



高速磨削资料选编

第一机械工业部情报所

前 言

高速磨削是指砂轮线速度大于 45 米/秒的一种磨削工艺，具有磨削效率高，表面质量好和砂轮磨耗低等优点，近年来已成为磨削加工领域中的重要发展趋势。

高速磨削在国外已研试多年，六十年代中美国首先试制成功 60 米/秒的高速磨床，目前 60 米/秒和 80 米/秒的高速磨床国外均有商品出售。

我国早在 1958 年就有很多企业开始研试高速磨削，无产阶级文化大革命以来，特别是在批林批孔运动推动下，我国上海、河南、辽宁、湖北、吉林、江苏、浙江、湖南、北京、天津、陕西等十几省市广泛开展了群众性的高速磨削研试和推广工作，取得了显著效果。目前，50 米/秒和 60 米/秒的高速磨床在我国很多单位已在原有设备上改装成功，投入运行；50 米/秒的高速磨床也已试制成功，投入生产；80 米/秒的高速磨削也已着手研试，并取得初步成果。

为了交流经验，推广高速磨削工艺，第一机械工业部于今年 5 月在河南洛阳召开了高速磨削经验交流会。会后在有关单位协助下，我们将部分资料选编成册，供广大企业，院所参考。

由于编者水平有限，时间仓促，如有错误，请批评指正。

编 者

一九七四年十二月

TG58
2995

目 录

80米/秒高速磨削的初步试验	.....
.....上海机床厂、上海砂轮厂、郑州磨料磨具磨削研究所、上海交通大学、华中工学院	(1)	
砂轮表面冲洗后的磨削效果	.....
.....上海机床厂、郑州磨料磨具磨削研究所、华中工学院、上海交通大学	(5)	
等温淬火球墨铸铁凸轮轴的高速磨削	.....无锡柴油机厂	(8)
高速平面磨削	.....天津市机床厂	(17)
矩台平面磨床上的高速磨削	.....杭州机床厂	(23)
60米/秒高速磨削的试验与使用	.....瓦房店轴承厂、第一砂轮厂	(28)
60~80米/秒高速磨削试验	.....湖南大学	(38)
50米/秒纵进给高速外圆磨削	.....
.....华中工学院、郑州磨料磨具磨削研究所、沙市市第二机床厂、湖北内燃机配件厂	(46)	
M120W 磨床上的高速磨削	.....上海第三机床厂、上海交通大学	(58)
50~60米/秒高速磨削试验及推广	.....第一汽车厂	(63)
50米/秒高速磨削的应用	.....洛阳东方红拖拉机厂	(75)
高钒高速钢和耐热合金钢的高速磨削	.....黎明机械厂	(82)
M1432A 磨床的改装	.....
.....上海机床厂、郑州磨料磨具磨削研究所、华中工学院	(85)	
高速磨削的推广应用	.....郑州磨料磨具磨削研究所	(91)
超短三块瓦高速外圆磨头	.....湖南大学	(100)
全自动滚柱轴承内圈滚道挡边高速磨床	.....陕西机床厂	(109)
MB1632 型 50米/秒高速端面外圆磨床	.....上海磨床研究所	(113)
50米/秒高速砂轮的生产与使用	.....第四砂轮厂	(119)
60米/秒高速砂轮的生产与使用	.....第一砂轮厂	(120)
80米/秒高速陶瓷砂轮研制简况	.....上海砂轮厂、郑州磨料磨具磨削研究所	(124)
国外高速磨削的发展概况	.....郑州磨料磨具磨削研究所	(126)
国外高速磨床的发展概况	.....上海磨床研究所	(142)
高速磨削在国外轴承工业中的应用	.....洛阳轴承研究所	(166)

80米/秒高速磨削的初步试验

上海机床厂、上海砂轮厂、郑州磨料磨具磨削研究所、

上海交通大学、华中工学院

提高砂轮速度是高速磨削的中心内容。国内外许多资料均表明，砂轮速度的提高，使切屑的平均厚度减小，在比切除率为常数的情况下，将导致磨削力降低，工件表面光洁度提高，并使砂轮的磨损减小，砂轮耐用度提高。如果在增加砂轮速度的同时也增加比切除率，直到每颗磨粒的切屑厚度达到原来的厚度甚至更大一些，就可以显著地提高磨削效率。

砂轮速度对磨削效果的影响是通过磨削力的变化表示的，磨削力不但是磨床设计人员在考虑机床刚度和选择电机功率时的重要参数，而且将直接影响磨削过程的生产效率和加工质量，并与砂轮的使用性能有着密切的关系。

我们的试验是在恒定磨削压力的条件下进行的，试验的目的是在不同的径向磨削力的条件下比较不同的砂轮速度的磨削性能。

试验条件：

机 床	M131W 轴瓦：短三块 轴承间隙：0.05毫米 磨头冷却方法：用2#主轴油 外循环冷却 最高温升为20°C 砂轮电机功率：11千瓦
工 件	45钢 HRC42 尺寸 $\phi 100 \times 30$ 毫米
砂 轮	GG80ZR ₂ AP400×40×127(上海砂轮厂生产)
冷却条件	69-1 乳化切削液 浓度：3.9% 流量：90升/分 压力：0.5公斤/厘米 ²
修整条件	金刚石修整 修整速度：0.30毫米/砂轮每转 修整深度：0.01毫米/单程 每次总修整量：0.40毫米(直径)
磨削条件	砂轮速度：45, 60, 80米/秒 工件速度：66米/分 径向磨削力：0.5, 1.0, 1.5公斤/毫米
磨削方式	外圆切入磨削 磨削宽度30毫米

评定砂轮磨削性能的指标：

1. 比切除率 (Z')：单位时间内单位砂轮宽度金属切除量。单位：毫米³/毫米·秒。

2. 金属总切除量 (Q)：每次修整后单位砂轮宽度上金属总切除量。单位：毫米³/毫米。

从图 1-1 可以看出，比切除率随着磨削压力和砂轮速度的提高而成比例地增加，其关系

如下式：

$$Z' = K \cdot P_y$$

式中： K 为金属切除参数，单位： $\text{毫米}^3/\text{公斤} \cdot \text{秒}$ 。 K 值的大小反映了砂轮磨削性能的好坏。不同砂轮速度时 K 值不同。

