

平板玻璃研磨抛光工艺学

〔苏联〕H.卡恰洛夫 著

毛文杰 楊映芳 译

中国工业出版社

平板玻璃研磨抛光工艺学

〔苏联〕H.卡恰洛夫 著

毛文杰 楊映芳 譯

江苏工业学院图书馆
藏书章

Н. качалов

**ТЕХНОЛОГИЯ ШЛИФОВКИ И ПОЛИРОВКИ
ЛИСТОВОГО СТЕКЛА**

Изд. АН СССР • 1958

* * *

平板玻璃研磨抛光工艺学

毛文杰 楊映芳 譯

*

建筑工程部图书編輯部編輯(北京西郊百万庄)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 • 各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1016^{1/16}$ • 印张20 • 插頁1 • 字数380,000

1965年3月北京第一版 • 1965年3月北京第一次印刷

印数0001—2,220 • 定价(科六)2.20元

*

統一书号: 15165 • 3623(建工-429)

作 者 的 話

本教科书是根据苏联高等教育部1953年6月18日第168号指示編写的。編写計劃符合以列宁格勒苏維埃命名的列宁格勒工学院玻璃教研組近年来讲授平板玻璃研磨和抛光工艺学的教学大綱，并事先征求过在此工艺領域內工作的各研究所、学院、工厂和机关的意見。

列宁格勒的一些研究单位在玻璃研磨和抛光方面的研究工作发展最快，其中占主导地位的是苏联科学院硅酸盐化学研究所。該所近年来在上述研究工作方面培养出了一批能干的研究人員：П.Я.鮑金（Бокин），В.Г.鮑阿諾（Воано），А.И.科列洛娃（Корелова），А.С.托鉄士（Тотеш），Ф.К.阿列依尼科夫（Алейников），А.Г.伏罗諾夫（Воронов），Р.А.高伏罗娃（Говорова）。以列宁格勒苏維埃命名的列宁格勒工学院仍象以前那样进行着許多研究工作〔М.Д.茲洛托波列斯基（Зло-топольский），Н.М.密德微杰夫（Медведев），Ю.Ф.尤里科娃（Юликова）〕。荣获列宁勛章的以С.И.瓦維洛夫（Вавилов）命名的国立光学研究所〔К.Г.庫馬宁（Куманин），В.М.維諾庫罗夫（Винокуров），С.М.庫茲涅卓夫（Кузнецов）〕，列宁格勒精密机械和光学研究所〔Т.П.卡烏斯金娜（Капустина）〕，以Г.В.普列汗諾夫（Плеханов）命名的矿业学院〔В.А.別罗夫（Перов）〕，全苏有用矿物机械加工科学研究院〔Д.Н.李夫良德（Лифлянд）〕也在玻璃研磨和抛光方面进行研究工作。在莫斯科，在玻璃研磨和抛光方面进行研究工作的有全苏玻璃科学研究院〔Ю.А.勃罗茨基（Бродский），М.Ф.卡尔波夫（Карпов），Я.А.特拉赫金別尔克（Трахтенберг）〕，以Н.Э.巴烏曼（Бауман）命名的莫斯科高等技术学校〔М.Н.謝米勃拉托夫（Семибратов）〕和特种結構設計局〔Б.С.节姆金（Темкин）〕。

在高尔基城，进行这方面研究工作的有以А.А.日丹諾夫命名的工学院〔Н.К.杰尔节夫（Дертев）〕，最后在康斯坦丁諾夫卡有全苏玻璃科学研究院分院〔В.А.杜勃罗夫斯基（Дубровский），Р.И.庫拿科娃（Кушукова）〕。

除了各研究所、学院的研究工作之外，許多工厂實驗室也在玻璃研磨方面进行研究。

通过包括几十位学者和实践家这样一个大集体的劳动，积累了作为本教科书基础的大量实验材料。上面提到的諸专家中，有几位参加了本书的編写工作，同本书的关系尤为密切，他們主要是作者在苏联科学院硅酸盐化学研究所脆性材料冷加工研究室和以列宁格勒苏維埃命名的列宁格勒工学院玻璃教研組中最亲近的同事。他們受托收集材料和起草本书的某些章节。他們的工作結果在这些研究室的联席會議上經過討論。

