筒形(如图a)或球形(如图b)容器内壁,可获得较低粗糙度表面 |
| 砂带平面磨削 | 13. 橡胶接触轮式 | | 图 a,接触轮外缘为平坦形,用以抛光为主,磨削量比较小 图 b,接触轮外缘带槽,以切削为主,工件表面粗糙度较高 |
| | 14. 浮动支撑板式 | | 砂带垂直进给,加工不规则平面工件 |
| | 15. 固定支撑板式 | | 加工规则平面 |

续表

| 磨削方式 | 类型 | 示意简图 | 特点 |
|--------|-------------------|--|---|
| 砂带平面磨削 | 16. 滚动压轮式 |  | <p>滚动压轮可使砂带张紧,与砂带只有滚动摩擦,工作时升温更小</p> |
| | 17. 接触轮与支撑板复合式 |  | <p>切削量较大,粗糙度较接触轮式低</p> |
| | 18. 多磨头(架)单面磨削组合式 |  | <p>使用粗精磨两个磨头(架)组合,同时加工,一次磨削一个平面,适于小批量生产</p> |
| 砂带成形磨削 | 19. 成形接触轮式 |  | <p>应用成形接触轮,并利用砂带自身的柔性,迫使砂带依接触轮形状变形,磨削工件的成形面,工作时工件旋转</p> |
| | 20. 靠模式 |  | <p>主要用于复杂形面的磨削,如航空发动机、汽轮机叶片等,但须配置一套专用装置</p> |
| | 21. 数控式 |  | <p>采用微电脑控制,工件旋转,并用弹性辅轮和砂带自由式、接触轮式接触进行磨削</p> |

续表

| 磨削方式 | 类型 | 示意简图 | 特点 |
|----------|-----|---|--|
| 手持工件砂带磨削 | 22. | <p>The diagrams illustrate three different hand-held sand belt grinding configurations. Diagram (a) shows a workpiece resting on a worktable, with a sand belt looped around two contact wheels positioned above and below the workpiece. Diagram (b) shows a workpiece held between two contact wheels, with the sand belt looped around them. Diagram (c) shows a workpiece on a worktable, with a sand belt looped around a contact wheel above and a support wheel below.</p> | 多用于单件或小批量工件的修磨或抛光,有的可调整上下接触轮间距(如图 a)),有的专用于抛光封闭内环表面(如图 b)) |

第三节 砂带磨削主要部件的结构

一、磨头结构及主要尺寸参数

(一) 磨头的结构

磨头主要由电机、接触轮(或支撑轮)、主动轮、张紧轮、张紧机构、调偏机构及固定支座等组成。根据需要还可增设导轮、辅轮、支撑轮等,还可以由两个或多个磨头(架)构成专机或生产线。

砂带磨头的传动类似于带传动,依靠张紧砂带并由主动轮传递动力。为保证正常工作,还需要一些辅助装置。

(1) 将磨头固定于普通车床或龙门刨床上,利用接触轮加工,弹簧张紧。见图 8.3-1。

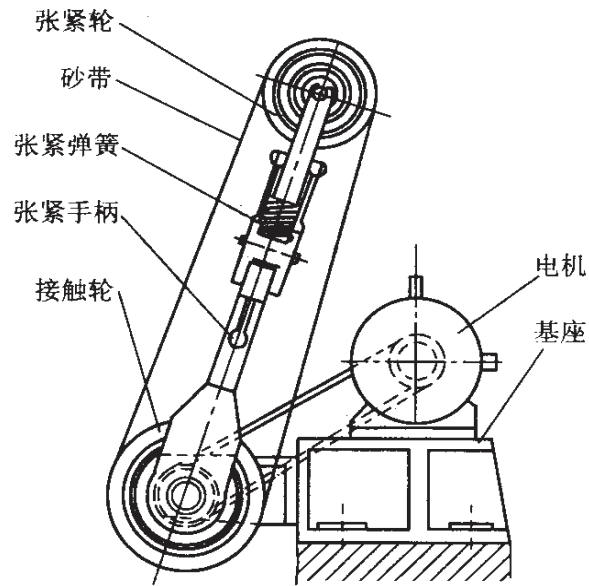


图 8.3-1 磨头结构 A

(2) 主动轮充当接触轮,其加工方式也可自由式。见图 8.3-2。

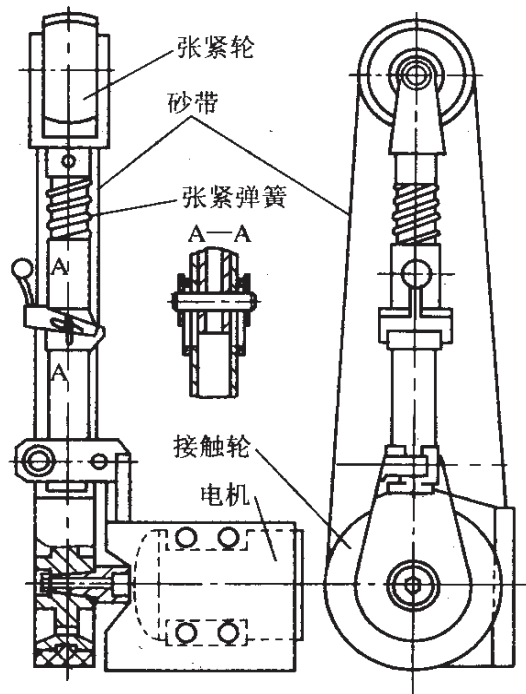


图 8.3-2 磨头结构 B

(3) 丝杆张紧,用于自由式磨削。见图 8.3-3。

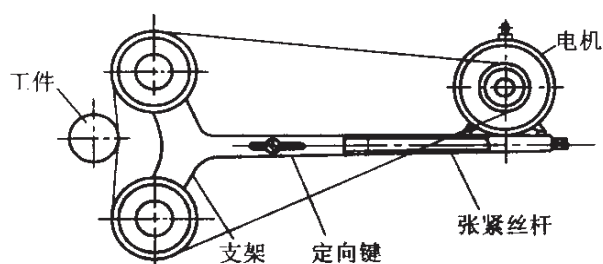


图 8.3-3 磨头结构 C

(4) 可以装夹在车床和龙门刨床上加工外圆、大型内圆及平面的多用型结构。见图 8.3-4。

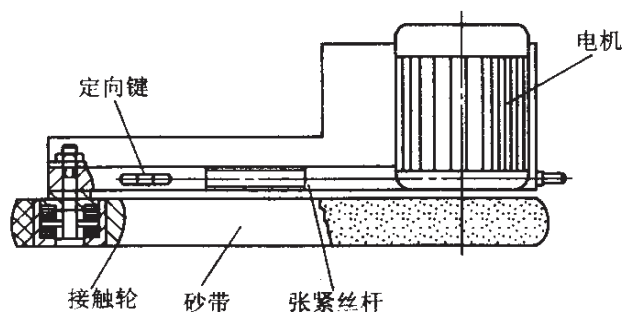


图 8.3-4 磨头结构 D

(5) 内圆磨头见图 8.3-5。主要用于立式车床对大型内圆进行加工。采用凸轮及弹簧张紧。

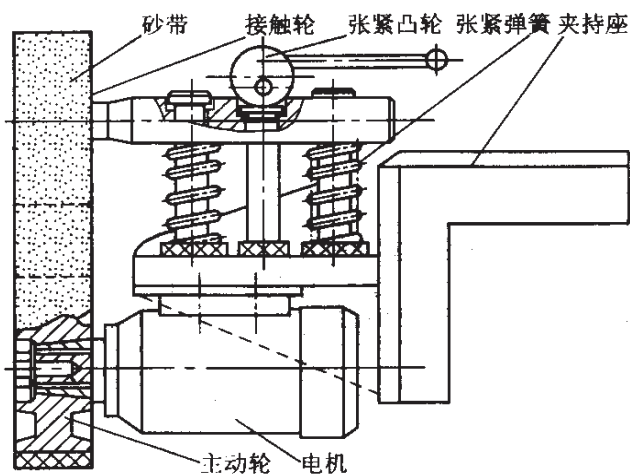


图 8.3-5 内圆磨头

(6) 砂带轮磨头的结构及工作情况分别见图 8.3-6 和图 8.3-7。
 将砂带绕在开槽的接触轮上用铁丝缠紧, 铁丝不得高于接触轮外缘面。砂带轮可直接固定于电机轴上。

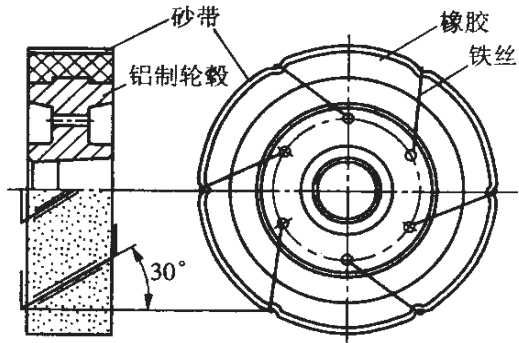


图 8.3-6 砂带轮结构

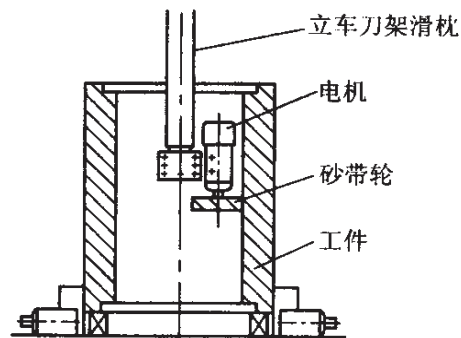


图 8.3-7 砂带轮磨头工作情况

(7) 镗床用砂带磨头结构及传动方式见图 8.3-8。

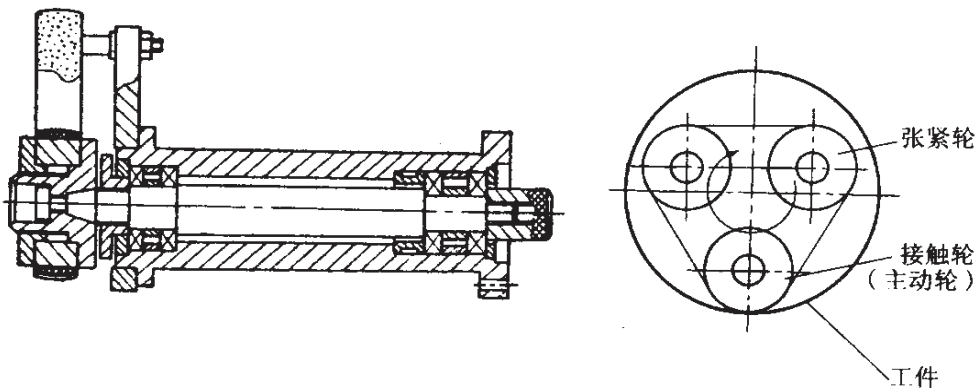


图 8.3-8 镗床用砂带磨头及传动方式

(8) 深孔砂带磨头的接触气囊结构及磨头工作情况见图 8.3-9 和图 8.3-10。

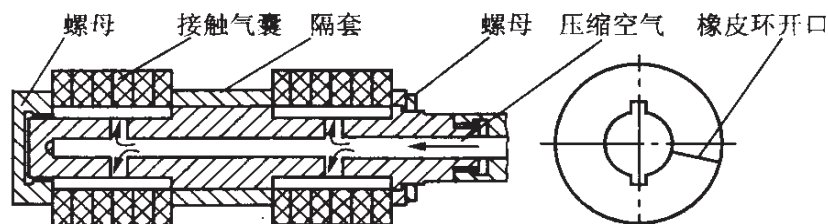


图 8.3-9 接触气囊结构示意图

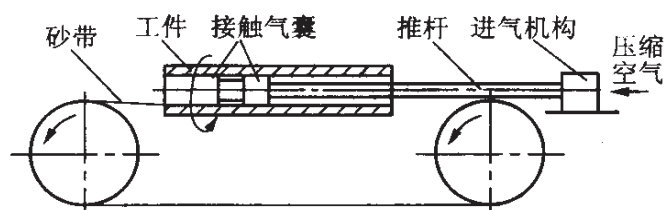


图 8.3-10 深孔砂带磨头工作情况

可用车床改成专用设备,工件夹持在车头上并辅以中心架做匀速旋转,砂带通过深孔张紧运转,气囊通气后将砂带贴紧于孔壁上,并做往复运动,实施磨削。

(二) 磨头主要尺寸及参数

磨头的主要尺寸及参数见图 8.3-11。磨头尺寸与参数的计算与机械皮带传动基本相同,同时要注意以下几个问题。

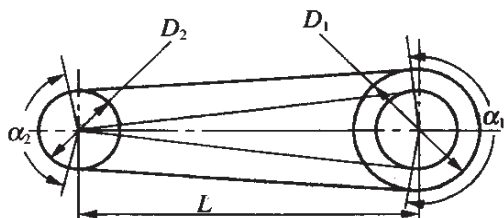


图 8.3-11 磨头尺寸及参数

(1) 砂带包容轮面的弧所对的角称为包角。接触轮包角 α_2 一般取 $\geq 150^\circ$, 试验证明砂带在工作中不打滑的接触轮包角为:

$120^\circ \leq \alpha_2 \leq 150^\circ$ 。

(2) 从动轮(一般为接触轮)实际转速为:

$$n_2 = D_2 / D_1 \cdot n_1 \cdot (1 - \epsilon)$$

式中 ϵ ——相对滑动系数,布砂带 $\epsilon = 0.01$,纸砂带 $\epsilon = 0.009$ 。

(3) 接触轮轴上的受力 $F = 2\delta_b \cdot A \cdot \sin \frac{\alpha_2}{2}$ (N)

式中 δ_b ——砂带初拉应力,推荐为 200 N/cm^2

A ——砂带横截面积(cm^2)。使用新砂带时,再乘以系数 1.5。

二、接触轮的基本结构及尺寸参数

(一) 接触轮的基本结构及尺寸

接触轮的基本结构见图 8.3-12。其外缘开有齿形槽,基本尺寸按下列比例选取:粗磨: $b_2 : b_1 = 1 : 3$;精磨: $b_2 : b_1 = 1 : 0.3 \sim 0.5$;精磨可按表 8.3-1 选取,也可选用平坦形外缘。

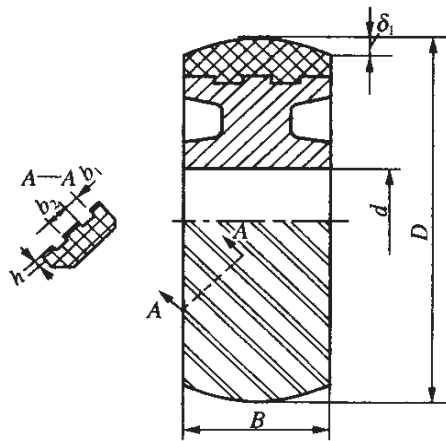


图 8.3-12 接触轮的基本结构

表 8.3-1 精磨用接触轮外缘尺寸 (mm)

| | | | |
|----------|-----------|----------|-----------|
| 轮径 D | 50 ~ 80 | 80 ~ 120 | 120 ~ 200 |
| 槽宽 b_1 | 1.8 ~ 2.4 | 3 ~ 4 | 4.5 ~ 6 |
| 齿宽 b_2 | 6 ~ 8 | 10 ~ 12 | 15 ~ 20 |
| 槽深 h | 0.5 ~ 1 | 1 ~ 2 | 2 ~ 3 |

接触轮凸缘高度 δ_1 值可按 $\delta_1 = 0.2 \sqrt{B}$ mm 计算,也可由表 8.3-2 查得。

式中 B ——接触轮宽(与砂带等宽)



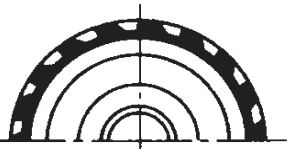

表 8.3-2 δ_1 与 δ_2 数值 (mm)

| 轮宽 B | 40~60 | 60~100 | 100~150 | 150~250 | 250~400 |
|------------|-------|--------|---------|---------|---------|
| δ_1 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 |
| δ_2 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 4 |

(二) 接触轮外缘表面形状及尺寸

接触轮外缘表面形状有平坦形和齿形两种。齿形有矩齿形和锯齿形,并有斜齿及 X 锯齿形槽之分,也可使用金属槽轮填充橡胶,见表 8.3-3。

表 8.3-3 接触轮外缘截面形状

| 类型 | 外缘截面简图 | 用途 | 类型 | 外缘截面简图 | 用途 |
|-----------|---|--------------|-----------|--|--------|
| 平坦形 |  | 用于细粒度砂带精磨和抛光 | 齿形 锯齿形 |  | 主要用于粗磨 |
| 齿形 矩齿形 |  | 粗磨和精磨 | 金属填充橡胶 |  | 粗磨 |

接触轮圆柱面上齿槽的螺旋角见图 8.3-13。螺旋角越大切削能力越大,但工件上留有震纹,噪声大;反之,则会在工件上产生有规则的纹路。一般选用 $30^\circ \sim 60^\circ$ 之间。 30° 多用于精磨, $45^\circ \sim 60^\circ$ 多用于粗磨。

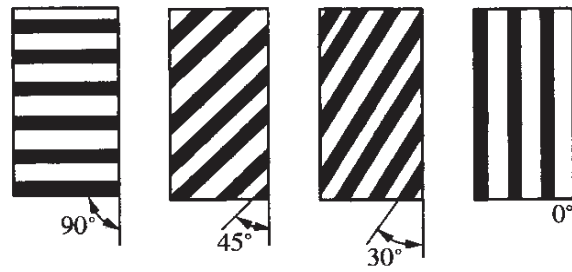


图 8.3-13 接触轮圆柱面上的螺旋角

(三) 接触轮的外缘类型特点及用途

表 8.3-4 列出了接触轮的外缘类型、特点及用途。

表 8.3-4 接触轮外缘类型、特点及用途

| 类 型 | 外缘材料 | 硬度 HS-A | 特 点 | 用 途 |
|--|------|------------|---------------------|---|
| 滚花(节距 $l=1.6$ mm) | 钢 | — | 切入性能最强 | 重负荷磨削 |
| 宽槽齿形 ($b_2=4.7$ mm, $b_1=14$ mm, $h=7.9$ mm, 胶厚19 mm) | 橡胶 | 70~100 | 快速切削,砂带寿命较长 | 重负荷磨削,切除焊渣、铸件浇冒口残蒂等 |
| 标准矩齿形 ($b_2=b_1=h=9.5$ mm, 胶厚22 mm) | 橡胶 | 30~50 | 可获得中等粗糙度加工表面,砂带寿命较长 | 磨平,或切除平面突出部分 |
| X锯齿形(齿背窄边宽4.7 mm,槽和锯齿背斜面共宽14 mm,槽深7.9 mm,胶厚为22 mm) | 橡胶 | 40~70 | 其柔曲性允许进入成形曲面 | 适于轻、中负荷磨削及中负荷抛光,也适于加工成形面;对有色金属加工,优于锯齿形轮 |

续 表

| 类 型 | 外缘材料 | 硬度 HS - A | 特 点 | 用 途 |
|-------|------------|-----------------|--|---|
| 平坦形 | 橡胶 | 30~50 | 可有效控制 切削深度 | 适于轻负荷磨削及 抛光,可获得较低粗糙 度的表面 |
| 柔软型 | 压缩帆布 | 可从软 到硬 | 坚韧耐用 | 适于中负荷磨削及 抛光,硬轮可获得较大 金属切除率,软轮则可 抛出较低粗糙度表面 |
| | 涂橡胶帆布 | 中等 | 成形性能好 | 用于成形抛光,可切 除少量余量 |
| | 实心帆布 | 柔、中、 硬 | 磨削表面光 整,不留磨痕, 价格便宜 | 各种类型的抛光及 成形抛光,也可预先制 作成一定形状,进行形 面磨削 |
| | 软皮硬 心帆布 | 柔 | 由圆形帆布 片叠合而成,增 减帆布片可改 变接触轮的宽 度,价格低廉 | 抛光与精抛 |
| 充气型 | 充气 橡胶 | 用气压 控制硬 度 | 可调整表面 形状,加工表面 粗糙度均匀 | 抛光与精抛 |
| 泡沫塑料型 | 聚胺酯 | 极柔 | 最柔 | 复杂形面抛光、精抛 |

接触轮轮毂的材料,尽可能选用轻金属,如铝合金;用于重负荷磨削时,选用45钢或40Cr钢。轮毂结构参考主动轮。

(四) 接触轮的外缘硬度

接触轮的外缘硬度是接触轮的重要参数之一。根据实验,接触轮外缘硬度越高,切削时有效切削深度也越深,金属切除率增多,但加工表面粗糙度也高;反之,外缘硬度低,有效切削深度也

低,金属切除率降低,但表面粗糙度值 R_a 也降低。

接触轮外缘橡胶硬度用肖氏 A 级(HS-A)表示,粗磨一般选 70~90、半精磨选 30~60、精磨则选 20~40。主动轮和张紧轮外缘硬度可略高于接触轮。

三、张紧轮和主动轮

张紧轮和主动轮的外缘也应敷有硫化橡胶,以增大与砂带之间的摩擦力,同时需在轮缘上沿回转方向开平行环形沟槽。两轮缘凸高 δ_2 比 δ_1 略高,按 $\delta_2 = (0.25 \sim 0.3)\sqrt{B}$ 计算。也可在表 8.3-2 中查得。

两轮轮毂上一般需制作一定数量的沟槽,以防止两轮橡胶外缘打滑、脱落。根据轮宽决定沟槽数量:

$B < 60$ mm, 2 条沟槽; $B = 60 \sim 120$ mm, 3 条沟槽; $B = 120 \sim 200$ mm, 4~5 条沟槽。

主动轮的一般结构举例见图 8.3-14。图中,轮宽 B 等于砂带宽; $B_1 = B + (10 \sim 20)$ mm, 当 $B < 1.5D_1$ 时,取 $B_1 = B$; 槽宽 b'_1

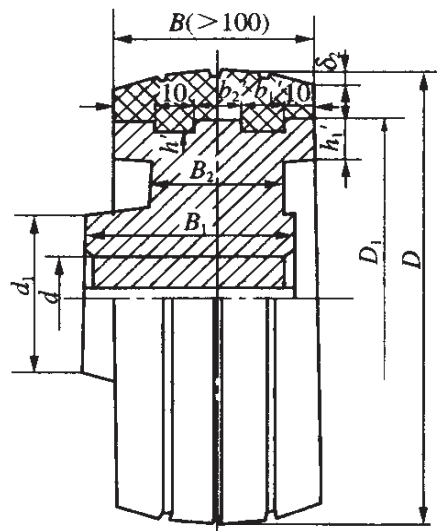


图 8.3-14 主动轮及其轮毂结构举例

=齿宽 $b'_2 = \frac{1}{6} \sim \frac{1}{10} B$; 槽深 $h' = 3 \sim 8$ mm; 轮缘厚 $h'_1 = 0.05D_1 + (5 \sim 10)$ mm; 轮辐厚 $B_2 = (0.5 \sim 0.7)\sqrt{BD_1}$ mm; 轮毂内孔 d , 视受力情况并在选用标准轴承后决定; 取 $d_1 = 1.2B_2$ 。两轮材料一般选用铝合金。

第四节 砂带磨削工艺参数选择

一、磨削用量及磨削余量选择

(一) 磨削用量

1. 对金属切除率 Z 的影响

采用较低的砂带速度 v_s , 适当提高工件转速 v_w , 选择较小的进给量 f_a , 可获得较高的金属切除率 Z 。

2. 对工件表面粗糙度 R_a 的影响

当其他参数为定值时, 提高砂带速度 v_s , 表面粗糙度 R_a 随着降低; 提高工件转速 v_w , R_a 随着上升; 增大进给量 f_a , R_a 随着增大; 砂带粒度号增大, R_a 明显下降; R_a 值随着接触轮外缘硬度的增加而增加。

3. 磨削用量选择

(1) 砂带速度 v_s 。大功率粗磨一般选: $12 \sim 20$ m/s; 中功率磨削一般选: $20 \sim 25$ m/s; 轻负荷精磨一般选: $25 \sim 30$ m/s。

砂带速度与被加工材料有关, 对难磨材料如镍铬钢, 砂带速度应降低; 对非金属材料则可较大幅度提高。

磨削各种材料推荐的砂带速度见表 8.4-1。

(2) 接触压力 F_n 。 F_n 直接影响磨削效率和砂带寿命, 根据工件材质、热处理情况、磨削余量、磨后表面粗糙度要求等进行选择。一般为 $50 \sim 300$ N。

表 8.4-1 磨削不同材料推荐的砂带速度 (m/s)

| 加工材料 | | 砂带速度 | 加工材料 | | 砂带速度 |
|------|-------|-------|------|------|-------|
| 有色金属 | 铝 | 22~28 | 铸铁 | 灰口铸铁 | 12~18 |
| | 紫铜 | 20~25 | | 冷硬铸铁 | |
| | 黄铜、青铜 | 25~30 | 非金属 | 棉纤维 | 30~50 |
| 钢 | 碳钢 | 20~25 | | 玻璃纤维 | |
| | 不锈钢 | 12~20 | | 橡胶 | 25~35 |
| | 镍铬钢 | 10~18 | | 花岗岩 | 15~20 |

(3) 工件速度 v_w 。提高 v_w 可减少和避免工件表面烧伤,但会导致表面粗糙度升高,过高还会引起工件震动,特别是磨削细长轴。一般粗磨选择 20~30 m/min;精磨则控制在 20 m/min 以下。

(4) 进给量 f_a 和磨削深度 a_p 的选择。进给量和磨削深度在粗磨时选大些,精磨时选小些;此外,对虽是普通钢材但要求精度高和表面粗糙度低以及含多种合金元素的材料,都应就低选择。

轴类工件磨削用量选择见表 8.4-2。

表 8.4-2 轴类工件磨削用量参考值

| | 工件直径 D (mm) | 工件转速 n_w (r/min) | 磨削深度 a_p (mm) | 进给量 f_a (mm/r) |
|----|---------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|
| 粗磨 | 50~100 | 136~68 | 0.05~0.10 | 0.17~3.00 |
| | 100~200 | 68~45 | | |
| | 200~400 | 45~23 | | |
| | 400~800 | 23~12 | | |
| | 800~1 000 | 12~8 | | |
| 精磨 | 50~100 | 98~48 | 0.01~0.05 | 0.40~2.00 |
| | 100~200 | 48~28 | | |
| | 200~400 | 28~14 | | |
| | 400~800 | 14~7.5 | | |
| | 800~1 000 | 7.5~5 | | |

(二) 磨削余量

磨前工件的表面粗糙度越低,工件硬度越高,则磨削余量就应越小。

轴类工件磨削余量见表 8.4-3。

表 8.4-3 轴类工件外圆磨削余量参考值

| 工件材料 | 磨前表面状况 | 热处理 | 直径余量 (mm) |
|-------------------|---|--------|--------------|
| 碳 钢 合金钢 不锈钢 | 工件表面光整,无缺陷,粗 糙度在 $R_a 1.6 \mu\text{m}$ 以上 | 高硬度件 | 0.03~0.08 |
| | | 淬火、调质件 | 0.05~0.10 |
| | | 未经处理工件 | 0.10~0.15 |
| 碳 钢 合金钢 不锈钢 | 工件表面较光整,无缺陷, 粗糙度 $R_a 3.2 \mu\text{m}$ | 高硬度件 | 0.05~0.10 |
| | | 淬火、调质件 | 0.10~0.15 |
| | | 未经处理工件 | 0.10~0.20 |
| 碳 钢 合金钢 不锈钢 | 工件表面粗糙,有棱痕,不 光整,局部有补焊、局部软硬 不均, $R_a 6.3 \sim 3.2 \mu\text{m}$ | 高硬度件 | 0.05~0.12 |
| | | 淬火、调质件 | 0.15~0.20 |
| | | 未经处理工件 | 0.20~0.25 |
| 黄铜、青铜、 铸铁 | 工件表面光整,无缺陷, $R_a 6.3 \sim 3.2 \mu\text{m}$ | | 0.20~0.35 |

二、接触轮和砂带选择

通常砂带无需修整,但在选用新砂带进行精磨前,则必须修整。因为新砂带磨粒的等高性并不理想,不经修整往往少数凸出的磨粒会划伤工件表面。可用试件或其他工件先磨一次后再备用。

接触轮和砂带的选择见表 8.4-4。

表 8.4-4 接触轮和砂带的选择

| 工件材料 | 工序 | 砂带 | | 接触轮 | |
|--------|-----|------|----------|--------------|----------|
| | | 磨料 | 粒度号 | 外缘形状 | 硬度(HS-A) |
| 冷、热延压钢 | 粗磨 | WA | P30~60 | 锯齿形橡胶 | 70~90 |
| | 半精磨 | WA | P80~150 | 平坦形、X 锯齿形橡胶 | 20~60 |
| | 精磨 | WA | P150~500 | 平坦形或抛光轮 | 20~40 |
| 不锈钢 | 粗磨 | WA | P50~80 | 锯齿形橡胶 | 70~90 |
| | 半精磨 | WA | P80~120 | 平坦形、X 锯齿形橡胶 | 30~60 |
| | 精磨 | C | P150~180 | 平坦形或抛光轮 | 20~60 |
| 铝 | 粗磨 | WA,C | P30~80 | 锯齿形橡胶 | 70~90 |
| | 半精磨 | | P100~180 | 平坦形、X 锯齿形橡胶 | 30~60 |
| | 精磨 | | P220~320 | 平坦形、X 锯齿形橡胶 | 20~50 |
| 铜合金 | 粗磨 | WA,C | P36~80 | 锯齿形橡胶 | 70~90 |
| | 半精磨 | | P100~150 | 平坦形、X 锯齿形橡胶 | 30~50 |
| | 精磨 | | P180~320 | 平坦形、X 锯齿形橡胶 | 20~30 |
| 有色金属铸件 | 粗磨 | WA,C | P24~80 | 根据使用目的选择硬橡胶轮 | 50~70 |
| | 半精磨 | | P100~180 | 平坦形或抛光轮 | 30~50 |
| | 精磨 | | P220~320 | 平坦形或抛光轮 | 20~30 |

续表

| 工件材料 | 工序 | 砂带 | | 接触轮 | 硬度(HS-A) |
|------|-----|------|----------|---------------------------------------|----------|
| | | 磨料 | 粒度号 | | |
| 铸铁 | 粗磨 | C | P30~60 | 矩形或X锯齿形橡胶 平坦形或X锯齿形橡胶 平坦形或X锯齿形橡胶 | 70~90 |
| | 半精磨 | | P80~150 | | 30~50 |
| | 精磨 | | P120~320 | | 30~40 |
| 钛合金 | 粗磨 | WA、C | P36~50 | 小直径锯齿形橡胶轮 平坦形或抛光轮 平坦形或抛光轮 | 70~80 |
| | 半精磨 | | P60~150 | | 50 |
| | 精磨 | | P120~240 | | 20~40 |
| 耐热合金 | 粗磨 | WA | P36~60 | 平坦形或锯齿形橡胶 锯齿形 平坦形 | 70~90 |
| | 半精磨 | | P40~100 | | 50 |
| | 精磨 | | P100~150 | | 30~40 |

三、砂带磨削的冷却、润滑和除尘

采用干磨时,必须有吸尘装置,对机床设备也要采取除尘措施。湿磨时,磨削液的流量根据选用砂带的宽度决定,每 100 mm 砂带宽流量一般取 56 L/min。如加工不锈钢、钛合金钢等难磨材料,还应加大流量。

(一) 磨削液与干磨剂的选择

选用时需注意,因砂带黏结剂多为无机物,容易受不同化学溶剂的影响,同时黏结剂和基底材质不同,耐水性能也不同,选用时对各种活性度高的磨削液需特别注意。

干磨剂固体脂、蜡等主要用于粒度号大于 P150 的砂带,可防止砂带堵塞。

各类磨削液、干磨剂及其应用见表 8.4-5。

表 8.4-5 各类磨削液及干磨剂的应用范围

| 种 类 | | 特 点 | 应 用 范 围 |
|---------------------|-------|----------------|---------------------------|
| 非水 溶性 磨削 液 | 矿物油 | 可提高磨削性能 | 非铁金属 金属精磨 铁金属、不锈钢粗磨 |
| | 混合油 | 可获得良好精磨表面 | |
| | 硫化氯化油 | 可提高磨削性能 | |
| 水溶 性磨 削液 | 乳化型 | 润滑性能好,价格低廉 | 金属磨削 金属磨削 金属精磨 |
| | 溶化型 | 冷却、浸透性能好 | |
| | 液化型 | 冷却、浸透性能好,防锈性能好 | |
| 固态脂、蜡助剂 | | 可有效防止砂带堵塞 | 各种材料的干磨 |
| 水 | | 冷却性能好 | 玻璃、石料、塑料、橡胶等 |

(二) 砂带磨削的除尘

各类砂带磨削均应设置吸尘、集尘装置。有封闭罩壳的磨床其吸尘口设置见图 8.4-1。无封闭罩壳的磨床或多磨头(架)的吸尘口设置见图 8.4-2。

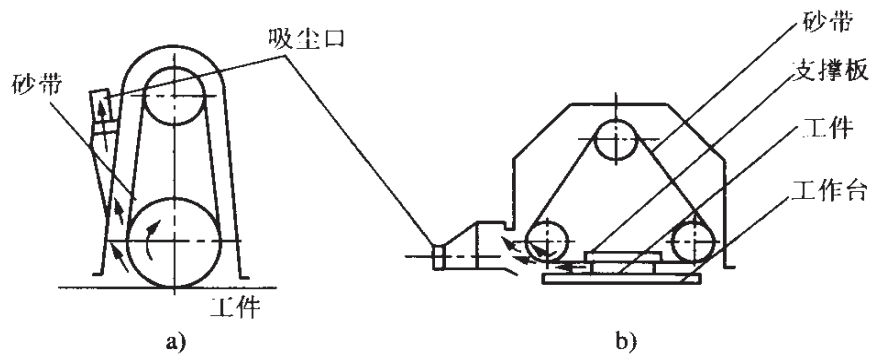


图 8.4-1 有罩壳磨床的吸尘口

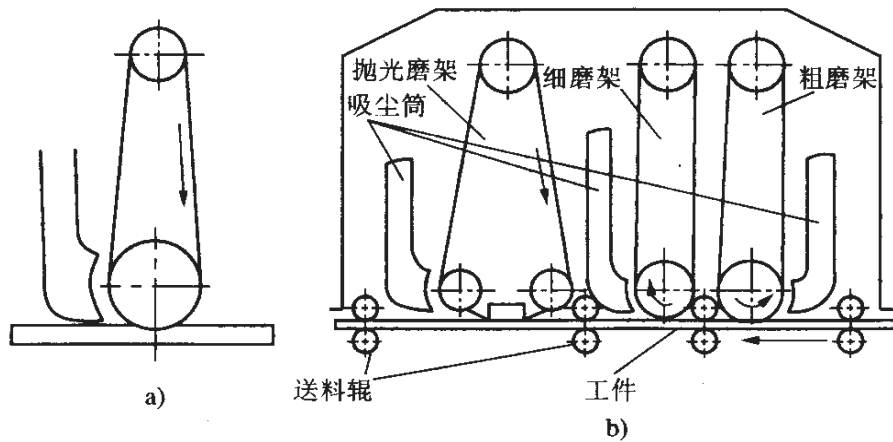


图 8.4-2 无罩壳和多磨头(架)磨床的吸尘口装置

a) 无罩壳吸尘装置 b) 多磨头(架)的吸尘口装置

在普通机床上利用砂带磨头磨削时,也必须设有吸尘装置,可在磨头电机后面加装一个叶轮,其装置见图 8.4-3。叶轮结构见图 8.4-4。

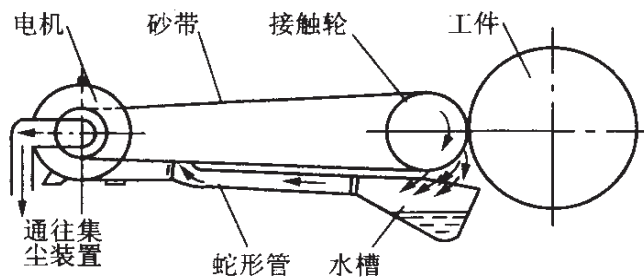


图 8.4-3 利用磨头电机加装叶轮的吸尘装置

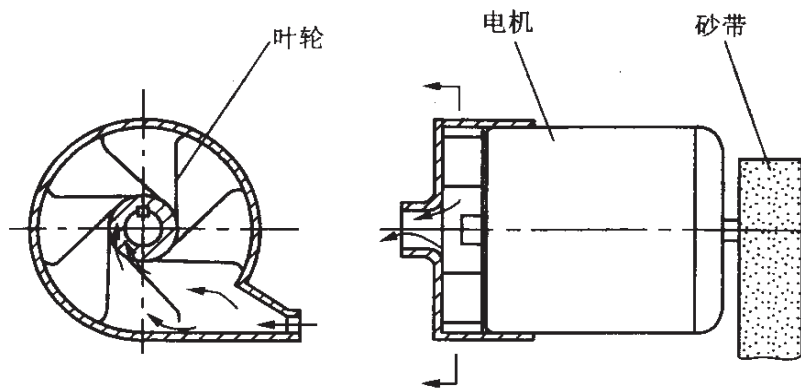


图 8.4-4 叶轮结构示意图

四、接触轮式砂带磨削常见问题及改进措施

表 8.4-6 列出了接触轮式砂带磨削常见问题及改进措施。

表 8.4-6 接触轮式砂带磨削常见问题及改进措施

| 措施建议 问题 | 更 换 | | 带槽接触轮 | | 改变砂带速度 | | 改变磨削液 | 加大沟槽深度 | 选 用 更粗粒 度砂带 |
|------------|-----------|-----------|----------|----------|--------|----|-------|--------|-------------------|
| | 软的接 触轮 | 硬的 接触轮 | 减窄 齿背 | 加宽 齿背 | 提高 | 降低 | | | |
| 砂带腻塞 | | √ | √ | | | | √ | | |
| 砂带磨损 | | | √ | | | | √ | √ | |
| 切削能力低 | | √ | √ | | | √ | √ | | √ |
| 表面粗糙度高 | | | | √ | √ | | √ | | |
| 出现烧伤 | | | √ | | | √ | √ | | √ |
| 加工外形过硬 | √ | | √ | | | √ | | √ | |
| 出现震动 | √ | | √ | | | | | √ | |
| 磨粒脱落 | √① | √② | | √ | | √ | √ | | |
| 出现加工痕迹 | √ | | √ | | | | | | |
| 砂带边缘磨损 | √ | | | | | | | | |

注：① 接触轮宽为 10 mm, 单位功率低于 0.43 kW。

② 接触轮宽为 10 mm, 单位功率高于 0.43 kW。

第五节 砂带磨削实例

一、外圆砂带磨削

(一) 大型工件砂带磨削

工件零件图见图 8.5-1。

零件名称:轧机轧辊

材料:20CrMoWV

热处理:HB280~300

磨前工件 $R_a: 6.3 \sim 3.2 \mu\text{m}$

磨削余量:0.12~0.14 mm

工序:粗磨、半精磨、精磨

设备:C61160 普通车床加装砂带头

砂带磨削参数选择见表 8.5-1。

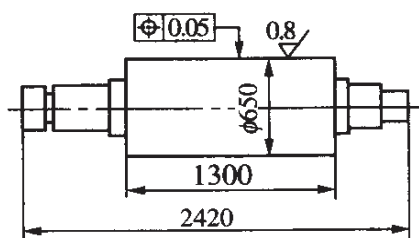


图 8.5-1 轧机轧辊零件图

表 8.5-1 轧机轧辊磨削参数选择

| 工序 | 磨削方式 | 砂带 | | 磨削用量 | | | | 冷却方式 |
|-----|------|--------|------|----------------|------------------|-----------------|--------------|------|
| | | 磨料 | 粒度 | v_s (m/s) | n_w (r/min) | f_a (mm/r) | F_n (N) | |
| 粗磨 | 接触轮式 | 棕刚玉(A) | P120 | 25.17 | 12.5 | 4.8 | 250 | 干式 |
| 半精磨 | | | P180 | 25.17 | 12.5 | 3 | 200 | |
| 精磨 | 自由式 | | P220 | 25.17 | 5.5 | 3 | 200 | |

注: 1. f_a 选用 4.8 mm/r 时, 出现清晰的波纹; 选用 3 mm/r 时, 则情况良好。

2. 车床上无微量进给机构, a_p 大小可凭火花大小辨别, 配合千分尺测量, 在 1300 mm 长度上, 测量点以 4 个为宜。

(二) 线材砂带磨削

工件名称: $\phi 8$ 铆钉钢及不锈钢

材料: T9A、1Cr18Ni9Ti

设备: XMX12 型行星式线材砂带磨床

选用参数: 公转盘转速 200 r/min; 线材进给速度 2.74 m/min; 砂带速度 $v_s = 20$ m/s; 磨削接触压力 $F_n = 50 \sim 200$ N; 砂带磨料: WA; 粒度 P46、P80

磨削结果见表 8.5-2。

表 8.5-2 线材行星式砂带磨削结果

| 线 材 | 铆 钉 钢 | | 不 锈 钢 | |
|-------------------------------|--------|---------|--------|---------|
| | WA、P46 | WA、P80 | WA、P46 | WA、P80 |
| 砂 带 | | | | |
| 金属切除率(kg/h) | 2.99 | 2.53 | 0.76 | 0.466 |
| 磨削比 | 23 | 29.42 | 10.46 | 8.86 |
| 直径切除尺寸(mm) | 0.265 | 0.19 | 0.21 | 0.14 |
| 表面粗糙度 R_a (μm) | 3.2 | 0.8~1.6 | 3.2 | 0.8~1.6 |

二、内圆砂带磨削

大型及中大型内圆工件磨削。工件内径一般 1 000 mm 以上。

以工件材料 Q235F、 $\phi 3240\text{H}8$ 、 $R_a 0.8 \mu\text{m}$ 大型内圆为例: 选用 WA、P80、P120、P160 砂带; 外缘为平坦形橡胶; 接触轮 $\phi 100 \times 60$ mm; 磨头电机功率 2.1 kW。

磨削用量选择: $v_s = 24$ m/s、 $v_w = 15$ m/min、 $f_a = 5 \sim 20$ mm/r、 $a_p = 0.03 \sim 0.1$ mm、 $F_n = 20 \sim 300$ N。

磨前要求 $R_a = 6.3 \mu\text{m}$, 在 5 m 立车上用内圆磨头加工, 加工示意图见表 8.2-1 之类型 12 中的 a)。

精磨时, 可将立车卡盘稍微松开, 消除其粗磨后的变形。结果达到原设计要求。

中、大型内圆的磨削余量, 在保证质量的前提下尽可能减小,

磨前表面粗糙度要求不大于 $R_a 6.3 \mu\text{m}$ 。

磨削余量见表 8.5-3。

表 8.5-3 中、大型内圆砂带磨削余量 (mm)

| 工件直径 | | >300~500 | 500~1 000 | 1 000~2 500 | 2 500~4 000 |
|------|-----|----------|-----------|-------------|-------------|
| 直径余量 | 淬火 | 0.25 | 0.35 | 0.50 | 0.60 |
| | 不淬火 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 |
| 余量公差 | | 0.08 | | 0.12 | |

三、平面砂带磨削

在龙门刨床上磨削大型平板件。

以磨削 $10\,000\text{ mm} \times 1\,800\text{ mm} \times 90\text{ mm}$ 、Q235 焊接后平板为例：磨前精刨大部分表面达 $R_a 3.2 \sim 1.6 \mu\text{m}$ ，小部分达 $R_a 6.3 \mu\text{m}$ ，并且有啃刀痕、焊缝软硬不均。

磨后要求平面度 1 m 长度不大于 0.1 mm ，任一点厚度差不大于 0.2 mm ， $R_a 1.6 \mu\text{m}$ 。

经粗磨、精磨、精修，达到 $R_a 0.4 \mu\text{m}$ 。参数用量选择见表 8.5-4。

表 8.5-4 大型平板磨削用量选择

| 磨削方式 | 工序 | 砂带 | | 磨削用量 | | | | 每条砂带切削工件宽 (mm) |
|--------------------|----|--------|------|----------------|------------------|--------------------|---------------|----------------|
| | | 磨料 | 粒度 | v_s (m/s) | v_w (m/min) | f_a (mm/d·st) | a_p (mm) | |
| 接触轮式，外缘橡胶硬度 HS-A70 | 粗磨 | 棕刚玉(A) | P60 | 25 | 15~20 | 20~30 | 0.05~0.1 | 300 |
| | 精磨 | | P80 | 25 | 15 | 15 | 0.03~0.05 | 500~600 |
| | 精修 | | P120 | 25 | 15 | 10 | 以见不到太强的火花为宜 | 工件全宽 1 800 |

四、形面砂带磨削

利用接触轮外缘可塑性或具有相当硬度的成形支撑(压模)板以及采用仿形、共轭接触、数控等方式进行磨削。

形面砂带磨削可分为宽带和窄带两类。宽带指砂带与工件等宽或稍宽于工件加工面,工作时仅有切深方向的进给,适用于形面变化不大的工件的粗磨。窄带一般指 15~20 mm 宽,工作时工件或砂带做双向进给,适用于加工尺寸较大、形状复杂的工件磨削,如汽轮机叶片等。

窄砂带磨削又分为纵向和横向两种行距法。其加工示意图见图 8.5-2。粗磨多采用横向行距磨法,精磨多采用纵向行距磨法。

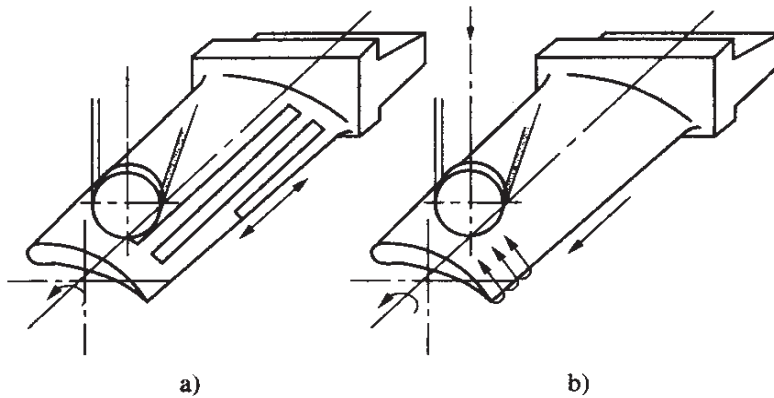


图 8.5-2 纵向、横向行距成形磨削法示意图

a) 纵向行距法 b) 横向行距法

(一) 内圆弧零件的砂带磨削

批量生产内圆弧零件一批,其圆弧尺寸有多种规格:

$R: 55.5, 83, 108, 143, 193(\text{mm})$

零件见图 8.5-3。

尺寸公差为 $\pm 0.02 \text{ mm}$

形面公差 $\leq 0.05 \text{ mm}$

材料: Fe-Cu-Sn 粉末合金

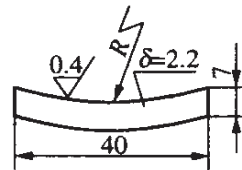


图 8.5-3 内圆弧零件图

采用常规加工方法难以达到精度要求。设计专用砂带磨削机,其结构及加工原理见图 8.5-4 和图 8.5-5。

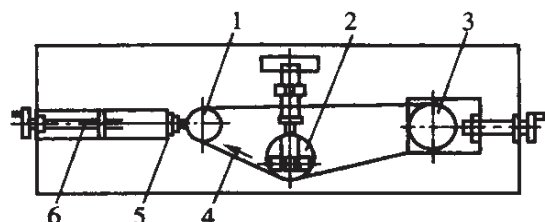


图 8.5-4 专用砂带机结构

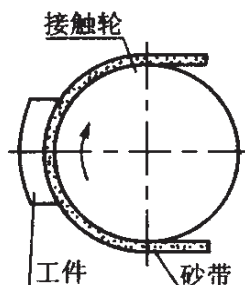


图 8.5-5 内圆弧加工原理

砂带机主要由砂带驱动张紧部件和零件装夹进刀部件组成。接触轮 1 为成形磨削靠轮,通过更换不同的成形磨削靠轮实现对不同规格零件的加工。该轮装在主轴上,其径向跳动和轴向窜动 $\leq 0.05 \text{ mm}$,张紧轮 2 通过弹簧对砂带张紧,驱动轮 3 带动砂带旋转,此轮直径不变,砂带线速度恒定。前后移动驱动轮 3,保证在更换不同规格的成形磨削靠轮 1 时,使用同一规格的砂带 4。

零件装夹和进刀部件由夹具 5 和进刀丝杆 6 组成,工件装在夹具 5 上,一次可装夹 8~10 片,通过进刀丝杆使工件靠向接触轮,实现切深方向的进给。

参数选择:驱动电机功率 2.2 kW,驱动轮 $\phi 150 \text{ mm}$;调偏轮 $\phi 160 \text{ mm}$;接触轮 $D = 2R - \delta \text{ mm}$ 共 5 种规格。 δ 为砂带厚度;砂带线速度 $v_s = 23 \text{ m/s}$ 。

砂带规格:2 000 mm×50 mm, AP80

经过加工,工件内圆弧尺寸精度和形面精度均达到要求。

(二) 发动机叶片类零件的砂带磨削

图 8.5-6 为叶片类工件的粗磨,采用窄砂带横向行距成形磨削。工件和靠模同轴布置,支架刚性连接接触轮与球面滚轮。工作时工件与靠模同步慢速转动,同时推动工作台横向移动,接触轮与球面滚轮同步上下起伏,工件连续转动,即完成形面加工。

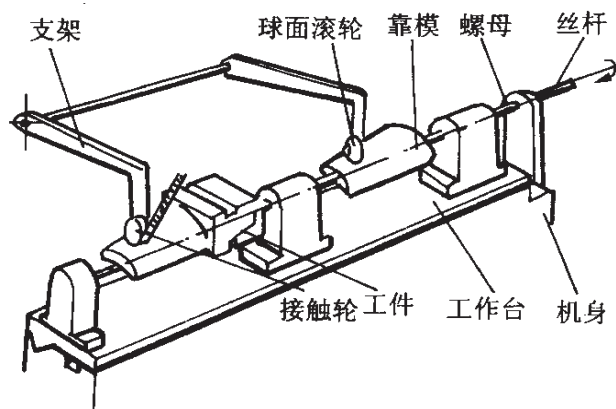


图 8.5-6 窄砂带横向行距成形磨削

经一次装夹即可完成内弧和背弧的加工,由于工件匀速转动,形面上各点速度又与其曲率有关,故多用于粗磨。叶片的精磨则多采用纵向行距成形磨法。

第九章 难磨材料的磨削

第一节 难磨材料的特点及磨削时出现的问题

所谓难磨材料通常多是指金属材料中含有铬(Cr)、镍(Ni)、钨(W)、钼(Mo)、锰(Mn)、钛(Ti)、钴(Co)、钒(V)等元素时,往往使材料难以磨削。难磨材料种类很多,目前生产中常遇到的难磨材料大致可分为以下三种类型:

第一种材料硬而韧,或者硬度并不很高而韧性很大,如耐热合金、钛合金、不锈钢、高钒高速钢等。

第二种材料软而黏,如各种有色金属和纯铁等。

第三种材料是磨削时,易产生烧伤和裂纹,或者工件表面粗糙度差。

对于以上三种材料解决的措施也不相同,第二种材料可以采用金刚石车刀车削效果较好;第三种材料可选用合适的砂轮,如采用粗磨粒、组织疏松的砂轮,磨削时选用合适的磨削液及改善浇注方法,则可达到较好的效果。

目前生产中较难解决的是第一种材料,这种材料在磨削中具有以下特点:

(1) 工件表面易烧伤。此类合金钢硬度高、韧性大,切屑变形大,切削阻力大,产生热量高;又因为这种材料导热性差,磨削区产生大量热量来不及迅速传递出去,致磨削区温度特别高,因此容易出现表面烧伤。

(2) 砂轮易堵塞。此种材料磨削时切屑容易黏糊在砂轮表面,使砂轮失去切削能力,且不易从磨粒上去除。砂轮被堵塞,砂轮与工件摩擦增大,磨削温度剧烈上升而造成工件烧伤。

(3) 工件易变形。磨削这些难磨材料比其他钢材容易变形。因合金钢材料的加工硬化趋势强,在加工过程中工件表面容易产生残余应力。在以后加工过程中,因应力状态的改变使工件变形。例如磨不锈钢细长轴,磨后变成腰鼓形和发生扭曲;薄片工件产生翘曲不平;磨大直径工件,易产生椭圆等。

(4) 冷硬现象。因磨削中的严重挤压、摩擦现象,致使合金钢材料的加工硬化趋势增强。因此磨削表面层的冷硬现象较为严重。并且还会使工件表面产生退火现象。

除以上磨削缺陷外,难磨材料磨削还有金属的切除率低,磨削比 G 也低,砂轮的耐用度低等问题。各种难切材料切削加工性可参考表 9.1-1。

第二节 不锈钢的磨削

一、不锈钢的种类、牌号及磨削特点

(一) 不锈钢的类别、牌号及用途

不锈钢的类别、牌号及用途见表 9.2-1。

(二) 磨削特点

(1) 塑性高,加工硬化严重,不锈钢延伸率是 45 钢的 1.5 倍。磨削过程中挤压变形大,致磨削表面冷硬现象严重。

(2) 磨削温度高。不锈钢导热性差,导热系数仅为 45 钢的 $1/3$,因此磨削区温度高。而不锈钢的线膨胀系数较大,因此易导致尺寸测量上的误差,尤其是磨细长轴及薄壁零件,容易产生翘曲不平及尺寸厚薄不均现象。

表 9.1-1 难切金属材料(淬火或析出硬化状态)切削加工性比较

| 影响切削加工性因素 | 高锰钢 | | 高强度钢 | | | 不锈钢 | | | | 高温合金 | | | 钛合金 |
|-----------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|------|-----|
| | 低合金 | 高合金 | 马氏体时效钢 | 沉淀硬化钢 | 奥氏体型 | 马氏体型 | 铁素体型 | 铁基 | 镍基 | 钴基 | | | |
| 硬度 | 3~4 | 2~3 | 4 | 1~3 | 1~2 | 2~3 | 1 | 2 | 2~3 | 2 | 2 | 2 | |
| 高温强度 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1~2 | 1 | 1 | 2~3 | 3 | 3 | 1 | 1 | |
| 微观硬质点 | 1 | 2~3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2~3 | 3 | 2 | 1 | 1 | |
| 与刀具亲和性 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | |
| 导热性 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3~4 | 3~4 | 4 | 4 | 4 | |
| 加工硬化性 | 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3~4 | 3 | 2 | 2 | |
| 黏附性 | 2 | 1 | 1 | 1~2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3~4 | 2 | 1 | 1 | |
| 相对切削加工性 | 0.2~0.4 | 0.2~0.5 | 0.1~0.25 | 0.3~0.4 | 0.5~0.6 | 0.5~0.7 | 0.6~0.8 | 0.15~0.3 | 0.08~0.15 | 0.05~0.15 | 0.25~0.38 | 0.38 | |

注: 1. 各项因素对切削加工性相对恶化程度,按顺序: 1→2→3→4 逐渐严重。

2. 相对切削加工性系数是在一定耐用度下,该材料的切削速度与 45 钢切削速度的比较。

表 9.2-1 不锈钢的类别、牌号及用途

| 类别 | 牌号 | 热处理 | | 力学性能(不小于) | | | | 用途举例 |
|------|---------|-------------|------------|-------------------------|---------------------|-------------------|-------------|---------------------------------|
| | | 淬火 (°C) | 回火 (°C) | $\sigma_{0.2}$ (GPa) | σ_b (GPa) | δ_s (%) | 硬度 (HBS) | |
| 马氏体钢 | 1Cr13 | 950~1050 油 | 700~750 | 0.34 | 0.54 | 25 | 160 | 汽轮机叶片、水压机阀、螺栓、螺母等抗弱腐蚀介质并承受冲击的零件 |
| | 2Cr13 | 920~980 油 | 600~750 | 0.44 | 0.64 | 20 | 192 | |
| | 3Cr13 | 920~980 油 | 200~300 | — | — | — | 48HRC | 比 2Cr13 硬,做刀具、喷嘴阀座阀门等 |
| | 7Cr17 | 1010~1070 油 | 100~180 | — | — | — | 50HRC | 刀具、量具、轴承等 |
| 铁素体钢 | 0Cr13Al | — | 780~830 | 0.18 | 0.41 | 20 | 183 | 汽轮机材料、复合钢材 |
| | 1Cr17 | — | 780~850 | 0.20 | 0.45 | 22 | 183 | 硝酸工厂及食品工厂的设备、家庭用具 |
| | 1Cr28 | — | 780~850 | 0.20 | 0.45 | 20 | — | 制浓硝酸设备 |
| | 1Cr17Mo | — | 780~850 | 0.20 | 0.45 | 22 | 183 | 比 1Cr17 抗盐溶液性强、汽车外装材料等用 |

续表

| 类别 | 牌号 | 热处理 | | 力学性能(不小于) | | | | 用途举例 |
|----------|-----------------------|-----------------------|------------|-------------------------|---------------------|-------------------|-------------|--------------------------------|
| | | 淬火 (°C) | 回火 (°C) | $\sigma_{0.2}$ (GPa) | σ_b (GPa) | δ_s (%) | 硬度 (HBS) | |
| 奥氏体钢 | 0Cr19Ni9 | 固溶处理 1 010~1 150 水 | — | 0.20 | 0.52 | 40 | — | 深冲零件, 焊 Ni-Cr 钢的焊 芯, 一般化工设备 |
| | 1Cr18Ni9 | 固溶处理 1 100~1 150 水 | — | 0.20 | 0.52 | 40 | — | 制耐硝酸、有机酸盐、碱溶液 |
| | 1Cr18Ni9Ti | 固溶处理 1 000~1 100 水 | — | 0.20 | 0.54 | 40 | 187 | 做焊芯、抗磁仪表、医疗器械、 耐酸容器、输送管道 |
| 奥氏体+铁素体钢 | 1Cr21Ni5Ti | 950~1 100 | | 0.34 | 0.59 | 20 | | 化学、食品工业耐酸容器、设 备等 |
| | 1Cr18Ni11- Si4AlTi | 930~1 050 | | 0.44 | 0.72 | 25 | | 抗高温浓硝酸介质的零件和 设备 |
| | 0Cr26Ni5Mo2 | 950~1 100 | | 0.39 | 0.59 | 18 | 277 | 耐点蚀性能好, 做耐海水腐 蚀件 |

(3) 切屑黏附现象。砂轮磨粒易被切屑黏附,砂轮被堵塞,摩擦加剧了磨削力和磨削热增加。因此加工表面出现烧伤现象,工件加工表面粗糙度变坏。根据不锈钢的类型不同,产生砂轮堵塞的情况也各不相同。如磨耐酸和耐热不锈钢,其黏附、堵塞现象比磨 1Cr18Ni9Ti 钢严重,而磨 1Cr13、2Cr13、3Cr13 则切屑黏附现象比较轻。

二、砂轮的选择

(一) 磨料

一般选用白刚玉(WA),因白刚玉磨料具有较好的切削性能和自锐性。磨不锈钢内孔时,磨粒易钝化,砂轮易堵塞,采用微晶刚玉(MA)或单晶刚玉(SA)较好。选用锆刚玉(ZA)砂轮,效果也很好,不仅磨削效率高,而且工件不易烧伤。

(二) 粒度

磨不锈钢外圆时,一般采用中等粒度(F36、F46、F60)的砂轮。其中粗磨时选用 F36、F46 粒度,精磨时选用 F60 粒度,有时为了同时用于粗、精磨,往往选用 F46 或 F60 粒度。内圆及端面磨削,因砂轮与工件接触弧较大,宜选较粗粒度砂轮。

(三) 结合剂

一般选用陶瓷结合剂砂轮,因陶瓷结合剂耐热性和抗腐蚀性高,具有多孔性,不怕潮湿与不受碱性冷却液的影响等优点。在磨削过程中能承受较大的冲击载荷。树脂结合剂,有时也用于磨不锈钢,但它没有陶瓷结合剂坚固,而且受碱性冷切液影响会起破坏作用,特别是温度高于 150℃时会软化失去强度。但在磨内孔时,有时采用树脂结合剂砂轮,会改善磨孔质量及避免烧伤。

(四) 硬度

磨不锈钢砂轮的硬度应比磨一般碳钢时稍软些,以使砂轮有较好的自锐性。砂轮硬度太高,磨钝的磨粒不易脱落,砂轮堵塞严

重,造成磨削力和磨削热增大,烧伤等现象严重。砂轮硬度太软,磨粒脱落太快,使砂轮不能保持正确的几何形状,而需经常修整砂轮。砂轮的硬度常采用G~N范围。其中以K~L使用较普遍。精磨时可选较软的J~K,粗磨时选择比精磨稍硬一些的砂轮。采用微晶刚玉砂轮磨内孔时,则以硬度J为宜。

(五) 组织

考虑磨不锈钢时砂轮易堵塞的情况,应选组织较疏松的砂轮,一般以6~10号组织为宜。

三、工艺参数的选择

(一) 砂轮速度

用陶瓷结合剂砂轮磨不锈钢时,砂轮速度 $v_s=30\sim35$ m/s范围;而用树脂结合剂砂轮时 $v_s=30\sim50$ m/s。有时适当提高砂轮速度反而有较好的效果。例如砂轮速度从35 m/s提高到55 m/s(注:最高工件速度允许时),生产效率提高一倍以上,工件表面粗糙度降低一级,同时砂轮的耐用度也相应提高。当发现磨削表面有烧伤时,应将速度降低至10~20 m/s。

(二) 工件速度

工件速度对磨削烧伤影响较大。对于导热性差、易烧伤的材料,适当提高工件的速度可减轻工件表面烧伤。外圆、内圆磨削时,工件速度 $v_w=15\sim40$ m/min。当工件直径小时取大值,工件直径大时取小值。平面磨削时,工作台纵向速度 $v_w=10\sim25$ m/min范围,粗磨取大值,精磨取小值。

(三) 工作台轴向进给量

工作台轴向进给量,主要影响磨削工件表面粗糙度。外圆磨削时,粗磨为 $(0.3\sim0.7)B$ (mm/r),精磨为 $(0.25\sim0.4)B$ (mm/r);内圆磨削时,考虑砂轮易堵塞等因素,比外圆磨削适当减少些。粗磨 $f_a=(0.2\sim0.7)B$;精磨 $f_a=(0.2\sim0.3)B$ 。平面磨削时,轴向进

