

用天然金刚石车刀对有色金属进行精密切削的研究

章 锦 华*

(合肥中国科技大学)

一、前 言

用天然金刚石车刀对有色金属进行精密切削,在仪表工业、国防工业与宇航产品中已广泛应用。这类零件的加工精度及光洁度要求越来越高,但这个领域的研究又是较少。

试验证明:现在研磨出来的天然金刚石车刀有较多的拿到工厂去应用满足不了质量要求。

研磨好的天然金刚石车刀,在使用中又出现碎裂现象,只要出现碎裂,刀具很快用坏,表面光洁度迅速下降,那么碎裂的原因是什么?怎样才能避免碎裂?

用天然金刚石车刀精密切削时切削用量的最佳值如何确定及选取?也没有具体的数据及原则。

长期以来,这些问题得不到解决。每把天然金刚石车刀价值千元,每磨一次刀近200元,而研磨出来的刀不好用,不经用,不但在经济上浪费很大,而且对国防尖端产品的质量影响很大,因此迫切需要解决这些问题。

作者进行了深入研究之后,发现用直线形刀刃加工工件,比用凸形刀刃,凹形刀刃加工工件表面光洁度可以提高2级,并且得出研磨出正确的刀形是精密切削中的关键问题的结论。

作者发现碎裂是天然金刚石车刀独特的损坏规律。碎裂就是解理现象。当切削力作用方向同 $\{111\}$ 晶面平行就要发生解理,因此,设计天然金刚石刀具时,必须使切削力方向不与 $\{111\}$ 面平行。要做到这点,必须知道三个晶面 $\{111\}$, $\{110\}$, $\{100\}$ 的方位。作者提出了采用标准投影图及乌氏网迅速定向的办法。自行设计了一套确定晶面的立体图。这是正确设计金刚石车刀避免碎裂的关键。

通过试验研究提出了确定切削用量的最佳值的原则及具体数据。

上述问题的解决,对提高精密切削水平,是有很大现实意义及科学价值的。

二、各种参数对表面光洁度的影响

为了搞清楚各种参数对表面光洁度的影响,从而确定他们的最佳值,对下列因素进行了研究试验:

1. 切削速度对表面光洁度的影响

根据现有的CGM6125超高精度车床,选择恰当的切削速度,以达到较高的表面光洁度,特做如下试验。

* 本研究工作扫描电镜照片由徐力、陈莉华拍摄、杨宏根、葛健鸣参加了机床操作,潘薇燕拍摄干涉显微镜照片。

$v = 16.8, 20, 31.4, 32, 40, 50, 63, 80, 126.6, 158, 201$ 米/分、

试验条件：机床CGM6125。

工件材料：H62黄铜、

刀具材料：天然金刚石车刀。

切削用量： $f = 0.01$ 毫米/转、 $a_p = 0.005$ 毫米、外圆干切、

试验结果，如图1所示。

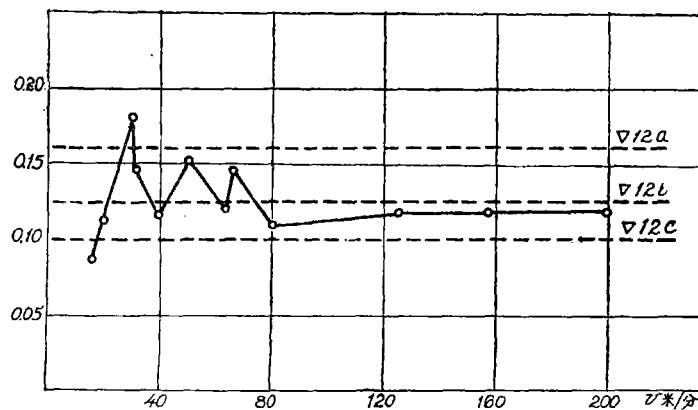


图1 切削速度对表面光洁度的影响

从图1可以看出：切削速度很低或较高时表面光洁度都高。为了提高生产效率，因此应选用较高的切削速度。

同时又在另外一台CGM超高精度车床上做了下列试验： $v = 17.27, 33.7, 34, 43, 67.5, 68, 86.4, 135, 136, 170, 216$ 米/分、试验结果，如图2所示。

