



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105821361 B

(45)授权公告日 2017.12.05

(21)申请号 201610157060.3

G06F 17/50(2006.01)

(22)申请日 2016.03.18

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105821361 A

CN 101834077 B, 2012.02.01, 全文.  
CN 103602983 A, 2014.02.26, 全文.  
CN 102943189 A, 2013.02.27, 全文.  
JP H04312723 A, 1992.11.04, 全文.  
EP 0846515 A1, 1998.06.10, 全文.

(43)申请公布日 2016.08.03

(73)专利权人 中国科学院力学研究所  
地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

审查员 樊佳欣

(72)发明人 虞钢 张犁天 郑彩云 宁伟健  
何秀丽 李少霞

(74)专利代理机构 北京和信华成知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11390  
代理人 胡剑辉

(51) Int. Cl.  
G22F 3/00(2006.01)

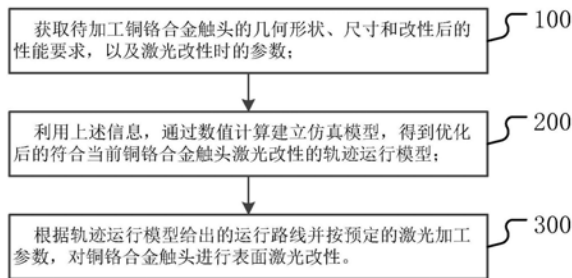
权利要求书2页 说明书5页 附图6页

(54)发明名称

一种调整铜铬合金触头表面激光改性时运动轨迹的方法

(57)摘要

本发明提供了一种调整铜铬合金触头表面激光改性时运动轨迹的方法,包括:步骤100,获取待加工铜铬合金触头的几何形状、尺寸和改性后的性能要求,以及激光改性时的参数;步骤200,利用上述信息,通过数值计算建立仿真模型,得到优化后的符合当前铜铬合金触头激光改性的轨迹运行模型;步骤300,根据轨迹运行模型给出的运行路线并按预定的激光加工参数,对铜铬合金触头进行表面激光改性。本发明的方法可以在激光改性时,使激光在达到改性目的的同时,提高熔池的冷却和移动速度,有效地降低热应力并且降低热应力变化幅度,使激光的能量均匀地作用于铜铬合金触头的表面,降低铜粗糙度和提高平整度,并形成均匀的高性能铜铬合金触头表面细晶层。



1. 一种调整铜铬合金触头表面激光改性时运动轨迹的方法,其特征在于,包括:

步骤100,获取待加工铜铬合金触头的几何形状、尺寸和改性后所述铜铬合金触头的有效改性面积比、平面度、粗糙度、改性层的厚度要求,以及激光改性时的参数;

步骤200,利用上述信息,通过数值计算建立仿真模型,得到优化后的符合当前铜铬合金触头激光改性的轨迹运行模型;所述仿真模型的建立还包括速率变化条件,所述速率变化条件为激光在对所述铜铬合金触头进行表面改性时,根据所述铜铬合金触头中铬的粒度大小而采用的相应改性速度,其中所述铬的粒度越大改性速度越快;

步骤300,根据轨迹运行模型给出的运行路线并按预定的激光加工参数,对铜铬合金触头进行表面激光改性。

2. 根据权利要求1所述的调整铜铬合金触头表面激光改性时运动轨迹的方法,其特征在于,

在所述仿真模型中,在所述铜铬合金触头表面分布有凹槽结构时,将所述铜铬合金触头表面的平面和曲面根据几何和拓扑特征进行区域划分,以使不同区域采用不同的改性速度。

3. 根据权利要求2所述的调整铜铬合金触头表面激光改性时运动轨迹的方法,其特征在于,

经过几何和拓扑特征进行区域划分后的不同区域,利用边界拟合法划分为不同的独立平面,再利用分布估计算法将不同独立平面进行优化组合而形成相应的运行路线。

4. 根据权利要求1所述的调整铜铬合金触头表面激光改性时运动轨迹的方法,其特征在于,

所述轨迹运行模型给出的运行路线包括针对平整表面的水平等间距分隔轨迹和单螺旋轨迹,以及针对带有凹槽表面的复合式轨迹。

5. 根据权利要求4所述的调整铜铬合金触头表面激光改性时运动轨迹的方法,其特征在于,

所述水平等间距分隔轨迹为限定所述激光在改性时,由所述铜铬合金触头的一侧按直线方式顺序绕至相对一侧的路线进行加工;

所述单螺旋轨迹为限定所述激光在改性时,由所述铜铬合金触头的中心向外沿,或由外沿向中心按圆周方式顺序绕至终点的路线进行加工;

