

770706

(苏) H·H·雅歌利勃 H·H·卡拉依姆

5755

5/062



滚动支承 高速内圆磨头



机械工业出版社

滚动支承高速内圆磨头

〔苏〕 П·И·雅歇利钦 И·П·卡拉依姆著
王作钧 译

机械工业出版社

本书论述了国外各主要公司的内圆磨头结构, 并与苏联的СШ系列高速 (60~80米/秒)磨头作了分析比较, 给出了磨头轴承在不同的排列方式和不同数量的支承中保证轴承预过盈的最佳装配条件; 给出了СШ系列磨头的刚度计算; 研究了砂轮的平衡方法和平衡装置; 分析了高速内圆磨削中直接在机床上平衡砂轮的可能性; 介绍了作者在这方面的研究成果, 作者还论证了СШ系列磨头的设计方法和计算平衡块安装位置仪器的工作原理, 阐述了高速内圆磨削工艺的特点和优点。

本书的读者是金属切削加工工业的科学工作者和工程技术人员, 也可供本专业的大学生参考

СКОРОСТНЫЕ ВНУТРИШЛИФОВАЛЬНЫЕ

ШПИНДЕЛИ НА ОПОРАХ КАЧЕНИЯ

П. И. ЯЩЕРИЦЫН, И. П. КАРАИМ

МИНСК «НАУКА И ТЕХНИКА»

1979

滚动支承高速内圆磨头

〔苏〕П. И. 雅歇利钦 И. П. 卡拉依姆著

王作钧 译

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 · 各地新华书店经售

开本 787×1092 1/32 · 印张 7 1/2 · 字数 163 千字

1985年4月北京第一版 · 1985年4月北京第一次印刷

印数 0,001—4,850 · 定价 1.60 元

统一书号: 15033·5679

前 言

磨削方法是加工高精度零件最普遍和效率最高的方法。磨削方法的优点是：加工精度高（尺寸精度为2~4微米或更高，不柱度为1~2微米，不圆度为0.3~0.5微米）；能保证磨制表面的光洁度达到7~9级；在个别情况下能达到10~11级或更高；能在加工过程中按给定的规律改变磨削用量，以保证磨削表面具有要求的使用特性；磨削方法能去除最薄的金属层。

在各类磨削中，内圆磨削是最为困难的。例如与外圆无心磨削相比，内圆磨削所消耗的劳动量为其6~10倍。这是因为内圆磨削中砂轮的工作面积总是小于被磨表面的面积，而且内圆磨削时零件总是进行单件加工的。

近年来，磨削技术正在向60~80米/秒（或更高）的高速磨削方向发展，并同时增加径向进给量，从而保证了劳动生产率的提高。但是，在现有设备上进行高速内圆磨削的试验表明，首先是现有的内圆磨床结构不能适应高速磨削的要求。这就是不能保证其所磨制的内表面在尺寸精度、不柱度和不圆度方面达到要求的精度，而且磨头的寿命也短。

为创造新的磨头结构以满足高速内圆磨削的要求，必须深入掌握内圆磨削过程的基本工艺规律，并在此基础上仔细分析一些名牌磨头结构的优缺点

工艺科学的发展历史证明，当积累的知识和结构上的解决方法都很丰富的时候，便要求人们对其进行总结和归纳，以促进其发展。现在，皮带传动滚动支承内圆磨头的设计问

题，就正处在这样的发展阶段。因此，本书作者为自己提出的任务是：在从各个方面研究和分析各种名牌磨头结构的基础上，判明磨头的主要结构特征，并根据这些特征确定磨头本身的基本参数（刚度、抗振性、旋转精度、寿命等）和磨削过程的基本参数（生产率、磨削精度和表面质量）。因此，最为重要的问题就是探求磨头结构，建立磨头的计算方法，以及对磨头的各项基本参数进行试验。这样创造出的磨头，才有可能满足高速内圆磨削的要求。因此，书中对内圆磨头的设计问题，是紧密结合内圆磨削过程本身的基本规律进行研究的。

