

国外机械技术资料

1975 年美国来华技术座谈

机 床 资 料 汇 编

北 京 机 床 研 究 所 编

第一机械工业部技术情报所

一九七五年美国来华技术座谈

机 床 资 料 汇 编

(内 部 资 料)

※

第一机械工业部技术情报所编辑出版

机械工业出版社印刷厂印刷

北京中国书店(北京琉璃厂西街)、上海河南中路新华书店经售

※

1977年 8 月北京

代号: 76—11 定价: 1.25元

出版说明

美国机床制造商协会 (National Machine Tool Builders' Association) 组成金属加工技术交流及贸易代表团，由美国机床制造商协会常务副总裁詹姆斯·格雷 (James Gray) 率领，于1975年11月17日至28日来华访问，进行了技术座谈，并参观了工厂。代表团成员为：辛辛那提·米拉克隆公司的机床产品研究部主任查尔斯·卡特 (Charles F. Carter Jr)，莫尔公司的总裁韦恩·莫尔 (Wayne R. Moore)，埃克赛罗公司的国际销售部经理保罗·麦凯格 (Paul S. McCaig)，兰迪斯公司的国际销售部主任哈普尔 (L. H. Happel)，费洛斯公司的经销部副主任库茨 (W. F. Coutts)，吉丁斯-路易斯公司的常务副总裁弗兰克·奥斯汀 (Frank J. Austin)，本迪克斯公司的经销部主任杰罗姆·普赖斯 (Jerome M. Price)，卡尼-特雷克公司的国际销售部副总裁约翰·乔格 (John R. Joerger)，霍戴利公司的总裁沃尔特·巴图卡 (Walter Baturka)，格雷公司的总裁兼总理格雷厄姆·马克斯 (Graham Marx)，金斯伯里公司的总裁弗雷切特 (H. M. Frechette)，克罗斯公司的总裁拉尔夫·克罗斯 (Ralphe · cross)，阿诺卡特公司的董事长罗恩·斯特劳普 (C. R. (Ron) Stroupe)，莫格公司的副总裁肯·冈佐斯特 (Kenneth Garnjost)，丹利公司的压力机销售部副总裁约翰·丹利 (John R. danly)，“国民”机械制造公司的总裁韦恩·扎恩 (Wayne E. Zahn)。美国商务部东西贸易局、中华人民共和国事务部主任威廉·克拉克 (William W. Clark) 陪同访问。

各公司的代表与我国有关技术人员进行了三次座谈。遵循伟大领袖毛主席“洋为中用”的教导，现将座谈总结资料整理后汇编出版，供有关单位参考。

目 录

出版说明

机床研究与发展——辛辛那提·米拉克隆公司——	1
检查与计量学——莫尔公司——	17
透平叶片加工工艺和机床——埃克赛罗公司——	45
磨床——兰迪斯工具公司——	54
齿轮加工机床、刀具和测试仪器——费洛斯公司——	69
数控机床——吉丁斯·路易斯公司——	79
数字控制技术的现状和展望——本迪克斯公司——	92
加工中心和生产系统——卡尼·特雷克公司——	102
数控机床和自动线用的刀具系统——霍戴利工业公司通用工程部——	111
重型机床的制造和应用——格雷公司——	119
多工位组合机床及其应用——金斯伯里机床公司——	131
组合机床及其自动线——克罗斯公司——	140
电化学加工技术——阿诺卡特公司——	154
液压伺服系统在机床中的应用——莫格公司——	160
金属成形机床——丹利机械公司——	170
锻造机械——“国民”机器制造公司——	179

机 床 研 究 与 发 展

——辛辛那提·米拉克隆公司——

一、概 况

辛辛那提·米拉克隆公司 (Cincinnati Milacron) 成立于 1884 年,当时名叫辛辛那提铣床公司,1970年起公司名加上米拉克隆 (“Milacron” 希腊语,意为高精度)。总公司位于俄亥俄州 (Ohio) 辛辛那提市。

辛辛那提·米拉克隆公司在七个国家中设有 32 座工厂,其中 8 座是机床厂,占地面积总共约 4112000 米²。1974 年售出产品总值为四亿五千二百万美元,机床类占总产值的 63.5% (1971 年统计)。职工人数目前为 1 万人,其中从事机床制造的职工人数为 6600 人。它是美国最大的机床公司之一,也是世界上制造机床及金属加工程序控制装置的主要厂商之一。产品种类繁多,从小型的普通金属切削机床和磨床 (如车床、铣床、镗床、外圆磨床、内圆磨床、轴承磨床、无心磨床) 到完全自动化、电子计算机控制的多用途的机床生产系统,如立式、卧式加工中心,自动生产线等。数字控制系统在 Acramatic 8 D 的基础上发展了数控铣床用的 Acramatic 10 E, 数控车床用的 Acramatic 10 E-TC 和加工中心用的 Acramatic 10 E-MC 系统,此外还发展了 Cincinnati 群控系统。该公司除生产机床外,还生产切削液,砂轮,塑料压铸机和特殊化学制品。在电子学方面的产品有小型计算机系统,外延单晶硅片以及印刷电路板材料。

该公司向西欧和日本出口高效率内圆控制力磨床,自动换刀加工中心,液压仿形类机床,大型专用仿形铣床等。

辛辛那提·米拉克隆公司设有机床产品研究发展部,负责产品设计研究和发展工作。美国政府对公司的研究资金没有资助,公司从总产值中提取 1.5% 作为研究发展费用 (新产品试制费用的一半算在研究费用内)。这个比例在美国属于中等水平。

机床产品研究部由 4 人领导小组负责调查研究国内外机床发展趋势及市场情况并征求技术人员的意见,提出课题建议,提请公司新产品委员会批准。

该公司不定期的与美国辛辛那提学院和麻省理工学院合作研究课题,并且还不定期的与西德阿亨工业大学,英国曼彻斯特,伯明翰学院合作研究课题。十年前曾给美国国防部作过难加工材料切削和机床动态特性方面的研究工作。

辛辛那提·米拉克隆公司共有技术人员 1000 名左右,产品研究发展部有 100 名技术人员,其中 50 人负责产品设计,每年可设计 2~3 台新产品。其余 50 人是研究人员。

该公司 40 名研究人员中的机电比例是 4:1。

目前主要的研究课题为:

适应控制磨削 (1 人);

适应控制钻、铣削 (1~2);