IV

因此，应当认为，这本玻璃研磨和抛光工艺学教科书是集体劳动的成果。作者的作用是将得到的资料进行加工整理，并试图提出关于此工艺中过程的机理及这些过程所特有的规律的概念。

目 次

作者的話

第一章 緒論	1
第二章 磨料	9
一、磨料的种类	9
1. 基本概念	9
2. 研磨材料	9
3. 拋光材料	11
二、磨料性质的試驗方法	13
1. 硬度	13
2. 研磨能力	15
3. 粒級分析	15
a. 篩分析	16
b. 沉降分析	23
c. 显微鏡分析	30
三、过篩分析	32
四、水力分級	38
1. 矿物顆粒在水中沉降的基本規律	38
2. 水力分級裝置	43
3. 間歇作用的上升水流式圓錐形分級器	45
4. 除漿式分級器	49
5. 研磨机床閉路循环的分級器作业	51
6. 玻璃研磨时的分級实践	54
a. 在靜水中淘洗	54
b. 連續研磨玻璃时的分級	54
c. 圓錐体系統	62
d. 綜合分級系統	62
第三章 玻璃的研磨过程	64
一、关于玻璃研磨过程本质的一般概念	64
二、研磨过程的生产率	65
1. 研究方法	65
2. 主要工艺因素对磨除量的影响	77
a. 給砂量	77
b. 磨料悬浮液的浓度	81
c. 磨料粒度	84
d. 研磨盘压力	90

d. 机床速度	92
e. 使研磨盘运动的力	93
x. 磨料本质	95
3. 研磨盘材料	99
u. 悬浮液液相的化学组成	104
x. 研磨盘的形状和尺寸	110
三、被研磨破坏的玻璃层	116
1. 结构, 形成条件和研究方法	116
2. 工艺因素对凹陷深度的影响	136
a. 砂子粒度	137
b. 磨料本质	138
c. 研磨盘材料	139
1. 研磨盘压力和机床速度	141
3. 研磨玻璃破坏层深度和凹陷深度之间的关系	141
四、研磨盘的工作机理	142
五、磨料颗粒级配的纯度对研磨过程指标的影响	155
六、对原坯玻璃的要求	162
七、脆性材料的某些物理力学性质对其研磨过程的影响	166
a. 不同组成的玻璃研磨过程主要指标的测定结果	166
b. 玻璃的某些物理力学性质的测定	167
c. 玻璃的物理力学性质及其研磨过程主要工艺指标之间的关系	169
第四章 玻璃的抛光过程	177
一、现有的关于玻璃抛光过程本质的观点	177
二、抛光玻璃表层的结构	192
三、抛光过程的生产率	211
1. 抛光过程生产率的测定方法	211
2. 主要工艺因素的影响	216
a. 供给的紅粉数量	216
b. 紅粉悬浮液的浓度	217
c. 抛光盘压力	219
d. 机床速度	220
e. 周围空间和玻璃表面的温度	221
f. 使抛光盘运动的力	222
x. 抛光器具的尺寸	224
3. 抛光盘材料	225
u. 抛光粉的本质和性质	233
x. 液体本质	239
1. 玻璃组成	244
第五章 研磨抛光设备的工艺计算	247

第六章 平板玻璃研磨抛光机.....	266
一、平板玻璃研磨抛光机床概論.....	266
二、单体机床.....	273
三、IIC-500型連續磨光机.....	282
四、IIC-1000型連續磨光装置和玻璃双面加工連續磨光机概述.....	294
参考文献.....	301

第一章 緒 論

自极其久远的古代开始，人們即已知道脆性材料的研磨过程。还在新石器时代，人們为了使石制生产工具便于应用和更美观，用較坚硬的岩石碎块将其表面磨平。天然砂也曾用于此目的，即用石板、木块或皮張将砂压紧于制品的表面进行磨擦。如砂子很細，則磨后的表面平整光滑，即經過了拋光。

多少个世紀过去了，石器及以后陶器和长时期来被制成不透明膏状的玻璃的研磨和拋光过程，在人类社会越来越普遍，然而这些过程仍然停留在原始状态，未超出最原始的手工劳动的范围。

直至公元初，才出現了极簡單的小研磨机，即用硬石制成小輪，套于軸上，用弓绳繞軸拉动，使之旋轉。利用这些小研磨机在玻璃制品表面磨出簡單的图案，这就是研磨过程的某种表现形式。

