

高速磨削与宽砂轮磨削

上海机床厂
郑州磨料磨具磨削研究所 编
上海砂轮厂

第一机械工业部情报所

1973年8月

目 录

| | |
|-------------------------|----|
| 高速磨削及其应用 | 1 |
| 一 国内外高速磨削简况..... | 1 |
| 二 高速磨削的特点..... | 1 |
| 三 高速磨削对机床的要求..... | 2 |
| 四 高速磨削试验内容及结果..... | 8 |
| (一) 试验条件..... | 8 |
| (二) 修整速度的试验..... | 9 |
| (三) 磨削径向压力对磨削过程的影响..... | 9 |
| (四) 磨削用量的试验..... | 11 |
| (五) 高速砂轮特性的选择..... | 16 |
| (六) 高速精磨试验..... | 17 |
| 五 高速磨削推广应用..... | 21 |
| 六 基本结论..... | 26 |
| 宽砂轮外圆磨削 | 28 |
| 一 概况..... | 28 |
| 二 宽砂轮磨削试验..... | 28 |
| (一) 宽砂轮磨削对机床的要求..... | 28 |
| (二) 200毫米宽砂轮磨削试验..... | 29 |
| (三) 300毫米宽砂轮磨削试验..... | 32 |
| 三 宽砂轮磨削的试磨和生产验证..... | 33 |
| 四 结论和问题..... | 34 |

高速磨削及其应用

在伟大领袖毛主席无产阶级革命路线的指引下，我国工农业生产呈现一派欣欣向荣的大好形势，为了适应以优质、高产、低消耗的要求，磨削加工必须进一步提高其生产效率和加工质量，尤其对成批大量磨加工零件比较多的汽车、拖拉机、轴承、工具、机床、电机等行业更是迫切需要解决的问题。高速磨削就是提高磨削效率和加工质量的重要方法之一，近年来已引起国内外的普遍重视。

一、国内外高速磨削简况

在国外，高速磨削工艺已进行了多年的研究，获得了一定的效果，并成为当前磨削加工领域中最突出的发展动向。

苏联，1942年即开始试验高速磨削工艺，1952年50米/秒的高速磨削用于生产，1966年高速砂轮生产了1200吨。

美国于1950年改进砂轮结构进行高速磨削试验，1958年砂轮线速度达60米/秒，1969年辛辛纳提（Cincinnati）公司已生产了80米/秒的高速磨床。

日本目前已建立了砂轮线速度为45米/秒的磨床系列，60米/秒的高速磨床已用于生产，三井精机的PCGH8-30型高速外圆磨床最高线速度达90米/秒。据了解拟在轴承厂和汽车厂实现高速磨削化。

西德阿亨和勃朗姆（Blohm）公司已生产了60米/秒的高速磨床。

据美、苏、日、西德等九个国家的不完全统计，目前已有三十多家厂生产高速磨床，品种约有75种以上，大部分高速磨床的线速度为60米/秒，少数磨床达80~100米/秒，而在试验室里进行试验的速度已达200米/秒。

据介绍，采用高速磨削后，生产效率可以成倍增加，砂轮寿命和耐用度可以大大提高，光洁度和精度可得到改善。

我国在1958年大跃进高潮中，第一汽车厂、第一砂轮厂和第二砂轮厂相继试制成功50米/秒高速砂轮，试验了高速磨削工艺，1964年磨料磨具磨削研究所和洛阳东方红拖拉机厂合作进行了50米/秒高速磨削试验，获得了一定的效果，曾在生产中得到使用，但是由于刘少奇、林彪反革命修正主义路线的干扰，高速磨削在国内没有得到进一步的研究和普遍推广应用，无产阶级文化大革命以后，随着社会主义革命和社会主义建设的发展需要，高速磨削受到普遍重视，目前，已有十多个省市的兄弟单位在不同程度上进行高速磨削的试验和推广工作。

从1971年开始，我们对高速磨削再次进行了试验，并在上海地区一些厂作了验证和推广，收到较好的效果，受到广大工人师傅的欢迎。为了使高速磨削工艺在社会主义建设中得到推广应用，兹将我们的试验和推广应用情况介绍如下。

二、高速磨削的特点

在磨削过程中，砂轮工作部位上的每一颗磨粒就象一把铣刀上的刀齿一样，从工件上不断地切除切屑，这就是磨削过程中最基本的运动形式。过去，在磨床上，砂轮线速度一般都在35米/秒以下，也就是每颗磨粒是以35米/秒的速度通过磨削区域而切削工件，我们这里叫

它“普通磨削”。而高速磨削则是把砂轮速度提高到 45 米/秒以上，也就是每颗磨粒以 45 米/秒以上的速度通过磨削区域而切削工件。这就构成高速磨削与普通磨削最基本的区别，也就产生了与普通磨削不同的特点，这些特点概括起来有如下几点：

1. 有利于提高生产效率

砂轮速度提高后，单位时间通过磨削区域的磨粒数目大大增加，此时，如果保持每颗磨粒切去的切屑厚度与普通磨削时的切屑厚度一样，甚至更大，则进给量可以大大提高，这样在磨去相同余量的情况下，磨削时间就可以大大缩短，不但生产效率可以显著提高，而且为发展少无切削，以磨代车创造了条件，例如上海汽车发动机厂的凸轮轴桃形，铸造后的余量为 6~8 毫米，过去经过车削后再进行磨削。采用高速磨削后，可直接进行磨削，这样不仅简化了工序，而且可减少机床的数量，大大节约了人力物力。

2. 有利于提高砂轮耐用度

砂轮速度提高后，如果此时的进给量仍与普通磨削时相同，则每颗磨粒切去的切屑厚度减小，磨粒上承受的切削负荷也就减小，这样每颗磨粒的切削能力可相对地延长，从而使每次修整砂轮后可以磨去更多的金属，提高了砂轮的耐用度，因而也就大大地节约了砂轮，从上海工具厂磨扭槽钻胚的情况可以看出：每修整一次砂轮可磨工件数提高一倍，过去一片砂轮只能用三天，现在一片高速砂轮可以用六天，砂轮寿命提高一倍。