所述复合式轨迹避开所述铜铬合金触头表面上的凹槽,将所述铜铬合金触头表面分成相互独立的多个改性区域,并对每一个改性区域规划相应的运行路线。

6. 根据权利要求5所述的调整铜铬合金触头表面激光改性时运动轨迹的方法,其特征在于,

所述单螺旋轨迹进一步分为等间距螺旋轨迹、内松外紧螺旋轨迹和外松内紧螺旋轨迹。

7. 根据权利要求6所述的调整铜铬合金触头表面激光改性时运动轨迹的方法,其特征在于,

当所述铜铬合金触头的改性要求为降低粗糙度时,采用外松内紧螺旋轨迹或水平等间距分隔轨迹;当所述铜铬合金触头的改性要求为提高有效改性面积时,采用等间距螺旋轨迹;当所述铜铬合金触头的改性要求为减少工件平面度时,采用内松外紧螺旋轨迹。

8. 根据权利要求7所述的调整铜铬合金触头表面激光改性时运动轨迹的方法,其特征  
在于,

所述轨迹运行模型中,相邻运行路线之间的间隔与所述铜铬合金触头中铬的粒度大小  
有关,铬的粒度越大相邻运行路线之间的间隔越大。

## 一种调整铜铬合金触头表面激光改性时运动轨迹的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及材料加工领域,特别是涉及一种利用激光对铜铬合金触头表面改性时,规划激光改性路线以提高改性效果的方法。

### 背景技术

[0002] 随着电网容量不断的扩大以及电压等级的不断提高,为了满足电力系统对控制和开关设备在保护方面的苛刻需求,真空开关由于其优良的电学特点在中压领域占据主导地位,并且逐渐渗透到低压和高压领域。其中,真空灭弧室的发展与真空开关的发展紧密相联,真空灭弧室的触头性质是决定灭弧室特性的重要因素之一。铜铬合金触头是现有触头中最为理想的触头,相较其它材质的触头具有更大的分断电流能力和耐电压强度。

[0003] 传统的产生铜铬合金工作层细晶粒的方法包括电弧老炼法、对铜铬合金表面的撞击和退火等方式。这些传统方法一般是对铜铬合金的整个表面进行加工,再切割出需要的触头,其浪费较大,而且这种整体处理的方式带有不可控性,且操作步骤复杂。且不能降低铜铬合金触头工作层的粗糙度,形成在铜铬合金触头表面的工作层的均匀度也较差,此外,对于铜铬合金触头的形变量控制也较差。

[0004] 目前,除利用电弧老炼法,以及对铜铬合金触头表面进行撞击和退火等方式,在铜铬合金触头表面形成细晶层外,还有利用激光直接在铜铬合金触头表面直接改性的方法,激光改性的工艺特点是高功率激光束与铜铬合金相互作用而产生熔池,通过高温使当前改性点的铜铬合金触头表面层细晶粒化。

[0005] 由于铜铬合金触头表面改性点的温度与基体温度之间存在巨大且强烈的温度梯度,会在改性过程中产生很大的热应力,一旦熔池的熔体有回流现象,即改性点的热应力达到材料的极限,易在改性点形成波纹或皱纹,进而在铜铬合金触头表面产生烧蚀、形变、裂纹等缺陷,这些缺陷将严重危害铜铬合金触头的工作性能。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的是要提供一种能够提高激光对铜铬合金触头改性时效果的改性路线规划方法。

[0007] 特别地,本发明提供一种调整铜铬合金触头表面激光改性时运动轨迹的方法,其特征在于,包括:

[0008] 步骤100,获取待加工铜铬合金触头的几何形状、尺寸和改性后的性能要求,以及激光改性时的参数;

[0009] 步骤200,利用上述信息,通过数值计算建立仿真模型,得到优化后的符合当前铜铬合金触头激光改性的轨迹运行模型;

[0010] 步骤300,根据轨迹运行模型给出的运行路线并按预定的激光加工参数,对铜铬合金触头进行表面激光改性。

[0011] 进一步地,步骤100中,所述改性后的性能要求包括:改性后所述铜铬合金触头的

有效改性面积比、平面度、粗糙度和改性层的厚度要求。

[0012] 进一步地,所述仿真模型的建立还包括速率变化条件,所述速率变化条件为激光在对所述铜铬合金触头进行表面改性时,根据所述铜铬合金触头中铬的粒度大小而采用的相应改性速度,其中所述铬的粒度越大改性速度越快。

[0013] 进一步地,在所述仿真模型中,在所述铜铬合金触头表面分布有凹槽结构时,将所述铜铬合金触头表面的平面和曲面根据几何和拓扑特征进行区域划分,以使不同区域采用不同的改性速度。

[0014] 进一步地,经过几何和拓扑特征进行区域划分后的不同区域,利用边界拟合法划分为不同的独立平面,再利用分布估计算法将不同独立平面进行优化组合而形成相应的运行路线。