从图2可以看出：在 $v = 17$ 及 68 米/分时，表面光洁度最高，切削速度高时表面光洁度反而变差。考虑到生产效率，本机床采用 $v = 68$ 米/分为合适。

从上述试验结果中可以清楚的看出：不同的机床切削速度对表面光洁度影响的规律不同。即使在同一台机床上在光洁度较差的转速范围内波动也很厉害。由此可见，同机床每档转速的平稳性有关。所以在微量切削时选择最佳速度的方法就是把每档速度对光洁度的影响都做一下试验，然后挑选出最佳切削速度。

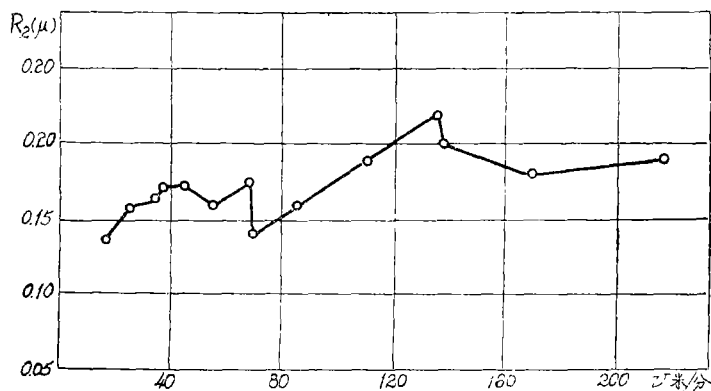


图2 切削速度对表面光洁度的影响

2. 进给量对表面光洁度的影响

为了采用合适的进给量,做了下列试验、

$f = 0.01, 0.02, 0.04, 0.05, 0.10$ (车外园)、

$f = 0.005, 0.01, 0.02, 0.05, 0.10$ (车端面)、

试验条件: 机床CGM6125

刀具材料: 天然金刚石车刀、

工件材料: H62黄铜、

切削用量: $a_p = 0.002$ 毫米、 $v = 68$ 米/分、

试验结果如图3所示。

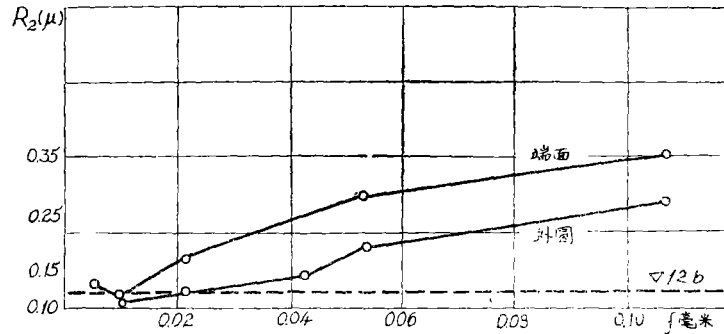


图3 进给量 f 对表面光洁度的影响

从图3可以看出: 进给量 $f = 0.01$ 毫米/转时, 表面光洁度最好, 当 $f < 0.01$ 毫米/转时, 由于爬行等原因, 表面光洁度变差。当 $f > 0.01$ 毫米/转, 进给量越大, 则表面光洁度越低, 这是显而易见的。

3. 切削深度 a_p 对表面光洁度的影响

为了搞清切削深度 a_p 对工件表面光洁度的影响。特做了如下试验:

$a_p = 0.0001, 0.0004, 0.0007, 0.001, 0.003, 0.005, 0.008, 0.01, 0.015, 0.020, 0.025, 0.030, 0.035,$

试验条件: 机床CGM6125

刀具材料: 天然金刚石车刀、

工件材料: H62黄铜、

切削用量: $f = 0.01$ 毫米/转、 $v = 68$ 米/分、

试验结果参看图4、

从图4可以看出: 在 $a_p = 0.0007$ 毫米时, 表面光洁度最好。当 $a_p > 0.0007$ 毫米时, 由于切削力、振动等原因, 当切削深度 a_p 增大, 表面光洁度就变差。而 $a_p < 0.0007$ 毫米时, 表面光洁度同样变差, 这是因为切削量太薄刃口圆弧对加工工件产生挤压, 而不是切削, 因而增加了摩擦及变形, 使表面光洁度变差。