3. 有利于提高加工精度和光洁度

随着砂轮速度的提高，每颗磨粒的切屑厚度变薄，磨粒通过磨削区域在工件表面上留下的切痕深度减小，相应地也就提高了工件表面光洁度，例如上海柴油机厂粗磨凸轮轴桃形，可达 $\nabla 7$ ，比普通磨削时的 $\nabla 6$ 提高一大级。另外，由于切屑厚度变薄，磨粒作用在工件上的法向力 P_y 也相应减小，可以提高工件的加工精度，对于磨削细长轴更有利，例如，我们在磨削直径为 28 毫米，长 610 毫米的不锈钢工件时，在工件转速为 134 转/分，纵走刀速度为 1~1.5 米/分，切削深度 0.005 毫米/双行程的磨削用量下，不用中心架支承，磨后工件无凸度，光洁度达 $\nabla 8$ ，比采用普通磨削时容易得多。同时在高速磨削时，相应地要提高工件的转速，则工件每转的进给量减少，并且砂轮与工件的接触时间缩短，可以减少工件的发热，有效地改善工件表面质量，避免烧伤和裂纹的产生。

高速磨削虽然有上述优点，但在磨削过程中要消耗更多的功率，同时，要实现高速磨削对机床和砂轮也都有一定的要求。

三、高速磨削对机床的要求

上面说到，要实现高速磨削，对机床和砂轮都有一定的要求，现在将我们在试验和应用高速磨削过程中，机床性能介绍如下：

1. 砂轮轴电机功率要加大

随着砂轮速度的提高和磨削进给量的增加，砂轮轴电机功率要加大 40% 到一倍以上，才能充分发挥高速磨削的效率，例如，我们改装 M131W（砂轮直径为 400 毫米）时，把原来的 4 千瓦电机改成 7.5 千瓦的 J02F-42-2 型电机（额定转速为 2880 转/分），并且还准备采用功率为 11 千瓦的电机，以适应高速磨削的要求。

砂轮轴电机功率的选择与工件材料也有关系，一般磨抗张强度较高的材料，如 45 钢、合金钢时，均需将电机功率增大，如果由于条件不具备，没有合适的电机时，原有电机也可以使

用，只是高速磨削的潜力尚未充分发挥。此外，如果专门磨灰铸铁和球墨铸铁等抗张强度较低的材料，则因功率消耗较小，原有电机也能满足要求。

由于电机功率加大，机床电器箱的各元件容量也要相应加大，才能保证机床的正常运转。

2. 改进砂轮主轴结构，保证砂轮轴高速时的正常运转

由于砂轮主轴转速的提高，主轴表面和轴承的摩擦加剧、温升增加，此时，必须采取措施防止机床主轴“抱瓦”，一般要注意下面几点：

(1) 需要正确选择砂轮轴轴承的间隙：砂轮轴转速提高后，间隙要适当增大至0.04~0.05毫米，但间隙也不要过大，否则会影响砂轮轴的回转精度。

(2) 采用皮带轮卸荷装置。一般磨床结构是由皮带轮直接带动砂轮轴的，这样，主轴和轴瓦之间的间隙容易受皮带拉力的影响，皮带拉得太紧时，轴瓦受力不均，间隙变小的地方摩擦增加使温度升高；容易使轴瓦烧坏或磨损；皮带拉得太松时容易打滑。为解决这一矛盾，采用皮带卸荷装置(图1)。

这样，皮带可以拉紧而不影响间隙，皮带的振动也不易传到砂轮轴上，所以效果较好。卸荷装置要作得比较精确，使其回转时不产生大的振动，否则，磨削时，工件上容易产生磨削振纹，这是要注意的。另外，当砂轮直径较大时(600毫米以上)，砂轮转速并不太高(对50米/秒的高速磨削来说，砂轮轴转速约1700转/分)，也可以不用卸荷装置。

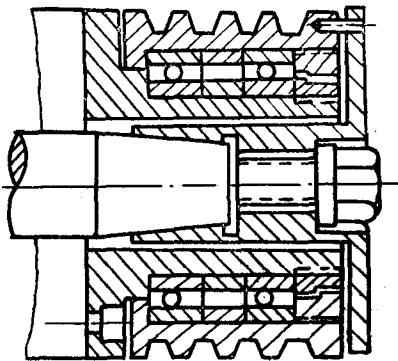


图1 皮带卸荷装置

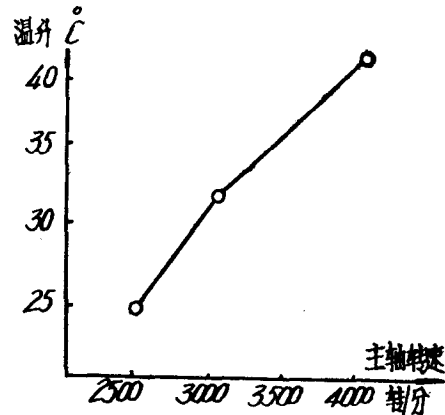


图2 轴承温升与主轴转速的关系

(3) 对于50~60米/秒高速磨削来说，轴承的型式没有限制，从我们在上海十多个厂应用高速磨削的情况来看，短三块式、长三块式、长五块式、静压轴承、对开式轴承、整块式轴承都可改装，从主轴的润滑方式来看以浸润式较好，油淋式的轴承则要注意充分供油，使主轴得到润滑。

(4) 砂轮轴用的主轴油要采用粘度较小的2~4*专用主轴油，或者采用10%的22*汽轮机油加90%灯用煤油也可以代用，这种油有一定的润滑性，同时粘度较小，可使主轴在高速运转时的温升不太高。此外，加油以前，主轴油箱要清洗干净，加油时要用过滤纸过滤，以免混入垃圾，造成意外的“抱瓦”事故。