80米/秒时， $K = 14.28 \text{毫米}^3/\text{公斤} \cdot \text{秒}$ ；

60米/秒时， $K = 11.71 \text{毫米}^3/\text{公斤} \cdot \text{秒}$ ；

45米/秒时， $K = 9.43 \text{毫米}^3/\text{公斤} \cdot \text{秒}$ 。

相邻砂轮速度之间金属切除参数值分别提高 22% 和 24%，由此可以看出提高砂轮速度所带来的明显效果。

但是，在每次修整后的连续磨削过程中，随着砂轮上磨粒的逐渐磨钝，砂轮的磨削性能是逐渐降低的，图 1-2、1-3 分别表示在不同的径向磨削力条件下砂轮的切削性能即比切除率 Z' 随着磨削时间的延长而逐渐降低的情况。不同磨削速度下有着大体相近似的磨钝规律，但在每一一定的时间内，仍然可以看出，随着砂轮速度的提高，比切除率是提高的。

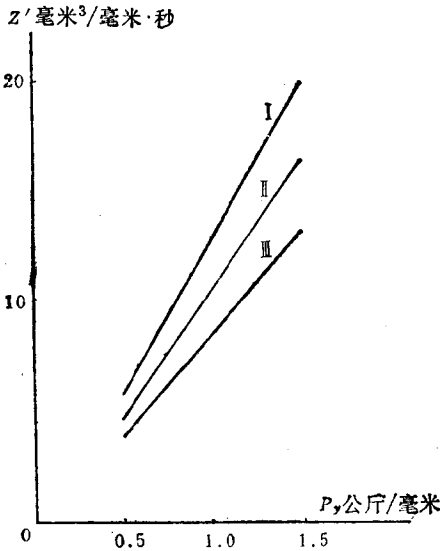


图1-1 在不同的砂轮速度下，比切除率与径向磨削力的关系

I - $V_{\text{砂}} = 80 \text{米/秒}$ ，II - $V_{\text{砂}} = 60 \text{米/秒}$ ，
III - $V_{\text{砂}} = 45 \text{米/秒}$

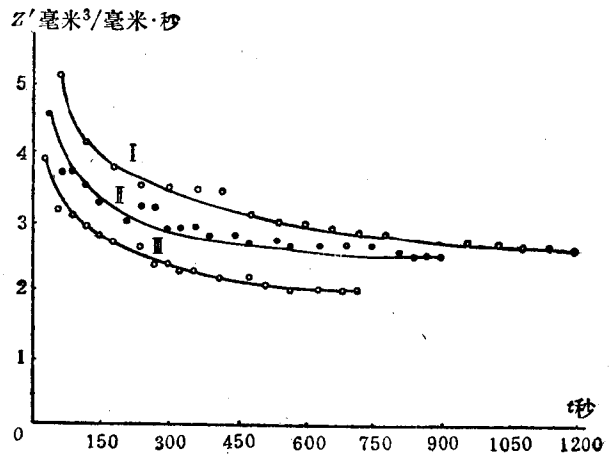


图1-2 比切除率与磨削时间的关系

$P_y = 0.5 \text{公斤/毫米}$ ， $V_{\text{工}} = 66 \text{米/分}$ 。
I - $V_{\text{砂}} = 80 \text{米/秒}$ ，II - $V_{\text{砂}} = 60 \text{米/秒}$ ，III - $V_{\text{砂}} = 45 \text{米/秒}$

金属总切除量是反映磨削性能的另一重要指标，从图 1-4 可以看出金属总切除量 Q 随着径向磨削力 P_y 的增加而减少，而随着砂轮速度的提高而提高。

许多资料还谈到工件速度对磨削效果的影响，从我们的试验来看，如图 1-5、1-6 所示，工件速度对比切除率和功率消耗的影响不大。

从图 1-6 还可以看出，功率消耗随砂轮速度和径向磨削压力的增加而增加。

以上试验可以明显看出，砂轮速度提高以后，切削性能和砂轮耐用度都有明显的提高。

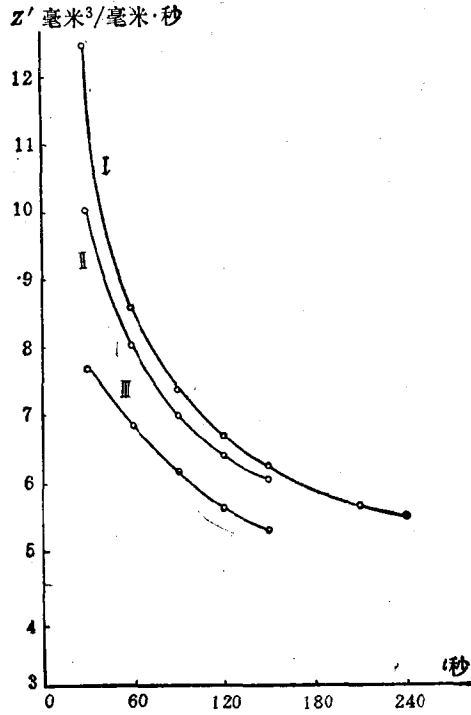


图1-3 比切除率与磨削时间的关系

$P_y = 1.0$ 公斤/毫米, $V_{\Gamma} = 66$ 米/分, I - $V_{\psi} = 80$ 米/秒, II - $V_{\psi} = 60$ 米/秒, III - $V_{\psi} = 45$ 米/秒

