

机 修 手 册

(試用本)

修理技术及其应用

(四)

中国机械工程学会 主编
第一机械工业部设备动力司

机械工业出版社

本手册共分五篇。第一篇：修理技术准备；第二篇：修理工艺；第三篇：设备的安装与保养；第四篇：动力设备的修理；第五篇：电气设备的修理。

第二篇共分六章，分别阐述修理技术及其应用，机床修理工作中的拆卸、装配和调整，金属切削机床的修理工艺，锻压、铸造和起重运输设备的修理，机床外观和机床修理的精度检查方法和检查工具等。分成十五个分册出版。

本分册是第二篇第一章（四），内容包括：研磨技术和精密丝杠及分度蜗轮的修复技术。研磨技术对研磨原理、研磨余量、研磨剂、研磨工具及各种研磨方法，作了简要说明。精密零件的修复技术，主要介绍精密丝杠和分度蜗轮的修复方法。

可供设备维修技术人员和具有一定技术水平的机修工人参考。

修理技术及其应用（四）

本册主编 上海市机械工程学会设备维修专业组

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外南礼士路北口）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国财政经济出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本850×1168¹/₃₂·印张1⁹/₁₆·字数44千字

1966年6月北京第一版·1968年5月北京第二次印刷

印数58,001—128,000·定价（科二）0.18元

*

统一书号：15033·4086

72800

目次

研 磨 技 术

一、研磨原理	1
二、材料的可加工性与研磨余量	2
(一) 研磨与工件材料的关系	2
(二) 研磨对前道工序的加工要求	2
三、研磨剂	4
(一) 研磨粉	4
(二) 研磨膏	7
(三) 研磨液	8
四、研磨工具	8
(一) 手工研磨工具	9
(二) 机械研磨工具	12
五、研磨方法	15
(一) 平面研磨	15
(二) 外圆研磨	15
(三) 内孔研磨	17
(四) 锥体研磨	17
(五) 球面研磨	18
(六) 螺纹研磨	18
(七) 齿轮研磨	19
六、影响研磨精度的因素	20
参考文献	22

精密丝杠及分度蜗轮的修复技术

一、精密丝杠的修复	23
(一) 测量方法	24
(二) 精度检查	24
(三) 磨损量分析	25
(四) 研磨套及丝锥的选择	25
(五) 丝杠的研磨工艺	28
二、分度蜗轮的修复	30
(一) 珩磨修复法	30
(二) 刮研修复法	37

研 磨 技 術

一、研磨原理

研磨是精密零件精加工的主要方法之一，尺寸精度能达到一級以上，表面光洁度达到 $\nabla\nabla\nabla\nabla 10 \sim \nabla\nabla\nabla\nabla 14$ 。它可以加工工件内外表面、平面、圓錐面、球面、螺紋面、齒輪面和特型表面；無論淬火或未淬火的碳鋼、硬質合金、鑄鐵和銅等金屬材料以及玻璃、水晶等非金屬材料都可加工；不僅用于機械制造中，也可用于一般的機修工作中。

研磨加工的特点是工件與研磨工具之間無強制性引導，借研磨劑在兩者之間不斷地改變方向，發生滑動和滾動而起研磨作用。同時，借研磨液與工件表面發生的化學反應，在工件表面形成一層很容易被磨粒刮去的氧化薄膜而加速了研磨作用。因此，研磨的切削原理是機械與化學聯合作用的結果。

研磨工具與工件之間的相對運動應包括下列幾方面：（1）兩者不受外力的引導，處於浮動狀態，以免由於特殊的機械作用而引起誤差或缺陷；（2）運動方向必須周期性地變更，以使研磨劑分布均勻，工件表面的劃痕縱橫交叉，工具表面磨損均勻；（3）必須使工件表面上每點相對於工具表面上的滑動路程相等，使各點的切削均勻。

研磨壓力對研磨效率的影響見圖 1 a。從圖可見，研磨效率是隨着研磨壓力的增加而增加的（在實際應用的壓力範圍內），因為研磨壓力增加以後，磨粒嵌入工件表面較深，切除金屬切屑較多，研磨的作用增加。但當研磨壓力過大時，研磨劑顆粒會由於承受過大的荷載而被壓碎，研磨作用反而減小，並使工件表面的劃痕加深，影響表面光潔度。因此，研磨壓力必須在合理的數值以內。研磨壓力的具體範圍是由工件的材料性質、研磨工具材料性質以及外加壓力等因素，通過實驗的方法而獲得的。一般常用的研磨壓力範圍為 $0.5 \sim 3$ 公斤/厘米²。粗研磨時宜用 $1 \sim 2$ 公斤/厘米²，精研磨時宜用 $0.1 \sim 1$ 公斤/厘米²。

研磨速度對研磨效率的影響如圖 1 b。一般來說，研磨的作用是隨着研磨速度的增加而增加的，因為研磨速度增加以後，在單位時間內工件表面上能夠通過較多的磨粒，而單位滑動路程的磨削量幾乎接近於常數，因此，切下