表1是短三块轴承的温升试验结果。从表1可以看出：

(1) 在砂轮轴为2400转/分时，装卸荷皮带轮的温升为25℃比未装卸荷轮时(35℃)要低10℃；

(2) 轴承温升与主轴的转数成比例地增加(见图2)；

表1 砂轮轴轴承温升试验结果

单位: °C

| 砂轮轴转速 (转/分) | 运 转 时 间 (小时) | | | | | | | | | | | | | | | | 室 温 | 温 升 | 备 注 |
|----------------|--------------|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|---|--------|--------|---------|
| | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 | 5.5 | 6 | 6.5 | 7 | 7.5 | 8 | | | |
| 2500 | 33 | 39 | 44 | 47 | 49 | 51 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 58 | | | | 23 | 35 | 未装卸荷轮 |
| 2500 | 32 | 42 | 43 | 45 | 47 | 48 | 49 | 50 | 50 | 50 | 51 | 51 | 51 | | | | 25 | 26 | 装卸荷轮 |
| 2500 | | 25 | | 30 | | 34 | | 34 | | 34 | | 34 | | | | | 9 | 25 | 装卸荷轮 |
| 3000 | 24 | 36 | 46 | 50 | 53 | 56 | 59 | 61 | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 | | | | 28 | 34 | 装卸荷轮 |
| 3000 | 24 | 39 | 45 | 49 | 51 | 52 | 54 | 55 | 56 | 57 | 57 | 58 | 58 | 58 | 58 | | 25 | 33 | 装卸荷轮 |
| 4000 | 26 | 46 | 57 | 62 | 66 | 68 | 70 | 71 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | | | | 30 | 42 | 装卸荷轮 |
| 4000 | 29 | 46 | 56 | 62 | 69 | 71 | 72 | 73 | 73 | 74 | 74 | 74 | 74 | | | | 33 | 41 | 装卸荷轮 |
| 4000 | 28 | 38 | 41 | 44 | 45 | 46 | 47 | 49 | 50 | 50 | 50 | | | | | | 30 | 20 | 主轴油循环冷却 |
| 4000 | 28 | 36 | 40 | 44 | 45 | 46 | 47 | 49 | | | | | | | | | 28 | 21 | 主轴油循环冷却 |

注: (1) 润滑方式: 浸入式;
 (2) 主轴材料: 9Mn2V, 轴颈直径: 60毫米;
 (3) 轴瓦材料: 铅青铜, 轴瓦长度: 45毫米;
 (4) 润滑油: 2# 主轴油; (5) 轴承间隙: 0.05毫米

(3) 在砂轮轴转速为 4000 转/分时, 采用主轴油循环冷却可使轴承温升大幅度下降, 由 41~42°C 下降至 20~21°C。所以在较高转速时采用循环冷却对于降低轴承温升是有好处的。

3. 要注意冷却液的供应和防止冷却液的飞溅

由于砂轮线速度的提高, 在砂轮圆周表面产生强大气流, 使冷却液不容易顺利地注入磨削区域, 同时, 由于砂轮速度高, 切屑变形速度大, 砂轮和工件表面的摩擦也增加, 加上进给量增大, 磨削区域的温度更高, 因此, 必须设法使大量的冷却液能够顺利地进入磨削区域, 以改善磨削区域的散热条件, 一般可采取如下措施:

(1) 增大冷却液的流量。例如, M131W 外圆磨床现用冷却泵的流量为 25 升/分, 扬程为 3 米。而改装成高速磨削时要采用流量为 45 升/分, 扬程为 5.5 米的三相电泵;

(2) 随着砂轮速度的增加和冷却液的流量及压力加大, 磨削时冷却液容易飞溅妨碍操作, 此时, 可作一个专用喷嘴(图 3), 把上面的横板 1 紧贴在砂轮的圆周表面上, 使强大的气流沿横板 1 流出, 使气流不易进入磨削区, 两侧的板 2, 则可防止冷却液向两旁飞溅, 保证冷却液顺利地注入磨削区, 如果要靠磨端面时, 喷嘴两边的挡板可适当缩短, 就不会妨碍磨削操作了。

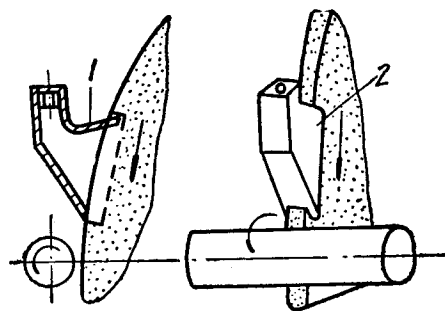


图3 冷却喷嘴装置

1—横板; 2—侧板

4. 要注意砂轮的安全防护

砂轮速度提高后, 其动能也随之增加。据资料介绍, 60米/秒高速磨削砂轮的动能是 32.5 米/秒普通磨削的 3.1 倍, 达 28000 公斤·米。一个直径为 600 毫米, 宽度为 500 毫米的砂轮在 60 米/秒时的动能值相当于 1.1 吨汽车以时速 80 公里运行时产生的能量, 因此, 必须采取措施, 防止砂轮碎裂时对人体和设备带来的损害。

我们将现有磨床防护罩的结构稍作改进(图4), 主要加厚钢板厚度(8毫米)增加阻尼钢板(1), 活动挡板(2)用4个螺钉(3)固定。当砂轮(400×50×203)在80~100米/秒破碎时, 将防护罩固定在磨头架上的4个M12的螺钉(4)全部被剪断, 防护罩从磨头架上掉了下来, 用钢板焊接的阻尼板(1)被打断, 图5(一); 活动挡板(2)严重破坏, 图5(二), 活动铰链亦被打断, 整个防护罩已严重损坏。

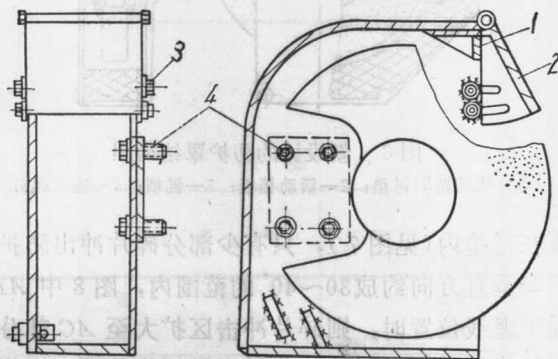
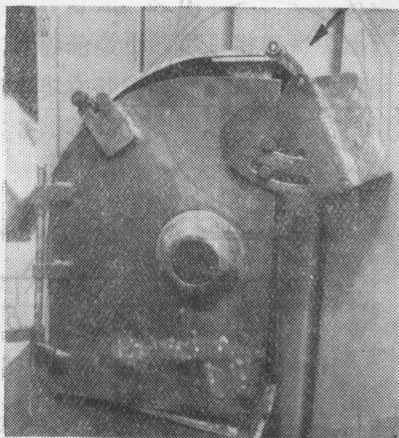
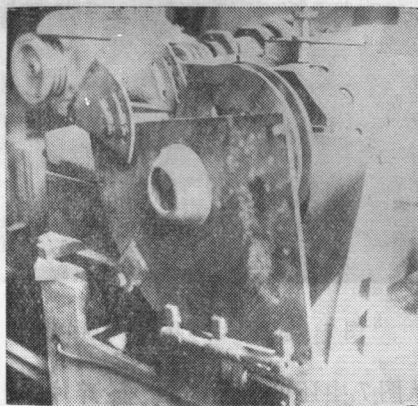