机床噪声(1人);
机床动态特性(2人);
直流伺服驱动系统(2人);
高效内、外圆磨削。

因为近年来机床控制系统的发展很快, 辛辛那提·米拉克隆公司的研究工作的重点和人力的安排已转向机床控制, 数字控制软件等方面, 例如软件部就集中了十个人。在金属切削和机床动态特性方面的研究工作有相对下降的趋势。若干年来试验研究工作的成果应用主要在下述几个方面: ①钻削, 铣削的适应控制, 目前已应用于生产; ②控制力内圆磨削从1950年以来经过20年的研究发展, 至1970年已经设计了成系列的控制力内圆磨床, 并向国外出口; ③热变形的试验研究; ④机床动态特性的研究和各种阻尼器的应用。

二. 机床研究与发展的趋势

1. 金属切削和磨削

(1) 金属切削

目前在金属切削研究中有这样一种倾向: 由于一些先进的观察和测量技术被应用于切削过程的研究, 而使建立切削过程数学模型的研究方法正在衰退。用先进的电子仪器可以弄清楚过去理论研究没有解决的问题。这方面突出的例子有电子扫描显微镜(SEM)和俄歇(Auger)电子光谱仪(AES)在金属切削研究中的应用。图1和图2是纽约州立大学用电子

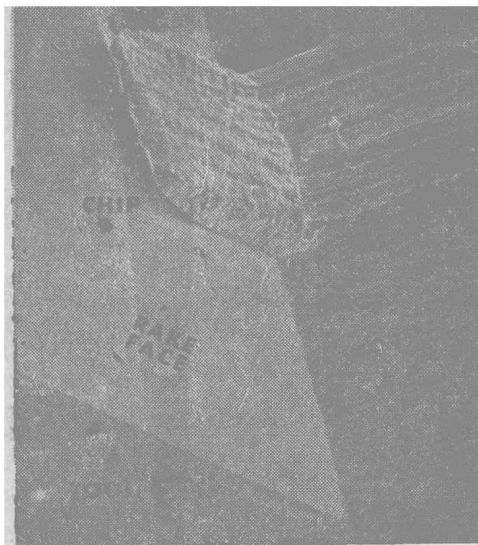


图 1

(CHIP—切屑; RAKE FACE—刀面; EDGE—切削刃; WORK—工件; TOOL—刀具)

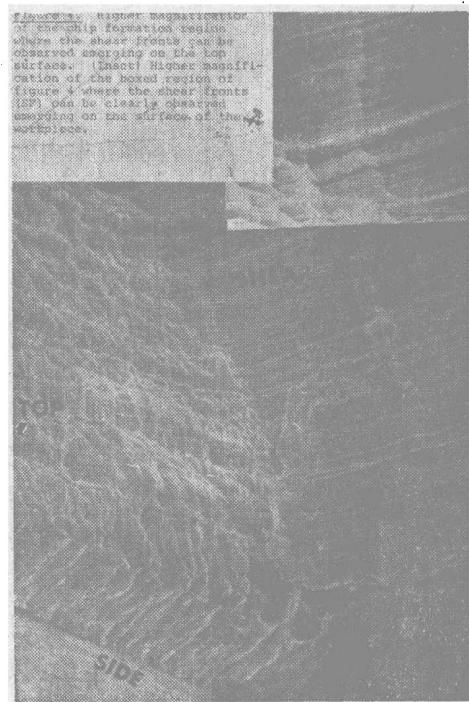


图 2

(SHEAR FRONT—剪切前面; TOP—顶部; SIDE—侧面)

扫描显微镜拍摄的切削区照片。由于 SEM 照片立体感强，能够较真实地观察到金属在切削过程中的变形情况。这个大学在试验时使用一个夹具，使工件相对于刀具运动，对切削过程进行动态观察，或用录象带记录下来。他们认为这一仪器能够用于研究塑料加工、玻璃和陶瓷的磨削过程以及干摩擦问题。美国通用电器公司的碳合金 (Carboloy) 厂用 SEM 研究含铅易削钢的机理，他们用 SEM 观察了切屑瘤的生成与脱落过程、刀具磨损的情形、刀具前倾面的接触长度、工件表面的微观裂缝等。SEM 还被用来研究砂轮表面磨粒的切削性能；在电火花加工中用来研究再铸层 (recast layer) 的厚度；在西德和日本也在应用 SEM 研究金属切削。

关于俄歇电子光谱仪，在金属切削中已被用来分析含铅易削钢切屑紧贴于刀具前倾面上的那一薄层的化学成分。实验结果如图 3 所示。由图可见，在最表面的一个 10 埃厚的表层里，铅的含量很高，正是这一层铅起着润滑作用，减少了切屑的变形和刀具的磨损。

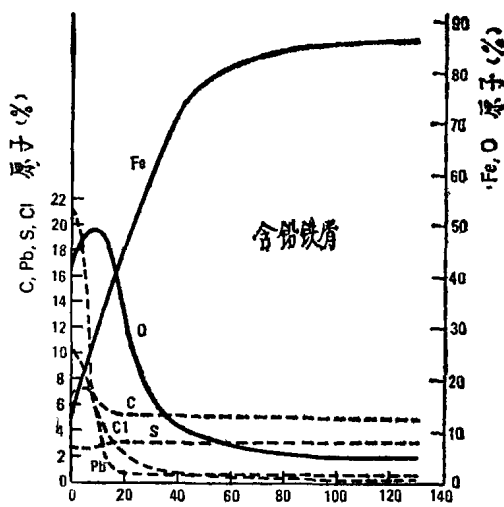


图 3

从刀具材料发展的历史及其对切削过程和机床结构的影响可看出刀具材料的重要性。图 4 表示刀具材料发展的历史。1770 年出现碳素工具钢，1860 年出现钨工具钢，1900 年出现高速钢，1927 年出现硬质合金，1950 出现陶瓷，现在是聚晶金刚石和单晶金刚石。二百年来由于刀具材料的发展，使切削速度由 10 呎/分 (3 米/分) 提高到 3000 呎/分 (900 米/分)，增加了 300 倍。目前刀具材料的研究工作围绕着聚晶金刚石和聚晶立方氮化硼的应用。用这二种刀片材料可以加工洛氏硬度在 60 以上的淬火钢，还可用来加工高镍合金。在加工这二种材料时切削速度可以从一般的 100 呎/分 (30 米/分) 以下提高到 300 呎/分 (90 米/分) 以上。在加工易削钢时切削速度可达 3000 呎/分 (900 米/分)。此次该公司带来了二块这样的刀片，其中一块是整体聚晶金刚石。直径约为 6.4 毫米，厚度约为 1.6 毫米。另一块是在方的硬质合金刀片上沿刃口复盖一层约 0.7 毫米厚，2.5 毫米宽的聚晶立方氮化硼，刀片边长约为 12.5 毫米，刀片厚度约为