很久以后，到中世紀末叶，当欧洲出現大面积鏡子的生产时，玻璃的研磨和拋光工艺过程才得到根本的改造。从那时起，許多年来，此过程是在較大的机床上實現的，这些机床是近代十分完善的大型机械的雛型。

至此时期，玻璃的冷加工过程已明显地划分为三个先后阶段：粗磨、細磨和拋光。

粗磨的目的是将制品表面粗糙不平 and 热成型时余留的凸出部分磨掉，使制品具有一定的形状，也就是說，使制品具有規則的平整的几何形状。例如，用拉制法和平台滾压制得的玻璃板的表面不平整，有波紋，或者冷却时玻璃板发生弯曲，或者是玻璃板在整个面积內厚薄不一。經過粗磨后，这种玻璃板就成为以两表面为限具有規則几何形状的物体，此两表面是具有一定准确度的平行面；在玻璃板的整个表面，两平行面互相之間の間距等同。粗磨后玻璃厚度上的余量足可进行下一步的冷加工。

过程中第二阶段——細磨的目的与此完全不同。

粗磨过程中，需磨掉較大数量的玻璃。为了尽可能加快这一过程，采用最粗粒的磨料——研磨用的粉。在这种情况下，磨得的玻璃表面十分粗糙，凹陷深，隆凸高。为了通过进一步拋光得到完全平整光滑的表面，必須再去掉很厚一层玻璃。拋光是非常細而复杂的过程，生产率低。磨除粗磨后余留下的粗糙不平的表面，需要消耗很多時間。加工的第二阶段——細磨的目的就是为了避免这种情况。細磨就是用越来越細的磨料对粗磨后余留下的粗糙不平的表面进行加工，直至表面呈細絲狀的结构，不平部分的深度不超过 $3 \sim 4$ 微米。

第三阶段是拋光。拋光过程采用特別細的、顆粒直径为 1 微米左右的細粉，例如采用以專門方法配制的称之为紅粉的氧化鉄。拋光与研磨不同，用軟的工具进

行，例如用套有毡或呢的圆盘进行。抛光后得到非常平整光滑的表面，不平部分的深度不超过1%微米。玻璃在抛光后才成为完全透明的。

到中世纪末叶，平板玻璃的冷加工工艺过程已足够稳定。

至十九世纪，为此目的所采用的机床是用蒸汽机驱动的大型机械。固定有玻璃的台面，或作旋转运动，或作往复运动。研磨盘和抛光盘或由单独传动装置带动旋转，或因其下面玻璃的运动而旋转。供某种制品用的这样的机床，一直保留到现在。

前面谈的是用松散的、所谓自由的磨料对玻璃加工，即研磨颗粒在水中搅拌成一定浓度的悬浮液后再加到玻璃上进行研磨。但是，还有另一种对脆性材料进行冷加工的方法，即将磨料颗粒与某种胶凝物质混合制成硬固材料，再用这种材料制成所需形状的工具，例如制成圆盘和不同外形的长棒。这样固定在坚固的胶结剂中的磨料颗粒起着象切削工具那样的作用，从玻璃表面切削下刨花或细屑。有时，为此目的采用以天然石材磨制成的工具。

但是，在玻璃制造中用胶结的磨料进行加工的方法并不普遍，主要是在水晶玻璃生产中用刚玉或碳化硅颗粒制的不同直径的异形磨轮进行磨边或磨刻图案。在本书所介绍的平板磨光玻璃的生产中，只采用自由磨料。

十九世纪末叶和二十世纪初叶，工业得到了蓬勃的发展。这不可能不影响到玻璃工业。

众所周知，在许多不同玻璃制品的生产中，窗玻璃按其意义来说占特别重要的地位。全世界窗玻璃的用量每年以数亿平方米计。这一数量足够于以一米宽的玻璃板带围绕地球十圈以上。