图4 原防护罩的结构

1—阻尼钢板; 2—活动挡板; 3—活动挡板螺钉; 4—联接螺钉



(一)



(二)

图5 原防护罩破坏后的照片

(一) 阻尼板被打断的情况;

(二) 活动挡板严重破坏的情况

为此, 我们重新设计了一种新的防护罩, 如图6所示。

防护罩的外壳是用10毫米厚的钢板焊接而成, 护罩前面的“活动挡板”(2)与护罩壳体焊接成死的, 护罩的开口大大缩小, 在护罩内壁与砂轮之间放置一块硬质泡沫塑料衬垫(1), 整个防护罩用螺钉(4)和键槽(3)牢固地连接在磨头架上。

这种新设计的防护罩, 用400×50×203的砂轮在线速度为90~100米/秒时进行了破坏试验。试验表明, 由于采用了键槽连结, 能较好地承受砂轮破裂时的冲击力, 连接螺钉(4)没有断, 硬质泡沫塑料有效地吸收了由于砂轮破碎时所产生的能量, 大部分(约2/3以上)

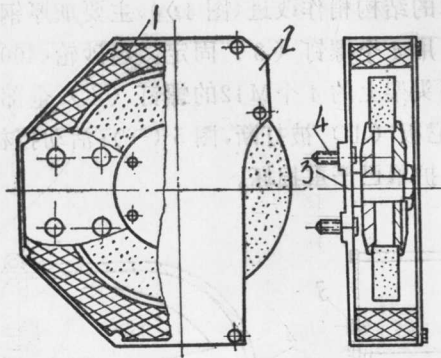


图6 新设计的防护罩结构图

1—泡沫塑料衬垫；2—活动挡板；3—键槽；4—连接螺钉

碎片为衬垫所吸收而留在衬垫内(见图7)，只有少部分碎片冲出防护罩外，在(2)的端部沿砂轮切线方向飞出，与垂直方向约成 $30\sim 40^\circ$ 的范围内，图8中 AB 部分为碎片冲击区，如果开口过大，挡板2处于虚线位置时，则碎片冲击区扩大至 AC 部分，因此，防护罩的开口应尽量缩小，特别是防护罩挡板(2)端部位置应尽可能伸下，这样，砂轮碎片飞出的可能性减少，同时碎片飞出时的打击的范围也大为减少，碎片的危害性也就降低了。



图7 新防护罩砂轮破碎后的照片

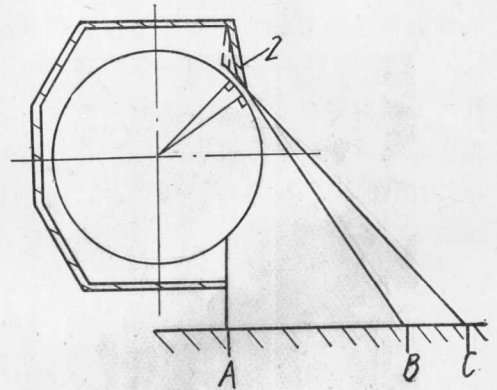


图8 砂轮碎片冲击区域示意图

从图7中还可发现，经砂轮碎片冲击后的防护罩外壳，在焊缝处有所破坏，因此要保证焊接时的质量。

5. 机床振动的测定及减少振动的措施

在磨削过程中，机床振动对磨削质量有很大影响。前面谈到，在高速磨削时，砂轮轴转速要提高，轴承间隙也增加到 $0.04\sim 0.05$ 毫米，在这种情况下，机床的振动情况怎样？它对磨削质量的影响如何？

现将我们用 $B \& K$ 振动测量仪对M131W测定的情况叙述如下：

(1) 高速和普通速度振动的比较(表2)

从表2看出，在增大了砂轮轴间隙的情况下，高速时的振幅反而比普通速度时要小，这是由于间隙增大后，主轴转速低时，油膜刚性不易建立，高速时反而得到改善。另外，普通速度时用的电机皮带轮没有经过动平衡，也是导致普通速度时振动振幅大的原因。

表 2

| 测 量 部 位 | 振 动 方 向 | 振 幅 (微米) | |
|---------|---------|-------------|-------------|
| | | 高 速 (50米/秒) | 普 通 (35米/秒) |
| 砂 轮 端 | 水平方向 | 0.8 | 1.2 |
| | 垂直方向 | 0.2 | 0.4 |
| 皮 带 轮 | 水平方向 | 0.7 | 0.9 |
| | 垂直方向 | 0.2 | 0.4 |

注：磨头架导轨是塑料导轨。

(2) 砂轮平衡好坏的影响 (表 3)

表 3

| 测 量 部 位 | 振 动 方 向 | 振 幅 (微米) | |
|---------|---------|-------------|-------------|
| | | 砂 轮 平 衡 较 好 | 砂 轮 平 衡 稍 差 |
| 砂 轮 端 | 水 平 | 0.3 | 1.2 |
| | 垂 直 | 0.2 | 0.25 |
| 皮 带 端 | 水 平 | 0.2 | 0.9 |
| | 垂 直 | 0.2 | 0.15 |

注：磨头架导轨是滚子导轨。

由表 3 可知，砂轮平衡的好坏对振动的影响很大，这在高速磨削时更要注意。由于砂轮速度高，砂轮微小的不平衡都将引起较大的振动，因此，要对砂轮作两次平衡，并且每次平衡时都至少在砂轮圆周的八个点上都能停住。

(3) 不同磨头架导轨型式的振动情况 (表 4)

表 4 不同导轨的振幅 (微米)

| 测 量 部 位 | 振 动 方 向 | 磨 头 架 导 轨 型 式 | |
|---------|---------|---------------|---------|
| | | 滚 子 导 轨 | 塑 料 导 轨 |
| 砂 轮 端 | 水平方向 | 1.2 | 0.8 |
| | 垂直方向 | 0.25 | 0.2 |
| 皮 带 端 | 水平方向 | 0.9 | 0.7 |
| | 垂直方向 | 0.15 | 0.2 |

