

轻工业技工学校统编试用教材

手表宝石 加工工艺

《手表宝石加工工艺》编写组 编

14.903

轻工业出版社

内 容 简 介

本书是轻工业部手表行业统编的十种技工教材之一，根据《工人技术等级标准》和有关教学大纲而编写。

书中通俗而系统地介绍了有关手表宝石元件的基本知识，包括化学成分及结构分析、生产加工工艺及所用磨料、磨具、工具等。

本书可做为技工学校和职工技术培训的教材，也可供技术人员和工人在工作中参考。

轻工业技工学校统编试用教材

手表宝石加工工艺

《手表宝石加工工艺》编写组 编

*

轻工业出版社出版

(北京广安门南滨河路25号)

西安新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

350×1168毫米1/32印张：4¹/₃ 字数：107千字

1987年5月第一版第一次印刷

印数：1—4,500 定价：0.90元

统一书号：15042·2195

前 言

为加速培养轻工业后备技术工人，建设成一支以在职中级技术工人为主体，技术结构比较合理，具有较高政治、文化、技术素质的工人队伍，以适应轻工业生产建设发展的需要，我们根据轻工业部颁发的有关行业《工人技术等级标准》中级工人应知应会要求，组织编写了轻工业技工学校专业教材。

手表专业教材由我部委托天津市钟表工业公司为主编单位，书稿经手表行业技工教材审稿会审议。编写组同志根据审稿会议意见对原稿内容作了增删。

本教材由王亚舟同志任主编、主审，编委有王芝荣、王鹏同志。本教材由姜书清、原新宽同志编写，并邀请肖春生同志参加审阅和修改。

本教材适用于技工学校手表专业教学和在职工人中级技术培训使用，也可作为具有初中毕业文化程度和初级技术水平的工人的自学教材。

本教材编审过程中得到了北京手表元件厂甄沐恩、天津钟表工业公司职工大学赵克明等同志的大力协助，并提供了宝贵的资料，谨此表示感谢。

由于我们组织编审工作缺乏经验，疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正，以便今后修订。

轻工业部技工教材编审小组

一九八六年三月

目 录

绪论	(1)
第一章 人造刚玉	(3)
第一节 刚玉的化学成分和结构	(3)
第二节 刚玉的性能及用途	(5)
第三节 人造刚玉生产工艺	(7)
第四节 红色人造刚玉的质量	(15)
第五节 红色人造刚玉的标准	(17)
第二章 手表宝石元件类型及 技术要求	(21)
第一节 手表宝石元件的类型	(21)
第二节 手表宝石元件的技术要求 与验收规则	(37)
第三章 手表宝石元件制造加工	(43)
第一节 切割	(44)
第二节 外圆加工	(51)
第三节 激光打孔	(59)
第四节 孔加工	(64)
第五节 油槽加工	(67)
第六节 刷磨	(68)
第七节 平面加工	(74)
第八节 弧孔加工	(77)
第九节 无孔钻加工	(78)
第十节 清洗	(81)

第四章 磨料与磨具	(83)
第一节 金刚石的性质和用途.....	(84)
第二节 金刚石的检测.....	(88)
第三节 金刚石的分选.....	(97)
第四节 碳化硼.....	(101)
第五节 碳化硅.....	(106)
第六节 玛瑙粉.....	(110)
第七节 宝石元件加工常用磨具 的制备.....	(112)
第五章 宝石元件加工主要工具	(118)
第一节 玻璃料板及其加工.....	(118)
第二节 玻璃条及其加工.....	(120)
第三节 锡盘及其加工.....	(123)
第四节 铜丝刷及其加工.....	(125)
第五节 锥度钢丝及其加工.....	(127)
附录.....	(132)