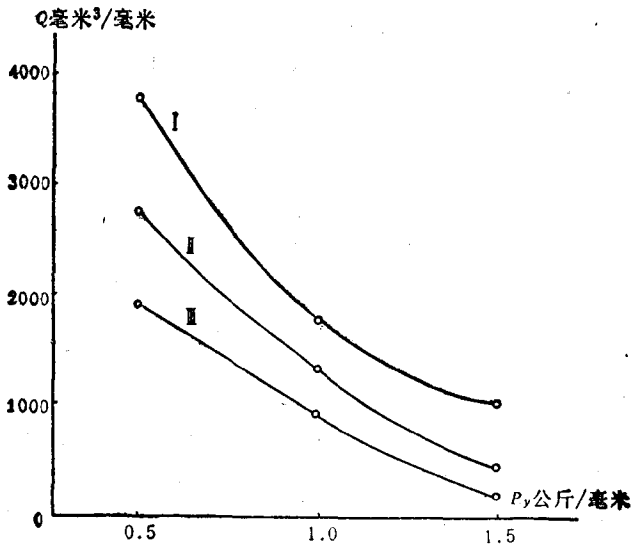


图1-4 金属总切除量与径向磨削力的关系

I - $V_{\psi} = 80$ 米/秒, II - $V_{\psi} = 60$ 米/秒,
III - $V_{\psi} = 45$ 米/秒

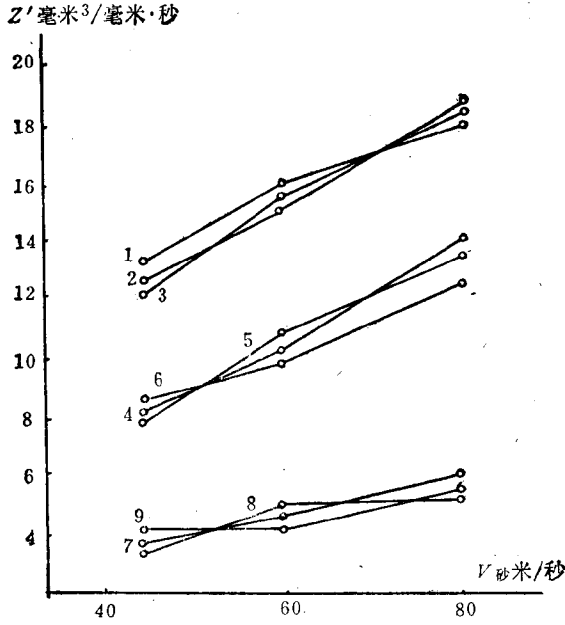


图1-5 工件速度与比切除率的关系

- 1- $V_I=45$ 米/分, $P_y=1.5$ 公斤/毫米; 2- $V_I=60$ 米/分, $P_y=1.5$ 公斤/毫米;
 3- $V_I=80$ 米/分, $P_y=1.5$ 公斤/毫米; 4- $V_I=45$ 米/分, $P_y=1.0$ 公斤/毫米;
 5- $V_I=60$ 米/分, $P_y=1.0$ 公斤/毫米; 6- $V_I=80$ 米/分, $P_y=1.0$ 公斤/毫米;
 7- $V_I=45$ 米/分, $P_y=0.5$ 公斤/毫米; 8- $V_I=60$ 米/分, $P_y=0.5$ 公斤/毫米;
 9- $V_I=80$ 米/分, $P_y=0.5$ 公斤/毫米

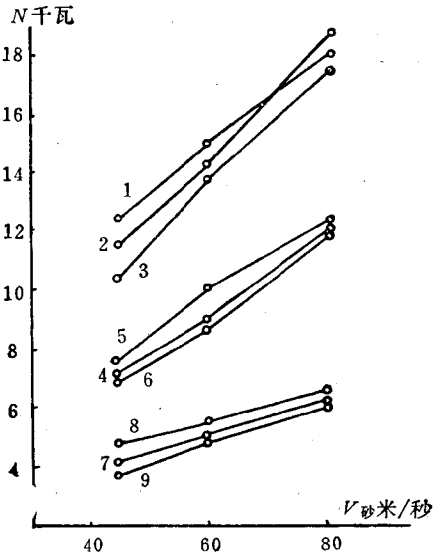


图1-6 工件速度与功率消耗的关系

- 1- $V_I=45$ 米/分, $P_y=1.5$ 公斤/毫米; 2- $V_I=60$ 米/分, $P_y=1.5$ 公斤/毫米;
 3- $V_I=80$ 米/分, $P_y=1.5$ 公斤/毫米; 4- $V_I=45$ 米/分, $P_y=1.0$ 公斤/毫米;
 5- $V_I=60$ 米/分, $P_y=1.0$ 公斤/毫米; 6- $V_I=80$ 米/分, $P_y=1.0$ 公斤/毫米;
 7- $V_I=45$ 米/分, $P_y=0.5$ 公斤/毫米; 8- $V_I=60$ 米/分, $P_y=0.5$ 公斤/毫米;
 9- $V_I=80$ 米/分, $P_y=0.5$ 公斤/毫米

砂轮表面冲洗后的磨削效果

上海机床厂、郑州磨料磨具磨削研究所、
华中工学院、上海交通大学

磨削加工中，砂轮经一次修整之后，其耐用度一般都是以工件表面出现烧伤或振纹为极限。砂轮由修整之后的锐利状态逐渐变到钝化状态的原因，一种是由于砂轮上磨粒的正常磨损，使砂轮的切削性能逐步降低，另一种是砂轮表面被切屑嵌塞，使起切削作用的磨粒数逐渐变少，使尚未完全失去磨削性能的磨粒，变得不能磨削。即使没有被嵌塞的磨粒，也因数量减少，使每一颗磨粒的负荷加重，而使磨损速度加快，使砂轮提早钝化。为了提高砂轮的切削性能和耐用度，应该首先在减少砂轮的嵌塞方面采取措施。对砂轮切削表面进行冲洗，是减少砂轮表面嵌塞的有效手段。我们在 80米/秒高速磨削效率试验的基础上，又进行了在磨削过程中对砂轮表面进行冲洗的试验。

一、砂轮表面冲洗对磨削效率的影响

冲洗试验是在 M131W 改装成 80米/秒的高速外圆磨床上进行的。用四只喷嘴均布在砂轮四周（如图 2-1）。每只喷嘴上有 12 个小孔，孔径为 0.6 毫米，并且均布在 6 毫米长度上，再把四只喷嘴的有效喷射长度如图 2-2 那样连续排列，喷射长度为 21 毫米，砂轮在一次修整条件下，20 毫米宽的砂轮上做冲洗试验，另外 20 毫米宽的砂轮表面上做不冲洗试验。这样做的目的是保证两种不同的试验是在同一修整条件下进行，消除因修整而产生的误差。

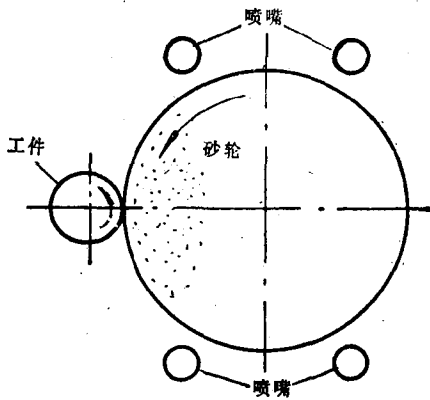


图 2-1 喷嘴位置

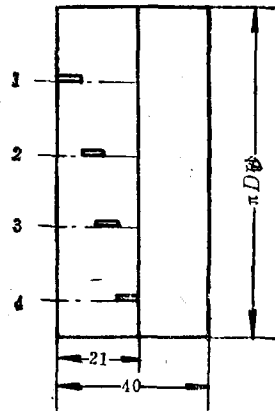


图 2-2 喷嘴位置展开图

冲洗用的液体，就是磨削用的冷却液，即 4% 的 69-1 水溶液，由 25 × 25 的齿轮泵供给，其他磨削条件如下：

砂轮：GB80Z₁AP400 × 40 × 127

砂轮速度：80米/秒

修整速度：0.30毫米/转
 修整深度：0.01毫米/单程
 工件：45钢 HRC45 $\phi 97 \times 40$
 工件转速：180转/分
 磨削压力：1公斤/毫米
 磨削宽度：20毫米
 喷嘴冲洗压力：13公斤/厘米²