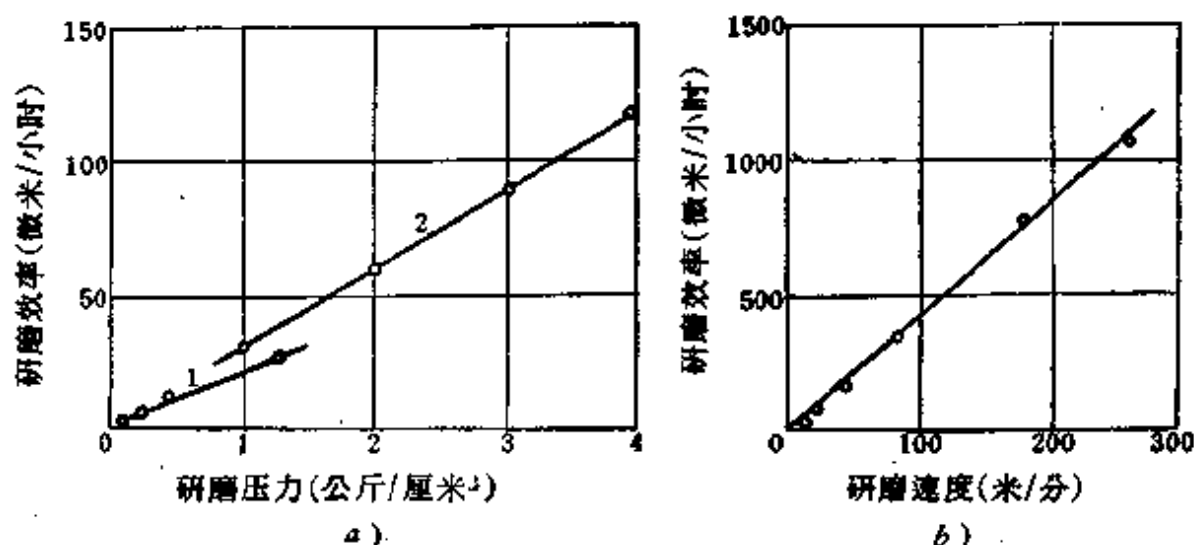


图1 研磨压力及研磨速度对研磨效率的影响:

1—单盘研磨机, 研磨速度7米/分;

2—双盘研磨机, 研磨速度27.5米/分

更多的金属切屑, 而使研磨的作用增加。

研磨速度一般在10~150米/分之间, 但对于精密零件, 不宜超过30米/分。研磨速度不宜过高, 否则产生的热量很大, 会引起表面退火(一般称为发黄); 同时由于热膨胀太大, 很难控制尺寸。此外, 还会使表面留有严重的磨粒划痕。合理的研磨速度必须通过实验的方法来获得。

总之, 在研磨时, 一般是先用较高的压力和较低的速度进行粗研磨, 然后再用较低的压力和较高的速度进行精研磨。

二、材料的可加工性与研磨余量

(一) 研磨与工件材料的关系

影响工件材料加工性(即研磨性)的因素很多。一般较硬的工件材料具有良好的抛光性, 但切削性较差, 较软的工件材料则相反。

所有碳素工具钢或低合金钢在淬硬以后都适宜于研磨; 低碳钢表面经过渗碳淬硬后也宜于研磨; 用油淬硬的合金工具钢性质较柔软, 研磨起来阻力较大; 氮化钢研磨效率低, 但表面光洁度很好; 硬质合金通常不能采用一般的研磨剂, 而必须采用金刚钻粉末或碳化硼, 但效率极低。

(二) 研磨对前道工序的加工要求

研磨工件的几何形状精度(例如棱形度、椭圆度等)主要靠前道工序来

保証。它的預加工应达到下列要求：表面光洁度在 $\nabla\nabla\nabla 7$ 以上；平直度、棱形度、橢圓度等符合技术要求；表面无明显的走刀痕迹、烧伤、裂纹等缺陷；研磨余量尽可能小，且分布均匀。

表 1 经过精磨的工件的研磨余量（微米）

研磨种类	研 磨 平 面		研磨外圆	研磨内孔
	按 每 面	按 厚 度	直 径	直 径
手工研磨	3~5	6~10	3~8	5~10
机械研磨	5~10	10~20	8~15	—

表 2 外圆的研磨余量（毫米）

直 径	余 量	直 径	余 量
≤ 10	0.005~0.008	51~80	0.008~0.012
11~18	0.006~0.008	81~120	0.010~0.014
19~30	0.007~0.010	121~180	0.012~0.016
31~50	0.008~0.010	181~260	0.015~0.020

表 3 内孔的研磨余量（毫米）

孔 径	铸 铁	钢
25~125	0.020~0.100	0.010~0.040
150~275	0.080~0.160	0.020~0.050
300~500	0.120~0.200	0.040~0.060

表 4 平面的研磨余量（毫米）

平面长度	平 面 宽 度		
	25 以下	26~75	75~150
≤ 25	0.005~0.007	0.007~0.010	0.010~0.014
26~75	0.007~0.010	0.010~0.016	0.016~0.020
76~150	0.010~0.014	0.014~0.020	0.020~0.024
151~260	0.014~0.018	0.020~0.024	0.020~0.030

一般淬硬鋼件以及要求精密的零件應該經過精磨，以獲得準確的精度和極小的余量。對於軟金屬也可以用精車或精銑。

根據一般資料推薦的研磨余量（表 1 和表 2），在採用時要注意，為了考慮到形狀誤差以及由於溫度而引起的度量誤差的影响，小的或短的工件採用表中較大的數值；大的或長的工件宜採用表中較小的數值。不淬硬的工件可以將數值增加約三分之一。

內孔及平面的研磨余量可分別參考表 3 及表 4 中所列數據；其他表面可參考表 5 中所列數據。

表 5 其他表面的研磨余量（毫米）

加工面	余量	加工面	余量
圓錐面	0.01~0.02	部分球面	0.02~0.025
內螺紋面	0.06~0.10	整球面	0.01~0.05
外螺紋面	0.003~0.005	齒輪面	0.01~0.04