给量粗磨 $f_a = (0.3 \sim 0.7)B$ /双行程;精磨 $f_a = (0.005 \sim 0.01)B$ /双行程。

(四) 工作台径向进给量

磨不锈钢时,因材料韧而软,故径向进给量比磨普通碳钢时要小些。例如磨削 1Cr18Ni9Ti 钢时,粗磨应取 $f_r = 0.02$ mm/双行程或 0.01 mm/单行程,精磨应取 $f_r = 0.0025$ mm/双行程。磨削 1Cr13、2Cr13 时,粗磨应取 $f_r = 0.04 \sim 0.06$ mm/双行程,精磨应取 $f_r = 0.01$ mm/双行程。

不锈钢磨削余量一般比磨普通碳钢小,以减少磨削工作量。例如外圆磨削时,直径可留 0.15~0.3 mm 的磨削余量。精磨时余量取 0.03~0.05 mm,因此开始精磨时最好先作预磨。因刚修好的砂轮其表面磨粒很锋利,一开始经工件挤压容易脱落,使工件表面产生拉毛划伤,达不到粗糙度要求。所以用一根余量多的轴先磨,当砂轮表面比较稳定,不再脱落磨粒时,再进行正式精磨。

第三节 钛合金磨削

一、钛合金磨削特点

(1) 磨削温度高。钛合金变形系数小($\xi \leq 1$),常形成挤裂切屑,摩擦严重。应力集中在切刃附近,产生大量的热;钛合金材料导热、导温系数小,仅为碳钢热导率的 1/5,使磨削热不易散发,易致磨削区温度过高。在相同条件下,其磨削温度约为磨 45 钢的 1.5~2 倍,最高可达 1 000℃。

(2) 钛合金在高温时化学活性高。由于磨削温度高,磨屑易与空气中的氧、氮等元素发生化学反应形成硬度很高的硬化层及脆化层,加快砂轮的磨损。

(3) 由于钛合金具有化学活性高、黏、韧等特点,加上磨削区局部高温高压作用,磨粒与金属表面因亲和力而发生黏附现象,使砂轮加快磨损,影响加工表面质量,尺寸精度也难以保证。

(4) 磨削力大。一般单位宽度的磨削力大致是普通碳钢的2~3倍,且其径向力大于切向力。

(5) 易产生烧伤裂纹,由于磨削温度高,在磨削表面产生较大热应力,不仅发生磨削烧伤,并出现磨削微裂纹。这些微裂纹呈发纹状,其方向大致与磨削方向垂直,磨削表面呈现黄褐色色斑。由于磨削热的影响,工件表面产生残余拉应力,使零件疲劳强度降低,影响零件的使用寿命。

(6) 生产效率低,磨削时因砂轮易钝化、黏附堵塞,导致磨削比很低。在保证工件质量条件下,只有降低生产率。

二、砂轮的选择

用刚玉类砂轮磨削时,因 Al_2O_3 与工件中的Ti有较强的吸附能力,会出现严重的黏附作用,而采用绿碳化硅(GC)及铈碳化硅(CC)砂轮则黏附较轻,烧伤与裂纹现象也较少。因此一般多用绿碳化硅砂轮。

采用立方氮化硼砂轮磨削钛合金时,磨削温度及加工表面残余应力均很低,可有效地抑制裂纹的产生,并可获得较高的工件表面质量和磨削效率。

砂轮结合剂:绿碳化硅砂轮宜用树脂结合剂。因陶瓷结合剂砂轮磨削力与磨削温度均比树脂结合剂要高。

砂轮的硬度一般在J~L级时生产率较高,当选用较软的砂轮时,其磨削力和磨削温度均较低,但砂轮消耗明显增大。

磨削钛合金时砂轮的选择可参考表9.3-1,磨削用量参考表9.3-2。

表 9.3-1 磨削钛合金砂轮的选择

| 砂 轮 | 外 圆 磨 | | 平 面 磨 | | 切割砂轮 |
|-----|-------|--------|-------|--------|-------|
| | 粗磨 | 精磨 | 粗磨 | 精磨 | |
| 磨 料 | GC | GC(CC) | GC | GC(CC) | GC |
| 粒 度 | 46 | 60 | 34、46 | 46、60 | 24、36 |
| 组 织 | 6~8 | 6~8 | 6~8 | 6~8 | 5~7 |
| 硬 度 | H、J | J、K | J、K | K、L | M |
| 结合剂 | V、B | V、B | V、B | V、B | R、B |

表 9.3-2 钛合金磨削用量

| 磨削用量 | 外圆磨 | | 内圆磨 | | 平面磨 | |
|-------------------------|-------|----------------|-------|-------|-------|----------------|
| | 粗磨 | 精磨 | 粗磨 | 精磨 | 粗磨 | 精磨 |
| 砂轮速度 v_s (m/s) | 15~20 | 15~20 | 10~20 | 10~20 | 15~20 | 15~20 |
| 工具速度 v_w (m/min) | 12~20 | 10~20 | 15~30 | 15~30 | | |
| 工作台速度 v_w (m/min) | | | | | 10~20 | 8~15 |
| 磨削深度 a_p (mm/单行程) | 0.025 | 0.005~ 0.01 | 0.01 | 0.005 | 0.025 | 0.005~ 0.01 |
| 轴向进给量 f_a (mm/单行程) | 0.2B | 0.1B | 0.25B | 0.1B | 0.2B | 0.1B |

- 注：1. 表中砂轮适于湿磨，建议采用极压添加剂磨削液；干磨时应选较软砂轮。
 2. 表中适于一次装夹粗精磨。分两次装夹时，粗磨用较硬砂轮，精磨用软一级砂轮。
 3. 表中内圆磨砂轮，适于 20~50 mm 孔的湿磨，孔径更大时，可用较软的砂轮，孔径更小时，可用较硬砂轮。
 4. 有条件时，可用 CBN 砂轮。

磨削钛合金时对磨削液的要求,除具有冷却和冲洗作用外,更主要的是要有抑制钛和磨粒的黏附作用和化学作用。宜选用含有多种极压添加剂的水溶性磨削液。例如含氯极压添加剂磨削液,其润滑渗透能力强,能抑制磨削裂纹及黏附的发生。使用时主要加大磨削液的流量与压力;水箱容量要足够大,以保持磨削液有较低的温度。此外钛合金磨削时温度高,切屑易燃,使用油类磨削液时要注意安全防火。

第四节 高温合金的磨削

高温合金又称耐热合金。其主要特征是在高温状态下(800~900℃)具有良好的热稳定性,能保持高温强度(在900℃时, $\sigma_b=0.65\text{GPa}$,相当于45钢在室温时强度)。因此,高温合金能适应高温氧化环境或燃气状态下的工作条件,广泛使用于飞机、宇航、燃气轮机、造船等工业部门。

一、高温合金的分类、牌号及性能

1. 按生产工艺分

(1) 变性高温合金:其特点是高温塑性好,能经受锻造等压力加工成形,常用的牌号有GH2036、GH2132等。

(2) 铸造高温合金:其特点是除含有较高的Fe、Ni等元素外,还有较多的W、Mo、Ti、Al等强化元素及较高的含碳量,热强度高、塑性差,常在铸态下使用,常见的牌号有K214、K401等。

2. 按基体元素分

(1) 铁基高温合金:如GH2036、GH2132等,此类合金价格较低,但抗高温氧化性差。

(2) 铁-镍基高温合金:此类合金含镍量为30%~45%左右,如GH3135、K404等,其抗高温氧化性能高于铁基合金,应用较

为广泛。

(3) 镍基高温合金：此类合金含镍量高于 45%，如 GH4037、GH4049、K401 等是目前抗高温氧化性能最好的产品。

(4) 钴基高温合金：以钴为基体的合金，其特点是高温强度高，能耐 1 000℃ 以上高温，如 K644 等。

高温合金牌号及性能见表 9.4-1。

表 9.4-1 高温合金牌号及性能

| 类别 | 牌号 | 力学性能 | | | | |
|--------|--------|-----------|------------------|----------------|--------------------------|------------------|
| | | 硬度(HBS) | σ_b (GPa) | δ_5 (%) | 冲击韧性(MJ/m ²) | 热导率(W/m·K)(800℃) |
| 变形高温合金 | GH1131 | — | 0.74 | 32 | — | 22.6 |
| | GH1140 | — | 0.62 | 40 | — | 25.1 |
| | GH2036 | 294 | 0.83 | 15 | 0.36 | 27.2 |
| | GH2132 | 288 | 0.93 | 20 | 0.3 | 25.5 |
| | GH3030 | 287 | 0.75 | 42 | — | 25.1 |
| | GH3128 | — | 0.74 | 40 | (固处后)3.6 | 21.4 |
| | GH4037 | 305 | 1.03 | 46 | (800℃)0.54 | 21.8 |
| | GH4049 | 332 | 1.13 | 10 | 0.14 | 24.3 |
| | GH4033 | 288 | 0.9 | 13 | 0.3 | 25.1 |
| 铸造高温合金 | K214 | (HRC45.5) | 1.13 | 2.5 | 0.084 | 23.4 |
| | K401 | 345 | 0.97 | 3.6 | — | 26.4 |
| | K403 | (HRC37.5) | 0.86 | 7.0 | (700℃)0.2 | 23.5 |
| | K406 | (HRC36.5) | 0.79 | 5.0 | 0.12 | 24.3 |
| | K417 | (HRC37) | 0.99 | 11.5 | 0.35 | 27.9 |
| | K640 | (HRC25) | 0.74 | 12.5 | 0.24 | 25.1 |

二、高温合金磨削特点

高温合金中含有大量高熔点金属元素,如 W、Mo、Ta、Nb、Ti、Cr、Ni、Co 等,这些高熔点金属元素构成了高温合金的致密组织和耐高温基体。此外,还有高熔点、高硬度的碳化物和氮化物等,其显微硬度高达 2 400~3 200HV,所以高温合金属难加工材料中很难加工的材料,其相对切削加工性 $K_r < 0.2$ 。

高温合金加工困难主要表现在下列几方面:

(1) 加工硬化现象十分严重,已加工表面硬度可达基体硬度的 200~500 倍。

(2) 切削力大,比一般钢材高 2~3 倍。

(3) 切削温度高,比加工一般钢材高出 300℃左右。

(4) 砂轮磨损快,因高温合金强度高、韧性大、导热性差及黏附性大等,磨削时砂轮易黏附堵塞、砂轮磨损快,磨削表面质量差,精度不易保证。磨削高温合金通常不易获得较低的表面粗糙度,一般只能达到 $R_a 1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$,而镍基铸造高温合金 K417 等磨削性能更差,有时用精细车削代替磨削能获得较好的效果。

三、高温合金磨削砂轮的选择

外圆磨及平面磨一般选用白刚玉 WA 砂轮,精磨时,宜用单晶刚玉 SA 砂轮;中软级 K 硬度;粒度 F46~F60;疏松组织(组织号 7~10);陶瓷结合剂砂轮。内圆磨可选用锆、钹刚玉 NA 砂轮。

磨削用量的选择:一般砂轮速度不宜过大,最好在 25 m/s 左右;工件速度在 30 m/min 以内;轴向进给量 $f_a = (0.1 \sim 0.28)B$ mm/r;径向进给量 $f_r = (0.01 \sim 0.02)$ mm/r(单行程)为宜。磨削用量见表 9.4-2。

在磨削高温合金时,考虑被加工表面质量,减少磨削引起的残余应力和变形,在最后余量小于 0.25 mm 时要特别注意:① 采用

表 9.4-2 高温合金磨削用量

| 磨削方式 | 工件表面粗糙度 R_a (μm) | 砂轮参数 | 砂轮速度 v_s (m/s) | 工件速度 v_w (m/min) | 进给量 | |
|------|------------------------------------|------------|---------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| | | | | | 径向 f_r (mm/双行程) | 轴向 f_a (mm/r) |
| 外圆磨削 | 1.6 | WA46LV | 20~30 | 15~30 | 0.01~0.1 | (0.1~0.5)B |
| | 0.4 | WA(SA)46KV | 20~30 | 15~30 | 0.01 | (0.05~0.2)B |
| 内圆磨削 | 1.6 | WA46LV | 12~18 | 10~15 | 0.02~0.05 | (0.1~0.3)B |
| | 0.4 | WA(NA)46KV | 12~18 | 10~15 | 0.01 | (0.05~0.1)B |
| 平面磨削 | 1.6 | WA46KV | 25 | 15~30 | 0.02~0.2 | (0.4~0.6)B |
| | 0.4 | WA46LV | 20~30 | 15~30 | 0.02~0.1 | (0.4~0.5)B |

较软而自锐性好的砂轮；② 适当降低砂轮速度，如采用高速磨削 ($v_s > 45 \text{ m/s}$)，也能取得较好的效果，但需具备相应的设备和技术措施；③ 减少径向进给量；④ 采用高活性极压添加剂磨削液，并加大流量喷注冷却，以减轻烧伤及堵塞砂轮。

四、高温合金缓进给磨削

缓进给磨削是一种高效加工方法，适合于高温合金、不锈钢等难加工材料的形面、沟槽加工，如汽车零件、转子、燃气轮机叶片等已推广应用。

缓进给磨削特点：

(1) 切深大，进给量小，一般 $a_p = 1 \sim 30 \text{ mm}$ ，工件进给速度 $v_{fa} = 5 \sim 300 \text{ mm/min}$ 。

(2) 生产效率高，可一次磨出成形表面，使粗、精磨合并为一个工序，提高生产率。

(3) 加工质量好，可获得高而稳定的形状精度、尺寸精度和低的表面粗糙度。通常精度可达 $2 \sim 5 \mu\text{m}$ ；粗糙度可达 $R_a 1.6 \sim 0.4 \mu\text{m}$ 。

(4) 工件表面残余应力多为压应力，从而提高了零件的疲劳强度。

缓进给磨削高温合金砂轮与磨削用量选择见表 9.4-3。

缓进给磨削已开始采用 CBN 砂轮，与普通砂轮相比，可显著提高金属切除率，工件热损伤小，可获得高精度和低粗糙度表面。CBN 砂轮价格昂贵，但其磨损小，寿命长，效率高。在成形磨削时其成本却可节约 50% 左右，有条件时可采用 CBN 砂轮。

表 9.4-3 高温合金缓进给磨削用量

| 合金 牌号 | 磨削 方式 | 粗糙度 R_a (μm) | 砂轮参数 | 砂轮速度 v_s (m/s) | 工件速度 v_w (mm/min) | 背吃刀量 a_p (mm) | 磨 削 液 |
|----------|----------|--------------------------------|----------------|---------------------|------------------------|--------------------|--|
| GH4033 | 粗磨 | 1.6~0.8 | WA/PA60H4V | 22 | 60~100 | 2.7~0.5 | 甘油、三乙醇胺、苯甲酸钠、亚硝酸钠、水。如将甘油换为硬脂酸聚乙稀醚适于磨叶片 |
| | 精磨 | 0.8~0.4 | WA/PA60H4V | 27 | 150 | 0.05 | |
| K417 | 粗磨 | | | | | 1.2 | 氯化硬脂酸、聚氧乙稀醚、甘油、苯甲酸钠、水。 流量 ≥ 40 L/min 冲洗压力 ≥ 0.39 MPa |
| | 半精磨 | | SA/PA100/80H4V | 25~35 | 118~150 | 0.15 | |
| | 精磨 | 0.8 | | | | 0.04~0.08 | |
| K403 | 精磨 | 0.2 | SA/PA100/80EV | 35 | 35 | 0.2~0.3 | |

第十章 典型磨床结构与使用

第一节 M131W 型万能外圆磨床

一、M131W 型万能外圆磨床简介

M131W 型万能外圆磨床是目前使用较多的一种常用的典型机床。它用来加工内外圆柱面、圆锥面以及阶台端面等。

(一) M131W 型万能外圆磨床的构成

M131W 型万能外圆磨床由床身 1、工作台 9、头架 2、尾架 8 和砂轮架 7、内圆磨具 5 等部件组成。见图 10.1-1。

床身用来支持磨床的各个部件,上有纵向导轨和横向导轨。工作台装在纵向导轨上,砂轮架装在横向导轨上。液压传动装置和其他传动机构装于床身内。

工作台沿床身上的纵向导轨做直线往复运动,由液压驱动,实现纵向进给。装于工作台前侧 T 形槽内的换向撞块 10,用以控制工作台自动换向。工作台由上、下两层组成,上工作台可绕下工作台的中心回转,顺时针方向 3° ,逆时针方向 9° ,用以磨削锥面。同样道理,当磨削圆柱面产生锥度时,可适当调整上工作台予以消除。工作台的手动机构可用手轮 11 操纵。

砂轮架 7 的主轴上装有砂轮 4。由单独电机经皮带轮直接驱动。砂轮的横向进给由手轮 3 控制;砂轮架的横向自动周期进给和快速进退由液压传动实现。

内圆磨具 5 用来磨削内孔,主轴上可装内圆砂轮,由一个电动

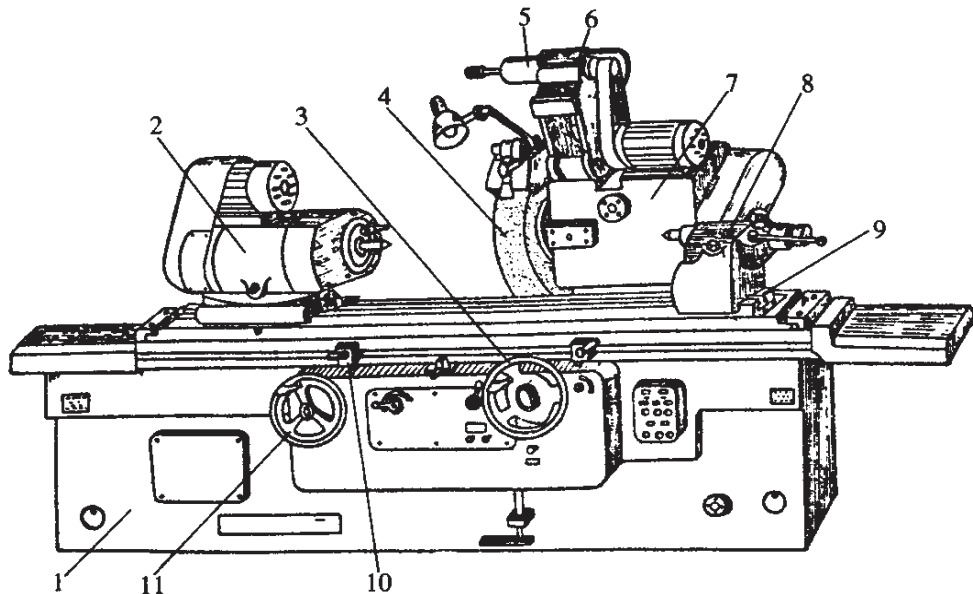


图 10.1-1 M131W 型万能外圆磨床

1—床身 2—头架 3—手轮 4—砂轮 5—内圆磨具 6—支架
7—砂轮架 8—尾架 9—工作台 10—撞块 11—手轮

机经皮带传动。内圆磨具装在支架 6 上,不用时可翻向砂轮架上方。

工作台上还装有头架 2 和尾架 8。工件通过顶尖或卡盘装夹在头架的主轴上,工件需要的不同转速由头架上的变速机构实现。尾架 8 的套筒内装有顶尖,支持工件的另一端。为适应磨削不同长度的工件,尾架能沿工作台面导轨移动,尾架套筒后端的弹簧可调节对工件的压力。

砂轮架和头架都可绕垂直轴线回转一定角度,以磨削较大锥角的圆锥面。

(二) M131W 型万能外圆磨床的主要规格及加工范围

1. 主要规格

(1) 这种机床的中心距有 710 mm、1 000 mm、1 400 mm 三种。可根据需要选用。

(2) 最大磨削直径×最大磨削长度(mm): $\phi 315 \times 710$ 、

$\phi 315 \times 1\,000$ 、 $\phi 315 \times 1\,400$ 。

(3) 头架。主轴转速：35 r/min、70 r/min、140 r/min、280 r/min；回转角度： $90^\circ \sim -30^\circ$ ；顶针孔锥度：莫氏 4#；三爪卡盘直径：200 mm。

(4) 砂轮架。最大移动量：270 mm；快速进退量：50 mm；刻度盘每转一转进给量：粗磨：2 mm；精磨：0.5 mm；刻度盘每转一格进给量：粗磨：0.01 mm；精磨：0.002 5 mm；在工作台往复一次的自动进给量：0.002 5~0.04 mm；回转角度： $\pm 30^\circ$ ；砂轮尺寸(外径 \times 宽度 \times 孔径)： $(280 \sim 400) \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 203 \text{ mm}$ ；砂轮主轴转速：1 670 r/min；砂轮线速度：35 m/s。

(5) 工作台。纵向最大移动量：780 mm、1 100 mm、1 540 mm；手轮每转一转工作台移动量：6 mm；最大回转角度：顺时针： 3° ；逆时针： 3° 、 6° 、 9° 。

(6) 内圆磨头。砂轮尺寸(外径 \times 宽度 \times 孔径)：最大：80 mm \times 32 mm \times 20 mm；最小：12 mm \times 16 mm \times 5 mm。砂轮轴转速：10 000 r/min、20 000 r/min。

(7) 尾架。顶针孔锥度：莫氏 4#；套筒移动量：25 mm。

(8) 电机功率。砂轮架电机：4 kW；头架电机：0.8 kW；油泵电机：1.1 kW；内圆磨具电机：1.5 kW；冷却泵电机：0.25 kW。

2. 加工范围

(1) 磨削工件外圆直径：用中心架：8~60 mm；不用中心架：8~315 mm。

(2) 磨削工件内圆直径：用中心架：30~110 mm；不用中心架：13~125 mm。

(3) 磨削工件最大长度：磨外圆：710 mm、1 000 mm、1 400 mm；磨内圆：125 mm。

(4) 磨削工件最大质量：150 kg。

(5) 中心高：170 mm。

(6) 顶针距：710 mm、1 000 mm、1 400 mm。

(三) 机床的操纵

M131W 型万能外圆磨床的操纵见图 10.1-2。

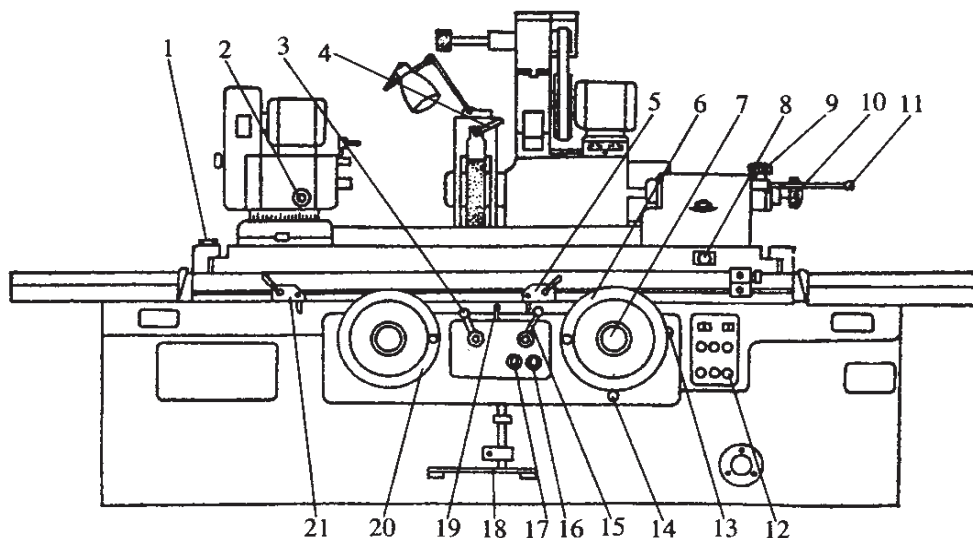


图 10.1-2 M131W 型万能外圆磨床操纵图

- 1—工作台油缸放气旋钮(仅用于中心距为 1 000 mm 及 1 400 mm 机床上);
- 2—头架皮带张力调整蜗杆;3—开停工作台及调速;4—冷却液开关;
- 5、21—工作台换向撞块;6—砂轮架轴向进给手轮;
- 7—调整手轮刻度盘旋钮;8—回转上工作台螺杆;9—紧固尾架套筒钮;
- 10—调整后顶针顶紧压力钮;11—移动尾架套筒钮;12—电器操纵钮板;
- 13—周期进给量调整钮;14—粗、细进给选择拉杆;15—砂轮架快速进退钮;
- 16—工作台换向时,砂轮架轴向进给(单向或双向)选择钮;
- 17—工作台换向时,停留时间调整钮;18—尾架套筒进出操纵踏板;
- 19—工作台换向手柄;20—工作台径向进给手轮

二、M131W 型万能外圆磨床机械传动系统

图 10.1-3 是机床机械传动系统,可实现工件所需要的主要运动。

(一) 工件的旋转和砂轮的旋转运动

1. 工件的旋转运动

工件由电机 M_3 , 经塔形皮带轮 5、6 和皮带轮 7、8、9, 用拨杆 10 传动旋转。塔形皮带轮 5 上有四级直径, 6 上有五级直径, 其中

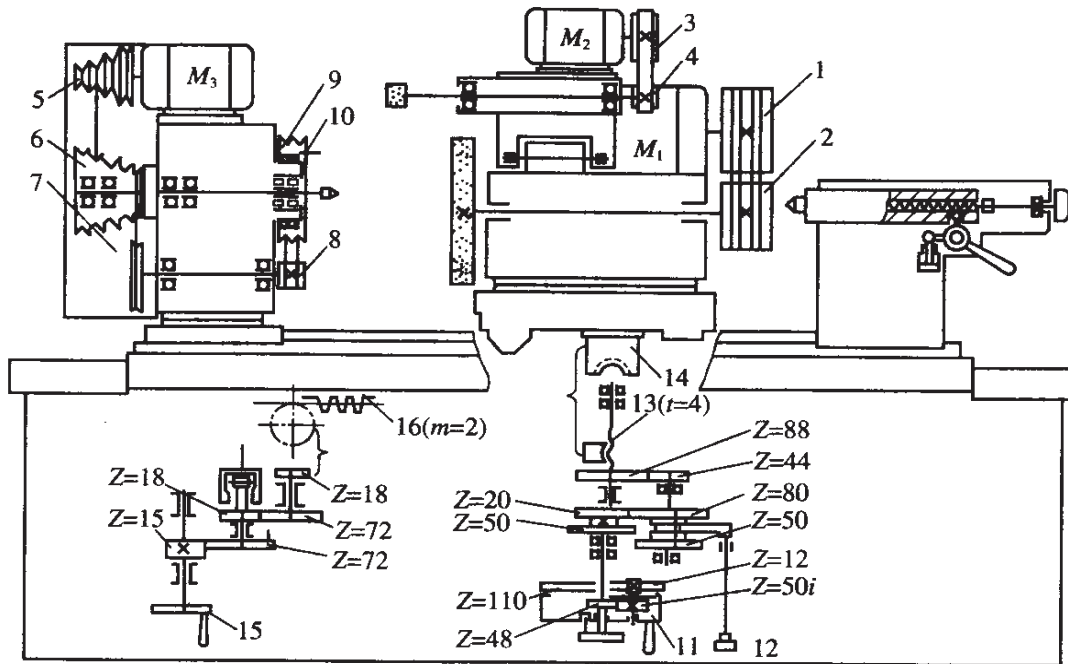


图 10.1-3 M131W 型万能外圆磨床机械传动系统图

1、2—三角皮带轮 3、4—平皮带轮 5、6—塔形皮带轮 7、8、9—皮带轮
10—拨杆 11、15—手轮 12—捏手 13—丝杆 14—半螺母 16—齿条

四级与皮带轮 5 连接,另一级与皮带轮 7 连接。把皮带移至塔形带轮的不同直径,可以获得不同的四种转速。

2. 砂轮的旋转运动

外圆磨时砂轮主轴有电机 M_1 经皮带轮 1 和 2,用三角皮带直接传动旋转。

内圆磨时砂轮主轴由电机 M_2 经皮带轮 3 和 4,用平皮带直接传动旋转。

(二) 工作台的纵向移动和砂轮架的横向进给

1. 工作台的纵向移动

转动手轮 15,经齿轮副 15/72、18/72、齿轮 $Z=18$ 和齿条 16,可使工作台移动。手轮转一圈,工作台移动距离为:

$$1 \times 15/72 \times 18/72 \times 18 \times 2\pi = 5.9 \text{ mm}$$

2. 砂轮架的横向进给

转动手轮 11, 通过齿轮副 20/80(或 50/50)、44/88, 传动丝杆 13 旋转, 丝杆 13 和固定在砂轮架上的半螺母 14($t=4\text{ mm}$) 啮合, 带动砂轮架做横向进给。捏手 12 可操纵滑移齿轮 Z50/80, 使齿轮副 20/80 或 50/50 啮合, 便获得细进给或粗进给。

粗进给时, 手轮转 1 圈, 砂轮架横向移动距离: $1 \times 50/50 \times 44/88 \times 4 = 2\text{ mm}$; 细进给时, 手轮转一圈, 砂轮架横向移动距离: $1 \times 20/80 \times 44/88 \times 4 = 0.5\text{ mm}$ 。

手轮刻度盘上刻划 200 格, 粗进时, 刻度每转一格, 砂轮架移动 0.01 mm ; 细进给时, 刻度每转一格, 砂轮架移动 0.0025 mm 。

三、M131W 型万能外圆磨床主要部件结构

(一) 砂轮架主轴及其轴承

砂轮架主轴及其轴承是磨床上重要的部件。主轴的旋转精度对磨削加工的表面质量和加工精度有直接影响, 在磨床上常采用特殊结构的滑动轴承。

M131W 型万能外圆磨床的砂轮主轴 4 装在两个多块式油膜滑动轴承 3 中, 见图 10.1-4 a), 主轴左右两端的锥体上分别装有砂轮法兰盘 1 和三角皮带轮 8, 由装在砂轮架上的电机经皮带直接传动旋转。前、后轴承 3 各由三块扇形轴瓦组成, 见图 10.1-4 b)。采用钢套镶铜结构, 每块轴瓦的背面都不和轴承座孔接触, 而支承在可调节的球面螺钉 9 上(前轴承的一块轴瓦支承在固定的球面支承钉 16 上), 主轴旋转时, 轴瓦可绕着支承点自由摆动, 使轴瓦内表面与主轴轴颈间形成一个斜楔缝隙, 见图 10.1-5。

当润滑油因附着力被高速旋转的主轴带入此楔缝隙中时, 楔缝中的油压便升高, 把轴颈和轴瓦的接触表面分开, 并形成一层压力油膜, 使相互滑动的两金属表面完全不接触, 主轴旋转时, 只发生润滑油分子之间的液体摩擦, 阻力很小, 主轴及轴承的寿命大大延长。

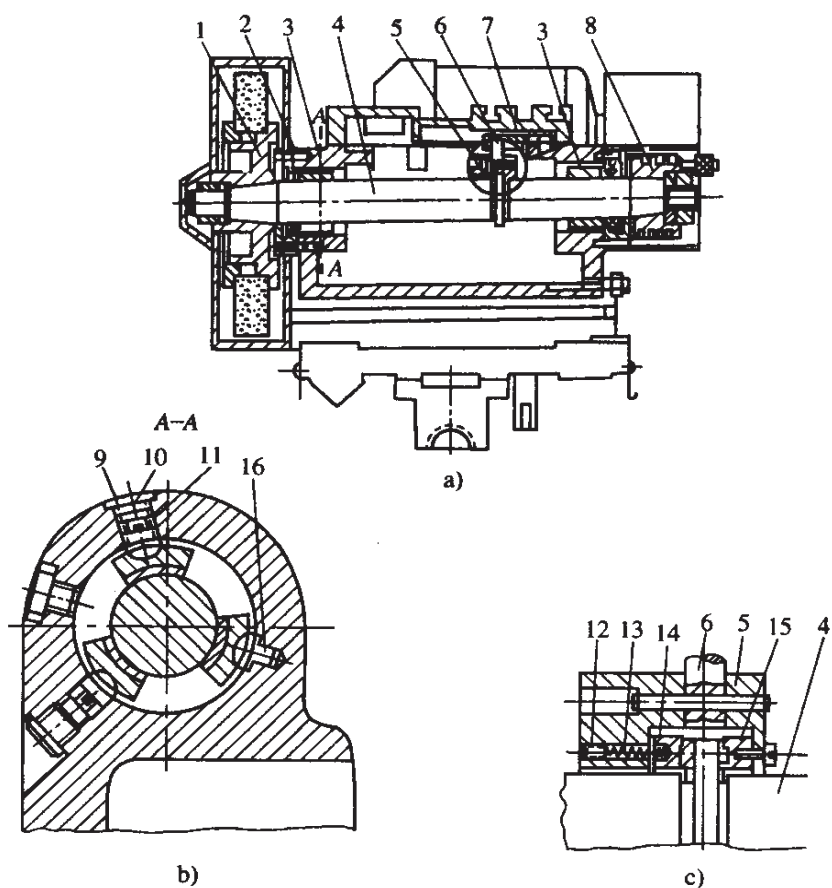


图 10.1-4 M131W 型万能外圆磨床砂轮主轴及其轴承

这种轴承的三块扇形轴瓦均匀分布在轴颈周围, 主轴高速运转产生的三个压力油膜使主轴能自动定心。负荷发生变化时, 旋转中心的变化量较小。

主轴的轴向定位方法采用主轴 4 中间部位的台肩装在半圆支架 5 中(轴半圆支架 5 通过小轴 6 和支架 7 固定在砂轮架壳体上), 套内有两个半圆环 14 和 15, 见图 10.1-4 c)。靠弹簧 13 的推力, 台

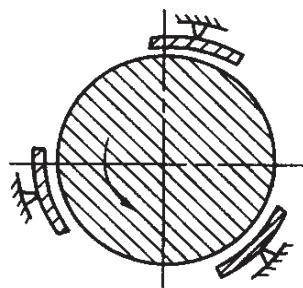


图 10.1-5 多块式油膜滑动轴承的工作原理

肩被压紧在两个半圆环之间,实现主轴的轴向定位。

为保证主轴的正常工作,主轴轴颈和轴承之间保持适当的间隙是非常重要的。虽然减小轴承间隙可提高主轴旋转精度,并使工作时有较好刚性,但间隙太小会使油温升高发生“抱轴”。新机床出厂时调整好的间隙为 $0.005\sim 0.015\text{ mm}$ (热态)。

砂轮主轴轴承采用浸入式润滑。

(二) 内圆磨具

内圆磨具主轴必须具有很高的转速,同时要求有很高的旋转精度,否则会直接影响工件表面粗糙度、几何形状精度和磨削效率。内圆磨具主轴轴承一般采用滚动轴承。M131W 型磨床使用的内圆磨具由主轴 8,前后轴承 4 和 10,壳体 5 和套筒 6 等组成,见图 10.1-6。

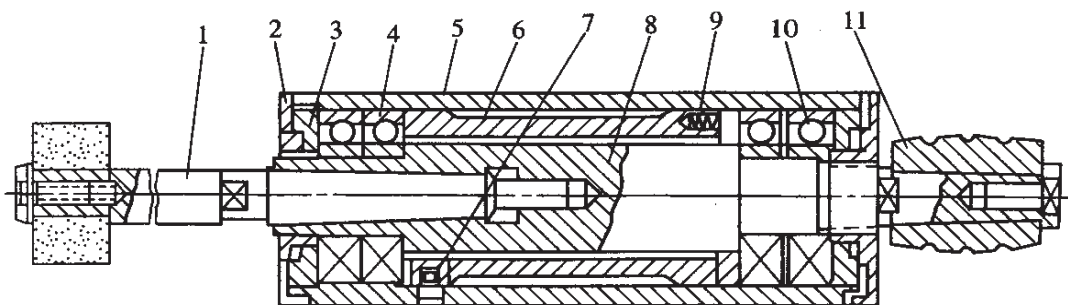


图 10.1-6 内圆磨具

1—接长轴 2—封油盖 3—螺母 4、10—轴承 5—体壳 6—套筒
7—销子 8—主轴 9—弹簧 11—皮带轮

主轴支承在前、后两组精密向心推力球轴承上,主轴后端锥体上装有皮带轮 11,由电机经平皮带直接传动旋转,转速为 $20\ 000\text{ r/min}$ 。主轴前端的莫氏锥孔内装有砂轮接长轴 1,靠螺纹拉紧。前轴承 4 的外环由螺母 3 压紧在套筒 6 端面上(套筒 6 用销子 7 固定在壳体 5 上),后轴承 10 的外环可在壳体孔中轴向游动,并始终受装在套筒 6 右端小孔中的 4 根弹簧 9 的推力作用,使

其得到一个预加的轴向负荷,不仅消除轴承中存在的间隙(见图 10.1-7),而且在内、外环滚道与滚珠的接触处形成一些初步的弹性变形,提高了主轴的旋转精度和刚性。

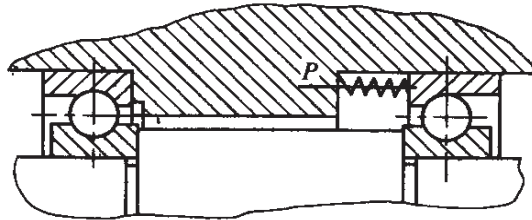


图 10.1-7 用弹簧使滚动轴承受预加负荷

主轴在运转过程中因温度升高而伸长时,后轴承内环向右移动,此时弹簧 9 使轴承外环也相应地移动,因此轴承能够保持原来的工作状态不变。

滚动轴承采用锂基润滑脂润滑。

四、M131W 型万能外圆磨床液压系统

M131W 型万能外圆磨床在磨削圆柱(锥)形的外圆(内孔)时,液压系统驱动工作台带着工件做纵向往复运动;砂轮(砂轮架)能做轴向快速进给、快速退回及周期进给,且调节工作台换向时的可停留时间,保证工件两端尺寸精度和表面粗糙度;此外,还有尾架顶针的液压退出及导轨润滑等。其中以工作台的往复运动要求最高,是液压系统的核心部分。

(一) 工作台往复运动

图 10.1-8 为 M131W 型万能外圆磨床的液压系统图。

液压操纵箱为双点划线框起的部分③,有三个主要阀:开停节流阀 A、先导阀 B 和换向阀 C。可实现工作台往复、速度调节及开停等动作。

1. 工作台向右运动

图示位置为阀 A 处于“开”位置,阀 B 和阀 C 皆处于右端位

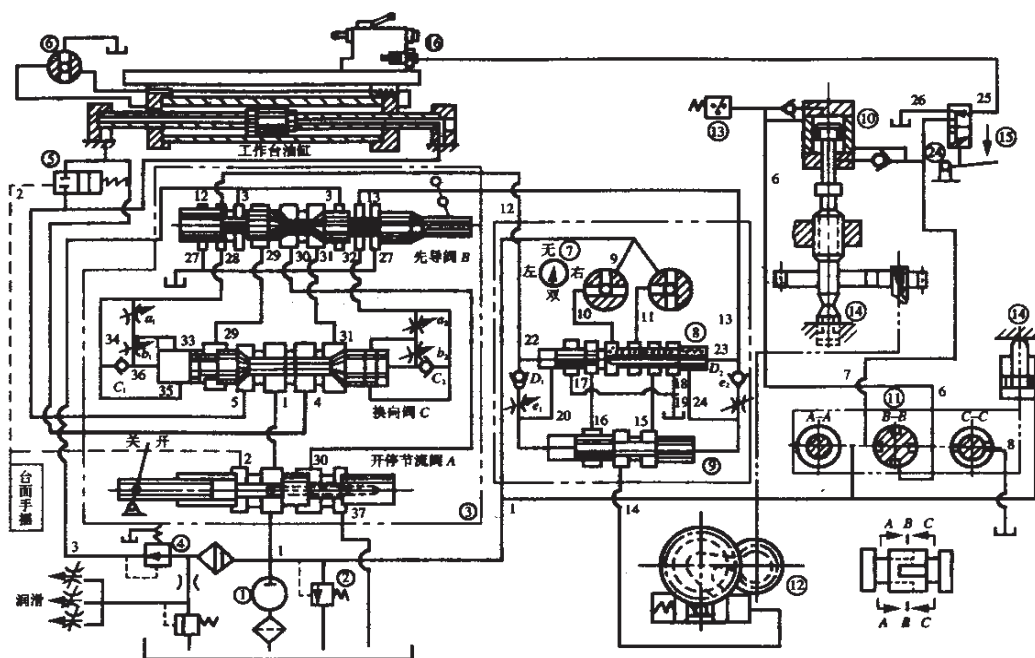


图 10.1-8 M131W 型万能外圆磨床液压系统

置,工作台右行,回油路节流调速。

2. 工作台换向过程

换向过程分预制动、终制动、端点停留、反向启动四步。

(1) 预制动: 当工作台挡铁通过杠杆拨动先导阀 *B* 向左时, 阀中部锥体使油缸回油受阻, 速度减慢到很小, 完成预制动。

(2) 终制动: 工作台继续带动阀 *B* 向左运动, 使控制油路换向。工作台停止运动, 完成终制动。

(3) 端点停留: 工作台停留在换向端点, 称端点停留。停留时间在 0~5 s 内调整, 通过换向阀阀心在使工作台油缸两腔互通的一段移动距离内, 移动要慢且可以调整。停留时间受节流阀 a_1 的开口控制。

(4) 反向启动: 换向阀 *C* 阀心继续向左移动, 使主油路反向接通, 工作台即实现反向启动。此时阀 *C* 的移动速度受阀 b_1 的开口控制, b_1 开口比 a_1 开口要大, 使阀心能以较快而又适当的速度移动到底, 保证工作台较快又无冲击地实现反向启动。

完成反向启动以后,即以正常的工作速度向左运动,这时的主油路恰好与图示的向右运动相反。

3. 工作台往复运动停止

开停节流阀 A 向左推移,节流口关闭,工作台速度降低。当移到最后位置时,节流口关死,工作台停止运动。工作台液动与手动互锁,当工作台停止时,互通阀⑤在弹簧作用下复位,工作台油缸两腔互通;同时,台面手摇机构油缸中的活塞亦在弹簧作用下复位,带动齿轮啮合,即可手摇工作台了。

(二) 砂轮架周期进给与快速进退

1. 砂轮架周期进给

砂轮架横向自动周期进给是在工作台换向时进行的。周期进给有四个位置:双进给、左进给、右进给、无进给。用选择阀⑦选择。当选择阀位置确定后,靠横向进给油缸⑫在换向时推动棘轮、齿轮,使丝杆转动。

(1) 双进给:图示位置为双进给。工作台在左边和右边换向时都有进给,故称为双进给。

(2) 左进给:选择阀⑦向左转动 90° ,工作台在左边换向时进给。

(3) 右进给:阀⑦向右转动 90° ,右进给。

(4) 无进给:阀⑦转动 180° ,左、右都没有进给。

2. 砂轮架快速进退

为减少辅助时间,提高生产率,要求砂轮能快速引进,然后进行磨削,磨完后能快速退出。

转阀⑪是一个具有三个截面 A-A、B-B、C-C 的快速进退阀,砂轮架的快速进退靠快速进退油缸⑩实现,图示位置为“快进”。当转阀⑪顺时针转 90° ,油路反向,砂轮架“快退”。

当快进时,压力继电器⑬发讯号使头架电机转动,带动工件转动;当快退时,压力继电器复位发讯号使头架电机停转,工件停转。

当进行内圆磨削时,电磁铁锁住转阀⑪,砂轮架不能快速进退。

第二节 M7120A 型平面磨床

一、M7120A 型平面磨床简介

M7120A 型平面磨床是卧轴矩台平面磨床,利用砂轮的圆周面磨削各种零件的平面,也可用砂轮的端面磨削零件的垂直面。

被加工零件能获得较高的精度,在 500 mm 长度上两平面的平行度不超过 0.01 mm,表面粗糙度 $R_a 0.2 \mu\text{m}$ 。由于该机床使用方便、操作简单而得到广泛应用。

(一) M7120A 型平面磨床的构成

图 10.2-1 为 M7120A 型平面磨床,由床身 10、立柱 6、工作台 8、磨头 2、手轮 1、4、9 和砂轮修整器 5 等组成。

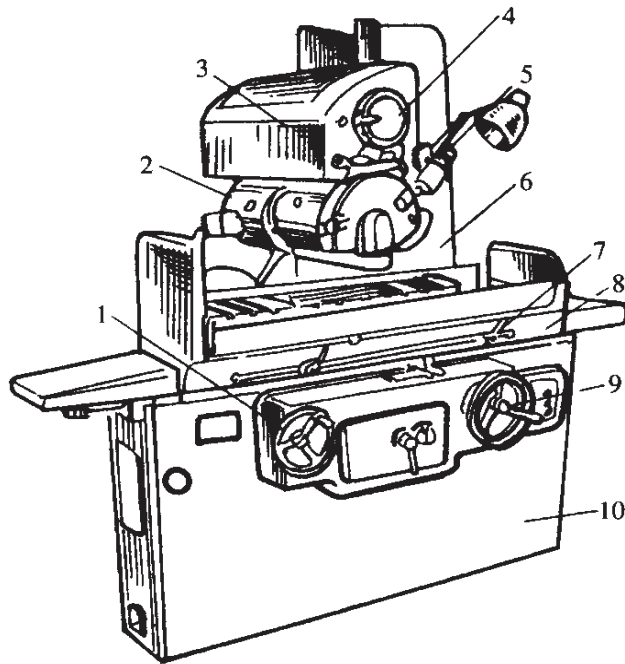


图 10.2-1 M7120A 型平面磨床

1—手轮(工作台移动) 2—磨头 3—拖板 4—手轮(磨头横向移动) 5—砂轮修整器
6—立柱 7—撞块 8—工作台 9—手轮(磨头垂直进给) 10—床身

根据工件尺寸大小及结构形状,可用螺钉和压板将工件直接固定在工作台上,或放在电磁吸盘上吸住进行磨削。

长方形的工作台装在床身的水平纵向导轨上,由液压传动实现工作台的往复运动。调整撞块 7 控制换向,便可磨削不同行程的工件。

本磨床装有砂轮主轴磨头 2,可沿拖板 3 的水平导轨做轴向进给,磨削时可获得自动的间歇进给。修整砂轮时靠手轮 4 可获得横向进给,拖板 3 可沿立柱的垂直导轨移动,实现磨头的垂直进给运动。摇动手轮 9 可控制磨削的垂直进给量。

(二) 主要技术规格

(1) 加工工件最大尺寸(长×宽×高): 630 mm×200 mm×320 mm。

(2) 砂轮主轴中心到工作台面距离: 100~445 mm。

(3) 砂轮架横向移动量: 手动: 250 mm;液动: 235 mm。

(4) 工作台纵向移动最大距离: 手动: 780 mm;液动: 730 mm。

(5) 工作台液动速度: 1~18 m/min。

(6) 砂轮尺寸(外径×宽×内径): 250 mm×25 mm×75 mm。

(7) 砂轮主轴电机功率: 2.1/2.8 kW。

(8) 砂轮主轴转速: 1 500~3 000 r/min。

二、M7120A 型平面磨床机械传动系统

图 10.2-2 为 M7120A 型平面磨床机械传动系统图。

可实现磨头架横向进给及垂直进给以及工作台的手动纵向运动。

(一) 磨头架横向进给及磨头垂直进给

1. 磨头架横向进给

转动手轮 9,经蜗杆 12、蜗轮 13,小齿轮 11 带动齿条 10(固定在砂轮架体壳上),使磨头做横向周期或连续进给。

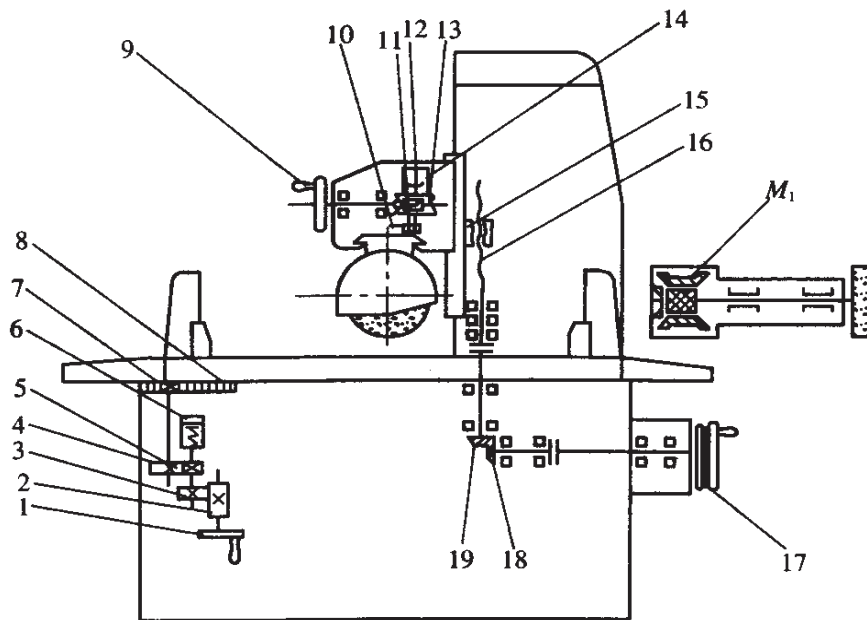


图 10.2-2 M7120A 型平面磨床机械传动系统

- 1—手轮(工作台移动) 2、3、4、5—齿轮 6—油缸 7、11—小齿轮
 8—齿条(工作台) 9—手轮(磨头) 10—齿条(磨头) 12—蜗杆
 13—蜗轮 14—油缸 15—螺母 16—丝杆 17—手轮(磨头垂直移动)
 18、19—锥齿轮

当横向进给由液压传动时,手摇机构不起作用;当液压运动停止工作时,小齿轮 11 与齿条 10 重新啮合。此时手摇机构起作用。转动手轮 9 每格进给量为 0.01 mm。

2. 磨头垂直进给

转动手轮 17,经过 18、19 锥齿对,联轴器、丝杆 16 以及固定在砂轮架拖板上的螺母 15,可使砂轮做垂直进给。手轮 17 顺时针转动一圈磨头下降 1 mm,每格进给量为 0.005 mm。

(二) 工作台手动纵向运动

转动手轮 1,经齿轮 2、3、4、5,小齿轮 7 带动固定在工作台上的齿条 8,使工作台纵向运动。

当工作台由液压传动时,压力油进入油缸 6,齿轮 4 和 5 啮合脱开,工作台手摇机构不起作用。

当压力油没有进入工作台手摇机构油缸时,弹簧复位使齿轮 4 和 5 重新啮合,此时手摇机构起作用。

三、M7120A 型平面磨床主要部件结构

本机床主要部件有立柱、工作台、横向进给机构、磨头等。

(一) 磨头

磨头结构见图 10.2-3。主轴 9 支承在两个“短三块”油膜滑动轴承上,轴承间隙在机床出厂时已调整好,一般可以长期使用。若在工作中发现因轴承间隙过大影响磨削质量时,可由专门人员重新调整前后轴承上面的两个球头螺钉 17,以获得适宜的间隙。调整时需拆下封口螺钉 15,塑料垫圈 14 和空心螺钉 16,然后细心旋入球头螺钉 17,使轴瓦接触主轴轴颈(不可太紧),一般间隙在 0.008~0.015 mm。然后旋入空心螺钉 16,使其轻轻接触球头螺钉 17 端面为止,再用力把球头螺钉 17 反向旋转,使 16 和 17 相互顶紧,并在轴瓦 18 和主轴轴颈间产生适当间隙。最后重新安装垫圈和封口螺钉以防漏油。

主轴 9 上装有平衡环 3,在起平衡作用的同时还起止推作用,承受向右的轴向载荷。主轴的轴向定位采用两个球面滑动止推轴承 4,与球面环 6 配合,可自动调位。右边的球面环 6,可以自动调位,左边的球面环 6 用螺钉 21 固定,防止转动与轴向移动。球面止推轴承与球面环由销钉 5 连在一起,使其不能随主轴转动。两球面环之间的弹簧 7 和圆柱销 8,用以消除止推轴承的间隙和防止右边的球面环转动。

主轴轴承采用循环润滑方式。在球面止推轴承 4 与主轴的止推面平衡环 3 和主轴上的台肩端面之间形成润滑油膜。

主轴 9 尾部装有电机转子 11,定子 12 装于体壳 1 后部的孔中。

壳体 1 上部有导轨,与拖板导轨配合做横向移动。顶部装有齿条 19,与手摇机构的小齿轮啮合,做手动横向进给。

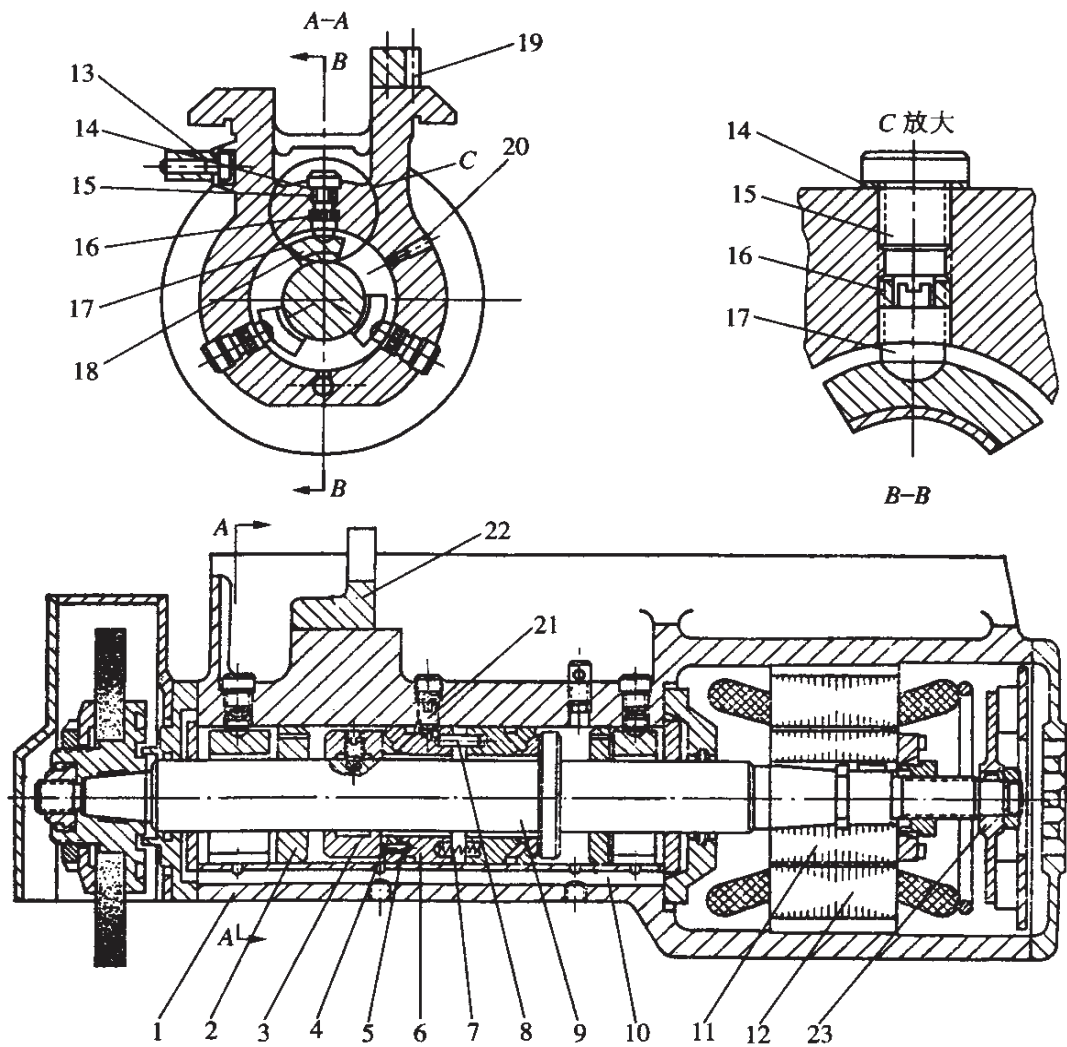


图 10.2-3 磨头

- 1—体壳 2—油封圈 3—平衡环 4—止推轴承 5—销钉 6—球面环
 7—弹簧 8—圆柱销 9—主轴 10—纵向孔 11—电动机转子
 12—电动机定子 13—撞块 14—塑料垫圈 15—封口螺钉 16—空心螺钉
 17—球头螺钉 18—轴瓦 19—齿条 20—纵向孔 21—螺钉 22—支架
 23—风扇

(二) 滚柱螺母

磨头垂直进给时,由丝杆带动螺母,而螺母是采用滚柱螺母结构,见图 10.2-4。

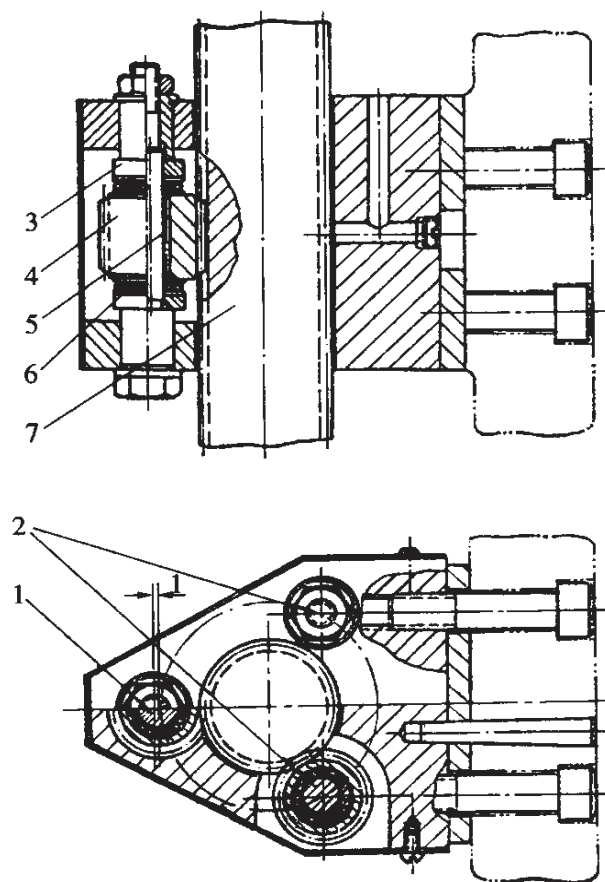


图 10.2-4 滚柱螺母

1—偏心轴 2—轴 3—垫圈 4—滚柱
5—滚针轴承 6—止推轴承 7—丝杆

由装在壳体上的三个滚柱 4 组成。滚柱外圆是环形齿圈,但没有螺旋升角,各自绕轴 1、2 在滚针轴承 5 和止推轴承 6 之间转动。这样就将丝杆螺母的滑动摩擦变成了滚动摩擦。

滚柱 4 与丝杆 7 啮合时的径向间隙采用偏心轴 1 来调整。修磨垫圈 3 使三个滚柱的轴向位置相互之差为丝杆螺距的 $1/3$, 这样不仅丝杆在圆周上受力均匀,而且还消除了丝杆螺母的轴向间隙。此结构能轻便移动磨头拖板,且省去用重锤平衡磨头的装置,还能实现微量进给。

四、M7120A 型平面磨床液压系统

M7120A 型平面磨床的液压系统见图 10.2-5。

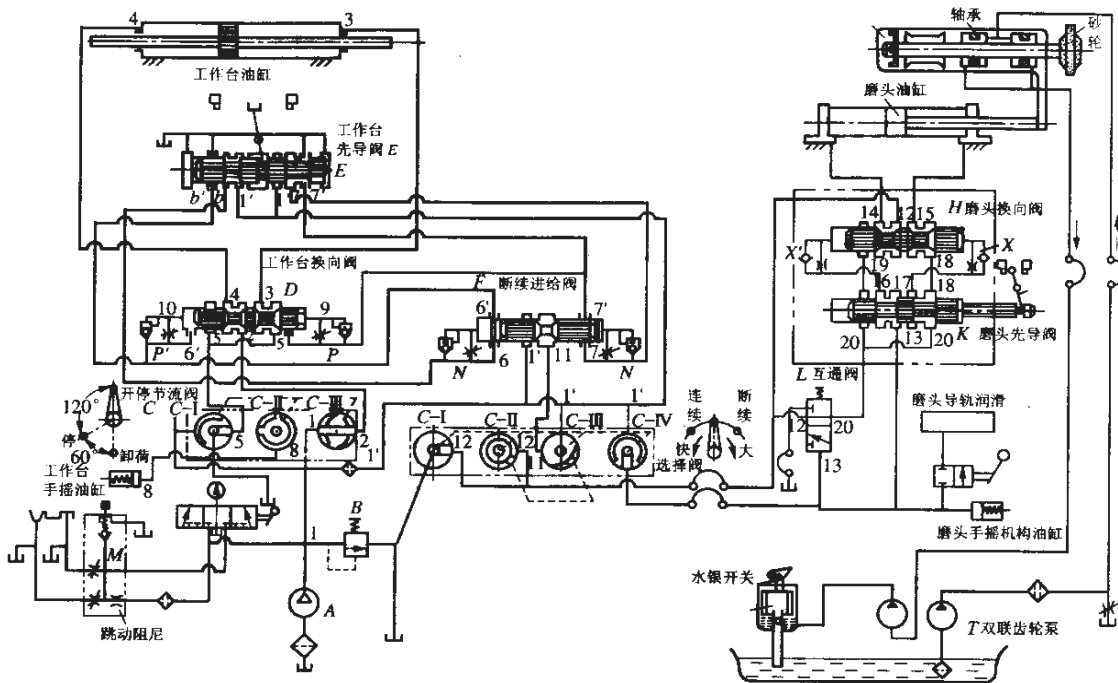


图 10.2-5 M7120A 型平面磨床液压传动系统图

该系统压力油由齿轮泵 A 供给，主系统工作压力为 0.9～1.2 MPa，工作台运动速度在 1～18 m/min 范围内无级调整；磨头运动速度在 0.3～3 m/min 范围内无级调整，连续进给是在修整砂轮或调整机床时使用；断续进给是工作台换向时进行的，进给量在 2～12 mm 范围内无级调整。

床身导轨的润滑由润滑油稳定器控制，压力在 0.08～0.15 MPa，为保证磨头主轴在充分润滑情况下启动，采用水银开关装置进行有程序的主轴启动连锁。

该系统用以实现工作台的往复运动和磨头的横向进给（连续或断续）。

(一) 工作台的往复运动

工作台的往复运动由操纵箱控制,该操纵箱由开停节流阀 C 、先导阀 E 、换向阀 D 、砂轮架断续进给阀 F 、选择阀 G 等组成。

工作台开停节流阀 C 用来控制工作台的启动、调速、停止和卸荷。调速时,通过阀心圆柱面上三角槽节流口起作用,有的截面是进油节流,有的截面是回油节流。但因回油节流三角槽比进油节流三角槽要小,故以回油节流调整为主,双重节流使工作台运动平稳。而进油节流的作用是当工作台开动时,即使操纵太快,也不至于引起压力突然变化而造成开车冲击。