试验结果如图 2-3。从图中直观地看到冲洗比不冲洗效果要好。图中曲线的一些试验数据点有不连续突跳的地方，表示更换试件所引起的误差，总的发展趋势应该如图中曲线那样。

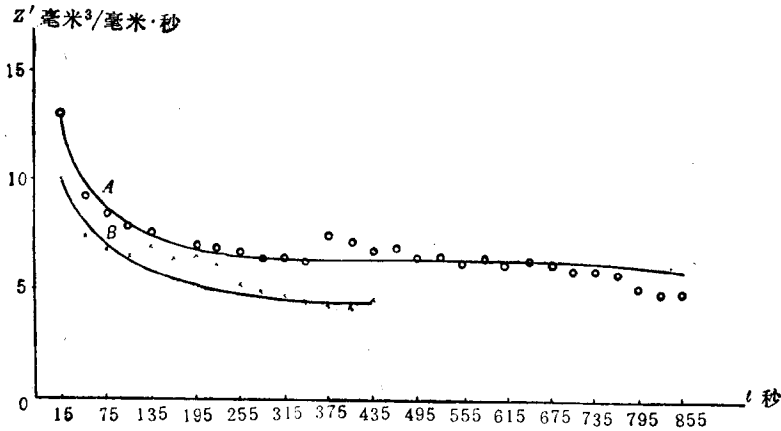


图2-3 比切除率随时间变化的规律

A—砂轮表面冲洗，金属总切除量5860毫米³/毫米，磨削比113.1；
 B—砂轮表面不冲洗，金属总切除量2478毫米³/毫米，磨削比86

表2-1

	总切除量 (毫米 ³ /毫米)	比切除率 (毫米 ³ /毫米·秒)	耐用度 (秒)	砂轮半径磨损 (毫米)	磨削比 G
冲洗	5860	12.6	855	0.045	113.1
不冲洗	2478	10.0	435	0.027	86.0

从本试验来看，冲洗与不冲洗相比效果是显著的，冲洗后，总切除量要增加113%，而磨削比也增大31%，同时，冲洗时的砂轮磨损为0.045毫米，不冲洗时只有0.027毫米，这一点说明，在有冲洗作用时，砂轮磨粒的磨损显著增大，也就是说，冲洗作用下能充分发挥磨粒的切削作用，一直达到磨粒正常磨损为止。而没有冲洗时，磨粒的磨损不算大，却过早地失去了切削性能，其主要原因就是嵌塞所造成。一般来说，砂轮在磨削过程中，磨粒被磨损而出现的小平面，以及砂轮被切屑嵌塞的面积是同时发展的，当此两者面积之和达到砂轮磨削总面积的一定比例时，工件上就会出现烧伤或振纹，或者说砂轮耐用度到了极限。在磨削过程中，究竟是磨粒上的小平面出现为主，还是砂轮嵌塞为主呢？根据不同的砂轮、不同的磨削用量、不同的工件材料，这两种面积的增长速度是不同的，有可能是磨粒上的小平面增长迅速而限制了耐用度，例如，下面做的冲洗压力试验，选用GZ80Z，砂轮便出现这种情况。也有可能是嵌塞增长为主而限制了耐用度。对此需要进一步对砂轮磨粒小平面和砂轮嵌塞面

积进行定量地测定，才能对磨削机理做深刻的分析。

从本试验中清楚地看到了冲洗效果，由于砂粒磨损出现小平面，若在保持高效率磨削条件下采取措施来降低小平面发展速度是比较困难的，但是，采用简单的冲洗喷嘴解决嵌塞来提高切削性能和砂轮耐用度却是极有前途的措施，将给生产上带来直接的好处。

二、冲洗压力与角度对磨削效率的影响

前面冲洗试验证明，冲洗是有效果的，因此，对喷嘴的冲洗压力和喷嘴对砂轮的冲洗角度进行了一些探索性试验。

1. 冲洗压力试验

试验条件：砂轮：GZ80Z₁AP400×40×127

磨削宽度：15毫米

冲洗喷嘴：0.3毫米宽的缝隙式喷嘴一只

其余条件与前面相同

试验结果如图 2-4 所示。由图可见，总切除量 Q 与磨削比 G 都随喷嘴压力的增大而增加，但不是直线关系，从曲线发展趋势来看，如果再继续提高冲洗压力，磨削效果还可以更好，由于条件的限制，压力只做到 15 公斤/厘米²。

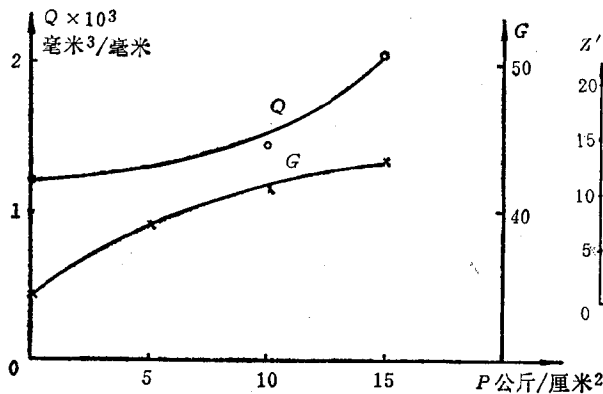


图2-4 总切除量 Q 和磨削比 G 与冲洗压力 P 的关系

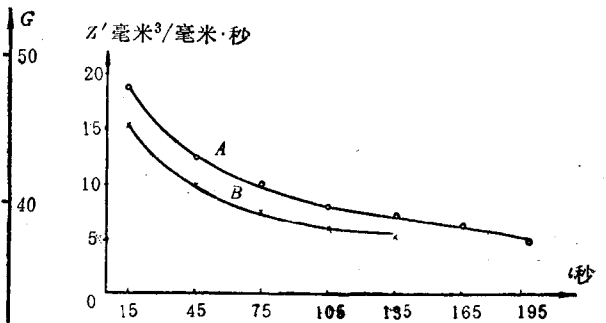


图2-5 不同冲洗压力下的磨削性能

A— $P = 15$ 公斤/厘米²， $Q = 2000$ 毫米³/毫米；
B— $P = 5$ 公斤/厘米²， $Q = 1270$ 毫米³/毫米

另外，根据试验数据求得不同冲洗压力下比切除率与时间的关系曲线，图 2-5 示出了在 15 和 5 公斤/厘米² 两种不同冲洗压力下的磨削试验情况，从图看出，不论是总切除量 Q 还是每一瞬时的比切除率 Z' 都说明：冲洗压力高的比低的好。