三、研 磨 劑

（一）研 磨 粉

各種研磨粉的性能及其應用見表 6。

研磨粉顆粒結晶經過粉碎後，尺寸大於 0.028 毫米的用篩分法（每吋長度內的篩孔數）來表示其粒度；小於 0.028 毫米的則用水選沉淀法（沉淀時間）來表示粒度。

研磨粉粒度的選擇，一般視研磨的生產率、工件材料性質、研磨方式和種類、光潔度要求以及加工余量的多少來決定。具體地可參考表 7 和表 8。

研磨劑的研磨效率與它的粒度、硬度、強度及工件材料性質等有關，可以通過實驗比較法而得。圖 2 是鋼料工件在單盤研磨機上進行平面研磨實驗所得的結果。可以看出，開始時各種研磨劑在單位時間內的研磨量大致相等，但經過較長的使用時間後，由於顆粒細化的結果，研磨量就稍微降低些，軟的剛玉比硬的碳化硅降低得較慢些。這種研磨效率的降低，在一般情況下是不利的。但在某些特殊情況下，如要求較高的表面光潔度時，較軟的研磨

表 6 各种常用研磨粉的性能及应用

名 称	代表符号	化学成分	颜 色	硬 度	用 途	
					加工方法	工 件 材 料
刚 玉	G(З)*	87~91% Al_2O_3	灰褐、暗褐、 粉红、暗红	具有較高的硬度和韧性， 鋒利	粗研磨	各种碳鋼、合金鋼、可鍛 鑄鉄、硬青銅
白色剛玉	GB(ЗБ)	97% Al_2O_3	白 色	比剛玉硬，鋒利、韌性低 于剛玉	粗研和 極精研	淬硬鋼
黑 色 碳 化 硅	T(K4)	95~97% SiC	黑 色	比白色剛玉硬，鋒利，性 脆	粗研磨	軟青銅、黃銅、紫銅、鋁、 鑄鉄、大理石、玻璃、非金 屬材料
綠 色 碳 化 硅	TL(K3)	97% SiC	綠 色	比黑色碳化硅硬，但次于 金剛石和碳化硼，鋒利，性 脆，研磨韌性材料時易裂	粗研和 精研磨	淬硬鋼、硬質合金、硬銘、 金剛石、工具鋼
氧 化 鉻		Cr_2O_3	綠 色	極細的拋光劑	精研磨 及拋光	銅、紫銅、軟青銅、淬硬 鋼和鑄鉄
碳 化 硼	TP(KБ)	85~95% B_4C	灰色至黑色	比綠色碳化硅硬，但次于 金剛石，顆粒能自行修磨， 保持鋒利，高溫時易氧化	粗研和 精 研	硬質合金、硬銘、寶石、 硬鋼，但價格昂貴，故應用 較少
氧 化 鉄		Fe_2O_3 (或 $FeO \cdot Fe_2O_3$)	紅 色 至 暗 紅 色 和 紫 色	極細的拋光劑	拋 光	硬鋼、玻璃、水晶、銅
金 剛 石		C	灰 色 至 黃 白 色	最硬的研磨劑	粗研和 精 研	硬質合金等。目前已被碳 化硼取代

* 括号內的符号为旧代号。

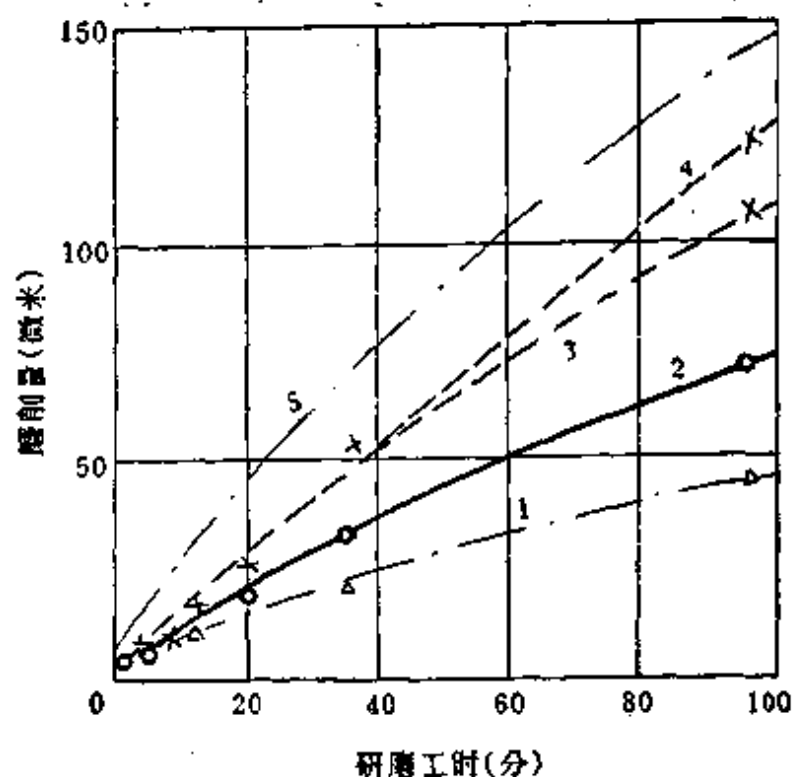


图2 各种研磨剂的研磨效率:

1—刚玉; 2—白色刚玉; 3—碳化硅,
4—碳化硼; 5—碳化硅(粗粒度)

表7 研磨剂常用的粒度

加工方法	粒 度	应 用
粗 研 磨	100~220号	一般产品零件的研磨
精 研 磨	220号~M14	
粗 研 磨	M14~M10	精密零件、量具、刀具的精密研磨
半 精 研	M7~M5	
精 研 磨	M5 以下	