1. 工作台右行

打开工作台开停节流阀 C ,换向阀 D 和先导阀 E 在图示位置,工作台向右移动。同时压力油进入手摇机构油缸,使传动齿轮脱开,实现工作台手动与液动的连锁。

2. 工作台换向

右行到反向位置时,工作台撞块使先导阀杠杆带动先导阀 E 向左运动,油液换向。

换向阀 D 在压力油推动下快速左移,当阀心移到中间位置时, H 型阀心使油缸两腔与进、回油路相通,工作台失去动力,仅靠惯性运动。继续左移,由于单向节流阀的节流,左移速度减慢,在阀 D 制动锥作用下,逐渐关闭工作台油缸回油道,工作台制动。并切换主油路实现工作台换向。这里没有先导阀的预制动,而是靠调节节流阀 P 和 P' 开口大小来控制工作台制动时间,属于时间控制制动。

换向结束后,工作台左行,换向阀 D 和先导阀 E 在图示相反位置。

3. 工作台停止和系统卸荷

将开停节流阀 C 从图示位逆时针转 120° ,工作台油缸左、右腔均通压力油,因为是等直径双出杆油缸,所以工作台停止。在弹

簧力作用下,手摇机构传动齿轮啮合,可手摇移动工作台。此时系统保持原有压力,其他动作仍可进行(如磨头的运动)。

当开停节流阀 C 从图示位逆时针转 180° 时,系统卸荷。

(二) 磨头的轴向进给运动

在磨削过程中工作台在左、右两端换向时,磨头需做轴向断续进给。在修整砂轮和调整机床时,磨头需做轴向连续进给。

磨头的连续、断续进给或停止,由选择阀 G 控制,进给运动方向的切换,由磨头先导阀 K 和换向阀 H 控制。

1. 磨头轴向进给停止

选择阀 G 在图示位置,砂轮架停止进给,因为连续进给油路和断续进给油路都没被选择阀 G 的断面堵死,压力油进不了磨头油缸。同时手摇机构接通。

互通阀 L 处于图示位,使磨头油缸两腔互通且接油箱,可手摇使磨头移动。

2. 磨头轴向连续进给

当选择阀 G 从图示位逆时针转到连续进给时,断续进给油路被堵死。互通阀 L 使砂轮架油缸两腔不再相通;手摇砂轮机构脱开。此时若换向阀 H 和先导阀 K 处于图示位,则磨头向右移动。当磨头右行到调定位置时,磨头上撞块碰到先导阀 K 的杠杆,使阀心移到左端位置,换向阀 H 油路换向。换向的快慢由单向节流阀控制。当换向阀 H 的阀心移到左端位置时,磨头油缸油路切换,磨头向左移动。

磨头连续进给速度由选择阀 G 断面上的三角节流槽调节。

3. 磨头轴向断续进给

当选择阀 G 从图示位顺时针转到断续进给位时,连续进给油路关闭。互通阀 L 和磨头手摇机构油缸仍保持连续进给时位置不变。

断续进给是在工作台每次换向前的很短一段时间内完成的,

如图示当工作台右行,在右端位换向时,使先导阀 E 移至左端,压力油推动阀 F 阀心左移,当阀 F 将油路 $7 \rightarrow 7'$ 接通时,阀 D 的右腔才通有压力油,阀 D 开始换向;这时阀 F 的油路 $1' \rightarrow 11$ 接通,一定量的压力油进入砂轮架油缸左腔,磨头开始进给。阀 F 继续左移,直到阀心将油路 11 堵死,便完成了一次进给。每次进给量的大小靠调节单向节流阀 $N(N')$ 和选择阀 G 断面节流口大小进行选择。当工作台在左端位置换向时,磨头又进给一次。断续进给到预定位置时,磨头的换向与连续进给换向相同。

第十一章 数控磨床

第一节 数控技术概述

1952年美国研制成功世界上第一台三坐标数控铣床,用它来加工直升机叶片轮廓检查用样板。我国从1958年开始研制数控机床,在研制与推广使用数控机床方面取得了一定成绩。近年来,由于引进了国外的数控系统与伺服系统的制造技术,使我国数控机床在品种、数量和质量方面得到了迅速发展。

数控技术是指用数字量发出指令并实现控制的技术,简称NC(Numerical Control)。它所控制的一般是位置、角度、速度等机械量,也有温度、压力、流量、颜色等物理量。这些量的大小不仅可用数字表示,而且是可测的。随着电子技术和计算机技术的不断发展,数控系统经历了采用电子管、晶体管、集成电路,直到将计算机引入数控系统的过程。现代数控系统就是指计算机数控系统,简称CNC(Computer Numerical Control)。尤其是随着计算机技术的高速发展,数控技术也在向着数字化、智能化、网络化方向发展。

一般数控系统由控制系统、伺服系统和测量系统三大部分组成。控制系统一般又分为NC控制系统和PLC控制系统两部分,NC按工件加工程序进行运算,并发出控制指令到PLC,由PLC完成对伺服驱动系统和检测系统的控制以及冷却、润滑等执行机构的动作;伺服驱动系统将根据控制指令完成对伺服电机的控制任务;检测系统检测各个运动轴的位置或速度,并反馈到控制系

统。控制系统根据检测系统的反馈修正控制指令,这样三部分结合起来,组成一个完整的闭环控制系统。

一、数控系统的分类

(1) 位置控制系统。此类系统控制运动部件的精确位置,如控制刀具对工件的定位,而对定位过程中的运动轨迹没有严格的要求,可以先沿一个坐标移动完毕,再沿另一个坐标移动,也可以沿多个坐标同时移动。这类系统主要用于数控钻床、数控镗床及数控冲床等。

(2) 直线控制系统。它除控制运动部件的精确位置外,还需保证其移动轨迹为直线,对移动速度也须进行控制,以适应不同刀具和不同加工材料的要求,数控车床常采用此类系统。

(3) 连续控制系统。连续控制系统又称为轮廓控制系统,它能对两个或两个以上坐标轴同时移动的瞬间位置和速度进行严格的控制。为了实现上述控制功能,它还具有主轴速度选择、传动系统误差补偿、刀具半径或长度补偿等功能。具有连续控制系统的机床,能加工曲面、凸轮、锥度等复杂形状的零件。此类系统常用于数控铣床、数控加工中心及数控磨床。

二、数控系统的基本功能

(1) 控制功能。控制功能是指控制轴的运动方向和速度及轴的精确定位,两个或两个以上的轴按给定轨迹联动的功能,以及对冷却装置、润滑装置、零件装夹等机床辅助装置的控制。

(2) 程序的输入输出和存储功能。数控系统可以通过操作面板直接输入零件加工程序并存储在系统内部的存储器中,也可以通过通讯接口由外部设备传入或读出数控加工程序。

(3) 补偿功能。数控系统可以对加工刀具的半径、长度、位置进行补偿,另外也可对螺距误差、间隙等进行补偿。

(4) 自诊断与监控功能。数控系统可随时监控机床的运行状况,如气压、油压、冷却液流量、温度等外围条件;对各个轴的运行轨迹以及数控、驱动、测量等系统内部的工作状况,当操作者进行错误操作时,系统能给出相应的提示信息;当机床发生故障时,可以给出相应的报警信息。

数控机床是将以数控技术为代表的新技术同传统的机械制造业相结合而形成的机电一体化产品,其涵盖的技术领域包括:机械制造技术;信息处理、加工、传输技术;自动控制技术;伺服驱动技术;传感器技术;软件技术等。数控技术的应用大大地提高了机床的加工精度、速度和效率。

第二节 数控磨床

磨床往往是处于机械加工中最终工序的机床。由于对加工精度要求高,加上磨床采用的切削工具为砂轮,其不定因素很多。尽管金属切削机床领域内数控车床、车削中心、数控铣床、加工中心等普及已有二十多年历史,而数控磨床却只有十几年的历史。数控磨床迅速发展是在 20 世纪 80 年代,而真正普及、实用则是在 90 年代。由于计算机技术的高速发展,数控技术得到进一步完善,促进了磨床结构的变革,使数控磨床不仅在精度、效率、可靠性方面,而且在柔性化、易操作、易维护等各个方面达到新的高度。

一、数控磨床的一般结构

数控磨床具有数控机床的一般结构,另外它还具有磨床所特有的一些装置。磨床本身的种类很多,如外圆磨床、内圆磨床、平面磨床、螺纹磨床、凸轮轴磨床、无心磨床、工具磨床等;其结构也有很大的不同,但是由于采用了数控技术,即相同的控制手段决定了它们在结构上相同的基本特征。

数控磨床的结构一般由下面几个主要部分组成：床身、数控系统、主轴机构、进给机构、砂轮平衡装置、砂轮修整装置、在线测量系统、润滑及冷却系统。其中数控系统包括控制系统、伺服驱动系统、测量系统。现代数控机床的进给控制大多采用双闭环系统，内环是速度环，外环是位置环。速度反馈的检测元件是测速发电机或脉冲编码器，位置反馈的检测元件是光栅尺或脉冲编码器。目前数控机床的主轴主要采用交流主轴控制系统，驱动器为数字式驱动系统。数字式控制与模拟控制相比具有主轴电机速度响应快、主轴定位精度高和调整操作更方便等优点。

数控磨床除了上述的硬件结构外，还要有一个完整的软件系统，这是数控机床的控制中心。数控系统的软件包括系统程序、机床参数、控制程序（PLC 程序）、用户加工程序。系统程序是数控核心，是由数控系统生产厂家编制的，机床用户是不能对该程序访问和修改的。机床参数对于用户来说是很重要的，它是机床生产厂家对整个机床的设置参数，这些参数包括驱动、测量、加工程序、各运动轴及主轴等部件的控制运行设置，是由机床生产厂家设置、调整好的，用户一般无需修改，但用户可以查看这些参数，并且应该做好参数的备份工作，防止参数的丢失。控制程序主要是由机床生产厂家根据机床情况和用户要求编制的逻辑控制程序（PLC 程序），它是在数控系统的可编程序控制器（PLC）中运行，负责机床操作面板和各个开关信号的处理，完成对驱动系统、测量系统、液压系统、润滑系统、冷却系统的逻辑控制任务。用户加工程序是机床厂家或用户自己编制的零件加工程序，对于数控磨床来说，机床生产厂家一般都编制了通用的磨削加工程序，用户只需根据需要，以人机对话的形式，填入所要加工的零件尺寸和加工工艺参数，即可完成零件加工程序的编制。

除了上面提到的数控磨床的硬件结构和软件系统外，还应该了解下面三个概念，这是掌握和使用数控机床的基础。

1. 机床原点

机床坐标系是以机床原点为坐标原点所建立的坐标系,双轴外圆磨床一般是以卡盘或头架的端面和工件主中心线的交点作为机床原点。机床原点是制造和调整机床的基础,也是设置工件坐标系的基础,出厂前已经调整好,一般不允许用户随意变动。

2. 机床参考点

机床参考点是机床生产厂家设置好的一个固定点,并将该点相对于机床原点的坐标值存入机床参数中,数控机床每次开机时,必须先确定机床参考点,即各轴回参考点,这样数控系统中就建立了精确的机床坐标,数控加工程序就是根据这个坐标系完成零件加工任务的。

3. 刀具补偿

刀具补偿是对加工刀具的尺寸、位置变化进行补偿,就是通过调整刀具补偿参数保证加工零件尺寸的稳定,而无需修改零件加工程序。对数控磨床来说,主要体现在对砂轮磨损的补偿,每次砂轮修整后,修整程序自动修改相应的刀具补偿参数,补偿砂轮的修整量,使得下一次的加工尺寸正确。

二、数控磨床的特点

目前世界上各专业数控系统厂生产的数控系统大都有磨床专用的系列,这些磨床专用数控系统与车床或铣床使用同型号的数控系统在硬件结构上基本相似,只是在软件方面有所不同,主要根据磨床加工的特殊性提供磨削专用的机能。与普通磨床相比,数控磨床的特点是十分突出的,尤其是计算机数控技术和砂轮自动平衡、自动检测技术等新技术的综合应用,使得磨床不仅在加工精度、工作效率方面取得质的飞跃,而且在机床的稳定性、可靠性、易维护等方面也得到很大的提高。

1. 加工精度高

加工精度的提高来自于两方面,首先是机床本身精度的提高,如提高床身动静刚性,减少热变形,降低材料热导率,导轨采用滚动导轨、滚动或静压钢棒导轨、粘贴或涂层导轨等。机械进给机构一般都采用交流或直流伺服电机传动滚珠丝杆,再加以双V形、平-V形滚动导轨或静压导轨,使进给精度达到 $0.1\sim 0.25\ \mu\text{m}$ 。工件主轴采用向心推力球轴承或圆锥滚柱轴承,其回转精度一般都达到 $0.2\sim 1\ \mu\text{m}$ 。砂轮轴一般采用四套高精度滚动轴承或高精度向心推力轴承,其回转精度为 $0.5\sim 1\ \mu\text{m}$ 。另外随着驱动技术和检测技术的飞速发展,数字驱动技术和高分辨率的光栅检测技术在数控磨床上的广泛应用,保证了高精度加工的实现。

2. 工作效率高

数控技术的应用提高了机床的加工效率,数控系统的自动补偿功能在磨床上得到充分发挥。自动测量等自动控制技术的运用大大缩短了机床的辅助加工时间。

3. 稳定性强、可靠性高

机床工作的稳定性和可靠性主要包括两个方面,即机床本身的工作安全可靠和加工质量的稳定。随着电子技术的高速发展以及计算机技术的深入运用,软件技术的不断提高,数控系统的功能也在不断增强。如数控系统可以检查编程的刀具轨迹,纠正编程错误,还可检查刀具与机床、夹具碰撞的可能性等,这些都保证了数控系统本身的稳定、可靠运行,而零件加工程序由计算机存储、管理并直接传入数控系统,使得机床加工质量更加稳定。另外计算机数控系统一般都具备自诊断功能,可及时指出故障原因,便于维修或预防操作失误,减少停机时间。这一切使得现代数控系统的无故障运行时间大为增加。

4. 机床调整、操作、维护方便

随着计算机技术在数控机床的深入运用,机床厂家根据各种

类型的磨削加工方式,编好通用的数控加工程序,用户只需根据所需加工零件的工艺,选择相应的数控程序,填入零件尺寸及工艺参数即可,砂轮修整、补偿等也是采用人机对话方式完成的程序编制。主轴、导轨等润滑采用中央集中润滑,由控制系统自动完成。

第三节 数控磨床常用装置及附件

一、砂轮平衡装置

为使磨床加工能稳定地达到高要求的尺寸精度及表面粗糙度,在机床必须具有高的几何精度、刚度和性能稳定性的同时,对磨床的震动状况也有严格的要求。如在制造机床时对电机、传动皮带轮都要进行精确平衡,此外,在磨床震动中,最主要也是最不稳定的震源就是砂轮轴系统的不平衡震动。砂轮轴系统的震动是影响加工表面质量的关键之一,砂轮轴系统震动由两种原因而产生,一是砂轮未能充分平衡,由于主轴周期性旋转振摆而引起的砂轮震动;二是嵌在结合剂中的磨粒冲击作用,产生不稳定的高频振荡而造成砂轮的不规则震动。

从力学的观点来看,砂轮不平衡是由于砂轮材质的不均匀性及其他加工因素,使整个砂轮的重心与主轴的中心不重合,即由于不平衡质量偏离旋转中心所致。要使砂轮平衡,一般是通过调整平衡块的位置,使重心与旋转中心重合。砂轮平衡技术分为人工平衡、半自动平衡及在线自动平衡。人工平衡是将砂轮支承在平衡架上,通过调整砂轮法兰盘上的平衡块,使砂轮在平衡架上的任何位置都能停转就算达到平衡。由于摩擦力的影响,这种方法的平衡精度较低。半自动平衡是利用传感器在磨床工作转速下,测出砂轮不平衡量的大小和相位,停机后人工在砂轮法兰盘上施加和移动平衡块,以实现砂轮平衡,由于这种平衡方法的平衡工作直

接在磨床上进行,因此能同时校正砂轮本身与转轴系统的固有不平衡量以及由于砂轮磨损不均匀、修整偏差等造成的动态不平衡量。在线自动平衡是在砂轮工作状态下,自动识别不平衡量的大小及相位,并自动完成平衡校正工作。砂轮自动平衡的形式是多种多样的,如早期的机械式增重平衡装置以及目前比较常见的液体动平衡装置、氟里昂砂轮动平衡装置、光电控制砂轮动平衡装置和激光动平衡装置等。液体动平衡装置在第一章第七节砂轮动平衡中已作介绍,这里主要介绍氟里昂砂轮动平衡装置和光电控制砂轮动平衡装置。

(一) 氟里昂动平衡装置

图 11.3-1 是氟里昂动平衡装置的示意图。装置使用 CBrF_2 作为平衡媒介,采用类似加水平衡式动平衡装置的四个平衡室,附加一套加热器,由平衡控制器控制施加于平衡室的高电流,使液态 CBrF_2 汽化,流向相对的小室而凝结,从而达到平衡状态。这种平衡装置的优点是平衡效果比较好,而且平衡以后,当停机或重新启动时,平衡状态仍继续保持。但是这种装置结构比较复杂,价格昂贵,高电流加热线圈必须经常更换,整个机构的技术要求很高。

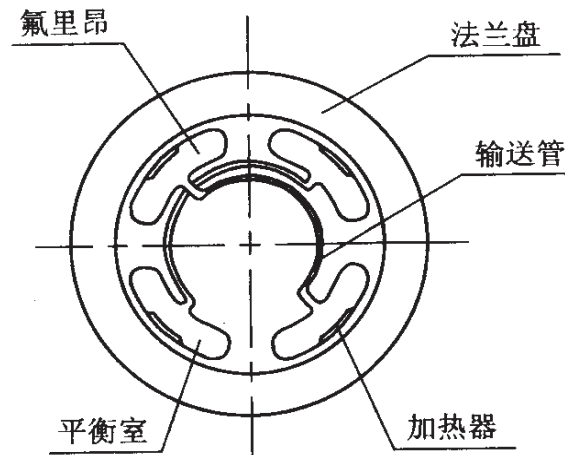


图 11.3-1 氟里昂砂轮动平衡装置示意图

(二) 光电平衡装置

图 11.3-2 是光电平衡装置的示意图。光电控制砂轮平衡与一般的滑块式平衡器的不同之处是除了平衡块的传动结构及其驱动元件为内装式结构之外,在其内部还装有电源、受光元件和控制电路。不平衡量和震动由传感器检测,检测到的信号送入控制器,控制器根据这些信号控制发光元件发出光信号,根据受光元件接收的控制信号,控制电路驱动微型电机将两个平衡块朝震动减少的方向移动,直至完成平衡工作,即在完全不接触的状态下,由静止的一侧将信号传至回转的一侧,实现平衡砂轮的工作。正是由于光电控制砂轮平衡是在完全不接触的状态下控制平衡块移动的,所以它在调整、使用、维护等方面具有很多优越性,是目前较好的长寿命自动砂轮平衡装置。

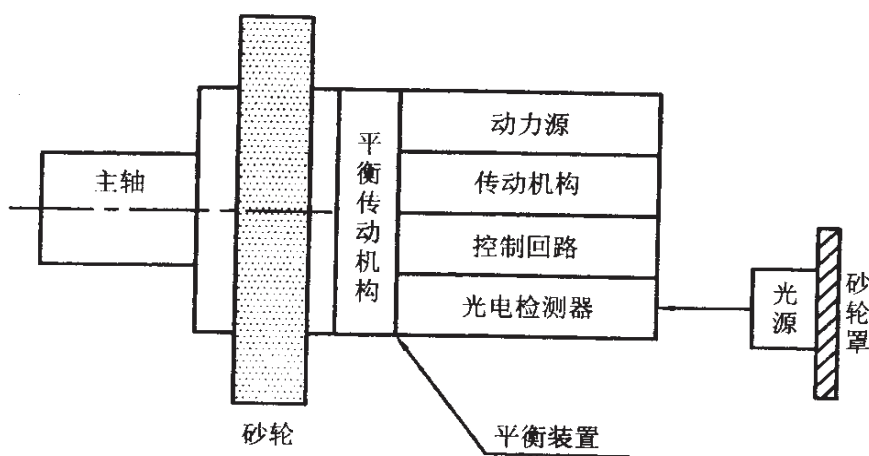


图 11.3-2 光电控制砂轮动平衡装置示意图

二、在线检测装置

在数控磨床上进行自动测量的典型结构即采用在线检测装置。从在线量仪的作用来说,磨床上的测量装置可分为尺寸控制和加工定位两大类,尺寸控制就是在线量仪在磨削过程中同时对工件进行连续测量,当工件尺寸符合相应的监控尺寸时,检测装置

发出相应的控制信号至数控系统,数控系统根据测量装置反馈回来的信号改变数控加工程序流向或加工参数。用户在零件加工程序中对量仪进行参数设置,设置对加工工件的一个或几个监控尺寸。目前很多数控外圆磨床都采用在线检测装置来控制工件外圆的加工。加工定位就是在工件加工前通过在线检测装置对工件的测量,确定工件的精确位置。用于加工定位的在线量仪在数控磨床上的应用非常广泛,如外圆磨床上工件的轴向定位,刀具磨床上刀具的定位及一些外形尺寸的测量等。

在线检测装置从控制结构上可分为两种。一种是测量装置将采集的数据直接送到数控系统,运算由数控完成或由数控传送到其他计算机进行处理。刀具磨床的在线测量装置一般采用这种形式,由于刀具磨床上的测量装置需测量刀具的外形尺寸,数据运算量很大,因此数控系统将测量传感器采集的数据传送到计算机,由计算机进行处理。另一种是在线检测装置采用独立的系统,测量数据的采集和运算由它自身完成,数控系统只需将控制参数传入测量装置,其余由测量装置自己完成。

在线检测的形式有很多,其主要区别在于使用的测量传感器。数控目前用于在线检测的传感器种类主要有:机械式、光学式、超声波式、电子式和气动式。机械式一般是采用专门设计的测量机构,直接测量工件尺寸,多用于车削和磨削加工,机械式传感器测量范围大,数据处理简便,但精度低,且安装、调整不便。光学式、超声波式和气动式传感器都是非接触式测量,光学式安装调整不便,易受环境干扰;超声波式的测量稳定性不够,气动传感器应用范围小。因此在数控机床上在线测量的传感器主要采用电子式传感器,它是将机械变形量转化为电信号,随着传感器技术的提高以及计算机技术的应用,电子式传感器的应用越来越广泛。采用电子式传感器的测量系统具有精度高、速度快、抗干扰、安装调整方便的特点,数控机床上在线检测装置目前大多采用这种形式的传感器。

三、砂轮修整器

砂轮修整器是磨床上不可或缺的装置,对于传统磨床来说,砂轮修整是最困难的部分。在传统磨床上常用的砂轮修整器有以下几种类型:切线砂轮修整器、样板砂轮修整器和液压砂轮修整器。切线砂轮修整器对砂轮的修整依赖于操作者修整调装能力的高低,而且一次修整往往需要耗费几个小时的时间,效率很低;样板修整器虽然缩短了修整的时间,但样板的制作仍然需要相当高的技艺及一定的时间;液压砂轮修整器尽管可以在磨削自动循环过程中完成砂轮的修整,但需要精密的凸轮配置。总的来说,传统磨床的砂轮修整依赖于复杂的机械装置或操作人员的调控能力,修整精度和机床的柔性都受到很大的限制。

随着数控技术在磨床上的应用,砂轮修整也有了质的飞跃。数控磨床上的砂轮修整与传统的砂轮修整相比,根本的区别就是数控系统通过数控加工程序完成砂轮的修整,也就是用软件控制替代传统的机械或手工控制。数控磨床的砂轮修整可借助编制一个简单的二维数控程序在数分钟内就生成任意轮廓,较复杂的轮廓可通过 CAD/CAM 等计算机软件完成数控程序的编制。因此数控磨床的砂轮修整可达到很高的修整精度,修整时间也大大地缩短,而且对砂轮轮廓的调整通过改变数控程序即可很方便地实现。

数控砂轮修整装置常见的安装方式有两种。一种是把金刚石的修整器设置在工作台面上或头架上,可以充分利用两个进给数控轴的运动实现砂轮外形轮廓的成形修整,这也大大简化了机床结构。另一种是把修整器装在砂轮架后面,单独用两个数控轴来控制修整过程,这样就可以让修整过程和加工过程同时进行,节省了时间,但机床的制造成本也加大了。不论用什么方法修整砂轮,都存在补偿问题。各种数控系统都提供了多种坐标补偿方法,如直接修改坐标值;改变 G54 - G59 的零点偏置值;改变刀具补偿值等。现在

的数控磨床一般都具有“砂轮管理功能”，储存有当前砂轮的形状尺寸等各种数据，每次修整后自动修改砂轮数据，用户只需在砂轮新安装时输入初始数据，以后的修整补偿工作全由系统自动完成。

第四节 数控磨床实例

本节以一台典型的数控外圆磨床为例，对数控磨床的结构、控制方式、加工方式进行简单的介绍。

外圆磨床一般加工的是轴类零件，在加工过程中，砂轮和工件之间的相对运动主要是砂轮沿工件轴向和径向的运动。一般把砂轮工作台沿工件轴向定为 Z 轴，径向定为 X 轴，通过对 X 轴和 Z 轴的控制，数控磨床可以对轴类零件实现直线、圆锥、圆弧的各种曲线的加工，也可以加工圆柱面和端面、加工梯形轴。

这是一台双轴数控外圆磨床，加工部位是一根轴上的不同直径的多节外圆和端面，数控系统采用 SIEMENS 840C，砂轮平衡采用 MARPOSS E82 砂轮平衡控制系统；在线测量采用 MARPOSS E80 主动量仪。

一、机床控制功能

数控机床的各个部件的控制由数控系统完成，用户在零件加工程序中可以通过指令实现对机床各部分的控制。在数控编程中，使用 G 指令、M 指令以及 F 指令、S 指令、T 指令代码描述数控机床的运行方式，加工种类，主轴的启动、停止，冷却液的开启、关闭等辅助功能以及规定进给速度、主轴转速、选择刀具等。

（一）准备功能指令

即 G 指令。其指令形式： $G \times \times$ （2 位数字代码）。G 指令主要是设定数控机床的运动方式，为数控系统的运算做好准备。表 11.4-1 列出了一些常用的 G 指令。

表 11.4-1 常用的 G 指令

| G 指令 | 功 能 | 说 明 |
|----------|---------------|---------------------------|
| G00 | 快速定位 | 移动速度为系统设定的最高速度 |
| G01 | 直线插补 | 产生直线或斜线运动 |
| G02 | 顺时针圆弧插补 | 使机床在多个坐标平面内执行圆弧插补,切削出圆弧轮廓 |
| G03 | 逆时针圆弧插补 | |
| G04 | 暂停 | 程序暂停 |
| G54 - 59 | 零点偏置 | 设置编程零点 |
| G90 | 绝对坐标值输入方式 | 使用绝对坐标编程 |
| G91 | 相对坐标值输入方式 | 使用增量坐标编程 |
| G94 | 进给速度(mm/min) | 设置进给速度 |
| G96 | 主轴恒线速度(m/min) | 主轴以恒线速度方式运行 |

(二) F 功能指令

F 功能指令是机床各个轴的进给速度控制指令,其指令形式是 F+进给速度(或速度代码),进给速度的单位是 mm/min。

(三) 辅助功能指令

即 M 指令。其指令形式是 M××(2 位数字代码)。M 功能指令是机床辅助功能的控制指令,如加工程序的结束;工件主轴的启动、停止;工件的夹紧、松开;冷却液的开关等。不同机床厂家生产的机床,其 M 功能指令代码也有所不同。另外 M 功能指令还可以带地址参数(H 参数),完成数控机床的一些复杂控制功能。例如数控机床对自动测量系统的控制,数控系统与测量系统之间需要进行一定的数据交换,仅仅是启动、停止这样简单的控制指令是远远不够的,这就必须通过 M 指令+地址参数来实现。用户可以根据机床生产厂家提供的 M 功能指令表编写零件加工程序。表 11.4-2 列出了部分常用的 M 功能指令。

表 11.4-2 常用的 M 功能指令

| M 指令 | H 参数 | 功 能 | M 指令 | H 参数 | 功 能 |
|------|------|----------|------|-------|--------------|
| M00 | | 程序停止 | M61 | | 启动砂轮平衡 |
| M02 | | 程序结束 | M70 | H03 | 径向测量头进到测量位 |
| M03 | | 工件主轴顺时针转 | M70 | H04 | 轴向测量头进到测量位 |
| M04 | | 工件主轴逆时针转 | M71 | H03 | 径向测量头退回 |
| M05 | | 工件主轴停止 | M71 | H04 | 轴向测量头退回 |
| M08 | | 开冷却液 | M72 | H2003 | 启动径向测量 |
| M09 | | 关冷却液 | M72 | H5003 | 设置精磨/超精磨切换尺寸 |
| M15 | | 主轴启动 | M72 | H5103 | 设置粗磨/精磨切换尺寸 |
| M16 | | 主轴停止 | M72 | H5303 | 设置径向零位尺寸 |
| M17 | | 子程序结束 | M72 | H5403 | 设置径向零位偏置值 |
| M40 | | 零件夹紧 | M72 | H2404 | 启动轴向测量 |
| M41 | | 零件松开 | M72 | H5304 | 设置轴向零位尺寸 |

(四) S 功能指令

S 功能指令是主轴转速控制指令,其指令形式是 S+指令代码(或转速值),转速单位是 r/min。

(五) T 功能指令

T 功能指令是刀具选择控制指令,其指令形式是 T+刀号。对于数控车床、加工中心等带有刀库的机床,完成一个零件的加工需用几把甚至几十把刀具,在数控加工程序中通过 T 功能指令来完成对刀具的选择,数控系统在执行 T 功能指令后,会自动选用相应的刀具偏置数据、补偿数据。对数控磨床来说,T 功能指令就

是砂轮选择。

二、加工实例

(一) 加工零件

汽车变速器第二轴(见图 11.4-1)。材料: 16MnCr5; 热处理: 渗碳淬火, 硬度 58~63 HRC。

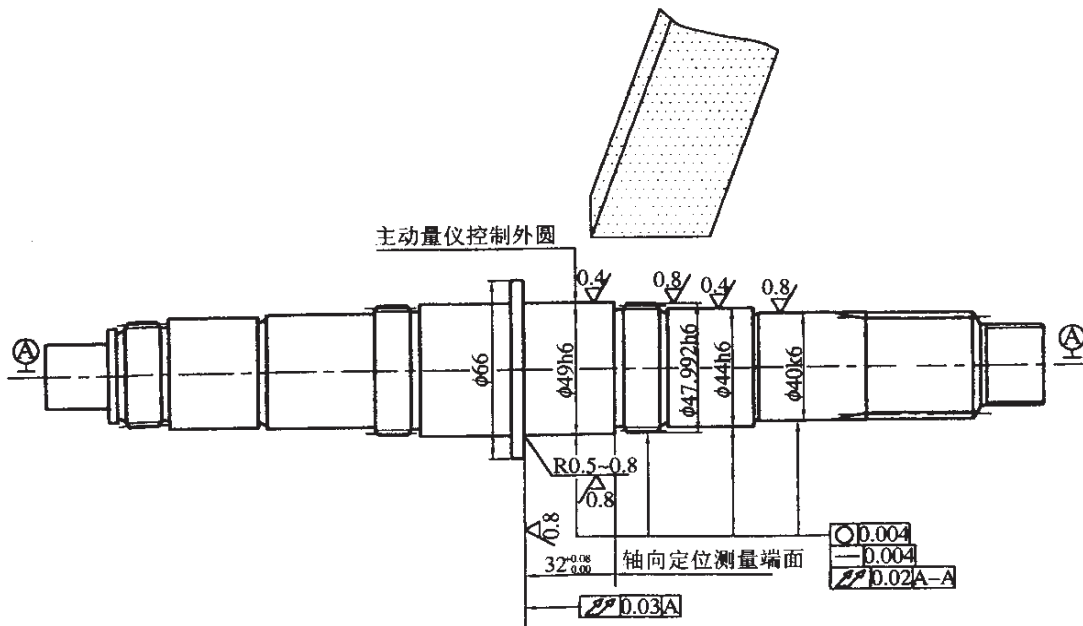


图 11.4-1 加工零件

(二) 加工内容

- (1) 磨 $\phi 49h6$ 外圆、 $32^{+0.08}_{0}$ 端面;
- (2) 磨 $\phi 44h6$ 外圆;
- (3) 磨 $\phi 40k6$ 外圆;
- (4) 磨 $\phi 47.992h6$ 外圆。

(三) 磨削工艺

(1) 按加工内容的次序逐级磨削, 各级外圆的磨削余量为 0.35 mm, 端面的磨削余量为 0.08 mm。

(2) 各级磨削都分粗磨、精磨、超精磨和无进给磨削四个阶

段,砂轮线速度为 45 m/s,工件转数见加工程序。

(3) 使用砂轮: 单斜边砂轮 PDX2 500 × 45 × 203. 2 38A100HV127。

(4) 使用磨削液: CASTROL SYNTILO 81E。磨削液采用滤纸过滤,磨削液箱容积 800 L。

(三) 加工程序

加工程序的加工参数的设置主要包括加工的终点尺寸、磨削余量、工件转速、主轴转速和进给速度等。加工过程中砂轮主轴是恒线速度运行的,而进给速度分两部分设置,即消空程(GAP)速度和粗磨速度。所谓消空程(GAP)速度是利用传感技术,在砂轮快速移动到距终点尺寸为设定的 GAP 起始点时,砂轮以较高的速度(GAP 速度)进给,当砂轮接触到工件以后自动切换到粗磨进给速度,这样就提高了加工效率。粗磨进给速度的设置有速度和磨削量两种参数,速度为磨削时的进给速度(mm/min),磨削量是指单位时间内磨削掉的金属体积(mm³/s),用户可以任意选择一种方式进行设置,磨削量参数可换算为速度参数。精磨和超精磨的进给速度分别为粗磨速度的 33%和 8%,当然用户也可根据需要对这两个比例参数进行适当修改。

工件的轴向定位是通过在线量仪完成的,工件装夹后,加工程序控制量仪对定位端面进行测量,根据测量结果计算出轴向的偏移,并由此得到加工工件的轴向位置补偿量,完成工件的轴向定位。轴向测量及定位计算子程序是 SPF962。

1. 磨削程序(程序有删节)

| | |
|----------|-----------|
| %MPF1 | 主程序(MPF1) |
| M20 | 关防护门 |
| M40 | 零件夹紧 |
| N5 R48=1 | 主轴选择 |
| R4=20 | 砂轮偏转角度 |

| | |
|-------------|------------------|
| N10 R105=45 | 砂轮线速度 |
| N12 L1 P1 | 修整砂轮 |
| L962 P1 | 调用 SPF962,工件轴向定位 |

下面一段程序是磨 $\phi 49h6$ 外圆、 $32^{+0.08}$ 端面的程序。外圆、端面同时磨削,砂轮在 X、Z 两个方向同时进给,参数设置中的进给速度是以 X 方向设置的,Z 方向的速度由两个方向的磨削余量的比例关系自动计算出来。径向尺寸及粗磨、精磨、超精磨的切换由系统根据在线测量装置的检测结果进行控制。零件的加工实际是由子程序(SPF954)根据设置的参数控制完成的。

| | |
|---------------|----------------------------------|
| N20 R1=48.992 | X 方向终点尺寸 |
| R3=0.02 | Z 方向终点尺寸 |
| R9=0.8 | GAP 起始点(X 方向) |
| R10=0.6 | GAP 起始点(Z 方向) |
| R17=1 | GAP 速度 |
| R12=1.0 | 磨除速度(mm^3/s) |
| R16=24 | 工件转速(线速度 m/min) |
| R18=3 | 无进给磨削时间 |
| L954 P1 | 调用 SPF954(用在线检测) |

下面一段程序是磨 $\phi 44h6$ 外圆的程序。这节外圆的加工不用在线测量装置,加工尺寸是数控系统根据上一节外圆的加工结果来控制的。这节外圆没有端面加工,因此只有 X 方向的进给。最后调用子程序(SPF950)进行加工。

| | |
|---------------|----------------------------|
| N25 R1=43.992 | X 方向终点尺寸 |
| R3=50 | Z 方向终点尺寸 |
| R9=0.45 | GAP 起始点(X 方向) |
| R10=0 | GAP 起始点(Z 方向) |
| R20=7 | 精磨/超精磨切换点(μm) |
| R17=1 | GAP 速度 |

| | |
|---------|------------------|
| R12=2.0 | 磨除速度(mm/s) |
| R16=30 | 工件转速(线速度 m/min) |
| R18=3 | 无进给磨削时间 |
| L950 P1 | 调用 SPF950(无在线检测) |

N30、N35 分别是磨 $\phi 40k6$ 外圆和磨 $\phi 47.992h6$ 外圆的程序。与磨 $\phi 44h6$ 外圆的程序基本一致,最后都是调用相同的子程序(SPF950)。

N30 (省略)

N35 (省略)

N75 M16 G0X230 M9 M1=5

M41 松开工件

M21 开门

M30 程序结束

2. 砂轮修整子程序(程序有删节)

砂轮修整程序中关键的部分是修整后的补偿,即在每次修整后系统自动将修整量统计和存储,并在下一次磨削进给中自动补偿。子程序(SPF914)进行修整量的计算,并根据结果修改刀具补偿参数。子程序(SPF915)控制砂轮回到预定位置。

| | |
|------------|---------------|
| %SPF1 | 子程序(SPF1) |
| N5 R48=1 | 主轴选择 |
| R4=20 | 砂轮偏转角度 |
| M61 | 砂轮平衡 |
| N10 R224=1 | 两次修整之间零件加工数 |
| R26=1 | 修整次数 |
| R43=45 | 砂轮线速度 |
| R173=0 | 每次修整的修整器补偿(X) |
| R174=0 | 每次修整的修整器补偿(Z) |
| R122=0.014 | 修整量(X) |

| | |
|------------------|-------------------|
| @632 R299 R907 | |
| R126=R122 * R299 | 计算 Z 方向的修整量 |
| M8 H1 | 开冷却液 |
| | 砂轮修整(省略) |
| L914 P1 | 调用 SPF014,修整量补偿计算 |
| N9000 L915 P1 | 调用 SPF915,修整结束 |
| M9H1 | 关冷却液 |
| N9999 M17 | 子程序结束 |

3. 在线测量控制程序(程序有删节)

在线测量控制程序包括量仪的校零和参数设置,量仪的校零就是通过测量一个已知尺寸的工件,将量仪的零位置设置为加工工件的终点尺寸。参数设置就是数控系统将磨削过程中所需的一些控制参数传送到量仪。

| | |
|-----------|---------------|
| %MPF801 | 主程序(MPF801) |
| R19=50 | 粗磨/精磨切换点 |
| R20=25 | 精磨/超精磨切换点 |
| L934 | 调用 SPF934 |
| M30 | 程序结束 |
| %SPF934 | 子程序(SPF934) |
| N2 M70 H3 | 径向测头进到测量位置 |
| M72 H2003 | 启动径向测量 |
| | 数据计算(省略) |
| M72 H5103 | 传送粗磨/精磨切换点参数 |
| M72 H5003 | 传送精磨/超精磨切换点参数 |
| M72 H5403 | 传送零点偏置参数 |
| M71 H3 | 径向测头退回 |
| M17 | 子程序结束 |

第十二章 珩 磨

第一节 珩磨加工特点和应用范围

有些产品零件内圆(如汽车制动泵缸缸孔)的质量要求很高,尺寸精度达 IT6~IT7,圆柱度 0.01 mm,表面粗糙度 $Ra0.25$ 以上。对于这类精度高、生产批量大的产品内孔的光整、精加工,通常采用珩磨工艺。

一、珩磨加工特点

(一) 珩磨运动

珩磨是一种低速磨削,将珩磨油石用黏结剂黏结或用机械方法装夹在特制的珩磨头上,由珩磨机床(如 M425B)主轴带动珩磨头做旋转和上下往复运动,通过珩磨头中的进给胀锥使油石胀出,并向孔壁施加一定的压力以做进给运动,实现珩磨加工。

(二) 珩磨头

珩磨头与珩磨机主轴一般采用浮动连接,或采用刚性连接但配以浮动夹具,这样可以减少珩磨机主轴回转中心与被加工孔的同轴度误差对珩磨质量的影响。因此,珩磨加工只能提高内孔的尺寸精度和表面粗糙度,纠正不了内孔的位置精度。

(三) 珩磨油石的切削轨迹

珩磨头除了旋转运动还附加上下往复运动,在每一往复行程内的转数为一非整数,因而它在每一行程的起始位置都与上次错

开一个角度,这就使油石上的每一颗磨粒在内圆表面上切削轨迹不致重复,从而形成均匀交叉的珩磨网纹(图 12.1-1)。

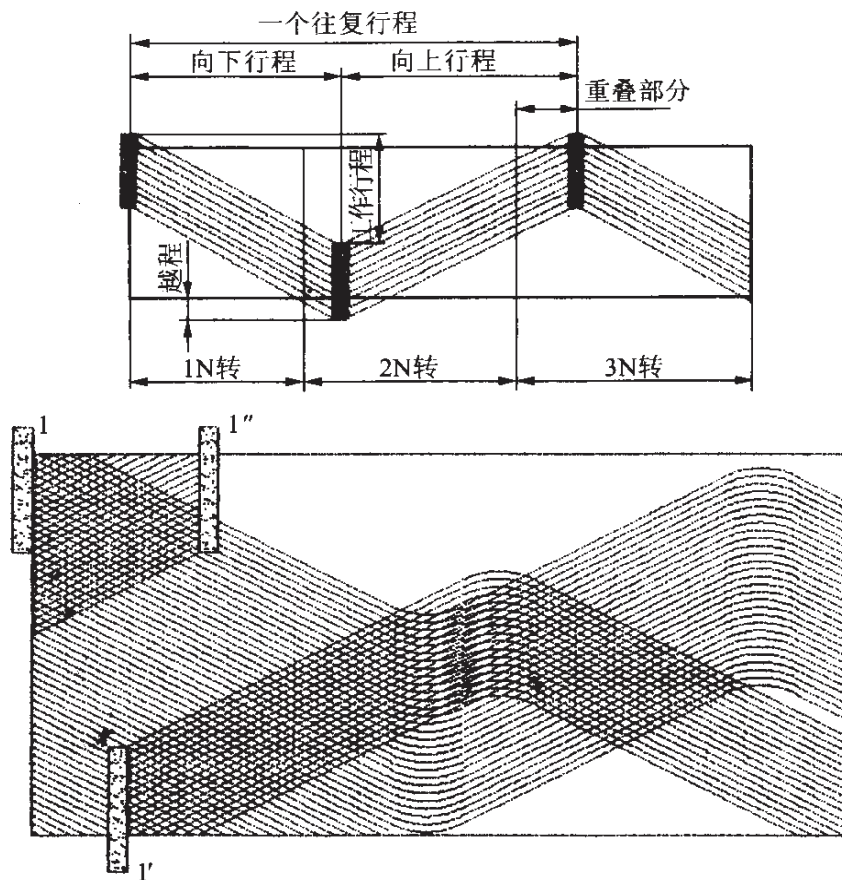


图 12.1-1 珩磨网纹

1—行程开始时的油石位置 1'—同一行程终了时的油石位置
1''—返回行程终了时的油石位置

由于珩磨油石具有一定的长度,其切削轨迹与前一转在轴向上有一段重复,所以保证了前后切削迹衔接得比较平滑。当珩磨头在孔中往复运动时,油石就像桥板一样搭在加工表面突出的高点上,在珩磨压力的作用下,将高点削去。同时加工表面上的高点也冲击着磨钝了的磨粒,使之破碎或脱落,而重新露出锋锐的磨粒。所以珩磨过程也就是油石与加工面不断相互磨削与修整的过程,它使原来刀痕与残余应力变形层被磨去、孔形误差得以校正。

油石也相应地被磨损。当二者由点接触转为面接触后,单位面积上的珩磨压力相应降低,切削变薄,油石开始被堵塞钝化,切削作用逐渐下降直至消失,加工表面的粗糙度也逐渐降低,珩磨过程转为抛光过程,待达到要求尺寸后油石退回。

(四) 珩磨表面质量特性好

珩磨是孔的精加工,可以获得较低的表面粗糙度,一般可达 $Ra0.8\sim0.2\ \mu\text{m}$,甚至可低于 $Ra0.025\ \mu\text{m}$ 。珩磨发热少,表面不易烧伤,变形层薄。珩磨表面的交叉网纹有利于贮油润滑。

(五) 珩磨加工精度高

珩磨不仅可以获得较高的尺寸精度(其误差仅为 $2\sim3\ \mu\text{m}$),而且可以修正孔珩前加工中出现的轻微形状误差,如圆度、圆柱度和表面波纹等(图 12.1-2)。一般珩磨中等孔径,圆度可达 $3\sim5\ \mu\text{m}$,圆柱度不超过 $5\ \mu\text{m}$ 。

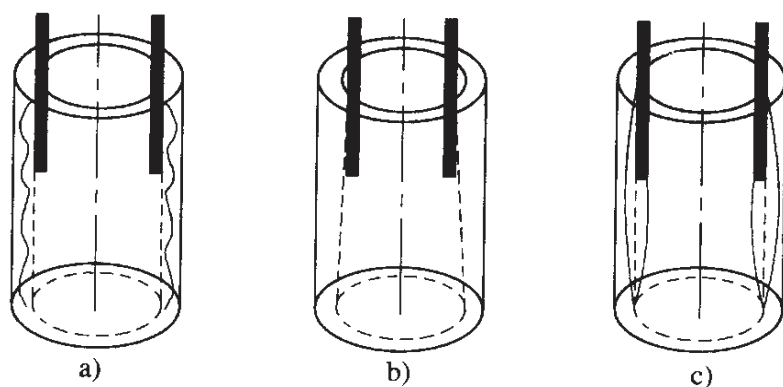


图 12.1-2 珩磨前形状误差

a) 波纹 b) 锥度 c) 鼓形或凸形

(六) 珩磨效率高,质量稳定

珩磨头可以选用多条油石或超硬磨料油石(如人造金钢石油石),提高珩磨头的往复速度以增大网纹交叉角(图 12.5-2),能较快地去除珩磨余量与孔形误差。也可以采用强力珩磨工艺,以有效地提高珩磨效率。

精珩时可以选择粒度较小的油石,实现平顶珩磨,可以使相对运动的摩擦副获得较理想的表面质量。

(七) 珩磨工艺较经济

薄壁孔和刚性不足的工件,或较硬的工件表面,用珩磨进行光整加工不需复杂的设备与工装,操作方便。

二、珩磨加工的应用范围

(1) 广泛应用于汽车、拖拉机和轴承制造业中的大批量生产,也适用于各类机械制造中的批量生产。如珩磨缸套、连杆孔、油泵油嘴与液压阀体孔、轴套、齿轮孔,珩磨汽车制动分泵、总泵缸孔等。

(2) 大量应用于各种形状的孔的光整或精加工,孔径范围为 $\phi 5 \sim \phi 1\ 200\ \text{mm}$,长度可达 $12\ 000\ \text{mm}$ 。国内珩磨机工作范围: $\phi 5 \sim \phi 250\ \text{mm}$,孔长 $3\ 000\ \text{mm}$ 。

(3) 用于外圆、球面及内外环形曲面加工,如镀铬活塞环、挺杆球面与滚珠轴承的内外圈等。

(4) 适用于金属与非金属材料的加工,如铸铁、淬火钢与未淬火钢、硬铝、青铜、硬铬与硬质合金、玻璃、陶瓷、晶体与烧结材料等。

第二节 珩磨头

一、珩磨头的典型结构

(一) 小孔珩磨头

$\phi 5$ 以上的小孔珩磨一般采用图 12.2-1 所示的珩磨头。采用单锥、单油石珩磨,胀楔 1 轴向推进,油石座 3 带动油石由单面胀出,镶有两个硬质合金辅助导向条 4,以增加珩磨头的刚性。导

向条与油石较长,可提高小孔的珩磨效率与精度。

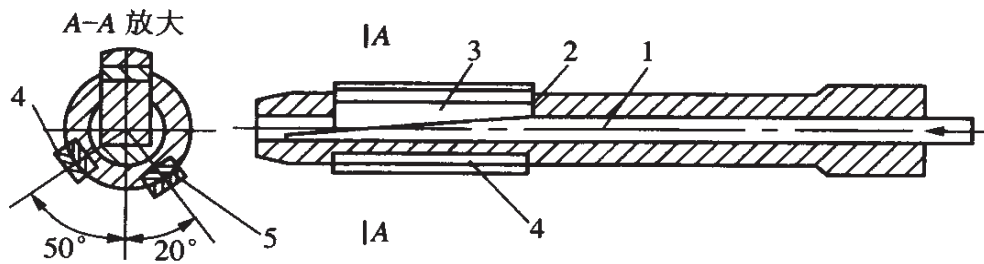


图 12.2-1 小孔珩磨头

1—胀楔 2—本体 3—油石座 4—辅助导向条 5—主导向条

(二) 中等孔径通用珩磨头

直径在 $\phi 15$ 以上孔径的珩磨头比较常见(图 12.2-2),珩磨头有前导向锥但没有导向条,盲孔珩磨头的前导向锥一般在 2~5 mm 之间,通孔珩磨头的前导向锥可长达 15 mm 以上。珩磨油石用明矾或无机黏结剂黏结在油石座 4 上,油石(油石座)通过进给胀锥 3 膨胀,通过弹簧圈 2 收缩,从而实现珩磨。珩磨头的磨头体为棱柱体,也可以为圆柱体,如果油石为奇数可减少震动,但为了有利于制造也可为偶数。

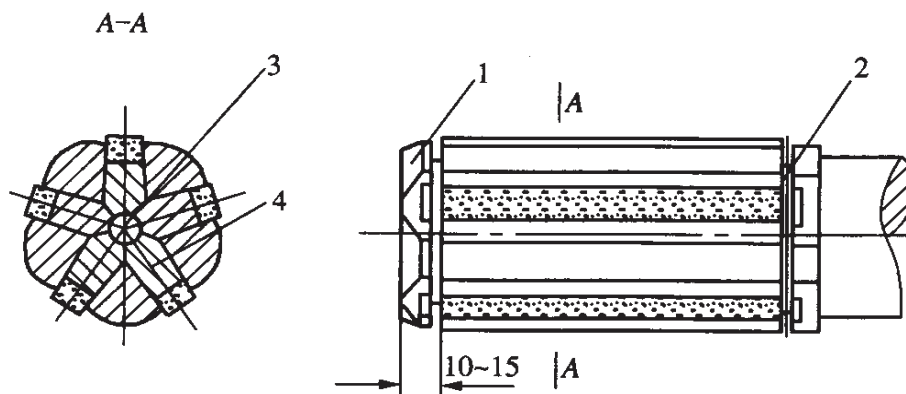


图 12.2-2 中等孔径通用珩磨头

1—本体前导向 2—弹簧圈 3—进给胀锥 4—油石座

(三) 深孔珩磨头

见图 12.2-3。因受珩磨机床行程的限制,当孔深超出行程后,珩磨头可以设计成前后油石,分别对孔底部分和孔口部分进行珩磨,但要注意前后油石的行程要有一定的重合量,另外要注意的是油石要修磨好,确保前后直径一致,以保证珩磨质量。

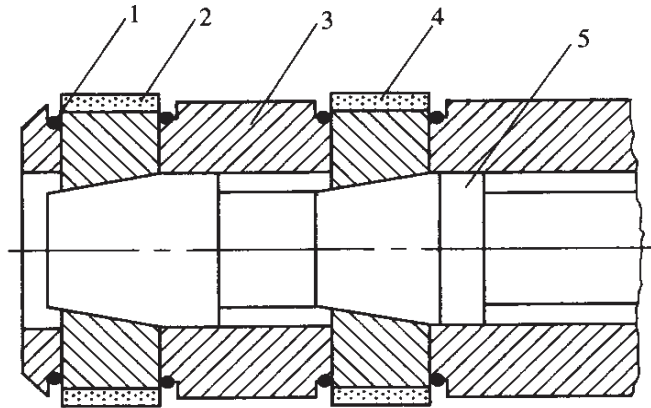


图 12.2-3 深孔珩磨头

1—弹簧 2—前油石 3—本体 4—后油石 5—胀锥

(四) 平顶珩磨头

见图 12.2-4。这种珩磨头的主要特点是装有粗珩及精珩两副油石,由珩磨机主轴内的双进给油缸、活塞杆推动珩磨头的内外锥体,分别进行粗、精珩磨,具有较高的效率。粗珩时,活塞杆 A 推动套杆 11,使外锥套下移,胀开粗珩油石座 6。在珩磨头的两个对称硬质合金导向条上配有气动测量喷嘴 12,待粗珩到预定尺寸后,通过气动量仪发出信号,使粗珩油石降压并缓缓退回。这时活塞杆 B 迅速推动内锥 3,使精珩油石胀出,进行精珩。待预定精珩时间完毕后,油石卸压缩回,珩磨头复位。此珩磨头的另一特点是制造精密,所有油石座与磨头体上的油石槽均经研配,以保证进给系统的可靠性。

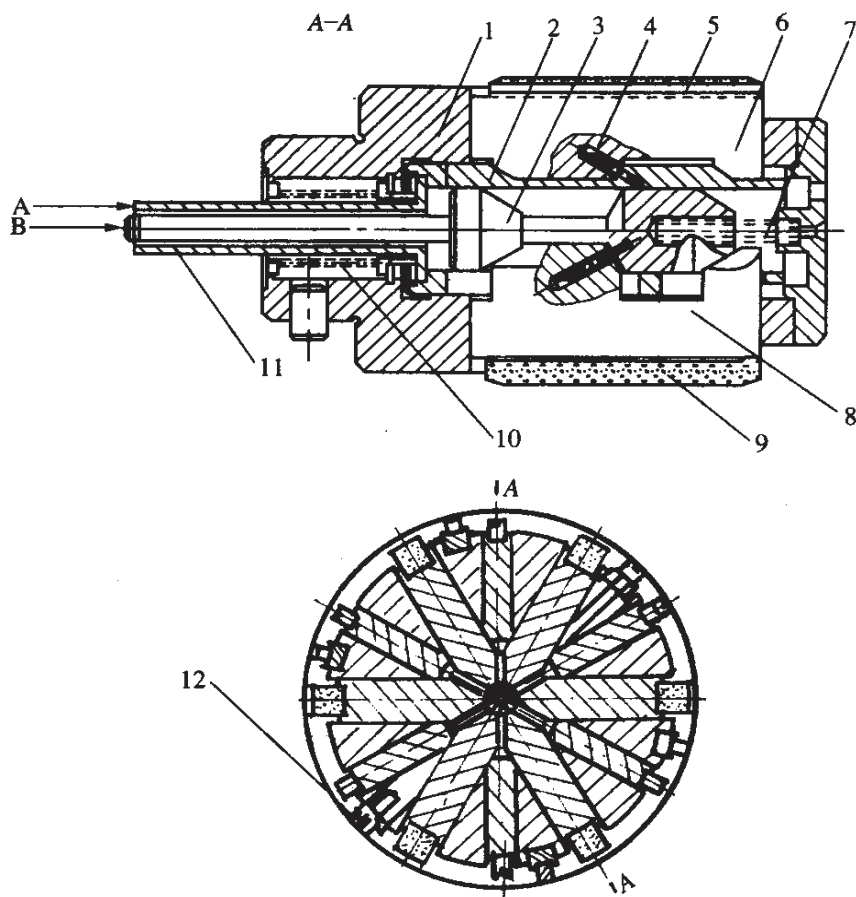


图 12.2-4 平顶珩磨头

- 1—本体 2—外胀锥 3—内胀锥 4—斜销 5—粗珩油石
 6—油石座 7—复位弹簧 8—精珩油石座 9—精珩油石
 10—复位弹簧 11—套杆 12—导向条喷嘴

二、珩磨头的连接

珩磨头通过连接杆与珩磨机主轴连接,连接杆的结构一般有三种形式:浮动连接杆(图 12.2-5 a)、半浮动连接杆(图 12.2-5 b)及刚性连接杆(图 12.2-5 c)。

连接杆的上端一般用圆锥或圆柱平键与主轴配合连接,下端有孔与珩磨头滑配连接,靠珩磨头上的短销传递扭矩。

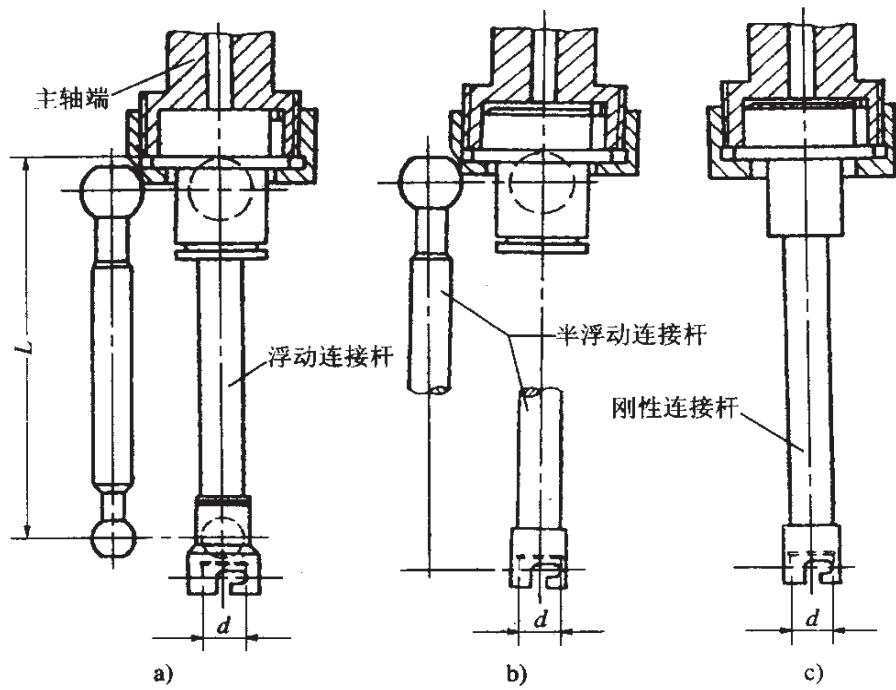


图 12.2-5 珩磨头的连接杆

a) 浮动连接杆 b) 半浮动连接杆 c) 刚性连接杆

珩磨机 M425B 经过改进后,珩磨头及其连接的情形如图 12.2-6 所示。

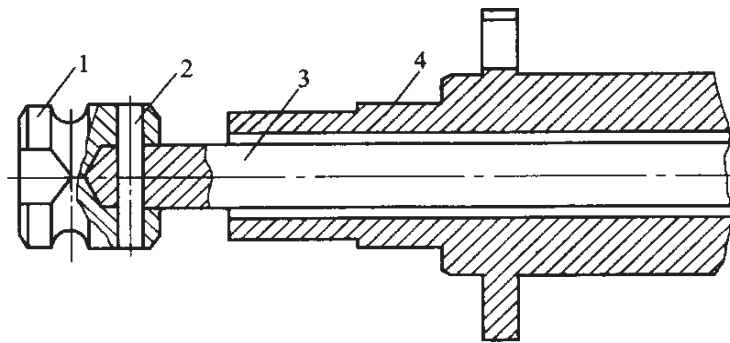


图 12.2-6 珩磨头与 M425B 珩磨机的连接

1—活节头 2—圆柱销 3—推杆 4—本体

选择何种连接形式,要根据工件的特点和要求选用,参见表 12.3-1。

浮动连接一般以球头浮动结构(图 12.2-7)使用较多。其优点是结构简单、灵活,浮动范围大,并可使用螺母调节浮动关节间的间隙。

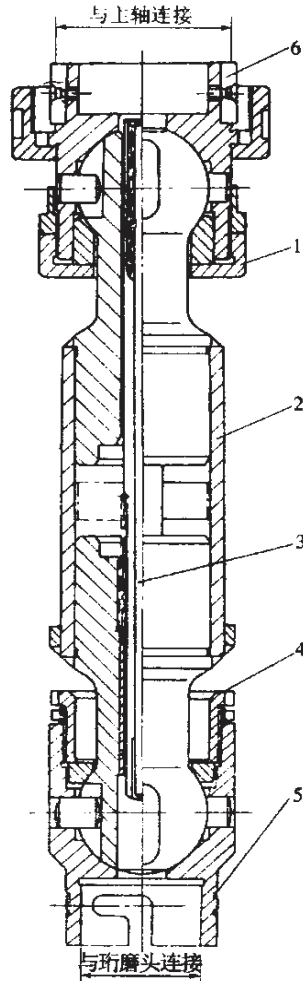


图 12.2-7 球头浮动连接杆

- 1、4—调整螺母
- 2—双球头杆
- 3—进给推杆
- 5—弹簧卡箍
- 6—键

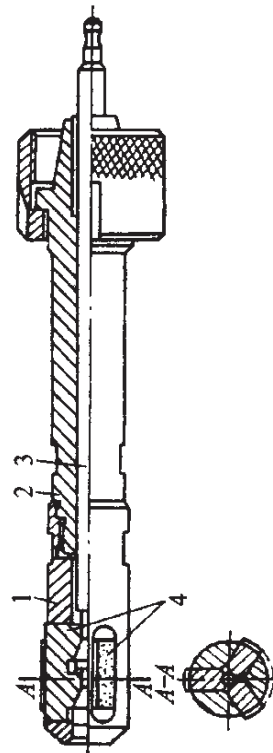


图 12.2-8 螺纹刚性连接杆

- 1—磨头本体
- 2—连接杆
- 3—胀锥杆
- 4—油石及油石座

刚性连接有整体结构和螺纹连接结构,螺纹连接如图 12.2-8 所示。刚性连接需要有较高的制造精度与严格的对中要求,多用于珩磨小孔、短孔和需伸入工件内部的孔。

三、珩磨头的设计要点

(1) 中等孔径珩磨头的外径一般比珩磨孔径小 2~6 mm, 有导向条的珩磨头外径要小些。小孔珩磨头外径比孔径小 0.2~0.5 mm。无主动测量的珩磨头可制成棱圆柱形, 可用较大直径。

(2) 珩磨头与连接杆需要有较高的设计与制造精度, 如油石座与珩磨头内的油石槽、胀锥要求研配, 要严格控制油石的轴向间隙与轴向位置的一致性。刚性连接珩磨头要控制其圆跳动小于 $10\ \mu\text{m}$ 。

(3) 珩磨头工作部分的长度取决于珩磨孔的长度和油石的长度。若油石长度 $l > 150\ \text{mm}$ 时, 宜采用三节胀锥, 短孔珩磨可用单节胀锥, 以增加油石的支承刚性。

(4) 珩磨头的磨头本体一般采用 9SiCr 合金钢, 62HRC 以上, 油石座与胀锥也可用这种材料或其他合金钢甚至中碳钢。结构复杂的珩磨头(图 12.2-4)需经时效。

(5) 油石使用完后的允许留量, 普通油石为 1~2 mm, 金刚石油石要小于 0.1 mm。油石座胀开后的外径加上油石的允许留量应等于或略大于珩磨孔径。油石座复位后(未胀开), 要保证装上新油石时能进入珩磨孔内, 以免造成卡孔事故。