绪 论

手表宝石元件是手表机心的重要元件之一，其质量的优劣，对手表走时精度和使用寿命有很大影响。手表宝石元件的制造在我国还是一门新兴的工业。解放前，我国没有手表工业，当然也谈不上手表宝石元件加工工业。解放后，手表作为一门新兴工业，获得了迅速发展。一九五五年我国第一批手表问世，但宝石元件一直依赖国外进口。六十年代初，我国先后在上海、苏州、南京进行手表宝石元件试生产，而后在天津、烟台、西安、丹东、北京等地也相继兴建了手表宝石元件专业生产厂，并且发展十分迅速。一九八二年全国手表宝石元件生产厂已发展到十二家，年产量为八亿一千七百万粒。一九八三年全国手表宝石元件生产量略有降低，但品种规格基本齐全，满足了手表工业发展的需要。

手表宝石元件材料是由硫酸铝、硫酸铵化合结晶，在高温中形成粉状氧化铝（ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ），再到通有氢氧气的生长炉内培养而制得的刚玉单晶体（ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ）。它具有硬度高（仅次于金刚石一级，莫氏硬度为9级）、耐磨、摩擦系数小、热膨胀系数小和化学稳定性好等优点。但由于材料硬而脆，且宝石元件尺寸小，精度和粗糙度要求又很严格，因此加工工艺比较困难和复杂。

由于最早人工制造的宝石是刚玉系的晶体，所以人造刚玉晶体俗称人造宝石。手表中宝石元件的材料就是现在我们所称的人

造宝石。

人造红宝石由于机械性能好、硬度高、摩擦系数小、热膨胀系数小以及化学性能稳定等优点，而广泛用于各种精密仪表、钟表以及其他精密器械的轴承或耐磨部件。随着新技术的发展，红宝石晶体在激光领域内应用也很普遍。目前，常用作大功率激光器的工作物质。这类用途的红宝石因质量要求极为严格，用焰熔法不可能得到，现普遍采用提拉法以获得高质量的激光工作物质。

第一章 人造刚玉

人造刚玉晶体俗称人造宝石，也称宝石。所谓红宝石是在宝石中加入一定量的铬离子而呈红色，并且保持着晶体的透明性。

第一节 刚玉的化学成分和结构

刚玉的基本化学成分是 Al_2O_3 ，晶型为 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 。红宝石

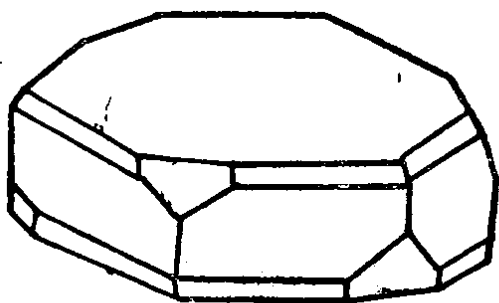


图 1-1 天然刚玉的对称性

就是以铬离子 Cr^{3+} 部分地取代 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 晶格中的铝离子 Al^{3+} ，而使晶体呈现红色，并随着铬离子 Cr^{3+} 浓度的增加，颜色由浅变深。