2. 冲洗角度的试验

试验条件：喷嘴压力 10 公斤/厘米²，其余条件同 1。

喷嘴角度的大小是按喷嘴的喷射方向与砂轮半径所夹的角度来决定的（图 2-6）。并规定冲洗方向逆砂轮旋转的喷射角取正值，顺砂轮旋转的喷射角为负值。实验结果表明，喷射角小比较好，逆砂轮旋转方向的冲洗效果较好。从图 2-6 看出，随着喷射角改变，喷嘴口到砂轮表面的距离发生改变，喷射液体与砂轮之间的相对速度也发生变化，也就是冲洗压力变化，喷射角越大，距离就远，冲洗压力就低，磨削效果就差。由于喷嘴结构问题，角度改变，喷

喷嘴到砂轮表面的距离 h 及压力均改变, 因此, 影响磨削效果的主要因素是冲洗时的压力还是角度, 有待结构的进一步改进后再验证。

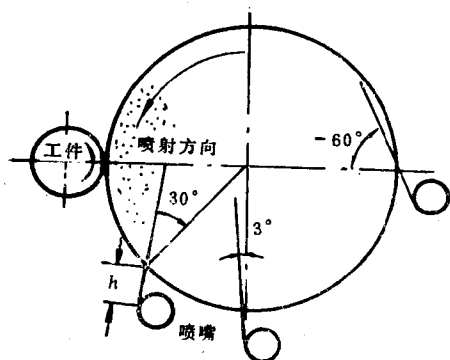


图2-6 不同角度的喷嘴口

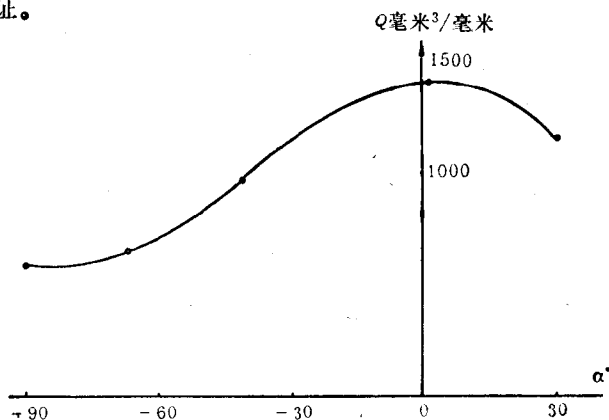


图2-7 喷嘴角度与总切除量的关系

三、结 论

1. 对砂轮表面进行冲洗的磨削效果有显著提高。在本试验条件下, 比一般不冲洗的磨削, 砂轮耐用度提高一倍, 总切除量提高一倍。

2. 冲洗效果随冲洗压力的增加而改善, 最合理的冲洗压力还有待进一步试验。

3. 对砂轮的喷射角度越小, 喷射口到砂轮表面的距离就越短, 冲洗作用的效果越明显。

4. 砂轮磨损后出现的小平面是砂粒的正常磨损, 要降低小平面的增长速度比较困难, 而用冲洗来消除切屑的嵌塞则是比较容易的。

5. 喷嘴有小孔式和缝隙式两种。孔的大小与数量和缝隙大小, 由压力来决定。小孔式喷嘴的孔径比较固定, 喷射流也较集中, 效果较好; 缝隙式喷嘴的喷射流则不很均匀, 且缝隙在 0.3 毫米以下时容易堵塞。喷嘴的最佳结构形式有待进一步研究改进。

6. 同样冲洗情况下, 砂轮种类不同, 磨削效果明显不同:

表2-2

砂 轮	总切除量(毫米 ³ /毫米)	耐 用 度 (秒)	砂轮半径磨损量(毫米)
GB80Z ₁	5860	855	0.045
GZ80Z ₁	2060	195	0.038

从上表分析, 砂轮的钝化, 对白刚玉砂轮来说是以嵌塞为主, 所以冲洗效果显著; 对普通刚玉砂轮来说, 是以磨粒的磨损为主, 所以冲洗效果不太显著。这种分析是否符合真实情况, 尚待用砂轮嵌塞测定装置和磨粒磨损小平面对测定装置进一步作定量分析。

等温淬火球墨铸铁凸轮轴的高速磨削

无锡柴油机厂

1973年初, 我们在郑州磨料磨具磨削研究所、上海机床厂和上海砂轮厂等单位的大力

支持下，对等温淬火球墨铸铁凸轮轴进行了高速磨削工艺试验，并应用于生产实践，取得了一定的效果。

一、高速磨削的机床改装及应用

在普通磨床上实现高速磨削，由于高速磨削对机床有一定的要求，所以机床要进行改装。

（一）砂轮电动机和砂轮

磨削过程中砂轮电动机所消耗的功率：

$$N = 0.0098 P_s \cdot V_s \text{ 千瓦}$$

高速磨削时，砂轮速度由原来的 35 米/秒提高到 51 米/秒，增加了 46%，因此砂轮电动机的功率亦要相应增大才能满足高速磨削的要求。事实上，砂轮电机消耗的功率不仅决定于砂轮速度，而且还决定于主切削力，而主切削力又决定于切削深度、切削宽度和进给量的大小。由于机床砂轮架位置的限制，我们仅将机床原有 7.5 千瓦电机更换为 J02-52-2 型电机，功率为 10 千瓦，功率增大 33%，限制了切削用量的进一步提高，当要进一步提高砂轮切入速度时，电机转速显著下降，表明了电机的功率还不能满足高速磨削的要求，因此，砂轮电动机的功率有必要进一步提高。

砂轮转速提高后，砂轮电动机和砂轮的微小不平衡都会随之产生较大的振动，这对磨削过程是十分不利的，因此要求电动机连同主动皮带轮都要经过良好的动平衡。

（二）砂轮主轴皮带轮卸荷装置

原机床传动结构是皮带直接装在砂轮主轴上，由于皮带传动，主轴与轴瓦间隙容易受皮带传动拉力的影响。当主轴受到拉力时，轴瓦受力不均，接触不良，部分间隙过大，另一部分间隙过小，在间隙过小部分容易造成局部摩擦加剧，温升过高，发生“咬瓦”或“烧瓦”。同时砂轮在回转时受到一个交变附加负荷和皮带振动影响，易发生附加振动而产生磨削波纹。为此，就在砂轮主轴后端采用了皮带轮卸荷装置，装置结构如（图 3-1）所示。