从表 4 中看出，塑料导轨比滚子导轨可减少机床水平方向的振动。滚子导轨与导轨面是线接触，而塑料导轨是面接触，对水平方向的振动没有滚子导轨敏感，从而有利于减少水平方向的振动，这对磨削是有好处的。如表 5 中看到，塑料导轨比滚子导轨磨削光洁度要提高一级，椭圆度为 1 微米，锥度为 2~3 微米。表 5 中的试验条件如下：

修整条件： $S_{修} = 400$ 毫米/分； $S = 1000$ 毫米/分； $t_{修} = 0.01$ 毫米/单行程； $t = 0.015$ 毫米/双行程；

光修一次； $n_{正} = 192$ 转/分。

砂轮：GZ46ZR₂AP400×50×203

毛主席教导我们：“世界上的事情是复杂的，是由各方面的因素决定的。看问题要从各方面去看，不能只从单方面看。”机床产生振动的原因，也是由各方面的因素影响的，上面介绍

表 5 不同磨头架导轨的磨削质量比较

| 工件材料 | 塑 料 导 轨 | | | | 滚 子 导 轨 | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------|---------------|--------------|-------------|-------------|---------------|--------------|
| | 椭圆度 (微米) | 锥 度 (毫米) | 光 洁 度 | | 椭圆度 (微米) | 锥 度 (微米) | 光 洁 度 | |
| | | | R_a (微米) | 等 级 | | | R_a (微米) | 等 级 |
| 45钢 HRC40~45 ($\phi 70$) | 1 | 2~3 | 0.22~0.25 | $\nabla 9 b$ | 1 | 3 | 0.28 | $\nabla 9 a$ |
| 35 ($\phi 35$) | 1 | 2~3 | 0.18 | $\nabla 9 c$ | 1 | 3 | 0.23 | $\nabla 9 b$ |

的只是磨头架改装后机床振动情况，可以看出，高速磨削时，砂轮和电动机及皮带要经过仔细的动平衡，磨头架用塑料导轨等都有利于减少机床的振动。另外在普通磨削时消除振动的其他措施对高速磨削也是适用的。

此外，高速磨削时，由于进给量的增加，磨削力也增大，机床的刚性也要求好。

6. 高速磨削对砂轮的要求

随着砂轮速度的提高，作用在砂轮上的离心力与砂轮速度的平方成比例地增加，因此必须增加砂轮回转时的强度，以保证砂轮在高速回转时不破坏，这是实现高速磨削最重要的一个条件。

增加砂轮强度的方法很多，在陶瓷结合剂中，最基本的方法是在结合剂中加入一定数量的合金元素，例如，硼、锂、钡、钙等，使结合剂抗张强度得到提高，从而保证砂轮高速回转时不致破坏。

目前，高速砂轮回转时的安全系数是 1.6 倍，即按实际使用速度提高 60% 进行回转后才能使用，这样就能保证高速砂轮的安全使用，此外，高速砂轮在运输安装和使用过程中都要注意不使它受到碰撞，以防止意外事故。

我国第一砂轮厂，第二砂轮厂，第四砂轮厂，上海砂轮厂，苏州砂轮厂，天津砂轮厂等均已先后试制成功 50~60 米/秒高速砂轮，并已正式投产。

四、高速磨削试验内容及结果

(一) 试验条件

1. 机床：是上海机床厂生产的 M131W 万能外圆磨床，并按第三部分中说的方法进行了改装，以适应高速磨削的需要。

2. 磨削方式：试验中分别对目前生产上常用的纵走刀磨削和切入磨削两种磨削方式进行了试验。切入磨削是在恒径向压力条件下进行的，这种磨削方法不仅能最大限度地减少空程时间，较好地控制工件尺寸精度和光洁度，而且磨削过程是在恒定压力下进行，能比较合理地反映出不同磨削条件对磨削效果的影响。

3. 试验工件：采用生产中广泛使用的 45 钢，HRC40~45。

4. 评定磨削性能的指标：

(1) 纵走刀磨削时：

每次修整后的金属总切除量(V)，厘米³。

单位时间金属切除量(Q)，厘米³/分。

两次修整之间的耐用度(T)，分。

加工表面光洁度。

功率消耗(N), 千瓦。

(2) 切入磨削时

每次修整后单位砂轮宽度上的金属总切除量(V), 毫米³/毫米。

单位时间, 单位砂轮宽度金属切除量(Q), 毫米³/毫米·秒。

两次修整之间的耐用度(T), 分。

加工表面光洁度。

功率消耗(N), 千瓦。

(二) 修整速度的试验

高速磨削时, 修整工具和修整用量对磨削效果的影响是十分重要的, 国外已成功使用金刚石滚轮修整, 我们准备下一步再进行试验, 现仅将用金刚石修整时的纵走刀速度对磨削效果的影响介绍如下。

试验条件: 砂轮: GZ46ZR₂AP400×50×203

磨削条件: 砂轮速度: 50米/秒

工件速度: 48米/分

纵走刀速度: 2.5米/分

磨削深度: 0.025 毫米/双行程

修整条件: 修整工具: 金刚石

修整深度: 0.01毫米/单程

修整速度: 600, 900, 1200毫米/分

冷却液: 乳化液。

表 6 修整速度对磨削效果的影响

| 修整速度(毫米/分) | 600 | 900 | 1200 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| 每次修整后的金属总切除量(厘米 ³) | 105.2 | 170.5 | 115.8 |
| 单位时间金属切除量(厘米 ³ /分) | 6.8 | 6.7 | 6.6 |
| 耐用度(分) | 15.4 | 25.5 | 17.7 |
| 功率消耗(千瓦) | 8.6 | 8.3 | 8.2 |

从表 6 看出, 修整速度太低太高都不好。太低了, 砂轮表面修得很平, 砂轮切削能力差, 耐用度下降, 功率消耗也大。修整速度太高时, 功率消耗虽稍有下降, 但在吃刀深度较大的条件下, 锋锐的砂粒极易脱落, 从而很快失去切削能力, 耐用度也不高。从我们的试验来看, 以 900 毫米/分左右适当。