天然刚玉具有复三方偏三角面体的对称形(图1-1)其结构上的对称要素为 $L_3, 3L_2, 3PC$ (图1-2)。

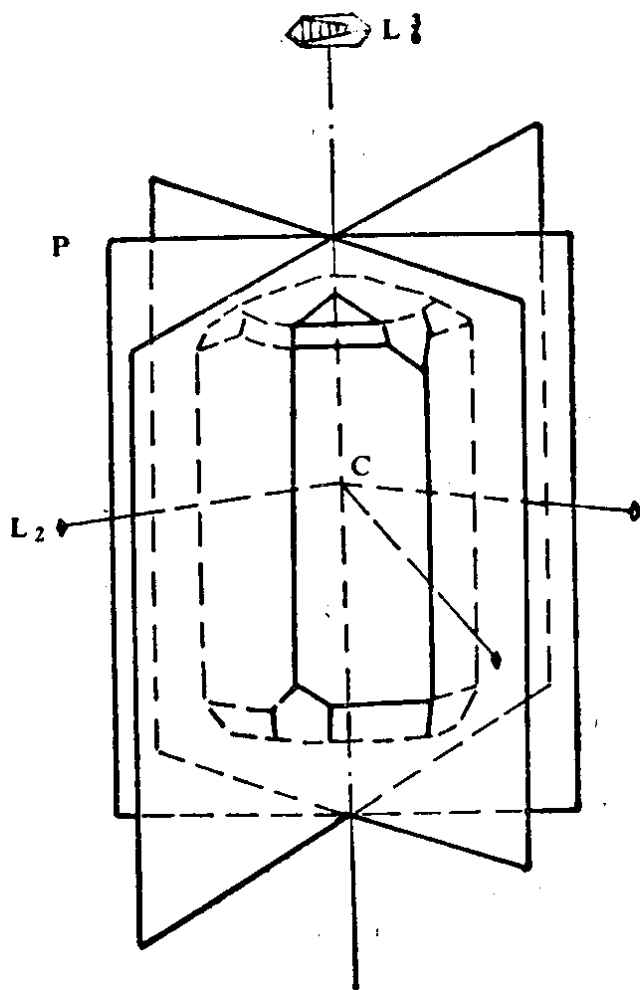


图 1-2 刚玉结构的对称要素

L_6 代表一个六次象转轴,是晶体的主轴,也就是晶体的光轴方向; $3L_2$ 代表三个垂直于 L_6 的二次对称轴,彼此组成 60° 的角; $3P$ 代表三个对称面,对称面 P 平分 L_2 轴间的角; C 代表一个对称中心。

如果对刚玉的晶体结构作层状分析,则可看到氧离子 O^{2-} 的排列近似层状六方密堆积,图1-3是刚玉结构中氧离子密堆积的层状图。图中大白圆圈代表氧离子,小黑圆圈代表铝离子。箭头所指为晶体上六角指数所指的方向。铝离子 Al^{3+} 填充在由氧离子 O^{2-} 所形成的八面体三分之二的空隙内。