4. 冷却润滑液对表面光洁度的影响

为了搞清楚各种冷却润滑液对表面光洁度的影响, 做了下列试验:

- 1) 混合油 (30% 5# 高速机油 + 70% 航空煤油)、
- 2) 20% 氯化石蜡 + 80% 混合油、
- 3) 20% 氯化石蜡 + 1% 二烷基二硫代磷酸锌 + 79% 混合油、

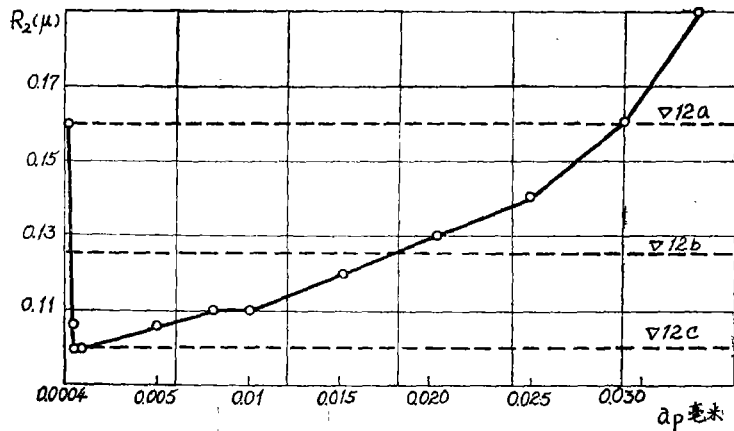


图4 切削深度 a_p 对表面光洁度的影响

4) 30%豆油+70%混合油

试验条件: 机床CGM6125

工件材料: LY12-CZ硬铝、

刀具材料: 天然金刚石车刀

切削用量: $a_p = 0.002$ 毫米、 $f = 0.01$ 转/分、 $v = 63$ 米/分

试验结果如图5所示、

从图5可以看出: 30%豆油+70%混合油效果最好, 20%氯化石蜡+1%二烷基二硫代磷酸锌+79%混合油的效果同它接近。20%氯化石蜡+80%混合油再次, 混合油最差。

我们知道: 冷却润滑液的润滑作用是指减少刀具与工件材料之间的摩擦而言的, 因此冷却润滑液首先必须渗透到接触面上去, 然后在刀面上湿润开来, 还必须牢固地附着在刀面上形成一层膜才能起润滑作用。表面吸附可分为物理吸附及化学吸附两种。那么在精密切削中到底形成物理吸附膜好还是化学吸附膜好, 在物理吸附时是薄膜好还是厚膜好, 从试验结果表明: 由混合油分子形成一层薄膜效果最差。由氯化物形成的化学吸附膜效果较好。加入少量豆油极性分子, 则形成的吸附层越厚越牢, 因此能获得最高的表面光洁度。而由氯化物、硫化物形成的化学膜效果同豆油的极性分子所形成的膜相近。因此, 这种冷却润滑液可以代

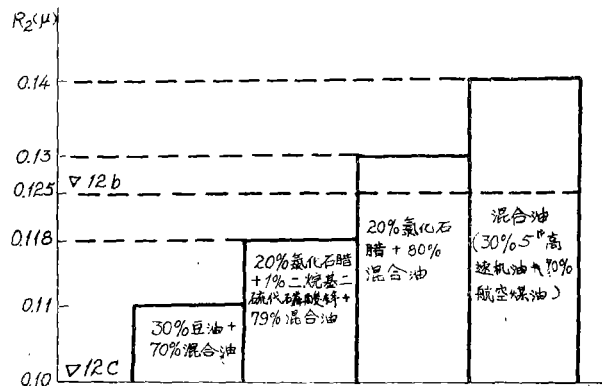


图5 冷却润滑液对表面光洁度的影响

替添加豆油的冷却润滑液。

三、金刚石车刀的刃磨质量对表面光洁度的影响

天然金刚石车刀是用于超精切削的，因此对它的刃磨后的质量要求极高，不但要求有高的光洁度，而且还要求刃口平整，刃口圆弧半径小。

天然金刚石车刀刃磨后，到工厂去应用有的好用，有的不好用，有的切薄能力强，有的切薄能力差究竟什么原故？为此，用扫描电镜对刃磨后的金刚石刀具做了仔细检查。发现刃磨后的金刚石刀具的刀刃存在着下列情况：

