

线模制造工艺学

主 编 李林雅

主 审 张亨兴

机械工业出版社

前 言

为适应机械工业“三上一提高”的需要，有计划地加强对工人的技术理论培训，国家机械委电器局成立了技术工人教材编审委员会。在编审委员会领导下，由上海电缆研究所组织编写了电线电缆专业三十四个工种的中级工人技术理论培训教材，并作为全行业的指定教材。

这套教材是根据原机械工业部《工人技术等级标准》和《电线电缆行业专用工种工人中级技术理论教学计划、教学大纲》编写的，内容以电线电缆制造工艺为主，包括材料、设备知识和产品质量方面的分析，介绍了新技术、新工艺和新设备。

这套教材，课时一般以100~150学时为宜，各单位在保证培训质量的前提下，可根据实际情况适当调整。

参加这套教材编写的有沈阳电缆厂、上海电缆厂、郑州电缆厂、西安电缆厂、哈尔滨电缆厂和湘潭电缆厂的教育部门同志及工程技术人员。除此，昆明电缆厂、天津市电缆厂和北京市电线总厂的同志也参加了教材的审定工作，本教材由李朴雅同志主编，张亨兴同志主审。为了保证教材的质量，聘请毛安民、胡懋书、林必梁三位专家为顾问，对于以上同志的辛勤劳动，表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，缺乏经验，不足之处，请读者批评指正。

国家机械工业部科技质量监督司

一九八七年三月

再版前言

自1987年7月出版发行电线电缆专业三十四个工种的中级工人技术理论培训教材以来,深受电线电缆行业欢迎。在深化改革、扩大开放的新形势下,线缆行业迫切需要工人培训教材,为此,我分会决定对电线电缆行业量大面广的拉线工艺学、线模制造工艺学、韧炼工艺学、绞线工艺学、挤塑工艺学、挤橡连续硫化工艺学、成缆工艺学、漆包线工艺学、绕包线工艺学、编织工艺学等10个工种的中级工人技术理论培训教材再版发行。

因原教材出版至今已近六年,目前再版时,根据每本教材不同情况,作些适当补充及修改。在本教材再版之际,谨向付出艰辛劳动的全体编审人员、组织人员表示衷心感谢。

电器工业职工教育研究会
电线电缆分会
一九九三年五月

目 录

| | |
|--------------------------|------|
| 绪 论 | (1) |
| 第一章 拉线模孔型结构及计算方法 | |
| 第一节 拉线模的分类和型号 | (2) |
| 第二节 拉线模孔型结构及各区域的名称和作用 | (4) |
| 第三节 拉线模模孔质量与拉伸间的关系 | (7) |
| 第四节 拉线模孔型计算方法 | (9) |
| 第二章 拉线模加工 | |
| 第一节 拉线模模坯材料性质 | (12) |
| 第二节 拉线模镶套 | (20) |
| 第三节 拉线模加工 | (24) |
| 第四节 拉线模加工工艺、设备和技术要求及检验方法 | (35) |
| 第五节 磨 料 | (44) |
| 第三章 拉线模的磨损和修复及拉线机 | |
| 第一节 拉线模的磨损及修复 | (48) |
| 第二节 拉线设备 | (50) |
| 第四章 新材料、新设备、新工艺 | |
| 第一节 新材料 | (53) |
| 第二节 新设备及新工艺 | (55) |

绪 论

金属拉伸是一种冷压力加工形式。金属由粗拉伸到细的压缩过程所用的工具叫拉线模。拉线模可以使金属线(棒)材, 通过其进行塑性变形, 从而得到最终所需要的形状和尺寸。

拉线模由模套和模坯两部分组成。模套材料有黄铜、不锈钢、碳素钢等。模坯材料, 主要有天然金刚石、硬质合金、高级合金钢等。

我国自七十年代起, 由于人造金刚石聚晶的研制成功, 为拉线模材料开辟了新途径, 逐渐代替了天然金刚石模和硬质合金模材料。但由于目前我国生产的聚晶块质量, 还存在一些缺点, 因此只能用它来制造中间拉线模, 而不用做成品模。国外的人造金刚石拉线模的价格比天然金刚石拉线模贵几倍, 但它的使用寿命也比天然金刚石长好几倍, 因此, 实际使用价值仍比天然金刚石拉线模高。

第一章 拉线模孔型结构 及计算方法

第一节 拉线模的分类和型号

一、拉线模的分类

(一)按模坯材料分

| | | |
|---|--------------|------|
| { | 金刚石拉线模 | { 天然 |
| | | { 人造 |
| | 硬质合金拉线模(碳化钨) | |
| | 钢模 | |

(二)按孔型分

| | |
|---|----|
| { | 圆模 |
| | 型模 |

(三)按在拉线过程中的作用分

| | |
|---|----------|
| { | 成品模 |
| | 中间模 |
| | 刨光模(剥皮模) |

(四)按结构分

| | | |
|---|-----|-------|
| { | 整体模 | { 静止模 |
| | | { 旋转模 |
| | 组合模 | |
| | 辊压模 | |

(五)按拉伸金属材料分

| | |
|---|---|
| { | R型——软线模：用于抗拉强度 $\sigma_b < 100$ 公斤/毫米 ² 的软金属线，如铜、铝、银等 |
| | Y型——硬线模：用于抗拉强度 $\sigma_b > 100$ 公斤/毫米 ² 的硬金属线，如钢、镍、钨钼等 |

二、拉线模型号

(一)标志

根据国家标准 GB6110—85 规定，硬质合金拉线模的标志为：

A——钢丝拉线模
B——非铁金属丝拉线模
D——非铁金属棒拉线模
N——方形和矩形非铁金属材料拉线模

根据原机械工业部标准 JB3944—85 规定，金刚石拉线模标志为：

MJT——金刚石模具
Y——拉制硬性材料
R——拉制软性材料

(二)型号

拉线模型号由标志字母和相应尺寸组成。例如：

1、非铁金属方形和矩形截面模N，圆柱体形状Z，模芯外径 $d_2 = 45\text{mm}$ ，模套外径 $d_3 = 100\text{mm}$ ，孔型模面 $a \times b = 15\text{mm} \times 15\text{mm}$ ，拉制角 $2\alpha = 20^\circ$ ，表示为 N45/100/15×15/20。

2、拉制铜丝的金刚石拉丝模定，径区直径 $d_1 = 0.02\text{mm}$

模套外径 $d_3 = 16\text{mm}$ ，表示为 MJR0.02/16。

三、拉线模尺寸代号

根据 GB6110—85 规定，拉线模尺寸代号如下：

d_1 ——模孔定径区直径

d_2 ——模芯外径

d_3 ——模套外径

$a \times b$ ——模孔定径区尺寸(方形、矩形)

2α ——控制角

L_2 ——压缩区高度

h_2 ——模芯高度

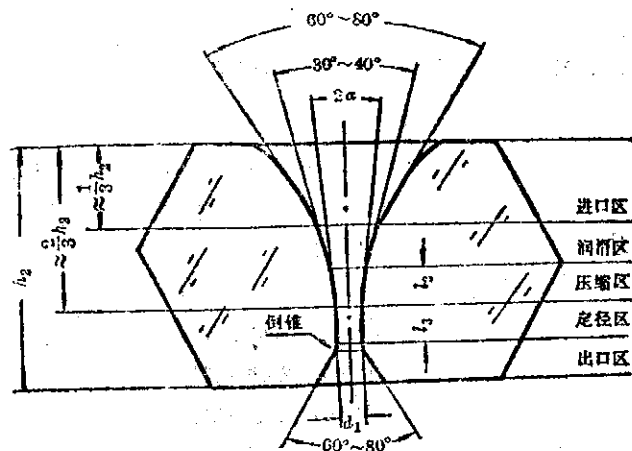
L_3 ——定径区高度

L_4 ——出口区高度

L_5 ——模套进口区高度

L_6 ——模套出口区高度

2α ——模套锥度角

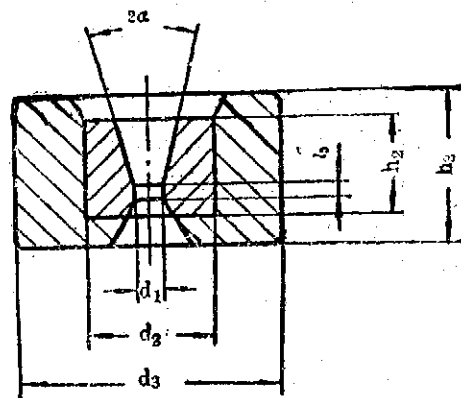


a) 金刚石拉线模孔型结构图

第二节 拉线模孔型结构及各区域的名称和作用

一、拉线模模孔结构

拉线模的工作部分是模孔，拉伸时，金属线材通过模孔受力变形。拉线模模孔的结构是由进口区或润滑区、工作区（变形区）、定径区、出口区等四个区域组成的。拉线模孔型结构见图 1—1。



b) 碳化钨模孔型结构图

图 1—1 拉线模孔型结构

二、拉线模模孔各区域的名称和作用

(一)入口区和润滑区

入口区一般带有圆弧，便于拉伸金属进入工作区，而不致被模孔边缘擦伤。润滑区是导入润滑剂，使拉伸材料得到润滑。在拉线模扩孔时，靠这部分来加大工作区。

(二)工作区

工作区是金属拉伸塑性变形区，即金属材料通过这个区，直径由大变小。这个区的选择主要是高度和锥角。

由于工作区是金属拉伸塑性变形的基本部分，一般来说，其高度不小于 d_1 （孔径）。如过小，被拉伸的金属对线模工作区将产生过大的压力，使拉伸应力显著增加，导致拉线模磨损加快。

工作区的高度，随拉伸材料的性质，及其直径和润滑情况而有所不同。其选择的原则是：

1. 拉伸软金属线时，应较硬金属线短。
2. 拉伸小直径线材时，应较大直径线材短。
3. 湿式润滑拉伸时，应较干式润滑短。

工作锥角的选择原则是：

1. 压缩率愈小，工作锥角应愈小。
2. 拉伸线材愈硬，工作锥角应愈小。
3. 拉伸小直径材料较大直径材料小。

对拉线模孔型来说，工作锥角较大时，垂直于模孔表面的正压力增加；当工作锥角较小时，沿着模孔表面的力（摩擦力）增加。理想的工作锥角是希望上述正压力和摩擦力的合力线为最小。