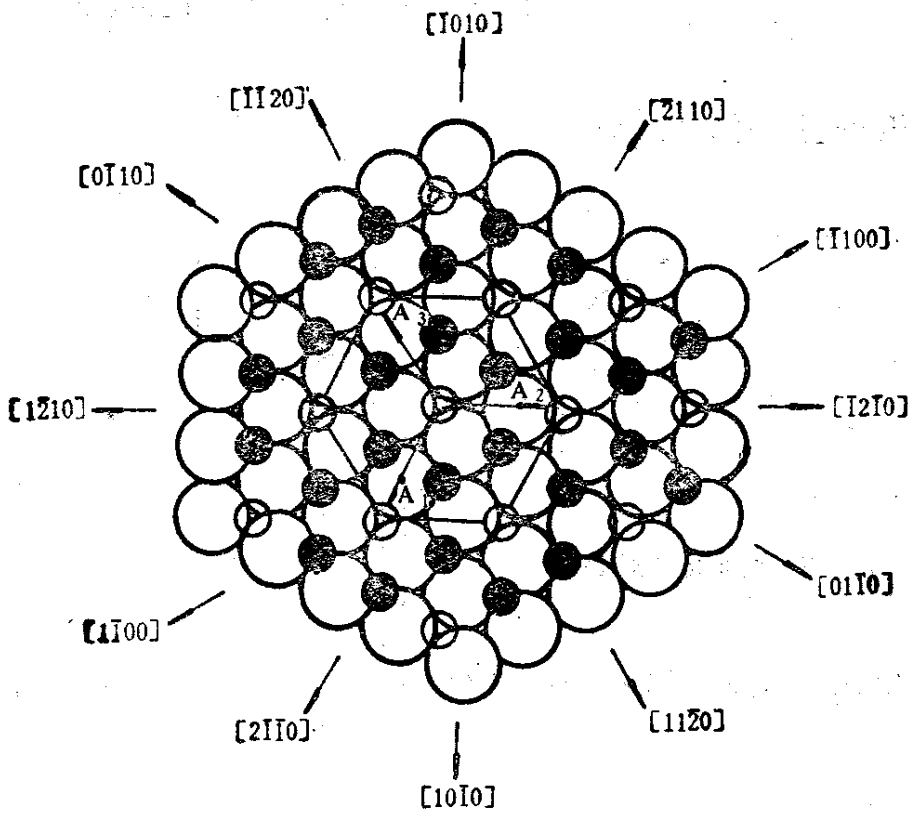


图1-3 刚玉结构中氧离子密堆积的层状图

刚玉的单位晶胞为锐角菱面体(图1-4), 棱长为5.12埃, 面角为 $55^\circ 17'$ 。

铝离子 Al^{3+} 的离子半径为0.57埃, 氧离子 O^{2-} 半径为1.32埃。在构成空间的 $\alpha-Al_2O_3$ 晶格时, 所有的氧离子 O^{2-} 均分布

在垂直于三次对称轴的平面上，一个 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 分子中的三个氧离子 O^{2-} 中心间距离为2.49埃。因此，由氧离子 O^{2-} 的中心到三次对称轴的距离等于1.45埃，氧离子面的面间距离为2.16埃，铝离子 Al^{3+} 是成对地沿着三次对称轴以菱面体顶角为中心对称分布的。铝离子 Al^{3+} 相互间的距离为2.7埃，铝离子 Al^{3+} 和氧离子 O^{2-} 之间的距离为1.89埃。

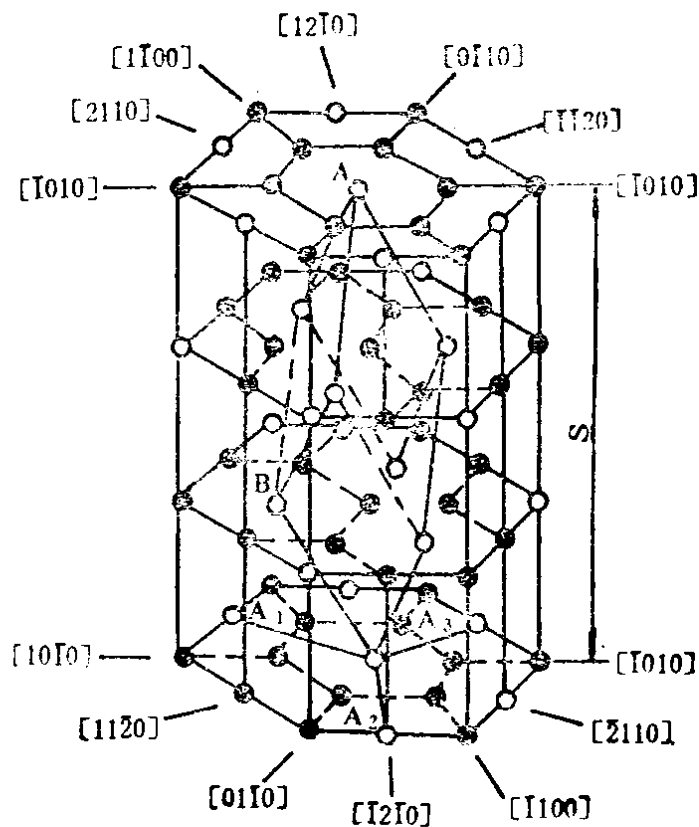


图 1-4 刚玉的晶胞示意图

第二节 刚玉的性能及用途

一、刚玉的基本性能参数

刚玉的物理、化学性能稳定，一般不溶于水，不与酸碱作用，只在高温（300℃以上）下被氢氟酸、磷酸和熔化的氢氧化钾浸蚀。刚玉的硬度高，耐磨，抗风蚀性能强，热膨胀小，且具有良好的透光性、热导性和绝缘性。刚玉的基本性能参数见表 1-1。