1. 锯齿形刀刃 如图6a、图6b是无锯齿形刀刃。



图6a 锯齿形刀刃
(扫描电镜照片放大5000x)

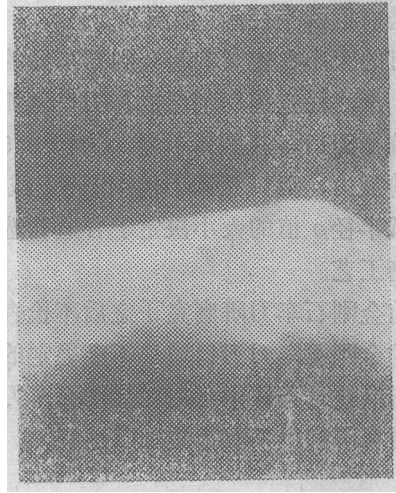


图6b 无锯齿形刀刃
(扫描电镜照片放大5000x)

根据试验表明：锯齿形刀刃同无锯齿形刀刃比表面光洁度要差一级多，这是因为刀刃上的锯齿形复制到工件表面上，从而使工件表面的光洁度变差。

2. 凸形刀刃 如图7所示
3. 凹形刀刃 如图8所示

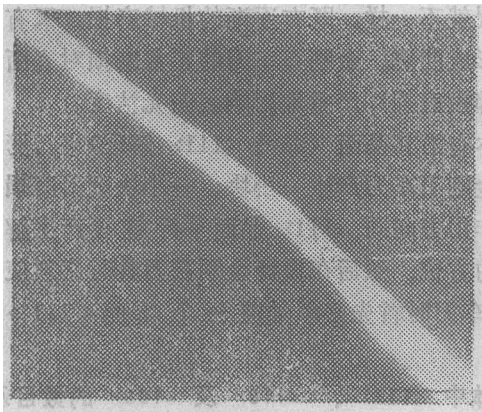


图7 凸形刀刃

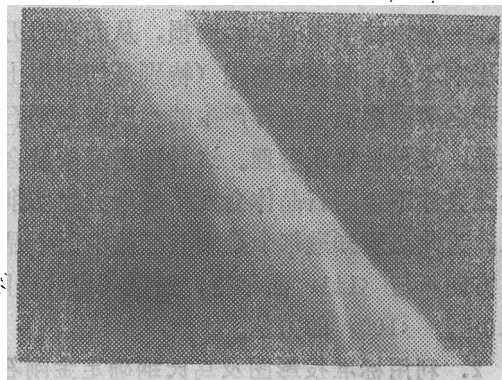


图8 凹形刀刃

为了搞清楚各种形状的刀刃对表面光洁度的影响，特做了下列试验：直线形刀刃、凸形刀刃、凹形刀刃。

试验条件：机床CGM6125超高精度车床。

工件材料：H62黄铜、

切削用量： $a_p = 0.01$ 毫米， $f = 0.01$ 毫米/转、

$v = 68$ 米/分、

由上表所列的数据可知：凹形刀刃、凸形刀刃比直线形刀刃表面光洁度约差2级，为此必须要求研磨后的刀刃平直。

4. 刃口圆弧半径 ρ

理想锐利的刀刃是不存在的，无论刃磨的质量多么好，刃口总是有圆弧半径 ρ ，如图9。

ρ 值的大小直接影响着金刚石车刀的切薄能力。试验结果表明：最小稳定的切削深度与刃口圆弧半径有关。用扫描电镜检查了刃口，其圆弧半径 ρ 值为0.5微米，为了提高刀具的切薄能力，刃口圆弧半径 ρ 值还应减小。

圆弧半径 ρ 值的大小决定于合适的选择金刚石的结晶方向和刃磨工艺。

目前金刚石车刀研磨完了之后不检查刃口质量，所以对于磨完的金刚石车刀刃口质量不能稳定的保证，今后对金刚石车刀研磨技术条件中必须对金刚石车刀刃口质量有所要求，以便在研磨中采取措施加以达到。