实际观察的经验和试验研究都表明，振动对磨制表面的光洁度、波纹度和各种不圆度的形成机理有极重要的影响。但是，目前还没有一种根本的方法能彻底解决高速内圆磨头的抗振性问题，使其满足高速内圆磨削的严格要求。为了试图解决高速磨头的抗振性问题，作者创造了高刚度的磨头结构，设计了直接在机床上平衡砂轮的新方法和新装置。

用新设计的磨头和平衡装置进行的内圆磨削过程的实验研究表明，对工艺、设计和计算问题进行综合研究取得了一定的成果。用这种综合解决问题的方法，能显著提高内圆磨削的生产率，并同时改善磨制表面的质量。而要在生产条件下实现高速内圆磨削，还有一系列有关问题需要解决。例如，如何实现技术安全规程，如何提高无烧伤磨削的磨削用量，怎样改进冷却方法和冷却装置，以及建立新的磨削循环等。

全部设计工作和研究工作，包括设计“СШ”系列磨头和各种实验装置，以及对高速内圆磨削过程进行的研究，都是在全苏轴承工业设计工艺科学研究院明斯克分院的磨削实验室完成的。

目 录

前言

第一章 皮带传动滚动支承内圆磨头的结构.....	1
1.1 乔治穆勒 (Georg Müller) 公司 (西德) 的内圆磨头.....	1
1.2 弗尔图纳 (Fortuna) 公司 (西德) 的内圆磨头.....	8
1.3 法格 (FAG) 公司 (西德) 的内圆磨头.....	15
1.4 格伯格 (GBG) 公司 (西德) 的内圆磨头.....	18
1.5 布瑞安特 (Bryant) 公司 (美国) 的内圆磨头.....	20
1.6 诺瓦 (Nova Matik) 公司 (意大利) 的内圆磨头.....	22
1.7 泰克拉 (Tacchella) 公司 (意大利) 的内圆磨头.....	25
1.8 费米尔 (Famir) 公司 (意大利) 的内圆磨头.....	28
1.9 盖巴弗里托 (Gamba Florito) 公司 (意大利) 的内圆磨头.....	29
1.10 司开夫 (SKF) 公司 (瑞典) 的内圆磨头.....	32
1.11 乌维埃 (UVA) 公司 (瑞典) 的内圆磨头.....	35
1.12 沃马 (Voumard) 公司 (瑞士) 的内圆磨头.....	35
1.13 东洋 (NTN) 公司 (日本) 的内圆磨头.....	36
1.14 弗劳洛轴承厂 (东德) 的内圆磨头.....	38
1.15 捷克摩托车厂 (ČZM) 的内圆磨头.....	49
1.16 "LZTK" 公司 (南斯拉夫) 的内圆磨头.....	53
1.17 特殊内圆磨头.....	53
1.18 ЭННМС (苏联) 设计的内圆磨头.....	61
1.19 内圆磨头的一些专利结构.....	63
1.20 内圆磨头的结构分析.....	68
第二章 CIII系列高速内圆磨头.....	81
2.1 CIII系列内圆磨头的结构.....	82
2.2 磨合、研究和鉴定CIII系列磨头的试验台.....	92
2.3 磨头轴承的配对和配套仪器.....	95

2.4	轴承数量和排列方式对磨头工作参数的影响	97
2.5	向心推力球轴承的最佳预过盈	108
2.6	CIII系列磨头与其他磨头的比较	114
2.7	向心推力球轴承与CIII系列磨头的轴向刚度	118
2.8	CIII系列内圆磨头的刚度计算	123
2.9	CIII系列磨头旋转精度的计算	139
第三章	砂轮的平衡	144
3.1	在机床外平衡砂轮	145
3.2	在机床上非自动平衡砂轮	147
3.3	在机床上自动平衡砂轮	164
3.4	直接在机床上平衡砂轮	170
3.5	直接在机床上平衡砂轮的分析	175
3.6	直接在机床上平衡砂轮时确定平衡块安装位置的仪器	183
第四章	高速内圆磨削的效率	193
4.1	CIIIK-2型砂轮防护装置(4.1)	193
4.2	圆锥滚子轴承环的高速内磨	196
4.3	提高高速内磨效率的一些方法	198
4.4	双速内磨效率的研究	207
4.5	通过砂轮孔隙供给冷却润滑液的高速内圆磨削	215
	参考文献	231