(三) 磨削径向压力对磨削过程的影响

磨削压力对磨削过程的影响, 一直是人们所注意的, 资料表明: 对于给定的砂轮和工件来说, 对生产率起主要作用的是径向磨削力, 同时加工表面质量也与径向磨削力有关。

切入磨削时的总磨削力(P)可以分解为如图 9 所示的径向分力(P_y)和切向分力

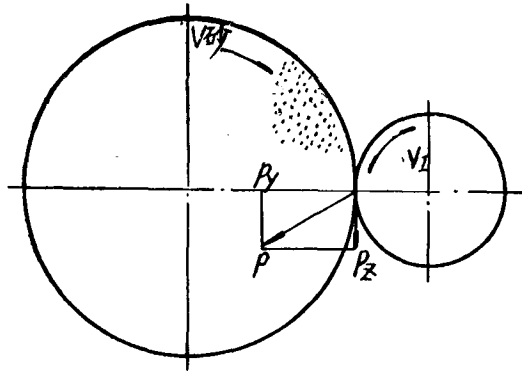


图9 磨削压力示意图

(P_z), 据测定, 这两个分力的比一般为2:1, 由于径向力 (P_y) 要比切向力 (P_z) 大, 同时对于磨削过程中的许多重要指标来说, P_y 力的大小及其变化情况更具有直接的意义, 因此, 我们在试验中采用控制 P_y 的恒压机构, 以测定不同磨削速度和砂轮特性对磨削过程的影响。现将径向磨削力的大小对磨削效果的影响试验结果列后。

试验条件: 砂轮: GZ70ZR₂AP400 × 50 × 203

砂轮速度: 50米/秒

工件速度: 50米/分 (180转/分)

工件性质: 45钢 HRC40~45 $\phi 90 \times 47$

修整工具: 金刚石

修整用量: $S_{\text{修}} = 1$ 米/分

$t_{\text{修}} = 0.01$ 毫米/单程

冷却液: 0.7%极压乳化液

表7 径向磨削力 P_y 对磨削效果的影响

| 磨削压力 P_y (公斤/每毫米砂轮宽) | 金属总切除量 V (毫米 ³ /毫米) | 单位时间切除量 Q (毫米 ³ /毫米·秒) | 耐用度 T (秒) | 功率消耗 N (千瓦) |
|---------------------------|-------------------------------------|--|----------------|------------------|
| 1.0 | 803 | 12.0 | 68 | 16.2 |
| 0.8 | 869 | 8.6 | 191 | 13.9 |
| 0.6 | 1012 | 6.3 | 160 | 11.3 |
| 0.4 | 2320 | 3.9 | 590 | 8.5 |

由上述试验可以看出:

(1) 对于选定的砂轮(切削性能一定)条件下, 单位时间金属切除量 (Q) 与径向压力 P_y 的增加成比例地增加(图10):

$$Q = K P_y$$

式中 Q ——单位时间单位宽度砂轮切除的金属(毫米³/毫米·秒);

P_y ——砂轮单位宽度上的径向压力(公斤/毫米);

K ——砂轮切削性能系数。

(2) 每次修整后的金属总切除量 (V) 是随着径向压力的增加而降低的, 但并不是直线关系(图11), 压力较小的范围内, 压力的变化对 (V) 的影响很大, 在压力较高的区域, 压力变化对金属总切除量 (V) 的影响就小了。

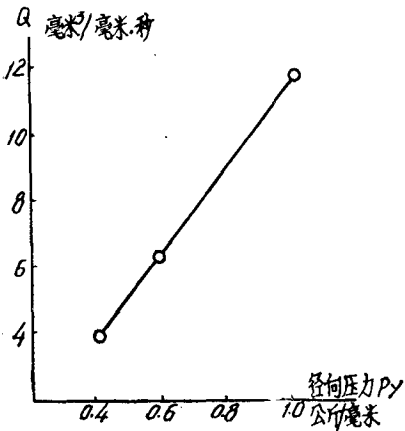


图10 径向压力和单位时间金属切除量的关系

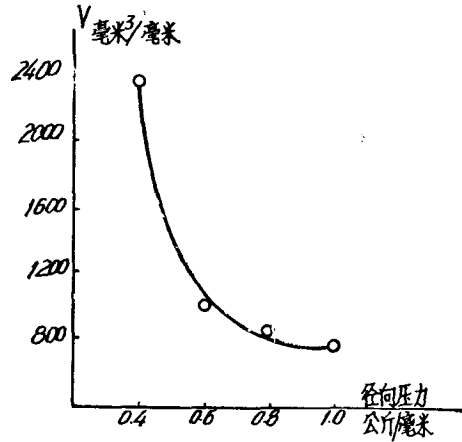


图11 径向压力和金属总切除量的关系

这是由于砂轮对工件的径向压力 P_r 增加时, 砂轮上参加切削的磨粒数及每颗磨粒刻出的刻痕深度和宽度都将增加, 也就是单位时间金属切除量增加, 使生产率提高, 但是磨削压力的提高受到砂轮耐用度的限制, 因为, 当压力增加时, 磨粒上所受的负荷增加, 当此负荷超过磨粒本身的强度或磨粒与结合剂的结合强度时, 则磨粒很快会磨钝或脱落, 造成砂轮工作表面正确几何形状的破坏, 此时, 砂轮和工件间的相对振动增加, 产生磨削噪音, 工件产生振纹, 因而耐用度下降。所以, 我们在以后的切入磨削试验中选择的径向压力在 0.6~0.8 公斤/毫米范围内。

(四) 磨削用量的试验

1. 砂轮速度对磨削效果的影响

提高砂轮速度正是高速磨削的主要内容, 根据许多单位试验证明砂轮速度提高后, 单位时间通过磨削区域的磨粒数目增加, 每颗磨粒切去的切屑厚度减小因而带来了高速磨削的一系列优点。下面将我们的试验结果介绍如下:

