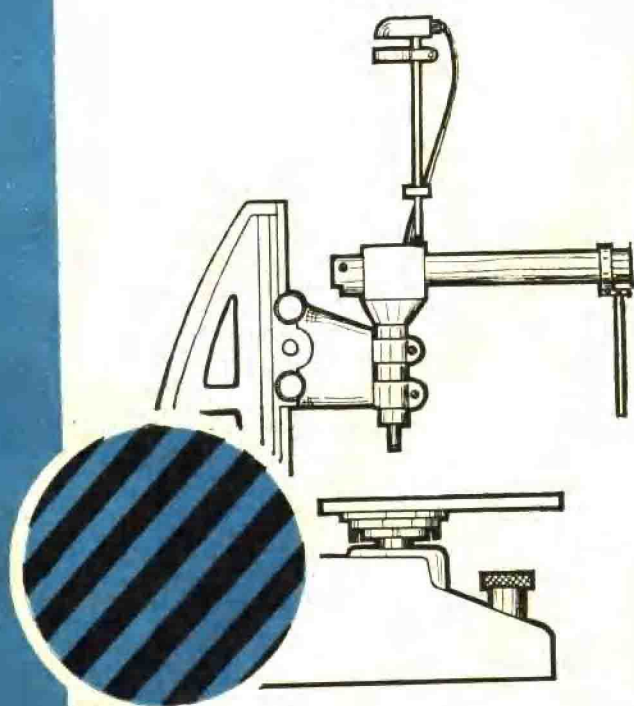


精密研磨与量块修复

《量块修复》编写小组编



张家口市标准计量管理所

目 录

第一章 研磨概念.....	(1)
一、量块修复的主要方法.....	(1)
二、独特的切削形式.....	(1)
三、镜面的形成.....	(4)
第二章 磨料与研磨剂.....	(10)
一、各种磨料简介.....	(10)
二、研磨剂.....	(14)
三、润滑剂.....	(17)
第三章 研磨的压力速度和工具材料.....	(19)
一、研磨速度.....	(19)
二、研磨压力.....	(20)
三、研磨工具材料.....	(21)
第四章 量块修理的准备.....	(23)
一、工作地要求.....	(23)
二、设备表.....	(24)
三、辅料表.....	(25)
四、对压砂平板的要求.....	(25)
五、压砂平板铸造工艺.....	(26)

第五章	压砂平板的研磨和压砂	(28)
一、	研磨中影响平面性的因素	(28)
二、	平板的研磨操作	(30)
三、	关于压砂	(32)
四、	平板压砂的操作	(33)
五、	其它几种压砂方法	(34)
第六章	量块研磨基本操作	(37)
一、	手工具的使用	(37)
二、	怎样练习量块的手工研磨	(40)
三、	怎样掌握量块光洁度	(43)
第七章	量块修理一般顺序	(47)
一、	量块的小修	(47)
二、	量块的大修	(49)
三、	薄量块弯曲的校正	(56)
四、	大量块的研磨	(57)
五、	角度块规的修理	(60)
附:		(63)
一、	量块新制工艺参考	(63)
二、	原材料技术要求	(66)
三、	量块制造用钢化学成分	(68)
四、	热加工工艺	(69)

第一章 研磨概念

一、量块修复的主要方法

量块修复的主要方法是精密研磨。所以，必须对研磨技术有较深刻的认识。精密研磨不像一般钳工那样的研磨。一般研磨只能达到 $\nabla 11$ 左右，精度仅在 $3 \sim 5 \mu$ ；而量块光洁度在 $\nabla 13$ 以上，尺寸误差一般不大于 $0.3 \sim 0.5 \mu$ ，并且要使光洁度、中心长度、平面性、平行性、垂直度等同时符合要求。所以一定要掌握好精密研磨方法。“世上无难事，只要肯登攀”只要勤学苦练，一定能掌握好。