第一章 皮带传动滚动支承内圆磨头的结构

内圆磨床的生产率和加工质量，在很大程度上决定于内圆磨头的结构和制造质量。在大量生产条件下尤其如此。现代内圆磨床带有滚动支承和空气轴承的电磨头和气动磨头，以及皮带传动的静压轴承和滚动支承磨头。其中皮带传动的滚动支承磨头用得最广。因为这种磨头能加工不同长度（达500毫米或更长）零件上的孔，而且所加工的孔的直径范围也最大（从70毫米到250毫米或更大）和最常用。此外，这种磨头还具有结构简单，使用方便，工作可靠和寿命长的优点，在大多数情况下，都能满足零件内表面加工的生产率和加工质量方面的要求。因此，国外许多公司对皮带传动滚动支承内圆磨头都非常重视，不断改进自己的磨头结构并提高其制造质量。本书的主要目的，是为磨削孔径为70~250毫米滚柱轴承环创造一种新结构的皮带传动滚动支承的高速内圆磨头。这里将以产量大且在各种内圆磨床上用得广的外国公司的磨头为重点，讨论一些名牌磨头的结构。

1.1 乔治穆勒(Georg Müller)公司(西德)的内圆磨头

乔治穆勒公司(GMN)生产向心球轴承、向心推力球轴承、磨床和其他设备。还用自己制造的滚动轴承生产多种电磨头和皮带传动的内圆磨头。该公司生产的所有磨头都标有“TEMPO”字样。