[0015] 进一步地,所述轨迹运行模型给出的运行路线包括针对平整表面的水平等间距分隔轨迹和单螺旋轨迹,以及针对带有凹槽表面的复合式轨迹。

[0016] 进一步地,所述水平等间距分隔轨迹为限定所述激光在改性时,由所述铜铬合金触头的一侧按直线方式顺序绕至相对一侧的路线进行加工;

[0017] 所述单螺旋轨迹为限定所述激光在改性时,由所述铜铬合金触头的中心向外沿,或由外沿向中心按圆周方式顺序绕至终点的路线进行加工;

[0018] 所述复合式轨迹避开所述铜铬合金触头表面上的凹槽,将所述铜铬合金触头表面分成相互独立的多个改性区域,并对每一个改性区域规划相应的运行路线。

[0019] 进一步地,所述单螺旋轨迹进一步分为等间距螺旋轨迹、内松外紧螺旋轨迹和外松内紧螺旋轨迹。

[0020] 进一步地,当所述铜铬合金触头的改性要求为降低粗糙度时,采用外松内紧螺旋轨迹或水平等间距分隔轨迹;当所述铜铬合金触头的改性要求为提高有效改性面积时,采用等间距螺旋轨迹;当所述铜铬合金触头的改性要求为减少工件平面度时,采用内松外紧螺旋轨迹。

[0021] 进一步地,所述轨迹运行模型中,相邻运行路线之间的间隔与所述铜铬合金触头中铬的粒度大小有关,铬的粒度越大相邻运行路线之间的间隔越大。

[0022] 本发明的方法可以在激光改性时,使激光在达到改性目的的同时,提高熔池的冷却和移动速度,有效地降低热应力并且降低热应力变化幅度,使激光的能量均匀地作用于铜铬合金触头的表面,大大降低铜铬合金触头改性后的表面粗糙度,保持铜铬触头工件的平整度,并形成均匀的高性能铜铬合金触头表面细晶层。本发明的方法操作简单且易于实现工业化,可大大提高生产效率,减少浪费。

## 附图说明

[0023] 图1是根据本发明一个实施例的方法流程示意图;

[0024] 图2是根据本发明一个实施例中水平等间距分隔轨迹的结构示意图;

[0025] 图3是根据本发明一个实施例中等间距螺旋轨迹的结构示意图;

[0026] 图4是根据本发明一个实施例中外松内紧螺旋轨迹的结构示意图;

[0027] 图5是根据本发明一个实施例中内松外紧螺旋轨迹的结构示意图;

[0028] 图6是根据本发明一个实施例中复合式轨迹的结构示意图;

[0029] 图7是图6中一个外部独立区域的运行路线结构示意图；

[0030] 图8是图6中中间圆形区域的运行路线结构示意图。

### 具体实施方式

[0031] 如图1所示,本发明一个实施例的扫描方法一般性地包括如下步骤:

[0032] 步骤100,获取待加工铜铬合金触头的几何形状、尺寸和改性后的性能要求,以及激光改性时的参数。

[0033] 激光改性是利用激光束极快地加热工件表面,以改变材料表面的结构,从而使材料表层的物理、化学、力学性能发生变化,可在减少成本的情况下,发挥出高性能材质的特性。不同需要的铜铬合金触头其对激光表面改性的性能要求也不同,因此,可以针对不同的改性要求,提供一个既能够实现改性目标,又可提高改性性能的改性方式。

[0034] 其中,铜铬合金触头的几何形状一般为圆形,激光改性仅针对其表面层进行,该表面层一般为平面。

[0035] 改性后的铜铬合金触头的表面层性能一般涉及到如下几个参数,表明铜铬合金触头改性面积与未改性面积的有效改性面积比,表面层的改性厚度,改性后表面层的平整度和粗糙度,以及改性后的表面层均匀度。上述参数可以是铜铬合金触头经过激光改性后预期达到的预定值,其影响激光改性时的加工参数,因此在仿真建模时需要提前考虑。

[0036] 步骤200,利用上述信息,通过数值计算建立仿真模型,得到优化后的符合当前铜铬合金触头激光改性的轨迹运行模型。

[0037] 本实施例收集铜铬合金触头的自身参数和改性要求,以及激光加工时的加工参数,在已知条件下,引入各种处理不同情况的计算方法,建立一个综合考虑各种情况后的仿真模型。具体仿真方法可以采用常规的仿真模式。

[0038] 通过仿真模型可以得到一个能够在改性性能和改性效率之间达到平衡的优化后的轨迹运行模型。

[0039] 如图2、3、4、5、6所示,具体的轨迹运行模型可以包括针对不同情况和需求时不同的激光改性运行路线,本实施例中,轨迹运行模型中的运行路线包括针对平整表面的的水平等间距分隔轨迹和单螺旋轨迹,以及针对带有凹槽表面的复合式轨迹。