(三)定径区

制品通过定径区，得到所需要的形状和尺寸。定径区的长度，视拉伸材料的软硬、截面积的大小和润滑情况而有所不同。

定径区高度的选择原则是：

1. 拉伸软金属材料较硬金属材料短。
2. 拉伸大直径材料较小直径材料短。
3. 湿式润滑拉伸较干式润滑拉伸短。

(四)出口区

出口区是被拉伸材料离开模孔的最后通过部分。它能保护定径区不致崩裂，并在停机时，不使线材因倒车而擦伤。

第三节 拉线模模孔质量与拉伸间的关系

拉线模的孔型、拉伸半角、定径区的长短、模孔抛光质量，对拉伸的线材影响很大。

一、模孔的拉伸半角与拉伸间的关系

拉线模模孔形状，一般都是呈圆锥面形状。圆锥面与其中心轴线的交角，称为拉线模的拉伸半角。拉伸半角的大小，与拉伸力及拉伸过程有很大的关系。

当一个力作用于斜面时，可以分解成垂直于斜面和垂直于斜面的两个分力。两个分力的合力大小，和斜面与轴线的交角有很大的关系。

拉伸力与拉伸半角的关系是：拉伸力是随着拉伸半角的大而减小，到一定数值后，又随着拉伸半角的继续增大而

逐渐增大。

在拉线模制造时，其拉伸角的大小，要根据拉伸金属线材的性质以及拉伸力的大小来考虑。拉伸半角如图 1—2 所示。



图 1—2 拉伸半角

二、模孔形状与拉伸间的关系

拉线模模孔形状，有圆锥形的，也有圆弧形的。

在圆锥形的模孔中，线材在拉伸时的变形程度是平均的。由于复合力逐渐增大，因此愈近模孔出口处，复合力也就愈大。所以接近出口处的模孔容易崩裂，致使拉线模使用寿命缩短。

在圆弧形模孔中，金属线材在拉伸时，开始时变形程度较大，以后逐渐下降。变形抗力不集中在出口处，而在压缩区。圆弧形模孔在拉伸的磨擦过程中，是先把圆弧形磨成直线后，再继续向外移，因而增加了拉线模的使用寿命。

圆弧形拉线模模孔的缺点是：由于线材与模孔孔壁的接触面增大，因此拉伸阻力也相应增大，即在拉伸过程中，拉伸力消耗较大。

三、定径区长短与拉伸间的关系

定径区的长短，与消耗在克服此区的拉伸阻力的大小有

直接的关系。定径区愈高，拉伸阻力也就愈大，必须增加拉伸力，以达到将线材拉出模孔的目的。因此，定径区过高，金属线材拉出模孔后，就容易引起缩径。定径区高度过短，容易产生金属线材弯曲和表面不平的情况，同时也降低了模具寿命。

四、模孔的光洁程度与拉伸间的关系

拉线模模孔的光洁程度，是决定模孔孔壁和线材之间的摩擦力大小的重要因素，模孔光洁程度愈差，孔壁和线材之间的摩擦阻力就愈大，克服阻力所消耗的拉伸力就愈大。在同样的拉伸半角的条件下，高度抛光的模孔所需要的拉伸力，比一般抛光的模孔所需要的拉伸力小。

模孔的光洁程度不仅影响拉伸力的增减，而且还会影响被拉伸金属线材表面的质量。拉线模模孔光洁度高，被拉伸的金属线材表面也就光滑，反之，模孔光洁程度不高，所拉伸的金属线材表面就比较粗糙。拉线模的模孔光洁程度愈差，模子的使用寿命就愈短。

第四节 拉线模孔型计算方法

一、工作区高度的计算

工作区高度计算公式：

$$L_2 = \frac{D - d_1}{2 \operatorname{tg} \alpha}$$

式中:

L_2 ——工作区长度;

α ——拉伸半角。

二、压缩率计算

压缩率计算公式:

$$\text{压缩率} = \frac{D^2 - d^2}{D^2} \times 100\%$$

式中:

D^2 ——进线直径;

d_1 ——出线直径。

三、定径区高度计算

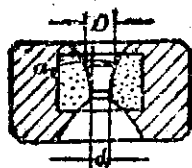


图 1—3 工作区高度的确定

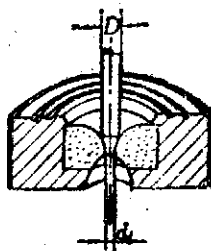


图 1—4 压缩率计算

定径区高度计算按公式:

$$L_3 = L + \frac{n}{2} (\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \beta)$$

式中:

L_3 ——研磨后的定径高度;

L ——研磨前的定径高度;

n ——所需的磨修量;

α ——拉伸半角;

β ——倒锥之半;

d ——研磨前定径;

d_1 ——研磨后定径。

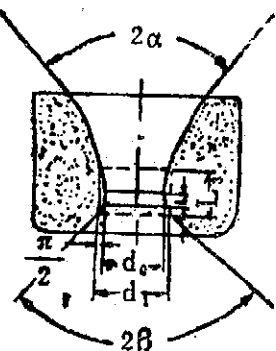


图 1—5 定径区高度计算

四、几种常用金属性能参考

表 1—1 几种常用金属性能参考

| 金属名称 | 元素符号 | 密度 g/cm ³ | 熔点 °C | 电导率 % | 抗拉强度 kg/mm ² | 伸长率 % | 布氏硬度 HBS |
|------|------|-------------------------|----------|----------|----------------------------|----------|-------------|
| 铜 | Cu | 8.94 | 1083 | 95 | 20~24 | 45~50 | 40 |
| 铝 | Al | 2.70 | 660.2 | 60 | 8~11 | 32~40 | 30 |
| 锡 | Sn | 7.30 | 231.9 | 14 | 2 | 40 | 5 |
| 铁 | Fe | 7.89 | 1539 | 16 | 25~33 | 25~55 | 65 |
| 镍 | Ni | 8.90 | 1455 | 23 | 40~50 | 35~40 | 80 |
| 钨 | W | 19.30 | 3410 | 29 | 105 | 0~4 | 290 |
| 钼 | Mo | 10.2 | 2622 | 23 | 70 | 30 | 180 |

从表 1—1 可知,铜比铝硬,抗拉强度铜比铝高。根据拉线模工作锥角选择的原则及定径区高度的选择原则,则铜的工作锥角应比铝小。在实际生产中,铜一般采用 $16^\circ \sim 18^\circ$ 的工作锥角,铝的工作锥角一般采用 24° 左右。同样道理,铜线模的定径高度一般为孔径的 $50\% \sim 70\%$,铝线模的定径高度一般为其孔径的 $40\% \sim 60\%$ 。

表 1—2 工作锥角的选择范围

| 拉制材料 | | 压 缩 率 (%) | | |
|------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | 10 | 20 | 30 |
| | | 工作锥角 | | |
| 钢材 | $\sigma_{bb} < 45 \text{ kg/mm}^2$ | $10^\circ \sim 12^\circ$ | $12^\circ \sim 15^\circ$ | $15^\circ \sim 20^\circ$ |
| | $\sigma_{bb} > 45 \text{ kg/mm}^2$ | $8^\circ \sim 10^\circ$ | $10^\circ \sim 12^\circ$ | $12^\circ \sim 15^\circ$ |
| 不锈钢 | | $12^\circ \sim 15^\circ$ | $15^\circ \sim 20^\circ$ | — |
| 铜 | | — | $15^\circ \sim 20^\circ$ | $20^\circ \sim 25^\circ$ |
| 铝 | | — | — | $18^\circ \sim 24^\circ$ |

第二章 拉线模加工

第一节 拉线模模坯材料性质

拉线模模坯材料主要采用天然金刚石和硬质合金。

一、金刚石的性质和用途

天然金刚石是在高温高压下的岩浆里形成的纯碳素结晶体，其化学成分和石墨一样由碳原子组成。但二者因碳原子排列形式不同，使它们成为二种性质截然不同的物质。石墨既松又软，而金刚石坚硬无比，它是迄今为止世界上最硬的物质。

(一) 金刚石的主要理化性质

成分：碳

晶体结构：立方等轴晶系

化学性质：在室温下不起任何变化

密度：3.47—3.56g/cm³

氧化温度：在空气中燃点850—1000℃

摩擦系数 0.05

硬度：莫氏10级

折射系数：2.42

熔点：3700℃

金刚石的主要晶体形状有八面体、十二面体、立方体等，如图2—1。其硬度以八面体最硬，其次为十二面体，

立方体硬度最小。金刚石的晶面常鼓起似球面。

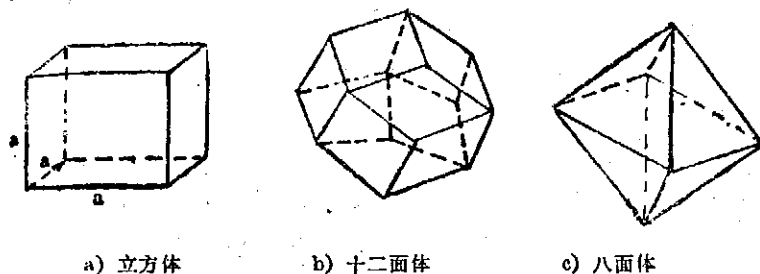


图2—1 金刚石的主要晶体形状

金刚石的耐磨性和硬度，在晶体的不同部位，或相同部位的不同方向，都是不相同的，而且相差悬殊。在立方体晶面上，与对角线平行的方向最耐磨；在十二面体晶面上，以平行于其长轴的方向最耐磨；而在八面体晶面上，则是由三角形底边中点朝顶角的方向最耐磨，如图2—2。

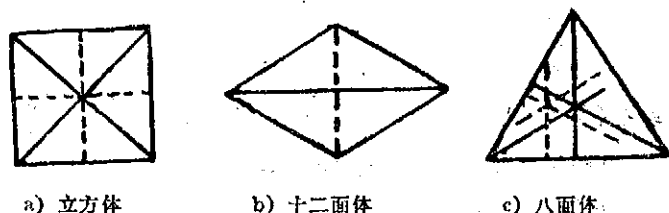


图2—2 金刚石的三个主要晶体形状耐磨方向

注：—最大耐磨方向 —最小耐磨方向

用来制作拉线模的金刚石，一般采用八面体、十二面体、立方体，并且应是单晶体。连生体和聚晶体是不能用来制作拉线模的。

(二) 金刚石的色泽

纯净的金刚石晶体是无色透明的。由于晶体内含有微量

元素和有包含裹体的缘故，使金刚石晶体呈现出多种多样的颜色。这时晶体所反映的色泽为夹杂物或包裹体的颜色。

在金刚石的多种包裹体中，以含石墨包体的晶体最多，其次为橄榄石包体。

石墨包体呈黑色状或不规则的细长片状。不论包体如何细小，也是不透明的。包体边缘轮廓清晰。这类包体在各个金刚石晶体中，含量变化很大。有些金刚石晶体，因含有大量的石墨包体，致使金刚石晶体呈黑褐色。

橄榄石包体，常称作“气泡”，是无色透明的短柱状细小晶体，保持有完整的晶形，其晶形略为圆滑。

无色透明的晶体多数为八面体，而十二面体主要呈淡黄色或淡黄绿色。

金刚石的弱点是比较脆，在受一定冲击力时，容易沿晶体的解理面而碎裂，这是它的最大弱点。

(三) 金刚石的用途

一般来说，金刚石的颗粒都不太大，通常重量在40~80mg之间，200mg者不多，重量在20克以上的称特大金刚石。

金刚石质量好的称“宝石级”，可以用来琢磨成高级华贵的首饰品。质量比较差的用在工业上，主要用来作为工具材料，如用作拉线模、玻璃刀、砂轮刀、锯片、车刀、地质钻头、硬度计压头等。