研磨技术的应用在我国有悠久的历史。远在公元前二世纪，西汉时期史书上已记载了对玉石和钢铁的研磨。如：秦国由李斯磨制和氏璧作玉玺印（《史记·秦始皇本记注》）。还有在磨石上沾以水珩磨刀枪兵器的所谓“洒削”（《史记·货殖列传》）。

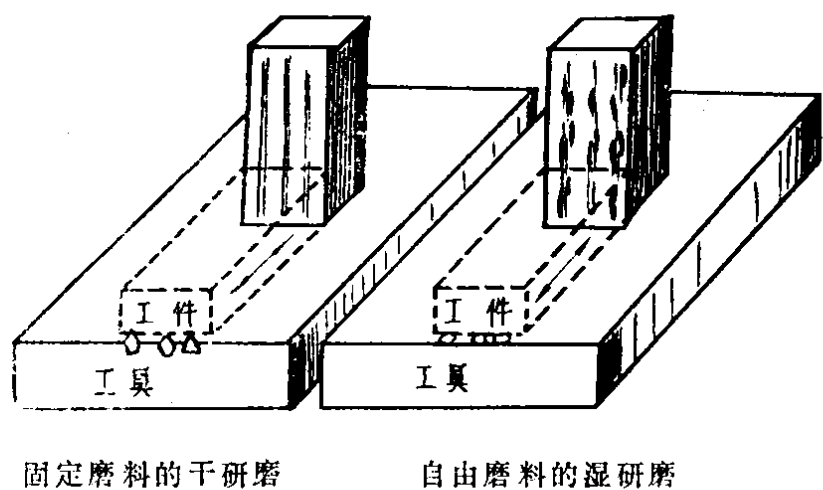
研磨比一般的金属切削有许多独特之处，如：磨擦性质和切削金属的特点，以及运动轨迹、压力、速度、工具材料、磨料、润滑剂等。

二、独特的切削形式

研磨的实质就是磨擦现象。从物理性质看，磨擦与碰撞

又相关联。恩格斯指出：“……磨擦和碰撞——这两者仅仅在程度上有所不同，磨擦可以看作一个跟着一个和一个挨着一个发生的一连串小的碰撞；碰撞可以看作集中于一个瞬间和一个地方的磨擦。磨擦是缓慢的碰撞，碰撞是激烈的磨擦。”（《自然辩证法》）因此，磨擦加工中的砺磨、珩磨和研磨的一个共同特点，都是通过担任切削的刃具——磨粒与工件面发生碰撞，从而使工件表面刮除一些切屑。

习惯上，在较粗磨粒制成的砂轮上磨工件叫砺磨；以较细的磨粉制成的砂条、油石等进行加工叫珩磨；以磨粉、微粉、超精微粉为主要研磨剂，以自由磨料形式（研磨剂以分散、颗粒状活动的形式）进行滚动磨擦的叫湿研磨；以微粉、超精微粉压入铸铁工具表面，对工件进行滑动磨擦的叫干研磨。（见图一）