[0040] 如图2所示,该水平等间距分隔轨迹主要针对表面改性要求一致的铜铬合金触头,其由铜铬合金触头的一侧边开始,通过直线方式等间距的来回移动,最终覆盖完整个表面层后绕至铜铬合金触头的另一侧。

[0041] 而单螺旋轨迹是指:激光改性时的改性点由铜铬合金触头的圆心或外侧边以绕圈的方式,向铜铬合金触头的外侧边或圆心间隔的逐步移动,最终覆盖整个铜铬合金触头的表面层。

[0042] 如图6所示,复合式轨迹可以避开铜铬合金触头表面上的凹槽,将铜铬合金触头表面分成相互独立的多个改性区域,并对每一个改性区域规划相应的运行路线。如图8所示,当改性区域是圆形时,即可采用水平等间距分隔轨迹或单螺旋轨迹,如图7所示,当改性区域是其它不规则形状时,即可针对该形状采用相应的按顺序由其一侧绕至另一侧的任意运动路线,但对应的间隔距离、扫描速度、激光参数等需要事先确定,或由仿真模型给出。

[0043] 在单螺旋轨迹中,根据相邻运行轨道之间的间隔,其又可以细分为:如图3所示的

相邻运行轨道之间的间隔距离相等的等间距螺旋轨迹,如图4所示的外部相邻运行轨道之间的间隔距离小于内部相邻运行轨道之间间隔距离的内松外紧螺旋轨迹,以及如图5所示的外部相邻运行轨道之间的间隔距离大于内部相邻运行轨道之间间隔距离的外松内紧螺旋轨迹。

[0044] 具体选择那一种单螺旋轨迹,由最终需要的铜铬合金触头的性能要求确定,一般的规律如下:

[0045] 当以降低粗糙度为最主要需求时的优选顺序为:复合式轨迹>外松内紧螺旋轨迹>内松外紧螺旋轨迹>等间距螺旋轨迹。

[0046] 当以提高有效改性面积为最主要需求时的优选顺序为:复合式轨迹>等间距螺旋轨迹>水平等间距分隔轨迹>外松内紧螺旋轨迹>内松外紧螺旋轨迹。

[0047] 当以减少工件平面度为主要需求时的优选顺序为:水平等间距分隔轨迹>内松外紧螺旋轨迹>等间距螺旋轨迹>外松内紧螺旋轨迹>复合式轨迹。

[0048] 下面以具体地数值说明选择的相应路线。

[0049] 当铜铬合金触头的性能要求为粗糙度 $1.4\mu\text{m}\leq Ra\leq 1.6\mu\text{m}$ ,有效改性面积97.14~98.28%,工件平面度0.1-0.2mm时,选用水平等间距分隔轨迹。

[0050] 当铜铬合金触头的性能要求为粗糙度 $1.3\mu\text{m}\leq Ra\leq 1.5\mu\text{m}$ ,有效改性面积98.51~99.19%,工件平面度0.3-0.4mm时,选用等间距螺旋轨迹。

[0051] 当铜铬合金触头的性能要求为粗糙度 $1.1\mu\text{m}\leq Ra\leq 1.3\mu\text{m}$ ,有效改性面积95.82~96.45%,工件平面度0.2-0.3mm时,选用内松外紧螺旋轨迹。假设最内圈间距为 $\Delta_i$ ,最外圈

间距为 $\Delta_j$ ,总扫描圈数为N,从内到外,每一圈间距减少 $\Delta d = \frac{\Delta_i - \Delta_j}{N - 1}$ 。

[0052] 当铜铬合金触头的性能要求为粗糙度 $1.0\mu\text{m}\leq Ra\leq 1.2\mu\text{m}$ ,有效改性面积96.43~97.66%,工件平面度0.3-0.4mm时,选用外松内紧螺旋轨迹。假设最内圈间距为 $\Delta_i$ ,最外圈

间距为 $\Delta_j$ ,总扫描圈数为N,从外到内,每一圈间距增加 $\Delta d = \frac{\Delta_j - \Delta_i}{N - 1}$ 。

[0053] 当铜铬合金触头表面分布有凹槽的结构,性能要求为粗糙度 $0.8\mu\text{m}\leq Ra\leq 1.0\mu\text{m}$ ,有效改性面积99.32~99.99%,工件平面度0.4-0.5mm时,选用复合式轨迹。

[0054] 此外,具体的每一种轨迹运行模型中的运行路线,可以分别对应相应的激光改性时的运动速度、功率密度、波长和焦距。

[0055] 在本实施例中虽然包括了步骤100的限定,但在其它的实施例中,也可以利用已经建立好的仿真模型,直接输入待改性的铜铬合金触头参数,而直接得到其改性轨迹优化模型。