(四) 金刚石质量的分类、分级原则及验收规则和方法

1. 金刚石的质量分类、分级原则

金刚石的质量分类、分级原则，是以晶体颗粒大小（重量大小）、形状、晶体的完整度、透明度、裂纹多少、晶体所含包裹体多少、晶体的颜色及均匀度为依据。以透明无

色、无裂纹、不含包裹体的完整、规则的大晶体为理想的晶体。不同颜色的金刚石中，以稍带黑色的硬度最硬，其次为黄色，再其次为白色。

2. 拉线模用金刚石的质量分级

一级品：

(1) 结晶完整的八面体、十二面体、球形体，最小几何直径不小于1.4毫米。

(2) 完全透明，颜色为无色或淡黄色，无裂纹，包裹体、气泡等缺陷

二级品：

(1) 结晶完整的八面体、十二面体、球形体、板状体或扁形体，最小几何直径不小于1.4毫米。

(2) 透明或半透明，颜色为无色、黄色、棕色等淡淡色。晶体边缘允许有少数不影响制模的裂纹，包裹体、气泡等。

三级品：

(1) 结晶不完整的单晶体，最小几何直径不小于1.4毫米。

(2) 透明或半透明，颜色为无色、黄色、棕色等淡淡色。允许边缘含有不影响制模的裂纹，包裹体、气泡等。

金刚石碎粒：不分级别，重量不限。

3. 拉线模用金刚石的重量分档

金刚石的重量分档，不论是一级品或是二级品，它们的重量划分是相同的，即按每粒金刚石的重量(克)分为以下九档：

| | | |
|------------|------------|------------|
| 0.02~0.03 | 0.032~0.04 | 0.042~0.06 |
| 0.062~0.08 | 0.082~0.11 | 0.112~0.14 |
| 0.142~0.17 | 0.172~0.20 | 0.202~0.25 |

4. 金刚石质量的验收方法

对金刚石质量的验收,应包括重量、外形、颜色及晶体内在质量等方面。

验收方法:

(1) 重量的验收:用筛子分筛后,任意拣出10粒,放在分析天平上称重,其平均重量应不小于重量分档之半,如0.172~0.20g/粒范围的,该档的平均重量应不小于0.186g/粒,

(2) 外形、颜色的验收用肉眼观察。

(3) 晶体内在质量的验收:一般采用10×15倍放大镜,逐粒仔细地并从各个方向观察晶体内部,有否裂纹、气泡、杂质等缺陷。

(4) 内应力的检查:采用偏光显微镜检查,在偏振光正交作用下,晶体的异常干涉色为黑色、棕色和红紫色。制模加工经验证明:晶体的异常干涉色为黑色、灰褐色的在加工时碎裂较少,而红紫色的碎裂比例最高。

二、碳化钨硬质合金的牌号和性能

碳化钨硬质合金是由难熔金属碳化物(碳化钨),以钴为粘结剂,采用粉末冶金的方法制造而成的。它具有耐磨性好,抛光性好,粘附性小,摩擦系数小,抗腐蚀性高等优点。到目前为止,碳化钨硬质合金仍是制造拉线模的主要材料之
特别是大孔径拉线模和异型拉线模在广泛应用。

(一) 碳化钨硬质合金的含量、晶粒大小与合金性能的

关系

1. 与硬度的关系

碳化钨硬质合金的硬度,是随着合金中含钴量的增加而降低。其次,合金的硬度与碳化钨晶粒的大小有密切的关系,随着碳化钨晶粒的细化,合金的硬度增加。

引起合金硬度变化的还有一些工艺上的原因,如球磨制度不当、欠烧或过烧,均会使合金硬度降低。因此适当地调整碳化钨的晶粒,改进生产工艺,可以改变硬质合金的硬度。

2. 与抗弯强度的关系

硬质合金中,含钴量愈高,其抗弯强度就愈高。同时,合金的抗弯强度与碳化钨晶粒的大小有关。粗晶粒钨钴合金的抗弯强度,较细晶粒钨钴合金为高。

3. 与冲击韧度的关系

硬质合金的冲击韧度与合金中含钴量有关,含钴量愈高,冲击韧度愈高,而且随碳化钨晶粒的增大而提高。所以粗晶粒钨钴合金较细晶粒钨钴合金的冲击韧度高20%~30%。

4. 与耐磨性的关系

硬质合金的耐磨性能是极其错综复杂的,并与其化学成分和组织结构有关。当其他条件一致时,硬质合金中的碳化物晶粒愈细,其耐磨性就愈高。

5. 与抗压强度的关系

碳化钨合金的抗压强度,随着钴含量的增加而增加。钴含量5%时,抗压强度值最大,钴含量继续增加,其抗压强度随之而下降。

细晶粒钨钴合金的抗压强度也较粗晶粒钨钴合金高。

(二) 碳化钨硬质合金模坯的选择

在使用碳化钨硬质合金时，正确合理地选用牌号，良好的镶套和加工，以及合理的使用，对延长硬质合金的使用寿命，具有极为重要的意义。

1. 硬质合金模坯牌号的选择见表 2—1 和表 2—2。

表 2—1 硬质合金拉线模坯牌号的选择

| 硬质合金牌号 | 使用性能 | 用途 |
|--------|------------------------|---|
| YG3X | 硬度高、耐磨性好，但强度低，冲击韧性较差 | 适用于应力不大的条件下，拉制直径在 <u>2mm</u> 以下的细钢丝，有色金属细丝及其合金线材， <u>拉伸直径在 0.6mm 以下的细丝</u> ，效果尤为优良 |
| YG3 | 耐磨性次于 YN3X，使用强度和冲击韧性中等 | 适用于应力不大的条件下，拉伸直径在 <u>6.0mm</u> 以下的钢丝、有色金属丝及其合金线材 |
| YG6 | 耐磨性较高，使用强度及冲击韧性较好 | 适用于应力较大的条件下，拉伸直径 <u>21mm</u> 以下的钢、有色金属及其合金线材或棒材，亦适用于拉伸直径在 <u>10mm</u> 以下的管材 |
| YG8 | 耐磨性良好，使用强度及冲击韧性较 YG6 高 | 适用于应力很大的条件下，拉制 <u>50mm</u> 以下的钢、有色金属及其合金的线材、棒材和 <u>35mm</u> 以下的管材；也适用于制造直径较小，工作载荷不大的冲压模 |
| YG15 | 耐磨性较低，使用强度冲击韧性较高 | 适用于应力很大的情况下，拉伸钢棒和钢管 |

注：代号 Y 表示硬质合金；G 表示钨，其后数字表示合金中钴的含量；X 表示细颗粒合金

表 2—2 硬质合金牌号的物理力学性能

| 牌号 | 化学成分 (%) | | 密度 | 硬度 HRA | 抗弯强度 (kg/mm ²) | 抗压强度 (kg/mm ²) | 冲击韧性 (kg·m/cm ²) |
|------|----------|----|-----------|-----------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| | WC | Co | | | | | |
| YN3X | 97 | 3 | 15~15.3 | 92 | 100 | | |
| YG3 | 97 | 3 | 14.9~15.3 | 91 | 120 | | |
| YG6 | 94 | 6 | 14.6~15.0 | 89.5 | 140 | 460 | 0.26 |
| YG8 | 92 | 8 | 14.4~14.8 | 89 | 150 | 447 | 0.25 |
| YG15 | 85 | 15 | 13.9~14.2 | 87 | 200 | 366 | 0.40 |

2. 硬质合金拉伸模坯的分类

硬质合金拉伸模坯分类为：

盲孔模：0 类—01 型。

圆孔模：1 类—10、11、12、13 型。

2 类—20、21、22、23 型。

圆内模：3 类—30、31 型。

四边形孔模：4 类—40、41、42 型。

六方形孔模：6 类—60 型。

各种型号的适用范围如下：

01 型 拉伸黑色、有色金属丝。

10 型 黑色、有色金属线材。

11 型 黑色、有色金属线、棒材。

12 型 有色金属线、棒材。

13 型 黑色、有色金属棒材。

20 型~60 型 分别用于黑色、有色金属管、棒材。

3. 硬质合金拉伸模坯的表面质量要求

(1) 模芯工作面不得有掉边、掉角缺陷。非工作面掉

边、掉角深度不大于 0.5 mm。

(2) 模芯断面不得有黑心(欠烧)、气孔、分层、裂纹、未压好、严重脱碳、渗碳和严重脏化等。

(3) 模芯表面不得有起皮、分层、裂纹、过烧、鼓泡等缺陷的存在。

硬质合金拉伸模坯的内径偏差, 按规定标准检查。

第二节 拉线模镶套

拉线模在拉伸过程中, 承受很大的抗力, 而制造拉线模的模坯多是脆硬材料, 不能承受很大抗力。因此, 必须将模坯装镶外套, 使模坯加上一定的预应力, 以提高拉伸模坯的抗张能力, 防止拉伸时模坯发生碎裂。同时, 模坯镶套后, 使其在拉伸过程中有一定的支撑, 便于拉伸的进行。

拉伸模坯的镶套材料应具有较高的导热性, 良好的抗腐蚀性, 较高的弹性系数和屈服强度。线胀系数应尽量与模坯材料的线胀系数接近。

一、金刚石模的镶套

金刚石拉线模的镶套用多层镶套法, 即有内套和外套两层。

(一) 内套。

金刚石拉线模内套质量影响线模的使用寿命。好的内套能增强金刚石的强度和有效的热传导; 减少线模在加工或拉线过程中出现碎裂。同时, 也可减少金刚石的重量, 节约贵重的钻石, 降低成本。

钻石镶内套的方法有: 高频镶套、粉末烧结、铸性浇铸

等。目前一般多采用青铜粉和 0.5% 的石墨粉混合, 在液压机上压制成型, 然后在电炉内加热到 760℃, 保温一小时, 然后再在压机上加压整型, 经车削两个端面后成型。

(二) 外套。

金刚石拉线模镶外套的材料一般采用黄铜或不锈钢。镶外套方法一般采用热压镶套法, 即将外套和内套同时加热到 400~500℃时, 将两者压合, 经车床加工后成型。

金刚石拉线模外套的形状尺寸应符合表 2—3 要求。

表 2—3 金刚石模外套的形状尺寸

| 定 径 区 直径(mm) | 模套外径 (mm) | 模套高度 (mm) | 出口区支承壁 高度(mm) | 模套进出 口 角 度 |
|-----------------|--------------|--------------|------------------|---------------|
| ≤0.253 | 16或25 | 5—8 | 不小于1.6 | 90° |
| 0.251—0.500 | 25 | 6—8 | 不小于2.0 | 90° |
| 0.501—1.200 | 25 | 8—10 | 不小于3.0 | 90° |