(6) 带气动测量喷嘴的珩磨头, 导向条宜用硬质合金。导向条的数量一般与油石相等, 导向条的长度每端超出油石 8~10 mm, 上下导向部分应有 $10 \times 15^\circ$ 的导锥, 导向条外径圆柱度小于 0.01 mm。

(7) 珩磨薄壁孔的珩磨头要注意防震措施, 例如: ① 珩磨头与连接杆必须有足够的刚性。② 采用奇数油石。③ 油石不等距分布, 如 42° 、 52° 、 52° 、 51° 、 51° 、 60° 。

(8) 带主动测量的珩磨头可参见图 12.2-4, 珩磨头上导向条外径与孔径的间隙要大于珩磨余量, 小于 0.05~0.15 mm。

第三节 珩磨夹具

常用的珩磨夹具有固定式、浮动式及弹性式三种。固定式多用于珩磨大件和较重的工件,浮动式多用于珩磨短孔、小孔及套类零件。浮动式有平面浮动(平面上有两个自由度)和球面浮动(两个转动自由度)。弹性夹具用于珩磨薄壁孔,其圆周夹紧力均匀,既可避免变形,又可抵消珩磨轴向力。

一、珩磨夹具的典型结构

(一) 固定夹具

常见的固定夹具如图 12.3-1 所示。

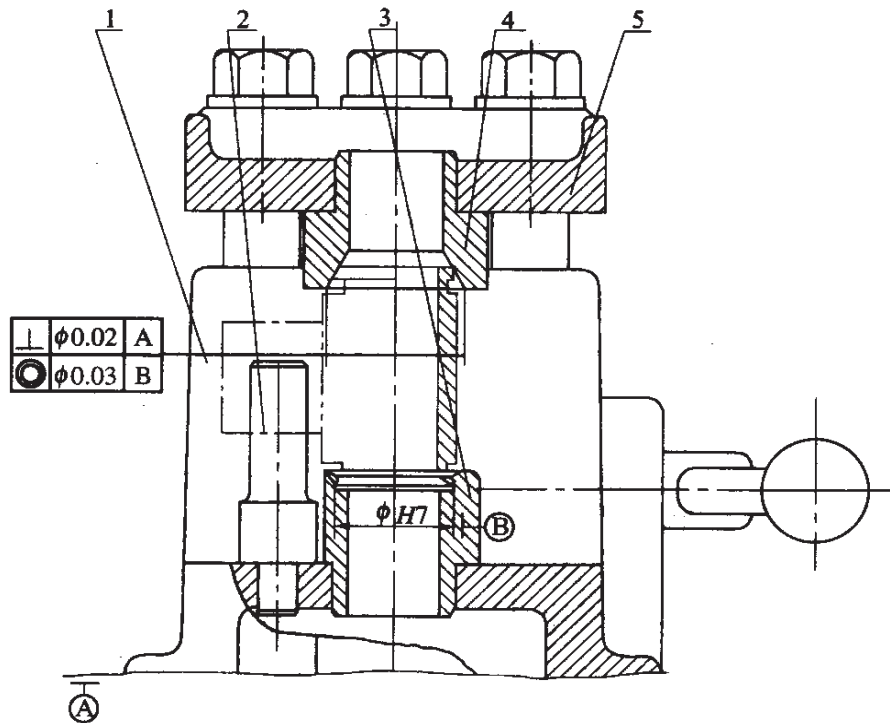


图 12.3-1 固定夹具

1—钻模 2—挡销 3—下定位套 4—上定位套 5—钻模板

(二) 浮动夹具

平面浮动夹具如图 12.3-2 所示,图 a)用于珩磨缸套类零件,图 b)用于珩磨短孔类,如连杆孔。工件装在浮动体 3 的平板上,珩磨头 8 经压板 2 上的导锥进入夹具底座 4 的固定导向套 5 内,转动手轮 7 压紧工件,便可进行珩磨。球面浮动夹具见图 12.3-3,多用于珩磨小孔。

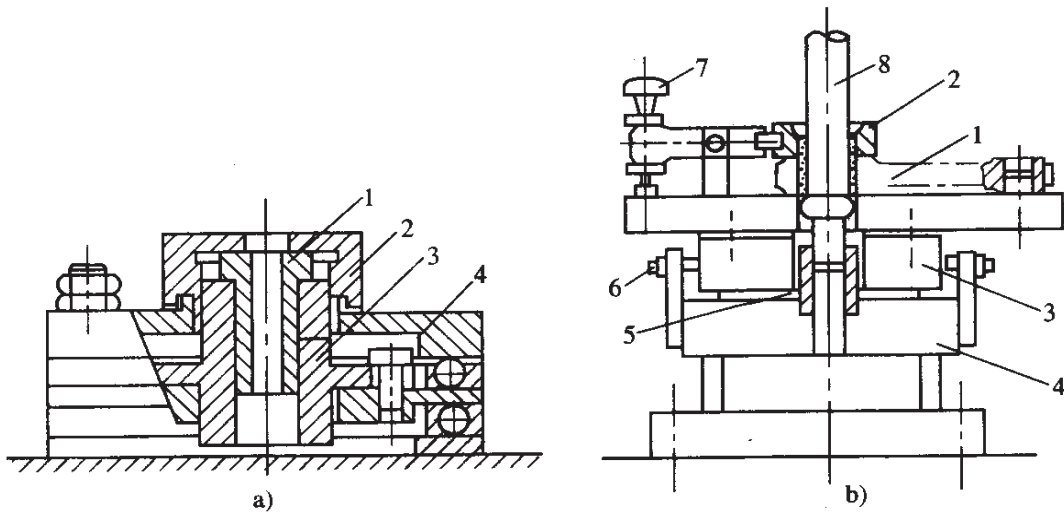


图 12.3-2 平面浮动夹具

a) 套类件珩磨夹具 b) 短孔珩磨夹具

1—工件 2—压板 3—浮动体 4—本体底座
5—导向套 6—限位螺钉 7—手轮 8—珩磨头

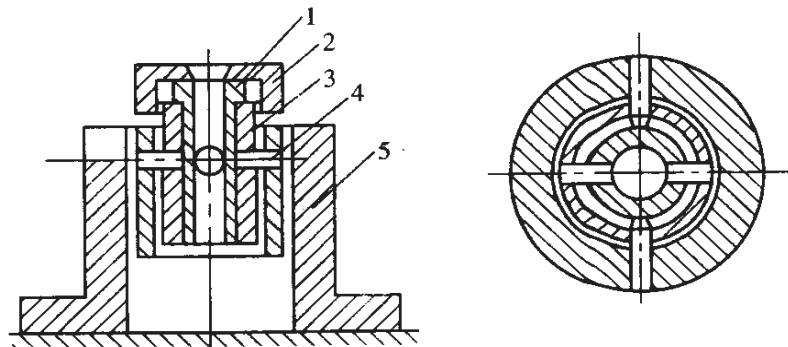


图 12.3-3 球面浮动夹具

1—工件 2—压紧螺母 3—浮动体 4—滚柱 5—本体

(三) 弹性夹具

弹性夹具有弹簧套夹紧和气囊式夹紧两种形式,见图 12.3-4。图 a)为弹簧套夹紧,多用于套筒件的粗珩;图 b)为圆柱气囊式夹紧,多用于精珩。夹具底部均有供工件径向定位的孔径。

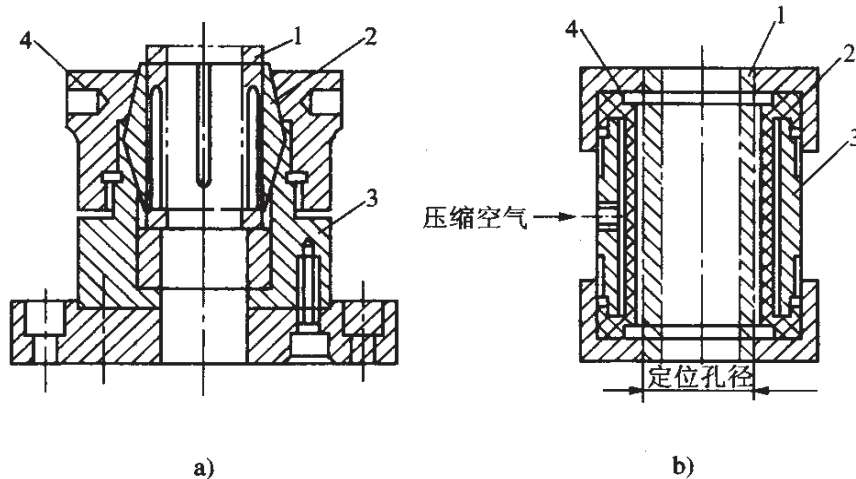


图 12.3-4 弹性夹具

a) 弹簧套夹紧 b) 圆柱气囊式夹紧

1--工件 2--弹簧(橡胶管)套 3--本体 4--螺母

二、珩磨夹具与珩磨头的配用及对中

珩磨夹具与珩磨头都有刚性和浮动两种类型,浮动的目的是为了补偿误差,二者必须根据工件特征合理搭配使用,以调整珩磨夹具中的工件孔(定位夹紧后)与导向套、珩磨机主轴的同轴度,即谓之对中,保证对中要求才能收到减少误差、提高珩磨质量的效果。具体参见表 12.3-1。

表 12.3-1 珩磨夹具与珩磨头的连接形式

| 珩磨夹具 | 配用的珩磨头连接形式 | 适用范围 | 对中误差 (mm) |
|--------|------------|--|-----------|
| 固定夹具 | 浮动连接 | 大、中型孔,外形复杂和不规则的较重工件的长孔,如各种缸孔、缸套孔,可获得良好的效果 | <0.08 |
| | 半浮动连接 | 使用短油石加工盲孔、短孔,但易受珩磨夹具与主轴对中误差的影响,需要保持稳定的对中精度才能保证珩磨质量 | <0.05 |
| | 刚性连接 | 大量生产中的小孔、外形规则的工件孔的精密珩磨,需要较高的对中精度 | ≤0.01 |
| 平面浮动夹具 | 刚性连接 | 珩磨短孔($L < D$),如连杆孔、齿轮孔等,可适当修正孔的轴线与端面垂直度误差,珩磨精度高 | <0.02 |
| | 半浮动连接 | 珩磨小套孔,在珩磨主轴转速不太高、夹具浮动量<1.0 mm的条件下,可获得较高的精度 | <0.05 |
| 球面浮动夹具 | 刚性连接 | 适用于各类小套孔珩磨,在较好的对中条件下,可获得直线度很高、表面粗糙度均匀的孔 | <0.02 |
| | 半浮动连接 | 适用于珩磨中、小套孔,在较长的油石或导向条件下,可获得较高的珩磨精度 | <0.05 |

第四节 珩磨油石的选择

根据工件的材料、孔径和加工要求,正确选择珩磨油石的规格、数量和性能。

一、珩磨油石规格、数量的选择

油石规格是指油石的形状、尺寸(长×宽×高)。其断面尺寸

一般宽大于高(即 $B > H$),以使油石安装稳定。珩磨大直径孔时,为了延长油石寿命,也可选用断面为正方形的油石。

(一) 油石长度

油石长度 l 取决于工件孔长 L 。油石太短会降低珩磨效率,油石过长则容易使孔成鼓形,影响孔的圆柱度。具体数值参考表 12.4-1。

表 12.4-1 珩磨油石长度的选择 (mm)

| 孔 长 L | 油石长 l | 举 例 |
|-----------------|--|--|
| 一般孔 | $l = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{3}{4}\right)L$ | 珩磨 $\phi 32 \times 60$ 的缸孔,选择 $l = 40$ |
| 短孔($L/D < 1$) | $l = \left(\frac{1}{2} \sim 1\right)L$ | 珩磨 $\phi 65 \times 40$ 的缸孔,选择 $l = 40$ |
| 等径间断长孔 | $l \geq 3$ 个孔的跨距 | |
| 深孔 $L/D > 5$ | $l = \frac{1}{2}L$ | |

(二) 油石断面尺寸选择

油石过窄,虽然不易堵塞,但磨损太快;油石过宽,其自锐性又不好,易堵塞,而且珩磨热量大,影响孔的精度。一般情况下,珩磨软材料选宽油石,珩磨硬材料需选窄油石,珩磨钢件比珩磨铸铁要窄一些,珩磨小孔油石尽可能宽些,珩磨大孔油石宽度一般小于 25 mm。使用金刚石或立方氮化硼油石,其宽度一般为普通油石的 $1/2 \sim 1/3$ 。具体数值参考表 12.4-2。

(三) 油石数量选择

在不影响珩磨头刚性和珩磨头制造工艺的条件下,尽可能采用多条油石,适当减少油石宽度。若保持油石总宽度占孔周长的 $0.15 \sim 0.28$ 时,可获得较高的珩磨效率,并减少孔的变形。参考表 12.4-2。

表 12.4-2 珩磨油石断面尺寸与数量的选择 (mm)

| 珩磨孔径 | 油石数量 (条) | 油石断面尺寸 ($B \times H$) | 金刚石油石断面尺寸 ($B \times H$) |
|---------|-------------|----------------------------|-------------------------------|
| 5~10 | 1~2 | — | 1.5×2.2 |
| 10~13 | 2 | 2×1.5 | 2×1.5 |
| 13~16 | 3 | 3×2.5 | 3×2.5 |
| 16~24 | 3 | 4×3.0 | 3×3.0 |
| 24~37 | 4 | 6×4.0 | 4×4.0 |
| 37~46 | 3~4 | 9×6.0 | 4×4.0 |
| 46~75 | 4~6 | 9×8.0 | 5×6.0 |
| 75~110 | 6~8 | 10×9,12×10 | 5×6.0 |
| 110~190 | 6~8 | 12×10,14×12 | 6×6.0 |
| 190~310 | 8~10 | 16×13,20×20 | — |
| >310 | >10 | 20×20,25×25 | — |

二、珩磨油石性能的选择

(一) 磨料的选择

磨料的选择参见表 12.4-3。

表 12.4-3 珩磨油石磨料的选择

| 磨料名称 | 代号 | 适于加工的材料 | 应用范围 |
|------|----|------------------|--------|
| 棕刚玉 | A | 未淬火的碳钢、合金钢等 | 粗珩 |
| 白刚玉 | WA | 经热处理的碳钢、合金钢 | 精珩、半精珩 |
| 单晶刚玉 | SA | 韧性好的轴承钢、不锈钢、耐热钢等 | 粗珩、精珩 |
| 铬刚玉 | PA | 各种淬火与未淬火锅件 | 精珩 |

续 表

| 磨料名称 | 代号 | 适于加工的材料 | 应用范围 |
|-------|------------|-------------------------------|--------|
| 黑色碳化硅 | C | 铸铁、铜、铝等各种非金属材料 | 粗珩 |
| 绿色碳化硅 | GC | 铸铁、铜、铝等。多用于淬火钢及各种脆、硬的金属与非金属材料 | 精珩 |
| 人造金刚石 | MBD 6~8 | 各种钢件、铸铁及脆、硬金属与非金属材料,如硬质合金等 | 粗珩、半精珩 |
| 立方氮化硼 | CBN | 韧性好且硬度和强度较高的各种合金钢 | 粗珩、精珩 |

(二) 粒度的选择

一般粗珩选用 F80~F180,半精珩(或粗精珩合一的)选用 F180~F280,精珩选用 F320 以上。参看表 12.4-4。

表 12.4-4 珩磨油石磨料粒度的选择

| 磨料 | 粒度 | 要求的表面粗糙度 $Ra(\mu m)$ | | | | 备注 |
|-----|-------|----------------------|-----------|------------|----------|----------|
| | | 淬火钢 | 未淬火钢 | 铸铁 | 有色金属 | |
| 刚玉 | F100~ | — | 1.25~1.0 | — | — | |
| 碳化硅 | F180 | — | — | 1.0 | 1.6~1.25 | |
| 刚玉 | F240 | 0.63 | 1.0~0.8 | — | — | |
| 碳化硅 | | — | — | 0.63 | 1.25~1.0 | |
| 刚玉 | F280 | 0.4~0.32 | 1.0~0.63 | — | — | |
| 碳化硅 | | — | — | 0.5~0.4 | 0.8 | |
| 刚玉 | F320 | — | — | — | — | 钢件用绿色碳化硅 |
| 碳化硅 | | 0.32~0.25 | 0.63~0.50 | 0.5~0.4 | 0.8~0.63 | |
| 刚玉 | F360 | — | — | — | — | 钢件用绿色碳化硅 |
| 碳化硅 | | 0.2~0.16 | 0.32~0.25 | 0.32~0.25 | 0.5~0.4 | |
| 刚玉 | F400 | — | — | — | — | 钢件用绿色碳化硅 |
| 碳化硅 | | 0.16~0.10 | 0.25~0.20 | 0.16~0.125 | 0.4~0.32 | |

(三) 硬度的选择

在保证油石有良好自锐性的条件下,还要有较高的耐用度。因此,必须根据工件的硬度、珩磨效率和珩磨余量等条件合理选用。一般对硬度高、珩磨余量大的工件,大批量生产,大孔珩磨和强力珩磨时,要选用较软的油石。而工件材料软,低表面粗糙度,或珩磨小孔、花键孔和间断孔时,要选用较硬的油石。油石硬度要求均匀一致,在一条油石上各点的硬度偏差最大不应超过半小级(相当于洛氏硬度值4度)。珩磨油石硬度选择参看表12.4-5。

表 12.4-5 珩磨油石硬度选择

| 油石粒度号 | 珩磨余量 直径方向(mm) | 油 石 硬 度 | |
|-----------|------------------|---------|-----|
| | | 钢 件 | 铸 铁 |
| F100~F150 | 0.15~0.5 | L~Q | L~R |
| | 0.01~0.1 | N~T | M~Q |
| F180~F280 | 0.05~0.5 | J~P | L~R |
| | 0.01~0.1 | L~S | M~R |
| F320~F400 | 0.05~0.15 | E~M | K~Q |
| | 0.01~0.05 | M~R | M~R |

注: 1. 正常珩磨条件下,油石硬度要在所示范围内选用偏软值。

2. 当工件材料硬度变动时,油石硬度应朝相反方向变动1~2小级。

(四) 结合剂的选择

普通磨料的珩磨油石一般采用陶瓷结合剂和树脂结合剂。陶瓷结合剂(代号A)油石性能稳定,性脆,可用于各种材料的粗精珩。树脂结合剂(代号B)油石有弹性,能抗震,能在珩磨压力较高的条件下使用,多用于低粗糙度珩磨。

（五）珩磨油石组织的选择

一般要求采用疏松结构。因为油石接触面大,易产生较高的珩磨热和堵塞现象。而珩磨低粗糙度的孔时,需要选用中等组织的油石。

三、新型油石

（一）热蜡注油石

把蜡加热熔化后与陶瓷油石配备的原料混合、拌匀,用压力注入模型后而制成。其特点是磨粒含量多,切削作用强,组织均匀,润滑性好,不会刮伤工件表面,而且可在粗粒度下获得较低的粗糙度。适用于大批量或黏韧性材料的半精与精珩加工。

（二）渗硫油石

在油石中加入硫磺、二硫化钼等成分,可以改善油石的性能。在油石的所有浸渗工艺中以硫油石效果最好。

第五节 珩磨工艺和珩磨液

一、珩磨工艺

（一）珩磨前的要求

（1）控制珩前孔径尺寸。孔径的最终尺寸公差一般为 H7~H9,因此珩前孔径尺寸一般要控制在 $-0.01\sim-0.05$ mm。珩磨钢件或高硬度、高韧性的工件,只要余量增大 0.01 mm,珩磨工时便会成倍增加。

（2）表面清洁。待珩表面不应有残留氧化物(脱碳层、铁锈等)、油漆和油垢等物,以免堵塞油石。

（3）珩磨时,不要使用钝化了的油石,以免珩磨表面形成挤压硬化层,若为铸铁表面,则石墨层将使珩磨困难和表面形成麻坑。

(二) 珩磨油石越程

珩磨头在往复运动中,必须保证油石在孔(或加工面)的两端超出一定距离,即油石的越程。越程的长短会直接影响孔的圆柱度,越程过长,则孔端被过多珩磨,形成喇叭孔;越程过短,则油石在孔中间的重叠珩磨时间过长,出现鼓形;若两端越程不等,则产生锥度。见图 12.5-1。

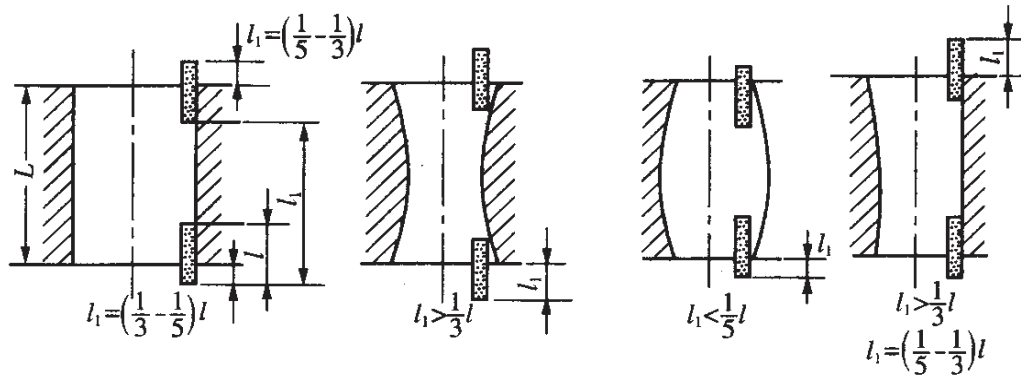


图 12.5-1 珩磨油石的行程距离

油石在孔两端的正常越程一般为:

$$l_1 = (1/3 \sim 1/5)l \text{ (mm)}$$

油石的行程距离:

$$l_x = L + 2l_1 - l \text{ (mm)}$$

式中 l_1 ——油石在孔端的越程(mm)

l_x ——油石的行程长度(mm)

l ——油石的长度(mm)

L ——孔或加工面的长度(mm)

一般孔的下端越程是看不到的(特别是盲孔),可以先调整孔的上端越程,再调整珩磨头的行程长度,通过一定的换算便控制了下端越程。

(三) 珩磨速度

珩磨速度有两个方面:珩磨头的圆周速度 v_t 与上下往复速度 v_a , 二者的合成速度则构成珩磨交叉网纹, 形成网纹交叉角 θ , 见图 12.5-2。

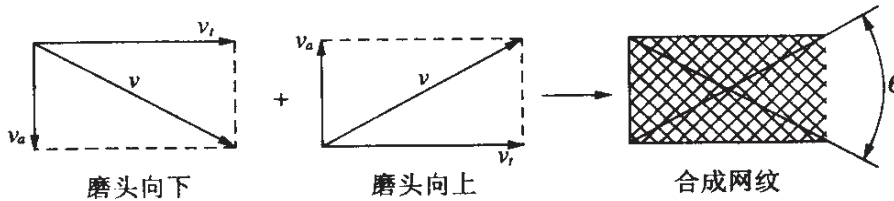


图 12.5-2 珩磨速度与网纹交叉角

$$v_t = \pi D n_t / 1\,000 \text{ (m/min)}$$

$$v_a = 2 n_a l_x / 1\,000 \text{ (m/min)}$$

$$v = \sqrt{v_t^2 + v_a^2} \text{ (m/min)}$$

$$i_{\text{珩}} = v_a / v_t = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \theta$$

$$\theta = 2 \operatorname{tg}^{-1} v_a / v_t \text{ (}^\circ\text{)}$$

式中 D ——珩磨头直径(mm)

v_t ——珩磨头圆周速度(m/min)

v_a ——珩磨头往复速度(m/min)

l_x ——珩磨头单行程长度(mm)

$i_{\text{珩}}$ ——珩磨速比, $i_{\text{珩}}$ 越大, θ 角也越大, 珩磨生产率高; 反之, $i_{\text{珩}}$ 越小, θ 角越小, 生产率低, 但工件加工表面质量可提高。 $i_{\text{珩}}$ 值与工件材料有关, 珩磨铸铁时, v_t 取 60~70 m/min, 理想速比 $i_{\text{珩}} = (1/3 \sim 1/5)$; 珩磨钢件时, v_t 取 40~60 m/min, 理想速比 $i_{\text{珩}} = (1/3 \sim 1/7)$; 珩磨铝合金时, v_t 取 70~90 m/min, 理想速比 $i_{\text{珩}} = (1/8 \sim 1/9)$ 。根据实践结果, v_a 一般都在 10~25 m/min 范围内选取, 珩磨钢件和铝合金时, v_a 可取低一些, 即 8~12 m/min。

选择 v_t 、 v_a 、 θ , 参见表 12.5-1。

表 12.5-1 珩磨速度选择 (m/min)

| 材料 | 硬度 HRC | 圆周速度 v_t | 往复速度 v_a | 网纹交叉角 θ (°) | v_t/v_a | 应用范围 |
|------|-----------|---------------|---------------|-----------------------|-----------|--------|
| 铸铁 | 15~50 | 33~60 | 15~35 | 15 | 7.6 | 光珩 |
| | 50~65 | 20~33 | | 20 | 5.67 | 光精珩 |
| 钢件 | 15~35 | 25~30 | 10~25 | 30 | 3.7 | 精珩 |
| | 35~50 | 18~25 | | 45 | 2.4 | 粗珩、粗精珩 |
| | 50~65 | 15~18 | | 60 | 1.73 | 粗珩、平顶珩 |
| 有色金属 | | 50~70 | 10~20 | 75 | 1.3 | 粗珩、强力珩 |
| | | | | 90 | 1 | 粗珩、强力珩 |

提高珩磨效率, 需要提高往复速度 v_a 。现代珩磨机的特点之一是具有较高的往复速度(25~35 m/min), 以便获得较大的网纹交叉角 θ 。当 $\theta=45^\circ\sim70^\circ$ 时, 珩磨效率较高。若需低的表面粗糙度, 则应降低 v_a (或增加 v_t), 使 $\theta=15^\circ\sim30^\circ$ 。珩磨间断孔、花键孔, 应选择较高的 v_t 和较低的 v_a 。平顶珩磨, 则应根据产品要求的网纹交叉角, 先选定合理的 v_a , 然后根据表 12.5-1 求出 v_t 。

(四) 珩磨压力

珩磨时油石须有一定压力, 压力太小时不能磨去一定量的切削层; 压力太大则磨削热大, 影响表面质量, 甚至会使油石碎裂。粗珩磨时, 油石工作压力一般为 0.3~0.5 MPa, 精珩磨时取 0.2~0.3 MPa。在专用珩磨机为 0.4~1 MPa, 一般不超过 1 MPa。

(五) 珩磨进给方式

珩磨进给方式有手动进给、定压进给、定速(量)进给和定压定速进给四种, 珩磨机多采用定压进给、定速(量)进给或定压定速组合进给。

1. 手动进给

手动进给常见于一些自制珩磨机床,机床无自动进给功能。通常珩磨余量很小,只改善表面粗糙度。珩磨时先将珩磨头置于孔内,手动扳紧调整螺母,使油石胀开,实现珩磨(图 12.5-3)。手动进给方式珩磨压力随时间而逐渐下降,珩磨效率较低。

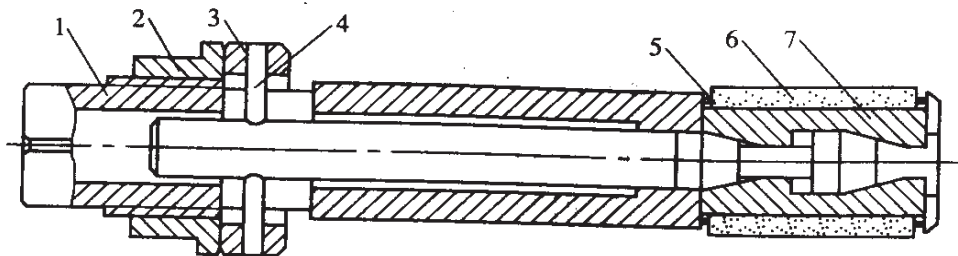


图 12.5-3 手动进给

1—连接头 2—调整螺母 3—套 4—销 5—弹簧 6—油石 7—油石座

2. 定压进给

这种方式的进给总压力不变,但在珩磨过程中,加工表面的粗糙度不断降低,油石与表面的接触点不断增加,于是油石作用在表面上的单位压力相应降低,使油石的切削作用不断下降。若尚有余量需继续粗珩,则效率很低;若余量刚好珩完,但缺乏低压珩磨阶段,又不能获得较好的粗糙度,定压进给特性见图 12.5-4。因此,一些珩磨机把定压进给改为分压进给,如高低压进给,快慢胀单压进给等。

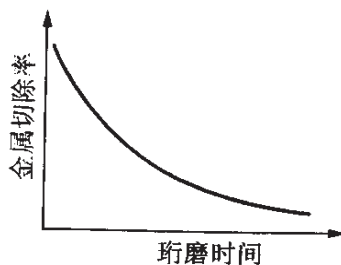


图 12.5-4 定压进给珩磨特性

高低压进给珩磨:快速胀开油石,使其接触工件,升至高压进行粗珩,待珩至接近需要的尺寸后,立即转为低压精珩,直至达到需要尺寸,然后卸除进给压力,油石退回。即高压粗珩、低压精珩的过程(图 12.5-5)。

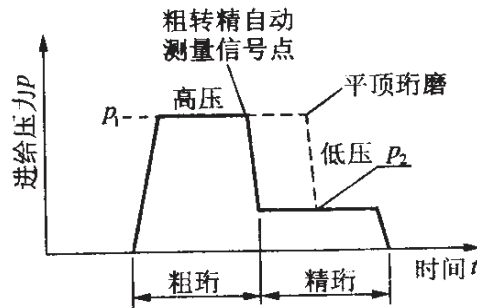


图 12.5-5 高低压进给

快慢胀单压进给珩磨：油石快速胀开接近(不接触)工件表面,再慢胀进给维持定压珩磨,达到尺寸后快速降压退出(图 12.5-6)。这种方式仍属于定压珩磨,适用珩磨余量不太大、表面粗糙度要求不太严格的内孔或间断孔等。

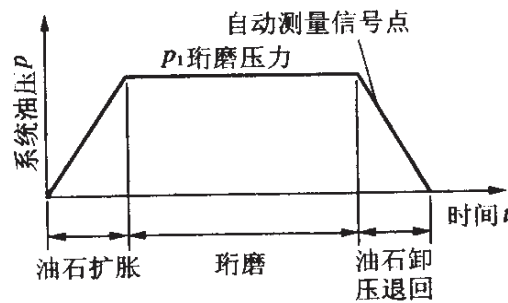


图 12.5-6 快慢胀单压进给

3. 定速(量)进给

油石始终以预定的速度强制扩张进给。珩磨头进入孔后快速胀开接近工件表面,然后慢速扩张抵住孔壁进行珩磨,最后进行短时间的无进给珩磨。这种方法有校正孔的几何形状误差和获得较低表面粗糙度的能力。适用于大余量和生产条件较稳定的珩磨加工。珩磨效率较低。

4. 定压定速进给

珩磨时,先以定压进给方式迅速接触孔壁,并开始珩磨。当油石已将加工表面的粗糙层珩去后,切入速度开始下降(即切削能力

开始降低),便自动转为定速进给方式,强制油石膨胀,使油石产生自锐作用,切入速度上升,达到合理的切入速度后又转为定压进给。一定时间后,又转为定速进给。这种交替进行的复合进给方式,可以获得较高的珩磨效率与表面质量,特别适用于大余量和大批量生产中的粗精一次珩磨。

二、珩磨液

(一) 珩磨液的选择

珩磨液有油剂和水剂两种,见表 12.5-2。

表 12.5-2 珩磨液的选择

| 类型 | 序号 | 成分比例(%) | | | | | 适用范围 | | | | | | | | |
|----|----|---------|--------------------|------|------|---|---------|------|------|----|----|----|-----|------------|------------------|
| | | 煤油 | L-AN32 全损耗系统用油或锭子油 | 油酸 | 松节油 | 其余 | | | | | | | | | |
| 油剂 | 1 | 90~80 | 10~12 | 40 | 5 | 石油磺酸钡 硫磺+猪油 硫化矿物油 硫化矿物油 硫化矿物油 | 钢、铸铁、铝 | | | | | | | | |
| | 2 | 55 | 高强度钢、韧性材料 | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | 100 | | | | | 粗珩铸铁、青铜 | | | | | | | | |
| | 4 | 98 | | | | | | 硬质合金 | | | | | | | |
| | 5 | 95 | | | | | | | 铝、铸铁 | | | | | | |
| | 6 | 90 | | | | | | | | 铸铁 | | | | | |
| | 7 | 75~80 | | | | | | | | | 软钢 | | | | |
| | 8 | 95 | | | | | | | | | | 硬钢 | | | |
| 水剂 | 序号 | 磷酸三钠 | | 环烷皂 | 硼砂 | 亚硝酸钠 | | | | | | | 火碱 | 磺化蓖麻油(太古油) | 其余 |
| | 1 | 0.6 | 0.6 | 0.25 | 0.25 | — | | | | | | | 0.5 | 水 | 粗珩钢、铸铁、青铜及各种脆性材料 |
| | 2 | 0.5 | | — | | — | | | | | | | | | |
| | 3 | 0.25 | | 0.25 | | 0.25 | — | | | | | | | | |
| | 4 | 0.6 | | 0.25 | | 0.25 | — | | | | | | | | |

水剂珩磨液冷却性和冲洗性较好,适用于粗珩。油剂珩磨液宜加入适量的硫化物,因为硫能与铁屑中的铁元素化合成硫化铁,这是一种抗黏焊和抗堵塞的化合物,对改善珩磨过程非常有利。另外,珩磨液的黏度也影响珩磨效率,对高硬度或脆性材料的珩磨宜采用低黏度的珩磨液。

(二) 珩磨液的使用要点

(1) 珩磨液的净化: 珩磨液如果净化不好就会使油石堵塞,珩磨头卡死,刮伤加工表面等。因此,要获得较高的珩磨效率与质量,必须注重珩磨液的过滤方法,最好采用磁性分离与纸带过滤的联合净化装置,以保证珩磨液的含污程度在 1 L 内不超过 0.2~0.3 g。

(2) 温度控制: 珩磨液的工作温度达到 35~40℃后,容易使珩磨产生震动,影响珩磨精度,降低表面质量。在大余量和大批量生产中,必须注意珩磨液的降温与容量,以保证它的工作温度在 25℃左右。

(3) 珩磨液的送进: 必须保证珩磨液与珩磨头同时送进工件孔内,流量充足,具有足够的冲洗力。

三、特种珩磨工艺

(一) 超硬磨料油石珩磨

超硬磨料主要包括人造金刚石和立方氮化硼。就珩磨效率而言,珩磨高硬度和韧性材料,使用超硬磨料油石比使用普通磨料油石效率要高 3~7.5 倍,即使珩磨一般材料,也可提高 10 倍左右。特别对小孔、大余量和平顶珩磨更为理想,珩磨最小孔径可 ≤ 1 mm。超硬磨料油石磨损小,能保持磨具的正确形状,纠正孔的形状误差,可以使用主动测量。因此,可以获得较高的珩磨精度和经济效益。

1. 超硬磨料油石的选择

超硬磨料油石参数与普通磨料油石一样,包括磨料、粒度、浓度、结合剂、外形尺寸等。

(1) 磨料:人造金刚石油石多用于珩磨硬而脆的材料,如高碳钢、铸铁、硬质合金等,珩磨铸铁件效果很好。立方氮化硼的硬度略低于人造金刚石,但其强度、耐热性优于人造金刚石。因此,立方氮化硼适宜珩磨韧性好或硬度不高的黏性材料,如各种高强度合金钢,珩磨效率与表面质量都优于人造金刚石。参见表 12.4-3。

(2) 粒度:可参照表 12.5-3。

表 12.5-3 金刚石油石粒度的选择

| 粒度号 | 加工材料及余量(mm) | | 可达表面粗糙度 $Ra(\mu\text{m})$ | |
|-------------------------|------------------------|-----------|---------------------------|----------|
| | 未淬火钢 淬火钢 | 铸 铁 | 淬火钢 | 铸 铁 |
| F80/F100~ F120/F140 | 0.08~0.12 0.05~0.08 | 0.10~0.15 | 2.5~1.5 | 2.5~1.3 |
| F120/F140~ F200/F230 | 0.04~0.07 | 0.07~0.09 | 1.25~0.8 | 2.5~0.8 |
| F200/F230~ F325/F500 | 0.02~0.04 | 0.05~0.07 | 0.63~0.4 | 1.25~0.4 |

一般而言,精珩用的超硬磨料粒度要比普通磨料粒度细 1~2 号,珩磨未淬火钢的油石磨料粒度比淬火钢要细 1~2 号。

理论上,超硬磨料油石适用于各种材料的粗珩、精珩,但实践证明,对低粗糙度($Ra0.1\mu\text{m}$ 以下)的珩磨,珩磨效率不及普通磨料,见图 12.5-7。这是因为细粒度的超硬磨料易堵塞,降低了珩磨效率。同时,细粒度的超硬微粉也很难制造。因此,尽量不要选用细粒度的超硬磨料。换句话说,超硬磨料油石一般适用于粗珩加工。精珩加工(如精珩铸铁件孔)时,可以选择普通磨料油石(如绿色碳化硅)。

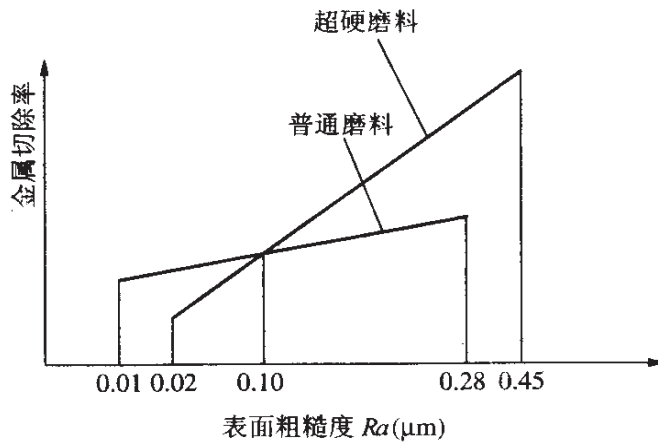


图 12.5-7 超硬磨料油石珩磨能力

(3) 结合剂及其浓度选择：结合剂及其浓度选用原则如下。

- ① 用于精珩的细粒度油石，要用低浓度树脂结合剂。
 - ② 粗珩一般采用高浓度青铜结合剂油石。
 - ③ 电镀金刚石(或立方氮化硼)油石与磨头要选用高浓度。
- 详见表 12.5-4。

表 12.5-4 超硬磨料油石的结合剂与浓度选择

| 结合剂 | 代号 | 浓度(%) | 适用范围 |
|------|----|---------|--------------------------------|
| 树脂 | B | 25~50 | 用于低粗糙度珩磨(精珩、光珩) |
| 陶瓷 | V | 75 | 自锐性好,珩磨效率高,可用于粗珩、半精珩 |
| 青铜 | Q | 100~150 | 强度高,耐磨性好,自锐性较差,用于脆、硬材料或韧性材料的粗珩 |
| 电镀金属 | D | 200 | 成形油石、小孔珩磨杆,珩磨效率高,耐用度低 |

(4) 超硬磨料油石的形状结构：树脂、陶瓷与电镀金属结合剂的油石，自锐性较好，其形状可近似普通磨料油石。青铜结合剂油石必须采用带槽结构的窄油石(图 12.5-8)，以提高其自锐能力，防止堵塞。槽宽 b 约为 1~2 mm，槽深 t 不小于磨料层深，磨

料层 h 一般为 1.5 mm。

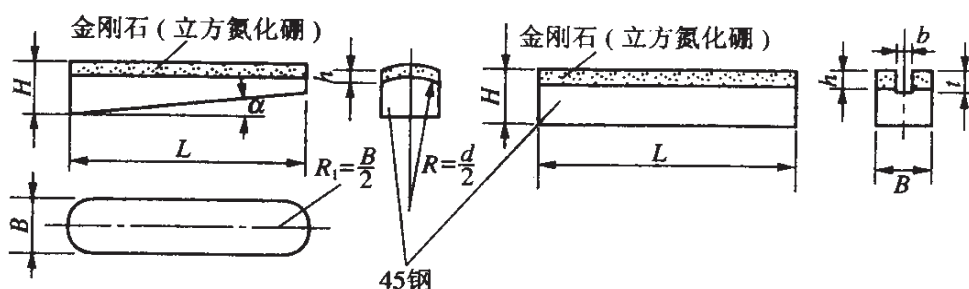


图 12.5-8 超硬磨料油石的形状结构

a) 珩磨小孔用油石 b) 带槽油石

(5) 超硬磨料油石的黏结与修磨方法如下。

黏结:黏结前检查油石的高度及直度,将基本等高的配为一副,弯曲的修磨基体;清洗油石座,除去油污,黏焊油石。黏焊油石有两种方法:

① 锡焊:将油石座放在传感器上加热至 $150^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 后,把锡焊膏均匀涂在焊接表面上,再将预热过的油石放在焊锡上,轻压、移动,然后放置自然冷却。

② 胶黏:有虫胶与胶黏剂两种,虫胶黏结方法与锡焊相同,但黏结力没有锡焊高。胶黏剂(有 AR 型与 XH 型等多种)为常温黏结,在 60°C 烘干箱内干燥 2 小时后自然冷却。

修磨:将黏结好的油石成副地装在类似珩磨头的特制夹具(图 12.5-9)上进行修磨,把全副油石的磨料层表面磨圆或磨平。需使用大量冷却液,较大的纵向进给量,保证表面圆柱度 $< 0.01 \text{ mm}$ 。修磨规范如下:

设备:普通外圆磨床

砂轮: SC80KV

砂轮速度: 15 m/s

工件转速: $20 \sim 30 \text{ r/min}$ (直径大者用低值)

工作台纵向速度: 720 mm/min

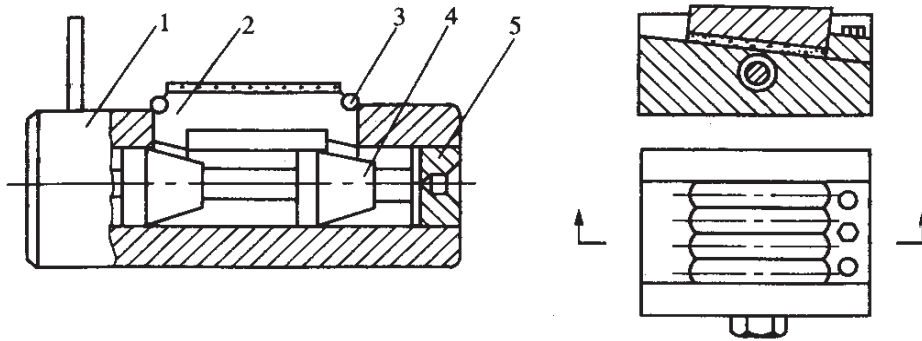


图 12.5-9 修磨夹具

a) 大中型孔多条珩磨油石 b) 小孔珩磨油石
1—心轴 2—油石座 3—弹簧 4—锥体 5—堵头

2. 超硬磨料珩磨工艺参数

(1) 珩磨速度: 参见表 12.5-5。

表 12.5-5 超硬磨料珩磨速度 (m/min)

| 超硬磨料 | 珩磨速度范围 | 加工材料 | 珩磨工序 | 圆周速度 | 往复速度 |
|----------------------|--------|------|------|-------|-------|
| 金刚石油石 立方氮化硼 油石 | 40~80 | 钢 | 粗珩 | 24~36 | 12~18 |
| | | | 精珩 | 36~60 | 3~9 |
| | 35~60 | 铸铁 | 粗珩 | 36~60 | 15~30 |
| | | | 精珩 | 48~78 | 6~12 |

注: 往复速度, 粗珩时可按具体条件选择较大值, 精珩时可按普通油石选用。

(2) 珩磨压力: 青铜结合剂的金刚石油石, 珩磨压力选用范围在 $30 \times 10^5 \sim 60 \times 10^5$ Pa, 立方氮化硼油石限制在 $20 \times 10^5 \sim 35 \times 10^5$ Pa 之间, 电镀金属结合剂的油石珩磨压力则需相应降低一半以上, 以防磨料层剥落。

(3) 其他参数: 如珩磨余量、珩磨液等, 选择原则与普通磨料油石相同, 但珩磨液的润滑性要高于普通磨料油石珩磨液润滑性。

3. 超硬磨料油石珩磨的使用技术

(1) 使用中若发现堵塞,可用 SC46PA 油石磨去超硬磨料油石的堵塞层。

(2) 增大珩磨网纹交叉角。

(3) 在珩磨液中添加硫化剂,防止油石堵塞。

(4) 若机床主轴允许反转,可以定期改变珩磨头的旋转方向,以提高油石的自锐能力,经济有效。

(二) 平顶珩磨

1. 平顶珩磨表面的特征

平顶珩磨主要用于具有相对运动摩擦副的内孔珩磨,如内燃机缸孔,这是较为经济实用的先进珩磨工艺。无论从产量、质量、制造成本和使用效果来看,都优于传统珩磨工艺。其主要特点如下:

(1) 宏观表面具有明显的、粗细均匀的、对称的珩磨交叉网纹。网纹无折叠、间断等现象,如图 12.5-10。

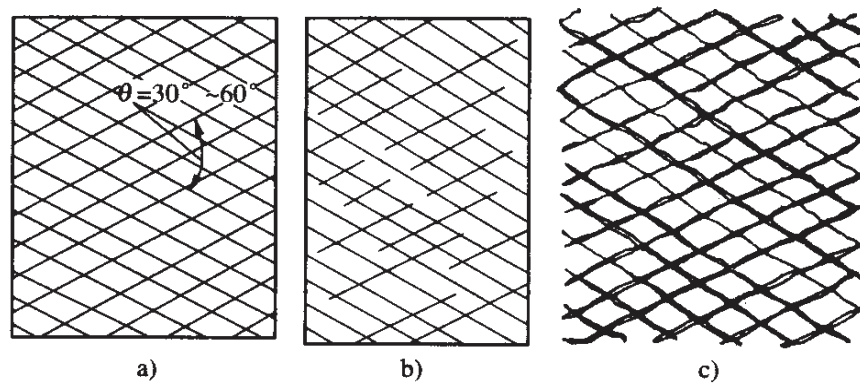


图 12.5-10 平顶珩磨的网纹与交叉角

a) 正确的 b) 不均匀对称的 c) 有折叠夹砂的

(2) 微观表面轮廓曲线为宽度不等的平顶与深沟,见图 12.5-11。平顶表面可以支承载荷,沟槽则利于贮油润滑。

(3) 珩磨网纹交叉角 θ 较大,一般为 $30^\circ \sim 60^\circ$ 。

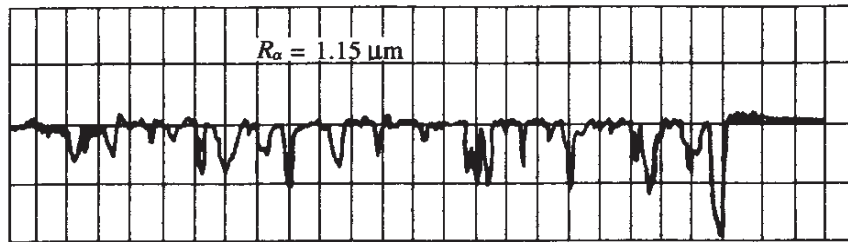


图 12.5-11 平顶珩磨表面的微观轮廓曲线

(4) 平顶珩磨表面粗糙度一般为:

$$Ra 0.5 \sim 1.25 \mu\text{m}$$

(5) 平顶面积比率 t_p (又称表面支承率) 要求:

$$t_p = \sum a/A(\%) = 50\% \sim 80\%$$

此值可用专用仪器测定, 或通过微观轮廓曲线计算, 如图 12.5-12。

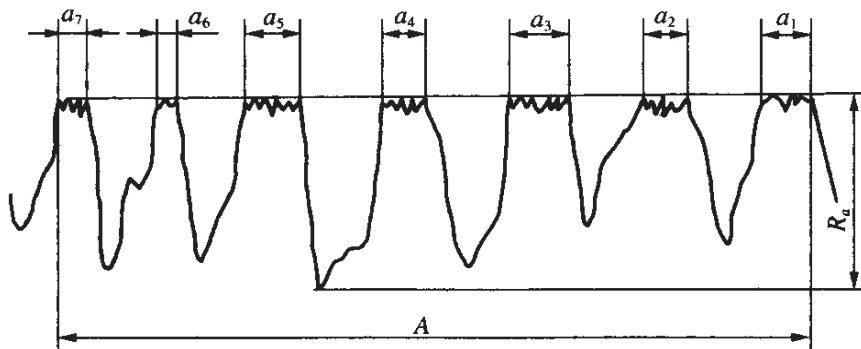


图 12.5-12 平顶面积比率的计算

(6) 平顶珩磨表面上的沟槽大小, 一般要求宽度 $40 \sim 70 \mu\text{m}$, 深度 $4 \sim 6 \mu\text{m}$ 。

2. 平顶珩磨工艺

(1) 珩前缸孔的要求如下:

- ① 缸孔表面应无冷挤硬化层, 粗糙度 $\leq Ra 4 \mu\text{m}$ 。

② 中等孔径的珩磨余量不大于 $0.05 \sim 0.08 \text{ mm}$ 。

③ 孔的圆柱度 $\leq 0.02 \mu\text{m}$ 。

(2) 平顶珩磨机与珩磨头在使用时须明确以下两点。

① 在现有的珩磨机上实现平顶珩磨, 需要提高珩磨机的往复速度, 调整主轴圆周速度与往复速度的比例, 获得需要的网纹交叉角。

② 在平顶珩磨机上使用专用的珩磨头, 备有粗珩、精珩两副油石。机床具有自动测量装置, 实行粗珩与精珩过程的压力转换与油石交替, 可稳定获得良好的平顶珩磨表面。

专用的平顶珩磨头有双油缸进给式, 如图 12.2-4; 也有用胀锥往复进给变换粗精油石的, 如图 12.5-13。它们都是由自动测量仪发出信号控制粗、精珩磨过程的转换与终止。双油缸进给工作比较稳定。

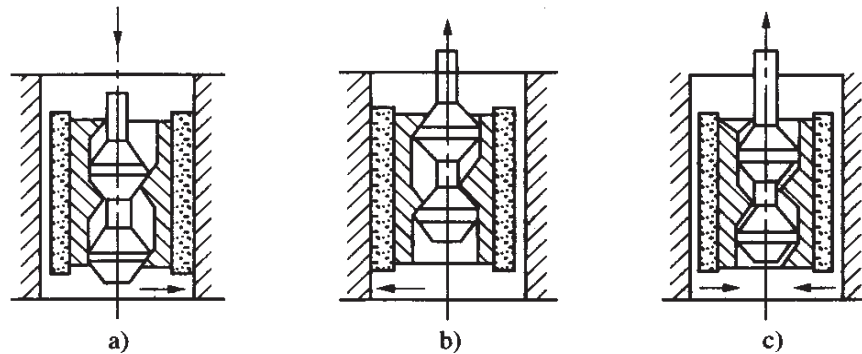


图 12.5-13 往复进给式平顶珩磨头

a) 粗珩油石胀开 b) 精珩油石胀开 c) 粗精油石收缩

(3) 油石选择。用粒度为 $100/120 \sim 120/140$ 的人造金刚石进行粗珩, 用细粒度的绿色碳化硅油石进行精珩, 较易获得理想的优质表面。因为金刚石油石粗珩比普通磨料能获得较深的、均匀的珩磨网纹。绿色碳化硅精珩则是为了保证粗珩表面上的尖端被锋刃削平而不被挤入沟槽或折叠, 保证 t_p 的要求。

(4) 平顶珩磨工艺如下:

① 粗珩网纹: 珩至孔径为公差的中值, 保证网纹交叉角 θ 符

合产品要求,珩磨表面的宏观和微观曲线均符合上述特征。工艺参数为:

粗珩油石 SMD120/140Q100

珩磨压力 $(8\sim 12)\times 10^5$ Pa

珩磨速度 $v_t=52$ m/min, $v_a=30$ m/min, $\theta=60^\circ$

珩磨液 煤油 90%+硫化矿物油

表面粗糙度 $Ra1.25\sim 2.0$ μm

② 精珩平顶:用锋锐的油石,轻微的压力,较短的时间,削去粗珩表面上的尖端,形成小平顶,保证表面微观轮廓曲线合格,表面粗糙度 $Ra0.5\sim 1.25$ μm ,平顶面积比率 $t_p=50\%\sim 80\%$ 。

工艺参数如下:

精珩油石 GoF280QV

珩磨压力 $(2\sim 3)\times 10^5$ Pa

精珩直径余量 $4\sim 6$ μm

精珩时间 $8\sim 15$ s

珩磨速度要求 $v_s \leq v_{s,粗}$

3. 平顶珩磨表面质量检查

使用专用仪表测量,打印出全部参数。或用粗糙度检查仪检查,使用合适的放大比例描出其微观轮廓曲线,根据曲线便可计算出沟槽的深度和宽度,以及表面支承率 t_p 。沟槽微观结构需用表面薄膜复印法检查。

(三) 强力珩磨

强力珩磨是用切削性能较强的油石和较高的珩磨压力,在刚性较好的珩磨机上进行大余量或高效率珩磨加工。可以直接将冷拔钢管或粗镗后的缸筒等加工成精密孔,也可以加工淬硬工件或硬质合金工件。

1. 珩磨条件

(1) 珩磨机必须有刚性好、功率大的主轴与可变速的主轴箱。

主轴具有较高而且可调的往复速度,大余量珩磨应使用定压定速复合进给机构。

(2) 珩磨头与主轴浮动连接,珩磨头要结构简单、刚性好,一般多用刚性半瓦结构。

(3) 珩磨油石的选用原则与普通珩磨一样,但油石强度要高于普通油石,并有强力珩磨的标记。

① 粒度:粗珩油石一般选用 F120~F150,精珩为 F180~F280。

② 硬度:按表 12.5-6 选择。卧式珩磨或机械扩张式珩磨进给时,油石硬度要相应降低 1~2 级。

表 12.5-6 强力珩磨油石的硬度选择

| 珩磨孔径(mm) | 油石硬度 | 珩磨材料 | 粗珩 | 精珩 |
|----------|------|--------|-----|-----|
| ≤120 | M~N | 铸铁 | Q~K | N~K |
| 130~150 | M~L | 未淬硬合金钢 | J~G | H~G |
| 155~195 | L~K | 淬硬合金钢 | H~F | G~E |
| ≥195 | K~J | 其他淬硬材料 | H~D | — |

(3) 结合剂与组织:疏松的陶瓷油石要比树脂油石效率高,但强度不及树脂结合剂油石高。为了改善油石的自锐能力,可定期变换主轴旋转方向。

(4) 珩磨压力:一般可达 20×10^5 Pa 左右,主要通过液压油缸加大对推杆和进给胀锥的压力获得。先进的大余量珩磨机是采用电子扩张机构,然后根据油石与加工表面的特征,控制油石以最合适的速度扩张,以定速进给方式珩磨至最后尺寸,可获得较佳的珩磨效果。

(5) 珩磨液:强力珩磨产生的热量多,大余量珩磨温度可达 65°C ,磨下的铁屑也多,必须大量供应有一定压力、且冷却性能好的珩磨液。珩磨液的性能也应以冷却和冲洗为主,可参考表 12.5-2

选用。

2. 强力珩磨应用

(1) 钢管、汽缸筒等强力珩磨。可一次加工成精密的孔,珩磨余量一般为 $0.5\sim 1.5\text{ mm}$,使用粒度 F120、疏松的陶瓷油石,表面粗糙度为 $Ra1.5\sim 1.8\ \mu\text{m}$,金属切除率为 $218\sim 546\text{ mm}^3/\text{s}$ 。

(2) 淬硬工件强力珩磨。需用超硬磨料或碳化硅磨料油石、低黏度珩磨液、珩磨速度应以能够使油石磨粒切入工件为宜,一般采用 $15\text{ mm}/\text{min}$ 左右。

第六节 小孔、盲孔珩磨及外圆的双轮珩磨

一、小孔珩磨

(一) 小孔珩磨头

孔径在 5 mm 以上的小孔,多数情况下采用珩磨头,油石数量随着孔径的增大而增加,参考表 12.4-2;孔径在 5 mm 以下的小孔,因珩磨头制造困难,需采用电镀超硬磨料珩磨杆,即在加工好的钢杆上电镀 $1\sim 2$ 层超硬磨料,并根据孔径及余量制成一组直径相差 $0.005\sim 0.01\text{ mm}$ 的珩磨杆。图 12.6-1 所示为不同直径的电镀磨料珩磨杆,其上有供珩磨液流通的直线槽与螺旋沟,在珩磨过程中能起到冷却与排屑作用。

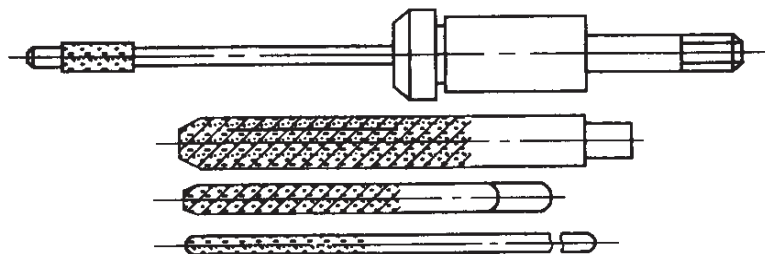


图 12.6-1 电镀超硬磨料珩磨杆

(二) 小孔珩磨工艺

1. 顺序珩磨法

用一组金刚石珩磨杆,尺寸由小到大,每个珩磨杆只作一次往复行程,每个行程珩去的余量在几个微米以内,珩磨次序按珩磨杆的尺寸顺序进行,直到最后获得需要的尺寸精度。这种方法多用于固定式夹具与刚性连接珩磨头(磨杆)及带回转工作台的多轴珩磨机,工作台有较高的回转定位精度。

2. 手动珩磨法

在小型卧式矩形珩磨机上进行,人工手握工件在珩磨头进行往复运动,珩磨杆转速在 2 000 r/min 左右,可无级调速。对不便装夹的小件、薄壁件采用手动珩磨极为方便,而且效率高,废品率低,可适用于各种批量生产。

3. 单油石珩磨法

见图 12.2-1。珩磨头用单面楔胀开油石。一般多用于超硬磨料油石,其耐用度与尺寸精度较高,适用于珩磨 $\phi 5 \sim \phi 15$ mm 的孔,有较长的导向,可使珩磨孔获得较高的直线度,常用于珩磨各种阀孔、制动分泵、总泵及油泵的柱塞孔,多用小型立式珩磨机,往复运动为机械驱动。

二、盲孔珩磨

盲孔珩磨需要选用换向精度高的珩磨机床,其往复换向误差不大于 0.5 mm,珩磨主轴的轴向窜动、珩磨头与油石座的轴向间隙均需严格要求。若为全封闭的盲孔珩磨,则需采用卧式珩磨机,珩磨头与盲孔端的间隙可 ≤ 1 mm。

盲孔珩磨有两种工艺方法:

1. 长油石珩磨

按通孔珩磨原则选用油石长度,珩磨中使油石在盲孔端换向时自动停留 1~2 s,或在预定间隔时间内,对盲孔端进行若干次短

行程的珩磨,时间间隔可通过试验确定。这种方法宜采用耐用度较高的金剛石油石,可在普通珩磨机上进行。

2. 长短油石组合珩磨

在孔的全长上用长油石珩磨,在孔的盲端将短油石胀出,增加切削刃,防止长油石偏磨和产生锥度,既可保证孔的精度,又可提高珩磨效率。但需使用盲孔珩磨头,见图 12.6-2。

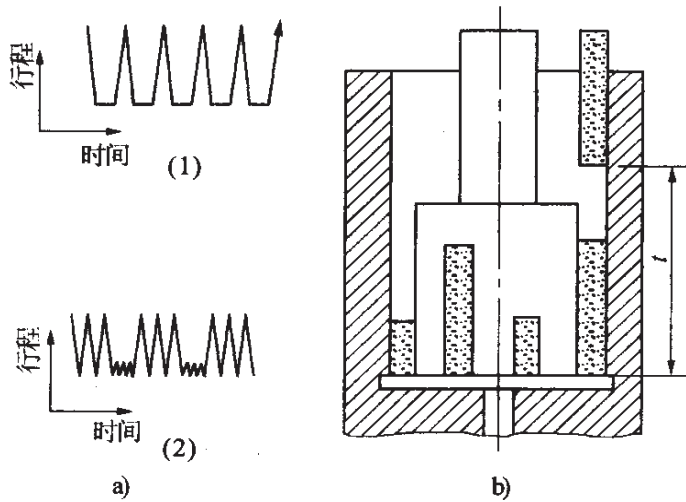


图 12.6-2 盲孔珩磨

a) 长油石珩磨法 b) 长短油石珩磨法

三、外圆的双轮珩磨

外圆的双轮珩磨,可在普通车床上进行,表面粗糙度可达 $Ra0.1 \mu\text{m}$,表面呈蓝黑色镜面。珩磨时,工件材料的硬度越高,珩磨表面粗糙度值越低。外圆的双轮珩磨不能修正工件的圆度误差。

(一) 双轮珩磨的工作原理

将两个修整成双曲线的珩磨轮反向倾斜安装,并在弹簧力的作用下压向工件表面。在摩擦力的作用下,工件带动珩磨轮回转,同时,两珩磨轮沿工件轴线往复运动。由于珩磨轮轴线与工件轴

线交叉成 α 角,因此,珩磨轮在被工件带动旋转的同时,还相对工件表面产生滑动速度 $v_{切}$,从而产生切削作用。由图 12.6-3 可知: $v_{切} = v_w \cdot \sin\alpha$ 。

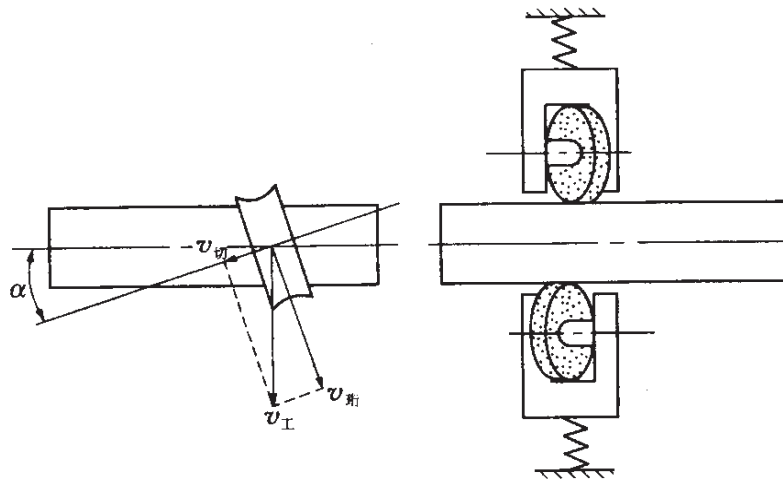


图 12.6-3 双轮珩磨原理

双轮珩磨除了磨粒的切削作用,还伴随着挤压作用,有利于降低工件表面粗糙度值。

(二) 主要参数

- (1) 安装角 α $\alpha = 27^\circ \sim 35^\circ$
- (2) 工件速度 v_w $v_w = 60 \sim 65 \text{ m/min}$
- (3) 轴向进给量 f_a $f_a \leq 0.6B$ (B 为珩磨轮宽度)
- (4) 珩磨余量 一般取 $0.01 \sim 0.015 \text{ mm}$