[0056] 步骤300,根据轨迹运行模型给出的运行路线并按预定的激光加工参数,对铜铬合金触头进行表面激光改性。

[0057] 按照仿真结果给出的轨迹运行模型对铜铬合金触头表面进行改性,能够按顺序改性铜铬合金触头的工作层,避免改性点重复,提高改性效率。此外,轨迹运行模型能够覆盖需要改性的表面每一处,大大提高改性后的均匀度且降低粗糙度。

[0058] 在本实施例中,在各种改性运行路线中,相邻运行路线之间的间隔与铜铬合金触

头中铬的粒度大小有关,铬的粒度越大相邻运行路线之间的间隔越大。

[0059] 以下给出一个针对具体的铜铬合金触头建立轨迹运行模型的过程:

[0060] 1) 准备熔铸法制备的铜铬合金触头工件,工作区直径为51mm,厚度3mm,在工作区内对称分布有凹槽,凹槽数目为6;

[0061] 2) 对于该触头改性后的性能要求是粗糙度 $0.9 \leq Ra \leq 1.0 \mu m$ ,有效改性面积99.5%,工件平面度0.4-0.5mm;而激光的参数根据选用的激光器类型确定,优选采用光纤式激光器;

[0062] 3) 通过数值模拟计算,计算出在激光作用下此触头的温度场、应力场、形变场,通过调节扫描速度和扫描间距,根据温度梯度最小和形变最小的原则,选取最优的扫描速度和扫描间距,建立相应的仿真模型,得到该触头的轨迹运行模型的运行路线为复合式轨迹;

[0063] 4) 按预定的激光加工参数,根据给出的复合式轨迹对铜铬合金触头进行激光表面改性,得到符合预定工作区性能要求的铜铬合金触头。

[0064] 本实施例能够针对各种不同尺寸、不同外形、不同制备方式生产的铜铬合金触头自动生成激光改性优化轨迹,从而提高铜铬合金触头的激光表面改性效率,保证激光表面改性质量。

[0065] 进一步地,在本发明的另一个实施例中,在建立仿真模型时,考虑一些铜铬合金触头的表面上分布有内凹的凹槽,而激光改性只针对表面一层,并不对凹槽做处理。但是表面与凹槽之间通常通过倒角连接,倒角则需要进行激光改性,由于倒角的表面与铜铬合金触头的表面有一个夹角,此时需要激光在改性时偏移一定的角度,这些结构都会影响最终的改性结果。针对该现象,本实施例在仿真模型中,将铜铬合金触头的表面采用边界拟合法将复杂曲面分割为一个个近似平面的曲面(主要是倒角与铜铬合金触头表面的弧形连接边),再利用分布估计算法对不同独立平面进行优化组合,以适应相应的扫描轨迹,从而形成相应的改性轨迹优化模型。本实施例可以将复杂的曲面触头表面划分为拓扑结构简单的工件面,使得铜铬合金触头表面存在开槽的情况下,节省改性时间。

[0066] 进一步地,在前述实施例的基础上,可以在仿真模型的建立时,加入速率变化条件,该速率变化条件为激光在对铜铬合金触头进行表面改性时,根据铜铬合金触头中铬的粒度大小而采用的相应改性速度。其中铬的粒度越大改性速度越快,因为粒度越大吸热而变化的效率越高,因此,在扫描轨迹已经确定的情况下,可以调整激光改性时的行进速度,从而得到更精确的改性轨迹优化模型。

[0067] 进一步地,在本发明的一个实施例中,根据带有凹槽的铜铬合金触头表面形状,可以按几何和拓扑特征将其表面进行区域划分,使得不同区域的扫描轨迹不同。

[0068] 至此,本领域技术人员应认识到,虽然本文已详尽示出和描述了本发明的多个示例性实施例,但是,在不脱离本发明精神和范围的情况下,仍可根据本发明公开的内容直接确定或推导出符合本发明原理的许多其他变型或修改。因此,本发明的范围应被理解和认定为覆盖了所有这些其他变型或修改。