注: 模套的全部表面粗糙度值应不低于 Ra3.2μm。

二、碳化钨硬质合金拉线模镶套

碳化钨拉线模镶套一般采用单层镶套法。模套材料可选用 35~50 号碳素钢制造。

硬质合金模坯的镶套方法有:

(一) 冷压法。

采用冷压法时, 首先应将模坯的外圆磨光, 准确地与模套内孔配合。冷压配合过盈量参见表 2—4。

(二) 镶焊法。

镶焊法只适用于拉伸应力不大的拉线模。而不适于控制

表 2—4 冷压配合过盈量

| 外 径(mm) | 过盈量(mm) |
|---------|-------------|
| 10以下 | 0.015~0.02 |
| 10~15 | 0.02~0.025 |
| 15~20 | 0.025~0.03 |
| 20~28 | 0.03~0.035 |
| 28~40 | 0.035~0.045 |
| 40以上 | 0.045~0.055 |

应力较大的棒材和管材拉线模。此法不常用。

(三)热压镶套法。

热压镶套法是目前采用较广的方法。适用于拉伸应力大的拉线模。模套内孔应较模坯外径小0.1~0.35mm。热压镶套法的硬质合金模坯表面无需加工,但需预热到400~500℃,然后再放到预先车制过的模套中,进行压合。

(四)热镶法。

热镶法与热压法的区别是:热镶法加热温度较低,一般为300~450℃,最高不超过600℃,模芯不需加热。热镶主要是借助于模套加热膨胀,模坯很容易装入模套中,冷却后模套收缩,将模坯紧固。热镶过盈量参见表2—5。

(五)多层套的镶套。

对于受力大,模套壁厚又受限制的硬质合金拉伸模,为了提高强度,使其在较大的应力下工作,可采用多层模套热镶。

多层镶套法的优点是:预应力大,可提高硬质合金模坯的抗张强度和模具寿命,减少碎裂现象和模坯外径,降低合金的消耗,同时在保证一定的预应力情状下,可缩小模套直径。

表 2—5 热镶过盈量

| 模 坯 外 径(mm) | 过 盈 量(mm) |
|-------------|-----------|
| 11.0~14.0 | 0.03~0.04 |
| 14.0~17.5 | 0.04~0.05 |
| 17.5~20.5 | 0.05~0.06 |
| 20.5~24.0 | 0.06~0.07 |
| 24.0~28.5 | 0.07~0.08 |
| 28.5~35.0 | 0.08~0.11 |
| 35.0~44.5 | 0.09~0.12 |
| 44.5~50.5 | 0.11~0.13 |
| 50.0~75.0 | 0.12~0.14 |

多层镶套法的缺点是工艺复杂,加工工序多,周期长,要求严。因此在拉线模镶套中很少应用。

(六)分级淬火镶套法

分级淬火镶套,采用较大的过盈量配合,加工公差可较大,模套加工容易。但因其工艺复杂,因此极少采用。

模套尺寸参见表2—6。

表 2—6 模套尺寸参考表 (mm)

| $d_2 \times h_2$ | 最大加工孔径 | $d_3 \times h_3$ |
|------------------|--------|------------------|
| 8 × 4 | 0.1~1 | 28 × 12 |
| 10 × 8 | 0.2~2 | 28 × 16 |
| 12 × 10 | 0.3~3 | 28 × 20 |
| 14 × 12 | 0.4~4 | 28 × 22 43 × 22 |
| 16 × 13 | 0.5~5 | 43 × 28 |
| 20 × 17 | 1.5~5 | 43 × 32 |
| 25 × 20 | 2.5~9 | 53 × 35 75 × 35 |
| 30 × 24 | 3.5~13 | 75 × 40 100 × 45 |

注:模套进口区角度约90°,模套出口区角度为60°—120°。

模套的全部表面粗糙度值应不低于Ra3.2μm。

第三节 拉线模加工

拉线模加工方法有普通的机械研磨法和特种加工方法。特种加工方法主要有电解加工、超声波加工、电火花加工、激光加工。

一、机械研磨加工

机械研磨加工，就是在机械作用下，使研磨料和模孔壁发生研磨，从而使模孔扩大或将模孔内的缺陷研磨掉，使模孔的形状和尺寸满足生产需要。

用在拉线模加工上的机械研磨机主要有钨模单头打孔机、钨模十头打孔机、钨模手动修模机、钻模十头打孔机、钻模八头拉孔机、钻模十头摇摆机等等。

拉线模的研磨过程是：粗磨→精磨→抛光。研磨过程主要是控制机械作用力和恰当的选用磨料。

二、电解加工

(一) 电解加工的原理

电解加工是利用金属在电解液中发生阳极溶解的电化学反应的原理，对金属材料进行成型加工的一种方法。电解加工时，工件(模子)为阳极(接直流电源正极)，工具(模冲)为阴极(接直流电源负极)，电解液在两极间的狭小的间隙中流过，如图2—3所示。拉线模材料被不断溶解，电解产物被电解液流带走，最后模孔就被加工成与模冲极为相似的形状。同时，模孔孔径也被扩大。

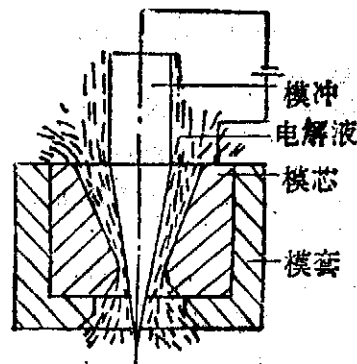


图2—3 电解加工拉线模原理

电解加工，主要用在孔径2.0 mm以上的碳化钨圆模，用以代替立式单头打孔机。对模孔孔径在2.0 mm以下的拉线模，一般采用钨模十头打孔机打孔。

(二) 电解加工的优点

1. 生产效率高。电解加工比机械研磨提高十倍以上。特别是加工直径在3.0 mm以上的碳化钨圆模，效果更为突出。
2. 电解加工的拉线模光洁度，比单头打孔机研磨的要光洁。
3. 模冲消耗少。加工时，除模冲阴极与阳极模孔的模壁接触产生短路放电火花，而将模冲烧伤外，一般不须更换模冲。
4. 设备简单，便于操作。

(三) 电解液配方

一般电解液采用如下配方：氢氧化钠15%，酒石酸15%，氯化钠2%，水68%，pH值为13左右。

电解液中，各种组分的作用是：

1. 氯化钠(NaCl)

NaCl溶于水后，生成 Na^+ （钠）和 Cl^- （氯）离子。氯离子有活化作用，在通电的条件下，依靠活性负离子破坏模孔表面的氧化膜，以加速工件的溶解。

2. 氢氧化钠(NaOH)

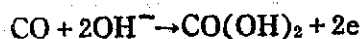
NaOH溶液称碱性溶液，主要作用是增强对碳化物，尤其是对难溶碳化物的溶解，

3. 酒石酸($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$)

酒石酸是一种络合剂，它的作用是络合被溶解下来的金属离子，形成可溶性络合物，从而加速工件的溶解，并保持溶液的清洁和改善表面光洁度。

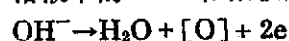
(四)电解加工时的电极反应

首先是钴的溶解

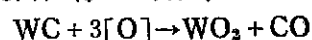


$\text{CO}(\text{OH})_2$ 溶解度不大，但易被酒石酸络合，因而CO能顺利溶解。

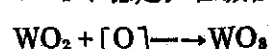
溶液中的 OH^- 在阳极放电，



生成的初生态氧会吸附在CO溶解后，造成的微孔与棱角表面，将WC氧化，



WO_3 不稳定，在碱性溶液中被氧化生成 $\{\text{WO}_3$



整个反应过程可写成：

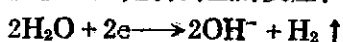


WO_3 在水中将生成 H_2WO_4 ，并与溶液中的NaOH作用，生成 Na_2WO_4 ，



初生态 $[\text{O}]$ 不可能全部用于氧化WC，因而有相当量的氧气析出。

阴极主要是析出氢的反应：



如果模孔表面有沟纹等缺陷，在电解加工时，将使加工表面各处的电流密度和电流效率不一致，使加工尺寸难以掌握，也不易得到良好的表面质量。所以最好是单头打孔和电解加工组合使用，即先将模孔内的沟纹等缺陷用打孔机研磨除去，使模壁表面平整，然后再用电解加工到所需形状和尺寸。

影响电解加工的因素较多，主要有电解液配方、电解液温度、电解液流速、电极材料、电流密度、工作电压、加工间隙等。

工作电压宜低不宜高。电流密度直接影响电解加工的生产率，可选得高些，以不击穿加工间隙为限。但电流密度提高，工作电压也要相应提高，而电压的提高受到一定限制。另外，电流密度高了，应创造加速电极反应的条件，如增大电解液流速，所以电流密度要与电解液流速相配合。

工作间隙宜小，但间隙过小，容易造成阻塞和短路；间隙过大，能量损失增大。

对电解液的要求是：

1. 能使工件材料高速溶解，并获得需要的加工精度和

表面质量。

2. 溶液中的金属离子, 不得在阴极沉积。
3. 一定的电导率, 较低的粘度, 较高的比热。
4. 安全、无毒、腐蚀性小。
5. 成分稳定, 易于使用, 价格低廉。

三、电火花加工

电火花加工, 是在一定的电压下, 当正、负极达到一定间隙时, 发大放电作用, 而将金属蚀除。金属的除去是由于脉冲放电产生高温, 使金属产生热破坏, 甚至气化。

电极之间的脉冲放电, 引起阳极(工件)的破坏而复制出阴极(模冲)形状和尺寸的孔型。对加工余量较大和形状复杂的拉线模, 采用电火花加工最为合理。由于电火花加工容易烧伤金属, 所以表面粗糙度较粗, 在电火花加工后, 拉线模模孔还需经过精磨和抛光。

电火花加工装置, 一般由脉冲发生器、机床和自动控制三部分组成。脉冲发生器有非独立式脉冲发生器和独立式脉冲发生器。

最简单的是RC回路, 但加工效率低。RLC回路则比RC回路加工效率提高将近一倍。RLCL回路则能进一步提高加工效率。RLC—LC回路中, 由于辅助LC回路的依次放电, 放电频率高, 增大了输出功率, 结果更进一步提高了生产效率。

这些回路构成的脉冲发生器, 其所以称为非独立式是由于模孔与模冲间隙太小, 和清洁程度等直接影响放电脉冲的波形、时延、频率和一次放电能量等, 不能正确地控制加工过程和参数。但由于它们结构简单, 容易制造, 寿命长, 操