刚玉的热膨胀系数、热导率、介电常数随温度的变化而变化，反射率、折射率、吸收率随波长的不同而不同。关于刚玉热学性能、电学性能、光学性能等已有大量的研究，在这里就不一一叙述了。

表1-1

刚玉的基本性能参数

熔点	℃	2050	摩擦系数 (对钢的干摩擦)		0.14
沸点	℃	3500	比热容 (25℃)	焦耳/克·开	0.7586
分子量		101.94	溶解度	克/100克水	0.000098
密度 (20℃)	克/厘米 ³	3.98	弹性模量	兆帕	3.84×10^5
硬度	莫氏	9	测量方向		⊥光轴 //光轴
抗折强度	兆帕	⊥ 380 // 530	热膨胀 系数	K ⁻¹	⊥ 5.4×10^{-6} // 6.2×10^{-6}
抗压强度	兆帕	⊥ 1480 // 260	热导率 (室温)	瓦/米·开	⊥ 0.0023 // 0.0025
折射率 ($\lambda \approx 5893$ 埃)		⊥ 1.769 // 1.760			

二、刚玉的用途

由于刚玉具有良好的电气绝缘性、化学稳定性、耐高温性，以及高硬度等一系列特性，因而被广泛地应用在科学技术、国防和民用工业的许多领域。由于刚玉硬度高，耐磨，机械性能好，目前广泛用于仪表轴承、钟表轴承和某些精密器械的耐磨部件，如自动车的天平刀口等。刚玉还被广泛地用作红外光透过窗口和紫外线透过窗口的材料。

刚玉的其他特殊用途还有：作高压钠灯的保护管，无磁性支撑架，功率管的隔离架和高温绝缘材料等等。

此外，在发展微波通讯等方面，刚玉作为基础材料的应用亦得到重视和研究。

第三节 人造刚玉生产工艺

用纯净氧化铝为原料，以氢氧焰加热焰熔炉生长宝石的方法使用八十多年来，虽然经过不断地改进完善，但基本原理仍没有改变。这种古老的方法不需要坩埚，因而也就避免了坩埚材料对晶体的沾污，加之氢氧焰的高温可达2800℃以上，有利于生长出高纯度、高熔点的晶体。同时它的设备简单，操作比较容易，晶体生长速度快，且在生产过程中随时可以观察晶体生长状况等等。因此，这种方法仍是目前人工生长宝石的重要方法。需要注意的是：

(1) 焰熔法工艺条件要求严格稳定，如料粉纯度、供料均匀性、氢气纯度、压力、流量稳定性、炉内及晶体出炉时的温度梯度、环境温度的控制等。

(2) 操作人员要有高的技艺水平和责任心，使宝石按规律自然结晶，不可硬性改变其结晶规律。

上述两条要求对保证晶体质量起着重要作用，否则会造成结晶缺陷，使宝石因内应力增大而变脆。

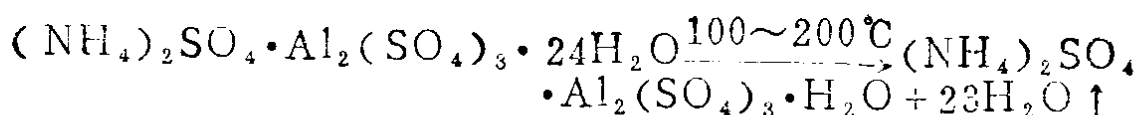
人工制造宝石的方法除焰熔法外，还有提拉法、热交换法等。本节将简要介绍培制人造刚玉的工艺。