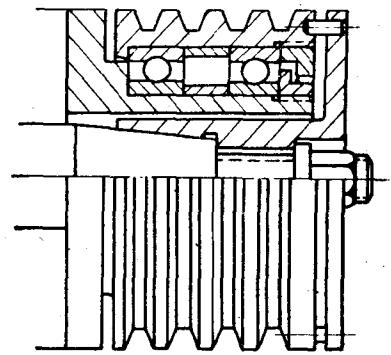


图3-1 皮带轮卸荷装置

皮带轮卸荷装置结构虽不复杂，但制造要求较高，同时我们发现由于砂轮直径及重量较大，转速不太高（约为 1620 转/分）时，不采用皮带轮卸荷装置时影响也不显著，所以我们在生产应用时取消了这一装置。

实践证明，当砂轮直径较大，转速不太高，特别在粗磨时，可不采用皮带轮卸荷装置，但在精磨时，由于磨削表面质量要求较高，而且主轴、轴承间隙较小，因此最好采用皮带轮卸荷装置。

（三）主轴、轴瓦的调整：

改装前，砂轮主轴与轴瓦的间隙分别为 0.030 毫米（M8395）和 0.015 毫米（M131）。这样小的间隙在砂轮速度提高后，容易造成间隙过小发热而“咬瓦”现象，因此我们在改装时将间隙适当调整增大，粗磨机床（M8395）的间隙为 0.05 毫米。精磨机床（M131）的间隙为 0.03 毫米。在一次调整间隙后，由于轴瓦经过“走合”，同时轴瓦承受压力后，间隙会“自

动”增大，往往调整经过运转一些时间后，会出现间隙过大而造成不正常振动现象。因此，必须反复检查测量，进行几次调整至间隙稳定。

M8395 凸轮磨床主轴瓦系是油淋式对开轴瓦，其润滑方式是靠飞溅润滑实现的，开始我们将间隙调整到 0.05 毫米后，发生严重“咬瓦”现象，以后逐步将间隙调大到 0.10 毫米，但仍经常产生“咬瓦”情况，特别是在停车后启动时，“咬瓦”现象特别严重。经拆开分析，主要因为停车后，飞溅润滑作用消失，同时轴瓦中残存润滑油，在砂轮和主轴等自重影响下沿轴瓦两侧流出，主轴与轴瓦间没有油膜，因此启动高速运转时，飞溅润滑还来不及发生作用，主轴与轴瓦就发生干摩擦而造成“咬瓦”。针对这一情况，我们在主轴瓦内壁开了两条环状和四条轴向油槽，油槽宽约 3 毫米，深约 1.5 毫米，同时在瓦背油孔口倒锥坑，使停车时有足够的残存润滑油。采取这一措施后，基本上消除了“咬瓦”现象，同时间隙也得到了合理调整，控制在 0.05 毫米左右。

M131 外圆磨床是油浸式长片轴瓦，由于轴瓦润滑情况良好，因此可以将主轴、轴瓦间隙调整得较小，控制在 0.03 毫米左右，这对精磨是比较理想的。

随着主轴、轴瓦间隙增大，主轴转速提高，原来主轴油封结构不能适应、润滑油渗漏消耗很大，这个问题还有待进一步改进解决。

普通磨削时我们一般采用 7# 高速机械油作砂轮主轴的润滑油，高速磨削时由于砂轮主轴转速提高很多，润滑油粘度太大，散热效能较差，造成润滑油温升过高而产生“咬瓦”。为此，我们在夏天采用 30%7# 高速机械油加 70% 煤油，冬天采用 10%7# 高速机械油加 90% 煤油，在使用过程中，正常温升约为 30℃ 左右，情况正常。

(四) 冷却装置及冷却液：

砂轮速度提高后，磨削强度大大提高，随之产生大量磨削热，因此磨削时的充分冷却十分重要。但是由于砂轮速度提高，在砂轮周缘的气流作用加强，冷却液不易进入磨削区。针对这一情况，我们一方面增加冷却液的供应量，机床上改用了 DB25 型冷却泵，流量为 25 公升/分，另一方面改装了冷却液喷嘴。改装后喷嘴的特点是减小了喷嘴的出口截面和增大了喷嘴宽度，这样大大提高了冷却液的喷射速度和冷却范围，减小了高速气流对冷却液的飞溅影响。同时将喷嘴角度适当调整，使冷却液在喷射力及气流力的合力作用下，恰好喷射入磨削区，如（图 3-2）所示。这样不但大大提高了冷却效果，而且由于冷却液喷射速度提高，对砂轮表面的冲刷能力加强，使大量的切屑及脱落磨粒随冷却液冲走，因此使砂轮保持了良好的切削表面，大大提高了砂轮的耐用度和磨削性能。

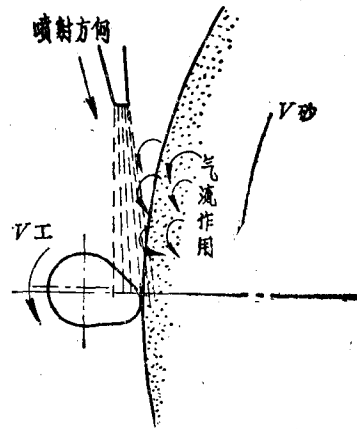


图 3-2

为了防止冷却液飞溅影响工人的操作，在机床前挡板上加装了一块滑轮移动式有机玻璃透明观察板。

由于砂轮高速运转及强大气流的作用，在砂轮架后面扬起了浓厚的水雾，影响了环境条件和增加了冷却液消耗，有待改进。

在磨削正火球墨铸铁（HB250~300）时一般采用 5% 乳化油 + 1% NaNO₂ 水溶液。磨削淬火球墨铸铁（HRC > 40）时采用 3% NaHCO₃ + 1% NaNO₂ 水溶液。采用乳化油水溶液虽

然具有较好的润滑作用，可获得较高的表面光洁度，但冷却作用不如 NaHCO_3 好，在磨削淬火球墨铸铁时由于材料强度提高，磨削强度和磨削热也较大，因此采用 NaHCO_3 水溶液冷却效果较好。另一方面，乳化油水溶液的粘度较大，在磨削淬火球墨铸铁时，易产生切屑粘砂轮现象而使磨削过程恶化。加入1%的 NaNO_2 ，是为了防止零件锈蚀。

(五) 砂轮防护罩：

为了防止砂轮破裂时造成设备和人身事故，在改装时将砂轮防护罩进行了改装。我们分析了原机床铸铁防护罩结构，没有给予较大改装，仅在防护罩开口上方的前面和两侧焊上10毫米厚钢板，使开口适当减小。为慎重起见，我们认为有条件，宜更换和采用加厚铸铁防护罩壳甚至采用铸钢防护罩壳。