(1) 切入磨削 (在恒定径向压力条件下) 的试验结果

试验条件: 砂轮: GZ60ZR₁AP400×50×203

工件: 45钢 HRC40~45 $\phi 90 \times 47$

磨削压力: 0.8公斤/每毫米砂轮宽度

修整工具: 金刚石

修整速度: 1米/分

修整深度: 0.01毫米/单程

冷却液: 0.7%极压乳化液

试验结果列于表 8 和图12。

表 8 砂轮速度对磨削效果的影响

| 砂轮速度(米/秒) | 35 | 50 | 60 |
|---------------------------------------|------------|--------------|--------------|
| 每次修整后金属总切除量 V (毫米 ³ /毫米) | 425 | 638 | 840 |
| 单位时间金属切除量 Q (毫米 ³ /毫米·秒) | 5.3 | 5.9 | 7 |
| 耐用度 T (秒) | 80 | 110 | 130 |
| 工件表面光洁度 | $\nabla 6$ | $\nabla 7 a$ | $\nabla 7 b$ |
| 功率消耗 N (千瓦) | 7.7 | 10.7 | 13.4 |

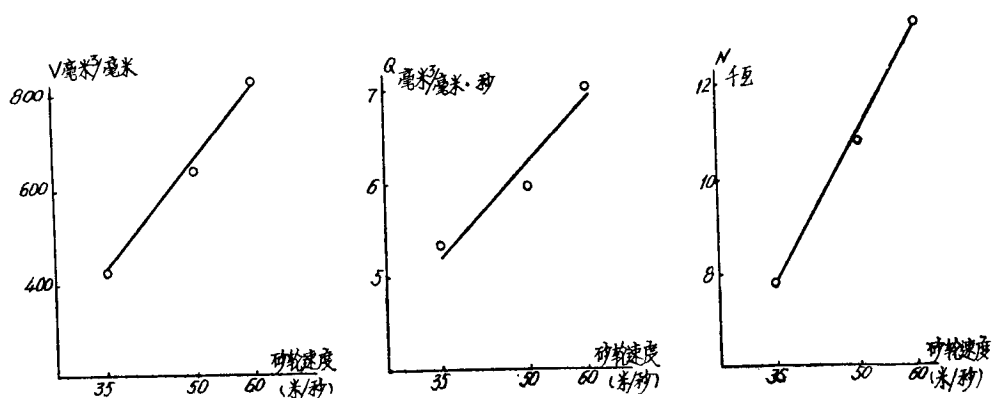


图12 砂轮速度对磨削效果的影响

有比较才能鉴别。从表 8 和图 12 中可以明显看出砂轮速度提高后对磨削效果的显著影响，每修一次砂轮的金属总切削和单位时间金属切除量与砂轮速度都是成比例地增加的，光洁度也有提高，但随着砂轮速度提高，功率的消耗也是增加的。

(2) 纵走刀磨削试验结果

试验条件：砂轮：GZ46Z₂AP400×50×203

工件：45钢 HRC40~45 $\phi 80 \times 300$

修整工具：金刚石

修整速度：0.36毫米/砂轮每转

修整深度：0.01毫米/单行程

冷却液：乳化液

试验结果列于表 9~10 和图 13~14。

表 9 和图 13 的数据表明：高速磨削（50米/秒）和普通磨削（35米/秒）比较，在单位时间金属切除量相同的条件下，每次修整后的金属总切除量增加一倍，耐用度也增加一倍，光洁度提高一小级。而功率消耗要增加40%。

如果保持每颗磨粒的切屑厚度相同，甚至更大，则随着砂轮速度的提高，可以增大进给量，使生产效率大为提高，从表 10 和图 14 看出，在这种情况下，单位时间金属切除量提高

表9 高速磨削和普通磨削耐用度比较

| | | | |
|------|---------------------------------------|--------------|--------------|
| 磨削条件 | 砂轮速度(米/秒) | 50 | 35 |
| | 工件速度(米/分) | 48 | 48 |
| | 磨削深度(毫米/双程) | 0.025 | 0.025 |
| 磨削效果 | 每次修整后的金属总切除量 V , (厘米 ³) | 170 | 82 |
| | 单位时间金属切除量 Q (厘米 ³ /分) | 6.7 | 6.7 |
| | 两次修正之间耐用度 T (分) | 25 | 13 |
| | 加工表面光洁度 | $\nabla 8 b$ | $\nabla 8 a$ |
| | 功率消耗 N (千瓦) | 8.3 | 6.0 |

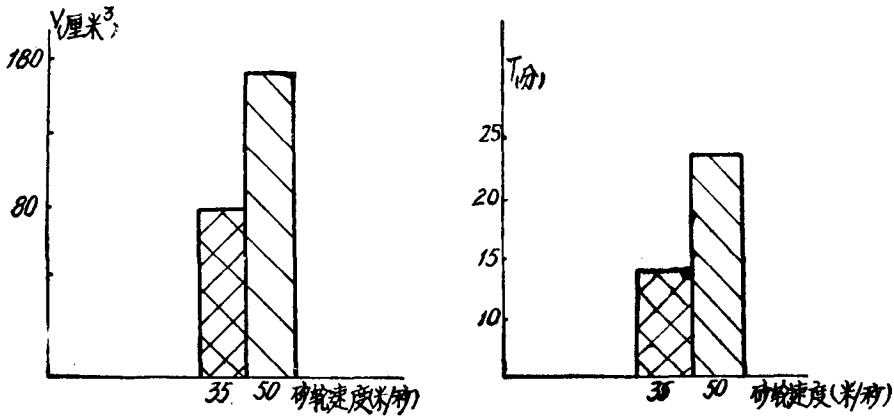


图13 高速磨削与普通磨削效果比较 (一)

表10 高速磨削和普通磨削生产效率的比较

| | | | |
|------|-------------------------------------|-----|-----|
| 磨削条件 | 砂轮速度(米/秒) | 50 | 35 |
| | 工件速度(米/分) | 56 | 56 |
| | 纵走刀速度(米/分) | 2.5 | 2.5 |
| 磨削效果 | 每次修整后的金属总切除量 V (厘米 ³) | 136 | 80 |
| | 单位时间金属切除量 Q (厘米 ³ /分) | 6.7 | 3.7 |
| | 耐用度 T (分) | 21 | 21 |
| | 功率消耗 N (千瓦) | 9 | 6 |