以数量这样大的窗玻璃供给人类之所以可能，是由于在第一次世界大战期间比利时人弗克（Fourcault）和美国人考尔本（Colburn）同时分别创造了两种技术完善性和简易性相同的机械化成型薄板玻璃的方法。这两种方法的基本原理都是从熔融的玻璃液表面拉引起宽而薄的玻璃带，待其冷却成固态后再切裁成单块的玻璃板。于是，欧洲和美洲相继建立起许多新玻璃厂，今后长期的窗玻璃生产问题似乎已经解决。出乎意料之外的是，不出十年，用新方法生产的大量产品已不能再满足人类的需要了。蓬勃发展的航空、汽车和车辆制造业，大规模城市建设的需要和居民要求的提高，向玻璃工业提出了必须大力改进产品（首先是平板玻璃）质量和扩大品种的任务。此任务也就是要消除弗克法和考尔本法生产的玻璃的唯一缺陷——沿玻璃带拉引方向的波纹。这一缺陷使透过玻璃观察物体时造成视觉上的失真。到目前为止，通过改进拉引过程来消除这一缺陷的方法并未获得显著的效果。因此，消除这一缺陷的唯一出路是在玻璃硬固后用机械加工的方法改进其表面。换句话说，必须采取将玻璃研磨和抛光的方法。

二十世纪开始以前，对玻璃的研磨和抛光未作过认真的研究。这些过程在玻璃工业中处于次要地位，只是在镜子和艺术器皿的生产中及光学机械工业中才得到采用。

鏡子生产方面，当时只有垄断和各自占据着广大地区的少数大企业才有大型设备。例如，在革命前的俄国一共只有两家大规模生产鏡玻璃的企业：一家在芬兰灣岸上的科波列，另一家在頓涅茨区。前者生产的鏡子供应俄国的北方，而后者则供应南方。

在沙俄经济落后的条件下，这些企业未曾考虑过拨一部分费用以便对玻璃的冷加工过程进行科学研究的问题。

在生产艺术水晶玻璃制品的工厂中，情况略有不同。这些工厂一般都不大，在生产中起主要作用的是吹制、研磨和磨刻图案的技工，他们都精通自己的手艺，但是由于大多数人的利害关系而不得不保“密”，只是輩輩相传。

高度艺术制品的售价大大超过其成本，以致改进玻璃研磨、磨边和磨刻图案工艺过程所可能获得的经济效果毫不引起工厂主的兴趣。因此在这些企业中，不管对待任何科学研究，都抱着敌对的态度。

第三类采用玻璃冷加工的企业是制造光学仪器的工厂。这些工厂的技术文明程度一般都比较高。厂内总是设有装备良好的实验室，不仅作检验性的测定，而且也进行科学研究工作。但是，对玻璃零件进行研磨和抛光的所谓光学车间，生产方法通常都是简陋落后。其原因看来是由于与整个光学仪器的价格相比，玻璃零件的价值不高。由于对工艺过程的研究和改进重视不够，因此在光学仪器玻璃工厂中长期来保持着这样一个陈旧的概念：玻璃的研磨和抛光过程不是由工程师控制的一般工艺，而是一种艺术，其中起重要作用的是技工的天才和直觉。

从上面所说的情况中可以看出，二十世纪初，玻璃工业已处于较高的发展水平，在玻璃熔制化学和制品热成型过程的机械化方面已获得了卓越的成就，而玻璃的冷加工过程则未受到应有的重视。整个玻璃工业的制品中只有不大的一部分进行研磨和抛光加工，而这些生产部门所形成的经济情况也不利于对工艺过程进行科学研究和合理化工作的发展。

尽管如此，磨光平板玻璃工业在资本主义国家中至二十世纪前25年末时就有了相当的发展。为此目的所采用的連續研磨和抛光机规模和能力比较大，结构比较复杂。所有这些都说明了磨光平板玻璃生产技术的高度水平，但是这些成就仅仅是在多年经验的基础上以许多失败和大量物质消耗为代价取得的。至于研磨和抛光过程的理论，则还没有人进行过系统的研究。

文献中出现的有关玻璃研磨和抛光的一些片断的材料，只是个别作者在进行某些科学研究中偶然接触到这些过程时发表的观点。这样的探讨总是比较草率，只限于对脆性材料研磨和抛光基本过程机理的一些或多或少地敏锐的猜测。根据这些观点，可以认为：在二十世纪初叶以前，存在关于研磨和抛光过程的本质是相同的这样一种概念，这些过程表现为硬磨料颗粒对玻璃表面的机械破坏作用，而抛光与研磨的不同只是在于前者为细粉的作用过程。至于这一破坏的性质如何，研磨表面的起伏形状如何及磨料各颗粒的作用如何等这样的问题，当时并未引起研究兴趣，没有作什么试验，而只是限于确定最一般性质的定义，有时候这些定义是完全错误