图一 湿研磨和干研磨

研磨加工可达到最高的精度和光洁度，可加工平面、锥面、柱面、球面、螺纹面、齿轮面等各种不同材料和硬度的工件。

在研磨过程中，工具和工件间没有严格的、牢固的结合，即不像一般金属切削那样具有一定吃刀深度、特定的切削速度、在丝杠传导下朝一定方向。研磨的特点是没有如上述那样的“强制导引”，而是以松散、自由结合，不产生过大的作用力，以免使工件或工具的几何形状改变。它们之间是处在所谓“浮动状态”。它的切削是靠“浮动状态”下的工具、工件之间的微粉颗粒，在研磨液化学作用参予下，进行滚动或滑动，从而刮去一些切屑。在被刮去切屑的地方留下一些凹陷的划痕或点坑。当这些划痕和点坑布满全部工件表面时，就等于切去一层物质。由于这种切削主要靠千百万颗粒的刮削，因此要求颗粒分布均匀，使之切削痕迹很快布满工件表面，并使工件面各点切削均匀，以及尽可能保持精确的工具几何形状。为此，必须使研磨运动的轨迹具有一定的规律，并且又周期地不断改变方向。所以，对于不同形状的工件面都要有一定的运动轨迹。如：平面工件研磨轨迹，应使各点的运动速度及路程都相等；在圆柱面研磨时，工具和工件作互不相同的旋转运动和往复运动，一般此两种运动速度成正比，加工划痕成 45° 的网状交叉，工件表面各点依相同形式轨迹运动，达到均匀磨擦，这样对工件精度和耐磨性都有益；在研磨齿轮时，齿轮和研磨轮无间隙啮合的带动和沿轴向、径向的往复运动，由于渐开线齿轮啮合有滑动，可作为研磨运动，但滑动量不均匀（分度圆附近滑动小，齿顶、齿根部滑动大），所以研磨时附加轴向和径向往复运动，以使相对滑动量均匀。另外，为了提高效率、增加压力，研磨时又在轴上加制动扭矩。总之应使被加工面上每点相对于工具表面上的移动路程相等，使各点切削均匀。

研磨的效率与磨料、研磨压力和研磨速度等有较大关系。

三、镜面的形成

工件的镜面加工，如果是圆柱面，可通过镜面磨床或经改装的一般圆磨进行镜面磨削至 $\nabla 14$ 。也可以通过研磨和抛光方法达到这个要求。

但是，对于同时要求平面性极高、研合性极好、加工误差极小的量块等高精度计量仪器、工具来说，则往往只能采用于研磨和抛光方法才能达到要求。

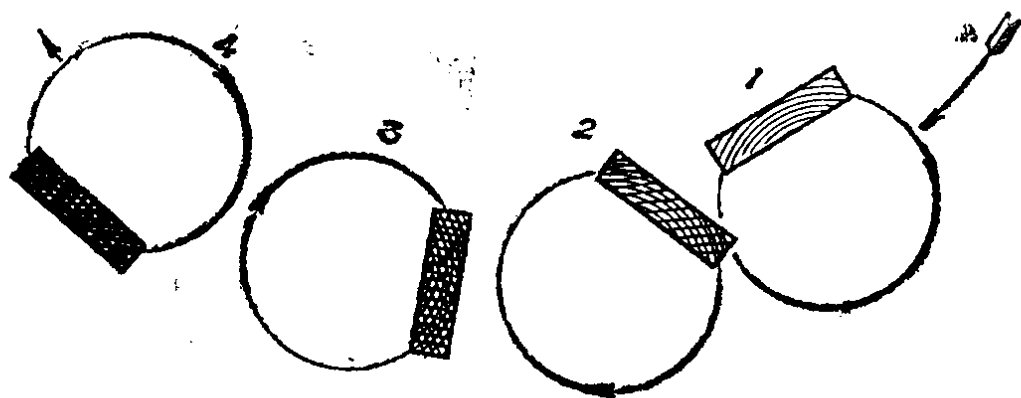
一般湿研磨最高只能达到 $\nabla 12$ 。虽然用特殊材料作工具和特细抛光剂可以再提高些，但其它几项要求如平面性、研合性比较不易达到；虽然机器抛光光洁度能搞得很好，但往往也是平面性、研合性不易保证。因此，目前尽管干研磨在达到最高光洁度方面并不十分容易，但还是主要地应用于量块研磨工艺。

当金刚砂压入铸铁平板表面时，这个平面上就如同布满锉齿的锋利锉刀，又如同千万个微细的刀具尖刃立在同一个平面上。这时工件在压力下移动，由于磨料颗粒硬度高于工件，所以在工件上就布满一条条细密的划痕。又由于工件重复的碰撞到许多磨料颗粒，凹陷的划痕也重复，所以在单位面积上切削掉一层物质。