作简单, 所以这种非独立的弛张式线路得到广泛的应用。非独立弛张式脉冲发生器线路图见图2—4所示。

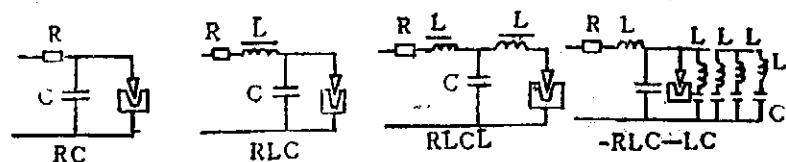


图2—4 弛张式脉冲发生器线路图

独立式高频脉冲发生器有电子管式、闸流管式和晶体管式。由于其放电脉冲的频率、幅值、波形可以任意调节, 所以这类发生器的加工设备所加工的工件, 表面粗糙度较细。

影响电火花加工的因素很多, 但主要的有电极材料(一般用紫铜、黄铜、铸铁等)、电介质(煤油或变压器油)、电极规范、排屑条件(过滤系统)和振动(电磁振荡)等。

对电极和介质的要求是:

(一) 电极材料的选择

1. 导电性好;
2. 导热性好;
3. 加工性好;
4. 抗腐蚀性高;
5. 具有足够的使用强度;
6. 成本低、生产率高。

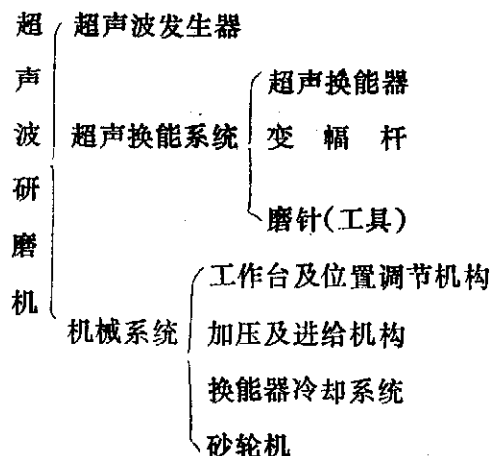
(二) 介质的选择

液体介质的作用是使被加工的金属颗粒, 从已加工的部位排除, 降低电极温度, 使加工过程稳定, 提高电极间隙之间的介电强度。对介质的要求是:

1. 粘度小;
2. 介电强度高;
3. 燃点高;
4. 对电极无化学作用;
5. 放电作用稳定;
6. 来源充足, 价格低廉。

四、超声波加工

超声波研磨机是由超声发生器、超声换能系统和机械系统等部分组成。



超声波研磨的基本原理是利用换能器, 将输入的超声频率电振荡, 转换成较高频率的机械振荡, 再传送到变幅杆的针头端。当工件和针头之间具有一定量的磨液和压力时, 磨粒便在液体中随着同样的频率振动起来, 不断地击冲模孔孔壁, 引起摩擦。由于磨料的数量较多, 冲击频率速度极快,

这样就促使模孔孔壁逐步形成与针头截面形状相似的、表面粗糙度较细的孔径。超声波研磨机示意图见图 2—5。

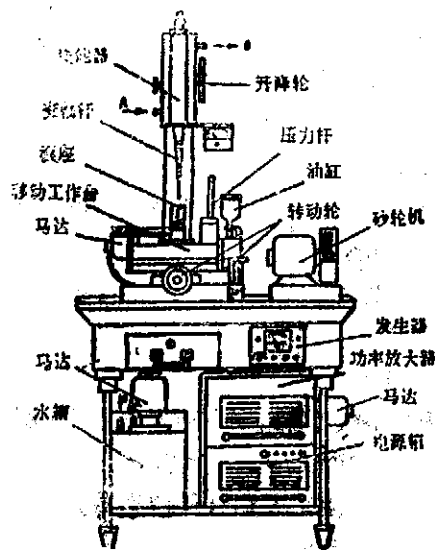


图 2—5 CSF—8B型超声波研磨机

目前 CSF—8B 型的 100 W 超声波研磨机, 被广泛地用来加工金刚石拉线模和人造金刚石聚晶拉线模。用它加工的模子, 速度快, 表面粗糙度较细。

影响超声波加工质量的主要因素有: 功率、频率、液压、配重、磨料等。

五、激光加工

激光与普通光不同, 简单地讲, 激光具有能量高度集中、色纯、方向性强的特点。它的亮度很高, 比太阳表面还

要高 10^4 倍。在焦点处的功率密度可达 $10^7 \sim 10^{11} \text{ W/cm}^2$ ，温度高达万度左右，压力达几百万个大气压，任何坚硬的物质都将在千分之一秒，甚至更短的时间内熔化、气化，并以超声速度向上喷射出来，从而产生方向相反的、方向性很强的强大冲击波。激光加工就是利用这种原理进行的。

激光打孔具有如下特点：

1. 几乎对所有材料都能加工。
2. 可加工小而深的孔，最小直径可达 0.001 mm ，深度达 $50 \sim 100 \text{ mm}$ 。
3. 加工速度极快，打孔时间 $< 1 \text{ mm}$ 。
4. 不用刀具，是非接触性加工，无加工变形，热变形也极小。
5. 可透过空气、惰性气体或光学透明物质进行加工。

激光器有固体激光器和气体激光器，其中红宝石固体激光器的发展和应用最早、最广泛，技术也比较成熟。它输出能量大，可以打大而深的孔，但成本高，制作难，能量转换效率低。球形红宝石激光器结构系统见图 2—6。

球形红宝石激光器各部分组成和作用：

1. 工作物质：红宝石（氧化铝晶体中掺入少量氧化铬）。
2. 激光能源（光泵）：氙光灯，它是用钨钼合金或钽钨合金作电极，用透明石英作灯管，管内充氙气，气压 $200 \sim 300 \text{ mm}$ 汞柱，由高压脉冲电源触发发光。
3. 共振腔：两块玻璃上涂上多层介质膜，构成两个平面反射镜，一个全反射，一个部分透光。

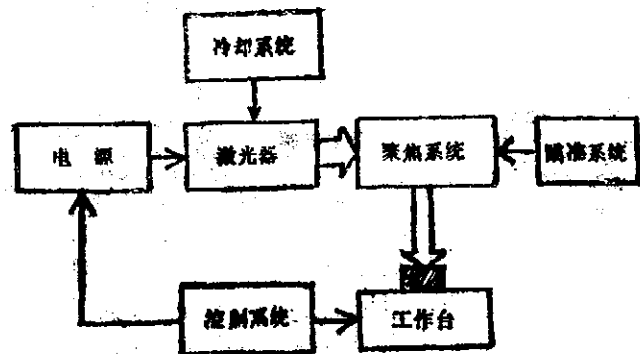


图 2—6 球形红宝石激光器结构框图

4. 聚光器，是内表面镀铝的玻璃球体，它的作用是把光泵发出的光有效地、均匀地集中到工作物上。

红宝石中受激直接发光的是铬离子，它受氙灯激发产生激光，而且是可见光。激光在共振腔内得到谐振放大，而其它光则在这里被抑制。激光由共振腔一端输出，通过透镜聚焦至加工物件，进行打孔或切割。

红宝石激光打孔机的光学系统如图 2—7。

使用红宝石激光打孔时，先将反射棱镜移去，物镜与目镜便构成一台显微镜。调节工件位置及其与物镜的距离，找到模孔中心，调节到清楚地看到工作表面为止。然后，将反射棱镜移入，棱镜的反光镜从光路中抽去，触发激光器，激光器经反射棱镜引向物镜，经物镜聚焦，打出模孔。

红宝石激光器是固体激光器的一种。固体激光器器件，技术比较成熟，输出能量大，可以打大而深的孔。但固体激光器成本高，制作难，能量转换效率低。后来出现的二氧化

碳激光器则造价低,结构简单,效率高,打孔质量好,如图2—8。

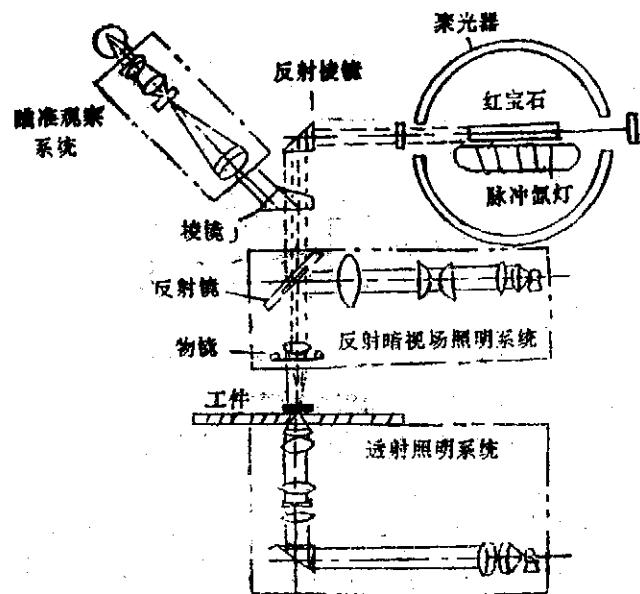


图 2—7 激光打孔机光学系统示意图

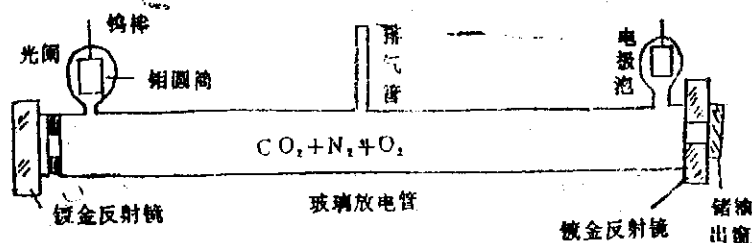


图 2—8 二氧化碳激光器结构图

激光打孔的直径、圆度、深度、锥度和许多因素有关,如激光器输出能量、激光脉冲宽度、物镜焦距长短和结构、聚焦情况等。适当偏离焦点、采用消球差物镜,使工件表面与光束垂直可提高圆度。激光器输出能量大,一般采用较短焦距物镜(一般约 15~50 mm),导热性好的材料用短脉冲,导热性差的材料用长脉冲都可增加打孔深度。

第四节 拉线模加工工艺、设备和技术要求及检验方法

一、金刚石拉线模加工

(一)金刚石拉线模加工程序及设备

1. 金刚石拉线模加工程序是: 验收钻粒→磨支撑面→镶内套→开孔→镶外套→打孔→定径→抛光。

金刚石拉线模在制造前, 通过验收钻石的重量, 确定加工模子的尺寸, 金刚石拉线模孔径与钻石重量的关系见表 2—7。

2. 磨钻机。钻石的磨支撑面在磨机上进行, 磨料用天然钻石粉或人造钻石粉, 对磨钻机的要求是:

- (1) 磨盘的硬度不小于 HRC 60(高速钢热处理);
- (2) 磨盘的转速 $> 1400 \text{ r/min}$;
- (3) 磨盘的上、下跳动不得大于 0.03 mm;