的。例如，法国学者列克里涅（Leclercq）还在1925年就断定，自由磨料对玻璃的研磨「只是千百万次的重复划痕而已」。这一论断与实际情况完全不符合。

从列克里涅的观点中可以看出，当时研究人员中普遍存在这样一种概念：磨料颗粒嵌入研磨盘，固定在其表面，起切削工具的作用。

但是，同时也产生了关于抛光和研磨过程具有不同本质的概念。英国学者瑞列（Rayleigh）根据自己的观察作出结论：不能认为抛光是从表面剥落极小块的玻璃（象研磨时的情况那样），而应当解释成是在抛光粉的作用下产生的分子过程或近乎分子过程。瑞列认为，为了获得良好抛光的表面，只要通过抛光去除最深凹陷水平面以上的玻璃表面层就足够了。

另一英国学者培比（Beilby）认为表面分子现象具有更重要的意义。他认为，玻璃抛光时其表面瞬时达到类似液态的流动状态，然后在表面张力的作用下达平衡。

与瑞列的观点不同，培比认为，在抛光过程中将隆凸抛平时，表面层的材料并不完全被去掉，而是相当多的一部分材料被移到抛光玻璃的其他部分，充填隆凸之间的凹陷。

关于玻璃抛光时在其表面形成一层很薄的流动层这一观点是颇有说服力的。现代学者中赞成这一观点者为数不少，这一观点也常常被用来解释复杂的、到目前为止还不完全清楚的抛光过程机理。

有时将产生表面流动层的原因归结于抛光粉与玻璃接触点上可能产生的高温。

玻璃冷加工过程的著名研究者之一英国学者弗兰奇（French）确认：这种特殊表面层的厚度达到4微米，它比玻璃的其他部分更能趋向塑性变形，与抛光过程有关的一切现象都发生于此表面层中。但是，弗兰奇没有列举出能令人信服的证明。

弗兰奇对研磨问题也进行了许多研究。他提出了单独磨料颗粒的作业流程情况，作为许多局部情况中的一个，这是有其意义的。弗兰奇对磨料颗粒形状、磨料性质和弹性等作用的一般性质，作出了许多结论，并列举一些图表，说明研磨过程的生产率与磨盘压力及旋转速度成正比的关系。后一结论在原则上是正确的，并不引起怀疑，但是由于在发表的材料中缺乏令人信服的实验数据，因此弗兰奇提出的原理，说服力还不够强。

在二十世纪20年代的所有有关这方面的国外学者中，英国人普莱斯頓（Preston）最详细地研究了玻璃冷加工过程的机理。遗憾的是能定量地证明他的结论和总结的已发表的原始试验资料非常少。在解释研磨和抛光过程的本质时，他也和他同时代的研究者同样，主要从外观现象出发。虽然如此，敏锐的直觉使他得出了许多完全正确的概念。

普莱斯頓尤其致力于研磨方面的研究。他利用钢球施荷开始对这一过程进行模型研究。对玻璃表面层中产生的破坏进行观察后，他确定了所产生的裂纹的形状和大小与钢球直径及作用于钢球的力大小之间的一系列关系。他作出了关于研磨过程

由如下两个阶段組成的完全正确的結論：1) 預备阶段，即在加工的玻璃表面层中形成裂紋；2) 生产阶段，即由交叉裂紋分割开的玻璃碎屑被剝落。他正确地指出：瑞列、培比和許多其他学者在研究研磨表面的外部起伏层时，对内部的裂紋层的意义估計不足，沒有研究这一层的結構情况。虽然普萊斯頓本人在这方面也研究得很少，但他的功績在于他首先指出了研磨过程中裂紋层的重要意义。

普萊斯頓在玻璃拋光方面研究得不多。他几乎完全贊同最初的观点：拋光也是和研磨一样的机械过程，只是在較細小的范围内进行而已。然而他終究还是承认，在拋光过程的后阶段可能产生輕度的分子位移，使拋光表面最后平整。