第七节 珩磨产生的缺陷及消除措施

珩磨产生的缺陷及消除措施见表 12.7-1 所示。

表 12.7-1 珩磨产生的缺陷及消除措施

| 缺陷名称 | 产生原因 | 消除措施 |
|-------|---|----------------------------------|
| 圆度超差 | 机床主轴与工件孔轴不同轴线,误差大 | 调整夹具 |
| | 夹紧位置不当或夹紧力过大 | 重新设计夹具,一般应为端面夹紧。夹紧力要适当 |
| | 孔壁不均,珩磨温度过高或珩磨压力过大 | 如能修改产品设计,可控制壁厚均匀一致。降低珩磨压力,减少珩磨热量 |
| | 材质或硬度不均 | 控制坯料质量 |
| | 孔预加工后圆度误差大,或加工余量过小 | 预加工后的圆度不超过珩磨余量的 1/4,也可以加大余量 |
| | 珩磨头浮动连接太松,转速高,摆动惯量大 | 调整调节螺母,或降低转速 |
| | 浮动连接不灵活,或刚性连接杆弯曲等 | 调整调节螺母,检查刚性连接摆差并消除 |
| | 往复速度过高,油石修整不够 | 适当降低往复速度,重新修整油石 |
| 圆柱度超差 | 油石在孔上下端的越程过大,出现喇叭口;越程过小,出现鼓形;上下越程不一致,出现一端大一端小 | 调整越程 |
| | 夹紧变形或上下壁厚不一致,材质、硬度不均匀 | 降低夹紧力或改变夹紧位置,控制坯料质量和产品壁厚 |
| | 孔预加工后的圆柱度误差大,或珩磨余量过小 | 应控制预加工后的圆柱度误差,不超过珩磨余量 1/4~1/5 |
| | 油石长度选择不当 | 正确选用油石长度 |
| | 油石硬度不一致,耐用度低(软),磨耗不均匀(上下偏磨) | 油石全长硬度差不超过 5 度(洛氏),硬度不宜太软 |

续 表

| 缺陷名称 | 产生原因 | 消除措施 |
|------------|------------------------------------|--|
| 圆柱度超差 | 往复速度不一致 | 调整放气阀,排除油缸内的空气,适当降低珩磨压力 |
| | 珩磨头上的油石轴向位置变化 | 黏结油石时,要控制油石的上下位置,消除珩磨头上下窜动 |
| | 油石未经修磨,或修磨后的圆柱度误差大 | 控制珩磨头适合磨后的圆柱度:金刚石油石 ≤ 0.01 ;普通磨料陶瓷结合剂油石 ≤ 0.05 |
| | 珩磨机的往复行程位置精度低 | 调整或修磨机床,或加限位机构 |
| 孔的轴线与端面不垂直 | 夹具定位面与珩磨主轴不垂直,或定位面过度磨损 | 调整夹具或工作台面垂直主轴,根据需要修磨定位面 |
| | 孔预加工后的垂直度误差大 | 检查和提高孔的预加工精度 |
| | 短孔珩磨时未采用刚性连接的珩磨头 | 换用刚性珩磨头、平面浮动夹具 |
| | 工件底面不干净,定位面上有铁屑 | 清除工件底面毛刺,保持工件底面与定位基面的洁净 |
| | 压紧力不均匀,使工件一边抬起 | 压紧力要均匀对称分布 |
| | 夹紧力过小使工件松动,脱离定位面 | 控制夹紧力,保证工件稳定 |
| | 夹紧力过大,短孔珩磨或叠装珩磨时,使端面不平的工件完全贴合后产生变形 | 适当调整压紧力,且提高工件端面预加工后的平面度 |
| | 珩磨机主轴与工件对不好 | 调整夹具,使其与主轴准确对中 |
| 孔的直线度超差 | 珩磨油石太短,或珩磨头短且无导向 | 按孔长度正确选择油石长度并加长导向 |
| | 油石太软,磨损快,成形性不好 | 将软油石进行渗硫处理,可提高耐用度 |

续表

| 缺陷名称 | 产生原因 | 消除措施 |
|---------|---|---|
| 孔的直线度超差 | 孔预加工后直线度超差 | 检查和提高孔的预加工质量 |
| | 珩磨头的浮动接头不灵活,影响珩磨头的导向性 | 调整或清洗润滑接头,使浮动灵活且无间隙 |
| | 夹紧部位变形 | 调换夹紧部位,或降低夹紧力 |
| | 珩磨往复速度或冷却液供给不均匀 | 提高往复速度和增加冷却液 |
| | 夹具与主轴或导向套对中不好 | 调整夹具对中 |
| 孔的尺寸精度低 | 珩磨热量高,冷却后尺寸变小: ① 珩磨余量大,时间长 ② 珩磨头转速高,往复速度低 ③ 油石堵塞,自锐性不好 ④ 进给太快,压力太大 ⑤ 油石磨料、粒度、组织选择不当 ⑥ 工件材料强度高(硬、韧、黏) ⑦ 冷却液供应不足或冷却性能差 | ① 控制珩磨余量和时间 ② 正确选择珩磨头转速及往复速度 ③ 选择硬度较低的油石 ④ 适当降低进给速度和压力 ⑤ 正确选择珩磨油石的相关参数 ⑥ 选用超硬磨料,降低转速,减小余量 ⑦ 采用低黏度的、足量的、温度不高的冷却液 |
| | 工艺系统不稳定,尺寸时大时小: ① 孔的预加工质量低,珩磨余量变化大 ② 油石硬度不均匀,切削性能不稳定 ③ 孔预加工表面有冷作硬化层,或粗糙度的变化范围大 ④ 定时珩磨方法不能获得准确的珩磨孔径 | ① 严格控制预加工尺寸公差,采用自动测量装置 ② 选用硬度、组织均匀的油石 ③ 定期换刀,控制珩磨前表面加工质量 ④ 在珩磨过程中配备自动测量系统 |

续 表

| 缺陷名称 | 产生原因 | 消除措施 |
|--------------|--|---|
| 孔的尺寸精度低 | ⑤ 珩磨头上的空气测量喷嘴磨损,间隙太大 ⑥ 自动测量仪信息反馈系统不灵敏,不可靠 ⑦ 自动测量仪的放大倍数低,人工调整、控制不便 ⑧ 气压不稳定,气源未过滤,珩磨冷却液太脏 | ⑤ 更换喷嘴,修磨到规定间隙 ⑥ 及时检修或更换 ⑦ 提高放大倍数,用指针、数字显示尺寸 ⑧ 查出具体原因作相应处理 |
| 表面粗糙度达不到工艺要求 | 油石粒度太粗,或粒度牌号不准 | 根据粗糙度要求选择合适的油石粒度,在同样条件下金刚石油石粒度应细 1~2 级 |
| | 精珩时,圆周速度太低,往复速度高 | 按本节所述原则选择 |
| | 精珩余量过小,时间短或压力过大 | 精珩余量 $\geq 5 \mu\text{m}$ 精珩压力 $\leq 5 \times 10^5 \text{ Pa}$ |
| | 珩磨冷却液太脏,润滑性差(黏度低),流量小 | 采用两级过滤法,提高润滑性,加大珩磨液流量 |
| | 珩磨前的表面太粗 | 适当提高精珩前的表面质量,或采用不同粒度油石粗精珩磨 |
| | 油石太硬,易堵塞 | 更换较软的油石 |
| | 油石太软,精珩时无抛光作用 | 软油石渗硫处理,或更换油石 |
| | 工件材质太软 | 选较硬的或粒度较细、渗硫或注蜡的油石 |
| 珩磨表面刮伤 | 油石太硬,组织不均匀,表面堵塞后积聚铁屑(黑点),刮伤表面 | 选用较软、组织疏松均匀、有较好自锐性的油石 |
| | 珩磨头在孔内的空隙太小,铁屑不易排出而刮伤表面 | 适当减小珩磨头直径,保证径向间隙,使冷却液排泄流畅 |

续 表

| 缺陷名称 | 产生原因 | 消除措施 |
|--------------------|-----------------------------------|---|
| 珩磨表面刮伤 | 珩磨压力太大,油石被挤碎刮伤 | 减小压力,提高油石强度 |
| | 冷却液未过滤好,流量和压力小 | 需经两级过滤,加大冷却液流量和压力 |
| | 珩磨头退出时未先缩回 | 油石座被卡住;提前撤除进给压力;珩磨头转速太高,油石座上的弹簧圈弹力太弱,需更换弹簧圈 |
| | 导向套与工件孔未对中,珩磨头退回时使尾端偏摆 | 调整夹具 |
| | 油石太宽,铁屑不易排除脱落,积聚在油石表面上,形成硬点(块) | 减小油石宽度或中间开槽,清除油石上的硬点 |
| 珩磨时震动噪声大,油石碎裂、脱落 | 珩磨头系统刚性低,或珩磨液温度高,因而产生震动,促使油石脱落、挤碎 | 调整连接杆和主轴间的间隙,降低主轴转速,或降低珩磨液的温度,消除震源 |
| | 珩磨压力过大,油石被挤碎 | 适当降低珩磨压力 |
| | 珩磨进给太快,或油石黏结不牢,油石脱落 | 调慢油石胀开后的进给速度 |
| 交叉网纹不对称、不均匀,或呈单向线痕 | 珩磨头连接杆或主轴系统松动,存在严重振摆 | 消除主轴系统的松动、振摆,调整主轴与导向套、工件孔的对中 |
| | 油石硬度与组织不均匀 | 油石要逐条检查硬度 |
| | 油石太宽,表面易堵塞 | 选用自锐性好的窄条油石,最好是窄条开槽金刚石油石 |
| | 珩磨头和其中的油石都存在轴向窜动 | 改进珩磨头结构,并消除油石的轴向间隙 |

续 表

| 缺陷名称 | 产生原因 | 消除措施 |
|------------------|------------------------|---|
| 无光滑的小平顶(或承载面积不够) | 精珩时间太短或压力太低,未把粗珩表面尖端去掉 | 延长精珩时间,或适当提高压力($T \geq 10$ s, $P \leq 3 \times 10^5$ Pa) |
| | 精珩油石粒度太粗 | 不应粗于 F280 |
| | 粗珩表面太粗 | 粗珩表面粗糙度应达 $Ra1.6 \mu\text{m}$ |
| 交叉网纹深度不够 | 粗珩油石粒度太细 | 粗珩油石粒度不细于 F120 |
| | 粗珩压力太低 | 压力 $P \geq 8 \times 10^5$ Pa |
| | 粗珩油石硬度高,被堵塞 | 应选自锐性好的油石(硬度适当、组织疏松的油石) |
| | 精珩去除的余量太多 | 余量 $\leq 5 \mu\text{m}$ |
| 交叉网纹宽度不够标准 | 粗珩油石粒度太粗或太细 | 应选用粒度适中的油石(F100~F120) |
| | 粗珩油石粒度不纯,混有粗颗粒 | 精选油石粒度 |
| | 粗珩油石磨料强度不够,易碎裂 | 宜选用金刚石油石 |
| 网纹交叉角太小 | 未按要求的交叉角大小选择珩磨速度 | 按要求选择珩磨速度 |
| | 往复速度变慢,或主轴速度升高 | 检查 v_a 、 v_t ,并调至符合要求 |
| 网纹沟槽呈撕裂和破碎状 | 油石磨粒太粗且不锋锐 | 选用锋锐的磨料油石,粒度不低于 F100 |
| | 粗珩压力过大,磨粒切入过深 | 珩磨压力 $P \leq 12 \times 10^5$ Pa |
| | 珩磨液的润滑性能太低、太脏 | 加入适量的机油或硫化油,过滤干净 |
| | 最后无进给行程不够 | 适当延长无进给时间 |

续 表

| 缺陷名称 | 产生原因 | 消除措施 |
|-----------------------------|-----------------------|---|
| 平顶表面 有亮带或 硬化层 | 油石太硬,局部被堵塞 | 选用较软的油石或除去堵塞层 |
| | 珩磨压力过大,油石太宽, 表面堵塞 | 合理选择珩磨压力与油石 宽度、硬度 |
| | 主轴速度高,珩磨热量大 | 降低转速与珩磨液的温度 |
| | 预加工后留下的冷作硬化层 | 降低切削速度,按时换刀 |
| 网纹沟槽 嵌入磨粒 或压入金 属毛刺 | 珩磨液流量小,压力低 | 提高珩磨液压力,加大流量 |
| | 珩磨液未过滤干净,太脏 | 采用磁性与非磁性两级过滤 |
| | 精珩油石不锋锐,被堵塞, 精珩压力大 | 更换油石,精珩压力应在 (2~3)×10 ⁵ Pa |

第十三章 游离磨粒加工

第一节 研 磨

一、研磨的特点和分类

(一) 研磨特点

研磨是零件表面的光整、精密加工,其有如下特点。

1. 研磨尺寸精度高

研磨采用一种极细的微粉,在低速、低压下磨去一层极薄的金属。研磨过程中产生的热量很小,工件的变形也很小,表面变质层很轻微,因此可以获得精度很高的表面。研磨的尺寸精度可以达到 $0.01\ \mu\text{m}$ 。

2. 表面形状精度高

研磨的切削量很小,运动复杂,而且不受运动精度的影响,因此可获得较高的形状精度。球体的圆度可达 $0.025\ \mu\text{m}$,圆柱体的圆柱度可达 $0.1\ \mu\text{m}$ 。另一方面,由于研磨的切削量很小,原先的位置误差不能得到全部纠正,因此研磨不能纠正零件的位置精度。

3. 表面粗糙度小

零件和研具之间有一定相对运动,每一次运动轨迹不会与前一次运动轨迹重复,因此可以均匀地切除零件表面上的凸峰,降低表面粗糙度。研磨表面粗糙度一般可达 $Ra0.01\ \mu\text{m}$ 。

4. 提高零件表面的耐磨性

研磨的表面粗糙度小,表面摩擦系数减小,有效接触面积增

大,耐磨性得到提高。

5. 提高零件表面疲劳强度

研磨表层存在压应力,有利于提高零件表面的疲劳强度。

6. 工艺性好

研磨设备简单,制造方便;研磨不但适宜单件手工生产,也适合成批机械化生产;研磨可加工钢材、铸铁、各种有色金属和非金属。例如可研磨玻璃、陶瓷、钻石等硬脆材料。

7. 应用范围广

研磨广泛应用于现代工业生产中各种精密零件的加工,各种块规量具、光学玻璃、精密刀具、半导体元器件、精密配合表面等需要经过研磨加工。

(二) 研磨的分类

(1) 按研磨剂使用的条件,可以把研磨分成三类:干研、湿研和半干研。见表 13.1-1。

表 13.1-1 研磨分类

| 分类 | 研磨方法 | 特点 | 应用范围 |
|-----|--|---|-----------------|
| 干研 | 在一定压力下将磨粒均匀地嵌在研具的表层中。嵌砂后进行研磨加工。因此干研也称嵌砂研磨或压砂研磨 | 干研可获得很高的加工精度和较低的表面粗糙度,但研磨效率较低 | 一般用于精研,如块规表面的研磨 |
| 湿研 | 把研磨剂连续加注或涂敷于研具表面,磨料在工件与研具间不停地滚动或滑动,形成对工件的切削运动。也称敷料研磨 | 湿研的金属切除率高,高于干研 5 倍以上,但加工表面几何形状和尺寸精度不如干研 | 多用于粗研和半粗研 |
| 半干研 | 类似湿研,采用的研磨剂是糊状的研磨膏 | | 粗、精研磨均可采用 |

(2) 按加工表面形状不同,可以把研磨分为平面研磨、外圆研磨、内孔研磨、球面研磨、螺纹研磨、成形表面研磨、啮合表面轮廓研磨等。

(3) 按操作方法不同,可以把研磨分为手工研磨、机械研磨。

二、研磨机理

研磨过程可以看成是由游离的磨粒通过研具对工件进行微量切削,包含着复杂的物理和化学的综合作用。其主要作用如下。

1. 切削作用

由于研具的材料比被研的工件材料软,因而研磨剂中的磨粒嵌入研具表面或浮动,构成多刃基体,在研具与工件做研磨运动时,在一定压力下,对工件表面进行微量切削。

2. 化学作用

当采用氧化铬、硬脂酸或其他研磨剂时,工件表面会形成一层极薄的氧化膜,这层氧化膜很容易被磨掉,在研磨过程中氧化膜不断地迅速形成,又不断地被磨掉,从而加快了研磨过程,使表面粗糙度降低。

3. 塑性变形

钝化了的磨粒对工件表面进行挤压,使被加工材料产生变形,工件表面峰谷在塑性变形中趋于熨平或在反复变形中产生加工硬化,最后断裂形成细微切屑。

研磨时应满足:研具的表面形状精度要高;工件应做复杂的复合运动;研磨剂要合适;具有适当的压力和研磨速度等。

三、研具

研具是研磨剂的载体,用来涂敷和镶嵌磨料,使游离磨粒嵌入研具发挥切削作用;同时又是研磨成形的工具,把本身的几何形状精度按一定方式传递到工件上。

(一) 研具的技术要求

1. 硬度

研具材料的硬度要比工件材料低,组织均匀致密,无夹杂物,硬度均匀,有适当的被嵌入性。

研具的硬度选择特别重要,研具太硬会造成磨粒迅速破碎与磨损,甚至有些磨粒被挤入工件材料内,破坏加工表面质量;研具太软会导致磨粒过深地被挤入研具材料中。正确选择研具硬度,才能使磨粒暂时地被支撑。也能迅速地改变它们的位置,使每一颗粒都有新的棱角陆续参加切削。

2. 耐磨

研具须具有良好的耐磨性,变形小,几何精度保持性好。

3. 表面

研具表面光整,无裂纹、斑点。

4. 结构

研具结构合理,有足够的刚性,排屑性能、散热方便,能储存多余磨料,工作表面几何精度较高。

(二) 研具材料

常用研具材料如表 13.1-2 所示。

表 13.1-2 常用研具材料

| 材 料 | 性 能 与 要 求 | 用 途 |
|------|--|---------------|
| 灰铸铁 | 120~180HB,金相组织以铁素体为主,可适当增加珠光体比例,用石墨球化及磷共晶等办法提高使用性能 | 用于湿式研磨平板 |
| 高磷铸铁 | 160~200HB,以均匀细小的珠光体(70%~85%)为基体,可提高平板的使用性能。降低加工表面粗糙度 | 用于干式研磨平板及嵌砂平板 |

续 表

| 材 料 | 性 能 与 要 求 | 用 途 |
|--------------|--|--|
| 10、20 低碳钢 | 强度较高 | 用于铸铁研具强度不足时,如 M5 以下螺纹孔, $d \leq 8$ mm小孔及窄槽等的研磨 |
| 黄铜、紫铜 | 磨粒易嵌入,研磨效率高。但强度低,不能承受过大的压力,耐磨性差,加工表面粗糙度高 | 用于余量大的工件,粗研青铜件和小孔研磨 |
| 木材 | 要求木质紧密、细致、纹理平直、无节疤、虫伤 | 用于研磨铜或其他软金属 |
| 沥青 | 磨粒易嵌入,不能承受大的压力 | 用于玻璃、水晶、电子元件等的精研与镜面研磨 |
| 玻璃 | 脆性大,一般要求 10 mm 厚度,并经 450℃退火处理 | 用于精研,并配用氧化铬研磨膏,可获得良好的研磨效果 |

此外,还用淬硬合金钢、钡-镁合金、钡镁-铁合金及锡等做研具材料。例如,使用锡研光盘研磨石英基片(制造高精度振动元件)能取得良好效果。

(三) 通用研具

1. 平面研具

(1) 研磨平板。多为正方形,有 200 mm×200 mm、300 mm×300 mm、400 mm×400 mm 等规格。

(2) 研磨圆盘。研磨圆盘为机研研具,其工作的环形面宽度视工件及研磨圆盘轨迹而定,一般为工件长度的 0.8~1.2 倍。

(3) 平面研具的结构。湿研平板分开槽与不开槽两种。平板上开槽的作用是将多余的研磨剂刮去,保证工件与平板直接接触,

使零件获得高的平面度。湿研平板常开 $60^\circ V$ 形槽(图 13.1-1),槽宽 b 和槽深 h 为 $1\sim 5\text{ mm}$,两槽距离 $B=15\sim 20\text{ mm}$,根据被研表面尺寸而定。

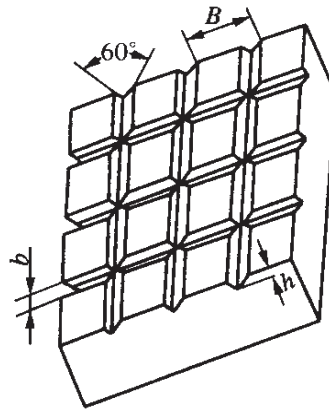


图 13.1-1 平板上开沟槽

机研圆盘表面多开螺旋槽,其螺旋方向应考虑旋转时研磨液能向内侧循环移动,与离心力作用相抵消。图 13.1-2 为研磨圆盘常开的沟槽形式。如用研磨膏研磨时,选用阿基米德螺旋槽较好。但用开槽圆盘研磨,工件表面粗糙度升高,因此,如要求工件表面粗糙度较低时,研具不可开槽。

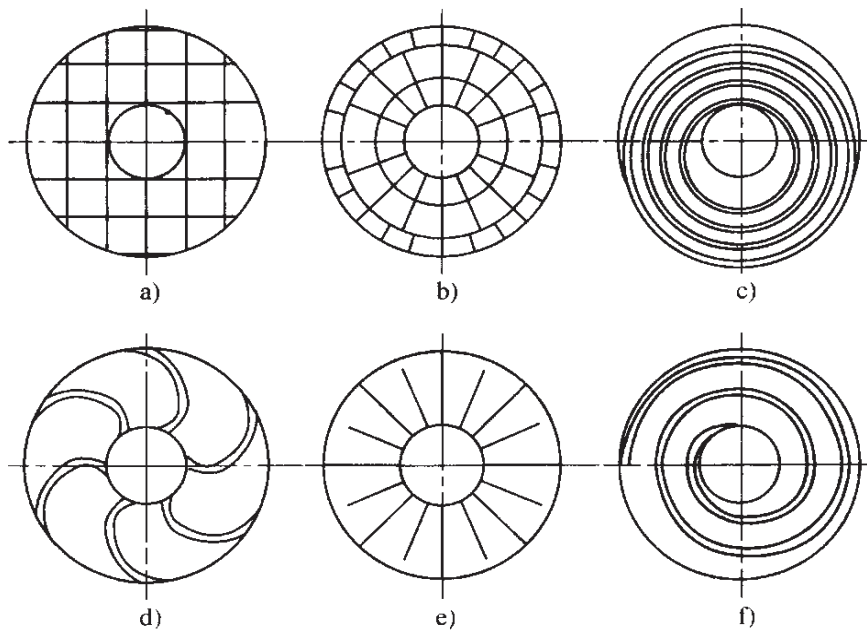


图 13.1-2 研磨圆盘沟槽形式

- a) 直角交叉型 b) 圆环射线型 c) 偏心圆环型
d) 螺旋射线型 e) 径向射线型 f) 阿基米德螺旋线

2. 外圆柱面研具

(1) 结构尺寸(图 13.1-3): 小直径研具一般为整体式。直径较大时,孔内加研磨套,常用开口可调研磨套(图 13.1-3 a)。对于高精度外圆柱面研磨,可用三点式研具(图 13.1-3 b)。研磨套制成开口式,便于调节尺寸。图 13.1-3 c)、图 13.1-3 d)除开口外,还开两个槽,使研磨套具有一定的弹性。大型工件的研磨套(图 13.1-3 d)),可在内表面铣几条槽以增加弹性。为了得到较高的研磨精度,研磨套调整后,须经研磨修整内孔。

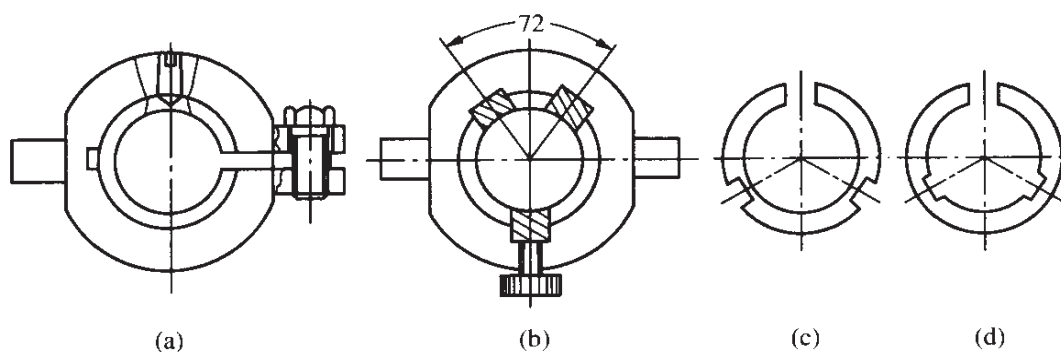


图 13.1-3 外圆柱面研磨套形式

(2) 研磨套尺寸如表 13.1-3 所示。

表 13.1-3 研磨套尺寸

| 参数 | 尺寸 | 注意事项 |
|----------|---|--------------------------------|
| 内径 d_i | $d_i = D_w + 0.02 \sim 0.04$ D_w —工件外径 | 与工件保持适当间隙 |
| 外径 d_e | $d_e = d_i + 2(5 \sim 10)$ | 壁厚过厚,弹性变形困难;太薄,强度低,刚性差,变形不易控制。 |
| 槽数 n | 3 槽均布,其中一条为径向通槽 | 随直径增大,槽数可按比例增加 |
| 槽宽 b | $b = 1 \sim 5$ | 与研磨套的直径有关,直径大则 b 取大值 |

续表

| 参数 | 尺寸 | 注意事项 |
|--------|---|---------------------------|
| 槽深 t | $t < b$ | 影响套的弹性变形,与研磨套的厚度有关 |
| 长度 l | $l = (1/4 \sim 3/4)l_w$ 或 $l = (1 \sim 2.5)d_i$ l_w —被研表面长度 | 过长影响轴向移动距离: 过短导向作用差,两端磨损快 |

注: 粗研与精研用研磨套不能混合使用。

3. 内圆柱面研具

(1) 结构形式。内圆柱面研具又称研磨心棒。分可调式与不可调式两种(图 13.1-4)。

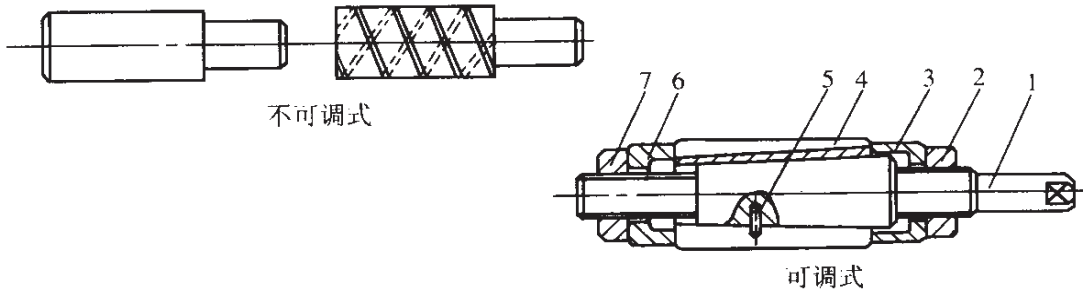


图 13.1-4 不可调式与可调式心棒

1—心棒 2、7—螺母 3、6—套 4—研磨套 5—销

心棒锥度和研磨套的配合锥度为 $1:20 \sim 1:50$ 。

锥套外径比工件外径小 $0.01 \sim 0.02 \text{ mm}$ 。

大端壁厚为 $(0.125 \sim 0.8)d_w$ (d_w 为工件被研孔径)。

研具长度 $l \geq (0.7 \sim 1.5)l_w$ (l_w 为工件被研表面长度), 对于大而长的工件取小值。

结构分开槽与不开槽两种。开槽心棒多用于粗研磨, 槽分直槽、螺旋槽和交叉槽等(图 13.1-5)。

螺旋槽(槽距 18 mm , 槽数 $2 \sim 3$)心棒研磨效率高, 但研孔表

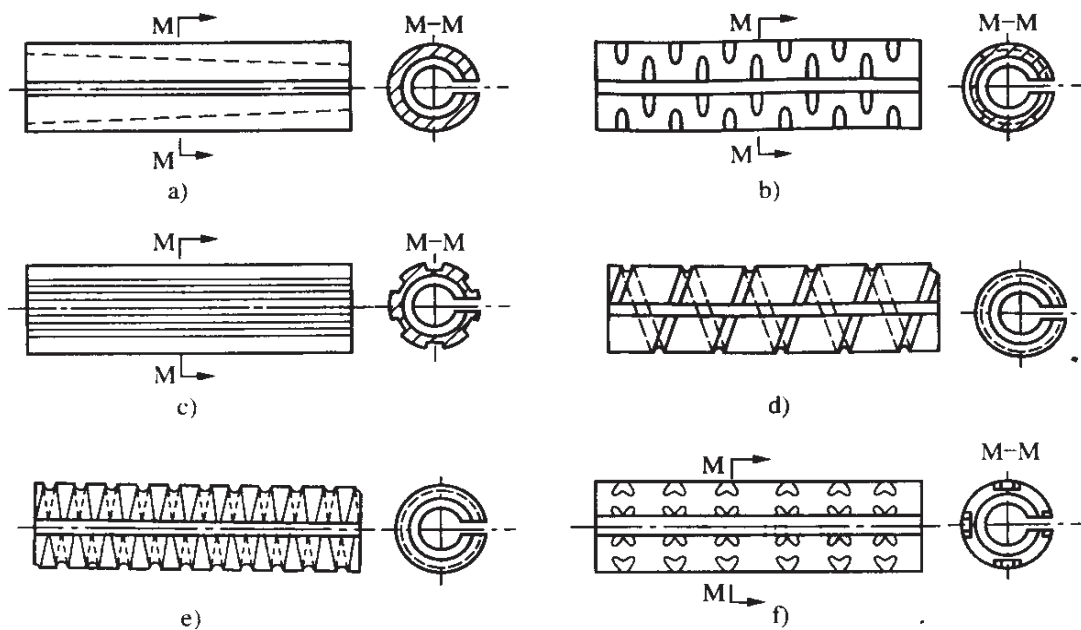


图 13.1-5 内孔研磨心棒沟槽形式

a) 单槽 b) 圆周短槽 c) 轴向直槽 d) 螺旋槽 e) 交叉螺旋槽 f) 十字交叉槽

面粗糙度和圆度较差。

交叉螺旋槽或十字交叉槽结构的心棒加工质量好(槽深与磨粒尺寸成正比)。

直槽用于水平研磨效果较好,垂直研磨开螺旋槽较好。

(2) 小孔研具(直径小于 8 mm)。一般用低碳钢制成固定尺寸研磨棒。小深孔可用弹簧钢丝制作研瓣。表 13.1-4 中的弹性研瓣由 300~320HB 的弹簧钢丝制成,适用于一般精度的小孔研磨,也可研磨母线为曲线的小孔。其尺寸可参考表 13.1-4。

表 13.1-4 弹性研瓣 R 和 h 尺寸表 (mm)

| | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| 孔径 d | 1 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | |
| 厚度 h | 0.45 | 0.75 | 0.95 | 1.20 | 1.45 | 1.70 | 1.90 | |
| 曲率半径 R | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | |

(3) 盲孔研磨心棒(图 13.1-6)。利用螺纹通过锥度使外径胀大。研磨心棒的工作部分长度必须大于被研孔的长度,至少要长 20~30 mm。锥度心棒和研磨套的配合锥度为

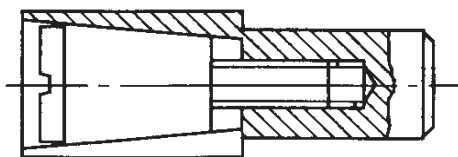


图 13.1-6 盲孔研磨心棒

1:50~1:20。研磨盲孔由于磨料不易分布均匀,可在外径开螺旋槽或在轴向做成反锥。

(4) 简易可调式心棒。中间沿轴向开有一条宽度为 B 的槽,用数个平头顶丝调节心棒的直径。这种研磨心棒结构简单,制造容易,但调节麻烦,可靠性差。其常用的结构尺寸见表 13.1-5。

表 13.1-5 简易可调式研磨心棒结构尺寸 (mm)

| 外径 d | 长度 l | 直槽槽宽 B | 直槽端孔径 d_1 | 孔端间距 l_1 | 螺孔 M | 螺孔距 l_2 | 螺孔数 n | 螺旋槽槽距 a | 槽宽 b | 槽深 h |
|--------|--------|----------|-------------|------------|--------|-----------|---------|-----------|--------|--------|
| 16 | 250 | 1.5 | 4 | 0 | M4 | 43 | 5 | 25 | 1 | 0.5 |
| 16 | 320 | 1.5 | 4 | 0 | M4 | 40 | 7 | 25 | 1 | 1 |
| 20 | 200 | 2 | 6 | 10 | M4 | 50 | 2 | 20 | 1.5 | 1 |
| 20 | 500 | 3 | 10 | 13 | M6 | 65 | 2 | 65 | 1.5 | 1 |

4. 新型研具

(1) 含固定磨料的烧结研磨板。将金刚石或立方氮化硼磨料与铸铁粉末混合后,用粉末冶金的方法成形并烧结成小薄块,再利用环氧树脂将这些小薄块黏结在底板上组合成大的研磨平板。这种平板适用于精密研磨用陶瓷、硅片、石英、硬质合金等脆性材料制造的零件,研磨效率高,加工表面光亮如镜。

(2) 粉末冶金研具。以铁粉为基础掺入少量铜粉和石墨粉,压制成形后高温烧结,最后精磨加工成形。研磨时加研磨剂,其效果与灰铸铁研具接近,但其成本低。

(3) 电镀金刚石油石。利用电镀方法,通过镍金属结合剂将金刚石磨粒固结成薄片,再用环氧树脂黏结在基体上而成的手工研具。主要用来研磨硬质合金刀具及各种淬硬金属。这种油石加工效率高,研后表面粗糙度可达 $Ra0.1 \mu\text{m}$,工作面形状保持时间长,使用方便。

(4) 环氧树脂研磨棒。用于研磨高精度静压轴承,轴承材料为 $QA_{II}9-4$,要求研磨后圆度达到 $0.6 \mu\text{m}$,锥度小于 $1 \mu\text{m}$,两孔同轴度 $0.5 \mu\text{m}$ 。

四、研磨剂

研磨用的研磨剂通常是指由磨料、研磨液以及辅料调配而成的一种混合物。

(一) 磨料

常用的磨料有氧化铝系、碳化物系、超硬磨料系和软磨料系等四大类。

(1) 常用磨料的适用范围见表 13.1-6。

表 13.1-6 磨料及其适用范围

| 系列 | 磨料 | 适用范围 |
|------|----------|-----------------------|
| 氧化铝系 | 棕刚玉 A | 粗、精研磨钢、铸铁、硬青铜 |
| | 白刚玉 WA | 粗研淬火钢、高速钢、有色金属 |
| | 铬刚玉 PA | 研磨低粗糙度表面、各种钢件 |
| | 单晶刚玉 SA | 研磨高强度、韧性大的零件,如不锈钢等 |
| 碳化物系 | 黑色碳化硅 C | 研磨铸铁、黄铜、铝等 |
| | 绿色碳化硅 GC | 研磨硬质合金、硬铬、玻璃、陶瓷、石材等 |
| | 碳化硼 BC | 研磨硬质合金、陶瓷、人造宝石等硬度高的材料 |

续 表

| 系列 | 磨料 | 适用范围 |
|-------|--------------|--|
| 超硬磨料系 | 天然、人造金刚石 RVD | 研磨硬质合金、人造宝石、玻璃、陶瓷、半导体材料等高硬难切材料 |
| | 立方氮化硼 CBN | 研磨高硬淬火钢、高矾高钼高速钢、镍基合金钢等 |
| 软磨料系 | 氧化铁 | 精细研磨或抛光电钢、淬硬钢、铸铁、光学玻璃、单晶硅等 氧化铈的研磨、抛光效率是氧化铁的1.5~2倍 |
| | 氧化铬 | |
| | 氧化铈 | |

(2) 磨料的粒度选择见表 13.1-7。

表 13.1-7 粒度的选择

| 微粉粒度 | 适用范围 | | | 能达到的表面粗糙度 $Ra(\mu\text{m})$ |
|--------|--------|------|------|--------------------------------|
| | 连续施加磨粒 | 嵌砂磨粒 | 涂敷研磨 | |
| F360 | ✓ | | ✓ | 0.63~0.32 |
| F400 | ✓ | | ✓ | 0.32~0.16 |
| F500 | ✓ | | ✓ | 0.32~0.16 |
| F600 | | | ✓ | 0.16~0.08 |
| F800 | | ✓ | ✓ | 0.16~0.08 |
| F1000 | | ✓ | ✓ | 0.08~0.04 |
| <F1200 | | ✓ | ✓ | <0.02 |

注：1. ✓表示可以选用。

2. 普通产品粗研有时也选用 F100~F240,以提高研磨效率。

(二) 研磨液

研磨液主要起冷却与润滑作用。湿研时,研磨液充当研磨粉的载体,稀释研磨剂,使研磨微粉颗粒均匀地分布在研具的表面上。常用的研磨液见表 13.1-8。

表 13.1-8 常用研磨液

| 工件材料 | | 研 磨 液 |
|---------|----|--|
| 钢 | 粗研 | 煤油 3 份, L-AN10 高速全损耗系统用油 1 份, 透平油或锭子油(少量), 轻质矿物油(适量) |
| | 精研 | L-AN10 高速全损耗系统用油 |
| 铸铁 | | 煤油 |
| 铜 | | 动物油(熟猪油与磨料拌成糊状后加 30 倍煤油), 锭子油(少量), 植物油(适量) |
| 淬火钢、不锈钢 | | 植物油、透平油或乳化液 |
| 硬质合金 | | 航空汽油 |
| 金刚石 | | 橄榄油、圆度仪油或蒸馏水 |
| 金、银、铂 | | 酒精或氨水 |
| 玻璃、水晶 | | 水 |

(三) 辅料

辅料是一种混合脂, 在研磨过程中起着吸附、润滑以及化学作用。最常用的辅料有硬脂酸、油酸、脂肪酸、蜂蜡、硫化油和工业甘油等。表 13.1-9 列出了硬脂酸混合脂的配方。

表 13.1-9 硬脂酸混合脂配方

| 种类 | 成 分 (%) | | | | 使用温度 (°C) | 备 注 |
|-----|---------|----|-------|----|-----------|---|
| | 硬脂酸 | 石蜡 | 工业用猪油 | 蜂蜡 | | |
| I | 44 | 28 | 20 | 8 | 18~25 | 将配方按重量称出, 加热到 100~120°C, 搅拌均匀后用脱脂棉过滤, 冷凝成块后切片备用 |
| II | 57 | — | 26 | 17 | <18 | |
| III | 47 | 45 | — | 8 | >25 | |

(四) 研磨剂的配制

研磨剂有液态研磨剂、研磨膏及固态研磨剂(研磨皂)三种。

1. 液态研磨剂

(1) 湿研时常用煤油、混合脂加研磨微粉配制而成, 配比要求不太严格, 浓度(重量比)约为 30%~40%。若微粉粒度越细则其百分比越小, 混合脂比例越大。机床自动供给研磨剂时, 其比例约为 10%~15%。采用表 13.1-10 的配方, 能显著提高湿研磨效率。

表 13.1-10 液态研磨剂推荐配方

| 原 料 | 百分比(%) | 原 料 | 百分比(%) |
|-----|--------|------|--------|
| 白刚玉 | 8 | 油酸 | 7.5 |
| 硬脂酸 | 4 | 航空汽油 | 40 |
| 蜂蜡 | 0.5 | 煤油 | 40 |

配制时先将硬脂酸和蜂蜡加热熔化, 冷却后加入汽油搅拌, 再经过滤, 最后加入研磨粉和油酸调和而成。

(2) 平板压砂 干式研磨, 在研磨前先对研具进行“压砂”, 即先将研磨剂用手均匀涂抹在平板表面, 晾干, 然后通过平板相互对研, 在一定压力下将磨粒压入平板表面。平板经压砂后精研工件, 表面纹路细密有光泽, 尺寸精度可控制在 $1\ \mu\text{m}$ 以内, 表面粗糙度值可达 $Ra0.02\ \mu\text{m}$ 左右。干研压砂用研磨剂配方见表 13.1-11。

表 13.1-11 干研压砂用研磨剂配方

| 序号 | 成 分 | 备 注 |
|----|---|---------------------------|
| 1 | 白刚玉 15 g 硬脂酸混合脂 8 g 航空汽油 200 mL 煤油 35 mL | 使用时不加任何辅料 |
| 2 | 白刚玉 25 g 硬脂酸混合脂 0.5 g 航空汽油 200 mL | 使用时, 平板表面涂以少量硬脂酸混合脂并加数滴煤油 |

续 表

| 序号 | 成 分 | 备 注 |
|----|---|---|
| 3 | 白刚玉 50 g 硬脂酸混合脂 4~5 g 与航空汽油及煤油配成 500 mL | 航空汽油与煤油的配比： 汽油 90%+煤油 10% 汽油 70%+煤油 30% |
| 4 | 刚玉适量,煤油 6~20 滴,直接 放在平板上用氧化铬研磨膏调成 糊状 | |

2. 研磨膏

钢铁类零件研磨时主要选用刚玉类研磨膏。

研磨硬质合金、陶瓷、玻璃以及半导体等高硬度材料可选用碳化硅、碳化硼类研磨膏。

精细研或抛光有色金属选用氧化铬类研磨膏。

金刚石研磨膏以金刚石微粉和其他配合剂精细配制而成,有水溶性和油性之分,其中水溶性研磨膏应用比较普遍。金刚石研磨膏主要用来研磨硬质合金等高硬度工件。选用时可参考表 13.1-12。

刚玉研磨膏配方参见表 13.1-13,碳化硅、碳化硼研磨膏参见表 13.1-14。

表 13.1-12 人造金刚石研磨膏

| 规格 | 颜色 | 加工表面粗糙度 $Ra(\mu\text{m})$ | 规格 | 颜色 | 加工表面粗糙度 $Ra(\mu\text{m})$ |
|--------|----|------------------------------|--------|----|------------------------------|
| M10/20 | 橘黄 | 0.16~0.32 | M1.5/3 | 深绿 | 0.02~0.04 |
| M5/10 | 玫红 | 0.08~0.32 | M0/2 | 草绿 | 0.01~0.02 |
| M4/8 | 玫红 | 0.08~0.16 | M0.5/1 | 橘黄 | 0.008~0.012 |
| M3/6 | 蓝 | 0.04~0.08 | M0/0.5 | 浅黄 | ≤ 0.01 |
| M2/4 | 绿 | 0.04~0.08 | | | |

表 13.1-13 刚玉研磨膏

| 粒度号 | 成分及比例(%) | | | | 用途 |
|-------|----------|-----|----|------------------|---------------|
| | 微粉 | 混合脂 | 油酸 | 其他 | |
| F400 | 52 | 26 | 20 | 硫化油 2 号 或煤油少许 | 粗研 |
| F500 | 46 | 28 | 26 | 煤油少许 | 半精研及研窄 长表面 |
| F600 | 42 | 30 | 28 | 煤油少许 | 半精研 |
| F800 | 41 | 31 | 28 | 煤油少许 | 精研及研端面 |
| F1000 | 40 | 32 | 28 | 煤油少许 | 精研 |
| F1200 | 40 | 26 | 26 | 凡士林 8 | 精细研 |

表 13.1-14 碳化硅、碳化硼研磨膏

| 研磨膏名称 | 成分及比例(%) | 用途 |
|-------|--|-----|
| 碳化硅 | 碳化硅(F240~F360)83 : 黄油 17 | 粗研 |
| 碳化硼 | 碳化硼(F400)65 : 石蜡 35 | 半精研 |
| 混合研磨膏 | 碳化硼(F400)35 : (白刚玉(F400~F600)+ 混合脂)15 : 油酸 35 | 半精研 |
| 碳化硼 | 碳化硼(F800~F1200)76 : 石蜡 12 : 羊油 10 : 松节油 2 | 精细研 |

五、研磨工艺参数

(一) 研磨压力

研磨压力是研磨表面单位面积所承受的压力,研磨压力按下式计算:

$$p_0 = P/NA \text{ (Pa)}$$

式中 P ——研磨表面承受的总压力(N)

N ——每次研磨的零件数

A ——每个零件实际接触面积(m^2)

研磨压力是一个变值。开始研磨时零件表面粗糙、不规则,研具与零件接触面积小,研磨压力较大;随着研磨的进行,实际接触面积逐步增大,研磨压力逐渐降低。一般研磨压力选择 $(0.1\sim 3)\times 10^5\text{ Pa}$ 。研磨压力参考值见表 13.1-15。

表 13.1-15 研磨压力参考值 (10^5 Pa)

| 研磨类型 | 平面 | 外圆 | 内孔 | 其他 |
|------|-------|---------|---------|---------|
| 湿研 | 1~2.5 | 1~2.5 | 1.2~2.8 | 0.8~1.2 |
| 干研 | 0.1~1 | 0.5~1.5 | 0.4~1.6 | 0.3~1.0 |

注:内孔孔径范围 5~20 mm。

(二) 研磨速度

研磨速度也是研磨工艺中的一个重要环节。研磨速度提高,研磨作用增强。但研磨速度过高,会造成发热现象,甚至烧伤研磨表面,并使研磨剂四处飞溅,震动,研具磨损加快,直接影响到研磨精度。因此粗研多采用高压、低速度,精研则采用低压力、高速度,既可提高研磨效率,又可保证零件表面质量。研磨速度参考值见表 13.1-16。

表 13.1-16 研磨速度参考值 (m/min)

| 研磨类型 | 平面 | | 外圆 | 内孔 | 其他 |
|------|--------|-------|-------|--------|-------|
| | 单面 | 双面 | | | |
| 湿研 | 20~120 | 20~60 | 50~75 | 50~100 | 10~70 |
| 干研 | 10~30 | 10~15 | 10~25 | 10~20 | 2~8 |

注:1. 工件材质软或精度要求高时,速度取小值。

2. 内孔孔径范围 6~10 mm。

六、特种研磨

(一) 振动研磨

在粗研或表面要求不高的研磨中附加一个振动运动,可以提高 30%~40% 的金属切除率,从而提高研磨效率。但工件的表面粗糙度 Ra 却增加了 50%~100%。

(二) 电解研磨

与电解磨削类似,利用电解和磨粒擦划的复合作用,对工件表面进行精细加工。有两种方式。

(1) 磨料黏附在工具电极上。

(2) 磨料悬浮于电解液中。

研磨时,工件为阳极,工具电极为阴极,通入适量的电流,按机械研磨方式使研具与工件相对运动。这种机械研磨和电解的复合加工,可以得到接近电解磨削的加工速度和粗糙度较低的加工表面。

例如研磨硬质合金工件,研具材料为紫铜,研磨速度为 10 m/s,研磨压力为 1×10^5 Pa。将粒度为 F240~F400 的 S_iC 磨料混入 $NaNO_3 \cdot NaNO_2$ 的电解液中,其配比为 100~300 g/m³,电流密度为 10~80 A/cm²,得到的加工速度与电解磨削相近,表面粗糙度不超过 $Ra1 \mu m$ 。

(三) 电解振动研磨

在电解研磨的基础上,给研具附加一个小振幅、低频率的振动,即电解振动研磨。适合于研磨内孔,如研磨棒在运动的同时附加振幅为 0.2 mm、频率为 16 Hz 的振动,再配以电解作用,可获得精度为 ± 0.01 mm、锥度不大于 3:100 的孔。

第二节 抛 光

一、抛光特点与机理

(一) 抛光特点

抛光是零件表面进行的光饰加工,主要目的是去除上道工序的加工痕迹,如刀痕、划印、麻点、尖棱、毛刺等,改善零件表面粗糙度,获得光亮平整的表面,增加美观。但抛光不能提高产品的尺寸精度、位置精度。

抛光可提高工件抗疲劳和抗腐蚀的性能。

抛光也可以作为一道中间工序,为油漆、电镀等后道工序提供漆膜、镀层附着能力强的表面。

抛光是一种应用广泛的磨料加工方法,金属及非金属材料制品,精密机电产品,日常生活用品,均可采用抛光加工来提高表面质量。经抛光的零件表面粗糙度值一般可以达到 $Ra0.4\ \mu\text{m}$ 。

(二) 抛光机理

抛光是切削加工、塑性加工和化学作用的综合过程。微细磨粒进行的是切削加工,摩擦引起高温而产生挤擦工件表面层的是塑性加工,抛光剂的介质在温度和压力作用下与金属表面层发生的是化学作用。

二、轮式抛光

抛光的方法有柔性机械抛光、机械化学抛光、电化学抛光和磁力抛光等。常用的柔性机械抛光是轮式抛光,其次是带式抛光、盘式抛光和滚筒抛光等。本章重点介绍轮式抛光。

(一) 抛光轮

抛光轮有固定磨料、黏附磨粒、液中抛光等几种。抛光轮材料

的选用见表 13.2-1。

表 13.2-1 抛光轮材料的选用

| 抛光轮用途 | 选 用 材 料 | | |
|-------|--------------------|-----|---------|
| | 品 名 | 柔软性 | 对抛光剂保持性 |
| 粗抛光 | 帆布、压毡、硬壳纸、软木、皮革 | 差 | 一般 |
| 半精抛光 | 棉布、毛毡 | 较好 | 好 |
| 精抛光 | 细棉布、毛毡、法兰绒或其他毛织品 | 最好 | 最好 |
| 液中抛光 | 细毛毡(用于精抛)、脱脂木材(椴木) | 好 | 浸含性好 |

(二) 磨料和抛光剂

(1) 抛光用软磨料见表 13.2-2。

表 13.2-2 抛光用软磨料

| 磨料名称 | 成分 | 颜色 | 硬 度 | 适用材料 |
|----------|-----------|----|------------------|------------|
| 氧化铁(红丹粉) | Fe_2O_3 | 红紫 | 比 Cr_2O_3 软 | 软金属、铁 |
| 氧化铬 | Cr_2O_3 | 深绿 | 较硬,切削力强 | 钢、淬硬钢 |
| 氧化铈 | Ce_2O_3 | 黄褐 | 抛光能力优于 Fe_2O_3 | 玻璃、水晶、硅、锕等 |
| 矾土 | | 绿 | | |

(2) 抛光剂常温下分为固体、液体两种。固体抛光剂又分为油脂性和非油脂性两类,液体抛光剂分为乳浊状型、液状油脂型及液状非油脂型三类。用得最多的是固体抛光剂,其类型及用途见表 13.2-3。

表 13.2-3 固体抛光剂的类型及用途

| 类别 | 品名(通称) | 抛光用软磨料 | 用途 | |
|------|----------------|--|------------------------|--|
| | | | 适用工序 | 工件材料 |
| 油脂性 | 1. 金刚砂膏 | 熔融氧化铝 (Al_2O_3) 金刚砂 (Al_2O_3 、 Fe_2O_4) | 粗抛光(半精抛光) | 碳素钢、不锈钢等 |
| | 2. 黄抛光膏 | 板状硅藻岩 (SiO_2) | 半精抛光 | 铁、黄铜、铝、锌(压铸件)、塑料等 |
| | 3. 棒状氧化铁(紫红铁粉) | 氧化铁(粗制) (Fe_2O_3) | 半精抛光、精抛光 | 铜、黄铜、铝、镀铜面等 |
| | 4. 白抛光膏 | 焙烧白云石 (MgO 、 CaO) | 精抛光 | 铜、黄铜、铝、镀铜面、镀镍面等 |
| | 5. 绿抛光膏 | 氧化铬(Cr_2O_3) | 精抛光 | 不锈钢、黄铜、镀铬面 |
| | 6. 红抛光膏 | 氧化铁(精制) (Fe_2O_3) | 精抛光 | 金、银、铂等 |
| | 7. 塑料用抛光剂 | 微晶无水硅酸 (SiO_2) | 精抛光 | 塑料、硬橡皮、象牙 |
| | 8. 润滑脂修整棒(润滑棒) | — | 粗抛光 | 各种金属、塑料(作为抛光轮、抛光皮带、扬水轮等的润滑用加工油剂) |
| 非油脂性 | 消光抛光剂 | 碳化硅(SiC) 熔融氧化铝 (Al_2O_3) | 消光加工(无光加工、梨皮加工),也用于粗抛光 | 各种金属及非金属材料,包括不锈钢、黄铜、锌(压铸件)、镀铜、镀镍、镀铬面及塑料等 |

(3) 氧化铝磨料粒度的选择原则是在满足生产效率的前提下,尽可能选择细一点的磨粒,参见表 13.2-4。

表 13.2-4 氧化铝磨料粒度的选择

| 产 品 | 抛 光 工 序 | | | |
|-----------------------|-----------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------|
| | 第 1 道 ^① | 第 2 道 | 第 3 道 | 第 4 道 |
| 铝、压铸件 | F150 ^{②③} | | | |
| 铝、砂铸件 内表面 外表面 | F34~F36 F60~F80 | F120~F180 ^③ | | |
| 铝板 | F120 ^② | F180 ^{②③} | | |
| 轿车保险杠 | F60~F90 | F120 | F150~ F180 ^② | F220 ^② |
| 轿车前灯装饰件 | F180~ F220 ^{②③} | | | |
| 轿车水箱保护栅 | F90 | F120~F150 | | |
| 轿车各类装饰件 | F36~F54 | F90 | F120 | F220 ^② |
| 钢带锯 | F60~F80 | F120~F150 | | |
| 铜、砂型铸件 | F60~F80 ^② | F150~F180 ^② | F220 ^② | |
| 铜板 | F180~ F220 ^{②③} | | | |
| 灰铸铁 | F70~F80 | F120~F150 | | |
| 铁锤头 | F46~F60 | F100~F120 ^② | | |
| 现代圆盘犁 | F24~F36 | F80 | F120~F150 | F180~F220 |
| 剪刀(剪白铁皮用) | F46 | | F120~F150 | F180 |
| 铲(铁锹)刃口 | | F120 | | |
| 制铲钢带 | | F120 ^④ | | |
| 不锈钢板 镜面抛光 商业性抛光 | F60~F80 | F100~F120 ^② | F150 | F220 ^{②③} |
| | F80 | F120~F150 ^② | F220 ^③ | F240 ^② |
| 扳手 | | | F120 ^② | |
| 刀具 | F80 | F120 | F220 ^② | |

① 多道抛光的产品,第一道抛光工序可有可无,取决于抛光前的表面粗糙度。

② 用于油脂轮抛光(即抛光轮加油脂)。

③ 随后需进行精抛光。

④ 砂带用于第二道抛光工序。

(三) 抛光机

1. 单轮抛光机

单轮抛光机示意图参见图 13.2-1~图 13.2-3。

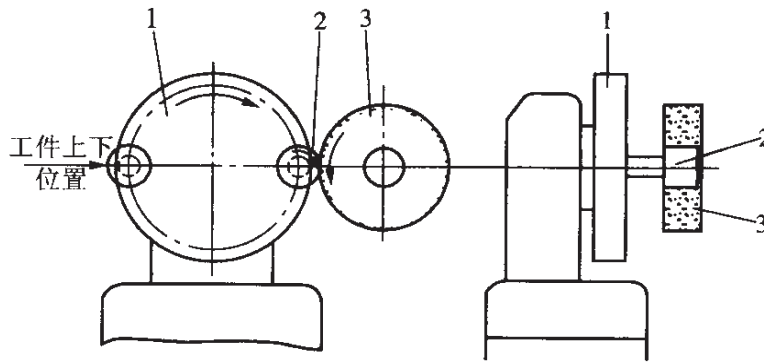


图 13.2-1 单轮双工位抛光机示意图

1—立式回转台 2—工件 3—抛光轮

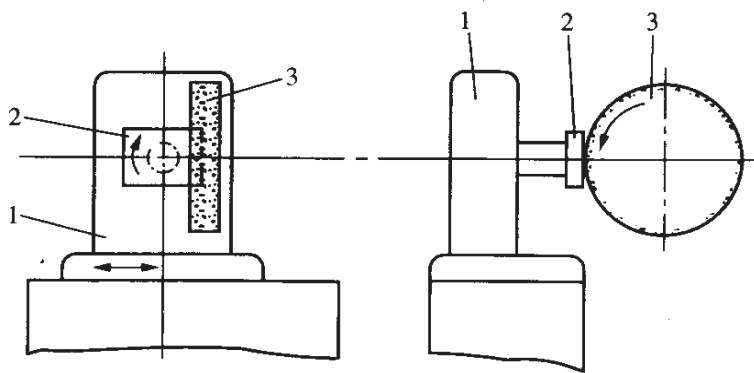


图 13.2-2 往复运动单轮抛光机示意图

1—滑台 2—工件 3—抛光轮

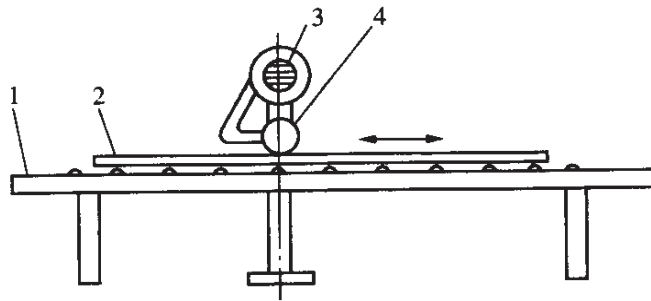


图 13.2-3 平板抛光机示意图

1—平台 2—工件 3—电动机 4—抛光轮

2. 多轮自动抛光机

(1) 回转工作台直径 760 mm, 自动分度转位抛光机(图 13.2-4), 用于离合器片等工件的抛光。

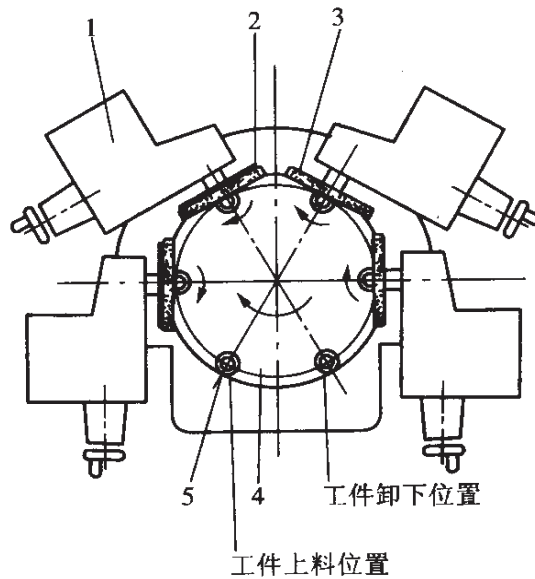


图 13.2-4 回转工作台(直径 760 mm)

自动分度转位抛光机示意图

1—抛光轮头架 2—砂带(抛光) 3—抛光轮(抛光)
4—工作台 5—工件

(2) 回转工作台直径 1 270 mm, 连续转动抛光机(图 13.2-5), 用于转臂等零件的抛光。

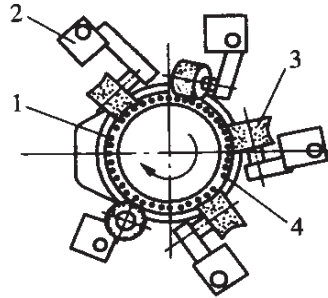


图 13.2-5 回转工作台(直径 1 270 mm)
连续转动抛光机示意图

1—工作台 2—抛光轮头架
3—抛光轮 4—工件

3. 水平回转直线抛光流水线

由 12 台自动或半自动、多轮(2、3、9、10 工位)及单轮抛光机(1、4、5、6、7、8、11、12 工位)组成, 见图 13.2-6。

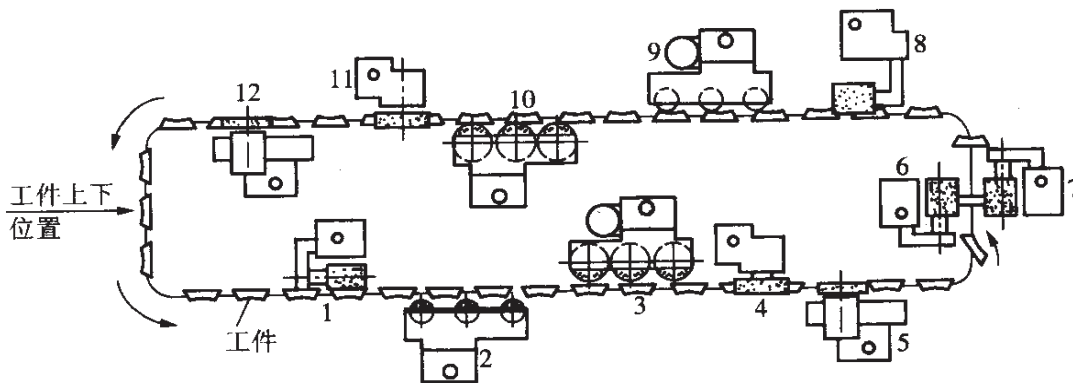


图 13.2-6 12 工位水平回转直线抛光流水线示意图

(四) 工艺参数

(1) 抛光轮速度推荐值见表 13.2-5。

表 13.2-5 抛光轮速度推荐值

| 工件材料 | 抛光轮速度(m/s) | |
|----------|------------|---------|
| | 固定磨粒抛光轮 | 黏附磨粒抛光轮 |
| 铝 | 31~38 | 38~43 |
| 碳钢 | 36~46 | 31~51 |
| 铬板 | 26~38 | 36~46 |
| 黄铜和其他铜合金 | 23~38 | 36~46 |
| 镍 | 31~38 | 31~46 |
| 不锈钢 | 36~46 | 31~51 |
| 锌 | 26~36 | 15~38 |
| 塑料 | | 15~26 |

(2) 抛光直线进给速度一般为 3~12 m/min; 而平板抛光时为 12 m/min。

第三节 滚 磨

滚磨也叫滚筒抛光,将零件与滚磨介质混合后装入滚筒中,滚筒做旋转运动,零件与滚磨介质在其中做不规则运动,运动中互相挤压、碰撞、摩擦,从而实现对零件表面的滚磨加工。

滚磨用的滚筒为多角形,常用的一般为八角形(表 13.3-1)。

滚磨介质是磨料与滚磨工作液的混合物。常用的磨料有普通刚玉、碳化硅磨料或磨料块、熔融氧化铝、天然金刚石及钢球等。滚磨工作液一般根据滚磨零件而定,可以是酸性、碱性或者是中性的水溶液。滚磨介质还起着清洗、润滑、防锈、缓冲等作用。