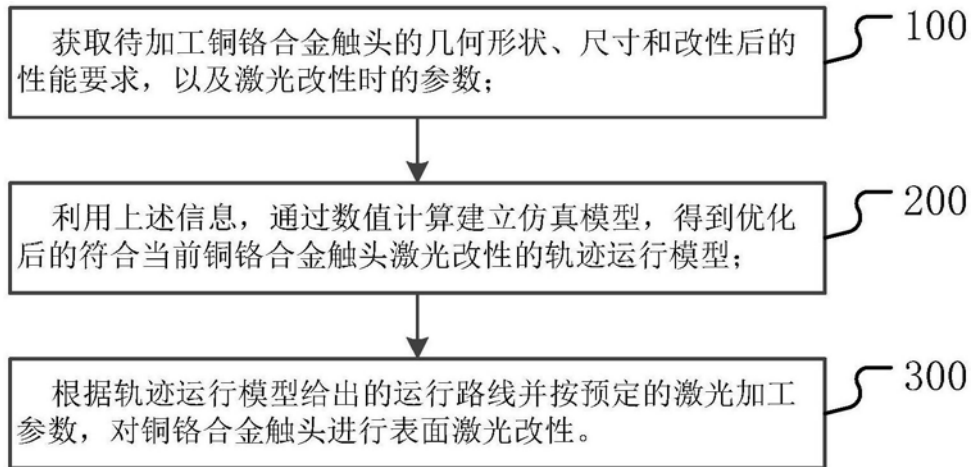


图1

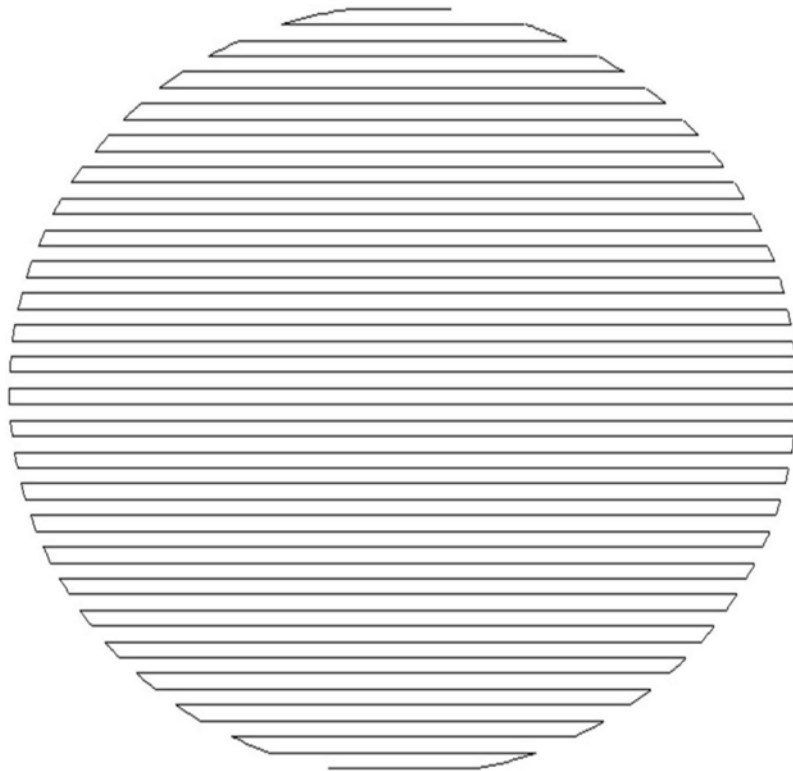


图2