磨钻后的钻石须再一次的检查, 不允许有延伸到钻石中心的裂纹存在。

3. 打孔机。 钻石的开孔可用激光或超声波研磨机或十

表 2—7 金刚石拉线模孔径与钻石重量关系表

| 定径区直径(mm) | 金刚石加工前重量(g) | 金刚石加工后高度(mm) |
|-------------|-------------|--------------|
| ≤0.100 | 0.02~0.03 | 不小于 0.9 |
| 0.101~0.200 | 0.032~0.04 | 不小于 1.2 |
| 0.201~0.300 | 0.042~0.06 | 不小于 1.4 |
| 0.301~0.400 | 0.062~0.08 | 不小于 1.6 |
| 0.401~0.500 | 0.082~0.11 | 不小于 1.8 |
| 0.501~0.600 | 0.112~0.14 | 不小于 2.0 |
| 0.601~0.800 | 0.142~0.17 | 不小于 2.3 |
| 0.801~1.000 | 0.172~0.20 | 不小于 2.5 |
| 1.01~1.200 | 0.202~0.25 | 不小于 2.7 |

注：1 克拉=0.20 克

头打孔机开孔。十头打孔机结构示意图 2—9

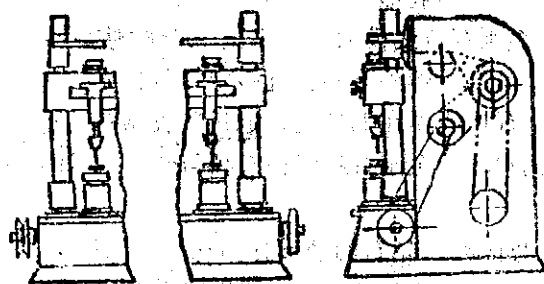


图 2—9 十头立式打孔机结构示意图

金刚石拉线模的打孔可用十头立式打孔机，也可用超声波研磨机。

金刚石拉线模的定径、抛光可在超声波研磨机、八头立式拉孔机、十头摇摆研磨机、十头卧式研磨机上进行。十头摇摆(摇头)研磨机和十头卧式研磨机示意图见图 2—10 和图

2—11。

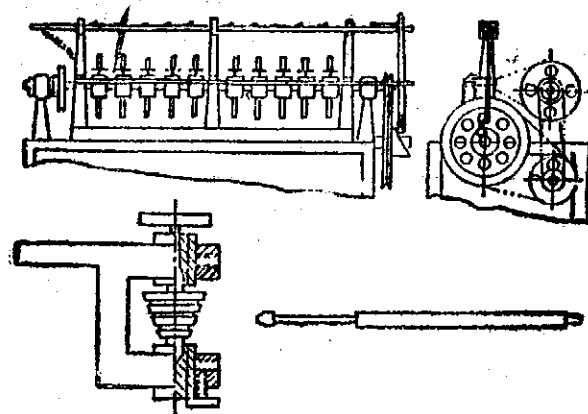


图 2—10 十头摇头研磨机示意图

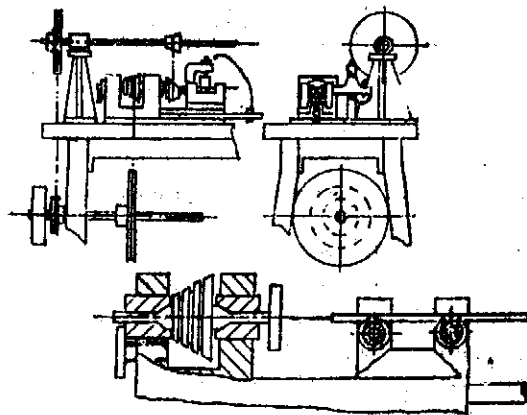


图 2—11 十头卧式研磨机示意图

(二) 金刚石拉线模技术要求

1. 模孔形状如图 1—1 a, 各区域应光滑圆弧连接。
 $d_1 > 0.20\text{mm}$ 者出口区与定径区连接处必须有明显的倒锥形
 状; $d_1 \leq 0.20\text{mm}$ 者, 出口区呈圆球形。

2. 定径区直径偏差应符合表 2—8 规定。

表 2—8 定径区直径偏差表

| $d_1(\text{mm})$ | 误差(mm) | f 值(mm) |
|------------------|--------|-----------|
| ≤ 0.100 | 0.001 | 0.001 |
| 0.101~0.200 | 0.002 | 0.001 |
| 0.201~0.300 | 0.003 | 0.002 |
| 0.301~0.500 | 0.004 | 0.002 |
| 0.501~0.700 | 0.005 | 0.003 |
| 0.701~0.900 | 0.006 | 0.003 |
| 0.901~1.200 | 0.006 | 0.004 |

注: f 值为直径的最大值与最小值之差。

3. 模孔的定径区高度、压缩区高度及 2α 角应符合表 2—9 规定。

表 2—9 定径区有关参数表

| $d_1(\text{mm})$ | $L_3(\text{mm})$ | $L_2(\text{mm})$ | 2α |
|------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| ≤ 0.040 | $(0.3 \sim 0.8)d_1$ | $(1.5 \sim 2.0)d_1$ | $16^\circ \sim 20^\circ$ |
| 0.041~0.200 | $(1.2 \sim 0.8)d_1$ | $(1.5 \sim 2.0)d_1$ | $16^\circ \sim 20^\circ$ |
| 0.201~0.400 | $(1.0 \sim 0.5)d_1$ | $(1.0 \sim 0.8)d_1$ | $16^\circ \sim 20^\circ$ |
| 0.401~0.500 | $(0.9 \sim 0.5)d_1$ | $(1.0 \sim 0.8)d_1$ | $16^\circ \sim 20^\circ$ |
| 0.501~0.600 | $(0.8 \sim 0.5)d_1$ | $(1.0 \sim 0.8)d_1$ | $16^\circ \sim 20^\circ$ |
| 0.601~0.800 | $(0.7 \sim 0.5)d_1$ | $(1.0 \sim 0.7)d_1$ | $16^\circ \sim 20^\circ$ |
| 0.801~1.00 | $(0.6 \sim 0.5)d_1$ | $(0.8 \sim 0.6)d_1$ | $16^\circ \sim 20^\circ$ |
| 1.001~1.200 | $(0.5 \sim 0.3)d_1$ | $(0.8 \sim 0.5)d_1$ | $16^\circ \sim 20^\circ$ |

4. 模孔表面要求进口区与润滑区呈暗光泽光滑表面, 压缩区、定径区及倒锥处呈光泽的光滑表面。出线口呈细麻砂状的表面。

(三) 检验方法

1. 检验模孔孔径用分度值为 0.01mm 的千分尺, 测量方法是在模孔中拉伸出来的金属线(压缩率为 $10\% \sim 15\%$)上测得。

2. 定径区高度及 2α 角, 用复制样品测量。

3. 模孔表面 $d_1 \leq 0.120\text{mm}$ 者在带光源的 100 倍生物显微镜下观察。 $d_1 > 0.120\text{mm}$ 者在带光源的 30 倍体视显微镜下进行。

4. 模套尺寸加读数值为 0.02mm 的游标卡尺测量。

5. 模套表面粗糙度用专用样板目测比较。

二、碳化钨圆模加工

(一) 碳化钨圆模加工程序是镶套、打孔、修定径、磨角和抛光。

碳化钨圆模的打孔, 大规格的模子可在单头立式打孔机或电解打孔机上进行, 单头立式打孔机示意图见图 2—12。小孔径的用钨模十头打孔机打孔。

碳化钨圆模的修定径、磨角、抛光可用手动修模机或定径机及磨角、抛光机上进行。

(二) 碳化钨圆模技术要求

1. 模孔形状如图 1—1b, 各区域应光滑连接。

2. 定径区尺寸偏差应符合表 2—10 规定。

3. 定径区高度应符合表 2—11 规定。

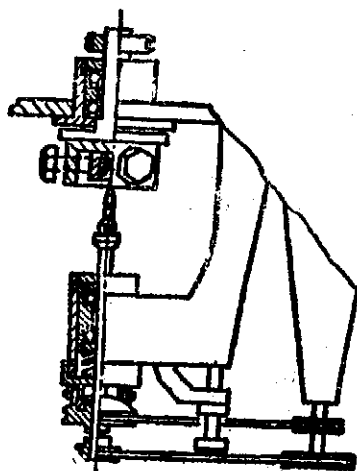


图 2—12 单头立式打孔机示意图

表 2—10 定径区尺寸误差表

| $d_1(\text{mm})$ | 误差(mm) | f 值(mm) 不大于 |
|------------------|--------|---------------|
| ≤ 1.20 | 0.010 | 0.005 |
| 1.20~2.00 | 0.020 | 0.010 |
| 2.01~3.50 | 0.030 | 0.015 |
| 3.51~6.00 | 0.040 | 0.020 |
| 6.01~20.0 | 0.050 | 0.025 |

4. 模孔表面粗糙度要求进口区 $Ra0.2\mu\text{m}$, 润滑区 $Ra0.2\mu\text{m}$, 压缩区 $Ra0.025\mu\text{m}$, 定径区 $Ra0.025\mu\text{m}$, 出口区 $Ra0.4\mu\text{m}$.

5. 模套尺寸应符合GB6110—85规定。模套的进口角和出口角为 60° ,但一般都采用进口角 90° ,出口角 120° 。模套的

表 2—11 定径区高度表

| $d_1(\text{mm})$ | $L_2(\text{mm})$ |
|------------------|-----------------------|
| ≤ 1.00 | $(1.20 \sim 0.60)d_1$ |
| 1.01~2.00 | $(0.90 \sim 0.40)d_1$ |
| 2.01~4.00 | $(0.70 \sim 0.30)d_1$ |
| 4.01~8.00 | $(0.60 \sim 0.20)d_1$ |
| 8.01~16.00 | $(0.40 \sim 0.15)d_1$ |

表面粗糙度值全部不低于 $Ra3.2\mu\text{m}$ 。

(三)碳化钨圆模检验方法

1. 定径用分度值为 0.01mm 千分尺,测量方法是在模孔中拉伸出来的金属线上测得。

2. 定径区高度 $d_1 \leq 3.0\text{mm}$ 者用复制样品测量; $d_1 > 3.0$ 者用钢直尺测量。

3. 模孔表面粗糙度在 10 倍放大镜下用专用样板对比检查。

4. 模套尺寸用读数值为 0.02mm 的游标卡尺测量。

5. 拉制角 $d_1 \leq 1.20\text{mm}$ 者用复制样品,在光学仪器上测量。 $d_1 > 1.20\text{mm}$ 者,用角度样板测量。

6. 整个模孔形状的检查,都可以用蜡、石膏、硅橡胶或低熔点金属(铅—锡合金等),把模孔浇铸成复制品,然后将复制品进行光学投影放大,和标准图样进行比较和测量,这样比较准确可靠。但程序比较烦复,化费的时间也比较多。