一、滚磨特点与用途

(一) 滚磨特点

滚磨加工具有零件装填简单、能同时进行多件滚磨,效率高,

操作管理容易等优点。缺点是被滚磨零件的外形及大小受到一定限制,不能得到准确的加工形状和尺寸。

(二) 用途

(1) 去除铸件、锻件或热处理后零件的飞边、氧化皮,并清理表面。

(2) 小型冲压零件去毛刺、倒棱角。

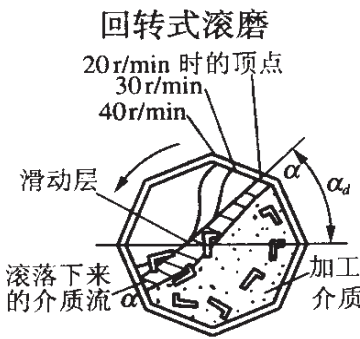
(3) 去除零件表面多余的涂层、镀层。

(4) 改善零件表面质量。

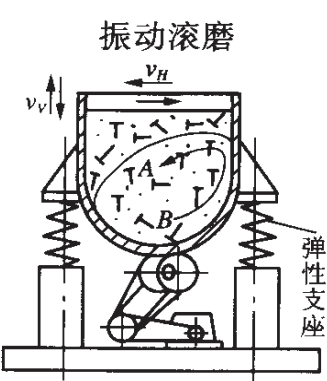
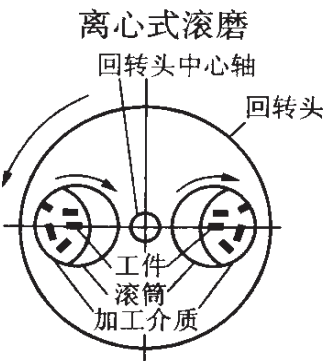
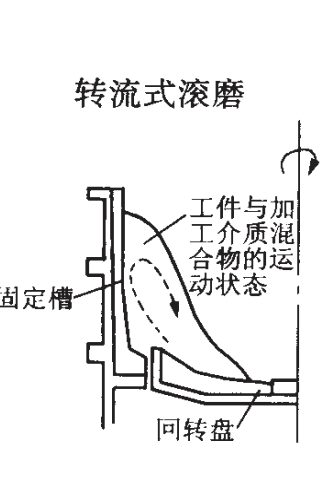
二、滚磨加工类型

滚磨加工主要类型如表 13.3-1 所示。

表 13.3-1 滚磨加工主要类型

| 滚磨类型 | 加工原理 | 备注 |
|---|--|---|
|  | <p>工件和加工介质随滚筒转动,在某瞬时,处于 $\alpha-\alpha$ 线以下,在重力、离心力、摩擦力的共同作用下,处于动态平衡而保持静止。在 $\alpha-\alpha$ 线以上,则失去平衡而产生滑移,由此引起相互摩擦、碰撞,对零件表面进行加工</p> <p>α_d 为动态休止角。n 增大时,α_d 相应增大,滑动层宽度变宽,同时参加工作的磨料和工件数增多,加工效率提高。但 n 太高,会引起混合物剧烈翻倒,反而会损伤工件,并加速磨料破碎</p> | <p>$\alpha_d \leq 75^\circ$ 为宜 推荐转速按下式选取:</p> $n = \frac{K}{\sqrt{D}} \text{ r/min}$ <p>式中 D—滚筒内切圆直径 mm K—系数,粗磨 $K = 700 \sim 800$,半精磨 $K = 630 \sim 700$,精磨 $K = 540 \sim 630$</p> |

续表

| 滚磨类型 | 加工原理 | 备注 |
|--|---|---|
| <p style="text-align: center;">振动滚磨</p>  | <p>容器置于弹性支座上, 容器底部装有偏心激振器, 偏心轮使容器(内衬有橡皮)做强迫振动。混合物在容器内壁作用下做不规则运动, 工件同磨料相互摩擦、碰撞, 实现对零件表面加工</p> | <p>筒内质点运动的轨迹为近似椭圆圈线。对于垂直振幅 8~4 mm, 振动频率的最佳值为 12~40 Hz, 装填总量 $\leq 70v_t$ (容器容积), 磨料浓度通常在 1:1.5~1:3.5 之间 金属切除率高于回转式滚磨</p> |
| <p style="text-align: center;">离心式滚磨</p>  | <p>利用行星运动原理, 使几个同方向自转的滚筒同时绕某一固定轴心等速公转。可使工件、加工介质获得较大的离心力和速度, 并使其经常处于工作状态, 因此能大大提高加工效率</p> | <p>金属切除率比振动滚磨高, 可实现自动化生产, 不需工人装卸工件。国外已有全自动离心式滚磨机</p> |
| <p style="text-align: center;">转流式滚磨</p>  | <p>滚筒由固定槽和回转盘构成。转盘以 150~400 m/min 的圆周速度转动, 工件与加工介质在离心力作用下沿槽壁上升(类似洗衣机原理), 到达一定高度时由于失去离心力而下落到底部, 这样反复循环, 使工件与磨料介质间产生强烈的磨削作用</p> | <p>与其他几种形式比较:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 金属切除率高 2. 可供选择的加工能力范围广 3. 易实现自动化 4. 噪声低, 震动小, 无工作液飞溅 5. 不能加工薄的工件, 也不宜于滚磨 <p>与以上形式比较, 金属切除率最高</p> |

第四节 喷射加工

喷射加工(习惯称喷砂),是将磨料或其他固体颗粒以很高的速度喷射到零件表面上,利用磨料的高速动能清理零件表面、去除加工余量以及进行光饰加工等。其应用范围有:锻件、铸件、热处理后零件的表面清理;钢板除锈、去涂层;油漆或电镀表面的预加工;玻璃、水晶、宝石等脆性材料的切削、光饰或喷刻图案、花纹等。

一、压力喷射加工

(一) 喷射装置

图 13.4-1 为直接喷射式喷砂装置,工件 3 安放在喷射室 1 内,压缩空气带着压力料仓 6 中的磨粒经喷头 2 斜射到工件上。溅落下来的磨粒由漏斗 4 收集并经自动阀 5 流回压力料仓,继续循环使用。图 13.4-1b)为湿式喷砂装置。

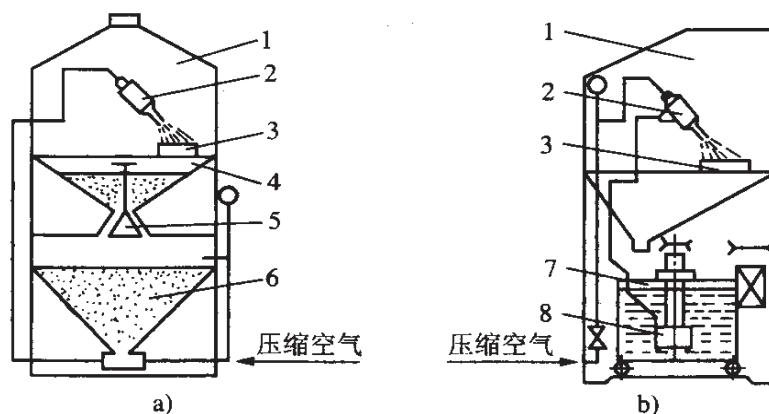


图 13.4-1 直接喷射式喷砂装置

a) 干式 b) 湿式

1—喷射室 2—喷头 3—工件 4—漏斗
5—自动阀 6—料仓 7—磨料液箱 8—泵

(二) 喷射方式

喷射方式有三种,如图 13.4-2 所示。图中的干式喷砂,粉尘

较大,污染严重。因此,普遍采用的是湿式喷砂。

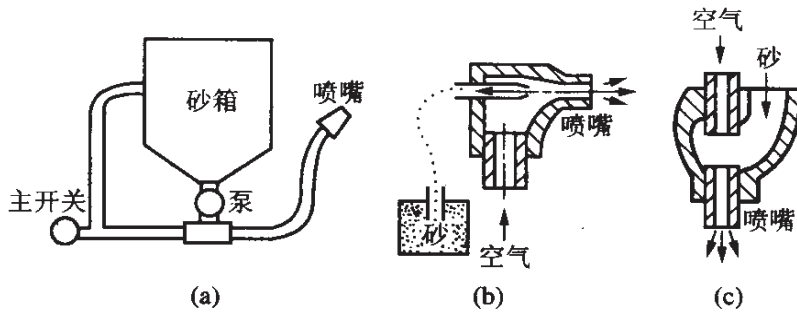


图 13.4-2 三种压力喷射方式

a) 直接喷射式 b) 吸入喷射式 c) 重力式

(三) 工艺参数

1. 磨料

天然磨料如河砂、石英砂价格便宜,但磨粒易碎,且对人体有害,现在使用较少。

人造磨料如刚玉、碳化硅价格较高,多用于玻璃、水晶、宝石等脆性材料的加工。碳化硅磨料的金属切除率较高。

常用的磨料是铁砂,磨粒中含 C 3%、Cr 1.5%、P 1%,用于零件的清砂、表面强化等。

2. 运载流体

磨粒运载速度总是比携带它的流体速度低,用液体运载比用气体运载能使磨粒获得较高的速度与动能,从而获得较高的加工效率。另一方面,液体会散布在工件表面,形成液膜阻碍磨粒冲击,又使加工效率下降,但却可使表面粗糙度降低。

3. 混合液浓度

用浓度系数 K 表示:

$$K = W/Q$$

式中 W ——磨料重量

Q ——液体重量

一般地,磨粒越细 K 值越大。例如: F120 : $K = 0.4 \sim 0.5$;

F200 : $K=0.6\sim 0.8$; F360 : $K=0.8\sim 1.0$ 。

4. 喷射压力

喷射压力越高金属切除率越高,但从技术上看,难度也相应提高,而且设备费用也会上升。所以喷射压力通常取 $(3\sim 6)\times 10^5$ Pa。

5. 喷射角度

喷射角度是喷嘴中心线与工件表面切线之间的夹角。通常取 $30^\circ\sim 60^\circ$,零件材料硬度大、脆性高,喷射角度取大值。

6. 喷射长度

喷射长度是指从喷射出口沿喷嘴中心线至加工表面的距离,其值通常为喷射口直径的6倍至8倍。

二、离心式磨料抛射加工

利用叶轮旋转的离心力抛射磨料对零件进行加工,其抛射面广,抛射力分布比较均匀,单位功率的金属切除率高,但不能获得较高的磨粒速度,不适用于加工内凹曲面、复杂形面以及只需局部加工的零件,主要用于表面喷丸清理和喷丸强化处理。参见图 13.4-3。

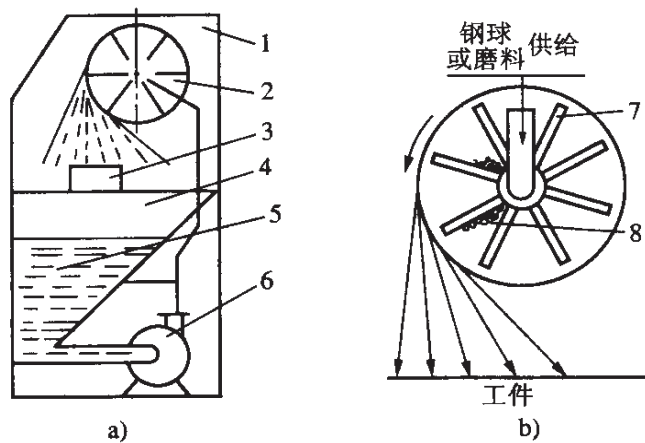


图 13.4-3 离心式磨料抛射加工

a) 湿式 b) 干式

1—工作室 2—叶轮 3—工件 4—磨料液箱

5—磨料混合液 6—泵 7—叶片 8—钢球和磨料

第五节 磨料流动加工

一、动力磨料流动加工

动力磨料流动加工如图 13.5-1 所示。

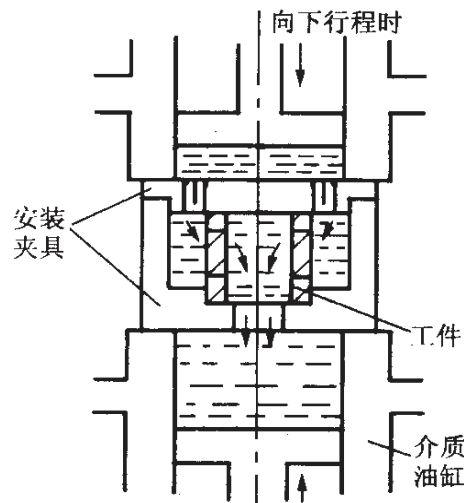


图 13.5-1 动力磨料流动加工示意图

使含有磨料的加工介质在上、下活塞推挤下高速流动,往复通过零件的径向小孔,由磨料对零件表面抛光、去毛刺或倒圆角等。此种加工方法所能加工的最小孔径为 0.35 mm,去飞边最大厚度 0.3 mm,倒圆角半径 1~1.5 mm,表面粗糙度可达 $Ra0.2 \mu\text{m}$ 。

常用的磨料有碳化硅和刚玉。加工淬硬零件可选用碳化硼,但价格贵。加工硬质合金、陶瓷等零件时,也可用金刚石磨料。

磨料粒度适用范围很广,粒度选择与普通磨料磨削不同,因属柔性加工,选择较粗粒度磨料仍可获得粗糙度很低的抛光表面。常用粒度在 F20~F100。细粒度主要用于精细抛光和加工软金属。F360 左右的微粉常与粗粒混合使用,以形成加工介质中磨料的基干,增加其稳定性。

加工介质是以聚合物为基体加入特殊的碳氢化合物凝胶混合调制而成。具有流动性好、无毒、无腐蚀、性能随温度变化小、与磨料混合性好等特性。介质中含磨料在 25%~75% 之间。

二、挤压研磨

挤压研磨的加工方式及机理与动力磨料流动加工相似，主要区别是：挤压研磨使用半固态的黏弹性加工介质，须在 1×10^7 Pa 左右的高压推挤下工作。而动力磨料流动加工使用流动性大的液体与磨料混合介质，压力一般在 $(1 \sim 3.5) \times 10^6$ Pa 左右。挤压研磨加工示意图见图 13.5-2。黏弹性介质为似胶姆糖的高分子树脂，随成分的不同其黏弹性各异。

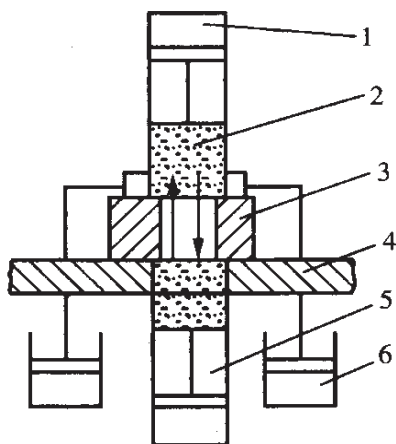


图 13.5-2 挤压研磨加工示意图

1—上油缸 2—介质 3—工件
4—工作台 5—下油缸 6—夹紧油缸

图 13.5-3 a) 为黏弹性较低的介质，越靠近孔壁流速越小，越靠近中心流速越大，由于这一速度差，在入口处介质对工件产生拉伸滑动而将锐角倒圆，而内壁却几乎摩擦不到。图 13.5-3 b) 为黏弹性高的介质，在相对低的压力下，以较小的流量缓缓移动，各部分速度大致均一，孔壁可获得均匀的金属切除量。一般黏弹性

高的(或硬的)介质用于孔径大、表面积大的场合,而黏弹性低的(或软的)介质用于小孔径或需要流量大的场合。黏弹性介质的种类及用途见表 13.5-1。

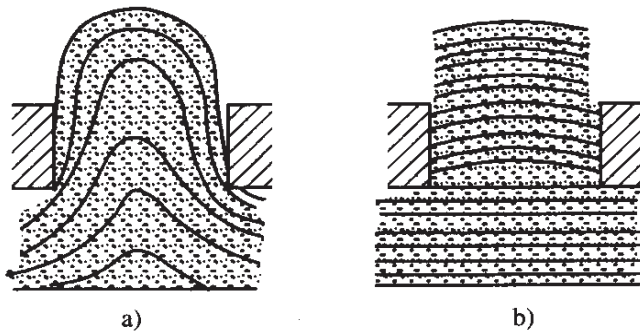


图 13.5-3 不同黏弹性介质的流动情况
a) 黏弹性低 b) 黏弹性高

表 13.5-1 黏弹性介质的种类及用途

| 介质种类 | 特征 | 通过孔径(mm) | | 使用范围 |
|-------|----|----------|------|---|
| | | max | min | |
| S-S-S | 超软 | 3.0 | 0.4 | 一般用于零件去毛刺、倒圆角(特别适用于通过性很差时),小孔内面研光,模具微小孔研光 |
| S-S | 软 | 6.0 | 0.8 | |
| S-H | 中软 | 12.0 | 2.0 | 一般零件去毛刺、倒圆角,模具型腔等研光 |
| H-S | 中硬 | 25.0 | 3.0 | 一般不希望有倒棱圆角的零件,模具形面研磨出一定的尺寸和表面粗糙度,刃口部位倒棱及 $\leq 0.1 \sim 0.2$ mm 的圆角 |
| H | 硬 | 50.0 | 6.0 | |
| U-H | 超硬 | 70.0 | 20.0 | |

随着加工过程中磨粒磨钝、切屑增多和高分子树脂的老化,加工介质的切削能力会逐渐降低,须及时更新。一般加工介质的寿命约 600 h。

第六节 冲击磨

在工具和零件之间充满含有磨料的切削液,工具做超声波振动,使磨粒冲击加工面进行切削、压碎和研磨,如图 13.6-1 所示。

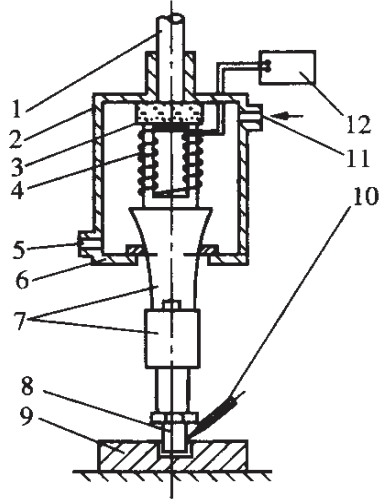


图 13.6-1 冲击磨

- 1—主轴 2—容器 3—多孔材料 4—磁致伸缩换能器
5—冷却水排出 6—法兰盘 7—变幅杆 8—工具 9—工件
10—冷却液喷嘴 11—冷却水供给 12—超声波发生器

冲击磨使用的工具形状与工件形状相似,利用纵向磁致伸缩器,使磁性体产生超声波振动,带动装在振子前端的工具振动而进行切削加工。

冲击磨一般适用于小面积($<1\ 000\ \text{mm}^2$)的加工,特别适用于硬脆材料的浅孔加工和切断。与普通磨削方法相比,用于半导体材料零件的切断和切槽时,具有切除率高、精度高、裂纹少等优点。也适用于对玻璃、淬硬钢、硬质合金、钻石的加工和雕刻。例如对硬质合金模具、陶瓷等材料制造的喷丝头喷嘴的加工。冲击磨加工示意图见图 13.6-2。

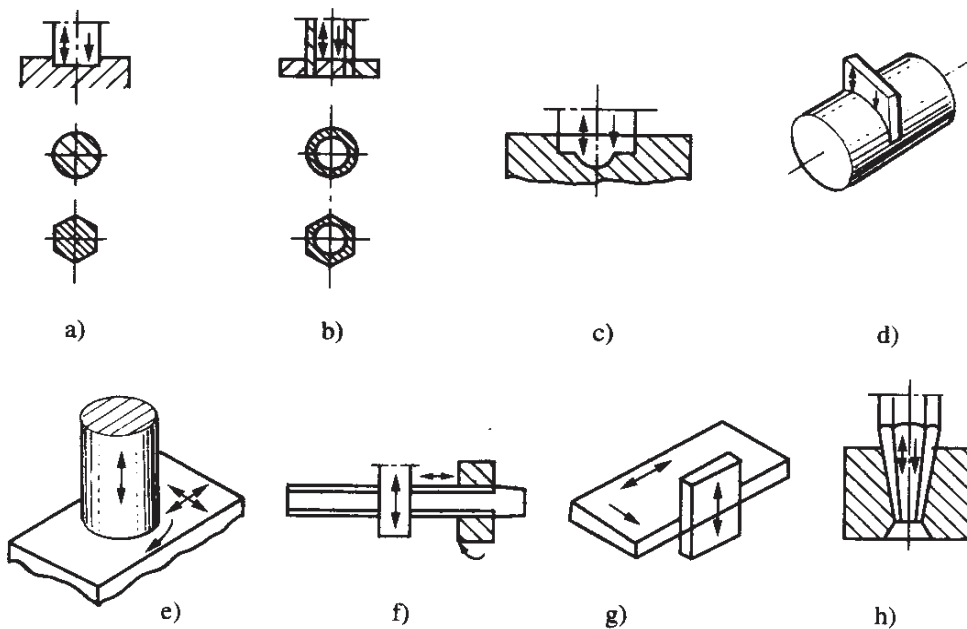


图 13.6-2 冲击磨加工示意图

a)、b) 圆孔和成形孔、盲孔和通孔 c) 模具
d) 切断 e)、g) 平面 f) 内螺纹 h) 内表面

一、运动参数

(一) 往复运动

冲击磨的主要运动是工具的往复运动。工具运动速度：

$$v_F = \omega A \sin \omega t$$

$$v_{F_{\max}} = 2\pi f A$$

式中 $\omega t = 2\pi f$ ——振动角频率

f ——工具振动频率，常取 16~30 kHz

A ——振幅，常用 0.02~0.10 mm

由于磨粒尺寸大小不等，作用在各磨粒上的压力不同，因此应取平均工具速度：

$$v_{F_{av}} = 4fA \text{ mm/s} = 4Fa/1000 \text{ m/s}$$

例如, f 和 A 取平均值: $f=20$ kHz, $A=0.04$ mm, 计算结果 $v_{Fav}=3.2$ m/s = 192 m/min, $v_{Fmax}=5$ m/s = 300 m/min, 显然, 冲击磨加工时其磨粒的切削速度比磨削时要低得多。实际上, $v_{Fmax} < 11$ m/s, $v_{Fav} \leq 7$ m/s。

(二) 进给运动

冲击磨的进给运动, 可以分为直线进给运动和旋转进给运动。最常用的内孔冲击磨, 其进给是纵向直线运动。进给速度等于工具进入材料的速度或等于直线金属切除率 ($Z' = \pi d^2 v_f$)。进给速度 v_f 是变化的, 随切入深度增加而减小。

在一定的时间间隔内

$$v_f = \Delta l / \Delta t \text{ (m/s)}$$

式中 Δl ——冲击磨深度增量

Δt ——时间增量

冲击磨时间计算如下:

$$t_c = L / v_f \text{ (s)}$$

式中 L ——加工长度, 包括趋近、加工和超越的距离

二、金属切除率

冲击磨金属切除率主要取决于工具振动频率、单位压力和加工表面大小, 也与磨料和工件材料有关。

(1) 工具振动频率。与直线金属切除率几乎成正比, 一般取 $f=16\sim 30$ kHz, 在此范围内金属切除率增加小于频率增加的比例。

(2) 振幅 A 。振幅小于或稍大于磨粒尺寸范围时, 振幅增加, 金属切除率增加。实际考虑到磨料的粒度范围, 振幅只在 $0.04\sim 0.08$ mm 范围变化, 若进一步增加振幅会引起磨料飞溅, 将使金属切除率降低。

(3) 单位压力与加工表面积。对应某一最佳压力值,金属切除率最大。加工表面积也影响金属切除率。表面积越大,最佳压力值越低。见图13.6-3及图13.6-4。

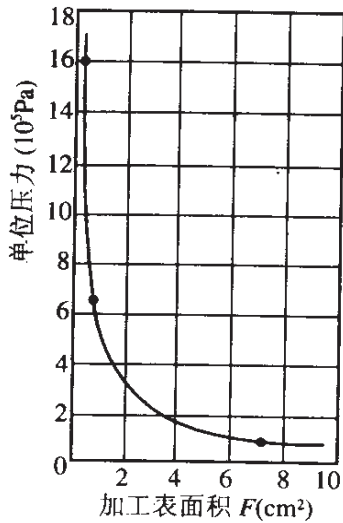


图 13.6-3 最佳单位压力与表面积的关系

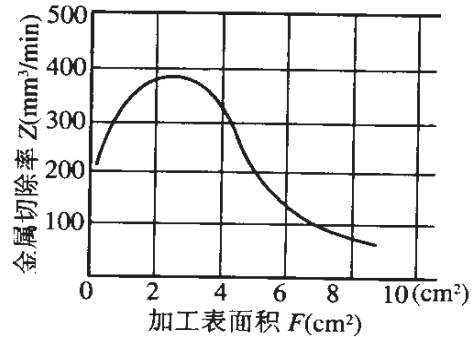


图 13.6-4 加工表面积与金属切除率的关系

根据图 13.6-4,该情况下最佳表面积约为 3 cm^2 ,由图 13.6-3 中所对应的最佳单位压力约为 $2 \times 10^5 \text{ Pa}$,此时金属切除率最高。

(4) 磨料。碳化硼与碳化硅磨料适用于冲击磨。碳化硼在最初阶段可获得较高的金属切除率,但易发生碎裂;碳化硅的金属切除率较低,对玻璃、硬质合金等脆性材料磨损较快。磨料粒度一般选用 F80~F150 范围。

金刚石磨料因为成本太高,不适用于冲击磨;刚玉类和其他硬度较低的磨料,金属切除率低,故也不适用。

(5) 其他。孔越深,金属切除率降低越明显。切削剂中磨料的浓度对切除率也有一定的影响。一般碳化硅的体积浓度保持在 30%~35%,浓度低于此范围则金属切除率降低。在加工过程中经常发生浓度降低,应定期检查与补充。

三、工具材料

工具材料须具有较高的耐磨性和疲劳强度,而耐磨性主要根据工件材料选择。例如,加工玻璃,工具材料最好选用 YG 类硬质合金、黄铜等。当加工硬质合金时,选用合金钢(0.87%C、8%Ni)或铬镍钢(18%Cr、8%Ni)相对磨损最小。

工具材料选择比工件材料硬,则工具磨损轻微。相反,工件材料比工具材料硬时,则工具磨损严重。例如,用黄铜工具和碳化硼磨料(F100)加工硬质合金,其相对磨损加快。精加工时要求工具耐用度高,工具材料宜选较硬材料。

第十四章 常用资料

第一节 工程材料与热处理

一、基本知识

(一) 有关工程材料力学性能名词解释(表 14.1-1)

表 14.1-1 工程材料力学性能名词

| 名称 | 代号 | 单位 | 解释 |
|-------|----------------|-----|---|
| 抗拉强度 | σ_b | MPa | 材料试样受拉力时,在拉断前所承受的最大应力 |
| 抗压强度 | σ_k | | 材料试样受压力时,在压坏前所承受的最大应力 |
| 抗弯强度 | σ_{bh} | | 材料试样受弯曲力时,在破坏前所承受的最大应力 |
| 屈服点 | σ_s | MPa | 材料试样在拉伸过程中,负荷不增加或开始有所降低而变形继续发生的最小应力 |
| 屈服强度 | $\sigma_{0.2}$ | | 材料试样在拉伸过程中,永久变形为原长的“规定数值”时的应力,称为屈服强度。一般“规定数值”为拉伸试样原长的 0.2%,故以 $\sigma_{0.2}$ 表示 |
| 伸长率 | δ | % | 材料试样被拉断后,标距长度的增加量与原标距长度的百分比 |
| | δ_5 | | 试样的标距等于 5 倍直径时的伸长率 |
| | δ_{10} | | 试样的标距等于 10 倍直径时的伸长率 |
| 断面收缩率 | ψ | % | 材料试样在拉断后,其断裂处横截面积的缩减量与原横截面积的百分比 |

续 表

| 名 称 | 代号 | 单位 | 解 释 |
|------|-------|-------------------|---|
| 冲击功 | A_k | J | 材料的冲击试样受冲击负荷折断时,试样所消耗的功 |
| 冲击韧度 | a_k | J/cm ² | 试样刻槽处单位横截面上所消耗的冲击功 |
| 硬度 | — | — | 材料抵抗硬物体压入自己表面的能力 |
| 布氏硬度 | HB | — | 用一定的负荷,把一定大小的淬火钢球或硬质合金球压入材料表面,保持一定时间后卸去载荷,以其压痕面积除负荷所得的商为硬度值 |
| | HBS | — | 用淬火钢球为压头所测出的硬度。适合测量退火、正火、调质钢及铸铁、有色金属等硬度小于 450 的较软金属 |
| | HBW | — | 用硬质合金球为压头所测出的硬度。适用于测量硬度值在 650 以下的材料 |
| 洛氏硬度 | HR | — | 用一定的负荷,把淬硬钢球或 120°圆锥形金刚石压头压入材料表面,保持一定时间,用测量的残余压痕深度增量计算的硬度 |
| | HRC | — | 采用 1.5kN 负荷和圆锥形金刚石压头求得的硬度。适合测量调质钢、淬火钢等较硬金属 |
| | HRA | — | 采用 0.6kN 负荷和圆锥形金刚石压头求得的硬度。适合测量表面淬火层、渗碳层或硬质合金等很硬的材料 |
| | HRB | — | 采用 1kN 负荷和直径 1.59 mm 淬硬钢球求得的硬度,适合测量有色金属、退火和正火钢等较软的金属 |

(二) 热处理名词解释

钢的热处理是指将钢在固态范围内进行加热、保温和冷却,以改变钢的内部组织的一种工艺。其目的是改善、提高钢的性能,例如强度、硬度、塑性、韧性、耐磨性、耐蚀性及加工性等。表 14.1-2 为常用热处理名称、定义及目的。

表 14.1-2 常用热处理名称、定义及目的

| 名 称 | 定 义 | 目 的 |
|-----|--|--|
| 退火 | 将金属或合金加热到适当温度,保持一定时间,然后缓慢冷却的热处理工艺 | <ul style="list-style-type: none"> ① 降低硬度,提高塑性,改善切削加工性和压力加工性 ② 细化晶粒,减少组织的不均匀性,为下一步工序作准备 ③ 消除铸、锻、焊、轧、冷加工等所产生的内应力 |
| 正火 | 将钢材或钢件加热到 A_{c_3} (或 $A_{c_{cm}}$) 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 保温适当的时间后,在静止的空气中冷却的热处理工艺。把钢件加热到 A_{c_3} 以上 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ 的正火则称为高温正火 | <ul style="list-style-type: none"> ① 得到细密的结构组织,为后序热处理做组织准备 ② 改善切削加工性(低碳钢) ③ 提高强度和韧性 ④ 减少内应力和细化组织 |
| 淬火 | 将钢件加热到 A_{c_3} 或 A_{c_1} 点以上某一温度,保持一定时间,然后以适当速度冷却获得马氏体和(或)贝氏体组织的热处理工艺 | <ul style="list-style-type: none"> ① 提高硬度和强度(工具钢淬火可保证刀具的切削性能和耐磨性) ② 得到要求的其他力学性能(中碳钢淬火后经过回火才能获得高强度、高韧性的综合力学性能) |
| 回火 | 钢件淬硬后,再加热到 A_{c_1} 点以下的某一温度,保温一定时间,然后冷却到室温的热处理工艺 | <ul style="list-style-type: none"> ① 消除淬火后的脆性和内应力,减少工件的变形和开裂 ② 调整硬度,提高塑性和韧性,获得工件所要求的力学性能 ③ 稳定工件尺寸 |
| 调质 | 钢件淬火后高温回火($500\sim 650^{\circ}\text{C}$)的复合热处理工艺 | 使工件获得良好的强度、塑性和韧性等方面的综合力学性能 |

续表

| 名称 | 定义 | 目的 |
|-----------|--|--|
| 表面淬火 | 仅对工件表层进行淬火的工艺。一般包括感应淬火、火焰淬火等 | 使工件表面有高硬度和耐磨性,而心部保持原有的强度和韧性 |
| 时效 | 合金经固溶热处理或冷塑性形变后,在室温放置或稍高于室温保持时,其性能随时间而变化的现象 | ① 对加工精度高的工件,需慢慢消除其内应力,从而稳定其形状和尺寸 ② 对重要铸件、焊接件及粗加工后的工件,可消除内应力,防止变形、开裂并稳定尺寸 |
| 渗碳 | 为了增加钢件表层的含碳量和一定的碳浓度梯度,将钢件在渗碳介质中加热并保温,使碳原子渗入表层的化学热处理工艺 | 使低碳钢和低合金钢的表面层含碳量增加,再经淬火、回火处理,使钢件表面层具有高的硬度($HRC \geq 59$)、耐磨性及疲劳强度等,而心部仍保持其原有的塑性和韧性 |
| 渗氮(氮化) | 在一定温度下(一般在 A_{c1} 温度下)使活性氮原子渗入工件表面的化学热处理工艺 | 使含有 Al, Cr, Mo 等合金元素的钢(常用钢为 38CrMoAlA) 件表面形成高硬度的渗氮层 ($HV \geq 850$), 提高表面硬度, 增加耐磨性、耐疲劳性和耐蚀性 |
| 碳氮共渗(氰化) | 在一定温度下同时将碳、氮渗入工件表层奥氏体中,并以渗碳为主的化学热处理工艺 | 使中低碳钢、合金钢、高速钢等钢件的表面具有高的硬度($HV > 700$)、耐磨性及耐疲劳性,心部保持良好的塑性和韧性。为提高合金工具钢、高速钢制工具、刀具的热硬性、耐磨性,可采用低温碳氮共渗 |
| 深冷处理(冷处理) | 钢件淬火冷却到室温后,继续在 0°C 以下的低温(一般 $-60^{\circ}\text{C} \sim -80^{\circ}\text{C}$) 介质中冷却的热处理工艺 | 使合金钢制成的精密刀具、量具和精密零件的硬度、抗拉强度提高,并可稳定工件尺寸 |

注: 名词定义摘自 GB7232—87。

(三) 有关热处理代号(表 14.1-3)

表 14.1-3 常用热处理代号表示方法

| 热处理方式 | 代号 | 热处理代号表示方法举例 |
|----------|-----|---|
| 退火 | Th | 退火表示方法为: Th |
| 正火 | Z | 正火表示方法为: Z |
| 淬火 | C | 淬火后回火至 45~50HRC,表示方法为: C48 |
| 油冷淬火 | Y | 油冷淬火后回火至 30~40HRC,表示方法为: Y35 |
| 高频淬火 | G | 高频感应加热表面淬火后,回火至 50~55HRC,表示方法为: G52 |
| 火焰淬火 | H | 火焰加热表面淬火后回火至 52~58HRC,表示方法为: H54 |
| 调质 | T | 调质至 220~250HB,表示方法为: T235 |
| 调质高频淬火 | T-G | 调质后高频淬火回火至 52~58HRC,表示方法为: TG54 |
| 渗碳淬火 | S-C | 渗碳层深度至 0.5 mm,淬火后回火至 56~62HRC,表示方法为: S0.5~C59 |
| 渗碳高频淬火 | S-G | 渗碳层深度至 0.8 mm,高频淬火后回火至 56~62HRC,表示方法为: S0.8~G59 |
| 渗氮(氮化) | D | 渗氮深度至 0.3 mm,硬度大于 850HV,表示方法为: D0.3~900 |
| 碳氮共渗(氰化) | Q | 碳氮共渗淬火后,回火至 56~62HRC,表示方法为: Q59 |

二、金属材料

(一) 钢

1. 基本知识

钢是指以铁和碳为基本元素的合金,其含碳量一般不超过 1.4%,同时还含有少量其他杂质元素:锰、硅、磷、硫。其中磷、硫为有害杂质,根据磷、硫含量多少,钢可分为:

- (1) 普通质量钢 $S \leq 0.050\%$, $P \leq 0.045\%$;
- (2) 优质钢 $S \leq 0.035\%$, $P \leq 0.035\%$;
- (3) 高级优质钢 $S \leq 0.025\%$, $P \leq 0.025\%$;
- (4) 特级质量钢 $S < 0.015\%$, $P < 0.025\%$ 。

2. 碳素钢的牌号及用途

(1) 碳素结构钢

碳素结构钢的牌号由代表屈服点的汉语拼音字母“Q”、屈服点数值、质量等级符号和脱氧方法符号四个部分按顺序组成。例如：

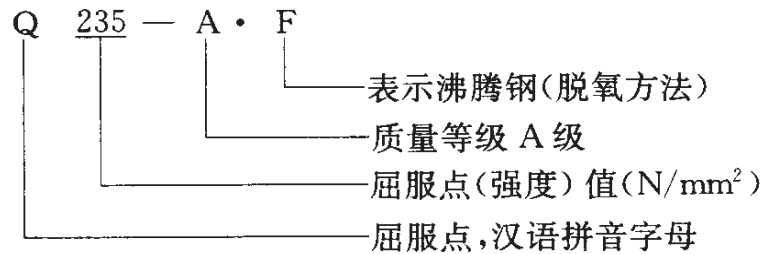


表 14.1-4 碳素结构钢的力学性能及用途

| 牌号 | 等级 | 脱氧方法 | 拉伸试验 | | | 相当 GB 700—79 牌号 | 应用举例 |
|------|--------|-------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------|
| | | | σ_s (N/mm ²) | σ_b (N/mm ²) | δ (%) | | |
| Q195 | 不分 | F、b、Z | (195) | 315~390 | 33 | A1、B1 | 用于制作钉子、铆钉、垫块及轻负荷的冲压件 |
| Q215 | A B | F、b、Z | 215 | 335~410 | 31 | A2 C2 | |
| Q235 | A | F、b、Z | 235 | 375~460 | 26 | A3 | 用于制作小轴、拉杆、连杆、螺栓、螺母、法兰等不太重要的零件 |
| | B | | | | | C3 | |
| | C | Z | | | | — | |
| | D | TZ | | | | — | |
| Q255 | A | Z | 255 | 410~510 | 24 | A4 | 用于制作拉杆、连杆、转轴、心轴、齿轮和键等 |
| | B | | | | | C4 | |
| Q275 | 不分 | Z | 275 | 490~610 | 20 | C5 | |

注：表中符号：A、B、C、D—质量等级；A级(不做冲击试验)、B级(做常温冲击试验，V形缺口)、C、D级(作为重要焊接结构用)。

F—沸腾钢；b—半镇静钢；Z—镇静钢；TZ—特殊镇静钢。

(2) 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示,这两位数字表示该钢种的平均含碳量的万分之几。优质碳素结构钢的牌号和力学性能见表 14.1-5。

表 14.1-5 优质碳素结构钢的牌号和力学性能

| 牌号 | 力 学 性 能 | | | | | | | |
|-----|----------------------|------------|------------|--------|-------|----------------------|-----|-----|
| | σ_s | σ_b | δ_5 | ψ | a_k | HBS | | |
| | (N/mm ²) | | (%) | | | (J/cm ²) | 热轧钢 | 退火钢 |
| | 不 小 于 | | | | | 不 大 于 | | |
| 08F | 175 | 295 | 35 | 60 | — | 131 | — | |
| 0B | 195 | 325 | 33 | 60 | — | 131 | — | |
| 10F | 185 | 315 | 33 | 55 | — | 137 | — | |
| 10 | 205 | 335 | 31 | 55 | — | 137 | — | |
| 15F | 205 | 355 | 29 | 55 | — | 143 | — | |
| 15 | 225 | 375 | 27 | 55 | — | 143 | — | |
| 20 | 245 | 410 | 25 | 55 | — | 156 | — | |
| 25 | 275 | 450 | 23 | 50 | 88.3 | 170 | — | |
| 30 | 295 | 490 | 21 | 50 | 78.5 | 179 | — | |
| 35 | 315 | 530 | 20 | 45 | 68.7 | 197 | — | |
| 40 | 335 | 570 | 19 | 45 | 58.8 | 217 | 187 | |
| 45 | 355 | 600 | 16 | 40 | 49 | 229 | 197 | |
| 50 | 375 | 630 | 14 | 40 | 39.2 | 241 | 207 | |
| 55 | 380 | 645 | 13 | 35 | — | 255 | 217 | |
| 60 | 400 | 675 | 12 | 35 | — | 255 | 229 | |
| 65 | 410 | 695 | 10 | 30 | — | 255 | 229 | |
| 70 | 420 | 715 | 9 | 30 | — | 269 | 229 | |
| 75 | 880 | 1 080 | 7 | 30 | — | 285 | 241 | |
| 80 | 930 | 1 080 | 6 | 30 | — | 285 | 241 | |

续表

| 牌号 | 力学性能 | | | | | | |
|------|----------------------|------------|------------|--------|----------------------|-------|-----|
| | σ_s | σ_b | δ_5 | ψ | a_k | HBS | |
| | (N/mm ²) | | (%) | | (J/cm ²) | 热轨钢 | 退火钢 |
| | 不 小 于 | | | | | 不 大 于 | |
| 85 | 980 | 1 130 | 6 | 30 | — | 302 | 255 |
| 15Mn | 245 | 410 | 26 | 55 | — | 163 | — |
| 20Mn | 275 | 450 | 24 | 50 | — | 197 | — |
| 25Mn | 295 | 490 | 22 | 50 | 88.3 | 207 | — |
| 30Mn | 315 | 540 | 20 | 45 | 78.5 | 217 | 187 |
| 35Mn | 335 | 560 | 18 | 45 | 68.7 | 229 | 197 |
| 40Mn | 355 | 590 | 17 | 45 | 58.8 | 229 | 207 |
| 45Mn | 375 | 620 | 15 | 40 | 49 | 241 | 217 |
| 50Mn | 390 | 645 | 13 | 40 | 39.2 | 255 | 217 |
| 60Mn | 410 | 695 | 11 | 35 | — | 269 | 229 |
| 65Mn | 430 | 735 | 9 | 30 | — | 285 | 229 |
| 70Mn | 450 | 785 | 8 | 30 | — | 285 | 229 |

优质碳素钢应用与含碳量及性能有关。08~25钢,含碳量低,属低碳钢,强度、硬度较低,塑性、韧性及焊接性能良好,主要用于制作冲压件、焊接构件,强度要求不高的机械零件及渗碳件。30~55钢,属中碳钢,经调质后有好的综合机械性能及切削性能,主要用于制造受力较大的机械零件,如连杆、传动轴、齿轮等。60钢以上,属高碳钢,具有较高的强度、耐磨性和弹性,但焊接性不好,切削性稍差,冷变形塑性低,主要用于制造较高强度和弹性的零件,如气门弹簧、弹簧垫圈、轧辊、凸轮及钢丝绳等。

(3) 碳素工具钢

碳素工具钢牌号以汉语拼音字母“T”后面标以阿拉伯数字表示,数字表示钢中平均含碳量的千分之几。

碳素工具钢的牌号、含碳量及性能、用途见表 14.1-6。

表 14.1-6 碳素工具钢的牌号、性能和用途

| 牌 号 | 主要化学成分(%) | | 热处理 | | 应用举例 | |
|------|---------------|---------------|----------------|--|-----------------------------------|---|
| | C | Mn | 淬火温度 (°C) | HRC (不小于) | | |
| T7 | 0.65~ 0.74 | ≤0.40 | 800~ 820 水淬 | 62 | 受冲击,需较高硬度和韧性较好的工具,如木工用凿、锤头、钻头、模具等 | |
| T8 | 0.75~ 0.84 | | 780~ 800 水淬 | | | |
| T8Mn | 0.80~ 0.90 | 0.40~ 0.60 | | | | |
| T9 | 0.85~ 0.94 | ≤0.40 | 760~ 780 水淬 | | 62 | 受中等冲击的工具和耐磨机件,如刨刀、冲模、钻头、丝锥、板牙、手工锯条、杆工具等 |
| T10 | 0.95~ 1.04 | | | | | |
| T11 | 1.05~ 1.14 | | | | | |
| T12 | 1.15~ 1.24 | | | | | |
| T13 | 1.25~ 1.35 | | | 不受冲击而要求极高硬度的工具和耐磨机件,如钻头、锉刀、刮刀、量具、简单模具等 | | |

注:表中化学成分还包括 $Si \leq 0.35$ 、 $S \leq 0.03$ 、 $P \leq 0.035$ 。

(4) 铸钢

铸钢牌号用铸钢两字的汉语拼音字头“ZG”后面加两组数字组成,第一组数字代表屈服强度值,第二组数字代表抗拉强度值。

铸钢的牌号和力学性能见表 14.1-7。

表 14.1-7 铸钢的牌号和力学性能

| 牌 号 | | 室温力学性能 | | | | |
|-----------|------|---------------------------------|----------------------------|--------------|------------|-----------------------------|
| 新牌号 | 原牌号 | σ_s 或 $\sigma_{r_{0.2}}$ | σ_b | $\delta(\%)$ | $\psi(\%)$ | $a_k(\text{J}/\text{cm}^2)$ |
| | | (N/mm^2) | (N/mm^2) | 不 小 于 | | |
| ZG200—400 | ZG15 | 200 | 400 | 25 | 40 | 60 |
| ZG230—450 | ZG25 | 230 | 450 | 22 | 32 | 45 |
| ZG270—500 | ZG35 | 270 | 500 | 18 | 25 | 35 |
| ZG310—570 | ZG45 | 310 | 570 | 15 | 21 | 30 |
| ZG340—640 | ZG55 | 340 | 640 | 12 | 18 | 20 |

注：1. 适用于厚度为 100 mm 以下的铸件。

2. 屈服强度是屈服点(σ_s)或规定残余伸长应力 $\sigma_{r_{0.2}}$ 的统称。

表中, ZG200—400 有良好的塑性、韧性和焊接性, 但强度和硬度较低, 用于受力不大, 要求具有一定韧性的零件, 如机座、箱体零件。ZG230—450, 有一定强度和较好的塑性、韧性、焊接性, 切削性能尚可, 用于制作受力不大、要求具有一定韧性的零件, 如砧座、轴承盖、阀体等零件。ZG270—500 有较高的强度, 较好塑性, 铸造性能良好, 应用广泛, 切削性良好, 用于制作机架、连杆、箱体、曲轴等零件。ZG310—570 强度较高, 切削性能良好, 塑性、韧性较差, 焊接性较差, 用于制作高负荷零件, 如大齿轮、制动轮、辘子等零件。ZG340—640 有高强度、硬度和耐磨性, 切削性能中等, 焊接性差, 裂缝敏感性大, 用作起重运输机齿轮、棘轮等。

3. 合金钢的牌号及用途

(1) 合金结构钢

合金结构钢牌号采用两位数字(含碳量的万分之几)+元素符号(或汉字)+数字(该元素的含量, 当合金元素含量 $<1.5\%$ 时可不标数字, 如平均含量为 $1.5\% \sim <2.5\%$ 、 $2.5\% \sim <3.5\%$ ……时, 则相应地标以 2、3……)。

合金结构钢按照用途和热处理特点,可分为低合金结构钢、合金渗碳钢、合金调质钢、合金弹簧钢、滚珠轴承钢。其牌号、化学成分和用途见表 14.1-8~表 14.1-12。

表 14.1-8 常用低合金结构钢的牌号、性能和用途

| 钢 号 | 力 学 性 能 | | | 用 途 |
|-----------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------------|
| | σ_b (N/mm ²) | σ_s (N/mm ²) | δ_5 (%) | |
| | | 不 小 于 | | |
| 09MnV | 430~580 | 295 | 23 | 拖拉机轮圈、管道支架、建筑金属构件 |
| 09Mn2 | 440~590 | 295 | 22 | 低压锅炉汽包、中低压化工容器、输油管道 |
| 16Mn | 510~660 | 345 | 22 | 桥梁、船舶、压力容器、汽车起重设备 |
| 15MnTi | 530~680 | 390 | 20 | 压力容器、桥梁、船舶、电站设备 |
| 15MnV | 530~680 | 390 | 18 | 桥梁、船舶、高中压容器起重机架 |
| 10MnSiCu | 490~640 | 345 | 22 | 造船用钢管、桥梁、高压容器 |
| 14MnVTiRE | 550~700 | 440 | 19 | 高压容器、桥梁、大型船舶、电站设备 |

表 14.1-9 常用合金结构钢的牌号、性能和用途

| 牌 号 | 力 学 性 能 | | | | | 用 途 |
|--------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|-------------------------------|----------------|
| | σ_b (N/mm ²) | σ_s (N/mm ²) | δ_5 (%) | ψ (%) | a_k (J/cm ²) | |
| | 不 小 于 | | | | | |
| 20Cr | 835 | 540 | 10 | 40 | 60 | 齿轮、齿轮轴、凸轮、活塞销 |
| 20Mn2B | 980 | 785 | 10 | 45 | 70 | 齿轮、轴套、气阀挺杆、离合器 |

续表

| 牌 号 | 力 学 性 能 | | | | | 用 途 |
|----------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|-------------------------------|---|
| | σ_b (N/mm ²) | σ_s (N/mm ²) | δ_5 (%) | ψ (%) | a_k (J/cm ²) | |
| | 不 小 于 | | | | | |
| 20MnVB | 1 080 | 885 | 10 | 45 | 70 | 重型机床的齿轮和轴、汽车后桥齿轮 汽车、拖拉机上变速齿轮、传动轴、十字头 重负荷下工作的齿轮、轴、凸轮轴、活塞销等渗碳零件 大型齿轮和轴等重要 的渗碳零件 |
| 20CrMnTi | 1 080 | 835 | 10 | 45 | 70 | |
| 12CrNi3 | 930 | 685 | 11 | 50 | 90 | |
| 20Cr2Ni4 | 1 175 | 1 080 | 10 | 45 | 80 | |

表 14.1 - 10 常用调质钢的牌号、热处理及力学性能

| 牌 号 | 力 学 性 能 | | | | | 用 途 |
|----------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|---------------|-------------------------------|--|
| | σ_b (N/mm ²) | σ_s (N/mm ²) | δ (%) | ψ (%) | a_k (J/cm ²) | |
| | 不 小 于 | | | | | |
| 40Cr | 980 | 785 | 9 | 45 | 60 | 齿轮、花键轴、后半轴、连杆、主轴、曲轴等调质件 齿轮、齿轮轴、连杆盖、螺栓、螺杆、摩擦盘 大电机轴、锤杆、连杆、轧钢机曲轴及受冲压零件 飞机起落架、螺栓 代替 40Cr, 汽车、机床主轴、齿轮 |
| 45Mn2 | 885 | 735 | 10 | 45 | 60 | |
| 35GMo | 980 | 835 | 12 | 45 | 80 | |
| 30CrMnSi | 1 080 | 835 | 10 | 45 | 50 | |
| 40MnVB | 980 | 785 | 10 | 45 | 60 | |

续表

| 牌 号 | 力 学 性 能 | | | | | 用 途 |
|-----------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|---------------|-------------------------------|------------------------|
| | σ_b (N/mm ²) | σ_s (N/mm ²) | δ (%) | ψ (%) | a_k (J/cm ²) | |
| | 不 小 于 | | | | | |
| 30CrMnTi | 1 470 | — | 9 | 40 | 60 | 汽车主动伞齿轮、 后主齿轮、齿轮轴 |
| 38CrMoAlA | 980 | 835 | 14 | 50 | 90 | 磨床主轴、精密丝 杆、量规、样板、镗杆 |

表 14.1 - 11 常用合金弹簧钢的牌号及用途

| 钢 号 | 热处理 | | 力学性能 | | | | 用 途 |
|-----------|------------|------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|---------------|--|
| | 淬火 (°C) | 回火 (°C) | σ_s (N/mm ²) | σ_b (N/mm ²) | δ_{10} (%) | ψ (%) | |
| | 不 小 于 | | | | | | |
| 65Mn | 830 油 | 540 | 800 | 1 000 | 8 | 30 | 各种扁、圆弹簧， 汽车离合器弹簧与 制动器弹簧 |
| 55Si2Mn | 870 油 | 480 | 1 200 | 1 300 | 6 | 30 | 汽车、铁道车辆上 板簧、螺旋弹簧及低 于 230°C 的耐热弹簧 |
| 60Si2Mn | 870 油 | 480 | 1 200 | 1 300 | 5 | 25 | 同上及汽缸安全阀 及高应力下工作的大 型重要卷制弹簧 |
| 50CrVA | 850 油 | 500 | 1 150 | 1 300 | δ_5 10 | 40 | 用于承受大应力的 螺旋弹簧，也可作 在 400°C 下工作的 重要零件及发动机 气门弹簧 |
| 60Si2CrVA | 850 油 | 410 | 1 700 | 1 900 | δ_5 6 | 20 | 用于 250°C 以下 工作的弹簧如汽轮 机气封弹簧、调节阀 簧、高压水泵碟形簧 |

表 14.1-12 常用滚珠轴承钢的牌号及用途

| 钢 号 | 热处理(°C) | | 回火后 硬度 (HRC) | 用 途 |
|-----------|----------------|---------|--------------------|--|
| | 淬 火 | 回 火 | | |
| GCr6 | 800~820 水、油 | 150~170 | 62~64 | 一般工作条件下的小尺寸滚动体 |
| GCr9 | 800~820 水、油 | 150~170 | 62~66 | |
| GCr9SiMn | 810~830 水、油 | 150~160 | 62~64 | 一般工作条件下的套圈和滚动体,如汽车、机床、电机等主轴轴承,高速砂轮主轴轴承 |
| GCr15 | 820~840 油 | 150~160 | 62~64 | |
| GCr15SiMn | 810~830 油 | 150~200 | 61~65 | 重型机床、大型机器、铁路车辆等轴承,及轧钢机上无冲击载荷的大型轴承 |

(2) 合金工具钢

合金工具钢牌号采用一位数字(平均含碳量的千分之几,当碳含量 $\geq 1\%$ 时,则不予标出)+元素符号+数字(凡合金元素含量 $< 1.5\%$ 时不标数,含量为 $1.5\% \sim 2.5\%$ 、 $2.5\% \sim 3.5\%$ ……时,则相应标以2、3……)。合金工具钢又可分刀具钢、模具钢和量具钢。其牌号见表 14.1-13~表 14.1-17。

表 14.1-13 常用合金工具钢的牌号、用途

| 钢 号 | 热 处 理 | | | | | 用 途 |
|-------|-------------|----|--------------|-------------|-----------|--------------------------|
| | 淬 火 | | | 回 火 | | |
| | 温度 (°C) | 介质 | HRC (不小于) | 温度 (°C) | HRC | |
| 9CrSi | 820~ 860 | 油 | 62 | 180~ 200 | 60~ 62 | 冷冲模、板牙。丝锥、钻头、铰刀、拉刀、齿轮、铣刀 |
| 8MnSi | 800~ 820 | 油 | 60 | 180~ 200 | 58~ 60 | 木工凿子、锯条或其他工具、热压锻模、冷冲模 |

续表

| 钢号 | 热 处 理 | | | | | 用 途 |
|-------|-------------|----|--------------|-------------|-----------|---------------------------------|
| | 淬 火 | | | 回 火 | | |
| | 温度 (°C) | 介质 | HRC (不小于) | 温度 (°C) | HRC | |
| 9Mn2V | 780~ 810 | 油 | 62 | 150~ 200 | 60~ 62 | 量规、块规、精密丝杆、丝锥、板牙、磨床主轴、凸轮 |
| CrWMn | 800~ 830 | 油 | 62 | 140~ 160 | 62~ 65 | 用作淬火后变形小的刀具,如拉刀、长丝锥、量规、形状复杂的冷冲模 |

表 14.1-14 常用高速钢的牌号及用途

| 钢号 | 热 处 理 | | | | | 红硬性 HRC |
|-------------------|------------|------|-------------|------------|-----|------------|
| | 退 火 | | 淬、回火 | | | |
| | 温度 (°C) | HBS | 淬火 (°C) | 回火 (°C) | HRC | |
| W18Cr4V | 850~870 | <255 | 1 270~1 285 | 550~570 | >63 | 48.5 |
| 9W18Cr4VCo5 | | <255 | 1 260~1 280 | 570~590 | >63 | 51 |
| W6Mo5Cr4V2 | | <255 | 1 210~1 230 | 540~560 | >64 | 47~48 |
| W6Mo5Cr4V3 | 840~880 | <255 | 1 190~1 210 | 540~560 | >65 | 51.7 |
| W2Mo9Cr4VCo8 | | <255 | 1 190~1 210 | 540~560 | >65 | 55 |
| W9Mo3Cr4V | | <255 | 1 210~1 230 | 540~560 | >64 | |
| W6Mo5Cr4V2Al | 840~850 | <255 | 1 220~1 240 | 540~560 | >66 | 55 |
| W12Mo3Cr4V3-Co5Si | 840~850 | <255 | 1 220~1 240 | 540~560 | >66 | 55 |

注: 1. 回火温度为 550~570°C 时, 回火两次, 每次 1 h; 回火温度为 540~560°C 时, 回火两次, 每次 2 h。

2. 红硬性是将淬火、回火试样在 600°C 加热四次, 每次 1 h 条件下测定的。

表 14.1-15 各种高速钢的钢号、力学性能和适用范围

| 高速钢 种类 | 钢 号 | 硬度 (HRC) | 抗弯强度 (GPa) | 冲击韧度 (MJ/m ²) | 600℃时 的硬度 (HRC) | 主要性能和适用范围 |
|---------------|------------------|-------------|---------------|------------------------------|-----------------------|--|
| 普通 高速 钢 | W18Cr4V(W18) | 63~66 | 3.0~3.4 | 0.18~0.32 | 48.5 | 适于加工轻合金、钢铁的精加工和复 杂刀具,如螺旋纹车刀、成形车刀、拉刀、 齿轮刀具 |
| | W6Mo5Cr4V2(M2) | 63~66 | 3.5~4.0 | 0.30~0.40 | 47~48 | 强度和韧性略高于 W18,热硬性略低 于 W18,热塑性好,适于加工轻合金、碳 钢、合金钢的热成形刀具,如麻花钻 |
| | W14Cr4VMnRE | 64~66 | ~4.0 | 0.31 | 50.5 | 切削性能与 W18 相当,热塑性好,适 于制作热轧刀具 |
| | W9Mo3Cr4V(W9) | 65~66.5 | 4.0~4.5 | 0.35~0.40 | | 刀具寿命比 W18 和 M2 有所提高,适 于加工轻合金、钢材和铸铁 |
| | 9W18Cr4V(9W18) | 66~68 | 3.0~3.4 | 0.17~0.22 | 51 | 常温硬度和高温硬度有所提高,适用 于加工普通钢材和铸铁、耐磨性要求较 高的钻头、铰刀、丝锥、铣刀和车刀等或 加工较硬材料(220~250HBS)的刀具。 但不宜承受大的冲击 |
| 高碳 高速 钢 | 9W6Mo5Cr4V2(CM2) | 67~68 | 3.5 | 0.13~0.26 | 52.1 | |

续表

| 高速钢种类 | 钢号 | 硬度(HRC) | 抗弯强度(GPa) | 冲击韧度(MJ/m ²) | 600℃时的硬度(HRC) | 主要性能和适用范围 |
|-------|-------------------------|---------|-----------|--------------------------|---------------|--|
| 高钒高速钢 | W12Cr4V4Mo(EV4) | 66~67 | ~3.2 | ~0.1 | 51.7 | 耐磨性很好,适合切削刀具磨损失极大的材料,如纤维、硬橡胶、塑料等,也用于加工不锈钢、高强度钢和高温合金等 |
| | W6Mo5Cr4V3(M3) | 65~67 | ~3.2 | ~0.25 | 51.7 | |
| 含钴高速钢 | W2Mo9Cr4VCo8(M42) | 67~69 | 2.7~3.8 | 0.23~0.30 | 55 | 属钴超硬高速钢,有很高的高温硬度,适合加工高强度耐热钢、高温合金、钛合金等难加工材料。M42可磨性好,适于做精密复杂刀具,但不宜在冲击切削条件下工作 |
| | W10Mo4Cr4V3Co10(HSP-15) | 67~69 | ~2.35 | ~0.1 | 55.5 | |
| | W7Mo4Cr4V2Co5(M41) | 67~69 | 2.5~3.0 | 0.23~0.30 | 54 | 属美国生产的M40系列,使用范围与M42类同 |
| | W6Mo5Cr4V2Co8(M36) | 66~68 | ~3.0 | ~0.3 | 54 | |
| | W12Mo3Cr4V3Co5Si(Co5Si) | 67~69 | 2.4~3.3 | 0.11~0.22 | 54 | 常温硬度和耐磨性都很好,600℃高温硬度接近M42钢,适用于加工耐热不锈钢、高温合金、高强度钢等难加工材料,适合制造钻头、滚刀、拉刀、铣刀等 |
| | W6Mo5Cr4V2Al(501) | 67~69 | 2.84~3.82 | 0.225~0.30 | 55 | |

表 14.1-16 热作模具选材举例

| 名称 | 类型 | 选材举例 | 硬度 HRC |
|--------|----------------------|--|--------|
| 锻 模 | 高度<250 mm 小型热锻模 | 5CrMnMo, 5Cr2MnMo | 39~47 |
| | 高度在 250~400 mm 中型热锻模 | | |
| | 高度>400 mm 大型热锻模 | 5CrNiMo, 5Cr2MnMo | 35~39 |
| | 寿命要求高的热锻模 | 3Cr2W8V, 4Cr5MoSiV, 4Cr5W2SiV | 40~54 |
| | 热锻模 | 4Cr3W4Mo2VTiNb, 4Cr5MoSiV, 4Cr5W2SiV, 3Cr3Mo3V, 基体钢 ^② | 39~54 |
| | 精密锻造或高速锻模 | 3Cr2W8V 或 4Cr5MoSiV, 4Cr5W2SiV, 4Cr3W4Mo2VTiNb | 45~54 |
| 压铸模 | 压铸锌、铝、镁合金 | 4Cr5MoSiV, 4Cr5W2SiV, 3Cr2W8V | 43~50 |
| | 压铸铜和黄铜 | 4Cr5MoSiV, 4Cr5W2SiV, 3Cr2W8V, 钨基粉末冶金材料, 钼、钛、锆难熔金属 | |
| | 压铸钢铁 | 钨基粉末冶金材料, 钼、 钛、锆难熔金属 | |
| 挤压模 | 温挤压和温锻 (300~800℃) | 8Cr8Mo2SiV, 基体钢 | |
| | 热挤压 ^① | 挤压钢、钛或镍合金用 4Cr5MoSiV, 3Cr2W8V (>1 000℃) | 43~47 |
| | | 挤压铜或铜合金用 3Cr2W8V(<1 000℃) | 36~45 |
| | | 挤压铝, 镁合金用 4Cr5MoSiV, 4Cr5W2SiV (<500℃) | 46~50 |
| | 挤压铅用 45 钢(<100℃) | 16~20 | |