除此之外，普萊斯頓对研磨机和拋光机的运动学問題作了很多研究，他的这些研究到目前为止仍然有很大的意义。

我們可以看出，对脆性材料冷加工过程的研究一直到20年代还处于萌芽状态。那时候，有关这些問題的俄文文献根本沒有，国外文献中能找到的有关玻璃研磨和拋光工艺的文章也不超过三四十篇。所有这些文章都只是說明过程中基本現象的本质，几乎完全沒有提到生产条件下过程的規律性的試驗研究。很少注意到这些或那些工艺因素对研磨和拋光过程指标的影响，即对其生产率和所得表面性质的影响。因此說，有关这方面进行过的所有科学研究对工业的帮助不大，即未能提出工程师們設計設備和控制生产过程所必需的具体的結論。

当格列宾希科夫(И.В.Гребенщиков)院士在荣获列宁勛章的以瓦維洛夫命名的国立光学研究所开始对玻璃的研磨和拋光过程本质进行著名的研究时，关于玻璃冷加工的科学就处于这样的情况。后来，格列宾希科夫院士的研究为目前由苏联学者們成功地发展着的玻璃冷加工科学奠定了基础。这是20年代末的事。

本书将不止一次地詳細地談到格列宾希科夫的研究，这里先簡單談一下他提出的关于玻璃研磨和拋光过程本质的概念。格列宾希科夫院士在40年代初将这些概念归納为如下三个主要論点。

1. 在研磨和拋光过程中，被研磨和被拋光的材料重量减小，即产生将材料剝离掉的过程。

2. 研磨和拋光过程与物理和化学現象有关。

3. 研磨时和拋光时发生的物理和化学現象，按其性质来說是不同的。此不同情况如下：研磨时具有重要意义的是决定于材料弹性、抗压强度等的机械破坏，而化学現象起次要作用，并且发生于破坏后形成的表面(裂紋)上；拋光时則相反，具有重要意义的是被加工材料表面上发生的化学反应，反应結果生成按其化学性质来說是新的物质，形成 $70 \sim 15 \text{ \AA}$ 的极薄的薄膜，保护材料不再受周围介质的作用。被拋光材料的重量减小是由于从其表面剝离掉形成的新化合物。因此說，拋光时不发生基本材料的机械破坏，而研磨时則由于磨料顆粒的机械作用而使基本材料破坏到一定的深度。

格列宾希科夫在20年前发表的这些新观点是相当独到的。目前，这些观点几乎得到所有苏联研究者的贊同。在1955年由国立光学研究所召开的关于玻璃拋光問題

的會議上，格列賓希科夫的观点被公认为是最恰当的近代的科学概念。

1935年，工业部門的代表請荣获劳动紅旗勛章的以列宁格勒苏維埃命名的列宁格勒工学院玻璃教研組在苏联組織磨光平板玻璃的大規模生产中給以科学技术援助。当时教研組不得不这样回答：无论是本教研組或国内其他单位，无论是俄文文献或其他外文文献中，都沒有能够为設計近代研磨和拋光装置及組織此生产过程提供基础的資料。但是教研組表示：如果国家撥給研究經費，而且对为获得初步实际結果所需的時間沒有異議的話，教研組可以承担有关研磨和拋光問題的試驗研究工作。这一建議被採納了。不久之后，在以列宁格勒苏維埃命名的列宁格勒工学院玻璃教研組，建立了在苏联研究平板玻璃研磨和拋光过程的第一个研究室。

在30年代的后五年中，玻璃教研組进行了一系列試驗工作，結果确定了約50种在玻璃研磨和拋光过程中起重要作用的不同关系。这些研究的結果为关于脆性材料冷加工过程的科学奠定了基础，并在我們的专题著作（Качалов，1946）中已作总结。

战后，苏联在玻璃研磨和拋光过程方面的科学研究工作大大扩展了。在1948年新成立的苏联科学院硅酸盐化学研究所中建立了研究脆性材料冷加工过程的又一个（可能是最大的）研究室。

国立光学研究所水平相当高的研究人員正繼續格列賓希科夫的傳統在實驗室对研磨和拋光問題进行研究，但是該研究室的性质特殊，距离磨光平板玻璃工业的需要很远。

近几年来，莫斯科全苏玻璃科学研究院研磨和拋光研究室，尤其是該院的乌克兰康斯坦丁諾夫卡分院研磨和拋光研究室，加强了自己的研究活动。

列宁格勒精密机械和光学研究所正以高度的科学水平在进行一些有兴趣的研究工作。

最后，采用自动化机床和連續装置大規模生产磨光平板玻璃的企业實驗室正以很快的速度发展着。

編写这本书时，我們有比过去編写已出版的专题著作时更广泛的試驗基础。本教科书中补充了新的材料，这些材料都是在原专题著作出版后的十几年中由苏联科学研究人員和許多外国学者获得的。