三、碳化钨型模加工

用在电线电缆上的异型模，大致有：

扁孔模

方孔模

| | | |
|---------|---|---------------------|
| 双沟型电车线模 | { | 铜电车线模 |
| | | 钢铝电车线模 { 钢坯模 铝坯模 |

其他有弓型模、Z型模等。

碳化钨型模的加工程序是制模冲→电火花打孔→研磨-抛光。

异型模的技术要求，按各企业的检验标准执行。

四、刨光模(剥皮模)加工

刨光模的作用和拉线模不同，它是用来切削铜杆的表面层，以获得较高质量的线材坯料。刨光模是一种切削模具。通过刨光作业后，坯料的光洁度提高，坯料的截面减小，长度不变，重量下降。

(一)刨光模的结构及各区域的名称和作用

刨光模又称剥皮模，由切削角、定径区、出口锥角等区域成形。刨光模结构见图 2—13。

1. 切削角 对金属起切削作用的是通过切削角和定径区壁所组成的刃角来实现的，这一部分是刨光过程中消耗拉伸力的部位。

2. 定径区 定径区使坯料平稳地通过切削部位，并保

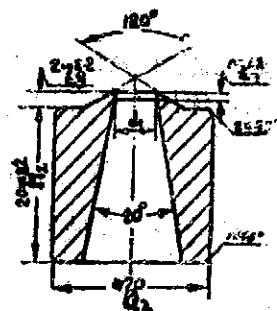


图 2—13 刨光模结构图

持圆周切削力均匀。

3. 出口锥角 出口锥角用来保证坯料通过模孔时，不被孔壁所擦伤，使坯料顺利地通过模孔。

4. 断面 断面用来折断被切削下来的皮屑，使皮屑和坯料分离。

(二)刨光模加工程序是车床加工→热处理→粗、精研磨。

1. 车床加工 刨光模的材料，一般采用高级合金钢(Cr12)，也有用高速钢的。在车床加工时，要考虑到经热处理后，表面氧化层的生成对刨光模尺寸的影响，以及必须留下以后粗、精磨作业的加工余量。

2. 热处理 刨光模的热处理，经淬火和退火两个步骤。淬火方法用油淬，退火用普通退火方法。

首先将经车床车制成型后的刨光模，放入加热炉内加热到950~980℃，迅速浸入油缸。然后用普通退火的方法，即在退火温度850℃左右情况下，保温一定时间后，随炉温缓慢下降到500℃以下，再在空气中冷却。

经热处理后的刨光模的硬度应达 58~61HRC。

3. 粗、精磨。刨光模表面用细砂皮磨光，表面刃角处用油石磨光，模孔用角度棒加碳化硼磨料磨光。

(三) 刨光模的技术要求

1. 刨光模的各部位尺寸，应符合工艺要求。
2. 切削刃角应锋利，不允许有卷口、裂纹、缺口等缺陷存在。
3. 切削角、定径区应光滑。定径区与出口锥角交接处应光滑，不得有尖角存在。
4. 切削角和定径区的表面粗糙度值不低于 $Ra0.8\mu m$ 。
5. 定径区应有与坯料进入方向一致的锥角，不得有倒角(锥)现象。
6. 刨光模刃口的硬度应不低于 60HRC。
7. 刨光模定径区的误差和圆度误差应符合工艺要求。

第五节 磨 料

研磨是用磨料通过研磨工具对工件进行微量磨削。磨料在研磨时起磨削作用。因此，磨料的质量与加工精度、表面光洁度和工作效率有关。

一、对磨料的要求

(一) 硬度高，硬度越高，磨削能力愈强。

(二) 要有足够的强度和韧性，具有尖锐的棱角，并且在研磨过程中能自行磨锐露出新的锋刃。

磨料的物理、力学性能，很大程度上是决定于其化学成

分和结晶形态。无用杂质会降低磨削的质量，所以应尽量减少。使用中，也要尽量避免杂质的混入。

二、磨料的种类和粒度

磨料有天然磨料和人造磨料，按其化学成分分类则有氧化物、碳化物和金刚石磨料三类。加工拉线模用的磨料主要有碳化硼和金刚石磨料，其中人造金刚石和天然金刚石磨料的研磨能力最好，见表 2—12。

磨料粒度见表 2—13 和表 2—14。

表 2—12 几种磨料的相对研磨能力比较

| 名 称 | 代 号 | 粒度 (μm) | 相对研磨能力% | |
|--------------|-----|----------------|---------|------|
| | | | 硬质合金 | 钻 石 |
| <u>绿碳化硅</u> | GC | 5~20 | 21.5 | 0.28 |
| <u>碳化硼</u> | BC | 10~12 | 60 | 0.57 |
| <u>人造金刚石</u> | JB | 5~10 | 100 | 100 |
| <u>天然金刚石</u> | JT | 5~10 | 100 | 100 |

表 2—13 天然金刚石粉标号和粒度

| 标 号 | 基本粒度 (μm) | 标 号 | 基本粒度 (μm) |
|-----|------------------|-----|------------------|
| 1 | 200~300 | 6 | 20~30 |
| 2 | 100~200 | 7 | 10~20 |
| 3 | 70~100 | 8 | 5~10 |
| 4 | 50~70 | 9 | 3~5 |
| 5 | 30~50 | 10 | 1~3 |

表 2—14 人造磨料标号和粒度

| 标 号 | 基本粒度 (μm) | 标 号 | 基本粒度 (μm) |
|-----|-----------|------|-----------|
| 12 | 2000~1600 | 180 | 80~63 |
| 14 | 1600~1250 | 240 | 63~50 |
| 16 | 1250~1000 | 280 | 50~40 |
| 20 | 1000~800 | W40 | 40~28 |
| 24 | 800~630 | W28 | 28~20 |
| 30 | 630~500 | W20 | 20~14 |
| 36 | 500~400 | W14 | 14~10 |
| 46 | 400~315 | W10 | 10~7 |
| 60 | 315~250 | W7 | 7~5 |
| 70 | 250~200 | W5 | 5~3.5 |
| 80 | 200~160 | W3.5 | 3.5~2.5 |
| 100 | 160~125 | W2.5 | 2.5~1.5 |
| 120 | 125~100 | W1.5 | 1.5~1.0 |
| 150 | 100~80 | W1.0 | 1~0.5 |
| | | W5.5 | 0.5至更细 |

除上述所讲的研磨料外, 近几年来合成钻石研磨膏得到了广泛的应用。合成钻石研磨膏的规格见表 2—15 所列。

磨料在使用时, 必须加研磨剂以组成研磨液。对研磨剂的要求有一定的粘度及润滑性能; 对工件无腐蚀性, 不损害操作者的健康; 不易挥发和变质; 容易清洗。

拉线模加工中, 研磨液的调配是根据用途而定。研磨剂一般是用机油、锭子油、甘油、煤油和水等。

表 2—15 合成钻石研磨膏规格

| 标 号 | 颜 色 | 加工表面粗糙度 |
|------|-----|----------------------|
| W28 | 酱 红 | $Ra0.2 \sim 0.1$ |
| W20 | 橙 | $Ra0.2 \sim 0.1$ |
| W14 | 煮 红 | $Ra0.1 \sim 0.05$ |
| W10 | 桔 红 | |
| W7 | 朱 红 | $Ra0.05 \sim 0.025$ |
| W5 | 紫 | |
| W3.5 | 果 绿 | |
| W2.5 | 黄 | |
| W1.5 | 湖 兰 | $Ra0.025 \sim 0.012$ |
| W1.0 | 翠 兰 | $Ra0.012 \sim 0.01$ |

天然金刚石粉是一种贵重材料, 使用后应加以回收。回收钻石粉的方法是先用水把用过的钻石粉中的铜、铁等杂质除去, 然后水洗、沉淀分号。沉淀分号的时间参见表 2—16。

表 2—16 金刚石粉沉淀分号的时间参考表

| 粒 度 (μm) | 在 水 中 沉 淀 时 间 |
|----------|---------------|
| >120 | 由70号筛孔留下者 |
| 95 | 40~60s |
| 69 | 1.5~2min |
| 48 | 3 min |
| 35 | 5 min |
| 20 | 15min |
| 10 | 30min |
| 5 | 1.5h |
| 2.5 | 3 h |

第三章 拉线模的磨损和修复及拉线机

要使拉线模达到最高的使用寿命和高质量的拉伸制品，不仅取决拉线模本身的质量，还决定于使用方法和使用时其他配合条件。因此拉线模的使用寿命的长短是由很多因素决定的。

第一节 拉线模的磨损及修复

经过拉伸后的模孔，最常见的磨损部位是工作区产生磨损环沟(凹痕)。此环沟的部位，在进入模孔的金属线首先接触到模壁处，即工作区中某一点，如图 3—1 所示。

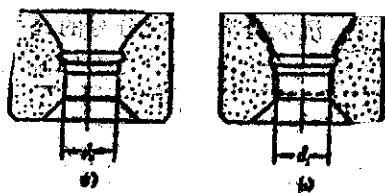


图 3—1 模孔环沟示意图

一、产生环沟的原因

拉线模环沟的出现和加深，直接影响拉伸线材的质量和拉伸能否顺利的继续进行。因此有环沟的拉线模不能继续使用，必须立即调换。

那么环沟是怎样产生的呢？那是由于进入模孔的金属线横截面变化时所受的抗力，和拉伸过程中金属线的振动而产生的周期性压力，导致线模的疲劳破坏。

拉线模环沟的出现，加剧模孔的磨损。因为拉线模的模孔出现环沟后，环沟上因松动而剥落的模芯材料小颗粒，象磨料一样地研磨着工作区和定径区。而进入模孔的金属线，则象磨棒一样加剧模孔的磨损。此时模孔和金属线之间的摩擦力增加，产生高温，加剧了磨损的过程。如不调换进行修复，那么环沟将继续加速扩大，使修复增加困难，拉线模则会出现裂纹，甚至完全崩碎报废，造成损失浪费。

一般来说，拉线模在拉伸过程中的磨损，可分为三个阶段。第一是模孔表面尖点磨损阶段，第二是一个低而稳定速率的磨损阶段，三是随着模孔表面磨损沟纹的出现，达到一个高速磨损阶段。

二、拉伸条件对拉线模使用寿命的影响

拉线模的寿命，一方面取决于本身的质量，另一方面还取决于拉伸条件。

拉伸过程中，影响拉线模使用寿命的因素主要的是以下几个方面：

(一)减缩率的影响

在拉伸过程中，拉线模对金属线产生压力，而金属线在变形时对拉线模孔壁也产生了一个反作用力。拉伸时所用的减缩率愈大，孔壁对金属线产生的压力也就愈强，而金属线对孔壁所产生的反作用力也随之增强，此力如大于模子本身的抗张能力，则拉线模就会崩裂。