“GMN”公司生产的内圆磨头系列分为七种型式，每种

型式包括有10~60种规格。该公司还建立了磨头壳体的外径和长度的系列标准^[1,1]。这里简要地介绍一下“GMN”公司磨头的特点和规格。

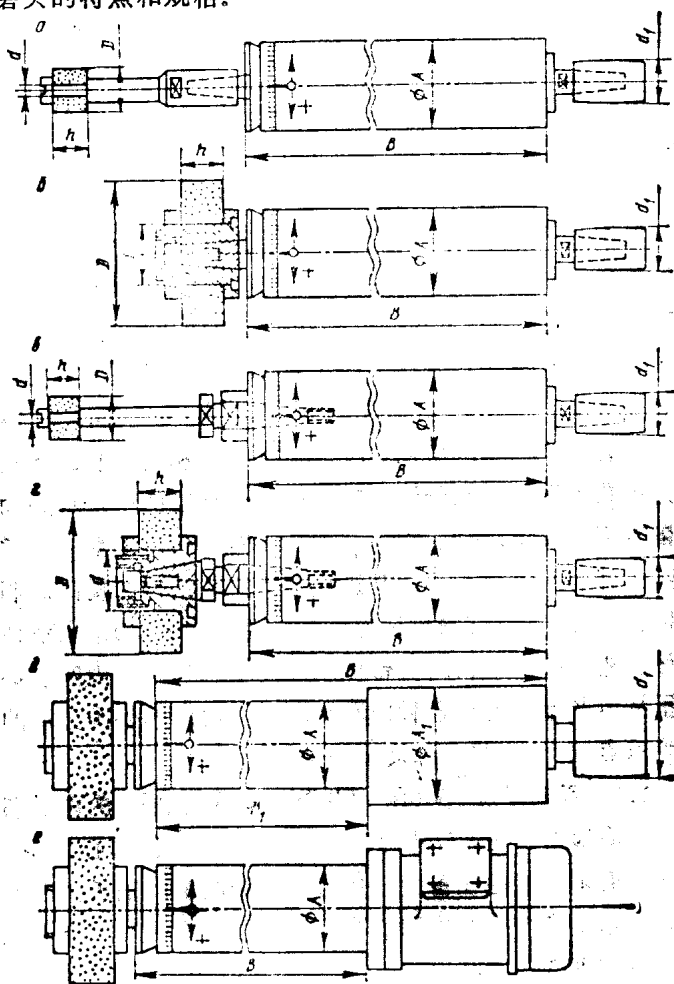


图1.1 “GMN”公司(西德)内圆磨头的型谱
a和b—TSA型 c和e—TSI型 d—TSAL型 e—TSE型

TSA型磨头的特点是在磨头主轴前端的外锥面上装卡砂

表1.1 TSA型磨头基本参数和规格

磨头的壳体 参数A×B	砂轮规格 D×h×d	皮带轮直 径d ₁	转速 (转/分)
(毫米)			
20×125 20×160 20×200 20×250	4~25×6~10× 1.5~13	14~28	45000~25000
26×125 26×160 26×200 26×250 26×315	4~36×6~16× 1.5~16	16~36	39300~17500
32×125 32×160 32×200 32×250 32×315 32×355	4~50×6~16× 2~20	18~50	3500~12600
40×160 40×200 40×250 40×315 40×355	5~63×6~20× 2~25	20~25~63	31400~25200~10000
50×160 50×200 50×250 50×315 50×344 50×400	5~80×6~32× 2~32	25~32~80	25200~19700~7900
60×160 60×200 60×250 60×315 60×400 60×500 60×630	5~100×6~40× 2~32	32~40~100	19700~15800~8300
70×200 70×250	20~100×20~40 ×6~51	40~50~100	15800~12600~8300

续表

磨头的壳体 参数 $A \times B$	砂轮规格 $D \times h \times d$	皮带轮直 径 d_1	转速(转/分)
(毫米)			
80 × 200 80 × 250 80 × 315 80 × 355 80 × 400 80 × 500 80 × 630	25 ~ 125 × 25 ~ 63 × 8 ~ 51	45 ~ 50 ~ 56 ~ 125	14000 ~ 12600 ~ 11200 ~ 5040
100 × 250 100 × 315 100 × 355 100 × 400 100 × 500 100 × 630 100 × 800	25 ~ 150 × 32 ~ 70 × 10 ~ 76	63 ~ 160	10000 ~ 3940
120 × 630 120 × 800 120 × 1000	200 × 80 × 76	210	3000
140 × 800 140 × 1000 140 × 1250 140 × 1400	250 × 80 × 76	280	2420

轮接杆和夹盘(图1.1a,6)。表1.1给出了“GMN”公司TSA型磨头的基本参数和规格。

TSI型磨头的特点是在磨头主轴前端的内锥面上装卡砂轮接杆和夹盘(见图1.1b,c)。这样做能提高接杆的刚度,但却减小了可磨孔的长度。表1.2给出了TSI型磨头的基本参数和规格。

TSAL型磨头是各别TSA型磨头的加长型式,用于磨削很深的孔。这种磨头只能用夹盘装卡砂轮(图1.1d)。表1.3给出了TSAL型磨头的基本参数和规格。

表1.2 TSI型磨头基本参数和规格

磨头的壳体 参数A×B	砂轮规格 D×h×d	皮带轮直 径d ₁	转速 (转/分)
(毫米)			
40×160 40×200 40×250	5~63×6~20×2~25	20~25~63	31400~25200~10000
50×160 50×200 50×250	5~80×6~32×2~32	25~32~80	25200~19700~7900
60×160 60×200 60×250 60×315 60×355	5~100×6~40×4~32	32~40~100	19700~15800~6300
70×200 70×250 70×315	20~100×20~40×6 —51	40~50~100	15800~12600~6300
80×200 80×250 80×315 80×355	25~125×25~63× 8~51	40~50~56~125	14000~12600~ 11200~5040
100×250 100×315	32~150×32~70× 10~76	63~160	10000~3940

表1.3 TSAL型磨头基本参数和规格

磨头的壳体参数 A/A ₁ ×B ₁ /B	砂轮规格 D×h×d	皮带轮直 径d ₁	转速 (转/分)
(毫米)			
40/60×320/550 40/60×380/610 40/80×450/680	63×16×25	63	10000
50/70×420/650 50/70×480/710 50/70×530/760	80×20×32	80	7900

续表

磨头的壳体参数 $A/A_1 \times B_1/B$	砂轮规格 $D \times h \times d$	皮带轮直径 d_1	转速 (转/分)
(毫米)			
60/80 × 480/710 60/80 × 530/860 60/80 × 600/830	100 × 25 × 32	100	6300
80/100 × 590/820 80/100 × 660/890 80/100 × 740/970	125 × 32 × 51	125	5200