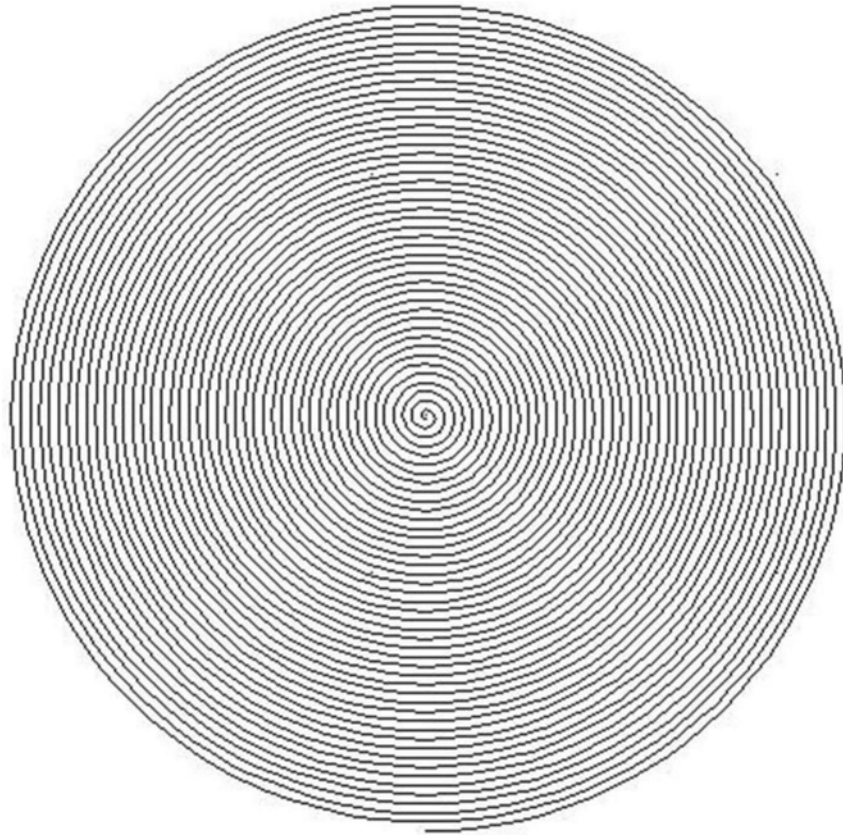


图3

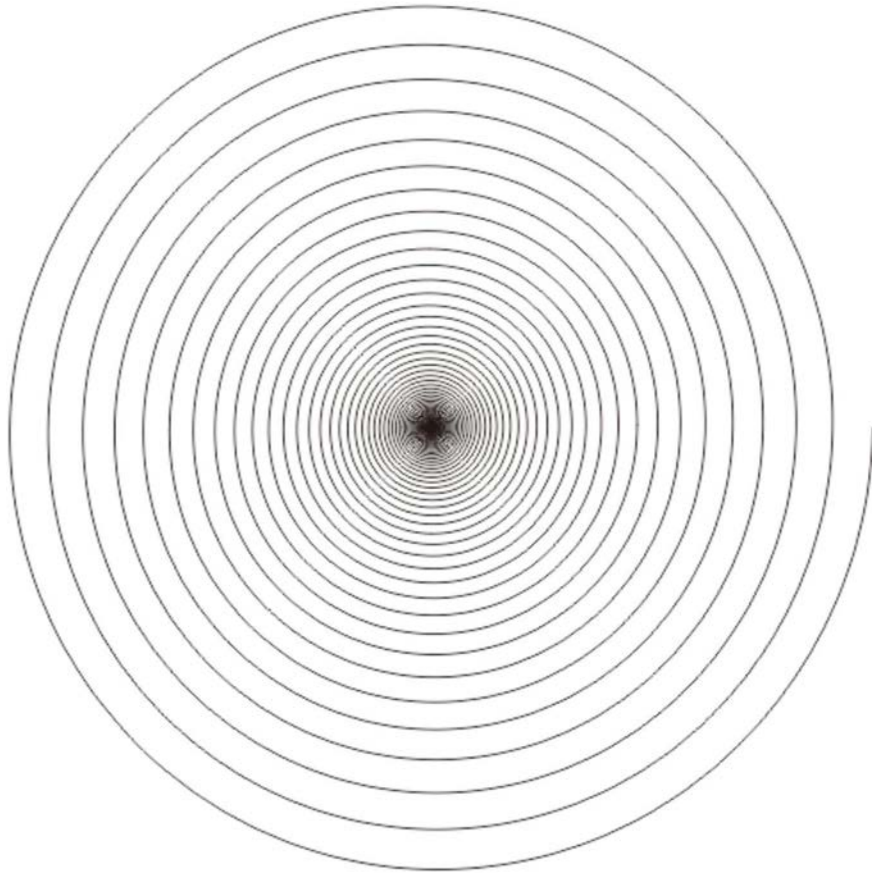


图4

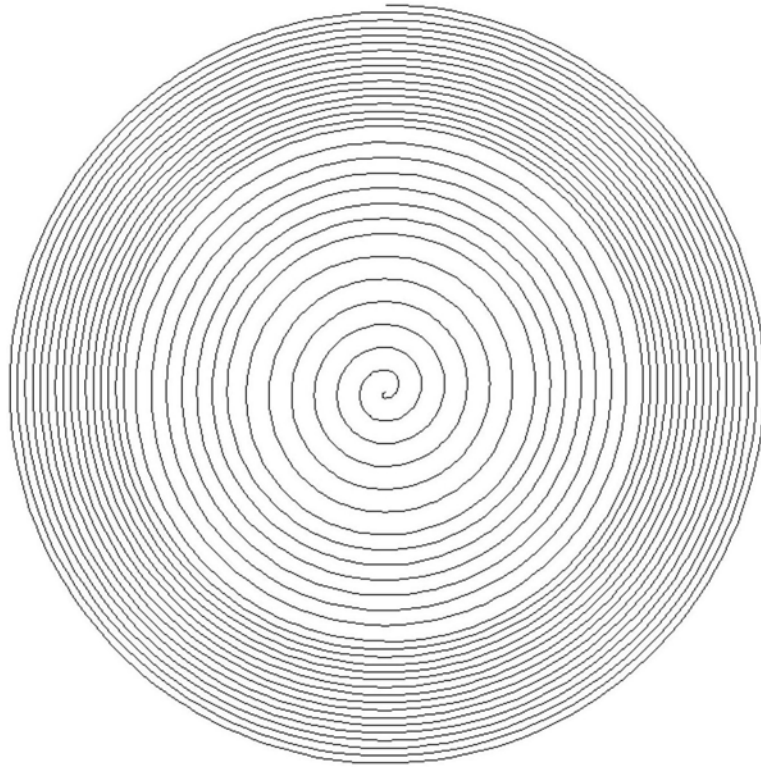