注：① 所列热挤压温度均为被挤压材料的加热温度。

② 基体钢指 5Cr4W2Mo3V、6Cr4Mo3Ni2WV、55Cr4WMo5VCo8，它们的成分相当于高速工具钢在正常淬火状态的基体成分。这种钢过剩碳化物数量少，晶粒细，分布均匀，在保证一定耐磨性和热硬性条件下，显著改善抗弯强度和韧性，淬火变形也较小。

表 14.1-17 冷作模具钢选用举例

| 冲模种类 | 钢 号 | | | 备 注 |
|-------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| | 简单(轻载) | 复杂(轻载) | 重 载 | |
| 硅钢片冲模 | Cr12, Cr12MoV, Cr6WV | Cr12, Cr12MoV, Cr6WV | — | 因加工批量大,要求寿命较长,故均采用高合金钢 |
| 冲孔落料模 | T10A, 9Mn2V | 9Mn2V, Cr6WV, Cr12MoV | Cr12MoV | |
| 压弯模 | T10A, 9Mn2V | — | Cr12, Cr12MoV, Cr6WV | |
| 拔丝拉伸模 | T10A, 9Mn2V | — | Cr12, Cr12MoV | |
| 冷挤压模 | T10A, 9Mn2V | 9Mn2V, Cr12MoV, Cr6WV | Cr12MoV, Cr6WV | 要求热硬性时还可选用W18Cr4V, W6Mo5Cr4V2 |
| 小冲头 | T10A, 9Mn2V | Cr12MoV | W18Cr4V, W6Mo5Cr4V2 | 冷挤压钢件,硬铝冲头还可选用超硬高速钢、基体钢 |

续表

| 冲模种类 | 钢 号 | | | 备 注 |
|-------------------------------------|----------------|--------|--|-----|
| | 简单(轻载) | 复杂(重载) | 重 载 | |
| 冷 镦(螺 钉、螺母)模 冷 镦(轴 承 钢球制)模 | T10A, 9Mn2V | — | Cr12MoV, 8Cr8Mo2SiV, Cr12MoV, W18Cr4V, Cr4W2MoV, 8Cr8Mo2SiV2 基体钢 | |

表 14.1-18 量具用钢的示例

| 量 具 | 钢 号 |
|----------------|----------------------------|
| 平样板或卡板 | 10、20 或 50、55、60、60Mn、65Mn |
| 一般量规与块规 | T10A、T12A、9SiCr |
| 高精度量规与块规 | Cr 钢、CrMn 钢、GCr15 |
| 高精度且形状复杂的量规与块规 | CrWMn(低变形钢) |
| 抗蚀量具 | 4Cr13、9Cr18(不锈钢) |

(3) 特殊性能钢

特殊性能钢牌号表示方法与合金工具钢相同。特殊性能钢按用途分不锈钢、耐热钢和耐磨钢。表 14.1-19 为常用铬不锈钢的热处理、组织、性能及用途。表 14.1-20 为常用耐热钢的特点及应用。

表 14.1-19 常用铬不锈钢的热处理、机械性能及用途

| 类别 | 钢号 | 热处理 | 机械性能 | | | | | 用途 |
|------|-------------|---|---------------------------------|---------------------------------|--------------|------------|-----------|--|
| | | | σ_b (N/mm ²) | σ_s (N/mm ²) | δ (%) | ψ (%) | HRC | |
| 马氏体型 | 1Cr13 | 1 000~1 050℃ 油淬或水淬 700~790℃ 回火 | ≥ 600 | ≥ 420 | ≥ 20 | ≥ 60 | HB 187 | 制作能抗弱腐蚀性介质、能承受冲击负荷的零件,如汽轮机叶片、水压机阀、结构架、螺栓、螺帽等 |
| | 2Cr13 | 1 000~1 050℃ 油淬或水淬 700~790℃ 回火 | ≥ 660 | ≥ 450 | ≥ 16 | ≥ 55 | — | |
| | 3Cr13 | 1 000~1 050℃ 油淬 200~300℃ 回火 | | | | | 48 | |
| | 4Cr13 | 1 000~1 050℃ 油淬 200~300℃ 回火 | | | | | 50 | |
| 铁素体型 | 1Cr17 | 750~800℃ 空冷 | ≥ 400 | ≥ 250 | ≥ 20 | ≥ 50 | | 制作硝酸工厂设备如吸收塔、热交换器、酸槽、输送管道,以及食品工厂设备等 |
| 奥氏体型 | 1Cr18-Ni9Ti | 1 000~1 100℃ | ≥ 550 | ≥ 300 | ≥ 40 | ≥ 55 | HB 190 | 抗磁仪表、医疗器械、耐酸容器、管道 |

表 14.1-20 几种常用耐热钢的特点及应用

| 钢号 | 主要特点 | 应用举例 |
|---------------|---|--|
| 4Cr9Si2 | 800℃以下抗氧化,600~700℃有较高的热强性,碳、铬成分控制在中、下限时,锻造等工艺性较好 | 700℃以下汽车发动机,柴油机进、排气阀,加热炉构件,以及800℃以下过热器吊挂 |
| 4Cr10Si2Mo | 850℃以下抗氧化性较好,可在750℃以下长期使用,可渗氮,切削性差,退火后有所改善,冷变形塑性及焊接性差 | 750℃以下中、高负荷汽车发动机和柴油机排气阀 |
| 1Cr18Ni9Ti | 可作耐热和抗氧钢使用,有良好的塑性变形和焊接性能 | 850℃加热炉炉管,燃烧室筒体,退火炉内罩和氨合成塔内件 |
| 4Cr14Ni14W2Mo | 工艺性能较好,综合机械性能较好,有一定热强度 | 550℃长期使用增压器涡轮及叶片,紧固件,进、排气阀 |

(二) 铸铁

铸铁是含碳量大于2.11%的铁碳合金,并含有硅、锰、磷、硫等元素。根据碳在合金中存在形式,铸铁可以分为:白口铸铁、灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、蠕墨铸铁。白口铸铁一般用于炼钢,其他铸铁牌号性能及使用见表14.1-21~表14.1-24。

表 14.1-21 灰铸铁的牌号及应用

| 牌 号 | 最小抗拉强度 (N/mm ²) | 应 用 举 例 |
|-------|--------------------------------|-----------------------------------|
| HT100 | 100 | 适用于负荷小,对摩擦、磨损无特殊要求的零件,如盖、油盘、支架、手轮 |
| HT150 | 150 | 适用于承受中等负荷的零件,如机床支柱、底座、刀架、齿轮箱、轴承座 |

续表

| 牌 号 | 最小抗拉强度 (N/mm ²) | 应用举例 |
|-------|--------------------------------|--|
| HT200 | 200 | 适用于承受较大负荷的零件,如机床床身、立柱,汽车缸体、缸盖、刹车轮、联轴器、油缸、齿轮、飞轮 |
| HT250 | 250 | |
| HT300 | 300 | 适用于承受高负荷的重要零件,如齿轮、凸轮、大型发动机曲轴、缸体、缸套、缸盖、高压油缸、阀体、泵体 |
| HT350 | 350 | |

注:灰铸铁是根据强度分级的,一般采用 $\phi 30$ mm 铸造试棒,切削加工后进行测定。

表 14.1-22 黑心可锻铸铁和珠光体可锻铸铁的牌号

| 牌 号 | | σ_b (N/mm ²) | σ_s (N/mm ²) | δ (%) | 硬度 (HBS) | 应 用 |
|-----------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|--------------|-------------|---|
| A | B | 不 小 于 | | | | |
| KTH300-6 | — | 300 | — | 6 | 不大于 150 | 适于动载和静载、要求气密性好的零件,如管道配件、阀门 |
| — | KTH330-08 | 330 | — | 8 | | 适于承受中等动载和静载的零件,如机床用扳手、车轮壳 |
| KTH350-10 | — | 350 | 220 | 10 | | 适于承受较高的冲击、振动下工作的零件,如汽车上的差速器壳、制动器 |
| — | KTH370-12 | 370 | — | 12 | | |
| KTZ450-06 | — | 450 | 270 | 6 | 150~200 | 适于承受较高载荷、耐磨损并要求有一定韧性的重要零件,如曲轴、凸轮轴、连杆、齿轮、活塞环 |
| KTZ550-04 | — | 550 | 340 | 4 | 180~230 | |
| KTZ650-02 | — | 650 | 430 | 2 | 210~260 | |
| KTZ700-02 | — | 700 | 530 | 2 | 240~290 | |

注:牌号 B 为过渡性牌号。

表 14.1 - 23 球墨铸铁的牌号及用途

| 基体显微组织 | 牌 号 | σ_b (N/mm ²) | $\sigma_{r_{0.2}}$ (N/mm ²) | δ (%) | 硬度 (HBS) | 用 途 |
|-----------|------------|---------------------------------|---|--------------|----------|-------------------------|
| | | 不 小 于 | | | | |
| 铁素体 | QT400 - 18 | 400 | 250 | 18 | 130~180 | 汽车轮毂、离合器壳、铁路垫板、阀体、离合器拨叉 |
| | QT400 - 15 | 400 | 250 | 15 | 130~180 | |
| | QT450 - 10 | 450 | 310 | 10 | 160~210 | |
| 铁素体 + 珠光体 | QT500 - 7 | 500 | 320 | 7 | 170~230 | 油泵齿轮、车辆轴瓦、飞轮 |
| | QT600 - 3 | 600 | 370 | 3 | 190~270 | 曲轴、凸轮轴、连杆、汽缸套、车床主轴 |
| 珠光体 | QT700 - 2 | 700 | 420 | 2 | 225~305 | |
| 珠光体或回火组织 | QT800 - 2 | 800 | 480 | 2 | 245~335 | |
| 贝氏体或回火马氏体 | QT900 - 2 | 900 | 600 | 2 | 280~360 | 螺旋伞齿轮、转向节、传动轴、曲轴 |

注：表中均为单铸试块测定的力学性能。

表 14.1 - 24 蠕墨铸铁的牌号及用途

| 牌 号 | σ_b (N/mm ²) | $\sigma_{r_{0.2}}$ (N/mm ²) | δ (%) | 硬度 (HBS) | 主要基体组织 | 用 途 |
|--------|---------------------------------|---|--------------|----------|-----------|----------------------------------|
| | 不 小 于 | | | | | |
| RUT420 | 420 | 335 | 0.75 | 200~280 | 珠光体 | 适于制造要求强度或耐磨性高的零件,如活塞、制动盘、玻璃模具 |
| RUT380 | 380 | 300 | 0.75 | 193~274 | 珠光体 | |
| RUT340 | 340 | 270 | 1.00 | 170~249 | 珠光体 + 铁素体 | 适于制造要求较高强度、刚度和耐磨的零件,如飞轮、玻璃模具 |
| RUT300 | 300 | 240 | 1.50 | 140~217 | 铁素体 + 珠光体 | 适于制造要求较高强度及承受热疲劳的零件,如排气管、汽缸盖、钢锭模 |
| RUT260 | 260 | 195 | 3.00 | 121~197 | 铁素体 | 适于承受冲击负荷及热疲劳的零件,如汽车的底盘零件、废气进气壳体 |

(三) 有色金属

1. 铝及其合金

铝及其合金应用广泛。其牌号、机械性能、特点与用途见表 14.1-25~表 14.1-26。

表 14.1-25 铝及其合金的牌号、机械性能与用途

| 组别 | 牌号 | 机械性能 | | | 主要特点 | 用途 |
|-------|------------------|------------------------------------|-----------------|-----|---|-----------------------------------|
| | | σ_b (N/mm ²) | δ (%) | HB | | |
| 纯铝 | L2 L3 L5 | | | | 有高的导电性和导热性、耐蚀性优良、塑性高、强度低,切削性差,可进行气焊和接触焊,可承受各种压力加工 | 垫片,电容器,电子管元件,电缆和装饰件 |
| | L4 L6 | | | | | 不受力的结构件,食品用具和装饰件 |
| 防锈铝合金 | LF ₅ | 280 | 20 | 70 | 有较高的强度和耐蚀性,焊接和切削性能良好 | 焊接油箱、油管、铆钉结构件 |
| | LF ₂₁ | 130 | 20 | 30 | 退火状态下有高的塑性,热处理不强化,耐蚀性好可焊接,切削性能不好 | 油箱、汽油导管,轻载荷零件 |
| 硬铝合金 | LY ₁ | 300 | 24 | 70 | 热状态下塑性好,耐蚀性不高,铆钉在淬火和时效后铆接 | 中等强度,工作温度不超过 100℃ 的结构用铆钉 |
| | LY ₁₁ | 420 | 18 | 100 | 退火和热状态下塑性尚可,能热处理强化,点焊性能良好,耐蚀性不高 | 中等强度零件,如骨架,螺旋桨叶,螺栓和铆钉 |
| | LY ₁₂ | 470 | 17 | 105 | 退火塑性尚可,能热处理强化,可点焊,气焊或氩弧焊,有晶间腐蚀倾向、耐蚀性不高 | 高强度结构零件,如骨架、蒙皮、梁、铆钉等 150℃ 以下工作的零件 |

续 表

| 组别 | 牌号 | 机械性能 | | | 主要特点 | 用途 |
|-------|------------------|------------------------------------|-----------------|-----|---|--------------------------|
| | | σ_b (N/mm ²) | δ (%) | HB | | |
| 超硬铝合金 | LC ₄ | 600 | 12 | 150 | 强度高,退火状态塑性尚可,能热处理强化,点焊性能好,气焊不良 | 主要受力结构件,如飞机大梁,加强框、蒙皮及起落架 |
| | LC ₆ | 680 | 7 | 190 | | |
| 锻铝合金 | LD ₅ | 420 | 13 | 105 | 热状态下塑性高,耐蚀性较好,可点焊、接触焊、滚焊,电弧焊和气焊不佳,可切削加工,无挤压效应 | 形状复杂中等强度的锻件及模锻件 |
| | LD ₇ | 415 | 13 | 120 | | 内燃机活塞,板材可作高温下工作的结构件 |
| | LD ₁₀ | 480 | 19 | 135 | 性能同上,有挤压效应,纵向和横向性能有差别,耐蚀性不高 | 承受重载荷的锻件和模锻件 |

注: 防锈铝合金为退火状态指标;硬铝合金为(淬火+自然时效)状态指标;超硬铝合金为(淬火+人工时效)状态指标;锻铝合金为(淬火+人工时效)状态指标。

表 14.1-26 铸造铝合金牌号、特点及用途

| 牌 号 | 铸造方法 | 力学性能(不低于) | | | 主要特点 | 用途 |
|----------|--------|---------------------------------|--------------|-----|--|----------------------------------|
| | | σ_b (N/mm ²) | δ (%) | HBS | | |
| ZAlSi7Mg | J. T5 | 202 | 2 | 60 | 耐蚀性、铸造工艺性良好,线收缩小且无热裂倾向,气密性高,易气焊 | 飞机、仪器上零件,工作温度 < 185℃ 的汽化器 |
| | S. T5 | 192 | 2 | 60 | | |
| ZAlSi12 | J | 153 | 2 | 50 | 特点同上、铸件壁厚处易生成气孔,不能热处理强化,强度低,变质热处理状态下使用 | 仪表、抽水机壳体,承受低载、工作温度 < 200℃ 的气密性零件 |
| | SB. JB | 143 | 4 | 50 | | |
| | SB. TZ | 133 | 4 | 50 | | |

续表

| 牌 号 | 铸造方法 | 力学性能(不低于) | | | 主要特点 | 用 途 |
|----------------|--------|---------------------------------|--------------|-----|--|----------------------------------|
| | | σ_b (N/mm ²) | δ (%) | HBS | | |
| ZAlSi5CuMg | J. T5 | 231 | 0.5 | 70 | 强度高, 铸造、焊接性能和耐蚀性能尚可, 形成气孔的倾向比较小, 可热处理强化 | 形状复杂、在 <225℃ 下工作的零件, 如汽缸盖、油泵体、机匣 |
| | S. T5 | 212 | 1.0 | 70 | | |
| | S. T6 | 222 | 0.5 | 70 | | |
| ZAlSi12-Cu2Mg1 | J. T1 | 192 | — | 85 | 线膨胀系数小, 强度较高, 耐磨性好, 产生缩孔倾向小, 气密性较高, 可热处理强化 | 要求高温强度及低膨胀系数的零件, 如活塞、耐热零件 |
| | J. T6 | 251 | — | 90 | | |
| ZAlCu10 | S. T | 104 | — | 50 | 铸造性差, 有热裂和疏松倾向, 耐蚀性不高, 切削性好 | 形状简单、要求表面光洁的中等承载零件, 工作温度 <200℃ |
| | S.T.T6 | 163 | — | 100 | | |
| ZAlMg10 | J.S.T4 | 280 | 9 | 60 | 强度高、耐蚀性好、铸造性能较差, 易形成显微疏松, 气密性低 | 工作温度 <150℃, 在大气或海水中工作的零件 |
| ZAlZn11Si7 | J. T1 | 241 | 1.5 | 90 | 铸造性能好, 缩孔和微裂纹小, 焊接和切削性好, 耐腐蚀性低 | 工作温度 <200℃, 形状复杂的汽车、飞机零件 |
| | S. T1 | 192 | 2 | 80 | | |

注: 铸造方法与合金状态的符号: J—金属型铸造, S—砂型铸造; T1—人工时效(不进行淬火), T2—290℃退火, T4—淬火+自然时效, T5—淬火+不完全时效(时效温度低或时间短), T6—淬火+人工时效(180℃以下, 时间较长)。

2. 铜及其合金

常用铜及其合金牌号、性能及用途见表 14.1-27~表 14.1-28。

表 14.1-27 常用铜及其合金牌号、性能及用途

| 组别 | 合金牌号 | 力学性能 | | | 主要特点 | 用途 |
|----|-------------------|------------------------------------|-----------------|--------|---|-----------------------------|
| | | σ_b (N/mm ²) | δ (%) | HBS | | |
| 纯铜 | T1 T2 | | | | 有良好的导电、导热、耐腐蚀和加工性能,可以焊接,易引起氢脆 | 导电、导热、耐蚀器具材料,如电线、蒸发器、雷管、贮藏器 |
| | T3 T4 | | | | 特点同上,但更易引起氢脆 | 一般用铜材,如电气开关、管道、铆钉 |
| | 无氧铜 TU1 TU2 | | | | 纯度高,有高的导电、导热性能、无氢脆倾向,有良好的加工性、耐腐蚀性和耐寒性,可焊接 | 电真空器件、高导电性导线 |
| | H90 | 260/480 | 45/4 | 53/130 | 可承受冷、热压力加工,可镀金及涂珐琅 | 双金属片,供水和排水管、艺术品、奖章 |
| 黄铜 | H68 | 320/660 | 55/3 | /150 | 可加工性好,易焊接,耐腐蚀性较好,在冷硬状态下有产生应力腐蚀开裂倾向,在海水中存在脱锌腐蚀现象 | 复杂的冲压件、散热器外壳、波纹管、轴套、弹壳 |
| | H62 | 330/600 | 49/3 | 56/140 | 强度高、冷热加工性好,易焊接、耐腐蚀,有产生应力腐蚀开裂和脱锌倾向 | 销钉、铆钉、螺钉、螺母、垫圈、夹线板、弹簧、接头 |

续表

| 组别 | 合金牌号 | 力学性能 | | | 主要特点 | 用途 |
|------|-----------|------------------------------------|-----------------|--------------------|--|-------------------------|
| | | σ_b (N/mm ²) | δ (%) | HBS | | |
| 特殊黄铜 | HSn90-1 | 280/520 | 45/5 | /82 | 其特性与H90近似,有高的耐蚀性和减磨性 | 船舶零件、汽车、拖拉机的弹性套管、耐蚀减磨件 |
| | HSi80-3 | 300/600 | 58/4 | 90/110 | 耐热性能和耐蚀性较好,热加工性能好 | 船舶零件,蒸汽(<265°C)条件下工作的零件 |
| | HMn58-2 | 400/700 | 40/10 | 85/175 | 耐热性能和耐蚀性较好,热加工性能好 | 海轮和弱电上用的零件 |
| | HPb60-1 | 370/670 | 45/4 | HPB $\frac{28}{8}$ | 有好的可加工性和较高的强度 | 结构零件,如分流器、导电排 |
| | QSn4-3 | 350/550 | 40/4 | 60/160 | 弹性、耐磨性和抗磁性好,冷、热态均可压力加工,在海水中耐蚀性好 | 弹性元件、管配件、耐磨零件及抗磁零件 |
| 青铜 | QSn65-0.1 | 350~450 700~800 | 60~70 7.5~12 | 70~90 160~200 | 弹性、耐磨性和抗磁性好,对电火花有较高抗燃性,冷态压力加工好,在大气和淡水中耐蚀 | 弹簧、接触片、振动片、耐磨零件 |
| | QSn4-4-4 | 220/250 | 3/5 | 80/90 | 减磨性、切削加工性好,冷态下压力加工性能好,易焊接,在大气和淡水中耐蚀性好 | 重要的减磨零件,如轴承、轴套、蜗轮 |

续表

| 组别 | 合金牌号 | 力学性能 | | | 主要特点 | 用途 |
|--------|--------|------------------------------------|-----------------|---------|---|----------------------------|
| | | σ_b (N/mm ²) | δ (%) | HBS | | |
| 青 铜 | QA17 | 470/980 | 70/3 | 70/154 | 强度、弹性和耐磨性好， 在海水和某些酸中耐腐蚀 好，可电焊，气焊，不易钎焊 | 重要用途的弹性元件 |
| | QA19-4 | 550/900 | 4/5 | 110/180 | 减磨性好，热态压力加工 性能良好，可焊接，不易钎 焊，在海水中有良好的耐蚀性 | 在蒸汽及海水中工作的高 强度、耐蚀零件 |
| | QBe2 | 500/850 | 40/3 | 84/247 | 经淬火调质后有高的强 度、硬度、弹性和耐热性，导 电、导热性好，无磁性撞击 时不产生火花，耐海水腐蚀 | 弹性元件，耐磨件及在高 速、高温下工作的轴承 |
| | QSi3-1 | 370/700 | 55/3 | 80/180 | 可冷热压力加工，低温不 降低塑性，能较好地与青 铜、钢、其他合金焊接，撞击 不产生火花，耐腐蚀 | 弹性元件；在腐蚀介质下 工作的耐磨零件，如齿轮 |

注：力学性能中分子为50%变形程度的硬化状态，分母为600℃下退火状态。

表 14.1-28 铸造铜合金牌号, 特点与用途

| 组别 | 合金牌号 | 力学性能 | | | 主要特点 | 用途 |
|----|------------------------------|------------------------------------|-----------------|---------|---|------------------------------|
| | | σ_b (N/mm ²) | δ (%) | HBS | | |
| 黄铜 | ZCuZn38 | 295/295 | 30/30 | 60/70 | 有优良铸造性、可加工性, 易焊接, 耐腐蚀性较好, 但有应力腐蚀开裂倾向 | 法兰、阀座、手柄、螺母 |
| | ZCuZn25 - Al6Fe3 - Mn3 | 600/600 | 18/18 | 160/170 | 有较好力学性能和铸造性能, 在海水中有较好耐腐蚀性, 可加工与焊接性能好 | 耐磨板、滑块、蜗轮、螺栓 |
| | ZCuZn40 - Mn2 | 345/390 | 20/25 | 80/90 | 有较高的力学性能和铸造性能, 受热时组织稳定, 耐腐蚀性、耐磨性较好, 可焊接 | 在淡水、海水、蒸汽中工作的零件, 如阀体、阀杆、泵管接头 |
| | ZCuZn33 - Pb2 | 180/ | 12/ | 50/ | 有良好铸造性和耐腐蚀性、耐磨性、可加工性好, 在海水中产生应力腐蚀开裂倾向 | 煤气和给水设备的壳体、仪器的构件 |

续表

| 组别 | 合金牌号 | 力学性能 | | | 主要特点 | 用途 |
|----|-------------------|------------------------------------|-----------------|-------|------------------------------|---------------------------|
| | | σ_b (N/mm ²) | δ (%) | HBS | | |
| 青铜 | ZCuSn5Pb - Zn5 | 200 — 200 | 13/3 | 60/60 | 耐磨性和耐蚀性良好,铸造性能和气密性较好,易切削加工 | 较高负荷、中速的耐磨、耐蚀零件,如轴瓦、缸套、蜗轮 |
| | ZCuSn10P1 | 220 — 310 | 3/2 | 80/90 | 硬度高、耐磨性好,易切削加工,可钎焊,在海水中耐蚀性中等 | 高负荷、高速下耐磨零件,如轴瓦、衬套、齿轮 |
| | ZCuAl9Mn2 | 390 — 440 | 20/20 | 85/95 | 组织致密,气密性好,在海水中耐腐蚀、耐磨性好,不易钎焊 | 耐蚀、耐磨件,如齿轮、衬套、蜗轮 |

注:力学性能中分子为砂型铸造试样,分母为金属型铸造试样测定。

3. 钛及其合金

钛及其合金以比重小、比强度高、抗腐蚀、无磁性而闻名。钛合金按其退火组织分为 α 型、 $\alpha+\beta$ 型及 β 型三类。钛合金常用的牌号、性能和用途见表 14.1-29。

表 14.1-29 钛及钛合金常用牌号、机械性能及用途

| 分类 | 牌号 | 力学性能(退火状态) | | | 用途 |
|----------------------------|------|------------------------------------|-------------------|-------------------------------|--|
| | | σ_b (N/mm ²) | δ_5 (%) | a_k (J/cm ²) | |
| 工业纯钛 (α 型) | TA1 | 343 | 25 | 80 | 350℃受力小的零件、飞机骨架蒙皮、各种热交换器管、泵体、耐海水腐蚀管道、阀门、泵及耐蚀铸件 |
| | TA2 | 441 | 20 | 75 | |
| | TA3 | 539 | 15 | 50 | |
| 钛合金 (α 型) | TA5 | 686 | 15 | 59 | 中等强度焊接件与 TA1、TA2 相仿 |
| | TA6 | 686 | 10 | 29 | 400℃以下工作的零件、壳体、叶片、骨架 |
| | TA7 | 785 | 10 | 29 | <500℃以下长期工作的结构件、模锻件、铸件 |
| 钛合金 ($\alpha+\beta$ 型) | TC1 | 588 | 15 | 44 | <400℃工作的板、冲压和焊接件 |
| | TC2 | 686 | 15 | 39 | <500℃工作的焊接件、模锻件 |
| | TC4 | 930 | 12 | 39 | <400℃长期工作的零件、锻件、铸件、容器、泵等 |
| | TC10 | 1 029 | 12 | 34~39 | <450℃长期工作的零件,如飞机结构件、武器结构件 |

注：棒材、退火状态。

(四) 硬质合金

1. 常用硬质合金

常用硬质合金牌号、性能及用途见表 14.1-30。

表 14.1 - 30 常用硬质合金牌号、性能及用途

| 类型 | 牌号 | 机械性能 | | 用 途 | 相当 ISO |
|------------------|------|----------------------|--------------------|--|------------|
| | | 抗弯强度 不低于 (MPa) | 硬度 不低于 (HRA) | | |
| 钨 钴 类 | YG3 | 1 180 | 91 | 适于无冲击和切削断面均匀的外圆精加工及半精加工、钻孔、扩孔 | K01 |
| | YG3X | 1 180 | 91.5 | 适于铸铁、有色金属及其合金的精镗、精车等,亦可用于合金钢、淬火钢的精加工 | K01 |
| | YG6 | 1 520 | 89.5 | 适于铸铁、有色金属及其合金及非金属材料连续切削时的精车,间断切削时的半精车、精车,小断面精车,粗车螺纹、旋风车丝,连续断面的半精铣与精铣,孔的粗扩与精扩 | K10 |
| | YG6X | 1 420 | 91 | 适于加工冷硬合金铸铁与耐热合金钢及普通铸铁的精加工 | K10 |
| | YG8 | 1 670 | 89 | 适于铸铁、有色金属及其合金及非金属材料加工中,不平整断面和间断切削时的粗车、粗刨、精铣,一般孔的加工 | K20 |
| | YG8N | 1 576 | 89.5 | 适于硬铸铁、球墨铸铁、白口铸铁及有色金属的粗加工,以及不锈钢的粗加工和半精加工 | K20 K30 |
| 钨 钛 钴 类 | YT5 | 1 430 | 89.5 | 适于碳素钢与合金钢(包括钢锻件、冲压件及铸件的表皮)加工不平整断面与间断切削时的粗车、粗刨、半精刨,非连续面的粗铣及钻孔 | P30 |
| | YT14 | 1 270 | 90.5 | 适于在碳素钢及合金钢加工中,不平整断面和连续切削时的粗车,间断切削时的半精车与精车,连续断面的粗铣,铸孔的扩钻与粗扩 | P20 |

续 表

| 类型 | 牌号 | 机械性能 | | 用 途 | 相当 ISO |
|----------|---------------|----------------------|--------------------|--|------------|
| | | 抗弯强度 不低于 (MPa) | 硬度 不低于 (HRA) | | |
| 钨钛钴类 | YT15 | 1 180 | 91 | 适于碳素钢及合金钢加工中,连续切削时的粗车、半精车及精车,间断切削时的小断面精车,旋风车丝,连续面的半精铣与精铣,孔的粗扩与精扩 | P15 |
| | YT30 | 880 | 92.5 | 适于碳素钢及合金钢工件的精加工,如小断面精车、精镗、精扩等 | P01 |
| 钨钛钽(铌)钴类 | YG6A | 1 370 | 91.5 | 适于硬铸铁、有色金属及其合金的半精加工,亦适于高锰钢、淬火钢、合金钢的半精加工及精加工 | K10 |
| | YW1 | 1 180 | 91.5 | 适于耐热钢、高锰钢、不锈钢等难加工钢材及普通钢和铸铁的加工 | M10 |
| | YW2 | 1 350 | 90.5 | 适用于耐热钢、高锰钢、不锈钢及高级合金钢等材料的粗加工、半精加工,普通钢材和铸铁的加工 | M20 |
| | YW3 | 1 300 | 92 | 适于合金钢、高强度钢、低合金、超强度钢的精加工和半精加工,亦可在冲击力小的情况下粗加工 | M10 M20 |
| | YW10 (YW4) | 1 230 | 91.5 | 适于碳素钢、除镍基以外的大多数合金钢、调质钢,特别适于不锈钢的精加工 | M10 P10 |
| | YW2A | 1 370 | 91 | 适于耐热钢、高锰钢、不锈钢及高级合金钢等特殊难加工钢材的加工、半精加工,普通钢材和铸铁的加工 | M20 |

续 表

| 类型 | 牌号 | 机械性能 | | 用 途 | 相当 ISO |
|-------|------|----------------------|--------------------|---|--------|
| | | 抗弯强度 不低于 (MPa) | 硬度 不低于 (HRA) | | |
| 碳化钛基类 | YN05 | 930 | 93.3 | 适于钢、铸钢件和合金铸铁的高 速精加工,机床-工件-刀具系统 刚度特别好的细长件精加工 | P01 |
| | YN10 | 1 080 | 92.0 | 适于碳素钢、合金钢、工具钢 及淬火钢的连续面精加工。对 于较长件和表面粗糙度要求高 的工件,加工效果最佳 | P10 |

注: 牌号说明: Y——表示硬质合金(“硬”的汉语拼音第一个字母);
G——钴,其后数字表示合金中的含钴量;
X——细颗粒合金;
A——含 TaC(NbC)的钨钴类合金;在牌号后表示加钽元素;
T——碳化钛,其后数字表示合金中的 TiC 含量;
W——通用合金;
N——不含钴的以镍、钼作黏结剂的合金;牌号后表示加钼元素。
例如: YG6X—细颗粒含钴量 6%(化学成分)的钨钴类硬质合金。

2. 新牌号硬质合金

新牌号硬质合金性能及用途见表 14.1-31。

表 14.1-31 一些国产新牌号硬质合金的性能和使用范围

| 牌 号 | 硬度 (HRA) | 抗弯强度 (MPa) | 相当 ISO | 使用性能 | 使用范围 |
|-----------------|-------------|---------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------|
| YT05 (YT2) | 92.5 | 1 100 | P05 | 耐磨性高,热稳定性良好,具有足够的高温硬度和韧性 | 适于淬硬钢、合金钢和高强度钢的精加工和半精加工 |
| YS25 (YTS25) | 91 | 2 000 | P20~P40、 M20~M30 | 耐磨性及韧性均较好,有较高的抗冲击和抗热震性能 | 适于碳素钢、铸钢、高锰钢、高强度钢及合金钢的粗车、铣削和刨削 |

续 表

| 牌 号 | 硬度 (HRA) | 抗弯强度 (MPa) | 相当 ISO | 使用性能 | 使用范围 |
|-----------------------------|-------------|---------------|---------|--|---|
| YS2T (YG10H) (YG10HT) | 91.5 | 2 200 | M30、K30 | 属超细晶粒合金,耐磨性较好,抗冲击和抗震动性能高 | 用于加工钴基、镍基高温合金,钛合金,耐热不锈钢,耐热合金堆焊层。适于低速粗车和铣削加工,作切断刀和丝锥尤佳。也可用于钻孔、镗孔、滚齿等 |
| YD05 (YC09) | 93.5 | 1 300 | K01 | 属超细晶粒合金,有高的硬度和耐磨性,良好的热稳定性及导热性,抗塑性变形能力强 | 用于各种镍基、钴基、铁基及含碳化钨自熔性喷涂合金材料的车、铣、刨加工 |
| YD10 (YG1101) | 92 | 1 600 | K10 | 属超细晶粒合金,有高的韧性和耐磨性 | 各种小模数齿轮滚刀,铣刀,所有成形刀具以及自动机床用的各种刀具,最适于切削易切钢及有色金属 |
| YD15 (YGRM) (6J) | 91.5 | 1 800 | M10、K10 | 属超细晶粒合金,耐磨性优良,抗冲击和抗震动性能好,抗黏刀能力强 | 适于精车、半精车钛合金、镍基高温合金,也可用于上述材料铣削;可加工各类铸铁及高强度钢 |

续 表

| 牌 号 | 硬度 (HRA) | 抗弯强度 (MPa) | 相当 ISO | 使用性能 | 使用范围 |
|----------------|-------------|---------------|---------|---|---|
| YM10 (YW4) | 92 | 1 250 | P10、M10 | 具有极好的耐 高温性能和抗黏 结能力,通用性 良好 | 适于碳素钢、除 镍基以外的大多 数合金钢、调质 钢,特别适于不锈 钢的精加工 |
| YM051 (YH1) | 92.5 | 1 600 | K10 | 属超细晶粒合 金,耐磨性高,热 稳定性好,韧性 好,通用性强 | 适于铁基及镍 基耐热合金、高强 度钢、淬硬钢、特 殊耐热不锈钢、高 锰钢的粗、精加 工;冷硬铸铁及陶 瓷、花岗岩的加工; 镍铬硼硅喷涂 层、硅钢片、铝合 金和高硅铝合金 的加工;钨、钼等 难熔金属加工 |
| YM052 (YH2) | 92.5 | 1 600 | K05~K10 | 属超细晶粒合 金,耐磨性高,热 稳定性好,通用 性强 | 适于特种耐热 不锈钢、高强度 钢、高锰钢的粗、 精加工;淬硬钢的 精加工与半精加 工;冷硬铸铁的 粗、精加工;亦适 于铁基耐热合金 的精加工和半精 加工;也可加工玻 璃制品 |

续 表

| 牌 号 | 硬度 (HRA) | 抗弯强度 (MPa) | 相当 ISO | 使用性能 | 使用范围 |
|----------------|-------------|---------------|---------|--------------------------------------|--|
| YM053 (YH3) | 92.5 | 1 600 | K05~K10 | 属超细晶粒合金,耐磨性优良,热稳定性好 | 适于高镍冷硬铸铁,球墨无限冷硬铸铁,白口铁的粗、精加工;亦适于一般铸铁的粗、精加工 |
| YC45 (YT50) | 90.5 | 2 200 | P40~P50 | 具有高的强度和抗冲击性能 | 用于制造重型刀具,对铸件及各种钢锻件表皮粗车可获得良好效果 |
| YT535 | 90.5 | 1 800 | P25~P35 | 具有较高的热稳定性和耐磨性,能承受较大的冲击负荷,是一个粗加工切削用牌号 | 适于碳素钢、合金钢、铸件、锻件、冒口、外皮的车、铣粗加工 |
| YT707 | 92 | 1 450 | P10、M10 | 热稳定性和耐磨性好,有较好的综合性能 | 适于高强合金钢、高速钢、弹簧钢的精加工和半精加工,适于加工螺纹 |
| YT726 | 92 | 1 400 | M20 | 有高的耐磨性和热稳定性 | 适于耐热合金、高强度钢、淬硬钢及 62HRC 以下喷焊材料的半精加工和精加工、加工冷硬铸铁、喷焊、堆焊材料等 |

续 表

| 牌 号 | 硬度 (HRA) | 抗弯强度 (MPa) | 相当 ISO | 使用性能 | 使用范围 |
|---------------|-------------|---------------|----------------|---------------------------------|---|
| YT758 | 91.5 | 1 450 | P10~P20 M20 | 热稳定性、抗氧化性能优于 YW2, 高温硬度高, 耐磨性好 | 适于调质结构钢、铸钢、超高强度钢、高锰钢、淬硬钢、轧辊及硬度高于 60HRC 喷焊件的铣削和间断车削 |
| YT767 | 91.5 | 1 500 | M10~M20 | 通用性较强, 硬度和强度均较好, 断续及连续切削均可 | 适于高锰钢、高强高钢、铸钢、不回火铸铁、合金铸铁、白口铁、调质合金钢、较硬钢的铣削与车削 |
| YG600 (0#) | 93.5 | 1 000 | K01~K05 | 具有很高的热稳定性和耐磨性 | 在稳定条件下, 以较高的切削速度和较小的进给量对合金铸铁、玻璃钢、花岗岩、玻璃、陶瓷、氧化铝砂轮、硅棒等特硬材料进行精加工 |
| YG610 | 93 | 1 200 | K01~K05 | 属超细晶粒合金, 具有高的耐磨性和热稳定性, 较好的强度和韧性 | 适于冷硬铸铁、合金铸铁、渗碳层、喷焊、堆焊及 65HRC 以下的淬硬钢的连续车削 |

续 表

| 牌 号 | 硬度 (HRA) | 抗弯强度 (MPa) | 相当 ISO | 使用性能 | 使用范围 |
|-----------------|-------------|---------------|----------------|--|--|
| YG640 (4#) | 90.5 | 1 800 | M40 K30~K40 | 韧性高,抗冲击 能力强,抗氧化性 能好 | 适于耐热合金 钢、高强度钢的拉 削、铣削、刨削及 断续车削,适于大 型铸件的连续或 间断切削 |
| YG643 YG643M | 93 | 1 500 | M10 K05~K10 | 属亚细晶粒合 金,有较高的耐磨 性和抗氧化性,良 好的抗黏刀性,好 的韧性和热稳 定性 | 适于高温合金、 不锈钢及超高强 度钢的精加工和 半精加工,还可 用于60HRC以上 特硬轧辊、冷硬 白口铸铁、喷焊 、堆焊件的加 工 |
| YG532 | 91.5 | 1 800 | M20 K20~K30 | 属细晶粒合金, 具有较高的硬度 和韧性,有较好 的耐磨性能和抗 黏结性能 | 适于奥氏体、马 氏体不锈钢、无 磁钢、高温合金 、合金铸铁等大 型工件的粗、精 加工 |

三、非金属材料

(一) 工程塑料

塑料是以合成树脂为主要成分的有机高分子材料。它具有质轻、绝缘、耐磨、耐蚀、易模塑成形、易切削加工等优点。其缺点是力学性能不如金属材料好,耐热性低、热膨胀系数大、尺寸稳定性差及容易老化等。表 14.1-32 为常用工程塑料的名称、特性与用途。

表 14.1-32 常用工程塑料名称、特性与用途

| 类别 | 名称 (代号) | 特 性 | 用途举例 |
|-----------------------|-------------------------|--|--|
| 热 塑 性 塑 料 | 聚酰胺 (尼龙) (PA) | 抗拉强度较高,冲击韧性好,在 100℃以下使用。耐磨,耐弱酸、弱碱。耐油性极好。导热率低,热膨胀大。有一定吸水性,尺寸不稳定,模型收缩率较高。切削加工性优 | 滑动轴承、齿轮、轴、凸轮、蜗轮、螺钉、减磨垫片、耐磨滑块、风扇叶片和装饰件 |
| | 聚甲醛 (POM) | 抗拉强度、冲击韧性、刚性、疲劳强度、抗蠕变性能都很高。尺寸稳定,吸水性小,摩擦系数小,耐化学药品性能好。耐热性差,在 -40℃~100℃使用。切削加工性优 | 滑动轴承、蜗轮、蜗杆、滚轮、阀门、法兰盘、垫圈、辊子、管道螺帽、衬套、手柄 |
| | 聚碳酸酯 (PC) | 具有优良的冲击韧性及抗蠕变性能,抗拉、抗弯、伸长率和弹性模量都较高。收缩率小,尺寸稳定性好。可在 -60℃~120℃使用。成形条件要求较高,耐蚀性尚可,切削加工性优 | 各种齿轮、蜗轮、蜗杆、齿条、轴承、心轴、铰链、螺栓、铆钉、仪表齿轮、电器零件 |
| | 聚四氟乙烯 (塑料王) (F-4) | 化学稳定性优异,耐强酸、强碱。摩擦系数很小,能自润滑。在 -180℃~250℃使用。缺点为力学性能差,热导率低,热膨胀系数大,耐磨性不高。切削加工性优 | 涨圈、阀座等耐蚀耐高温密封元件,耐蚀管道、衬里、容器、轴承、导轨、活塞环 |
| | 氯化聚醚 (聚氯醚) (PPOX) | 化学稳定性突出,仅次于 F-4,抗氧化性能优于 PA,力学性能及减磨耐磨性好。吸水率极小(0.01%),有高的尺寸稳定性。耐低温性能较差。切削加工性优 | 耐化学腐蚀的泵、阀门零件、密封件以及精密机械零件,如仪表轴承、机床导轨、小模数齿轮、化工管道 |

续表

| 类别 | 名称 (代号) | 特 性 | 用途举例 |
|-------|------------------------|--|--|
| 热塑性塑料 | 聚苯醚 (PPO) | 性能优于已有的一般工程塑料。抗蠕变性能突出,使用温度为 $-127^{\circ}\text{C}\sim 121^{\circ}\text{C}$ 。绝缘性优良,吸水性小,成形性好,但有应力开裂倾向 | 齿轮、轴承、凸轮、水泵叶轮、螺钉、化工设备零件、绝缘零件。可代替不锈钢作医疗器械 |
| | 聚氯乙烯 (PVC) | 耐腐蚀和绝缘性优良,硬质PVC强度较高,韧性及抗冲击强度均不高。耐热性差,在 60°C 以下使用。价格低廉。硬质PVC的切削加工性优 | 化工机械零件,电器零部件,通用机械零件,手轮、手柄、酸碱槽、吸收塔、泵、管 |
| 热固性塑料 | 酚醛塑料 (俗称电木) (PF) | 价廉,工艺性好,力学性能好,刚性大。耐酸碱性及电绝缘性能良好,耐热性高(100°C 以上)。缺点是较脆,耐光性差,色调有限。切削加工性尚可 | 汽车刹车片、潜水泵的密封件、轴承、轴瓦、齿轮、制动装置及离合器零件、插头、开关 |
| | 氨基塑料 | 价廉,易着色,易于模塑成形,耐溶剂性良好,但易变形,易老化,不适于湿热条件下工作 | 用于一般机械零件、绝缘件及装饰件 |
| | 环氧塑料 (EP) | 强度高,韧性好。化学稳定性、绝缘性、成形工艺性均较好,长期使用温度为 $-80^{\circ}\text{C}\sim 155^{\circ}\text{C}$ 。切削加工性良好 | 汽车零部件、塑料模具、电气绝缘零件、船用零部件 |

(二) 橡胶

橡胶是一种弹性高分子材料。按原材料的来源分为天然橡胶和合成橡胶。表 14.1-33 为按应用范围分类的常用橡胶的名称、性能及用途。

表 14.1-33 常用橡胶的性能和用途

| 类别 | 名称 | 代号 | 使用温度 (°C) | 回弹性 | 耐磨性 | 耐浓碱性 | 耐油性 | 耐老化 | 用途 |
|------|--------|-----------------|--------------|-----|-----|------|-----|-----|---------------------------|
| 通用橡胶 | 天然橡胶 | NR | -60~100 | 好 | 中 | 中 | 差 | 差 | 轮胎、传动带、减震零件、缓冲绳、密封零件 |
| | 丁苯橡胶 | SBR | -60~120 | 中 | 好 | 中 | 差 | 中 | 轮胎、密封垫片、运输带、胶管、胶板 |
| | 顺丁橡胶 | BR | -70~100 | 好 | 好 | 好 | 差 | 中 | 轮胎、耐寒运输带、胶带、胶管、O形圈 |
| | 丁腈橡胶 | NBR | -55~130 | 中 | 中 | 中 | 好 | 中 | 油封、耐油密封件、输油管、油箱 |
| | 氯丁橡胶 | CR | -35~130 | 中 | 中 | 好 | 好 | 好 | 密封圈、胶管、电线包皮、印刷胶辊 |
| 特种橡胶 | 聚氨酯 | AU、EU | -60~80 | 中 | 好 | 差 | 好 | 好 | 密封圈、胶管、耐磨制品、能量吸收装置 |
| | 三元乙丙橡胶 | EPDM | -60~150 | 中 | 中 | 好 | 差 | 好 | 散热管、胶管、绝缘体、胶布、轮胎内胎 |
| | 氟橡胶 | FPM | -40~250 | 中 | 中 | 中 | 好 | 好 | 高级密封件、高真空耐蚀件、垫片、胶辊 |
| | 硅橡胶 | MQ、MVQ、MPQ、MPVQ | -70~280 | 差 | 差 | 中 | 差 | 好 | 高低温油封、O形圈、减震器、绝缘体、膜片 |
| | 聚硫橡胶 | ET、EOT | -50~100 | 差 | 差 | 好 | 好 | 好 | 耐油密封圈、汽油槽衬里、耐油胶管、薄膜、电缆包覆膜 |

第二节 公差与配合

一、标准公差与偏差

(一) 标准公差等级代号与数值

标准公差等级代号用“IT”和数字组成。标准规定了 IT01、IT0、IT1~IT18 共 20 级,并规定了各等级公差的数值,见表 14.2-1。

(二) 基本偏差代号

标准规定基本偏差代号用拉丁字母(可按英文字母读音)表示,为区别孔、轴基本偏差,对孔用大写字母 A、B…ZC 表示,对轴用对应的小写字母 a、b…zc 表示。

表 14.2-2、表 14.2-3 列出了基本尺寸至 280 mm 的轴和孔的基本偏差数值。孔的上偏差用 ES,下偏差用 EI 表示;轴的上偏差用 es,下偏差用 ei 表示。

(三) 基本偏差系列(图 14.2-1)

基本偏差是用以确定公差带相对零线位置的极限偏差。由图 14.2-1 可看出,对所有公差带,基本偏差都是靠近零线的。由此,轴的基本偏差从 a 到 h 为上偏差 es,从 j 到 zc 为下偏差 ei;孔的基本偏差从 A 到 H 为下偏差 EI,从 J 到 ZC 为上偏差 ES。

H 与 h 的基本偏差为零,故 H 代表基准孔,h 代表基准轴。

(四) 公差带、配合的表示

1. 公差带的表示

公差带的表示用基本偏差代号(公差带位置)和标准公差等级代号(公差带大小)组成。例如: H8、f7。

对标注公差的尺寸可用下列方式之一表示:

(1) 基本尺寸后加所要求的公差带,例如: 100f7。

表 14.2-1 常用标准公差数值

| 基本尺寸 (mm) | | 标准公差等级 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | IT1 | IT2 | IT3 | IT4 | IT5 | IT6 | IT7 | IT8 | IT9 | IT10 | IT11 | IT12 | IT13 | IT14 | IT15 | IT16 | IT17 | IT18 |
| 大于 | 至 | μm | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| — | 3 | 0.8 | 1.2 | 2 | 3 | 4 | 6 | 10 | 14 | 25 | 40 | 60 | 0.10 | 0.14 | 0.25 | 0.40 | 0.60 | 1.0 | 1.4 |
| 3 | 6 | 1 | 1.5 | 2.5 | 4 | 5 | 8 | 12 | 18 | 30 | 48 | 75 | 0.12 | 0.18 | 0.30 | 0.48 | 0.75 | 1.2 | 1.8 |
| 6 | 10 | 1 | 1.5 | 2.5 | 4 | 6 | 9 | 15 | 22 | 36 | 58 | 90 | 0.15 | 0.22 | 0.36 | 0.58 | 0.90 | 1.5 | 2.2 |
| 10 | 18 | 1.2 | 2 | 3 | 5 | 8 | 11 | 18 | 27 | 43 | 70 | 110 | 0.18 | 0.27 | 0.43 | 0.70 | 1.10 | 1.8 | 2.7 |
| 18 | 30 | 1.5 | 2.5 | 4 | 6 | 9 | 13 | 21 | 33 | 52 | 84 | 130 | 0.21 | 0.33 | 0.52 | 0.84 | 1.30 | 2.1 | 3.3 |
| 30 | 50 | 1.5 | 2.5 | 4 | 7 | 11 | 16 | 25 | 39 | 62 | 100 | 160 | 0.25 | 0.39 | 0.62 | 1.00 | 1.60 | 2.5 | 3.9 |
| 50 | 80 | 2 | 3 | 5 | 8 | 13 | 19 | 30 | 46 | 74 | 120 | 190 | 0.30 | 0.46 | 0.74 | 1.20 | 1.90 | 3.0 | 4.6 |
| 80 | 120 | 2.5 | 4 | 6 | 10 | 15 | 22 | 35 | 54 | 87 | 140 | 220 | 0.35 | 0.54 | 0.87 | 1.40 | 2.20 | 3.5 | 5.4 |
| 120 | 180 | 3.5 | 5 | 8 | 12 | 18 | 25 | 40 | 63 | 100 | 160 | 250 | 0.40 | 0.63 | 1.00 | 1.60 | 2.50 | 4.0 | 6.3 |
| 180 | 250 | 4.5 | 7 | 10 | 14 | 20 | 29 | 46 | 72 | 115 | 185 | 290 | 0.46 | 0.72 | 1.15 | 1.85 | 2.90 | 4.6 | 7.2 |
| 250 | 315 | 6 | 8 | 12 | 16 | 23 | 32 | 52 | 81 | 130 | 210 | 320 | 0.52 | 0.81 | 1.30 | 2.10 | 3.20 | 5.2 | 8.1 |
| 315 | 400 | 7 | 9 | 13 | 18 | 25 | 36 | 57 | 89 | 140 | 230 | 360 | 0.57 | 0.89 | 1.40 | 2.30 | 3.60 | 5.7 | 8.9 |
| 400 | 500 | 8 | 10 | 15 | 20 | 27 | 40 | 63 | 97 | 155 | 250 | 400 | 0.63 | 0.97 | 1.55 | 2.50 | 4.00 | 6.3 | 9.7 |

注：基本尺寸小于 1 mm 时，无 IT14~IT18。

续表

| 基本偏差 | | 下 偏 差 (ei) | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----|------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | k | m | n | p | r | s | t | u | v | x | y | z | za | zb | zc |
| 基本尺寸(mm) | | 所 有 等 级 | | | | | | | | | | | | | | |
| 大于 | 至 | | | | | | | | | | | | | | | |
| — | 3 | 0 | +2 | +4 | +6 | +10 | +14 | — | +18 | — | +20 | — | +26 | +32 | +40 | +60 |
| 3 | 6 | +1 | +4 | +8 | +12 | +15 | +19 | — | +23 | — | +28 | — | +35 | +42 | +50 | +80 |
| 6 | 10 | +1 | +6 | +10 | +15 | +19 | +23 | — | +28 | — | +34 | — | +42 | +52 | +67 | +97 |
| 10 | 14 | +1 | +7 | +12 | +18 | +23 | +28 | — | +33 | — | +40 | — | +50 | +64 | +90 | +130 |
| 14 | 18 | 0 | | | | | | | | +39 | +45 | — | +60 | +77 | +108 | +150 |
| 18 | 24 | +2 | +8 | +15 | +22 | +28 | +35 | — | +41 | +47 | +54 | +63 | +73 | +98 | +136 | +188 |
| 24 | 30 | | | | | | | +41 | +48 | +55 | +64 | +75 | +88 | +118 | +160 | +218 |
| 30 | 40 | +2 | +9 | +17 | +26 | +34 | +43 | +48 | +60 | +68 | +80 | +94 | +112 | +148 | +200 | +274 |
| 40 | 50 | | | | | | | +54 | +70 | +81 | +97 | +114 | +136 | +180 | +242 | +325 |
| 50 | 65 | +2 | +11 | +20 | +32 | +41 | +53 | +66 | +87 | +102 | +122 | +144 | +172 | 226 | +300 | +405 |
| 65 | 80 | | | | | | | +43 | +59 | +75 | +102 | +146 | +210 | 274 | +360 | +480 |
| 80 | 100 | +3 | +13 | +23 | +37 | +51 | +71 | +91 | +124 | +146 | +178 | +214 | +258 | +335 | +445 | +585 |
| 100 | 120 | | | | | | | +54 | +79 | +104 | +144 | +210 | +310 | +400 | +525 | +690 |
| 120 | 140 | | | | | | | +63 | +92 | +122 | +170 | +248 | +365 | +470 | +620 | +800 |
| 140 | 160 | +3 | +15 | +27 | +43 | +65 | +100 | +134 | +190 | +228 | +280 | +340 | +415 | +535 | +700 | +900 |
| 160 | 180 | | | | | | | +68 | +108 | +146 | +210 | +252 | +310 | +465 | +600 | +780 |
| 180 | 200 | | | | | | | +77 | +122 | +166 | +236 | +284 | +350 | +520 | +670 | +880 |
| 200 | 225 | +4 | +17 | +31 | +50 | +80 | +130 | +180 | +258 | +310 | +385 | +470 | +575 | +740 | +960 | +1250 |
| 225 | 250 | | | | | | | +84 | +140 | +196 | +284 | +340 | +425 | +640 | +820 | +1050 |

注: 1. 基本尺寸小于 1 mm 时, 各级的 a 和 b 均不采用。

2. js 的数值: 对 IT7~IT11, 若 IT 的数值(μm)为奇数, 则取 $js = \pm(IT-1)/2$ 。

表 14.2-3 常用孔的基本偏差数值

| 基本偏差 | | 下 偏 差 (EI) | | | | | | | | | | | JS |
|----------|-----|------------|------|------|-----|------|------|-----|-----|----|-----|---|----|
| | | A | B | C | CD | D | E | EF | F | FG | G | H | |
| 基本尺寸(mm) | | 公 差 等 级 | | | | | | | | | | | |
| 大于 | 至 | 所 有 等 级 | | | | | | | | | | | |
| — | 3 | +270 | +140 | +60 | +34 | +20 | +14 | +10 | +6 | +4 | +2 | 0 | |
| 3 | 6 | +270 | +140 | +70 | +46 | +30 | +20 | +14 | +10 | +6 | +4 | 0 | |
| 6 | 10 | +280 | +150 | +80 | +56 | +40 | +25 | +18 | +13 | +8 | +5 | 0 | |
| 10 | 14 | +290 | +150 | +95 | — | +50 | +32 | — | +16 | — | +6 | 0 | |
| 14 | 18 | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 24 | +300 | +160 | +110 | — | +65 | +40 | — | +20 | — | +7 | 0 | |
| 24 | 30 | | | | | | | | | | | | |
| 30 | 40 | +310 | +170 | +120 | — | +80 | +50 | — | +25 | — | +9 | 0 | |
| 40 | 50 | +320 | +180 | +130 | — | +100 | +60 | — | +30 | — | +10 | 0 | |
| 50 | 65 | +340 | +190 | +140 | — | +120 | +72 | — | +36 | — | +12 | 0 | |
| 65 | 80 | +360 | +200 | +150 | — | +145 | +85 | — | +43 | — | +14 | 0 | |
| 80 | 100 | +380 | +220 | +170 | — | +170 | +100 | — | +50 | — | +15 | 0 | |
| 100 | 120 | +410 | +240 | +180 | — | +190 | +110 | — | +56 | — | +17 | 0 | |
| 120 | 140 | +460 | +260 | +200 | — | | | | | | | | |
| 140 | 160 | +520 | +280 | +210 | — | | | | | | | | |
| 160 | 180 | +580 | +310 | +230 | — | | | | | | | | |
| 180 | 200 | +660 | +340 | +240 | — | | | | | | | | |
| 200 | 225 | +740 | +380 | +260 | — | | | | | | | | |
| 225 | 250 | +820 | +420 | +280 | — | | | | | | | | |
| 250 | 280 | +920 | +480 | +300 | — | | | | | | | | |

$$\text{偏差} = \pm \frac{IT}{2}$$

续表

| 基本偏差 | | 上 偏 差 (ES) | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|------------|-----|-----|------|------|-------|-----|-------|----|-----|-----|------|
| | | J | K | M | N | P至ZC | P | R | S | | | | |
| 基本尺寸 (mm) | | 公 差 等 级 | | | | | | | | | | | |
| 大于 | 至 | 6 | 7 | 8 | ≤8 | >8 | ≤8 | >8 | ≤8 | >8 | ≤7 | ≤7 | >7 |
| — | 3 | +2 | +4 | +6 | 0 | 0 | -2 | -2 | -4 | -4 | -6 | -10 | -14 |
| 3 | 6 | +5 | +6 | +10 | -1+Δ | — | -4+Δ | -4 | -8+Δ | 0 | -12 | -15 | -19 |
| 6 | 10 | +5 | +8 | +12 | -1+Δ | — | -6+Δ | -6 | -10+Δ | 0 | -15 | -19 | -23 |
| 10 | 14 | +6 | +10 | +15 | -1+Δ | — | -7+Δ | -7 | -12+Δ | 0 | -18 | -23 | -28 |
| 14 | 18 | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 24 | +8 | +12 | +20 | -2+Δ | — | -8+Δ | -8 | -15+Δ | 0 | -22 | -28 | -35 |
| 24 | 30 | | | | | | | | | | | | |
| 30 | 40 | +10 | +14 | +24 | -2+Δ | — | -9+Δ | -9 | -17+Δ | 0 | -26 | -34 | -43 |
| 40 | 50 | | | | | | | | | | | | |
| 50 | 65 | +13 | +18 | +28 | -2+Δ | — | -11+Δ | -11 | -20+Δ | 0 | -32 | -41 | -53 |
| 65 | 80 | | | | | | | | | | | | |
| 80 | 100 | +16 | +22 | +34 | -3+Δ | — | -13+Δ | -13 | -23+Δ | 0 | -37 | -51 | -71 |
| 100 | 120 | | | | | | | | | | | | |
| 120 | 140 | | | | | | | | | | | | |
| 140 | 160 | +18 | +26 | +41 | -3+Δ | — | -15+Δ | -15 | -27+Δ | 0 | -43 | -63 | -92 |
| 160 | 180 | | | | | | | | | | | | |
| 180 | 200 | | | | | | | | | | | | |
| 200 | 225 | +22 | +30 | +47 | -4+Δ | — | -17+Δ | -17 | -31+Δ | 0 | -50 | -77 | -122 |
| 225 | 250 | | | | | | | | | | | | |

在 >7 级的相应数值上增加一个 Δ 值

| 基本偏差 | 上 偏 差 (ES) | | | | | | | | | | | Δ | | | |
|--------------|------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-----|-----|---|---|----|----|
| | T | U | V | X | Y | Z | ZA | ZB | ZC | | | | | | |
| 基本尺寸 (mm) | 公 差 等 级 | | | | | | | | | | | | | | |
| 大于 | >7 | | | | | | | | | | | | | | |
| 至 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| — | — | —18 | — | —20 | — | —26 | —32 | —40 | —60 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 3 | — | —23 | — | —28 | — | —35 | —42 | —50 | —80 | 1 | 1.5 | 1 | 3 | 4 | 6 |
| 6 | — | —28 | — | —34 | — | —42 | —52 | —67 | —97 | 1 | 1.5 | 2 | 3 | 6 | 7 |
| 10 | — | —33 | — | —40 | — | —50 | —64 | —90 | —130 | 1 | 2 | 3 | 3 | 7 | 9 |
| 14 | — | —39 | — | —45 | — | —60 | —77 | —108 | —150 | | | | | | |
| 18 | — | —41 | — | —54 | —63 | —73 | —98 | —136 | —188 | | | | | | |
| 24 | —41 | —48 | —55 | —64 | —75 | —88 | —118 | —160 | —218 | 1.5 | 2 | 3 | 4 | 8 | 12 |
| 30 | —48 | —60 | —68 | —80 | —94 | —112 | —148 | —200 | —274 | 1.5 | 3 | 4 | 5 | 9 | 14 |
| 40 | —54 | —70 | —81 | —97 | —114 | —136 | —180 | —242 | —325 | | | | | | |
| 50 | —66 | —87 | —102 | —122 | —144 | —172 | —226 | —300 | —405 | 2 | 3 | 5 | 6 | 11 | 16 |
| 65 | —75 | —102 | —120 | —146 | —174 | —210 | —274 | —360 | —480 | | | | | | |
| 80 | —91 | —124 | —146 | —178 | —214 | —258 | —335 | —445 | —585 | 2 | 4 | 5 | 7 | 13 | 19 |
| 100 | —104 | —144 | —172 | —210 | —254 | —310 | —400 | —525 | —690 | | | | | | |
| 120 | —122 | —170 | —202 | —248 | —300 | —355 | —470 | —620 | —800 | | | | | | |
| 140 | —134 | —190 | —228 | —280 | —340 | —415 | —535 | —700 | —900 | 3 | 4 | 6 | 7 | 15 | 23 |
| 160 | —146 | —210 | —252 | —310 | —380 | —465 | —600 | —780 | —1000 | | | | | | |
| 180 | —166 | —236 | —284 | —350 | —425 | —520 | —670 | —880 | —1150 | | | | | | |
| 200 | —180 | —258 | —310 | —385 | —470 | —575 | —740 | —960 | —1250 | 3 | 4 | 6 | 9 | 17 | 26 |
| 225 | —196 | —284 | —340 | —425 | —520 | —640 | —820 | —1050 | —1350 | | | | | | |