除了上述各种型式的磨头外, “GMN” 公司还生产端部装有驱动电机的TSE型磨头。这类磨头有 17 种规格, 电机功率为0.75~5.5千瓦。TSE型磨头的壳体直径 (即尺寸A, 见图1.1e) 为60~140毫米, 壳体长度 (即尺寸B, 见图1.1e) 为355~1400毫米。这类磨头在转速为3000转/分时, 使用直径为125~200毫米的砂轮; 在转速为1500转/分时, 使用直径250毫米的砂轮。在这种直接传动的磨头中, 电机轴与磨头主轴做成一体, 将电机转子压配在此轴上, 并与其一起进行终磨和精密动平衡。因此, 装有传动电机的TSE型磨头的旋转精度是很高的。

为进行重负荷磨削, “GMN” 公司还生产12种规格的TSEV加强型磨头, 其结构与TSE型磨头相类似 (图1.1e)。这种型式磨头的尺寸A (见图1.1e) 为50~140毫米, 尺寸B为200~500毫米。有6种规格的TSEV型磨头转速为3000转/分, 使用直径为125~200毫米的砂轮, 传动电机的功率为0.55~1.5千瓦; 其余6种规格磨头的转速为1500转/分, 使用直径为250~450毫米的砂轮, 传动电机的功率为3~7.5千瓦。

因此, 与TSE型磨头的区别是TSEV型磨头由于缩短了

长度而提高了刚度。此外, TSEV型磨头还能装卡杯形砂轮。不论是TSE型磨头还是TSEV型磨头, 都只能用夹盘装卡砂轮。

“GMN”公司生产的TSAV型磨头(14种规格), 尺寸与TSEV型磨头相近, 而结构与TSA型磨头(见图1.16)相似, 是TSA的加强型式。TSAV型磨头也只能用夹盘装卡砂轮, 也能装卡杯形砂轮。TSAV型磨头的特点是具有很高的径向和轴向刚度。这种磨头用于东德尼雷斯(Niles)厂的按展成法磨齿的WMW型齿轮磨床上。

为磨削小孔, “GMN”公司生产了11种规格的TSN型磨头。这种磨头的转速为10000~106800转/分, 使用直径为4~63毫米的砂轮。装卡砂轮的接杆是用硬质合金制造的。由于硬质合金的弹性模量比钢的弹性模量大好几倍, 所以硬质合金接杆的刚度比钢接杆的刚度高得多。

上述各种型式磨头的轴承都采用脂润滑, 只有TSN型磨头要采用油雾润滑。

图1.2是“GMN”公司内圆磨头的典型结构。磨头的前支承由5个或6个特制的精密向心推力球轴承组成, 其中每三个轴承为一组(或一组三个一组两个)作顺向排列, 而两组之间则为背对背排列。适当选择隔套4的长度尺寸, 就能得到前支承所需要的预过盈。因此, 前支承能承受很大的双向

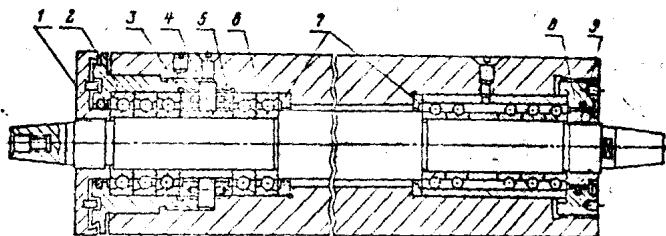


图1.2 “GMN”公司(西德)内圆磨头的结构

轴向载荷和径向载荷。

磨头的后支承由特制的精密三列或五列球轴承所组成。当磨头主轴因工作发热而伸长时，后支承容许主轴有轴向移动。后支承只承受传动皮带拉力产生的径向载荷。

为防止磨屑和冷却液进入磨头支承，转数不高的磨头采用迷宫—密封圈密封，而转数高的磨头只能用多重迷宫密封。

用螺母1、3、8、9实现前后支承轴承的轴向固紧（图1.2）。

由于工作时的主要载荷是作用在前支承的前一组轴承上的，所以为了延长磨头壳体6的使用期限，便把这一组轴承装在可换轴承套2里。同样原因，前后支承都用精制的挡环7作轴向定位。