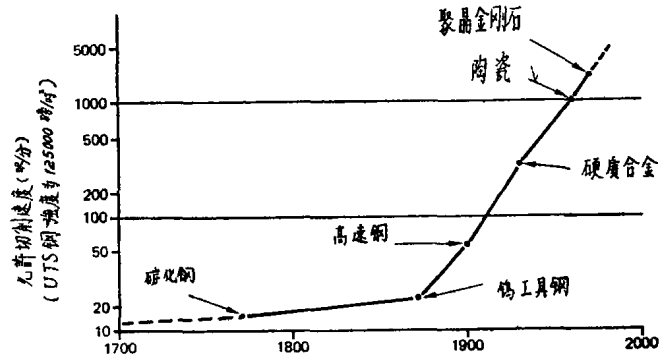


图 4 刀具材料发展简介

6.4 毫米。据介绍，在辛辛那提市的切削中心曾做过切削试验，证明聚晶金刚石刀片(称做Magediamond)既可加工有色金属和非金属材料，也可加工淬火钢和轴承钢。在加工淬火钢时采用 200~300 呎/分(60~90 米/分)的切削速度，0.5 毫米的切深、0.05 毫米/转的走刀速度，刀具寿命 2~3 小时。据说，目前这二种刀具材料的价格还太贵，因此尚不能得到普遍应用(据美国杂志报导，一块整体聚晶金刚石刀片售价 34 美元)。为降低价格，就将这种材料在硬质合金刀片上烧结一薄层来使用。

关于整体的聚晶金刚石刀片和用聚晶金刚石涂层的硬质合金刀片，在 1974 年美国和西德的杂志上都已有报导，但这些报导都强调指出聚晶金刚石刀片只能加工非铁金属，如硬铝、铜、以及塑料、石墨、碳棒、玻璃、硬橡胶等非铁材料，这和这次座谈时介绍的关于能加工淬火钢和高镍合金的说法有较大的出入。据说，美国在聚晶金刚石刀片和聚晶立方氮化硼刀片的研究和应用方面，在世界上居领先地位。

在硬质合金刀片方面，美国所进行的工作主要有二方面，一方面是继续研究碳化钛基的硬质合金刀片，另一方面是研究硬质合金刀片的涂层技术。

美国和西德等国家还对粉末冶金高速钢进行了研究。

目前，我国金属切削理论的研究工作进行得较少，个别单位在进行难加工材料的切削试验，刀具材料的试验研究工作则进行得较多，并已取得了一定的成绩，在高速钢方面我国已试验成功 91 号铝高速钢，并正在进行粉末冶金高速钢的研究，硬质合金刀片除了已试验成功的镍基 TiC 刀片和 TiC、TiN 涂层刀片以外，还在研究陶瓷刀片的涂层和超细颗粒硬质合金刀片。聚晶金刚石和聚晶立方氮化硼刀片的研究也正在进行中。聚晶立方氮化硼刀片试切淬火钢(HRC62)的效果很好。陶瓷刀片的研究工作也一直在进行着，并已在一些工序上长期使用。

(2) 磨削

目前国内外普遍使用力强的方法来作磨削试验。磨削力强的含义是指单位砂轮宽度上所受的力(单位：公斤/毫米、或磅/吋)。但从数学概念来说，砂轮与工件的接触有线接触或圆弧接触二种情况，因此不同的磨削方式(外磨、内磨、平磨)，即使是相同的力强，而得出结果的差异是非常大的。

磨削力对于设计者来说是重要参数，用以考虑砂轮轴驱动功率和轴承与机床结构系统的刚度。在一定条件下，磨削力对加工经济性和精度具有直接的关系。

下面说明图 5 介绍的三条曲线：

1. 金属切除率与磨削力的关系：磨削过程由三个阶段组成：摩擦、耕入、切削。在切削过程中，随着磨削力的增大，金属切除率成线性增加。不同的砂轮速度，工件材料、砂轮性质……得出的斜率是不一致的。

2. 光洁度与磨削力的关系：随着磨削力的增大，工件表面光洁度相应下降。

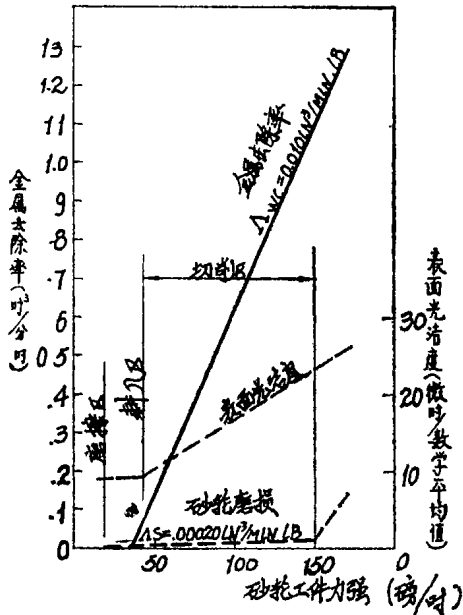


图 5

3. 砂轮磨损与磨削力的关系：随着磨削力的增大，砂轮磨损量，稍有增加，当磨削增大到某一个极限值时，砂轮磨损加剧。此时将不能进行正常磨削。

我们认为上述几条曲线并没有把磨削过程中的另一重要指标——砂轮耐用度表示出来。而砂轮耐用度与磨削有直接关系。图 6 表明，在控制力磨削时，金属切除率与时间的变化关系，同时也可知道，不同的磨削力其磨削总量是不相等的，在定进给磨削时，金属切除率基本不变，但稍有下降趋势（见图 7）。为了使金属切除率不变，此时只有增加磨削力，所以在定进给磨削时，磨削力随着时间的增加而增大，如图 8 所示。

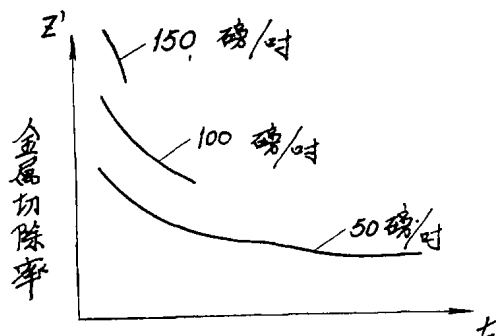


图 6 金属切除率与时间的关系
(控制力磨削)

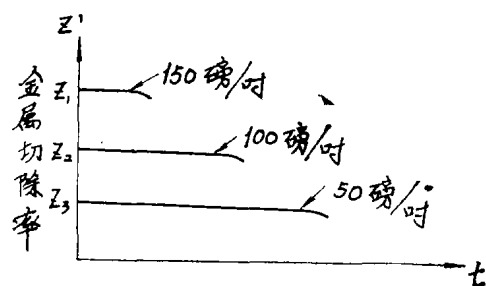


图 7 金属切削率与时间的关系
(定进给磨削)