(六) M8395 凸轮磨床摆动导轨支撑弹簧加强

M8395凸轮磨床在工作时，工件安装在摆动导轨上，靠一个支撑弹簧将工件压向砂轮。

高速磨削时，作用于工件的径向磨削力，由于磨削强度提高而有所增加，为了保证有较高的加工几何精度，因此在机床改装时，增加了一个支撑弹簧，提高了工艺系统的刚性。刚性提高后，凸轮的几何形状、精度有很大提高，凸肚现象有了明显消除。

二、磨削球墨铸铁的高速砂轮的的特性选择

在磨削球墨铸铁零件时，当前普遍存在的问题是：磨削效率低，砂轮易粘，砂轮耐用度低，损耗大，在磨削过程中容易发生表面波纹、表面灼伤和磨削裂纹。我们认为，这是由于球墨铸铁切削性能造成的，这与零件材料的热处理硬度和热处理规范、砂轮的特性的选择、磨削强度以至磨削过程的冷却液及冷却情况等因素均有很大关系，而砂轮特性的选择是否合理，对球墨铸铁零件的正常磨削有很大影响。

高速磨削砂轮除了对其回转强度有特殊要求外，其特性的选择原则与普通磨削砂轮的的特性选择原则基本相同。我们根据生产经验，对磨削球墨铸铁零件的砂轮的的特性选择有如下一些体会：

(一) 磨料的选择：

经验得知，磨铸铁材料选用碳化硅磨料，磨钢材选用刚玉磨料。根据我们了解到的国内一些兄弟厂的情况来看，磨球墨铸铁时，两种磨料的砂轮都有选用，但大都是选用刚玉砂轮。我们认为按材料简单分类来选用砂轮磨料的原则，对于球墨铸铁材料是不适宜的，有些资料推荐根据被磨材料的抗拉强度来选择砂轮磨料还是比较合理的，被磨材料的抗拉强度较高时 ($\sigma_b > 32$ 公斤/毫米²) 可选用具有较高强度和较高韧性并能承受较大压力的刚玉磨料。被磨材料的抗拉强度较低时 ($\sigma_b < 30$ 公斤/毫米²) 可选用质硬性脆而锋利的碳化硅磨料。

球墨铸铁虽属铸铁类材料，但经过球化处理，石墨呈球状分布于基体之中，同时经过不同方法的热处理后，可得不同的基体组织，球墨铸铁的机械性能较之普通铸铁有很大提高，从(表3-1)可知，特别是它的硬度，抗拉强度已接近甚至超过了普通碳钢，同时具有较铸铁为高的韧性，但是另一方面它又基本上属于脆性材料，因此就它的切削特性来看，是介于铸铁与钢之间的一种材料。

选用碳化硅砂轮磨球墨铸铁时，由于工件材料硬度和抗拉强度较大，磨粒不易切入，在高速磨削过程中，由于采用了较大的磨削用量，因此要求磨粒具有较大的韧性，才能承受较大的切削负荷。而碳化硅磨粒性硬且脆，抗碎力差，在较大的切削负荷作用下，磨粒往往不

表3-1 球墨铸铁与灰铸铁及45钢的机械性能比较

材 料		抗 拉 强 度 (公斤/毫米 ²)	延 伸 率 δ (%)	冲 击 值 σ_K (公斤/毫米 ²)	硬 度 HE(HRC)
灰 铸 铁		15~40	—	—	170~255
45 钢 (正火)		69	26	—	179~187
球 墨 铸 铁	QT45-5(正火)	≥ 45	≥ 5.0	≥ 2.0	170~207
	QT60-2(正火)	≥ 60	≥ 2.0	≥ 1.5	197~269
	QT60-2 (等温淬火)	100~150	1.0~5.0	3~8	(45~55)

是正常磨钝，而是在强烈的切削负荷下被碾碎，而又无法脱落自砺，粉末状破碎磨粒连同切削、粘结剂等混合在一起易将砂轮空隙堵塞，使砂轮部分或完全失去切削能力，产生不正常早期磨钝。此时反映在磨削过程中砂轮切入抗力增大，工件表面灼伤，有乌亮光澤，产生振动，砂轮工作表面光滑而有金属光澤，砂轮耐用度很低，必须频频修整才能继续磨削，工作效率很低。同时由于碳化硅砂轮很硬，在修整过程中，昂贵的金刚石修整工具消耗很大，也限制了它的生产使用范围。

选用刚玉砂轮磨球墨铸铁时，由于刚玉磨料有较大韧性和抗碎能力，保持了较好的砂轮的磨削性能，同时可采用较大的磨削用量。

我们认为目前在磨削球墨铸铁材料零件时，特别是淬火球墨铸铁，选用刚玉磨料比较适宜。

(二) 粒度的选择:

通常我们选择砂轮的粒度时，主要是根据磨削的效率和工件加工表面光洁度要求来考虑选择的，较细粒度的砂轮可获得较高的加工表面光洁度和尺寸精度，砂轮的形状保持性较好，但磨削效率较低，传热性能较差。当然工件材料的特性，零件结构的特点以及磨削宽度、磨削方法等亦是考虑的因素。球墨铸铁切削易粘砂轮，粒度太细后，容屑空间亦相应减小，容易造成砂轮堵塞，因此磨削球墨铸铁时砂轮粒度不宜太细，一般我们在作球墨铸铁零件普通磨削时，粗磨砂轮选用46[#]粒度，精磨砂轮选用60[#]粒度。

高速磨削时，要采用较普通磨削粒度较细的砂轮，增大砂轮工作表面的磨粒密度，一方面增加有效切削刃，另一方面可减小磨粒的切削厚度，改善磨粒的承受负荷情况和砂轮的外形保持性，有助于提高砂轮的耐用度和工作平稳性，在一定程度上可提高磨削工件的表面光洁度和尺寸精度。

我们认为高速磨削时，选用的砂轮粒度可较普通砂轮的选用粒度细一级，我们在磨削球墨铸铁零件时，高速磨削粗磨砂轮选用60[#]粒度，精磨砂轮选用70[#]或80[#]粒度。

(三) 硬度的选择:

高速磨削砂轮的硬度要比普通磨削硬度稍软一些，这是因为砂轮速度提高后，砂轮的硬度会有所提高，同时高速磨削时磨削过程比普通磨削强烈，而且比切除率要高，因此必须保持砂轮有良好的自砺作用和切削性能。砂轮硬度太高，砂轮自砺作用削弱，磨削性能恶化，不但影响了高速磨削的优越性，降低磨削效率，而且容易造成工件过热、灼伤、变形等不良后果。但是由于影响选择砂轮硬度的因素较多，很难确切判断选择高速磨削砂轮的合