一、人造刚玉的生长

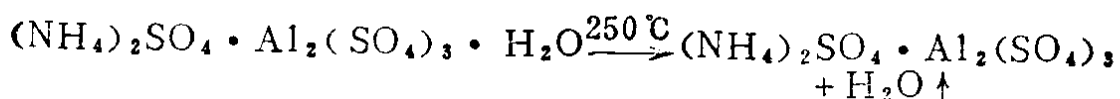
(一) 原料的制备

用焰熔法工艺培养红宝石所用的原料要求是高纯度(99.99%、尤其是K、Na的含量应低于0.001%)、分散状的 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 细粉末，其相的组成、颗粒大小及均匀度也是保证梨晶正常生长的基本条件。 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 是在硫酸铝铵中加入重铬酸铵，于普通的电炉内加热焙烧而成的。重铬酸铵的加入量根据铬离子 Cr^{3+} 的掺入浓度，以化学重量比进行计算。 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 制备的

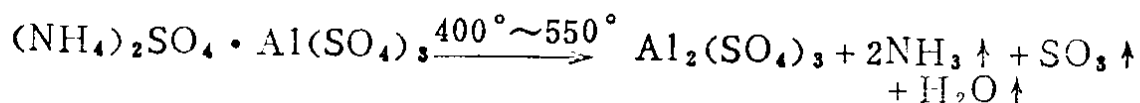
主要化学反应如下:



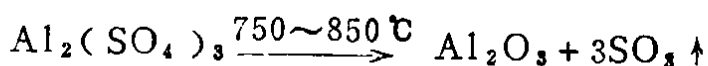
在这一反应过程中, 硫酸铝铵失去其全部结晶水的95%, 变为一水硫酸铝铵。由于水的蒸发, 硫酸铝铵成为固体泡沫状。



当温度在250℃左右时, 硫酸铝铵失去其全部的结晶水分子。



此时硫酸铝铵分解出氨气、三氧化硫, 变成了硫酸铝。



继续加热到750~850℃时, 硫酸铝分解为氧化铝和三氧化硫。当温度在1000~1150℃时, 氧化铝发生相变, 形成无定形的氧化铝。当温度继续升高时, 无定形氧化铝开始转变为 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 。 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 颗粒小, 随着温度的升高和焙烧时间的增加, 晶粒不断长大。当温度高于1150℃时, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 迅速转变为晶粒粗大、失去了松散性、不能用于生长红宝石的材料 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 。

$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 容易受潮, 所以过筛后的粉料要立即密封保存。使用前最好再进行低温烘干, 以保证晶体生长时下料通畅。

(二) 刚玉梨晶生长工艺及设备

人造刚玉的生长是在图1-5所示的炉内进行的。刚玉梨晶生长工艺过程是: 装在内料斗8中的粉料, 因小锤11周期性的敲打弹簧片10使整个内料斗产生振动而洒出。粉料下落流量可以通过改变小锤敲打的轻重或频率来调节。氧气从内、外料斗间隙处通入, 氢气由导料管外夹层通入。氢、氧气体在气体混合室5处混合并燃烧, 火焰中心可产生2000℃以上的高温。氢、氧气体的流量可通过针状阀控制, 改变氢与氧的混合比例和流量就可以控制火焰的温度与热量。经筛网下落的粉料在氢氧焰中熔化成小液

滴，并洒落在结晶台顶部晶种的熔融表面上。晶种随着升降齿条2慢慢下降，使熔融部分降到温度稍低的区域而结晶。这样，晶体就在晶种处长大起来。晶体生长的速率取决于粉料供应的多少，晶体生长的直径则取决于氢氧流量、火焰形状和结晶台的位置。整个工艺的关键是保持气体流量、下料速度、结晶位置的稳定及彼此间的配合。从原料制备到长出单晶红宝石的过程中，所配铬离子 Cr^{3+} 的总损耗约60%左右，这在原料配制时应予考虑。

用焰熔法生长红宝石虽有许多优点，但其晶体结构完整性差、应力大，从而限制了作为高级材料的应用。造成上述缺点的原因是由于火焰中温度梯度大，使结晶层的纵向梯度和横向梯度也很大。一根50毫米长的梨