金刚砂虽有一定粒度，但每号颗粒都有误差（多的可差 $6 \sim 8 \mu$ ，少的可差 $1 \sim 2 \mu$ ），切削的划痕也就深浅不一，工件的光洁度也不能达到理想程度。并且因砂粒尖棱锐角似

毛刺，作用于金属表面使光泽也不好（如：嵌 W10 的金刚砂，工件也只能研磨至 $\nabla 10 \sim \nabla 11$ ）。

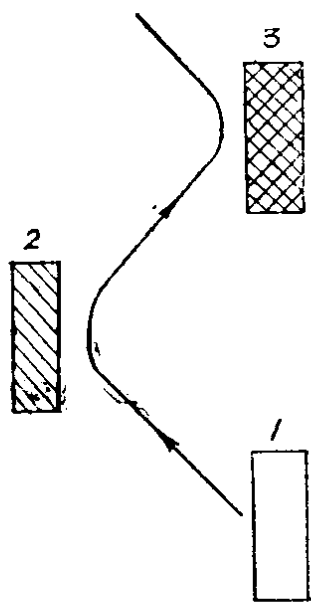
为了进一步提高光洁度，到目前为止，作最后精研量块的金刚砂大都采用 W1.5~W1，有的甚至用 W0.5。细金刚砂有利于提高光洁度，但颗粒压在平板上的稳固性相应也差了，容易在加工中使颗粒掉出划伤工件，即使如此细的磨料也不一定能稳定地达到 $\nabla 14$ 。于是，量块生产单位着重在研磨的运动轨迹方面进行研究。例如，在圆环式块规研磨机上加工的量块，摆线轨迹周期多、量块道痕交叉角近似 45° ，研磨方向不断改变，就能达到满意的光洁度。同时，平板质量



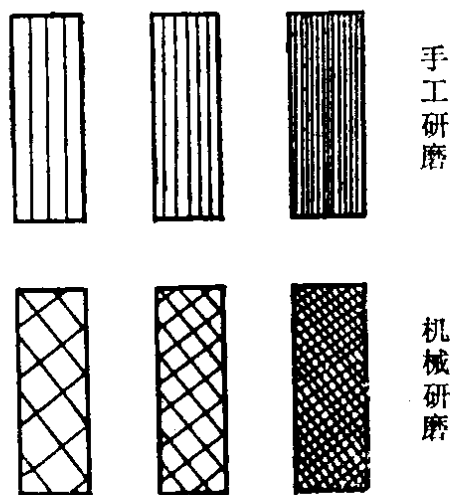
图二 行星式研磨机研磨量块

好坏（尤其嵌砂性能）、磨料质量（硬度、强度、颗粒粒度及均匀性）以及操作技术等都是重要因素。

目前，实际生产中量块最后加工是 3894 型研磨机。量块运动轨迹是纵向往复运动，同时有微小的横向摆动（或横向的往复运动的同时，又有微小的纵向摆动）。形成微小的正弦曲线轨迹（见图三）。



图三 工件运动轨迹与加工道痕的形状（近似3894型研磨机）



图四 参予干研磨的磨料颗粒数量与加工道痕分布

在量块的修复中，研磨轨迹是直的，很少改变方向（见图四）。除了金刚砂用的较细外，几乎都未具备达到镜面的条件。但是，按照传统，通过“打磨”也可获得高光洁度。这是因为压进铸铁平面的金刚砂颗粒虽有误差，形成参差不齐的峰谷。而经过“打磨”后，可以将大颗粒砂子的尖端打掉，使其与一般颗粒高度相等；同时又磨平磨光所有切削颗粒的尖端。形成又平、又光滑这样的切削工具平面。在这样平面上加工出的工件就出现一条条既浅又光亮的凹陷道痕，无数条这样的道痕组成了平整光亮的表面。这好比车工在精车工件之前，将车刀尖刃用油石珩磨一下，以提高切削刃的光洁度，使车出的工件光洁度提高。也有的采用“倒砂”办法，即在两块已压了砂的平板上沾上煤油互相研磨一下，这也起到“打磨”作用，但容易动摇固定中的磨料颗粒。