理硬度，因此我们在选用高速磨削砂轮的硬度时与普通磨削砂轮的硬度相似，一般磨球墨铸铁时选用硬度等级为 ZR₁~ZR₂ 较合适。

(四) 组织的选择:

合理选择砂轮的组织对提高磨削效率、磨削质量和砂轮耐用度有很大影响。高速磨削由于采用的磨削用量较大，磨削过程中产生热量较大，选用的砂轮粒度较细，切去的金属量较大，球墨铸铁切屑非常细微，容易造成砂轮堵塞和不正常磨钝，因此选用的高速磨削砂轮希望有较疏松的组织，有助于切屑的容纳和排除，亦有助于磨削热的排除，因而有利于提高磨削效率和表面质量，高速磨削球墨铸铁零件时宜采用 7 号或 8 号疏松组织的砂轮。此外，采用微气孔组织砂轮比较理想。

高速磨削砂轮除了合理选择它的特性参数，砂轮本身质量，特别是砂轮的硬度和组织的均匀性对磨削效果也有很大影响，如果砂轮组织和硬度不均匀，容易造成砂轮表面磨粒的不均匀脱落，不但会降低磨削表面质量和砂轮耐用度，而且会造成砂轮平衡状态恶化，砂轮工作平稳性降低，使砂轮在工作过程中要多次进行平衡，影响磨床的工作效率。

三、高速磨削中的表面波纹，表面灼伤和磨削裂纹

(一) 表面波纹:

球墨铸铁零件在磨削过程中，容易产生振动而在磨削表面造成波纹，严重影响零件表面质量和加工精度。

球墨铸铁零件磨削时，切屑易将砂轮堵塞，使砂轮丧失切削作用而产生振动，造成表面波纹，这是球墨铸铁零件磨削过程中的一个特点。在进行高速磨削时，由于砂轮切削性能得到改善，有助于减轻这一现象。

我们在机床改装中采取的平衡措施，主要是将砂轮电动机连同皮带轮进行整体动平衡、砂轮在工作前进行两次静平衡。改装后在二台机床上发生了不同情况。

M 8395 凸轮磨床粗磨凸轮时，振动有所减小，零件表面波纹度较普通磨削时有较显著减少，表面光洁度亦略有提高。我们认为除了改装中采取了一些平衡措施，高速砂轮切削性能改善等原因外，另一方面是由于高速磨削时，随着砂轮转速提高，油膜刚度得到提高，增加了砂轮运转的平稳性。

M 131 外圆磨床精磨主轴颈时，振动增大，表面产生了普通磨削时没有的严重波纹。我们分析主要是这台机床使用以来尚未检修过，使用年久，砂轮架滚子导轨严重磨损，砂轮架与导轨接触不良，因此当砂轮转速提高后，产生了强烈的强迫振动，造成了磨削表面的严重波纹度。因此，我们认为只要在改装高速磨床过程中，对机床进行仔细检修，并按普通磨削过程中，消除振动的途径，排除可能产生振动因素，则在高速磨削时，振动及其引起的表面波纹是可以消除的。

(二) 表面灼伤:

球墨铸铁零件，特别是淬火球墨铸铁零件，在磨削过程中的表面灼伤一直是比较严重的质量问题。

磨削表面灼伤是因为磨削区磨削表面温度过高而引起的。球墨铸铁由于基体中的石墨呈球状分布，相互隔离，因此它的导热系数只是灰铸铁，可锻铸铁的 50~80%。球墨铸铁与灰铸铁及可锻铸铁导热系数比较见表 3-2。

表3-2

材 料	导热系数 λ (卡/厘米·秒 $^{\circ}$ C)
球墨铸铁	0.085~0.090
灰 铸 铁	0.110~0.120
可锻铸铁	0.150~0.158

所以，在磨削过程中产生的热量不易传导散失，集中在磨削区表面而导致表面温度过高造成灼伤的情况要比灰铸铁、可锻铸铁零件严重，甚至引起局部退火而硬度降低，影响了零件使用寿命。

高速磨削时砂轮速度提高，磨削用量增大，在磨削区的温度也相应增加。如前分析，砂轮速度提高后，如保持磨粒切削厚度不变，工件速度亦可提高。工件速度提高后，不但可提高磨削效率，而且可大大降低磨削区温度。另一方面工件速度提高后，零件与砂轮的接触时间减少，工件散热条件改善，减轻了表面灼伤现象。我们在高速磨削粗磨凸轮时，将工件转速提高47%后，表面灼伤现象大为减轻。

但是，工件转速提高后，不但加剧了顶尖孔急剧磨损和容易产生自激振动，同时也会因顶尖与顶尖孔的剧烈摩擦发热而产生顶尖与顶尖孔“咬住”现象和工件热变形伸长造成工件弯曲。根据资料介绍工件速度与砂轮速度的比例为1:60较为适宜。对于象凸轮轴这类零件的仿形磨削，比例可适当增大。

我们提高后的工件速度如表3-3所示。

表3-3

工 序 名 称	机 床	工 件 速 度	砂 轮 速 度	速 度 比
粗磨凸轮	M8395	12.6米/分	51米/秒	1:250
精磨主轴颈	M131	29.4米/分	51米/秒	1:100

工件速度提高后，表面灼伤情况仍未彻底消除，我们分析认为，由于高速磨削的磨削用量增大很多，磨削比较强烈所致，但相对普通磨削而言，已有显著减轻。目前对表面灼伤，一方面通过控制精磨余量，在精磨时磨去灼伤层，另一方面还准备进一步提高工件转速来解决。

(三) 磨削裂纹:

淬火球墨铸铁在磨削过程中容易产生表面磨削裂纹，这是零件所绝对不允许存在的。

淬火球墨铸铁凸轮轴表面磨削裂纹最多发生在凸轮两侧升降曲面部位，呈龟裂状密集网纹，深度很浅，一般磁粉探伤可以发现，较严重的肉眼也可清晰看到。

在磨削过程中，零件内部产生磨削应力，再加上磨削前零件内部的热处理残余应力，当两者作用之和超过了零件材料的极限强度时，零件表面就产生磨削裂纹。

有些研究指出:

$$\sigma_{\text{磨}} = E\alpha T$$

E ——材料弹性模数，

α ——材料线胀系数，

T ——磨削区温度。

$$T = \frac{2}{\sqrt{\pi C_Y \lambda}} \cdot \frac{C_p \cdot t^{(x-0.25)} \cdot V_I^{(z-0.5)} \cdot V_{\text{磨}}^2}{S^{(1-y)} \cdot R^{0.25}}$$