试验结果如下表所列：

刀刃形状	达到的表面光洁度
直线形	$\Delta 13 b$
凸形	$\Delta 11 c$
凹形	$\Delta 11 b$

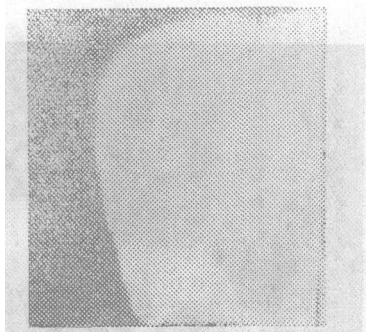


图9 刃口圆弧半径 ρ
(扫描电镜照片放大20000倍)

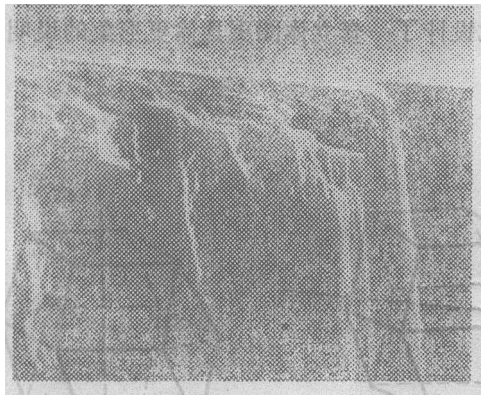
四、金刚石车刀的磨损特点、确定晶面及设计原则

1. 金刚石车刀的磨损特点

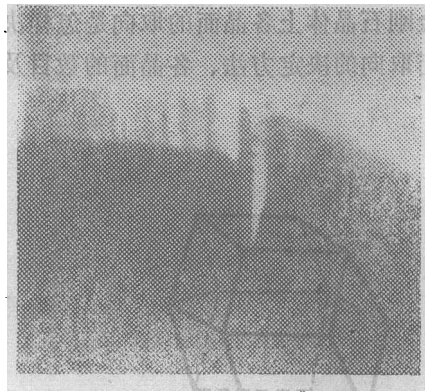
我们知道：一般刀具的磨损规律是初期磨损很快，因为新磨的刀具、刀刃和刀面都还不够平整，所以很快就被磨损了，到了正常磨损阶段，刀具的磨损速度相对减慢，切削过程比较平稳、磨损逐渐增加。急剧磨损阶段、当刀具的磨损值达到一定数值后，由于磨擦加大、切削温度显著增多，导致大幅度磨损。从图10可以清楚的看到：一般刀具是逐渐磨坏的。最后急剧的磨损一大块。但是金刚石车刀的磨损情况就不一样，既有逐渐的机械磨损，又有一小块、一小块掉下来的碎裂磨损，从而在刀刃上形成凹坑。金刚石车刀的正常磨损对表面光洁度影响不大，而碎裂磨损（特别是切削刃上的碎裂磨损）严重地影响表面光洁度。

那么碎裂磨损是怎样产生的？原来金刚石晶体有沿其晶面（即沿 $\langle 111 \rangle$ 解理）平行劈开的性能，这种性能叫解理。这种解理现象就会使金刚石车刀产生一小块、一小块剥落磨损。在什么条件下金刚石晶体会发生解理？当切削力作用方向同 $\langle 111 \rangle$ 晶面平行就要产生解理现象、为此必须知道每个金刚石晶体中三个晶面的方位。然后在设计金刚石刀具时必须使切削力方向不与 $\langle 111 \rangle$ 面平行，所以在设计金刚石车刀时首先必须知道三个晶面 $\langle 111 \rangle$ 、 $\langle 110 \rangle$ 、 $\langle 100 \rangle$ 的方位。

2. 利用标准投影图及乌氏纲确定金刚石晶体中 $\langle 111 \rangle$ 、 $\langle 110 \rangle$ 及 $\langle 100 \rangle$ 的数目及相互位置



a. 天然金刚石车刀的碎裂磨损
(扫描电镜照片放大3100x)



b. 高速钢车刀的磨损情况
(刀具磨损显微照片放大50x)