表8 常用粒度能达到的表面光洁度

粒 度	能达到的表面光洁度
100~120号	▽▽▽7
120~320号	▽▽▽7~▽▽▽9
M28~M14	▽▽▽9~▽▽▽▽10
M14以下	▽▽▽▽10以上

剂由于磨粒变细变钝，反而可以达到要求。

(二) 研 磨 膏

研磨膏是在研磨粉中加入粘結剂和潤滑剂調制而成的。添加剂有硬脂、石蜡、动物脂肪、凡士林、煤油（火油）、油酸等。添加剂的作用是使磨料均匀分布并部分含有活性化学附加物如油酸、油脂等，可提高研磨效率和表面光洁度，应用较广。

研磨膏的配制成分按其使用目的而定，現列表說明如下：

表 9 研磨膏的成分及其应用

加工种类	研磨粉末		单 位	研磨粉末 的 比 例		油酸的 比 例		混合脂 的 比 例		凡士林的 比 例		煤油的 比 例	
	規 格	名 称		重量	%	重量	%	重量	%	重量	%	重量	%
粗研	M14~M10	Al ₂ O ₃	公斤	0.437	52	0.062	7	0.218	26	0.128	15		
半精研	M7	Al ₂ O ₃	公斤	0.625	45	0.320	22.4	0.437	31.5			0.015	1.1
精研	M5	Al ₂ O ₃	公斤	0.320	40.8	0.156	20.5	0.281	36.7			0.015	2
	M3	Al ₂ O ₃	公	0.031	19.4	0.140	29	0.218	45.1			0.031	6.5
抛	2~5μ	Cr ₂ O ₃	斤	0.062									
	1~3μ	Cr ₂ O ₃	公斤	0.046	11.6	0.128	31	0.218	54			0.015	3.4
	1~3μ	Cr ₂ O ₃	公斤	0.093	19.4	0.156	32.2	0.218	45.1			0.015	3.3
光	1~3μ	Cr ₂ O ₃	克	70	56	10	8	15	12	30	24		
	2~5μ	Cr ₂ O ₃	公斤	0.109	23.3	0.628	26.7	0.218	46.7			0.015	3.3

注 1. 表中的重量以公斤計。

2. 煤油的加入量視天气而定，天暖煤油少放些，天冷可多加一些；油酸与混合脂的比例应对立，例如油酸少放 5%，則混合脂应多增加 5%；粉末在任何天气下比例不变。

研磨前先用煤油将工件及工具清洗，并将研磨膏稀释，再分別涂在工件及工具表面上。粗、精研用的研磨膏不能混用，并注意严密保存，以防灰尘混入。

(三) 研 磨 液

研磨液即上述研磨膏中的粘結剂，它在研磨过程中主要有三个作用：使研磨粉均匀分布；具有潤滑作用；在工件表面形成氧化薄膜，从而加速研磨的过程（化学作用）。如果在研磨液中再加入少量的石蜡、蜂蜡等填料和化学活性作用較强的油酸（ $C_{17}H_{33} \cdot COOH$ ）、脂肪酸（ $C_{17}H_{31} \cdot COOH$ ）、硬脂酸（ $C_{17}H_{35} \cdot COOH$ ）与工业用甘油等，則研磨效果更好。

一般常用的研磨液有下列几种：

机油——应用較普遍，一般用 10 号机油。在精密研磨中常用一份机油和三份煤油混合使用。

煤油（火油）——应用于粗研磨时要求研磨速度較快，而对工件表面光洁度又要求不甚高的情况下。

猪油——其中含有油酸，有助于研磨作用，增加表面光洁度，应用于极精密的研磨情况下。

水——一般应用于玻璃、水晶的研磨等。

四、研磨工具

对研磨工具有下列几点基本要求：材料应比工件材料軟，組織均匀，具有一定彈性，研磨性高，寿命长，变形小；几何形状尽可能与工件一致，表面光滑，无裂纹、斑点等缺陷；一般在設計时应有磨損的补偿作用。

研磨工具采用較軟材料的理由是保証研磨剂只能嵌入到研磨工具表面，而不会嵌入工件。但太軟的研磨工具会很快地变形和磨損。为了解决这个矛盾，必須由試驗和經驗来确定。

通常用作研磨工具的材料有下列几种：

灰鑄鉄——由于含有片状石墨，所以耐磨性和潤滑性較好，适用于精細研磨，采用硬度为 $HB120 \sim 220$ 的珠光体組織的鑄鉄，效果很好；在精密平面研磨时采用高磷鑄鉄可获得很高的光洁度。

軟鋼——用于螺紋或細孔的研磨，可以保持工件不变形。

銅——用于研磨余量較大的工件的粗研，精研仍用鑄鉄。

鉛——用于研磨軟鋼或其他軟金屬。

木、皮革——用于研磨銅和其他軟金屬。

瀝青——用于玻璃、水晶或其他透明材料的抛光。

在选择这些材料时，对于粗研工具应考虑用較軟的材料，因为它可以嵌

入較粗顆粒的研磨劑；精研磨工具採用較硬的材料，因它僅能嵌入較細顆粒的研磨劑。

由於對象不同，所用的研磨工具也不同。按動力的來源，可分為手工研磨工具和機械研磨工具。

（一）手工研磨工具

按所加工的表面形狀，又可分為下列幾種：

1. 平面研磨工具

有研磨平板、研磨直尺和旋轉研磨盤三種，都是用鑄鐵製成。研磨平板如圖3，在工作面上可以開些縱向橫向的溝槽，以便把多餘的研磨劑刮去，使平板與工件接觸均勻，提高工件的平面性；同時使研磨時發生的熱量從溝槽中散去。當工件長度在150毫米以下時，研磨平板上可以銑成 60° V形槽（圖3a），研磨板的小方格面積約20厘米²；工件長度大於150毫米時，研磨板要銑成60厘米²的大方塊，在大方塊中再銑成15厘米²的小方格（圖3b），在極精細研磨中由於要獲得很高光潔度，這時平板不能開槽。