光洁度测量值是在一定磨削力下，不经过精磨和光磨测出的，这个值没有多大实用意义（我们曾多次作过这种试验，结论是改变磨削力后光洁度的变化不大），合理的光洁度评定应在磨削中增加光磨循环。图 9 中的实线为试验时的磨削循环，虚线为增加光磨后的磨削循环。

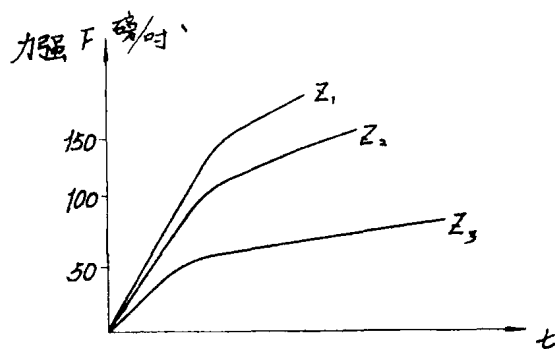


图 8 磨削力与磨削时间的关系（定进给磨削）

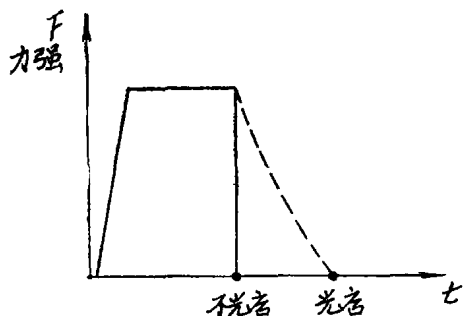


图 9 磨削循环的二种规律

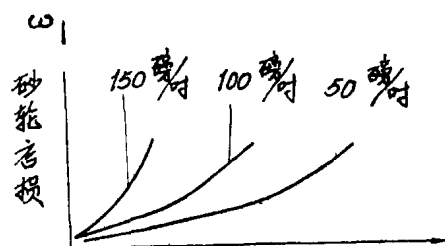


图 10 砂轮磨损和时间的关系

砂轮磨损规律与磨削力大小有关，当砂轮磨损到一定程度时，表明砂轮已钝化，需要重新修整砂轮。当其他条件一定时，选择不同的磨削力磨削砂轮的磨损量变化是不大的(图10)。通常还用磨削比来表示砂轮的切削性能。当工件材料改变后磨削比也是变化的：

$$\text{磨削比} = \frac{\text{金属切除体积}}{\text{砂轮磨损体积}}$$

通过这次座谈和从美国出版的金属切削手册中查阅可知，该公司和美国目前尚未推广用特殊磨料来加工难加工材料。目前正在用立方氮化硼来做磨削试验。美国通用电气公司也早已开始用立方氮化硼砂轮做磨削试验（金刚石砂轮磨削温度只能达 920℃，立方氮化硼砂轮的磨削温度可达 1360℃）。

该公司已生产 60 米/秒和 90 米/秒的高速磨床。现正在试验 120 米/秒的高速磨床。当砂轮提高到 60 米/秒以上时，用于全自动磨床，多数用于轴承磨床，更高的速度磨床要费很高的代价，不是全自动的磨床将不适用。该公司采用高速摄影机来研究砂轮在碎裂时的应力分布和砂轮罩的安全性。

该公司目前正在试验适应控制磨削。磨削力的控制选择在砂轮主轴上或工件上，尚未得出最后结论。

该公司用金刚石滚轮做成型修整砂轮，来进行成型磨削。目前正在研究金刚石滚轮修整器的刚度。

该公司有少量磨床已应用石油加硫的非水溶性冷却液，可提高砂轮寿命和防止工件烧伤。

2. 机床性能和试验

(1) 机床振动和动刚度

机床振动是影响到机床充分发挥其加工性能（包括精度、效率、寿命和噪声等）的重要因素之一，为了适应宇宙航空工业发展的需要，早在 1963 年辛辛那提·米拉克隆公司就曾接受过美国空军的委托，开展对“机床加工中的振动影响及其控制方法”的研究。研究的内容包括：机床自激振动产生的机理；结构的静刚度和动刚度；金属切削中的动力学问题；提高机床动刚度和减少机床振动的措施；机床振动的规范；计算机辅助设计等（这项研究合同一直到 1968 年才完成）。

从我们所看到的该公司在这方面所完成的研究报告和他们的人员所发表的论文，以及这次座谈的情况来看，经过六十年代，该公司为完成美国空军的合同而进行的关于机床加工中的振动影响及其控制方法的专门研究之后，现在在这方面已经掌握了一套比较实用的机床振动的测试方法和设计解决方法。所以从那以后，除了在金属切削的动力学理论方面继续进行研究之外，对于机床结构的动态问题，基本上已不作专题系统的研究了。他们在这方面的研究所达到的水平和取得的经验是：

一台机床的切削能力，直接与该机床结构的动刚度有关。而一台机床结构的动刚度又是取决于该机床的静刚度、阻尼特性和固有频率。机床所需的静刚度一般是由机床所要求的尺寸来考虑确定的，并且由材料、形状以及尺寸的选择来获得。关于结构的静刚度及其最佳化的计算程序已经被制定出来，而且被广泛的采用了。

机床结构的阻尼包含两部分，一是结构材料的内阻尼，一是机床结构间相互结合部的摩擦阻尼。前者在机床结构的总阻尼中只占微小的部分，机床结构的总阻尼主要由结合部的摩

擦阻尼来决定。然而机床结构接合部的阻尼又是由接触面积，表面状态和预紧力等许多因素来决定的。例如图 11 所示那样的刮研过的平面全部接触，刚度并不是最好的。该公司自己作过试验，认为刀柄锥面（如图12）全部接触的刚度并不好，中部挖空刀，保证大端（即全长 1/3）处全部接触时，则刚度是最好的。

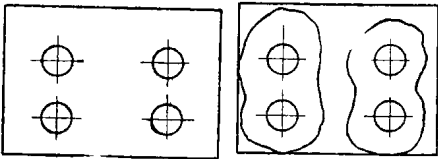


图 11

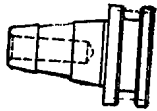


图 12

由于迄今尚未找到一个能够包括所有因素变化在内的计算接合面阻尼的关系式，所以一台新设计出来的机床，它的结构阻尼往往是不知道的，所以也就不能对它的动刚度作出预先的计算。为了在设计阶段利用电子计算机对机床结构动刚度作一个大致的分析比较，接合刚度和阻尼值只能采用试验的统计数据。试验方法如图 13 所示。通过改变紧固螺钉的夹紧力，并对立柱作动态激振试验，求出其频幅特性，根据这些特性曲线即可求出接合部的阻尼。