图10 刀具磨损情况

金刚石晶体的单形有菱形十二面体、八面体及六面体，但我国最常见的是菱形十二面体，所以下面介绍利用标准投影图及乌氏纲确定菱形十二面体中 $\langle 111 \rangle$ 、 $\langle 110 \rangle$ 及 $\langle 100 \rangle$ 的数目及方位。

由于标准投影图是由测量各个晶面法线之间的夹角，并加以投影而制成的。为此在标准投影图上所标出的晶面符号不是代表该晶面的本身，而是代表该晶面的取向。晶面应该同取向垂直。

根据标准投影图可知：菱形十二面体除了由十二个 $\langle 110 \rangle$ 面围成外表面外，还有 $\langle 111 \rangle$ 面 4 个、 $\langle 100 \rangle$ 面 3 个，它们在空间的方位，如图12所示。

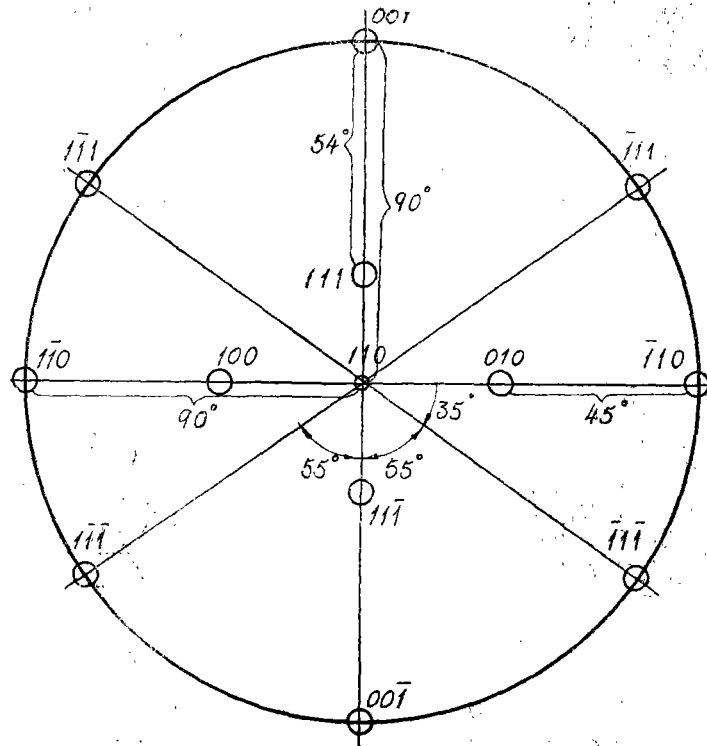


图12 菱形十二面体的标准投影图

利用标准投影图决定了各晶面的取向及其相互位置之后，进一步就应该知道在一颗具体的金刚石晶体上各晶面的取向是怎样决定的。为此设计了一套立体图更具体更形象的说明各晶面取向的决定方法、各晶面的数目及其方位。

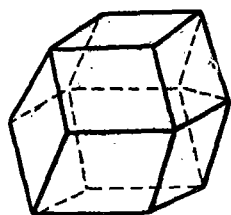


图13 由12个 $\langle 110 \rangle$ 围成的菱形十二面体。

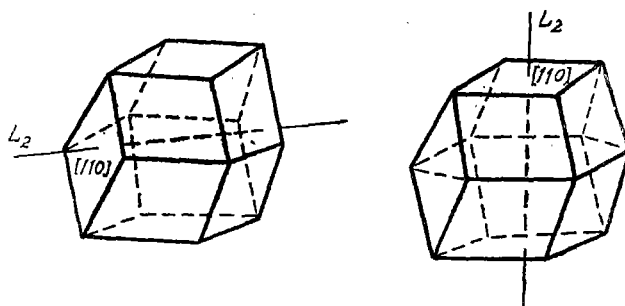


图14 垂直菱形十二面体的外表面的法线方向有2次旋转轴是 $\langle 110 \rangle$ 方向、(即在标准投影图的中心位置110及左右两侧 $110 - \bar{1}10$)

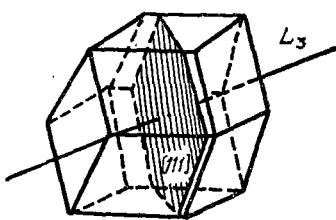


图15 三个面相交的晶顶的连线方向有3次旋转轴是 $\langle 111 \rangle$ 方向、(在标准投影图左前方 $11\bar{1} - \bar{1}11$)