(二) 润滑剂的影响

在拉伸过程中，润滑剂的质量及润滑剂供给是否充分都影响着拉线模的使用寿命。润滑剂在拉线过程中具有润滑作用、冷却作用、清洗作用和防锈作用。

(三) 金属坯料表面质量的影响

金属坯料表面如有氧化层、砂土或其他杂质，对拉线模的使用寿命带来不利影响。因为金属表面的氧化层硬而脆，当金属坯料通过模孔时，它会象磨料一样造成拉线模模孔很快磨损及擦伤导线表面。所以在拉伸前，必须把它酸洗掉。在坯料堆放时，要注意堆放场地的整洁，避免与砂土及其他杂质接触。

三、拉线模的修复

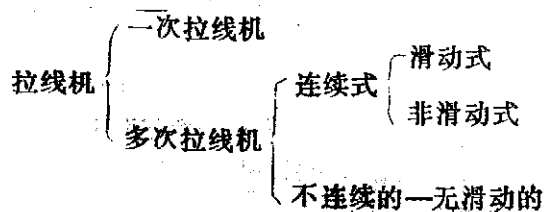
拉线模在修复前，必须对孔径和模孔表面缺陷进行检查，以确定修复孔径的尺寸及修复步骤和方法。对有环沟凹痕等缺陷的模子，先将缺陷除去，然后再研磨、定径抛光。

一般来说，拉线模应勤调换。金刚石拉线模每半个月调换一次，硬质合金拉线模每个班次就应调换一次。③

第二节 拉线设备

拉线机是线材生产的主要设备。拉线机的发展趋势是高速、高效、连续化、系列化、标准化。

拉线机的分类如下：



一次拉线机，因为它生产效率低、劳动强度大，现在基本上已经淘汰。一般用的都是连续多次(多模)拉线机，其中滑动式拉线机多用于拉伸铜线，所以又叫拉铜机。非滑动式拉线机多用于拉伸铝线，所以又叫拉铝机。

滑动式拉伸机又可分为大拉、中拉、小拉、细拉、微拉等几个级别，形成一个系列，以满足各种规格线材生产的需要。

1. 滑动式拉线机的特点是：

(1) 线材与绞轮之间有滑动，因此都要受到磨损，所以主要用于具有中等强度的铜线拉伸。

(2) 张力控制敏感，传动系统简单，电气控制要求不十分严格。

(3) 总的加工率大，适合塑性好的金属线材拉伸。

(4) 拉伸速度高。

(5) 易于实现机械化、自动化。

2. 非滑动式拉线机的特点是：

(1) 拉线时线材可能受扭转而不适用于拉伸型线，只适用于拉伸圆线。

(2) 线材行程复杂，所以不能用于高速拉线。

(3) 线材所受张力较大, 所以不适用于细线拉伸。

(4) 没有滑动, 线材和绞轮不会由于摩擦而产生较大的损伤。

(5) 线材有储存, 冷却较好。当中间某个绞轮工作不正常时, 短时间内不会影响其前后绞轮的工作, 能提高效率。

(6) 绞轮可做成单独的传动系统带动, 作为标准组件可组合多模数的拉线机。

非滑动式拉线机拉伸示意图 3—2。

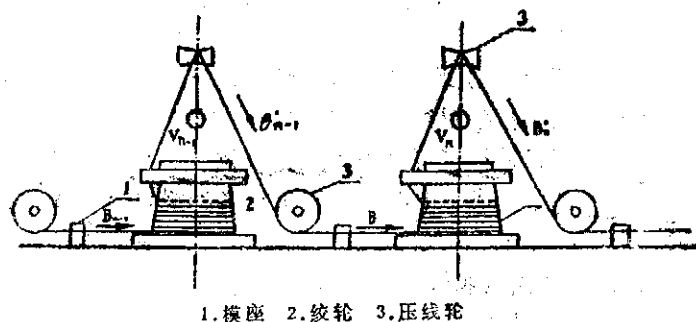


图 3—2 非滑动式拉线机拉伸示意图

使用这种拉线机, 须保证线材与绞轮之间无滑动。为此, 每个绞轮上须绕上 12—15 圈线, 且放线端线材要保持一定的

张力。这个张力主要是依靠装于绞轮上端的拨线杆和导向轮实现的。拨线杆的结构见图 3—3。旋动调节螺钉, 可改变拨线杆的摩擦力, 从而改变和调节线材张力。

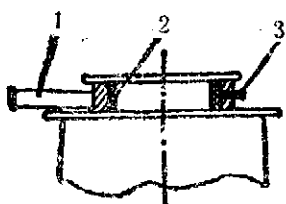


图 3—3 拨线杆示意图

第四章 新材料、新设备、新工艺

第一节 新材料

制模的新材料——人造金刚石聚晶, 是一种新型的超硬材料。人造金刚石是用高纯度的石墨, 在金属触媒和高温、高压下形成的单晶体。由于人造金刚石的颗粒太小, 不能单独用来制做拉线模具或其他钻头、工具等, 必须进行聚合成大颗粒后才能使用。

人造金刚石聚晶有生长型、烧结型和生长烧结型。聚晶的致密度以生长型的最好, 但由于生长型的在生长聚合时, 需要很高的压力(八万个以上大气压), 要做成大规格的聚晶块在目前难度非常大。因此生长型的聚晶块几何尺寸目前还比较小, 它只适用于做模孔孔径 1 毫米以下的拉线模。

烧结型的人造金刚石聚晶, 是由许多人造金刚石晶粒, 加入一定量的金属粘结剂, 在高温、高压(约五万个大气压)下聚压而成。

人造金刚石聚晶, 晶体面呈不规则排列, 因此它在各个方向上的硬度是一致的, 不象天然金刚石在晶轴的不同方向上或同一方向的不同点上, 其硬度不同, 而且相差悬殊。

人造金刚石聚晶, 具有天然金刚石的硬度和硬质合金的韧性, 它的耐磨性比天然金刚石好。人造金刚石聚晶具有硬度高、耐磨性高、韧性好、导热性好、不易碎裂、结构均匀、性能稳定等优点。

人造金刚石聚晶的主要物理、力学性能(仅供参考):

硬度:近似莫氏硬度 10 级。

抗压强度: $9000 \sim 10000 \text{ kg/mm}^2$ 。

热稳定性:在空气中 760°C 左右,在氢气中 1200°C 左右。

磨耗比: $1:30000$ 以上。

人造金刚石聚晶拉线模的加工过程和金刚石拉线模加工过程基本相同,但比金刚石模简便。因为人造金刚石聚晶块几何形状规则、整齐,不需经过磨钻加工,可直接进行镶套。但镶套时,加热温度不宜过高,否则会产生石墨化现象而失去其原有硬度而不能使用。人造金刚石聚晶拉线模的粗磨、精磨及抛光和天然金刚石拉线模加工步骤相同。

在我国从本世纪七十年代开始应用人造金刚石聚晶做拉线模的材料。它有如下优点:

一、能制作大孔径拉线模

由于天然金刚石受其颗粒尺寸小的限制,一般只能用它来制作孔径 1.25 mm 以下的拉线模。而人造金刚石聚晶拉线模随着聚晶块尺寸的扩大而孔径扩大。目前的制模专业厂,用进口聚晶料制成孔径 6 mm 到 8 mm 的拉线模,但价格非常昂贵。

二、人造金刚石聚晶拉线模使用寿命长

由于人造金刚石聚晶硬度高、韧性好、耐磨性高、不易碎裂,因此用它制造的拉线模比天然金刚石拉线模的使用寿命高 $1 \sim 2$ 倍,比硬质合金拉线模高 $120 \sim 150$ 倍。

由于国产的人造金刚石聚晶料质量目前还比较差,因此

用它做成的拉线模存在如下缺点:

(一)人造金刚石聚晶拉线模模孔的表面粗糙度较差,难以抛光成镜面,因此它在拉线过程中造成拉伸阻力比较大,使断线机会相对增多,同时用它拉制的线材表面比较毛糙。

(二)拉伸过程中容易造成缩径现象。其原因大致有:

1. 模孔表面粗糙度差;

2. 模孔拉伸半角太小,定径过长;

3. 聚晶料致密度差。

由于存在以上缺点,所以人造金刚石聚晶拉线模目前还只能用作中间模,而不能作为成品模使用。现在我国有些高等院校和科研单位,正在致力于提高人造金刚石聚晶质量的试验研究,并已初见成效,聚晶块质量的提高和尺寸的扩大是有前途的。

第二节 新设备及新工艺

随着电线电缆工业的发展,对制模的质量和精度提出了新要求。近几年,科研单位和工厂引进了不少制模设备,其中主要有:

一、镶套设备和合金环的配方

镶套设备方面如西德的 DSP—25AT,能自动控制镶套温度和压力及时间,保证镶套质量。

在镶套方面,应用粉末冶金的方法镶合金环。此合金环大大提高了金刚石或聚晶块在拉线过程中的抗张能力,使模

坏不会发生碎裂现象；同时可以减小制模材料的重量，节约贵重的模坯材料，降低成本。

二、激光

激光应用到拉线模制造已经有多年的历史，主要是用来击穿金刚石，特别是人造金刚石聚晶模的穿孔多是采用激光的办法。经激光后的模坯，其中间出现了一个不很规则的圆孔，孔型的加工则要在打孔机上继续进行。

我国引进的激光设备，能使穿孔和成型一起完成。例如瑞典的 D—3507 激光机，由计算机、激光器、电源三部分组成。激光加工时，首先输入编排好的程序，然后进行激光加工，激光加工的过程由计算机控制。激光加工后的模坯，不但有比较规则的圆孔，而且有模孔的形状，下道工序只需研磨和抛光就行了，减少了制模工序。

三、超声波研磨机

在引进的制模设备中，超声波研磨机的型式和数量最多，有英国的、法国的、奥地利的、西班牙的等等。这些设备的共同特点是机电一体化，换能用压电换能器，不用水冷却。

机械结构部分有二种型式：一种是机头能旋转和摆动，另一种是模座能旋转、摇摆和跳动。指示器齐全，有压力、频率、功率指示，并有定时装置。

四、线抛光机

我国引进的线抛光机有单头和双头二种。其中德国和西

班牙的双头线抛光机比较好，模座能转动和上下移动，并能自动走线，根据抛光部位的不同，模座可变换角度，使加工模孔成光滑圆弧连接。

法国的双头线抛光机，模座调节角度很方便，但模座只有转动，不能上下移动，没有自动走线。

五、检测仪器及其他

检测仪器有荷兰、西德、瑞士的，精度为 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 的模孔精度测量仪和万分之一的分析天平。

六、新工艺

拉线模的制造一般都须经过 6~7 道工序。由于采用了先进镀套方法和先进的激光机，使制模工艺也随之更新，使加工道次由原来的 6~7 道减少到 4 道，镀内套可用冷压镀套，提高了制模生产效率和加工拉线模的质量。