打磨工具的质量，是影响量块修理光洁度的一个很重要的因素。现在最普遍的还是采用天然油石（其硬度不一致，但都能用金刚砂研磨动）；也有用玛瑙石作打磨工具，效果虽然好些，但也能被金刚砂加工。所以在硬度方面总感不足。硬度不够，不能将颗粒大的磨料尖棱打下去；同时油石带颗粒性，光洁度又差。由于耐磨性也不好，容易改变了打磨工具平面性，所以不能实现理想的加工平面。目前我们不采用这两种打磨工具，而是使用硬质合金作为打磨工具，每经过一次打磨，工件的光洁度就提高一步。因为硬质合金不仅硬度高，而且金属结构要比油石细密，所以工具本身的光洁度也高，同时也特别耐磨，金刚砂根本不能加工硬质合金。所以能够比较理想的实现“打磨”。

用硬质合金打磨平板获得镜面，主要因素是打磨后的磨料颗粒在平板上固定的等高性好。而对于一定范围的砂子颗粒大小对工件光洁度，几乎没有什么影响。我们在四套平板上分别压上W10、W5、W2.5、W1砂子，选用四块材质、硬度、尺寸都一样的量块分别研磨，都达到▽14（见第六章第三节）。

在研磨中，我们可以发现，平板上总留下一层黄褐色的堆积物。每当出现这层物质时，工件的光洁度就特别显得细密光亮。这是由于煤油和硬脂（即润滑剂）与切削下来的微屑形成金属氧化物，金属氧化物可能就是金属本身的很好研磨剂。例如，在研磨镀铬工件时，当压砂平板被打磨得几乎没有切削力时，只要研磨至出现黄褐色物质，工件就会出现无切削道痕的蔚兰色的镜面。

形成镜面的另一个因素就是金属塑性流动。工件在磨擦

时，因表层产生高温而软化。并且当颗粒与工件碰撞时，又形成似耕田的情形：被砂子挤过的地方形成凹陷的划痕，而它的两侧凸起来，这样，在高温和压力同时作用下，当压力大到一定程度，使两侧凸起部分，局部地或全部地转移到相邻凹陷的划痕中去，形成表面平整。

用氧化铬研磨膏作精密研磨时，也能获得镜面。其方法是：在玻璃（已经过水与金刚砂研磨，光洁度 $\nabla 7$ ）上均匀涂一层W1~W3.5研磨膏，滴上一些煤油，然后与淬火钢研具研至研磨膏变黑，再以此玻璃研磨工件，即能达到镜面。缺点是加工后的工件平面性较差，容易产生麻点。这是因为研磨剂涂层厚度和湿度不易保持，也不易掌握。在五十年代前，曾有以此作为量块研磨的，目前一般只应用在普通量具工作面的研磨。

近年来，国外有“用软质砂粒镜面加工硬质结晶材料”的报导：工件是兰宝石（作集成电路绝缘板）。加工方法是一般的研磨方法。要求磨料颗粒比被加工物质软，并易与被加工物起化学反应。兰宝石可用 SiO_2 粉末或 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 。这二种磨料比兰宝石软，并能发生固相反应。镜面形成的原理是：“兰宝石与磨粒的接触点是局部，由于摩擦而发生高温和高压，在极短的接触时间内两者起反应。（用 SiO_2 粒子，产生莫来石 $3\text{Al}_2\cdot 2\text{SiO}_2$ ；用 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 粒子产生 $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ 固溶体或 Fe-Al 尖晶石等），其反应部分又被摩擦力消除。即是说在数十埃（注： $1\text{\AA}=0.0001\mu$ ）下的微小加工单位上用易于控制的形式进行研磨。”