如果发现制造出来的机床的动刚度不能满足要求时，为了采取补救措施，就必须首先对机床进行动态激振试验。为此，以一个激振器在工件和刀具间，切削力的作用方向上，在一定的频率范围内对机床进行激振，同时用传感器和测振仪器测出机床在激振方向上的位移幅值（图14）。首先找出机床结构共振时的固有频率，在此频率下机床的动刚度值最小（图15）。

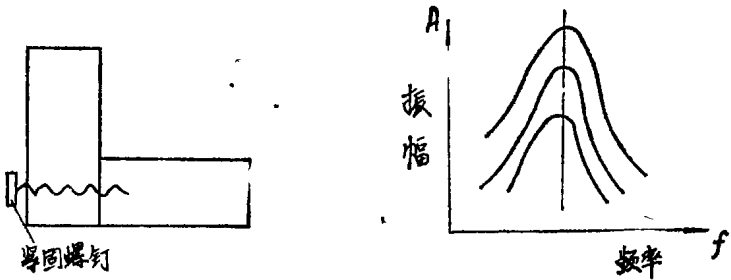


图13 不同预紧力下接合面阻尼的测量方法

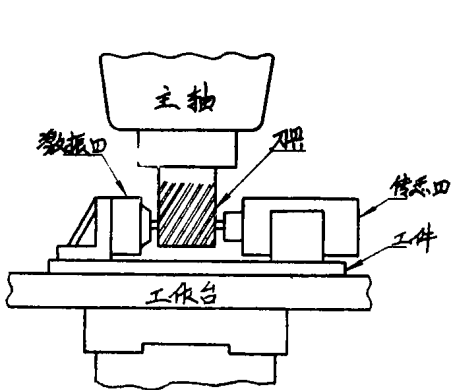


图 14

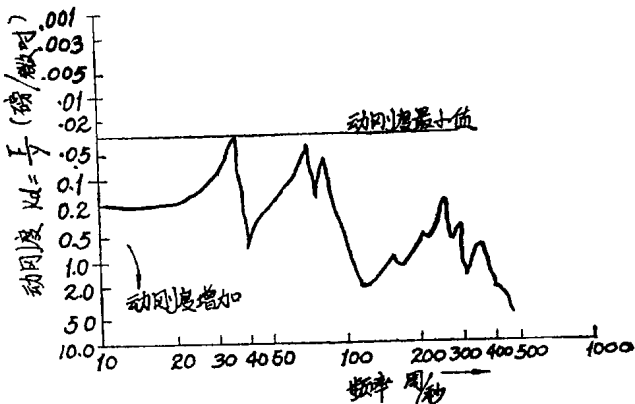


图 15

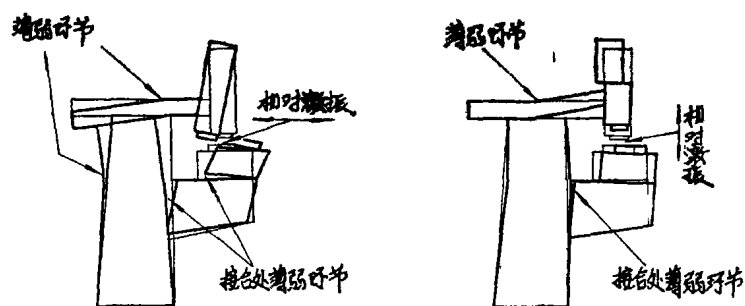


图 16

并测出机床在主要共振频率下的振形（图 16）。

从分析振形中找出机床动刚度的薄弱环节，即引起振幅突然增大的部位，然后决定采用相应的措施。首先是改进结构设计，通过增加或合理分布筋壁，或改变接合条件来增强动刚度薄弱环节的静刚度。

如果上述作法在条件上不允许或经济上不合算时，那么，最后的办法就是采用不同结构形式的阻尼。例如辛辛那提公司生产的 2 MK 升降台铣床和 Синово 80 卧式升降台铣床的悬梁上就采用了弹簧—质量阻尼器（图 17）。

阻尼器质量 M 和被阻尼部件的质量 N 之比的选择，理论上说来，愈大愈好。但从具体结构尺寸考虑，该公司推荐选用 $\mu = \frac{m}{M}$ 值， $\mu \geq 0.1$ 。这样阻尼器的固有频率 f_m 和被阻尼部件的振动频率 f_M 之比，应按关系式来调节：

$$\frac{f_m}{f_M} = \sqrt{\frac{1}{1+\mu}} \approx 0.95$$

阻尼器安装后最佳效果的调整，可以通过对机床进行动态性能试验或切削试验来进行检验。按上述条件来选择参数的阻尼器，可使机床动刚度提高 2~4 倍。

该公司的上述观点和方法，与目前欧、日相比，原则上并无很大区别或独到之处。西德和日本等也在自己的机床产品上采用阻尼器的，如西德的 Pfauter 滚齿机和日本目前 HB-220 不二越滚齿机的小立柱上都装有减振器。日本还对 Cincinnati 铣床上的悬梁减振器作过试验，试验结果说明对 100 赫以上的振动减振效果不明显。日立精机将悬梁上的弹簧—质量消振器改成了将大钢球用粘性油埋在大小质量不等的钢球之间的消振器（图 18）。由于这种消振器的工作原理是利用粘性油高速流动产生粘性阻力，与振动力相反，由于钢球质量不一，产生以大质量为中心的多核间的很多微小振动，阻力较大，且可在较宽频率范围内吸收振动，

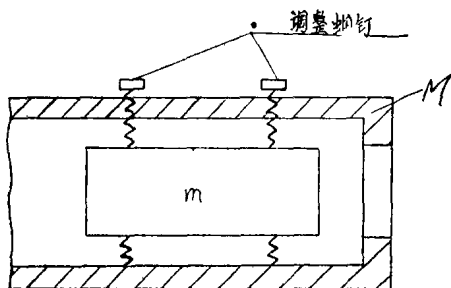


图 17

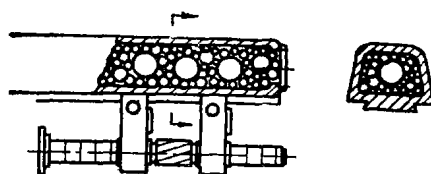


图 18

效果较好。此外，美国还作了用环氧树脂粘结钢件的卧铣悬梁的试验，从而提高悬梁的阻尼和抗振性。结果表明，粘接悬梁的切削效果比铸造和焊接悬梁的都要好。西德也已在产品中应用了铸件包砂结构，此外，西欧和日本正在研究各种在线快速测定机床动态特性的方法。