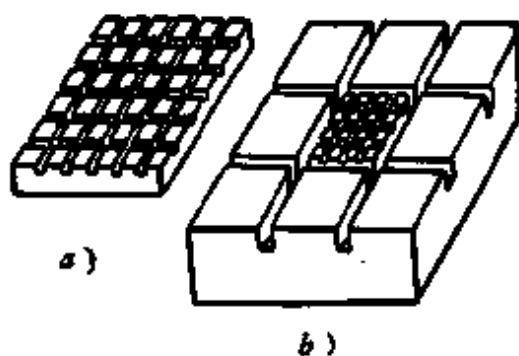


圖3 研磨平面的研磨板

研磨直尺是扁平的矩形鑄鐵塊，其規格為：長200~300毫米、寬100~150毫米、厚10~20毫米。在工作面上同樣可以開些小溝槽。上、下工作面須經過很細緻的研磨，以保持其平直性。

旋轉研磨盤一般常用的直徑為150~200毫米，特殊情況下可達到400毫米。

2. 外圓研磨工具

常用的工具為研磨套，一般做成可調節的，用錐度來補償磨損（圖4a），常用的錐度為1:10、1:25和1:30等幾種。此外還有鋸開式的研磨套，利用研磨套本身的彈性來實現調節（圖4b），一般研磨套的長度與孔徑之比為1~2.5。