晶，顶部熔融层温度是 $2050^{\circ}C$ ，而底部就可能是 $1000^{\circ}C$ ，这就使晶体在结晶过程中产生较大的应力。晶体内最大的应力是在接近晶种一端，此处的应力一般为100兆帕(1000公斤/厘米^2)左右。由于晶体内部存有很大的应力，使其光轴由单轴畸变为双轴，

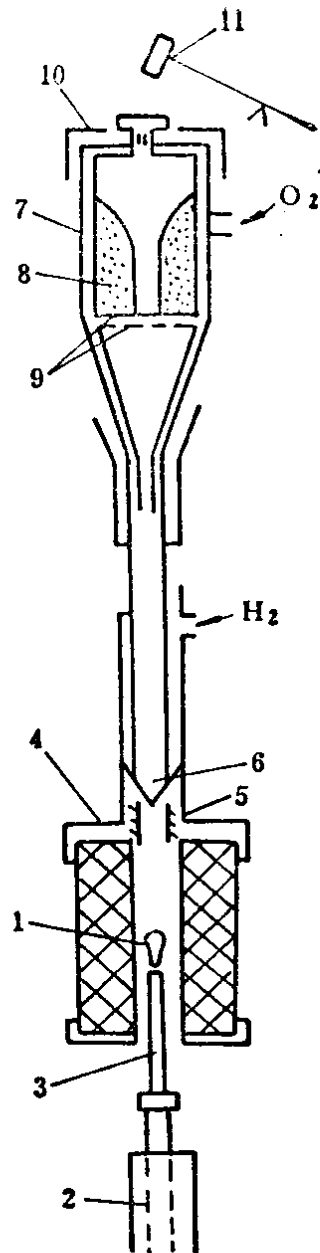


图 1-5 刚玉梨晶生长炉简图

- 1—生长中的红宝石 2—结晶室的升降齿条 3—结晶台 4—炉子 5—氢氧混合室 6—氢气喷嘴 7—外料斗 8—装粉料的内料斗 9—筛网 10—弹簧片 11—小锤

因此晶体需经过1800℃以上高温退火处理，以消除部分应力，减少晶体在加工时的碎裂，但对于晶体内部的其他缺陷则难于消除。晶体退火需要很高的温度，这在一般电炉中很难进行，且效率又低，所以在生产中一般不采用退火处理。

另外，焰熔法的加热源——氢氧焰难于稳定控制，且晶体生长温场的横向、纵向温度梯度很大，而热惰性又小，致使生长出的晶体光学性能差。

二、人造刚玉的常见缺陷

人造刚玉的缺陷有的用肉眼就可以看出，有的则需要借助仪器才能观察得到。这里仅就《钟表红色人造刚玉》国家标准（GB4051—83）和生产过程中经常出现的一些缺陷进行介绍。

焰熔法人造刚玉梨晶的正常外观应该是具有凸顶的规整圆柱形，而且几乎所有的柱面都应由天鹅绒状的粉料薄层，即所谓珠光面均匀地包围着。由于工艺及操作不当，人造刚玉经常出现各种各样的缺陷。必须找出产生各种缺陷的原因，并采取适当措施，以消除或减少这些缺陷，保证生长出的人造刚玉符合标准。

肉眼可见的人造刚玉常见缺陷有：

（一）光面

光面就是没有被天鹅绒状粉料薄层均匀地覆盖着，或者只是稀疏地覆盖着的刚玉梨晶柱面，是光滑的。梨晶柱面某一侧面光滑，没有被天鹅绒状粉料薄层覆盖，或者只是稀疏地覆盖着，称为局部光面。

产生光面的原因是：粉料中含钙、镁、硅等杂质太多；氢气与氧气的配比不当，气体的发热量不足，炉膛径向温度梯度较大，断面的高温区面积较小等等。产生局部光面的原因是：设备安装的同轴度与垂直度差；内、外料斗之间的间隙不均，使氧气流及其携带的粉流偏向一边；燃烧器气体分布孔配置不均匀对称，火焰的对称性差等等。在操作中应分析产生缺陷的具体原