(2) 机床噪声

噪声在美国已列为公害，1971年美国国会通过的“劳动保护法”(简称OSHA)把各种机器每天八小时工作日的连续噪声规定为90分贝(A)(预计不久的将来会降低到85分贝(A))。1972年通过的“噪声控制法”还授权“环境保护局”(EPA)可以对任何被认为是主要噪声源的物品规定最大允许的噪声。因此，美国机床制造业被迫面临着怎样降低机床噪声的问题。

另一方面，由于机床切削速度的提高，功率增大和自动化功能的增多(如自动换刀，自动转位及上下料等)，使得机床噪声更加提高。如一些机床过去最高转速为1500转/分，现在一般的加工中心增加到3500转/分，且即将按照加工需要提高到6000转/分。主轴转速的增高意味着齿轮线速度的提高，一般齿轮线速度提高一倍，噪声将增加6分贝。主轴转速范围扩大时，为了变速，而增多使用花键或离合器，这些元件给齿轮啮合带来更多的误差，也即带来更大的噪声。尽管采用直流电机和变频交流电机是机床发展的趋势，这些可以简化结构从而降低噪声。但是，也还不能完全解决噪声的问题，采用直流或变频交流的调速仍旧需要齿轮来扩大它的调速范围和低速时得到大的扭矩。此外，某些多速电机本身就是很大的噪声源。如一个30马力的双速交流电机在3600转/分运转时，其噪声达到98分贝(A)(主要来自电机风扇)。自动化的机能不少是借助液压，气动来实现的，液压，气动也是很大的噪声源。

因此，机床噪声问题已经成为美国机床制造行业的一个重要问题。

为了统一有关机床噪声的名词术语及其定义，制定统一噪声测量的技术，美国机床制造商协会于1969年成立一个专门的委员会来拟订“机床噪声测量技术”文件，经过两年来多次会议讨论，于1970年公布，并为广大机床厂和用户所接受。通过几年的使用，于1973年再次成立专门委员会进行修订，1975年公布了经修正的(第二版)“机床噪声测量技术”。

“机床噪声测量技术”只对噪声测量的名词术语，条件，使用的仪器和报告形式作了规定，而对允许的机床噪声未作规定，留给各机床厂自订厂定标准，便于机床厂之间相互竞争。辛辛那提·米拉克隆公司规定的厂定标准为不得高于85分贝。

“机床噪声测量技术”文件主要有以下几个特点：

1. 衡量噪声的数量是一律采用声级计“A”计权网络(即用“A”挡读数)。据了解，“A”挡是以对人有害为基准来进行计权的，国际电声学会因而规定凡测量对人有害的噪声时，一律用“A”挡。美国有关环境保护的法律也用“A”挡为基准(即分贝(A))(目前，我国通常以测量噪声的大小来选用何挡，测量机床噪声一般用“B”挡)。

2. 测量机床噪声时，环境噪声应比所测机床噪声至少低10分贝(A)，如果达不到此数字应将所测结果按下表进行修正。

机床噪声高出环境噪声的分贝数(A)	从测得的噪声应减去的分贝数(A)
3或更小*	3
3到6	2
6到9	1
10或更大	0

* 在两者噪声相差小的情况下，测量必须很小心，因为这对测量的重复精度有很大的影响。

3. 拾音器安放的位置如图 19 所示, 即除在机床操作者位置测量外, 还应在距机床周边(包括机床电源, 液压源)一米及离地面高度 1.5 米处测量, 应有足够的测量点以确定机床噪声方向特性。以各点测得的最大的噪声为主数据。为满足一些特殊用户的需要, 可将作者在操作者位置及其它周边各点测得的数据作为补充数据提供给用户。

4. 测量噪声时, 机床的运转情况由机床厂与用户协商按下列三种形式之一或多种来运转:

1) 专用机床在规定的生产率的情况下运转;

2) 没有配备特殊工夹具时, 机床在无负荷下发出最大噪声的情况下运转;

3) 用途广泛的机床, 在规定的典型的负荷条件下运转。

5. 将噪声分为三种类型:

1) 稳定噪声: 声级计在慢响应时, 测得的数据波动小于 3 分贝(A)。

2) 非稳定噪声: 声级计在慢响应时测得的数据波动大于 3 分贝(A), 这时应测出各点的最大和最小值。

如果成周期性的变化, 如在一个机床功能循环时, 则应将一个周期内各种功能下的噪声数及持续时间记录下来, 用以计算时间的加权平均值。

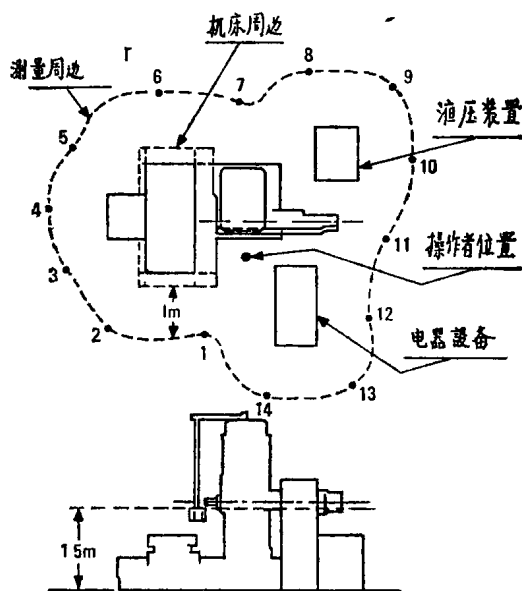


图19 噪声测量位置示例

3) 脉冲噪声: 持续时间小于 0.5 秒(达到峰值的时间不大于 35 毫秒)的脉冲噪声, 可以为单个出现, 也可为大于 1 秒的时间间隔重复出现, 这些均认为是脉冲噪声。这时应至少测量 10 个峰值, 将最大值及出现频率记录下来, 且测量峰值时声级计不许用计权网络或滤波器。

6. 当存在非稳定及脉冲噪声时, 计算“当量噪声”的方法到 1975 年为止, 美国“劳动保护局”与“环境保护局”还有争论。“环境保护局”的计算方法与国际标准化协会(ISO)所推荐的相一致, 美国机床制造商协会这方面未作硬性规定。

该公司对出厂的机床并不是每台均作噪声检查, 只是在设计和制造过程中设法来降低噪声保证出厂机床不超过 85 分贝(A)。实际达到的水平为: 铣床 82~84 分贝, 磨床为 75~77 分贝(A)。