試驗材料內容之所以丰富，主要是由于研究了在我們最初的研究工作中沒有包括的一系列新的关系。

找到了表面起伏层的厚度与磨料顆料直径之間关系的新的定量表示方法，得到了关于磨盘材料和磨料粉的物理力学性能对研磨过程主要指标影响的資料，找到了拋光时用作加速剂的溶液浓度的最适当值，研究了磨料粉中过粗和过細杂质对研磨过程生产率和所得表面质量的影响等。此外，得到了許多补充数据，以便扩充过去已經闡明和研究过的規律的应用范围。

本书中增加了許多新的內容，是由于近几年来国内外利用了新的研究方法（例如干涉法，电子显微鏡法），也是由于广泛利用面型儀的結果。

采用这些新方法后，可以观察极为微小的境界，而过去只可能凭猜测和邏輯推論来判断。抛光过程的进行，玻璃表面在抛光过程中的漸次变化及抛光粉顆粒的作用机理得到了新的、明确的闡明，从而对抛光过程中观察到的现象能够作出新的解释。

研磨方面的情况也是如此。通过用氢氟酸腐蝕的漸次拋光法研究研磨表面的許多平行切痕，为詳細研究被研磨所破坏的玻璃表面层（此表面层在工艺方面來說是很重要的）的结构創造了条件。

本书中还包括不少对我们过去发表的材料修正。这样的修正是不可避免的，因为試驗技术大大改善了，观察的精确度提高了。过去沒有估計到許多因素对所得数据的可靠性的影响，現在对这些因素已作了詳細的研究，并給予严格的控制。

但是这些修正并不是原則性的，而只是涉及某些个别問題。总的說来，1946年出版的那本书仍然完全保持其作用，书中叙述的确定脆性材料研磨和抛光过程的所有規律，仍然完全有效。

教科书中的材料应当經過确切的校正，并有科学根据。几十年乃至几百年来存在的旧的科学，积累有极其充分的材料，成为这些科学的不可动摇的基础。对于这些科学，研究工作主要是在于所謂“边缘問題”，即进一步确定一些細节問題，校驗一些不完全可靠的数据，探索进一步发展的方向。我們这一門科学的情况就不同了。关于玻璃研磨和抛光的学說，其历史还没有超过30年，还没有可靠的科学基础。許多原則問題还不够明确，首先是抛光过程本质的問題，这方面到目前为止还在討論。在这种情况下，常常因为研究得不够充分而不可能对过程的本质作扼要的闡述，而只能解释在研究工作中进一步深入探討的方向，以及对这方面已获得的結果作出評价。由于所有这些原因，使得叙述不可避免地冗长，但是能使讀者了解学者們的研究活动，他們为这門知識奠定了基础，并有成效地将这些知識运用于工业中。

高等学校教科书作者的主要任务之一，就是要将学生們——未来的工艺人員——引上饒有兴趣的科学研究道路。

本教科书所包括的范围是有关平板玻璃研磨和抛光工艺的最重要的理論和实际問題。它的主要内容是闡明脆性材料冷加工过程的物理化学本质，叙述控制这些过程的最主要的規律，介紹工艺过程中所采用的檢驗仪器和方法。如果没有这些知識，那么合理的設備設計、有意識地控制工艺过程及其进一步的改进，是不可思議的。

书中所列举的材料足以闡明本学科的一切主要問題，同时也不超过学生可能安排的时间。

本书中包括有專門叙述磨料的一章。在这一章中，介紹了磨料的主要性质，它們的开采和人工制备条件，特別注意了磨料按粒度的分級方法及其顆粒級配的控制。

书中还有一章詳細叙述了各种研磨机和抛光机的结构。目前，我国的这些机械

已經在一定程度上定型化了。一个青年专家，不管他到那一个企业，遇到的是定型设备，他应当知道这些定型设备的结构特点和使用性能。

遺憾的是，关于研磨和抛光机械的运动学，关于运动因素对玻璃研磨和抛光过程指标的影响，本教科书中包括的資料不多。书中沒有这样一章，是由于对这些問題几乎完全沒有研究。研究玻璃研磨和抛光过程的各研究室，因为缺乏机械人員而对机床的运动学沒有研究。而設計研磨机和抛光机新结构的設計部門以不了解研磨和抛光工艺为理由而不研究运动因素的影响。研究金屬加工的机械研究室也不从事这方面的研究工作。