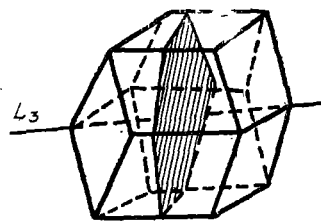


图16 三个面相交的晶顶的连线方向有3次旋转轴是 $\langle 111 \rangle$ 方向(在标准投影图右前方 $\bar{1}11 - 1\bar{1}1$)

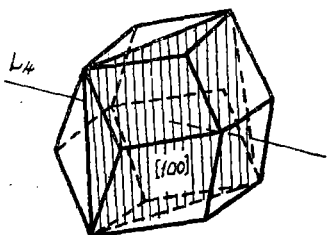


图17 四个面相交晶顶的连线方向有4次旋转轴是 $\langle 100 \rangle$ 方向(在标准投影图中前方 $00\bar{1} - 001$)

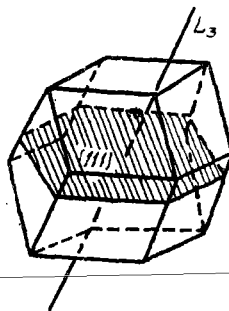


图18 三个面相交的晶顶的连线方向有3次旋转轴是 $\langle 111 \rangle$ 方向(在标准投影图中中前方 $11\bar{1}$)

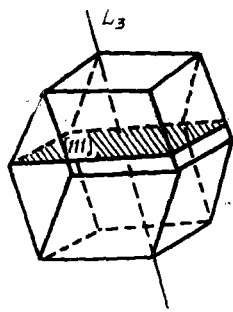


图19 三个面相交的晶顶的连线方向有3次旋转轴是 $\langle 111 \rangle$ 方向、(在标准投影图中,中后方111)

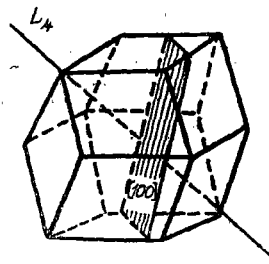


图20 四个面相交晶顶的连线方向有4次旋转轴是 $\langle 100 \rangle$ 方向 (在标准投影图中,左侧中后方111)

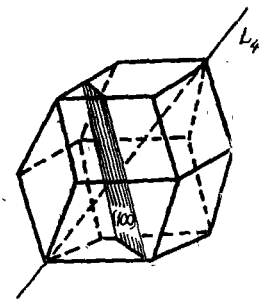


图21 四个面相交晶顶的连线方向有4次旋转轴是 $\langle 100 \rangle$ 方向、(在标准投影图中,右侧)

3. 金刚石晶体各方位的耐磨特性

由于金刚石结构中各个面网及同一个面网各方向的原子数不一样,因此耐磨情况也就不同。

因为 $\langle 111 \rangle$ 密度: $\langle 110 \rangle$ 密度: $\langle 100 \rangle$ 密度 = 2.308:1.414:1