他们认为机床的主要噪声源为齿轮, 油泵, 轴承和风扇等。噪声可直接从这些零件发出。还可通过这些零件的周围结构, 甚至被周围结构加以放大而发出, 如图 20 所示。

该公司认为可从噪声源和隔音这两方面着手来降低机床噪声。

噪声源方面: 首先应找到该机床最主要的噪声源是什么, 如果是齿轮的话, 如图 21 所示的铣床变速箱, 他们降低其噪声的措施有:

1) 所有齿轮均淬硬并进行磨削, 一般多联齿轮是不好磨削的, 改成为单个的齿轮磨齿后用机械方式(见图 21)或电子束焊的方式联结在一起。

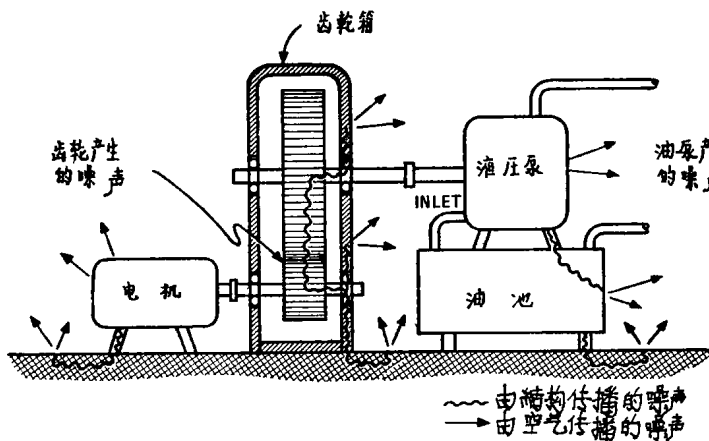


图20 噪声源及发射路线

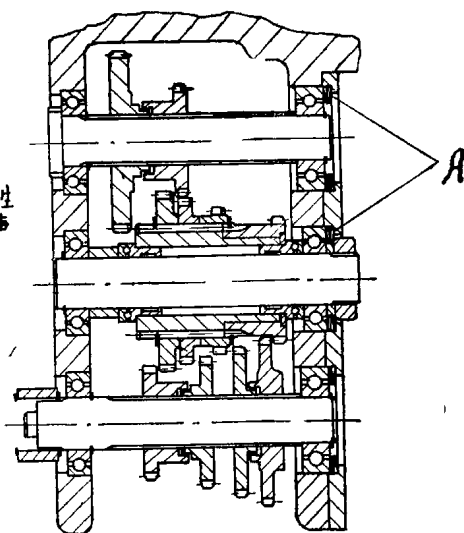


图21 铣床的变速箱

2) 齿轮均安装在渐开线齿形的花键上(不用矩形花键)。

3) 轴上的滚珠轴承用弹簧加载(见图21中的A),而这些轴在满负荷条件下,最大弯曲变形为0.05毫米时,由于对轴的刚度要求高,轴的长度与直径比达到5:1左右(如果为三支承的话,指两支承之间的长度)。

4) 箱体件要有较高的静态和动态刚度,用短而粗的镗刀杆镗孔,可使孔与孔之间不同心度和轴与轴之间不平行度减至最小。另外,箱体的热变形要小,否则孔、轴间的精度均会受到破坏。

关于二轴平行性,轴间距离与齿轮精度和齿轮修缘对噪声的影响,该公司用图22所示的装置来进行试验。

对齿顶进行修缘(见图23),且认为这是唯一的最重要的措施,可降低噪声6分贝。

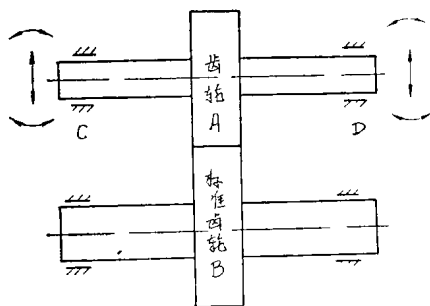


图22 轴间距离及几何精度对噪声的影响的试验装置(C、D两支承可作箭头所示方向的调整)

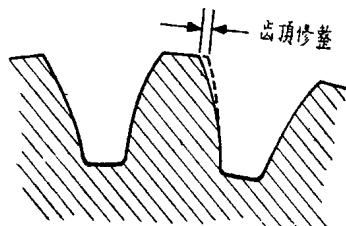


图23 齿顶的修缘

另外,他们还对齿形皮带进行过研究,发现皮带的动力特性,结合皮带轮的精度也会减少相当数量的噪声。

隔音方面:设计员应充分懂得噪声的吸收和隔离的原理,在设计时充分考虑有关声学的问题,要比机床制造出来后再采取措施经济得多。

用薄钢板包住噪声源(如液压泵及油池),吸收噪声的能力很小,甚至可能由于产生共振和“共鸣”而增大噪声(共振指其固有频率与噪声的主要频率相同,“共鸣”指噪声的波

长与钢板表面弯曲振动波长相同)。

用高阻尼，高密度和低刚度的材料可极大地降低共振和“共鸣效应”，这方面铅是很好的材料，但铅很贵且结构强度极低。

噪声的降低还可使用声音能量作摩擦功来消耗的方法（即声音能量部分转换为热能，这种热能造成的温升是极小的）。因此，使声音通过小孔或纤维类物质是将声转换成热的有效方法。聚氨酯（Polyurethane）是一种很好而价格又不太贵的吸音材料。用多次反射使声波反复遇到吸音材料会得到最好的效果。

辛辛那提·米拉克隆公司使用一种可粘附在金属壁上的吸音材料，这种材料即使受到液体的喷溅也不降低其吸音效能。

但使用大量的吸音材料包住噪声源还不是最好的方法，最好是明确什么是噪声源，它是如何产生和如何放射声音的，往往搞清楚这些以后有可能不用或用很少的特殊材料而能大大降低噪声。

该公司曾有这样一个经验，有一个液压源包括：一个流量为 40 加仑/分(150 升/分)的主轴承，一个 11 加仑/分(42 升/分)的循环油泵，一台 20 马力，1200 转/分的马达，一个空气冷却的热交换器和一个油箱。原来的设计是用开有百叶窗的钢罩板全部罩起来，结果，这个液压源的噪声为 89 分贝(A)。后来，经过分析研究，找到的主要噪声源是两个油泵和油箱，然后采取下列措施(见图 24)：

- 1) 将三个外购的隔振器安装在马达和油泵的下面来降低油箱噪声。
- 2) 采用长的吸气路线来降低循环泵的噪声。
- 3) 从声学观点出发来安排阻音板和控制气流路线，取消了百叶窗。
- 4) 增加两平方呎(0.2 米²)的吸音材料。