通过实验认为：“石英玻璃和钢与兰宝石在接触界面上能起反应，用富有反应性磨粒可得到较大的加工量；随着磨

粒的反应，其力学性质和加工性也同时受到细微影响；由于磨料颗粒比工件软，不易嵌入被加工工件，并且切削的划痕作用也小，故可望得到几乎无刮痕和无塑性流动的光洁表面。并由于将刚性好的抛光轮代替过去较软的弹性抛光轮，因此可避免工件塌边现象。”

第二章 磨料与研磨剂

磨料可分为天然磨料和人造磨料两大类。天然磨料有天然金刚石、刚玉、石榴石、石英砂、白垩等。人造磨料有人造金刚石、刚玉、碳化硼、黑色和绿色碳化硅、碳硅硼、氧化铁、氧化铈、氧化铬等。由于天然磨料大都硬度不够高，故日益被人造磨料所代替。

一、各种磨料简介

天然刚玉 是由结构类型为 α 型的结晶氧化铝组成的矿物，显微硬度为2000~2600公斤/毫米²，比重3.9~4.0。

棕刚玉 是用量最多的人造刚玉。由铝矾土、无烟煤和铁屑在电弧炉中熔炼而成的刚玉溶液，冷却后的晶体。因为含有杂质，呈棕褐色。刚玉主要化学成分是 Al_2O_3 。可用于加工碳素钢、合金钢、高速钢、可锻铸铁、灰铸铁等。

白刚玉 是用铝氧粉在电弧炉中熔融结晶而成。 Al_2O_3 含量在98.5%以上。由于纯度较高和晶体中有气孔，所以较一般刚玉硬而脆。主要适用于加工合金钢、高速钢的淬火工件。

碳化硅 碳和硅的化合物。由石英砂和石油焦碳（或低灰分的无烟煤）、木屑（在制绿色碳化硅时，还需加入食盐）按一定比例装在一个特殊的电阻炉内，加热温度不低于

2000℃冶炼而成。电炉制的碳化硅还需经过破碎、浮选掉石墨、化学处理掉金属硅和氧化铁、及磁选。化学纯的碳化硅是无色的。由于含杂质不同而由浅绿至黑色，生产中常用的是黑色碳化硅和绿色碳化硅。碳化硅比重为3.1~3.4。较刚玉脆。黑色碳化硅呈黑色（含SiC98%以上），可用在抗胀强度低的脆性材料的切割和研磨（如：玻璃、陶瓷、石料和耐火材料）。也可磨制铸铁零件和某些有色金属。比刚玉系磨料硬度高、韧性差。绿色碳化硅为绿色（含SiC96.5%以上）。硬度和脆性比黑色碳化硅高。适用于硬质合金、光学玻璃和其它高硬度的非金属零件的加工。

碳 化 硅 粒 度 表一

磨 料	粒 度
T	16* 20* 24* 30* 36* 46* 64* 80* 100* 120* 150*
TL	36 46 60 80 100 120 150 180 220 240 280 320 M28 M20 M14 M10 M7 M5 M3.5

碳化硼 碳和硼的化合物，分子式B₄C,颜色由灰至黑。比碳化硅硬。是由硼酐和低灰分焦炭的混合物在电炉中经2500℃熔制而得。可部分地代替金刚石对硬质合金、宝石、陶瓷等硬质材料研磨和抛光。

金刚石 自然界中的金刚石呈不大的晶体状，化学成份是纯碳，是已知矿物中最硬的一种。人造金刚石是以碳素材料为原料、合金材料为触媒，与高温高压下合成的一种高硬材料，属碳的等轴晶系，其理化性质与天然金刚石基本相同。可加工硬质合金、宝石、玛瑙、玉器、光学玻璃、大理