由此可见,最难研磨的是八面体晶面,较难研磨的是菱形十二面体晶面、最易研磨的是六面体晶面。

了解某个晶面按不同方向具有不同的硬度也是很重要的,这对金刚石研磨工有极大的意义。

图22 a 上面表示了立方体晶面的面网图,下面表示了立方体晶面上较容易的研磨方向(用实线表示)和较难的研磨方向(用虚线表示)。

图22 b 上面表示了菱形十二面体的面网图,下面表示了菱形十二面体晶面上较容易的研磨方向(用实线表示)和较难研磨方向(用虚线表示)。

图22 c 上面表示了八面体晶面的面网图及下面表示了八面体晶面上研磨难易方向。

在研磨时可根据车刀放在磨盘上刃磨时产生的声音,从座台受到的振动及研磨速度、找出最佳的刃磨方向。为了找得最佳的研磨方向,所以要经常转动方向试磨。

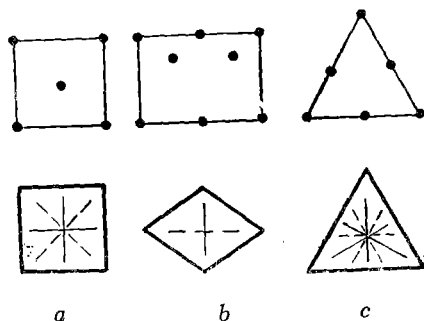


图22 金刚石晶面上的面网及最大和最小硬度方向
a.立方体晶面 b.菱形十二面体晶面
c.八面体晶面

实线表示对研磨最有利方向,
虚线表示较难研磨方向

4. 设计原则及刃磨步骤

1) 设计原则

首先是确定金刚石晶体属于那种形状(八面体、菱形十二面体、立方体)。然后判断出它的解理面。承受切削力的方向不应该

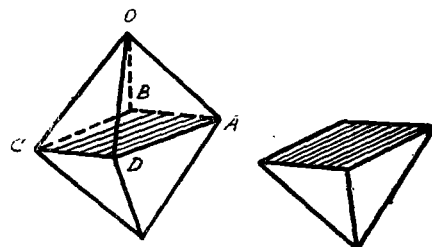


图23 八面体作为车刀时前刀面、刀尖的选择

同解理面平行，因为同解理面平行的面是最容易劈开的平面。

确定出刀尖、前刀面、后刀面及主刀刃的位置，确定这些东西的方位要符合既好磨，而在使用时又耐磨，同时磨成的车刀体积最大的原则。

选用八面晶体来制作车刀时，由于ACD面的面网密度最大，极不易研磨，可选用ABCD面作为车刀的前刀面，A点为刀尖。若将八面晶体从ABCD面劈开，就可以成为两把金刚石刀具，这样可以节约金刚石，如图23所示。

选用菱形十二面晶体来制造金刚石车刀时，应选择ABCDEF面作为车刀的前刀面，但刀尖的位置可以选择P点或A点应根据上述原则妥善选取。

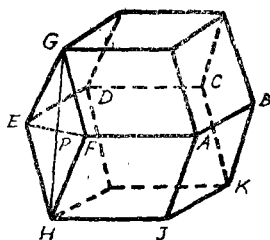


图24 菱形十二面体作为车刀时前刀面、刀尖的选择

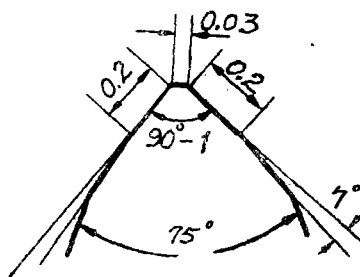


图25 金刚石车刀刀头几何形状

2) 研磨步骤:

现将图25所示的刀形为例说明研磨步骤:

① 拿到金刚石晶体之后首先要显微镜下检查有没有裂纹、包裹体，要没有裂纹才算合格。

② 确定刀尖、刀面、刀刃的位置。

③ 将原始金刚石晶体放在特制的夹具中手工粗磨成形。

④ 刃磨第一个面，因为此时金刚石颗粒小而表面又无规则无法夹持，故需要将颗粒镶在有柄的锡斗中，将锡斗的柄夹在夹具中，然后放在研磨盘上进行研磨。

⑤ 待第一个面磨好后，将锡斗加热熔化，取出金刚石颗粒，把它夹在四爪夹具中，研磨第一个面相对的面。

⑥ 第二个面磨好后，从夹具上取下，将它再装在平面夹具中，研磨与第一个面相垂直的两个面，这样研磨成长方形。

⑦ 先磨一个刃，将要磨的后角调整好，以刀尖为中心，刀刃选在刀尖的两侧。

⑧ 研磨0.2毫米的修光刃。

⑨ 研磨另一个刃，其夹角为75°左右。

⑩ 研磨另外一个0.2毫米刃，同第一个修光刃成90°的夹角。

⑪ 研磨0.03过渡刃。

⑫ 精磨前刀面，以便把毛疵去掉。

刃磨金刚石车刀的磨料是320号金刚石粉与10号机油相拌的混合物，其比例是每二克拉金刚石粉加15毫升的机油。加磨料的方法是用一块牛皮蘸上磨料揩在转动的磨盘上即可。