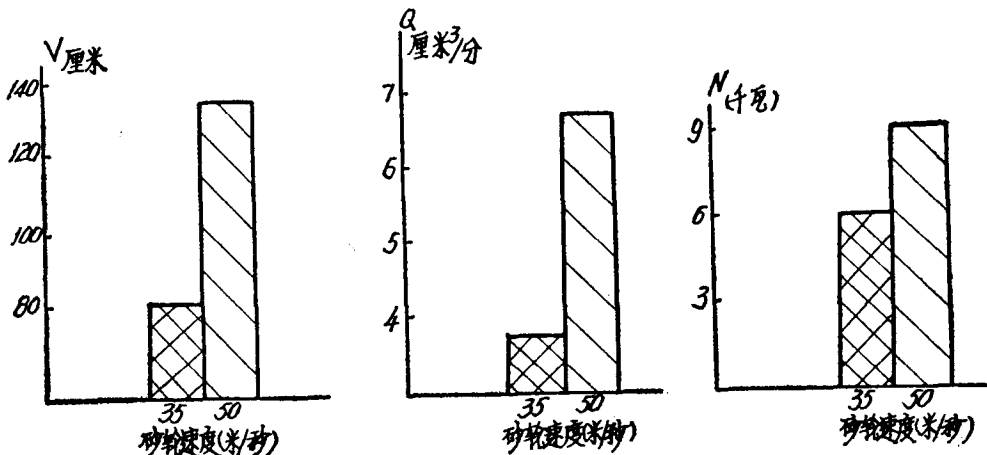


图14 高速磨削与普通磨削效果的比较 (二)

76%，每次修整后的金属总切除量提高70%，同样，由于砂轮速度和进给量加大，功率消耗要增加50%。

2. 切削深度的影响 (表11)

试验条件：砂轮：GZ46ZR₂AP400×50×203

工件：45钢 HRC40~45

修整条件： $S_{磨} = 900$ 毫米/分

$t_{修} = 0.01$ 毫米/单行程

磨削条件： $V_{砂} = 50$ 米/秒

$V_{工} = 56$ 米/分

$S = 2.5$ 米/分

$t = 0.015, 0.025, 0.035$ 毫米/双行程

冷却液：乳化液

表11 切削深度对磨削效果的影响

| 切削深度(毫米/双行程) | 0.015 | 0.025 | 0.035 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| 每次修整后的金属总切除量(厘米 ³) | 114 | 128 | 141 |
| 两次修整间的耐用度(分) | 30 | 20 | 16 |
| 单位时间金属切除量(厘米 ³ /分) | 3.8 | 6.3 | 8.8 |
| 功率消耗(千瓦) | 6.3 | 8.5 | 9.7 |

从表11看出，增加切削深度，单位时间金属切除是成比例地增加，虽然两次修整间砂轮的耐用度下降，但金属总切除量却增加，所以在较大切削深度下磨削是有利的。当然，在选择切削深度时还得考虑到机床和工件的刚性以及电机功率能否满足要求。在我们的试验中以0.025毫米/双行程为宜。

3. 纵走刀速度的影响 (表12)

磨削条件： $V_{工} = 48$ 米/分

$t = 0.025$ 毫米/双行程

$S = 1.5, 2.5, 3.5$ 米/分

其余条件同上。

表12 纵走刀速度对磨削效果的影响

| 纵走刀速度(米/分) | 1.5 | 2.5 | 3.5 |
|---------------------------------|-------|-------|------|
| 每次修整后磨去的金属总体积(厘米 ³) | 155.6 | 170.5 | 66.3 |
| 两次修整间的耐用度(分) | 35 | 25.5 | 8 |
| 单位时间金属切除量(厘米 ³ /分) | 4.5 | 6.7 | 8 |
| 工件表面光洁度 | ▽8c | ▽8a | ▽7c |
| 功率消耗(千瓦) | 7.6 | 8.3 | 9 |

从表12可看出，纵走刀速度不宜太小，也不宜太大，太大时，除单位时间金属切除量稍多外，其它指标均不好，特别是修一次砂轮磨不了多少金属，走刀速度太小时(1.5米/分)，

切削效率又太低，在我们的条件下，以 2.5 米/分最好，切削效率也高，修一次砂轮磨去的金属又最多，适合粗磨提高效率的目的。

4. 工件速度的影响

磨削条件： $S = 2.5$ 米/分

$t = 0.025$ 毫米/双行程

$V_{\text{工}} = 30, 42, 56, 70$ 米/分

其余条件同上(试验结果见表13)。

表13 工件速度对磨削效果的影响

| 工件速度(米/分) | 30 | 42 | 56 | 70 |
|--------------------------------|-----|-------|-----|-------|
| 速比 = 砂轮速度/工件速度 | 100 | 70 | 54 | 43 |
| 每次修整后的金属总切除量(厘米 ³) | 154 | 170.5 | 136 | 117.7 |
| 耐用度(分) | 23 | 25.5 | 20 | 17.5 |
| 单位时间金属切除量(厘米 ³ /分) | 6.7 | 6.7 | 6.7 | 6.7 |
| 功率消耗(千瓦) | 8.7 | 8.3 | 9.4 | 9.4 |

此外，随着砂轮速度和进给量的增大，磨削时的发热量也大，容易烧伤工件，此时除加大冷却液的供给量外，可提高工件速度，这样，工件每转砂轮进给量减少，砂轮与工件磨削区域的接触时间缩短，可有效地避免工件烧伤，这可从下面磨削轴承内圈外表面的试验看出来(表14)：

试验条件：机床：3M2130切入式沟道磨床

试件：7002136轴承内圈 GCr15MnSi HRC62~65

工件磨削表面尺寸： $\phi 210$

砂轮：GZ60ZR₁AP600×20×305

修整条件：金刚石修整

$S_{\text{修}} = 130$ 毫米/分

$t_{\text{修}} = 0.025$ 毫米/单程 (往复修整一次)

磨削条件：砂轮速度：50米/秒

横进给速度：1.04毫米/分

工件转速：65, 94, 128转/分

试验结果列于表14。

表14 工件转速对磨削烧伤的影响

| 工件转速(转/分) | 65 | 94 | 128 |
|-----------|---------|------------|------------|
| 烧伤深度(毫米) | 0.02 | 0.01~0.015 | 0.008~0.01 |
| 烧伤面积情况 | 面积大，不均匀 | 面积大，较均匀 | 面积小而均匀 |

从表14看出，随着工件转速提高，工件烧伤深度减小，烧伤面积也减小，并且分布均匀，但工件速度太高时，容易引起工件砂轮系统的自激振动，使工件产生多角形，顶尖孔和顶尖也容易磨损。所以砂轮速度增加时，工件速度应适当增加，他们之间有一个适当的比例