“GMN”公司磨头的共同特点是，各种磨头都是用许多个精心选配的特别精密或超精密轴承装成的，从而能保证磨头具有很高的旋转精度、刚度和抗振性。为了能在使用过程中预紧磨头前支承的前一组轴承，在轴承套2的周边刻有圆周标度，而在壳体6上刻有读数零线（见图1.1），以便能选取前一组轴承的最佳过盈。

分析表1.1～表1.3上的数据，说明“GMN”公司磨头的设计磨削速度不超过35米/秒。这些磨头在沃马（Voumard）公司、荣格（JUNG）公司、欧威贝克（Overbeck）公司、肖特（Schaudt）公司等的磨床上得到了广泛的应用。

1.2 弗尔图纳（Fortuna）公司（西德）的内圆磨头

弗尔图纳机床公司生产多种规格的皮带传动滚动支承内圆磨头（1.2）。

SA型磨头的特点是把砂轮接杆和夹盘装卡在主轴前端

的外锥面上。这与“GMN”公司的TSA型磨头（见图1.1）相类似。

SA型磨头包括：

1) 第1类磨头有19种规格，其壳体直径为25~80毫米，壳体长度为125~315毫米。磨头转速为5500~10000转/分。只能用接杆装卡直径为5~50毫米的砂轮。

2) 第2类磨头有27种规格，其壳体直径为25~120毫米，壳体长度为160~1000毫米。磨头转速为15750~3500转/分。只能用夹盘装卡直径为36~175毫米的砂轮。

3) 第3类磨头有16种规格，其壳体直径为36~120毫米，壳体长度为160~315毫米。磨头转速为9000~2900转/分。用专用夹盘装卡直径为50~150毫米的杯形砂轮。

4) 第4类磨头有7种规格，其壳体直径为36~120毫米，壳体长度为125~315毫米。磨头转速为10500~2250转/分。用专用夹盘装卡直径为56~250毫米的杯形砂轮和平面砂轮。

5) 第5类磨头有3种规格，其壳体直径为80~120毫米，壳体长度为250~315毫米。磨头转速为2950~1425转/分。用夹盘装卡直径为250~400毫米的砂轮。

6) 第6类磨头有36种规格，是用于磨削深孔的加长型磨头。类似于“GMN”公司的TSAL型磨头（图1.1）。表1.4给出了这类磨头的规格。

SA型磨头的最后一类是端部装有驱动电机的磨头。这类磨头有14种规格，其电机功率为0.75~3千瓦，与“GMN”公司的TSE型磨头（见图1.1e）相类似。表1.5给出了这类磨头的基本参数和规格。

SI型磨头的特点是把砂轮接杆和夹盘装卡在磨头主轴前端的内锥面上，与“GMN”公司的TSI型磨头（图1.1a.a）

表1.4 加长的SA型磨头基本参数和规格

磨头的壳体参数 $A/A_1 \times B_1/B$	砂轮规格 $D \times h \times d$	皮带轮直 径 d_1	转速 (转/分)
(毫米)			
25/60 × 175/335 25/60 × 220/380 25/60 × 290/450 25/60 × 370/530 25/80 × 290/530	32 × 13 × 16	42	15000
28/60 × 290/450 28/60 × 370/530 28/60 × 470/630 28/80 × 290/530 28/80 × 390/630	36 × 16 × 20	42	15000
32/60 × 290/450 32/60 × 370/530 32/60 × 470/630 32/80 × 290/530 32/80 × 390/630	40 × 16 × 20	56	11000
36/60 × 290/450 36/60 × 370/530 36/60 × 470/630 36/80 × 290/530 36/80 × 390/630	45 × 20 × 20	56	11000
42/60 × 290/450 42/60 × 370/530 42/60 × 470/630 42/80 × 290/530 42/80 × 390/630	50 × 20 × 25	63	10000
50/60 × 290/450 50/60 × 370/530 50/60 × 470/630 50/80 × 290/530 50/80 × 390/630	65 × 20 × 25	70	9000
60/80 × 460/700 70/80 × 510/750 80/100 × 560/800 90/100 × 660/900 100/120 × 750/1000 110/120 × 900/1200	80 × 25 × 32 90 × 32 × 51 100 × 40 × 51 125 × 50 × 51 140 × 65 × 51 160 × 80 × 76	80 110 120 135 150 180	7000 5750 5200 4650 4200 3500