采取以上这些措施后，该液压源的噪声降低到最高不超过 79 分贝(A)(见图 25)。

在钢板上贴附阻尼材料的声学处理的费用是很低的，当进一步进行声学处理时，费用将随着尺寸大小和方式而不同。如图 26 那样的液压源隔离罩的费用约需 600~800 美元。至于

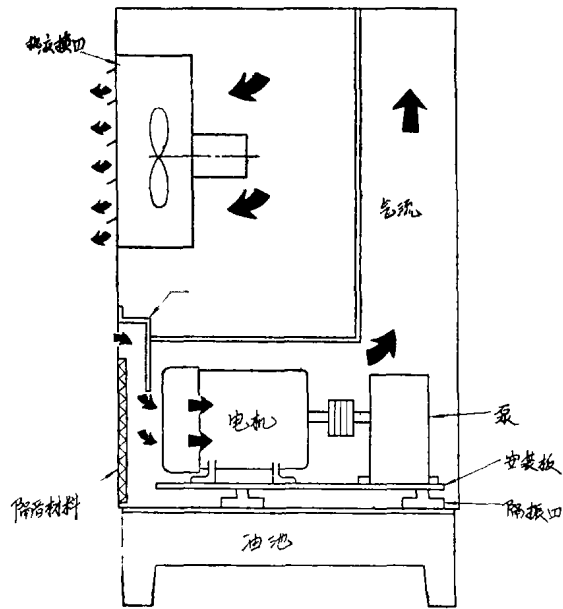


图 24 降低噪声结构的实例

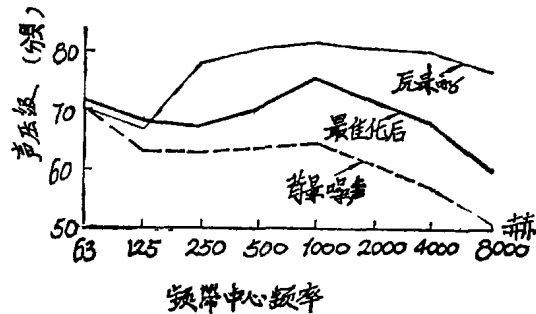


图 25 采取措施前后的音频频谱图

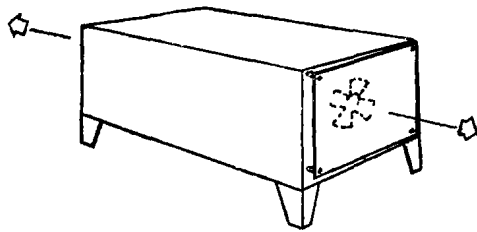


图 26 隔音罩

部分将机床罩起来，如对一台高速下料压床采取这种措施将花费 3000~4000 美元（包括在压床的前后方用 100 毫米厚带铰链的隔音材料）。如果再加上观察窗及两旁的隔音措施，可使该压床的噪声降低 10~15 分贝。如果要进一步降低噪声，需要将整个机床或许连同辅助设备全部罩起来。目前，市场上有一些这种标准的隔音罩供应，价格在 10000 美元以上。但这种方法造价太贵，且不能根本解决噪声问题，因而美国目前主要从事于降低噪声源的噪声的研究，入手解决噪声问题，如液压泵噪声，电机风扇引起噪声，齿轮噪声等。

（3）机床的热变形

机床热变形是影响机床加工精确度的重要因素之一，但是目前仍没有办法从理论上预先估计机床的热变形。该公司曾在这方面作过工作，想要预先测出机床的热变形，但是没有成功。因而目前仍然是通过试验找出机床发热的部位，然后采取措施降低温度以解决机床的热变形，即用对症下药的办法来解决热变形问题。

据介绍，机床主要的热变形在主轴部位，因而要尽可能地降低主轴引起的温度。对轴承采用油雾润滑是一种最好的方法，而且油量要有一定值，过大或过小都会引起温度升高。同时，油要进行预冷，以防止油温逐渐升高，方法是采用水冷或风冷。半导体致冷器也已应用在精度要求高的机床上。

该公司介绍了试验 $DN = 10^6$ 的轴承时，所采用的轴承形式和润滑方法（见图 27）。采用油雾润滑方式，同时进油的方向不能反，否则旋转的离心力会造成油进不到轴承内部，起不到润滑的目的。

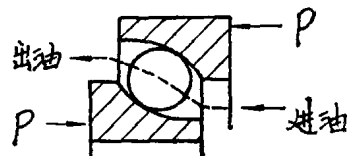


图 27

磨床冷却液的温度也是影响磨床热变形的主要原因之一（我们有些搞磨床的同志是不同意这个观点的），因而对冷却液也要进行预冷。另外对外圆磨床可以在砂轮和工件下面加一个导板，使冷却液不流经床身而直接进入冷却液箱内，以减小机床的热变形。这种办法已在该公司内采用。作为一种特殊办法，来保证机床的加工精度，该公司还曾为美国原子能研究所将一台外圆磨床外部整个用罩密封起来，然后用喷雾冷却的方法对机床和工件的几个部位进行冷却，结果大大地降低了热变形，使加工的重复精度达到 0.25 微米。

（4）轴承和导轨

一般认为，机床主轴轴承的好坏是影响机床加工精度的最重要环节之一。它既要有一定的回转精度，足够的刚性和使用寿命，同时还要温升低，从而使主轴的热变形小。

该公司认为，轴承的好坏是由 DN （转/分 × 直径）值来衡量的。 DN 值越大越好。但高的 DN 值受轴承的温度和刚性的限制。合理的润滑方式是轴承得到大 DN 值的一个重要方面。

从研究的发展来看，在滚动轴承、动压轴承和静压轴承三者之间，他们倾向于对滚动轴承的研究。研究结果表明，角止推轴承的 DN 值已达到一百万转·毫米/分，轴承温度控制在 50°F 以内。寿命保证 2000 小时已能满足目前机床主轴的要求。

滚动轴承预加负荷，可使主轴刚度提高，角止推轴承的预加负荷为 400~800 磅（约 170~340 公斤），但温度都随预加负荷而升高。

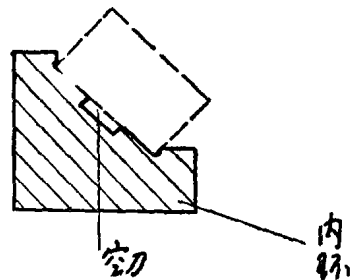


图 28

辛辛那提·米拉克隆公司还对新型 Timken 轴承作