石、花岗岩、铸石、高铝陶瓷、刚玉砖、耐火材料、高频电套等。

除上述外，近来还出现新型的、硬度较高的磨料。如：锆钎刚玉和立方氮化硼等。和其它几种刚玉（如锆刚玉、铬刚玉）一样，在实际使用中还较少。用得最普遍的，还是白刚玉。

各种磨料一览表	表二。
金刚砂粒度对照表	表三。
六个国家金刚石粉粒度表示法，	表四。

六国金刚石粉粒度表

表四

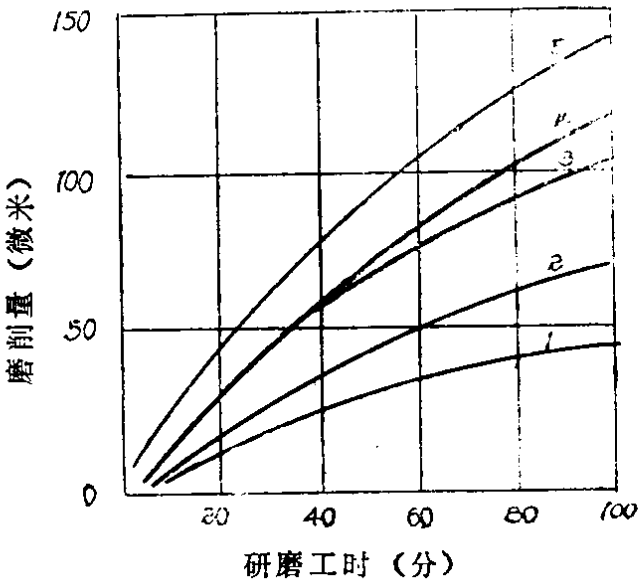
中 国		西 德、瑞 士		美国、日本		苏 联	
标称号	公称尺寸 μ	标称号	公称尺寸 μ	标称号	平均尺寸 μ	公 称 尺 寸 μ	
46	400—315	D500	400—600	36	600	A50	500—630
60	315—250	D350	300—400	46	424	A40	400—500
70	250—200	D250	200—300	54	360	A32	315—400
80	200—160	D150	120—200	60	320	A25	250—315
100	160—125	D100	80—120	70	250	A20	200—250
120	125—100	D70	60—80	80	220	A16	160—200
150	100—80	D50	38—60	90	180	A12	125—160
180	80—63	D30	18—38	100	140	A10	100—125
240	63—50	D15	9—18	120	120	A 8	80—100
280	50—40	D 7	5—9	150	95	A 6	63—80
W40	40—28	D 3	2—5	190	85	A 5	50—63
W28	28—20			220	70	A 4	40—50
W20	20—14			240	60	AM40	28—40
W14	14—10			280	50	AM28	20—28
W10	10—7			320	42	AM20	14—20
W 7	7—5			400	38	AM14	10—14
W 5	5—3.5			600	30	AM10	7—10
W3.5	3.5—2.5			700	22	AM 7	5—7
W2.5	2.5—1.5			1000	15	AM 5	3—5
W1.5	1.5—1			1500	10	AM 3	3—1
W 1	1—0.5			2000	7	AM 1	1 以细
W0.5	0.5以细			3000	5		

磨料颗粒与粗糙幅度表 表五

颗粒大小 (μ)	1 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60
粗糙幅度 (μ)	0.05 ~ 0.3	0.1 ~ 0.6	0.2 ~ 1	0.5 ~ 1.5	1 ~ 2

磨料的硬度不但对工件的材料和加工质量有重要作用，而且对工作效率也有较大影响。

(见图五)，在同样的时间里，硬度高的总比硬度低的磨削量大。因为硬度高的磨料嵌入工件较深，所以研磨一般钢件大都采用金刚砂就行了。只有在加工硬质合金之类工件时，才使用碳化硼或金刚石粉。



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

图五 各种磨料的研磨效率

二、研 磨 剂

研磨剂是磨料粉末、填料和润滑剂等的混合物。因常制成固体或软膏状，所以也叫研磨膏。也有临时配成的，如平板研磨、压砂等。

因为量块修复主要采用干研磨形式，所以应用不广泛。但是，粗研量块、平板研磨和压砂时是用的。如果，仅由金