結果，这一非常重要的問題始終未受到重視。个别研究人員只是偶然接触到这一問題，已积累的試驗材料还十分不足。

最后再說明一点。本书叙述有关平板玻璃研磨和抛光方面的問題。但是最近几年来，与研磨和抛光脆性晶体材料有关的各部門代表越来越經常向玻璃冷加工过程方面的工作人員請教。在这方面，例如有用人造紅宝石生产钟表机械用軸承和其他微小零件的企业，或者是用天然宝石磨制珠宝首饰的企业，或者是磨光硬质岩石供建筑中裝飾材料用的工厂。

为了滿足这些要求，近几年来，我們扩大了我們的研究工作范围，对許多硬质晶体材料（从大理石到人造紅宝石）进行了研究。这些工作表明，我們研究玻璃所得的关系几乎完全适用于各种天然和人造晶体材料。所得的結果具有重要的理論意义，因为它们大大扩展了我們研究得的許多規律的应用范围。此外，这些結果对于切石工业具有重大的实际意义。

考慮到这些要求，作者认为有必要在本书的最后部分簡單叙述一下进行过的工作。

第二章 磨 料

一、磨料的种类

1. 基 本 概 念

在技术中对各种固体材料进行机械加工用的細粒晶体粉状及整体硬质材料，称之为磨料。

磨料《абразив》一詞起源于拉丁語，譯成俄語为《скоблить（刮平）》。此詞意义就是磨料进行加工的性质——从被加工的物体表面刮除一薄层。用作磨料的有天然的和人造的硬质脆性物质，它們的碎屑及用这些物质制的粉料，天然磨料有：金刚石、刚玉、石榴石、石英砂、白堊等。人造磨料有：碳化硼、碳化硅、电熔刚玉、氧化鉄、氧化鈾等。

根据不同情况，在工业中利用自由磨料（粉料）或胶結的磨料（磨砂紙、磨石或磨輪等）。

2. 研 磨 材 料

石英砂 玻璃研磨主要采用石英砂，因为石英砂非常普遍，而且价格便宜。

石英是自然界中最普遍的一种矿物，其成分为二氧化硅（ SiO_2 ）。其硬度按矿物硬度标为7，显微硬度为1000~1100公斤/毫米²，比重为2.6。

由尺寸为0.1~2毫米的顆粒組成的松散的沉积岩，称之为砂。石英砂是由于含石英晶体的岩石风化而形成的。石英的化学稳定性比大多数其他形成火成岩的矿物更强，因此岩石破坏后石英顆粒仍保留下来，这些顆粒或者是沉积在发生破坏的地方，或者更常見的是被水流帶到別的地方。这时，砂被淨化，并按顆粒大小分級，因此石英砂常常是很純的，顆粒大小也很均匀。石英砂中的杂质可能有粘土质矿物、长石、云母、鉄矿、金紅石等。各产地的砂，按顆粒級配、顆粒的圓滑程度和杂质数量來說，有很大的差別。

刚玉 由結構类型为 α 型的結晶氧化铝（ Al_2O_3 ）組成的矿物，称之为刚玉。刚玉的硬度仅次于一种天然矿物——金刚石。刚玉的硬度按矿物硬度标为9，显微硬度为2000~2600公斤/毫米²，其比重为3.9~4.0。寻常光綫折射率为1.758，非常光綫折射率为1.450。透明的刚玉晶体边缘磨光后具有玻璃光泽，閃閃夺目，因此用于制造首飾。氧化铝可与氧化鉄、氧化鉻和氧化鈦发生同晶結晶。这些氧化物决定刚玉的色泽。无色的刚玉称之为淡刚玉，蓝色的刚玉称之为蓝宝石，紅色的称之为紅宝石，黄色的称之为黃玉。

氧化铝含量为93~99%的刚玉，其熔点非常高（2000°C），因此将其用作高級