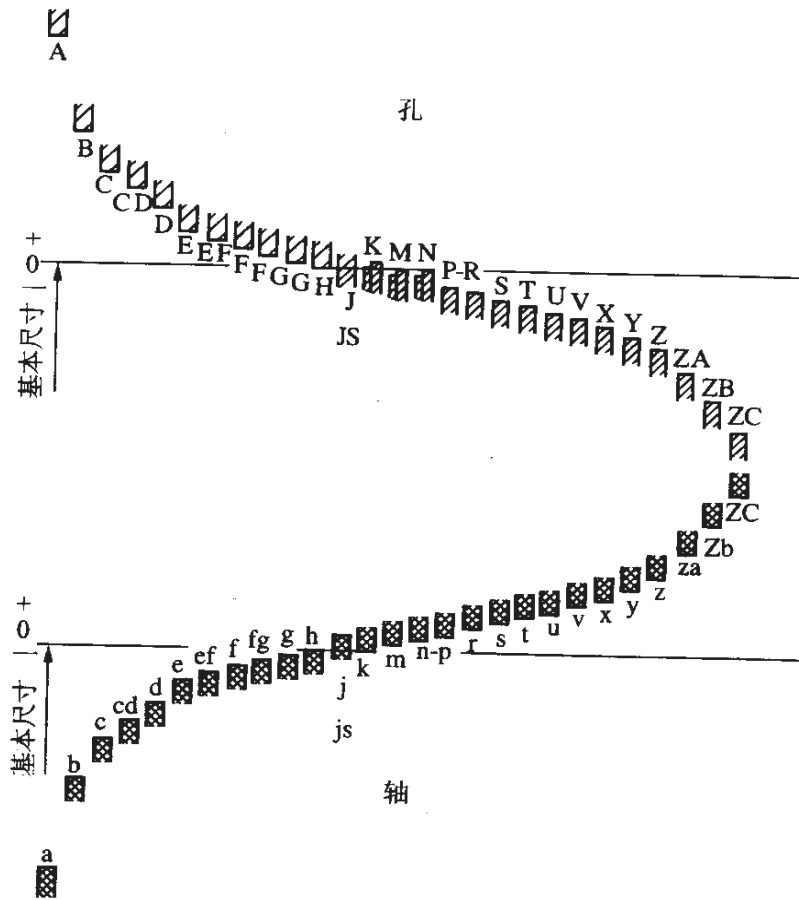


图 14.2-1 基本偏差系列示意图

(2) 基本尺寸后加所要求的公差带所对应的偏差值, 例如:
 $100_{-0.071}^{-0.036}$ 。

(3) 基本尺寸后加所要求的公差带和对应的偏差值, 例如:
 $100f7(-0.071)$ 。

2. 配合的表示

配合用相同的基本尺寸后加孔、轴公差带表示。可写成分数形式, 分子为孔公差带, 分母为轴公差带。例如: $50H8/f7$ 或 $50 \frac{H8}{f7}$ 。

当使用有限字母组装置传输信息时, 公差带和配合的表示, 需

在尺寸前标注以下字母：

对孔为 H 或 h；对轴为 S 或 s。例如：

对公差带：50H5 为 H50H5 或 h50h5；50h5 为 S50H5 或 s50h5。

对配合：52H7/g6 为 H52H7/S52G6 或 h52h7/s52g6。

但这种表示方法在图样上不能使用。

极限与配合的标注示例，见图 14.2-2。

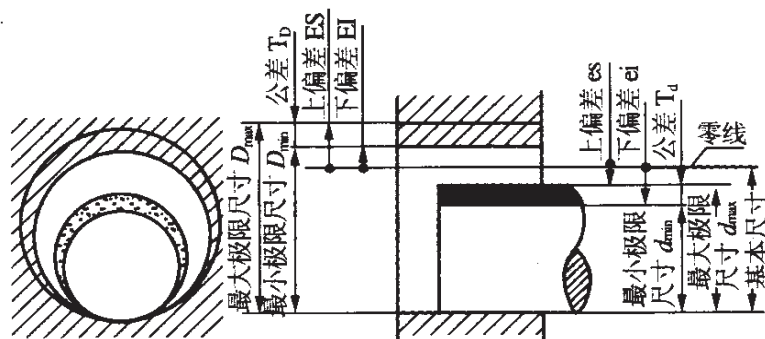


图 14.2-2 极限与配合标注示例

3. 基准制

在各种配合中，公差带位置固定不变的零件是配合的基准，称为基准孔或基准轴。

基孔制的配合是以孔的基本偏差为一定，不同的配合由改变轴的基本偏差得到。基准孔的基本偏差用 H 表示，其下偏差 EI=0。

基轴制的配合是以轴的基本偏差为一定，不同的配合由改变孔的基本偏差得到。在基轴制配合中，基准轴用基本偏差用 h 表示，其上偏差 es=0。

在一般情况下，优先选用基孔制配合，同时也允许采用任一孔、轴公差带组成的配合，例如 M7/g6。

轴或孔的基本偏差数值(见表 14.2-2 和表 14.2-3)确定后，另一偏差可由基本偏差和标准公差(IT)(表 14.2-1)求得。

例：

μm

| | | 基本偏差 (IT) | 标准公差 | 另一偏差 | 公差带 |
|---|--------------------|--------------------|-------|-------------------------------------|-----------------------|
| 轴 | $\phi 20\text{g}8$ | 上偏差 e_s -7 | $+33$ | 下偏差 e_i $e_i = e_s - IT = -40$ | $\phi 20_{-40}^{-7}$ |
| | $\phi 20\text{s}8$ | 下偏差 e_i $+35$ | $+33$ | 上偏差 e_s $e_s = e_i + IT = 68$ | $\phi 20_{+35}^{+68}$ |
| 孔 | $\phi 20\text{G}8$ | 下偏差 E_I $+7$ | $+33$ | 上偏差 E_S $E_S = E_I + IT = 40$ | $\phi 20_{+7}^{+40}$ |
| | $\phi 20\text{S}8$ | 上偏差 E_S -35 | $+33$ | 下偏差 E_I $E_I = E_S + IT = -68$ | $\phi 20_{-68}^{-35}$ |

4. 配合分类

根据孔、轴公差带相互关系，配合分为间隙配合、过渡配合和过盈配合。间隙配合用于孔、轴间的活动联结；过渡配合主要用于孔、轴间的定位联结；过盈配合主要用于孔、轴间的紧固联结，不允许两者有相对运动。

5. 公差等级的选择

对配合尺寸公差等级应用的大概情况如下：

IT5：使用得较少，用于间隙和过盈的一致性要求比较高的特别精密的配合。

IT6 和 IT7：用于机构的重要配合。在这种联结中，为了保证零件的精密位移、平稳运行、联结的密封，以及保证零件精确装配的需要，在间隙和过盈方面对配合提出了高要求。

IT8 和 IT9：用于对间隙或过盈的一致性要求较低，但能保证零件完成一定使用功能(传动、位移)的配合，也用于保证中等装配精度的配合。

IT10: 用于与 IT9 情况相同的间隙配合, 为了降低零件加工成本必须扩大公差, 而且装配或使用条件又允许配合间隙范围有些许加大。

IT11 和 IT12: 用于需要大间隙且允许间隙有很大波动的结合中, 它广泛用于机器的不重要配合(盖、凸缘、间隔圈等)、冲压件和塑料零件的配合。

选择公差等级时, 既要满足设计功能要求, 又要考虑工艺的可能及经济性。表 14.2-4 给出了常用加工方法的经济加工等级。

表 14.2-4 常用加工方法的加工经济精度

| 加工方法 | 公差等级 (IT) | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| | 01 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 磨削 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 拉削 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 钻孔 | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 扩孔 | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 铰孔 | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| 车 | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| 镗 | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| 铣 | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| 金刚石车 | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| 金刚石镗 | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| 滚挤压 | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | |
| 研磨 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 珩磨 | | | | | | | | | | | | | | | |

6. 常用和优先使用的公差带

常用和优先使用的公差带见图 14.2-3、图 14.2-4, 图中方框中的公差带为常用的, 圆圈中的公差带为优先使用的。选择配合时, 应尽可能选用表 14.2-5、表 14.2-6 推荐的优选配合。

表 14.2-5 基孔制常用、优先配合

| 基准孔 | 轴 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|------|---|---|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 间隙配合 | | | | | | | | | | 过渡配合 | | | | | | | | | | |
| | a | b | c | d | e | f | g | h | js | k | m | n | p | r | s | t | u | v | x | y | z |
| H6 | | | | | | $\frac{H6}{f5}$ | $\frac{H6}{g5}$ | $\frac{H6}{h5}$ | $\frac{H6}{js5}$ | $\frac{H6}{k5}$ | $\frac{H6}{m5}$ | $\frac{H6}{n5}$ | $\frac{H6}{p5}$ | $\frac{H6}{r5}$ | $\frac{H6}{s5}$ | $\frac{H6}{t5}$ | | | | | |
| H7 | | | | | | $\frac{H7}{f6}$ | $\frac{H7}{g6}$ | $\frac{H7}{h6}$ | $\frac{H7}{js6}$ | $\frac{H7}{k6}$ | $\frac{H7}{m6}$ | $\frac{H7}{n6}$ | $\frac{H7}{p6}$ | $\frac{H7}{r6}$ | $\frac{H7}{s6}$ | $\frac{H7}{t6}$ | $\frac{H7}{u6}$ | $\frac{H7}{v6}$ | $\frac{H7}{x6}$ | $\frac{H7}{y6}$ | $\frac{H7}{z6}$ |
| H8 | | | | | $\frac{H8}{e7}$ | $\frac{H8}{f7}$ | $\frac{H8}{g7}$ | $\frac{H8}{h7}$ | $\frac{H8}{js7}$ | $\frac{H8}{k7}$ | $\frac{H8}{m7}$ | $\frac{H8}{n7}$ | $\frac{H8}{p7}$ | $\frac{H8}{r7}$ | $\frac{H8}{s7}$ | $\frac{H8}{t7}$ | $\frac{H8}{u7}$ | | | | |
| H9 | | | | | $\frac{H8}{d8}$ | $\frac{H8}{f8}$ | | $\frac{H8}{h8}$ | | | | | | | | | | | | | |
| H10 | | | | $\frac{H9}{c9}$ | $\frac{H9}{d9}$ | $\frac{H9}{e9}$ | | $\frac{H9}{h9}$ | | | | | | | | | | | | | |
| H11 | | | | $\frac{H10}{c10}$ | $\frac{H10}{d10}$ | | $\frac{H10}{h10}$ | | | | | | | | | | | | | | |
| H12 | | | | $\frac{H11}{c11}$ | $\frac{H11}{d11}$ | | $\frac{H11}{h11}$ | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | $\frac{H12}{b12}$ | | | $\frac{H12}{h12}$ | | | | | | | | | | | | | | |

注：注 ▽ 符号者为优先配合。

表 14.2-6 基准制常用、优先配合

| 基准轴 | 孔 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|-----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---|---|---|---|--|
| | 间隙配合 | | | | | | 过渡配合 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | A | B | C | D | E | F | G | H | JS | K | M | N | P | R | S | T | U | V | X | Y | Z | |
| h5 | | | | | | $F6/h5$ | $G6/h5$ | $H6/h5$ | $JS6/h5$ | $K6/h5$ | $M6/h5$ | $N6/h5$ | $P6/h5$ | $R6/h5$ | $S6/h5$ | $T6/h5$ | | | | | | |
| h6 | | | | | | $F7/h6$ | $G7/h6$ | $H7/h6$ | $JS7/h6$ | $K7/h6$ | $M7/h6$ | $N7/h6$ | $P7/h6$ | $R7/h6$ | $S7/h6$ | $T7/h6$ | $U7/h6$ | | | | | |
| h7 | | | | | $E8/h7$ | $F8/h7$ | | $H8/h7$ | $J8/h7$ | $K8/h7$ | $M8/h7$ | $N8/h7$ | | | | | | | | | | |
| h8 | | | | $D8/h8$ | $E8/h8$ | $F8/h8$ | | $H8/h8$ | | | | | | | | | | | | | | |
| h9 | | | | $D9/h9$ | $E9/h9$ | $F9/h9$ | | $H9/h9$ | | | | | | | | | | | | | | |
| h10 | | | | $D10/h10$ | | | | $H10/h10$ | | | | | | | | | | | | | | |
| h11 | $A11/h11$ | $B11/h11$ | $C11/h11$ | $D11/h11$ | | | | $H11/h11$ | | | | | | | | | | | | | | |
| h12 | | $B12/h12$ | | | | | | $H12/h12$ | | | | | | | | | | | | | | |

注：注 ▽ 符号者为优先配合。

二、形状和位置公差

(一) 形状位置公差及其他有关符号

形状位置公差及其他有关符号见表 14.2-7。

表 14.2-7 形位公差符号及其他有关符号(摘自 GB/T1182—1996)

| 公差及其特征项目 | | 符号 | 公差及其特征项目 | | 符号 | |
|----------|----|------|----------|----|---------|----|
| 形状公差 | 形状 | 直线度 | — | 定向 | 垂直度 | ⊥ |
| | | 平面度 | □ | | 倾斜度 | ∠ |
| | | 圆度 | ○ | 定位 | 位置度 | ⊕ |
| | | 圆柱度 | ⌀ | | 同轴(同心)度 | ◎ |
| | 轮廓 | 线轮廓度 | ⌒ | 跳动 | 对称度 | ≡ |
| | | 面轮廓度 | ⌒ | | 圆跳动 | ↗ |
| 位置公差 | 定向 | 平行度 | // | | 全跳动 | ↗↖ |

| 符号 | 意义 | 符号 | 对形位公差有附加要求 | 标注示例 |
|----------------|---------|-----|----------------------------|--------------|
| Ⓜ | 最大实体状态 | (+) | 若被测要素有误差,则只许中间向材料外凸起 | — 0.01(+) |
| ⓔ | 包容要求 | (-) | 若被测要素有误差,则只许中间向材料内凹下 | □ 0.08(-) |
| Ⓟ | 延伸公差带 | | | |
| 50 | 理论正确尺寸 | (<) | 若被测要素有误差,则只许按符号的(小端)方向逐渐减小 | // 0.05(>) A |
| Ⓢ _A | 基准目标的标注 | | | // 0.05(<) A |

(二) 形状和位置公差的未注公差

表 14.2-8 形状位置公差的未注公差 (GB/T1184—1996)

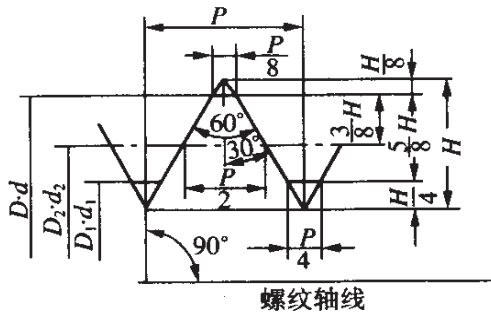
| 项目 | 公差值 | | 基准的选取 |
|--|--|----------------------------|---|
| | mm | | |
| 直线度、平面度 | 公差等级 | 基本长度范围 | |
| | | ≤ 10 | $> 10 \sim 30$ $> 30 \sim 100$ $> 100 \sim 300$ |
| | H | 0.02 0.05 0.1 0.2 | — |
| | K | 0.05 0.1 0.2 0.4 | — |
| L | 0.1 0.2 0.4 0.6 | — | |
| 注: 选择公差值时, 对于直线度应按其相应线的长度选择; 对于平面度, 应按其表面较长一侧或圆表面的直径选择 | | | |
| 圆度 | 圆度的未注公差值等于标准的直径公差值, 但不能大于径向圆跳动未注公差值 | | — |
| 圆柱度 | 圆柱度未注公差值不作规定。 注: 1. 圆柱度的误差由三个部分组成: 圆度、直线度和相对素线的平行度误差, 而其中每一项误差均由它们的注出公差或未注公差控制 2. 如功能要求, 圆柱度应小于圆度、直线度和平行度的未注公差的综合结果, 应在被测要素上按 GB/T1182 的规定注出圆柱度公差 3. 采用包容要求 | | — |
| 平行度 | 平行度未注公差值等于给出的尺寸公差值, 或是直线度和平行度未注公差值中的相应公差值取较大者 | | 取两要素中的较长者作为基准, 若两要素的长度相等, 则可任选一要素为基准 |

| 项目 | 公差值 | | 基准的选取 | |
|---------------|------|------------|---|------------------|
| 垂直度 | 公差等级 | mm | 取形成直角的两边中较长的一边作基准,较短的一边作为被测要素;若两边的长度相等,则可取其中的任意一边作为基准 | |
| | | 基本长度范围 | | |
| | | ≤ 100 | | $> 100 \sim 300$ |
| | | H | | 0.2 |
| 对称度 | 公差等级 | mm | 应取两要素中较长者作为基准,较短者作为被测要素;若两要素长度相等。则可以选任一要素为基准 | |
| | | 基本长度范围 | | |
| | | ≤ 100 | | $> 100 \sim 300$ |
| 同轴度 | 公差等级 | mm | 应选两要素中的较长者为基准,若两要素的长度相等则可任选一要素为基准 | |
| | | 基本长度范围 | | |
| | | H | | 0.5 |
| 圆跳动(径向、端面、斜向) | 公差等级 | mm | 应以设计或工艺给出的支承面作为基准,否则应取两要素中较长的一个作为基准;若两要素的长度相等,则可以任选一要素为基准 | |
| | | 圆跳动未注公差值 | | |
| | | H | | 0.1 |
| | | K | | 0.2 |
| | L | 0.5 | | |

三、螺纹公差

(一) 普通螺纹基本牙型及主要参数

普通螺纹的基本牙型是截去原始三角形的顶部和底部形成的螺纹牙型,具有螺纹基本尺寸(参见图 14.2-5)。



$$\text{原始三角形高度 } H = \frac{\sqrt{3}}{2} P = 0.866P$$

$$d_1(D_1) = d(D) - 2 \times \frac{5}{8} H$$

$$d_2(D_2) = d(D) - 2 \times \frac{3}{8} H$$

图 14.2-5 普通螺纹的基本牙型

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| D—内螺纹大径 | D ₂ —内螺纹中径 |
| d—外螺纹大径 | d ₂ —外螺纹中径 |
| D ₁ —内螺纹小径 | P—螺距 |
| d ₁ —外螺纹小径 | H—原始三角形高度 |

普通螺纹代号与标记:

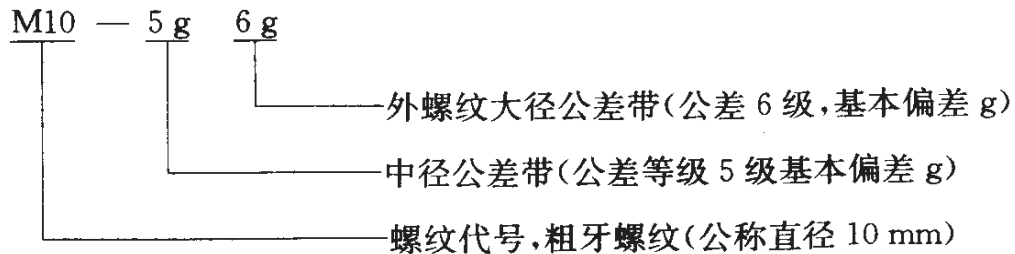
普通螺纹分为粗牙和细牙两种

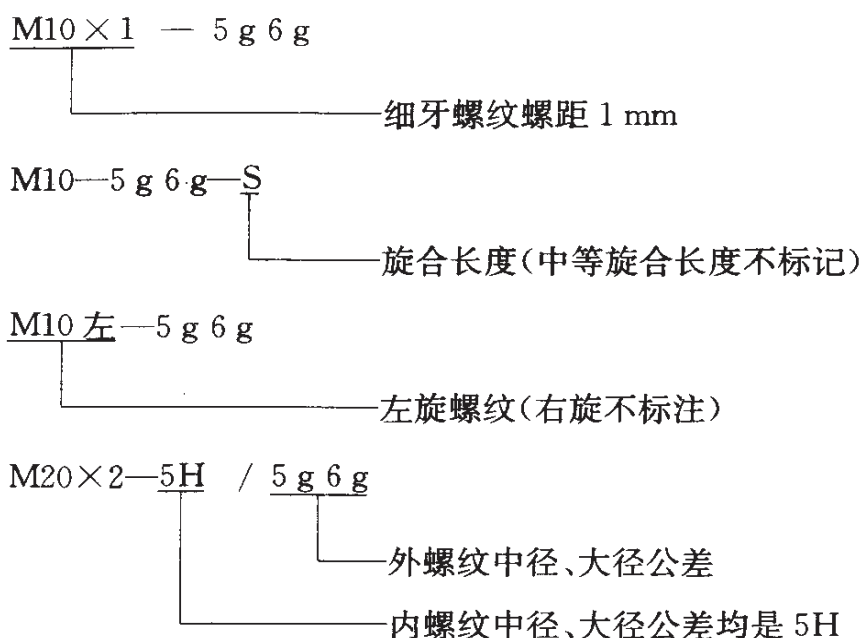
粗牙普通螺纹用字母“M”及“公称直径”表示,如 M8。

细牙普通螺纹用字母“M”及“公称直径×螺距”表示,如 M20×1.5。

当螺纹为左旋时,在螺纹代号之后加“左”字,如 M16 左。

螺纹标记方法举例:





(二) 普通螺纹基本尺寸

常用普通螺纹基本尺寸如表 14.2-9 所示。

表 14.2-9 常用普通螺纹基本尺寸(GB196—81) (mm)

| 公称直径 D, d (第一系列) | 螺距 P | 中径 D_2 或 d_2 | 小径 D_1 或 d_1 | 公称直径 D, d (第一系列) | 螺距 P | 中径 D_2 或 d_2 | 小径 D_1 或 d_1 |
|--------------------------|-----------|---------------------|---------------------|--------------------------|-----------|---------------------|---------------------|
| 5 | 0.8 | 4.480 | 4.134 | 12 | 1.25 | 11.188 | 10.647 |
| | 0.5 | 4.675 | 4.459 | | 1 | 11.350 | 10.917 |
| 6 | 1 | 5.350 | 4.917 | 16 | 2 | 14.701 | 13.835 |
| | 0.75 | 5.513 | 5.188 | | 1.5 | 15.026 | 14.376 |
| 8 | 1.25 | 7.188 | 6.647 | 20 | 1 | 15.350 | 14.917 |
| | 1 | 7.350 | 6.917 | | 2.5 | 18.376 | 17.294 |
| | 0.75 | 7.513 | 7.188 | | 2 | 18.701 | 17.835 |
| 10 | 1.5 | 9.026 | 8.376 | 24 | 1.5 | 19.026 | 18.376 |
| | 1.25 | 9.188 | 8.647 | | 1 | 19.350 | 18.917 |
| | 1 | 9.350 | 8.971 | | 3 | 22.051 | 20.752 |
| | 0.75 | 9.513 | 9.188 | | 2 | 22.701 | 21.835 |
| 12 | 1.75 | 10.863 | 10.106 | 1.5 | 23.026 | 22.376 | |
| | 1.5 | 11.026 | 10.376 | 1 | 23.350 | 22.917 | |

(三) 普通螺纹公差与配合

1. 普通螺纹公差制结构

国标将螺纹公差带的两个基本要素,即公差带的大小(公差等级)及公差带位置(基本偏差)标准化,组成公差带。内外螺纹配合由内外螺纹公差带组成,并考虑旋合长度对螺纹精度的影响,因而螺纹精度由螺纹公差与旋合长度构成,如图 14.2-6 所示。

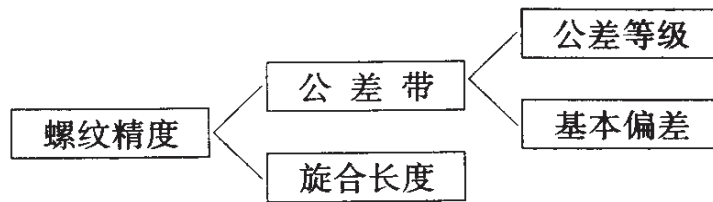


图 14.2-6 普通螺纹公差制结构

2. 螺纹公差等级

螺纹公差等级见表 14.2-10。

表 14.2-10 螺纹公差等级

| 螺纹直径 | | 公差等级 | 螺纹直径 | | 公差等级 |
|------|----------|-----------|------|----------|-------------------|
| 内螺纹 | 中径 D_2 | 4、5、6、7、8 | 外螺纹 | 中径 d_2 | 3、4、5、6、 7、8、9 |
| | 小径 D_1 | 4、5、6、7、8 | | 大径 d | 4、6、8 |

普通螺纹基本偏差,对内螺纹规定 G、H 两种,对外螺纹规定 e、f、g、h 四种(见图 1.3-7)。H、h 的基本偏差为零,G 的基本偏差为正值,e、f、g 的基本偏差为负值(图 14.2-7)。

3. 内外螺纹的基本偏差值

内外螺纹的基本偏差值见表 14.2-11。

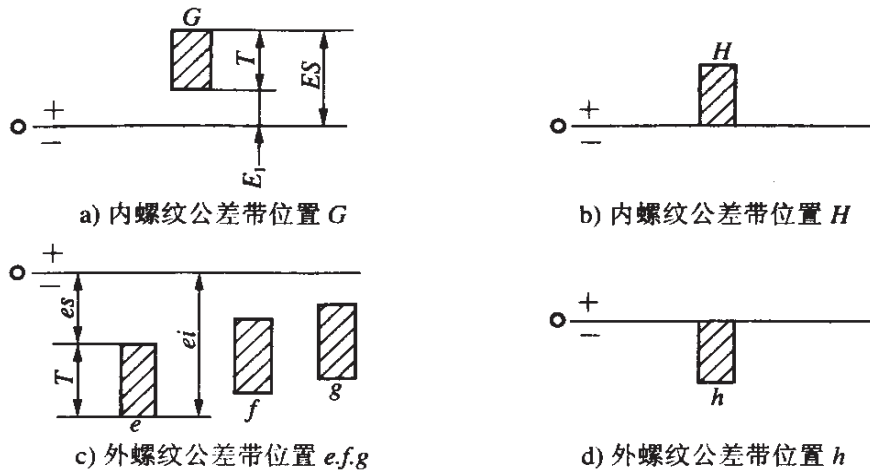


图 14.2-7 内外螺纹公差带位置

表 14.2-11 内外螺纹的基本偏差 (μm)

| 螺距 $P(\text{mm})$ | 基 本 偏 差 | | | | | |
|----------------------|----------------|---------|--------------|---------|---------|---------|
| | 内螺纹 D_2, D_1 | | 外螺纹 d, d_2 | | | |
| | G EI | H EI | e es | f es | g es | h es |
| 0.2 | +17 | 0 | — | — | -17 | 0 |
| 0.25 | +18 | 0 | — | — | -18 | 0 |
| 0.3 | +18 | 0 | — | — | -18 | 0 |
| 0.35 | +19 | 0 | — | -34 | -19 | 0 |
| 0.4 | +19 | 0 | — | -34 | -19 | 0 |
| 0.45 | +20 | 0 | — | -35 | -20 | 0 |
| 0.5 | +20 | 0 | -50 | -36 | -20 | 0 |
| 0.6 | +21 | 0 | -53 | -36 | -21 | 0 |
| 0.7 | +22 | 0 | -56 | -38 | -22 | 0 |
| 0.75 | +22 | 0 | -56 | -38 | -22 | 0 |
| 0.8 | +24 | 0 | -60 | -38 | -24 | 0 |
| 1 | +26 | 0 | -60 | -40 | -26 | 0 |
| 1.25 | +28 | 0 | -63 | -42 | -28 | 0 |
| 1.5 | +32 | 0 | -67 | -45 | -32 | 0 |
| 1.75 | +34 | 0 | -71 | -48 | -34 | 0 |

续 表

| 螺 距 $P(\text{mm})$ | 基 本 偏 差 | | | | | |
|-----------------------|----------------|---------|--------------|---------|---------|---------|
| | 内螺纹 D_2, D_1 | | 外螺纹 d, d_2 | | | |
| | G EI | H EI | e es | f es | g es | h es |
| 2 | +38 | 0 | -71 | -52 | -38 | 0 |
| 2.5 | +42 | 0 | -80 | -58 | -42 | 0 |
| 3 | +48 | 0 | -85 | -63 | -48 | 0 |
| 3.5 | +53 | 0 | -90 | -70 | -53 | 0 |
| 4 | +60 | 0 | -95 | -75 | -60 | 0 |
| 4.5 | +63 | 0 | -100 | -80 | -63 | 0 |
| 5 | +71 | 0 | -106 | -85 | -71 | 0 |
| 5.5 | +75 | 0 | -112 | -90 | -75 | 0 |
| 6 | +80 | 0 | -118 | -95 | -80 | 0 |

内螺纹中径、小径公差等级公差数值见表 14.2-12 和表 14.2-13。

表 14.2-12 内螺纹中径公差(TD_2) (μm)

| 公称直径 D (mm) | | 螺距 $P(\text{mm})$ | 公 差 等 级 | | | | |
|------------------|--------|----------------------|---------|-----|-----|-----|-----|
| $>$ | \leq | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 2.8 | 5.6 | 0.35 | 56 | 71 | 90 | — | — |
| | | 0.5 | 63 | 80 | 100 | 125 | — |
| | | 0.6 | 71 | 90 | 112 | 140 | — |
| | | 0.7 | 75 | 95 | 118 | 150 | — |
| | | 0.75 | 75 | 95 | 118 | 150 | — |
| | | 0.8 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 |
| 5.6 | 11.2 | 0.5 | 71 | 90 | 112 | 140 | — |
| | | 0.75 | 85 | 106 | 132 | 170 | — |
| | | 1 | 95 | 118 | 150 | 190 | 236 |
| | | 1.25 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 |
| | | 1.5 | 112 | 140 | 180 | 224 | 280 |

续表

| 公称直径 D (mm) | | 螺距 P (mm) | 公差等级 | | | | |
|------------------|--------|----------------|------|-----|-----|-----|-----|
| $>$ | \leq | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 11.2 | 22.4 | 0.5 | 75 | 95 | 118 | 150 | — |
| | | 0.75 | 90 | 112 | 140 | 180 | — |
| | | 1 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 |
| | | 1.25 | 112 | 140 | 180 | 224 | 280 |
| | | 1.5 | 118 | 150 | 190 | 236 | 300 |
| | | 1.75 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 |
| | | 2 | 132 | 170 | 212 | 265 | 335 |
| | | 2.5 | 140 | 180 | 224 | 280 | 355 |
| 22.4 | 45 | 0.75 | 95 | 118 | 150 | 190 | — |
| | | 1 | 106 | 132 | 170 | 212 | — |
| | | 1.5 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 |
| | | 2 | 140 | 180 | 224 | 280 | 355 |
| | | 3 | 170 | 212 | 265 | 335 | 425 |
| | | 3.5 | 180 | 224 | 280 | 355 | 450 |
| | | 4 | 190 | 236 | 300 | 375 | 475 |
| | | 4.5 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| 45 | 90 | 1 | 118 | 150 | 180 | 236 | — |
| | | 1.5 | 132 | 170 | 212 | 265 | 335 |
| | | 2 | 150 | 190 | 236 | 300 | 375 |
| | | 3 | 180 | 224 | 280 | 355 | 450 |
| | | 4 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| | | 5 | 212 | 265 | 335 | 425 | 530 |
| | | 5.5 | 224 | 280 | 355 | 450 | 560 |
| | | 6 | 236 | 300 | 375 | 475 | 600 |

表 14.2 - 13 内螺纹小径公差(TD₁) (μm)

| 螺距 P(mm) | 公差等级 | | | | |
|-------------|------|-----|-----|-------|-------|
| | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 0.35 | 63 | 80 | 100 | — | — |
| 0.4 | 71 | 90 | 112 | — | — |
| 0.45 | 80 | 100 | 125 | — | — |
| 0.5 | 90 | 112 | 140 | 180 | — |
| 0.6 | 100 | 125 | 160 | 200 | — |
| 0.7 | 112 | 140 | 180 | 224 | — |
| 0.75 | 118 | 150 | 190 | 236 | — |
| 0.8 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 |
| 1 | 150 | 190 | 236 | 300 | 375 |
| 1.25 | 170 | 212 | 265 | 335 | 425 |
| 1.5 | 190 | 236 | 300 | 375 | 475 |
| 1.75 | 212 | 265 | 335 | 425 | 530 |
| 2 | 236 | 300 | 375 | 475 | 600 |
| 2.5 | 280 | 355 | 450 | 560 | 710 |
| 3 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 |
| 3.5 | 355 | 450 | 560 | 710 | 900 |
| 4 | 375 | 475 | 600 | 750 | 950 |
| 4.5 | 425 | 530 | 670 | 850 | 1 060 |
| 5 | 450 | 560 | 710 | 900 | 1 120 |
| 5.5 | 475 | 600 | 750 | 850 | 1 180 |
| 6 | 500 | 630 | 800 | 1 000 | 1 250 |

4. 外螺纹中径、大径公差等级公差数值

外螺纹中径、大径公差等级公差数值见表 14.2 - 14 和表 14.2 - 15。

表 14.2-14 外螺纹中径公差(Td₂) (μm)

| 公称直径 <i>d</i> (mm) | | 螺距 <i>P</i> (mm) | 公差等级 | | | | | | |
|-----------------------|------|---------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| > | ≤ | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 2.8 | 5.6 | 0.35 | 34 | 42 | 53 | 67 | 85 | — | — |
| | | 0.5 | 38 | 48 | 60 | 75 | 95 | — | — |
| | | 0.6 | 42 | 53 | 67 | 85 | 106 | — | — |
| | | 0.7 | 45 | 56 | 71 | 90 | 112 | — | — |
| | | 0.75 | 45 | 56 | 71 | 90 | 112 | — | — |
| | | 0.8 | 48 | 60 | 75 | 95 | 118 | 150 | 190 |
| 5.6 | 11.2 | 0.5 | 42 | 53 | 67 | 85 | 106 | — | — |
| | | 0.75 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | — | — |
| | | 1 | 56 | 71 | 90 | 112 | 140 | 180 | 224 |
| | | 1.25 | 60 | 75 | 95 | 118 | 150 | 190 | 236 |
| | | 1.5 | 67 | 85 | 106 | 132 | 170 | 212 | 265 |
| 11.2 | 22.4 | 0.5 | 45 | 56 | 71 | 90 | 112 | — | — |
| | | 0.75 | 53 | 67 | 85 | 106 | 132 | — | — |
| | | 1 | 60 | 75 | 95 | 118 | 150 | 190 | 236 |
| | | 1.25 | 67 | 85 | 106 | 132 | 170 | 212 | 265 |
| | | 1.5 | 71 | 90 | 112 | 140 | 180 | 224 | 280 |
| | | 1.75 | 75 | 95 | 118 | 150 | 190 | 236 | 300 |
| | | 2 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 |
| | | 2.5 | 85 | 106 | 132 | 170 | 212 | 265 | 335 |
| 22.4 | 45 | 0.75 | 56 | 71 | 90 | 112 | 140 | — | — |
| | | 1 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 |
| | | 1.5 | 75 | 95 | 118 | 150 | 190 | 236 | 300 |
| | | 2 | 85 | 106 | 132 | 170 | 212 | 265 | 335 |
| | | 3 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 |
| | | 3.5 | 106 | 132 | 170 | 212 | 265 | 335 | 425 |
| | | 4 | 112 | 140 | 180 | 224 | 280 | 355 | 450 |
| | | 4.5 | 118 | 150 | 190 | 236 | 300 | 375 | 475 |
| 45 | 90 | 1 | 71 | 90 | 112 | 140 | 180 | 224 | — |
| | | 1.5 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 |
| | | 2 | 90 | 112 | 140 | 180 | 224 | 280 | 355 |
| | | 3 | 106 | 132 | 170 | 212 | 265 | 335 | 425 |
| | | 4 | 118 | 150 | 190 | 236 | 300 | 375 | 475 |
| | | 5 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| | | 5.5 | 132 | 170 | 212 | 265 | 335 | 425 | 530 |
| | | 6 | 140 | 180 | 224 | 280 | 355 | 450 | 560 |

表 14.2-15 外螺纹大径公差(Td)

(μm)

| 螺 距 $P(\text{mm})$ | 公 差 等 级 | | | 螺 距 $P(\text{mm})$ | 公 差 等 级 | | |
|-----------------------|---------|-----|-----|-----------------------|---------|-----|-----|
| | 4 | 5 | 6 | | 4 | 5 | 6 |
| 0.2 | 36 | 56 | — | 1.25 | 132 | 212 | 335 |
| 0.25 | 42 | 67 | — | 1.5 | 150 | 236 | 375 |
| 0.3 | 48 | 75 | — | 1.75 | 170 | 265 | 425 |
| 0.35 | 53 | 85 | — | 2 | 180 | 280 | 450 |
| 0.4 | 60 | 95 | -- | 2.5 | 212 | 335 | 530 |
| 0.45 | 63 | 100 | — | 3 | 236 | 375 | 600 |
| 0.5 | 67 | 106 | — | 3.5 | 265 | 425 | 670 |
| 0.6 | 80 | 125 | — | 4 | 300 | 475 | 750 |
| 0.7 | 90 | 140 | — | 4.5 | 315 | 500 | 800 |
| 0.75 | 90 | 140 | — | 5 | 335 | 530 | 850 |
| 0.8 | 95 | 150 | 236 | 5.5 | 355 | 560 | 900 |
| 1 | 112 | 180 | 280 | 6 | 375 | 600 | 950 |

5. 螺纹旋合长度

螺纹旋合长度见表 14.2-16。

表 14.2-16 螺纹旋合长度

(mm)

| 公称直径 D, d | | 螺 距 P | 旋 合 长 度 | | | |
|----------------|------|------------|---------|-----|-----|-----|
| | | | S | N | | L |
| > | ≤ | | ≤ | > | ≤ | > |
| 2.8 | 5.6 | 0.35 | 1 | 1 | 3 | 3 |
| | | 0.5 | 1.5 | 1.5 | 4.5 | 4.5 |
| | | 0.6 | 1.7 | 1.7 | 5 | 5 |
| | | 0.7 | 2 | 2 | 6 | 6 |
| | | 0.75 | 2.2 | 2.2 | 6.7 | 6.7 |
| | | 0.8 | 2.5 | 2.5 | 7.5 | 7.5 |
| 5.6 | 11.2 | 0.5 | 1.6 | 1.6 | 4.7 | 4.7 |
| | | 0.75 | 2.4 | 2.4 | 7.1 | 7.1 |
| | | 1 | 3 | 3 | 9 | 9 |
| | | 1.25 | 4 | 4 | 12 | 12 |
| | | 1.5 | 5 | 5 | 15 | 15 |

续表

| 公称直径 D, d | | 螺距 P | 旋 合 长 度 | | | |
|----------------|------|-----------|---------|-----|-----|-----|
| | | | S | N | | L |
| > | ≤ | | ≤ | > | ≤ | > |
| 11.2 | 22.4 | 0.5 | 1.8 | 1.8 | 5.4 | 5.4 |
| | | 0.75 | 2.7 | 2.7 | 8.1 | 8.1 |
| | | 1 | 3.8 | 3.8 | 11 | 11 |
| | | 1.25 | 4.5 | 4.5 | 13 | 13 |
| | | 1.5 | 5.6 | 5.6 | 16 | 16 |
| | | 1.75 | 6 | 6 | 18 | 18 |
| | | 2 | 8 | 8 | 24 | 24 |
| | | 2.5 | 10 | 10 | 30 | 30 |
| 22.4 | 45 | 0.75 | 3.1 | 3.1 | 9.4 | 9.4 |
| | | 1 | 4 | 4 | 12 | 12 |
| | | 1.5 | 6.3 | 6.3 | 19 | 19 |
| | | 2 | 8.5 | 8.5 | 25 | 25 |
| | | 3 | 12 | 12 | 36 | 36 |
| | | 3.5 | 15 | 15 | 45 | 45 |
| | | 4 | 18 | 18 | 53 | 53 |
| 45 | 90 | 1 | 4.8 | 4.8 | 14 | 14 |
| | | 1.5 | 7.5 | 7.5 | 22 | 22 |
| | | 2 | 9.5 | 9.5 | 28 | 28 |
| | | 3 | 15 | 15 | 45 | 45 |
| | | 4 | 19 | 19 | 56 | 56 |
| | | 5 | 24 | 24 | 71 | 71 |
| | | 5.5 | 28 | 28 | 85 | 85 |
| | | 6 | 32 | 32 | 95 | 95 |

(四) 螺纹公差带的选用

螺纹配合精度分精密、中等、粗糙三类。螺纹公差带的选用见表 14.2-17。

表 14.2-17 螺纹公差带的选用

| (1) 内螺纹选用公差带 | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|------|------|---------|-----|---|---------|-----|--------|---------|------|--------|
| 精度 | 公差带位置 G | | | | | | 公差带位置 H | | | | | |
| | S | N | L | S | N | L | S | N | L | S | L | |
| 精密 | | | | 4H | | | 4H5H | | | | 5H6H | |
| 中等 | (5G) | (6G) | (7G) | *5H | | | *6H | | | | *7H | |
| 粗糙 | | (7G) | | | | | 7H | | | | | |
| (2) 外螺纹选用公差带 | | | | | | | | | | | | |
| 精度 | 公差带位置 e | | | 公差带位置 f | | | 公差带位置 g | | | 公差带位置 h | | |
| | S | N | L | S | N | L | S | N | L | S | N | L |
| 精密 | | | | | | | | | | (3h4h) | *4h | (5h4h) |
| 中等 | *6e | | | | *6f | | (5g6g) | *6g | (7g6g) | (5h6h) | *6h | (7h6h) |
| 粗糙 | | | | | | | 8g | | | | (8h) | |

注: 1. 大量生产的精制紧固件螺纹, 推荐采用带方框的公差带。

2. 带 * 号的公差带应优先选用, 不带 * 号其次, 括号内的公差带尽量不用。

四、表面粗糙度

(一) 表面粗糙度

表面粗糙度是指加工表面上具有较小间距的谷峰所组成的微观几何形状。表面粗糙度评定参数如下：

- (1) 轮廓算术平均偏差 R_a 。
- (2) 微观不平度十点高度 R_z 。
- (3) 轮廓最大高度 R_y 。

(二) 表面粗糙度符号及其注法

表面粗糙度符号及其注法参看表 14.2-18~表 14.2-20。

表 14.2-18 表面粗糙度的符号





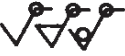
| 符 号 | 意义及说明 | 符 号 | 意义及说明 |
|---|--|---|---|
|  | 基本符号。表示表面可以用任何方法获得。当不加注粗糙度参数值或有关说明(例如:表面处理、局部热处理状况等)时,仅适用于简化代号标注 |  | 基本符号上加一小圆,表示表面是用不去除材料的方法获得。如:铸、锻、冲压变形、热轧、冷轧、粉末冶金等;或是用于保持原供应状况的表面(包括保持上道工序的状况) |
|  | 基本符号上加一短划,表示表面是用去除材料的方法获得。如:车、铣、钻、磨、抛光、腐蚀、电火花加工等 |  | 在上述三个符号的长边上均可加一横线,用于标注有关参数和说明 |
| | |  | 在上述三个符号上均可加一小圆,表示所有表面具有相同的表面粗糙度要求 |

表 14.2-19 表面粗糙度参数 R_a 的标注

| 符 号 | 意 义 | 符 号 | 意 义 |
|-----|--|-----|--|
| | 用任何方法获得的表面粗糙度, R_a 的上限值为 $3.2 \mu\text{m}$ | | 用不去除材料的方法获得的表面粗糙度, R_a 的上限值为 $3.2 \mu\text{m}$ |
| | 用去除材料方法获得的表面粗糙度, R_a 的上限值为 $3.2 \mu\text{m}$ | | 用去除材料的方法获得的表面粗糙度, R_a 的上限值为 $3.2 \mu\text{m}$, 下限值为 $1.6 \mu\text{m}$ |

表 14.2-20 粗糙度高度方向其他参数 R_y 、 R_z 的标注

| 符 号 | 意 义 | 符 号 | 意 义 |
|-------|---|-------|--|
| R_y | 用任何方法获得的表面粗糙度, R_y 的上限值为 $3.2 \mu\text{m}$ | R_z | 用去除材料的方法获得的表面粗糙度, R_z 的上限值为 $3.2 \mu\text{m}$, 下限值为 $1.6 \mu\text{m}$ |
| R_z | 用不去除材料方法获得的表面粗糙度, R_z 的上限值为 $200 \mu\text{m}$ | R_y | 用去除材料的方法获得的表面粗糙度, R_a 的上限值为 $3.2 \mu\text{m}$, R_y 的下限值为 $12.5 \mu\text{m}$ |

(三) 表面粗糙度及其数值系列

表面粗糙度及其数值系列见表 14.2-21~表 14.2-23。

表 14.2-21 轮廓算术平均偏差(R_a)的数值 (μm)

| 第1系列 | 第2系列 | 第1系列 | 第2系列 | 第1系列 | 第2系列 | 第1系列 | 第2系列 |
|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|
| | 0.008 | | | | | | |
| | 0.010 | | | | | | |
| 0.012 | | | 0.125 | | 1.25 | 12.5 | |
| | 0.016 | | 0.160 | 1.6 | | | 16 |

续 表

| 第1系列 | 第2系列 | 第1系列 | 第2系列 | 第1系列 | 第2系列 | 第1系列 | 第2系列 |
|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | 0.020 | 0.20 | | | 2.0 | | 20 |
| 0.025 | | | 0.25 | | 2.5 | 25 | |
| | 0.032 | | 0.32 | 3.2 | | | 32 |
| | 0.040 | 0.40 | | | 4.0 | | 40 |
| 0.050 | | | 0.50 | | 5.0 | 50 | |
| | 0.063 | | 0.63 | 6.3 | | | 63 |
| | 0.080 | 0.80 | | | 8.0 | | 80 |
| 0.100 | | | 1.00 | | 10.0 | 100 | |

表 14.2-22 微观不平度十点高度(R_z)和轮廓最大高度(R_y)的数值
(μm)

| 第1系列 | 第2系列 | 第1系列 | 第2系列 | 第1系列 | 第2系列 |
|-------|-------|------|------|------|------|
| | | | 1.25 | | 125 |
| | | 1.60 | | | 160 |
| | | | 2.0 | 200 | |
| 0.025 | | | 2.5 | | 250 |
| | 0.032 | 3.2 | | | 320 |
| | 0.040 | | 4.0 | 400 | |
| 0.050 | | | 5.0 | | 500 |
| | 0.063 | 6.3 | | | 630 |
| | 0.080 | | 8.0 | 800 | |
| 0.100 | | | 10.0 | | 1000 |
| | 0.125 | 12.5 | | | 1250 |
| | 0.160 | | 16.0 | 1600 | |
| 0.20 | | | 20.0 | | |
| | 0.25 | 25 | | | |
| | 0.32 | | 32 | | |
| 0.40 | | | 40 | | |
| | 0.50 | 50 | | | |
| | 0.63 | | 63 | | |
| 0.80 | | | 80 | | |
| | 1.00 | 100 | | | |

注: 1. 一般应选用第1系列。

2. 在常用的参数值范围内(R_a 为0.025~6.3 μm , R_z 为0.100~25 μm)推荐优先选用 R_a 。

表 14.2-23 表面光洁度与表面粗糙度高度参数推荐转换表

(μm)

| 表面光洁度(GB1031—68) | | | 表面粗糙度(GB1031—83) | | | |
|------------------|-------------|-------------|------------------|-------|------|-------|
| 级别 代号 | R_a | R_z | R_a | | | R_z |
| | | | I | II | III | |
| ▽1 | >40~80 | >160~320 | 50 | 100 | 80 | 320 |
| ▽2 | >20~40 | >80~160 | 25 | 50 | 40 | 160 |
| ▽3 | >10~20 | >40~80 | 12.5 | 25 | 20 | 80 |
| ▽4 | >5~10 | >20~40 | 6.3 | 12.5 | 10 | 40 |
| ▽5 | >2.5~5 | >10~20 | 3.2 | 6.3 | 5 | 20 |
| ▽6 | >1.25~2.5 | >6.3~10 | 1.60 | 3.2 | 2.5 | 10 |
| ▽7 | >0.63~1.25 | >3.2~6.3 | 0.80 | 1.60 | 1.25 | 6.3 |
| ▽8 | >0.32~0.63 | >1.6~3.2 | 0.40 | 0.80 | 0.63 | 3.2 |
| ▽9 | >0.16~0.32 | >0.8~1.6 | 0.20 | 0.40 | 0.32 | 1.6 |
| ▽10 | >0.08~0.16 | >0.4~0.8 | 0.100 | 0.20 | 0.16 | 0.8 |
| ▽11 | >0.04~0.08 | >0.2~0.4 | 0.050 | 0.100 | 0.08 | 0.4 |
| ▽12 | >0.02~0.04 | >0.1~0.2 | 0.025 | 0.050 | 0.04 | 0.2 |
| ▽13 | >0.01~0.02 | >0.05~0.1 | 0.012 | 0.025 | 0.02 | 0.100 |
| ▽14 | ≤ 0.01 | ≤ 0.05 | | 0.012 | 0.01 | 0.050 |

注：I 应用于重要表面；II 应用于非重要表面；III 第 2 系列数值一般不采用。

(四) 各种加工方法能达到的表面粗糙度

各种加工方法能达到的表面粗糙度参见表 14.2-24。

表 14.2-24 各种加工方法能达到的表面粗糙度

| 加工方法 | 表面粗糙度 R_a (μm) | 加工方法 | 表面粗糙度 R_a (μm) | |
|---------------|----------------------------------|---------------|----------------------------------|---------|
| 自动气割、带锯或圆盘锯割断 | 50~12.5 | 扩孔 | 粗(有表皮) 精 | |
| | 50~12.5 | | | |
| 切断 | 25~12.5 | 铰 | 铰倒角(孔的) | |
| | 3.2~1.6 | | | |
| | 12.5~3.2 | | | |
| 车削外圆 | 金属 | 带导向的铰平面 粗铰 | 粗铰 | |
| | | | | 6.3~3.2 |
| | 非金属 | | | 金属 |
| | 3.2~1.6 | | | 非金属 |
| | 金属 | | | 金属 |
| | 3.2~0.8 | | | 非金属 |
| 精密车(或金刚石车) | 金属 | 精密铰(或金刚石铰) | 金属 | |
| | 非金属 | | 非金属 | |
| 粗车 | 1.6~0.4 | 高速铰 | 0.8~0.2 | |
| | 0.8~0.2 | | 0.8~0.2 | |
| 半精车 | 金属 | 半精铰 (一次铰) | 12.5~6.3 | |
| | | | 6.3~3.2 | |
| | 非金属 | | 钢 | |
| | 6.3~1.6 | | 黄铜 | |
| 精车 | 金属 | 精密铰 (二次铰) | 6.3~1.6 | |
| | 非金属 | | 铸铁 | |
| 精密车 | 金属 | 精铰 (二次铰) | 3.2~0.8 | |
| | 非金属 | | 钢、 轻合金 | |
| 一次行程 | 0.8~0.4 | 精密铰 | 0.8~0.4 | |
| | 0.8~0.2 | | 黄铜、 青铜 | |
| 二次行程 | 12.5 | 精密铰 | 0.8~0.2 | |
| | 6.3~3.2 | | 钢 | |
| 高速车削 | 0.8~0.2 | 精密铰 | 0.8~0.4 | |
| | 6.3~3.2 | | 轻合金 | |
| 钻 | $\leq \phi 15 \text{ mm}$ | 精密铰 | 0.8~0.4 | |
| | $> \phi 15 \text{ mm}$ | | 黄铜、青铜 | |
| | 25~6.3 | | 0.2~0.1 | |

第三节 黑色金属硬度换算

黑色金属硬度换算见表 14.3-1 和表 14.3-2。

表 14.3-1 黑色金属硬度换算之一(GB1172—74)

| 洛 氏 | | 表 面 洛 氏 | | | 维 氏 | 布 氏 | |
|------|------|-----------|-----------|-----------|-------|-------------------------|--|
| HRC | HRA | HR 15N | HR 30N | HR 45N | HV | HB 300D ² | d_{10} 、 $2d_5$ 、 $4d_{2.5}$ (mm) |
| 70.0 | 86.6 | | | | 1 037 | | |
| 69.0 | 86.1 | | | | 997 | | |
| 68.0 | 85.5 | | | | 959 | | |
| 67.0 | 85.0 | | | | 923 | | |
| 66.0 | 84.4 | | | | 889 | | |
| 65.0 | 83.9 | 92.2 | 81.3 | 71.7 | 856 | | |
| 64.0 | 83.3 | 91.9 | 80.6 | 70.6 | 825 | | |
| 63.0 | 82.8 | 91.7 | 79.8 | 69.5 | 795 | | |
| 62.0 | 82.2 | 91.4 | 79.0 | 68.4 | 766 | | |
| 61.0 | 81.7 | 91.0 | 78.1 | 67.3 | 739 | | |
| 60.0 | 81.2 | 90.6 | 77.3 | 66.2 | 713 | | |
| 59.0 | 80.6 | 90.2 | 76.5 | 65.1 | 688 | | |
| 58.0 | 80.1 | 89.8 | 75.6 | 63.9 | 664 | | |
| 57.0 | 79.5 | 89.4 | 74.8 | 62.8 | 642 | | |
| 56.0 | 79.0 | 88.9 | 73.9 | 61.7 | 620 | | |

续表

| 洛氏 | | 表面洛氏 | | | 维氏 | 布氏 | |
|------|------|-----------|-----------|-----------|-----|-------------------------|------------------------------------|
| HRC | HRA | HR 15N | HR 30N | HR 45N | HV | HB 300D ² | $d_{10}, 2d_5,$ $4d_{2.5}$ (mm) |
| 55.0 | 78.5 | 88.4 | 73.1 | 60.5 | 599 | | |
| 54.0 | 77.9 | 87.9 | 72.2 | 59.4 | 579 | | |
| 53.0 | 77.4 | 87.4 | 71.3 | 58.2 | 561 | | |
| 52.0 | 76.9 | 86.8 | 70.4 | 57.1 | 543 | | |
| 51.0 | 76.3 | 86.3 | 69.5 | 55.9 | 525 | 501 | 2.73 |
| 50.0 | 75.8 | 85.7 | 68.6 | 54.7 | 509 | 488 | 2.77 |
| 49.0 | 75.3 | 85.2 | 67.7 | 53.6 | 493 | 474 | 2.81 |
| 48.0 | 74.7 | 84.6 | 66.8 | 52.4 | 478 | 461 | 2.85 |
| 47.0 | 74.2 | 84.0 | 65.9 | 51.2 | 463 | 449 | 2.89 |
| 46.0 | 73.7 | 83.5 | 65.0 | 50.1 | 449 | 436 | 2.93 |
| 45.0 | 73.2 | 82.9 | 64.1 | 48.9 | 436 | 424 | 2.97 |
| 44.0 | 72.6 | 82.3 | 63.2 | 47.7 | 423 | 413 | 3.01 |
| 43.0 | 72.1 | 81.7 | 62.3 | 46.5 | 411 | 401 | 3.05 |
| 42.0 | 71.6 | 81.1 | 61.3 | 45.4 | 399 | 391 | 3.09 |
| 41.0 | 71.1 | 80.5 | 60.4 | 44.2 | 388 | 380 | 3.13 |
| 40.0 | 70.5 | 79.9 | 59.5 | 43.0 | 377 | 370 | 3.17 |
| 39.0 | 70.0 | 79.3 | 58.6 | 41.8 | 367 | 360 | 3.21 |
| 38.0 | | 78.7 | 57.6 | 40.6 | 357 | 350 | 3.26 |
| 37.0 | | 78.1 | 56.7 | 39.4 | 347 | 341 | 3.30 |
| 36.0 | | 77.5 | 55.8 | 38.2 | 338 | 332 | 3.34 |

续 表

| 洛 氏 | | 表 面 洛 氏 | | | 维 氏 | 布 氏 | |
|------|-----|-----------|-----------|-----------|-----|-------------------------|--|
| HRC | HRA | HR 15N | HR 30N | HR 45N | HV | HB 300D ² | d_{10} 、 $2d_5$ 、 $4d_{2.5}$ (mm) |
| 35.0 | | 77.0 | 54.8 | 37.0 | 329 | 323 | 3.39 |
| 34.0 | | 76.4 | 53.9 | 35.9 | 320 | 314 | 3.43 |
| 33.0 | | 75.8 | 53.0 | 34.7 | 312 | 306 | 3.48 |
| 32.0 | | 75.2 | 52.0 | 33.5 | 304 | 298 | 3.52 |
| 31.0 | | 74.7 | 51.1 | 32.3 | 296 | 291 | 3.56 |
| 30.0 | | 74.1 | 50.2 | 31.1 | 289 | 283 | 3.61 |
| 29.0 | | 73.5 | 49.2 | 29.9 | 281 | 276 | 3.65 |
| 28.0 | | 73.0 | 48.3 | 28.7 | 274 | 269 | 3.70 |
| 27.0 | | 72.4 | 47.3 | 27.5 | 268 | 263 | 3.74 |
| 26.0 | | 71.9 | 46.4 | 26.3 | 261 | 257 | 3.78 |
| 25.0 | | 71.4 | 45.5 | 25.1 | 255 | 251 | 3.83 |
| 24.0 | | 70.8 | 44.5 | 23.9 | 249 | 245 | 3.87 |
| 23.0 | | 70.3 | 43.6 | 22.7 | 243 | 240 | 3.91 |
| 22.0 | | 69.8 | 42.6 | 21.5 | 237 | 234 | 3.95 |
| 21.0 | | 69.3 | 41.7 | 20.4 | 231 | 229 | 4.00 |
| 20.0 | | 68.8 | 40.7 | 19.2 | 226 | 225 | 4.03 |
| 19.0 | | 68.3 | 39.8 | 18.0 | 221 | 220 | 4.07 |
| 18.0 | | 67.8 | 38.9 | 16.8 | 216 | 216 | 4.11 |
| 17.0 | | 67.3 | 37.9 | 15.6 | 211 | 211 | 4.15 |

注：1. 本表所列各钢种的换算值，对含碳量由低到高的钢种基本适用。

2. 表中 d_{10} —钢球为 10 mm 时的压痕直径； d_5 、 $d_{2.5}$ —钢球为 5 mm、2.5 mm 时的压痕直径。300D² 是 P 以 N 为单位，D 以 mm 为单位， $P/D^2=300$ 的表示方法。

3. 本表不包括低碳钢。

表 14.3-2 黑色金属硬度及强度换算之二(GB1172—74)

| 洛 氏 | 表面洛氏 | | | 维 氏 | 布 氏 | | 抗拉强度 (MPa) |
|------|------|-----------|-----------|-----|-----------|------|---------------|
| | HRB | HR 15T | HR 30T | | HR 45T | HV | |
| 100 | 91.5 | 81.7 | 71.7 | 233 | | | 786.9 |
| 99.0 | 91.2 | 81.0 | 70.7 | 227 | | | 767.3 |
| 98.0 | 90.9 | 80.4 | 69.6 | 222 | | | 747.7 |
| 97.0 | 90.6 | 79.8 | 68.6 | 216 | | | 729.1 |
| 96.0 | 90.4 | 79.1 | 67.6 | 211 | | | 711.5 |
| 95.0 | 90.1 | 78.5 | 66.5 | 206 | | | 693.8 |
| 94.0 | 89.8 | 77.8 | 65.5 | 201 | | | 677.2 |
| 93.0 | 89.5 | 77.2 | 64.5 | 196 | | | 661.5 |
| 92.0 | 89.3 | 76.6 | 63.4 | 191 | | | 645.8 |
| 91.0 | 89.0 | 75.9 | 62.4 | 187 | | | 631.1 |
| 90.0 | 88.7 | 75.3 | 61.4 | 183 | | | 616.4 |
| 89.0 | 88.4 | 74.6 | 60.3 | 178 | | | 601.7 |
| 88.0 | 88.1 | 74.0 | 59.3 | 174 | | | 589.0 |
| 87.0 | 87.9 | 73.4 | 58.3 | 170 | | | 575.3 |
| 86.0 | 87.6 | 72.7 | 57.2 | 166 | | | 563.5 |
| 85.0 | 87.3 | 72.1 | 56.2 | 163 | | | 550.8 |
| 84.0 | 87.0 | 71.4 | 55.2 | 159 | | | 539.0 |
| 83.0 | 86.8 | 70.8 | 54.1 | 156 | | | 528.2 |
| 82.0 | 86.5 | 70.2 | 53.1 | 152 | 138 | 3.00 | 517.4 |
| 81.0 | 86.2 | 69.5 | 52.1 | 149 | 136 | 3.02 | 507.6 |

续 表

| 洛 氏 | 表面洛氏 | | | 维 氏 | 布 氏 | | 抗拉强度 (MPa) |
|------|------|-----------|-----------|-----|-----------|------|---------------|
| | HRB | HR 15T | HR 30T | | HR 45T | HV | |
| 80.0 | 85.9 | 68.9 | 51.0 | 146 | 133 | 3.06 | 497.8 |
| 79.0 | 85.7 | 68.2 | 50.0 | 143 | 130 | 3.09 | 488.0 |
| 78.0 | 85.4 | 67.6 | 49.0 | 140 | 128 | 3.11 | 479.2 |
| 77.0 | 85.1 | 67.0 | 47.9 | 138 | 126 | 3.14 | 470.4 |
| 76.0 | 84.8 | 66.3 | 46.9 | 135 | 124 | 3.16 | 462.6 |
| 75.0 | 84.5 | 65.7 | 45.9 | 132 | 122 | 3.19 | 454.7 |
| 74.0 | 84.3 | 65.1 | 44.8 | 130 | 120 | 3.21 | 446.9 |
| 73.0 | 84.0 | 64.4 | 43.8 | 128 | 118 | 3.24 | 440.0 |
| 72.0 | 83.7 | 63.8 | 42.8 | 125 | 116 | 3.27 | 433.2 |
| 71.0 | 83.4 | 63.1 | 41.7 | 123 | 115 | 3.29 | 426.3 |
| 70.0 | 83.2 | 62.5 | 40.7 | 121 | 113 | 3.31 | 420.4 |
| 69.0 | 82.9 | 61.9 | 39.7 | 119 | 112 | 3.33 | 414.5 |
| 68.0 | 82.6 | 61.2 | 38.6 | 117 | 110 | 3.35 | 409.6 |
| 67.0 | 82.3 | 60.6 | 37.6 | 115 | 109 | 3.37 | 403.8 |
| 66.0 | 82.1 | 59.9 | 36.6 | 114 | 108 | 3.39 | 398.9 |
| 65.0 | 81.8 | 59.3 | 35.5 | 112 | 107 | 3.40 | 394.9 |
| 64.0 | 81.5 | 58.7 | 34.5 | 110 | 106 | 3.42 | 390.0 |
| 63.0 | 81.2 | 58.0 | 33.5 | 109 | 105 | 3.43 | 386.1 |
| 62.0 | 80.9 | 57.4 | 32.4 | 108 | 104 | 3.45 | 382.2 |
| 61.0 | 80.7 | 56.7 | 31.4 | 106 | 103 | 3.46 | 378.3 |
| 60.0 | 80.4 | 56.1 | 30.4 | 105 | 102 | 3.48 | 375.3 |

注：1. 本表适用于低碳钢。

2. 表中 d_{10} 、 d_5 、 $d_{2.5}$ 含义见上表。