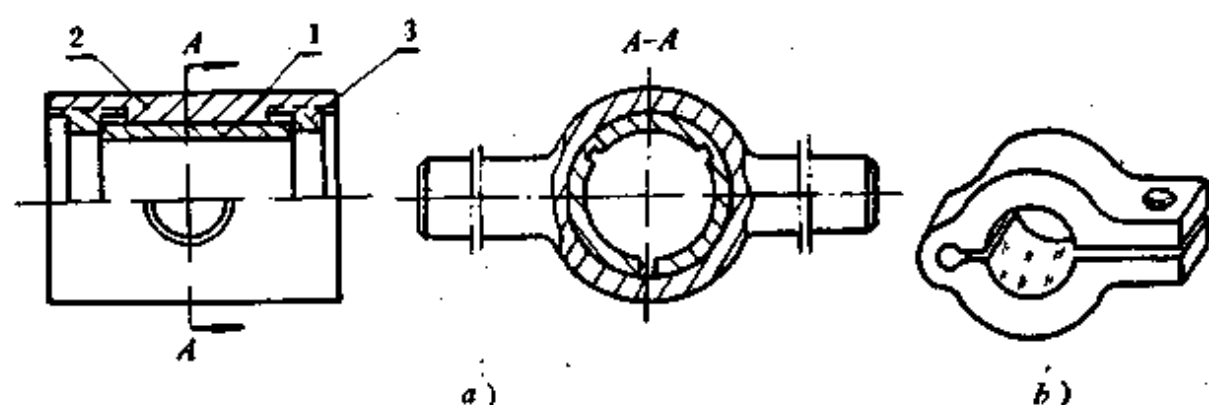


图 4

a—锥度调节的外圆研磨套：1—研磨套；2—研磨套夹具，
3—调节螺母。*b*—弹性调节的外圆研磨套

3. 内圆柱表面研磨工具

所用工具为研磨棒，有可调节的和固定的两种。后者很不经济，除用于特别精密要求的孔（如坐标镗床主轴箱孔等）和 $\phi 3$ 毫米以下小孔外，一般不用。

图5和图6为可调节的研磨棒，两者都是利用锥度调节，锥度一般为1:10和1:20两种。

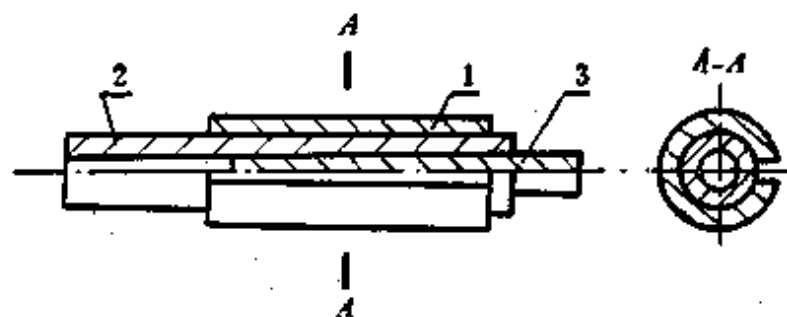


图 5 小孔径用研磨棒。

1—研磨棒；2—研磨棒托架；3—调节锥棒

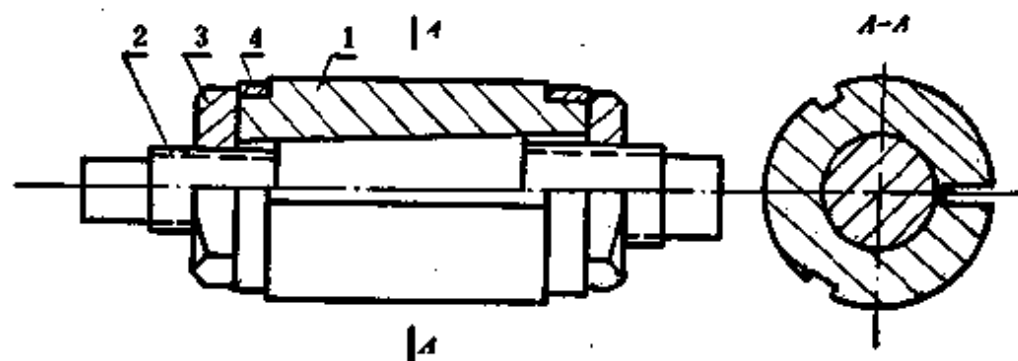


图 6 大孔径用研磨棒。

1—研磨棒；2—调节锥棒；3—调节螺母；4—套圈

4. 圆锥体研磨工具

这种研磨工具必须有准确的几何形状，研磨外圆锥体时用可调节式研磨套（图7）；研磨内圆锥孔时，不可调节式和可调节式的研磨棒都可用（图8），但使用后者精度较低。

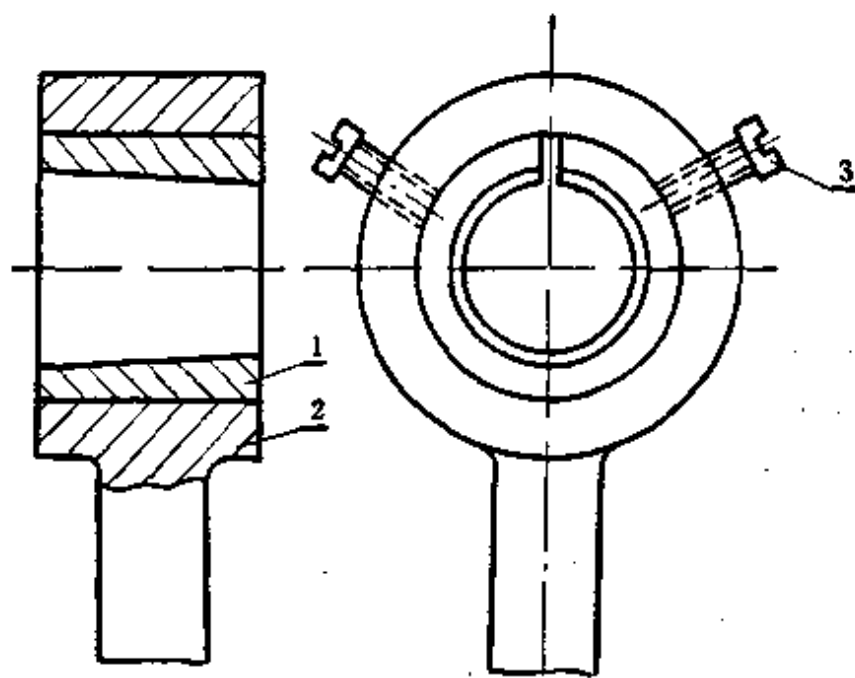


图7 可调节的外圆锥研磨套：

1—锥形研磨套；2—夹板；3—调节螺钉

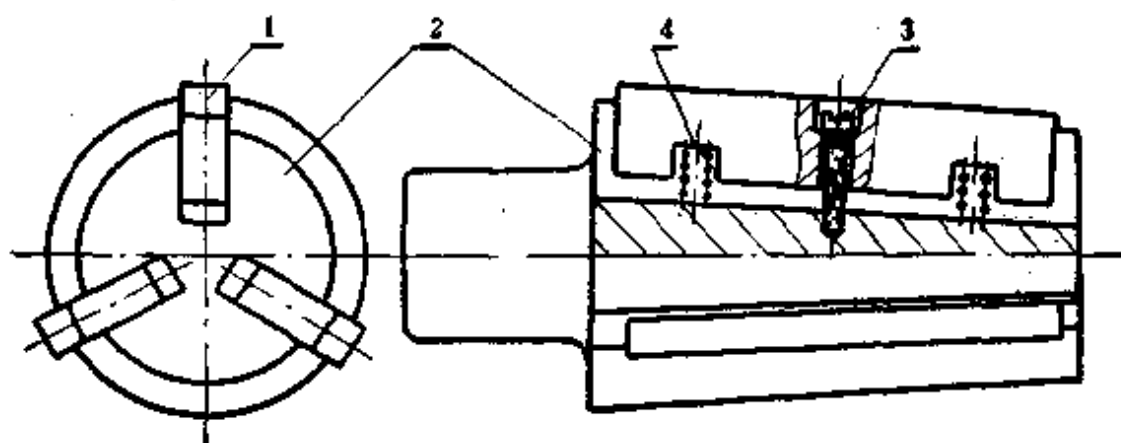


图8 可调节的内锥孔研磨棒：

1—研磨直尺；2—基体；3—调节螺钉；4—弹簧

5. 球面研磨工具

这种工具的几何形状也要非常准确，应与工件的几何形状完全一致。图9为各种球形表面的研磨工具。

由于在车床上加工球面不可能达到很高的精度，所以一般是同时加工一

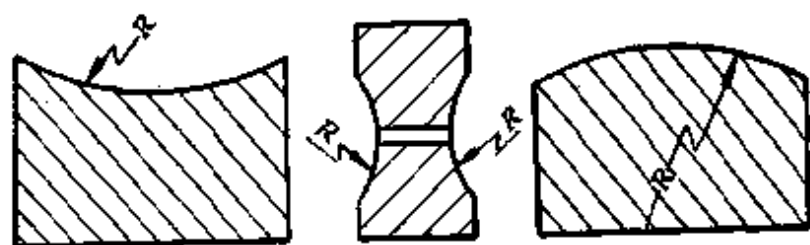
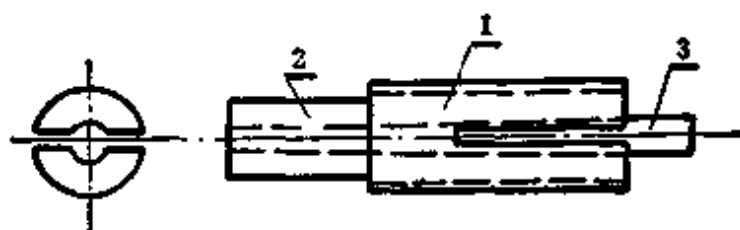