因，并采取相应的措施加以排除。

（二）不圆

刚玉梨晶柱体呈椭圆柱或不规整的柱形，称为“不圆”。这主要是因为：炉膛变形或结圈；氧气喷嘴有积物或不圆；炉膛厚薄、松紧不均；影响热场不均等等。这时要更换结晶炉或清除结圈，除去积物，修整或更换喷嘴。

（三）扁面

扁面就是梨晶扩大部分有一个过大的扁平表面，剖分梨晶时常在此处产生锯齿及裂纹。产生扁面的原因是：晶种的定向角度太大或者晶种没有插正，致使生长轴与光轴夹角增大。要选用定向角度小一点的晶种并认真插正晶种，以避免扁面的产生。

（四）弯曲变形

弯曲变形即整个梨晶柱体发生弯曲，主要由以下几方面原因所引起：

1. 扩大梨晶时未对准落料中心

此时晶体的弯曲是逐步产生的，直到梨晶等径生长后才保持垂直生长。这时只要对准落料中心即可。

2. 晶种没有插牢，位置改变

这可能是因为：

（1）晶种插入粘结剂的深度不够，晶种插入深度达到全长的一半以上方能插牢。

（2）粘结剂中刚玉砂太少，或掺有较多低熔点物质，造成耐火度不够。这时要重新调配粘结剂。

（3）燃烧器受热膨胀产生位移（紧固螺钉未拧紧），或喷嘴松动。这时要重新调整好燃烧器的位置并加以紧固。

（4）燃烧器或结晶炉安装得不垂直，引起炉膛结圈或烧蚀，改变了火焰中心位置。此时要重新调整好燃烧器和结晶炉的垂直度，必要时更换结晶炉。

（5）托柱与炉壁相碰。由于托柱弯曲变形或保护泥涂得太

厚，使托柱在下降过程中产生位移。解决的办法是调整燃烧器、炉膛及下降机构的同轴度与垂直度，并换下弯曲的托柱。

(6) 托柱没有固紧，下降时松动歪斜。应紧固托柱或更换托柱加以解决。

(7) 喷嘴局部堵塞，应及时排除堵塞。

(五) 扩缩

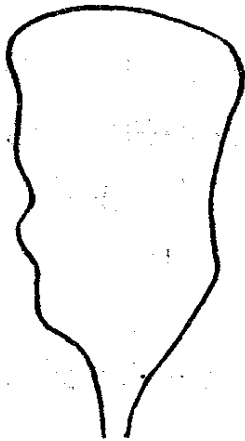


图 1-6 梨晶的扩缩

刚玉梨晶柱体明显扩缩成鞍形、鼓形或锥形(图 1-6)是人造刚玉的又一常见缺陷。

1. 引起梨晶柱体扩大的主要原因

(1) 氧气流量增加。解决的办法是使氧气流量恢复原值或略增加氢气流量，调整氧气变化灵敏度。操作时要谨慎。

(2) 氢气流量减少。此时要使氢气流量恢复原值。

(3) 落料量减少，生长面位置开始降低。应增加落料量，但关车前半小时不要加料。

(4) 下降机构失灵，使梨晶停止下降，生长面位置升入更高温区。这时要及时检修下降机构。

2. 引起梨晶收缩的主要原因

(1) 氧气流量增加。要尽快使氢气流量恢复到原值。

(2) 氧气流量减少。要恢复氧气流量或略减少氢气流量，或针对氧气流量减少的具体原因解决。

(3) 落料量不足，生长面位置降低。这时要增加氧气和落料量，根据情况也可使生长面升高或使其停止下降。

(4) 落料量增加(氢氧气体流量不变，而生长面位置上升)。这时要减少落料量，并分析具体原因加以排除。

(六) 不熔物