图 9

对凹凸的工具，将它们的工作面互相配研，使达到所需精度后再使用。

6. 螺纹研磨工具

研磨内螺纹时用研磨棒，研磨外螺纹时用研磨环。一般都用铸铁做成，在研磨小螺纹时也可用软钢。当工件螺孔直径小于 $\phi 20$ 毫米时，可用图10的研磨棒，棒1上开有小槽，可以扩张。调节时，只需用小锤敲调节锥棒3就行。调节锥度为1:10和1:20两种。

图10 用于 $\phi 20$ 毫米以下的研磨棒：

1—研磨棒；2—研磨棒托棒；3—调节锥棒

当螺孔直径大于 $\phi 20$ 毫米时，可采用与图6相似的研磨棒，只要在外径上加车螺纹即可。调节锥度为1:20和1:30。

研磨外螺纹时，采用与图7相同的结构，只是将锥形研磨套改成螺纹研磨环即可。

(二) 机械研磨工具

1. 单盘研磨机和双盘研磨机

图11为研磨平面用的光学单盘研磨机。研磨盘1被转轴5带动旋转，压力盘4由曲柄连杆机构10驱动，连杆8、9以O点为旋转中心而产生滑动，从而获得必要的研磨速度。研磨盘和曲柄的转速以及曲柄的冲程都可以作无级调节。由于杆8可以绕杆9摆动，同时压力盘是球面支承，故可使工件和工具互相自由滑动。压力盘的压力借增减重物7的重量来调节。

这种单盘研磨机可以研磨外圆、平面和球面。

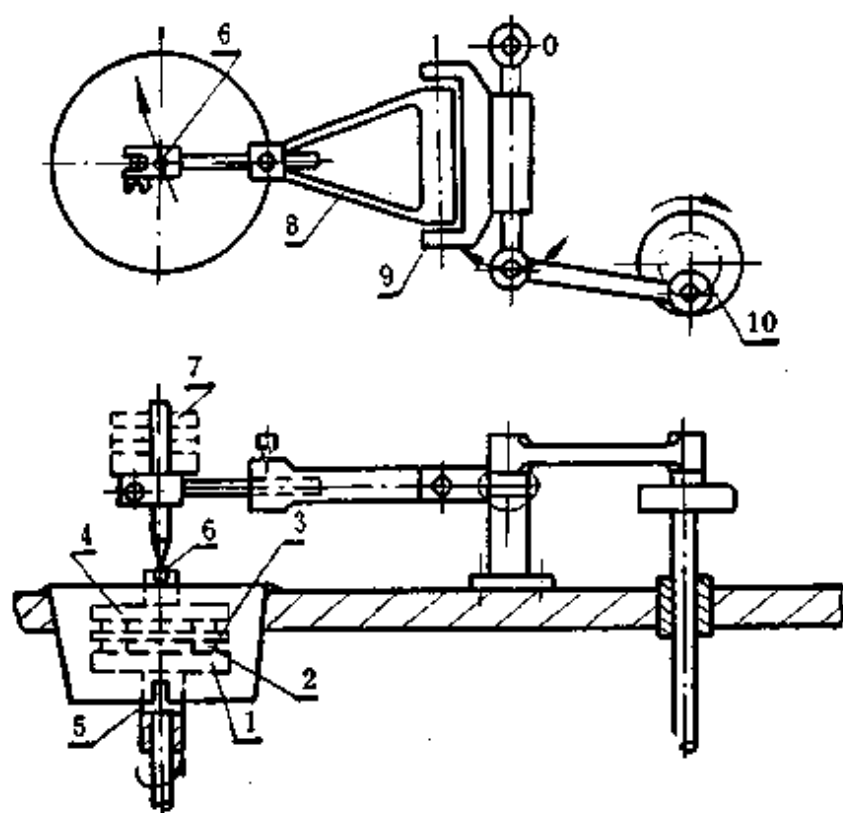


图11 光学平面单盘研磨机:

1—研磨盘; 2—工件; 3—隔板; 4—压力盘; 5—轴; 6—钢球
(摆动装置); 7—重锤; 8, 9—连杆; 10—曲柄连杆机构

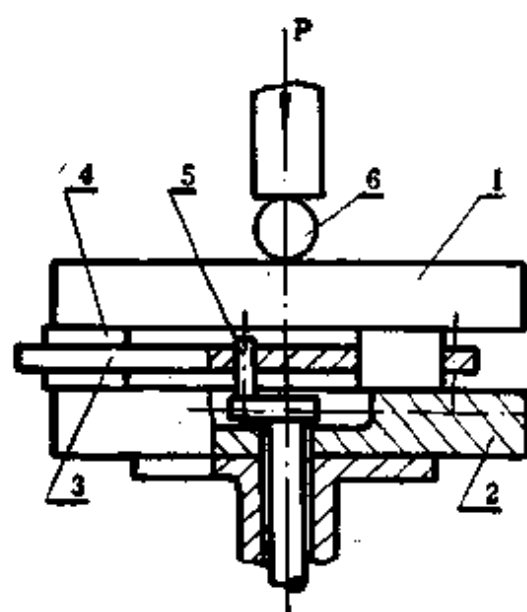


图12 双盘研磨机:

1—上研磨盘; 2—下研磨盘; 3—隔板; 4—工件; 5—偏心轴; 6—上研
磨盘可摆动装置

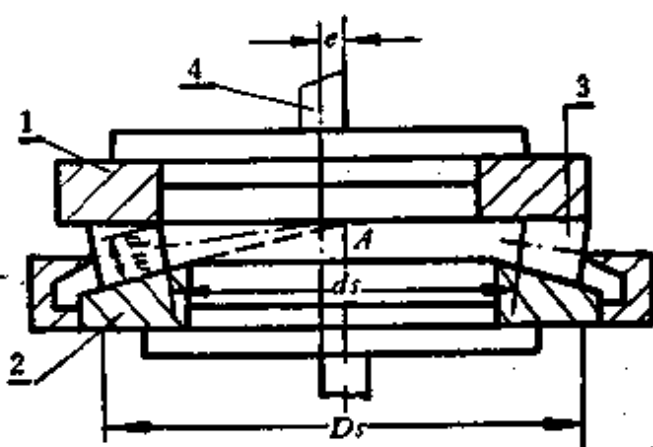


图13 双盘外圆锥研磨机:

1—上研磨盘; 2—下研磨盘;
3—工件; 4—偏心轴;
A—研磨盘旋转中心

图12为研磨平行平面和圆柱形工件用的双盘研磨机。上研磨盘1和下研磨盘2以同向或反向转动；隔板3由偏心轴5传动，以获得所需要的滑动速度。下研磨盘2不能调节，用一根空心轴传动；上研磨盘1安装在一个可向两旁转动的悬臂之中，以便于工件的装卸，并可沿轴向升降，以获得所需要的工作压力。

图13为研磨外圆锥面用的双盘研磨机，下研磨盘2做成与工件3的锥形一致。这种双盘研磨机与上面一种不同之处在于：偏心轴4是位于上研磨盘1的中心线上，隔板不作附加的运动，而与下研磨盘作同圆心转动，在下研磨盘上加装一环形刀口支承以保证工件大头的尺寸一致。

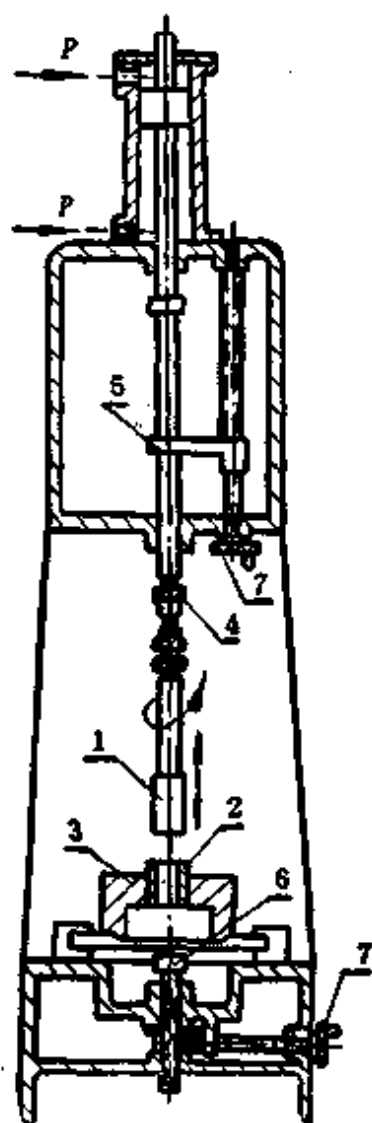


图14 内孔专用研磨机：
1—研磨棒；2—工件；3—
可摆动的工件轧头；4—研
磨棒可摆动轧头；5、6—撞
块；7—手轮

2. 内圆研磨机

它的结构与立式内孔研磨机相似（图14）。主轴可以作上下的往复运动和旋转运动，研磨棒的冲程可以无级调节。工具和工件的装夹机构均采用可以调心的轧头，可以摆动，能够加工出较满意的内圆。也可用现有机床如立式研磨机或钻床等改装。

3. 钢球研磨机

图15为研磨钢球的研磨机，是根据图11所示结构制成，上研磨盘1一般不转动，由下研磨

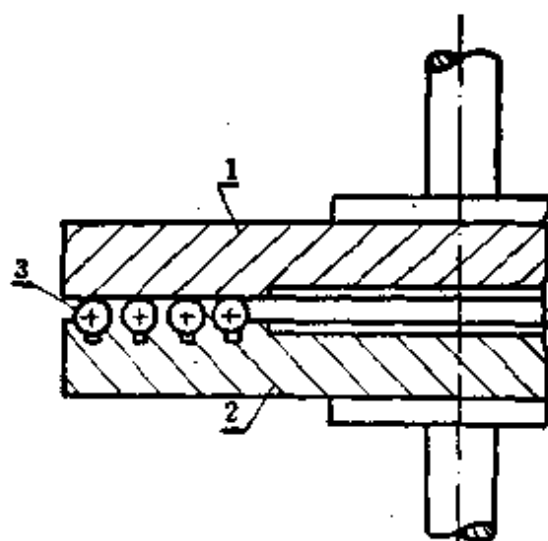


图15 球面研磨机：
1—上研磨盘；2—下研磨盘；
3—工件