图5

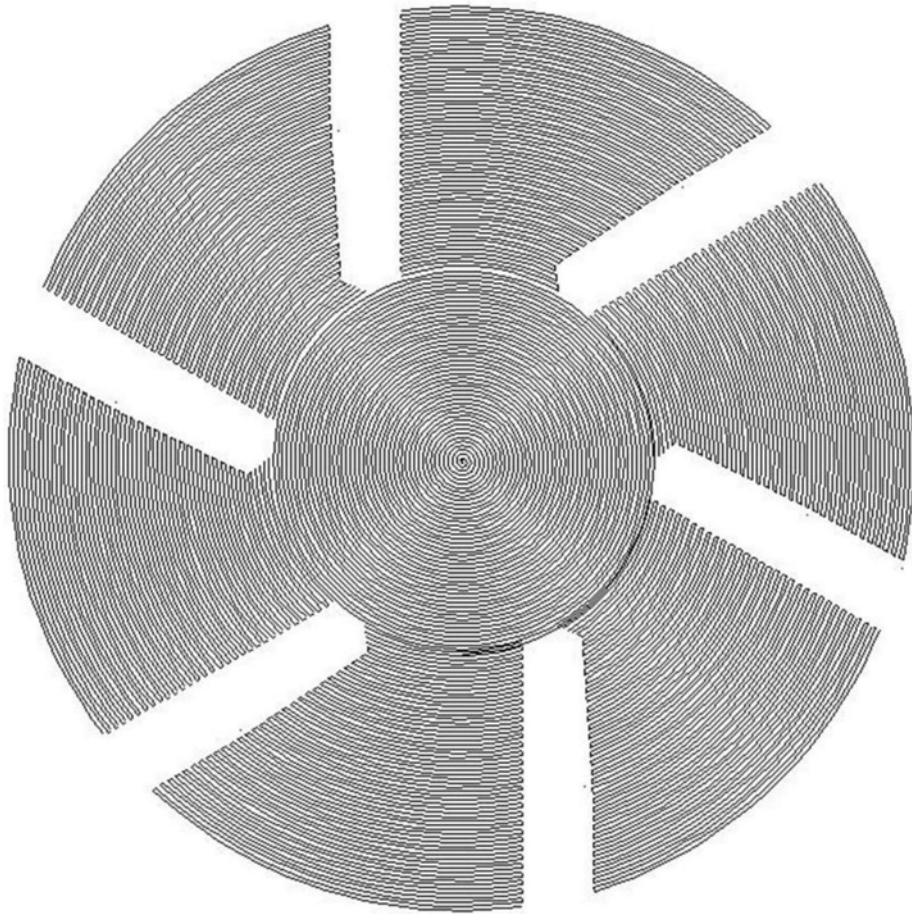


图6

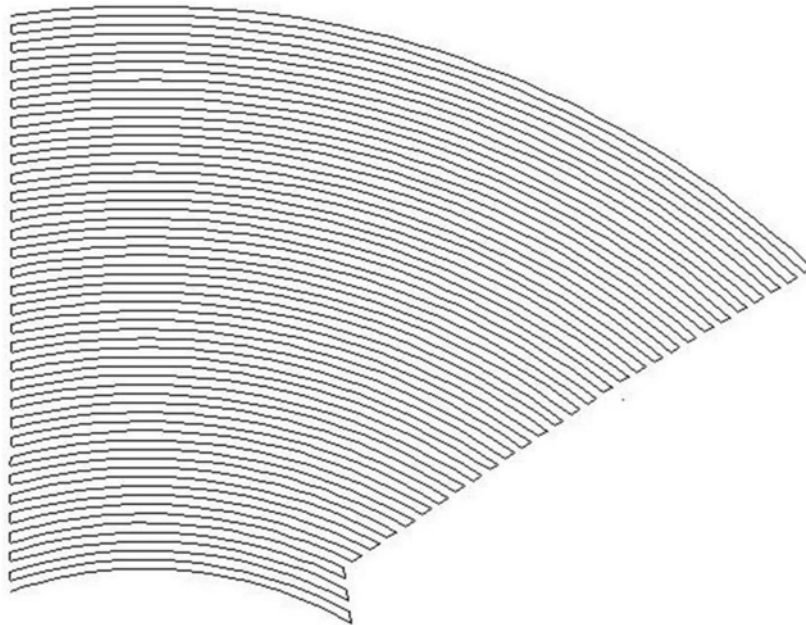


图7

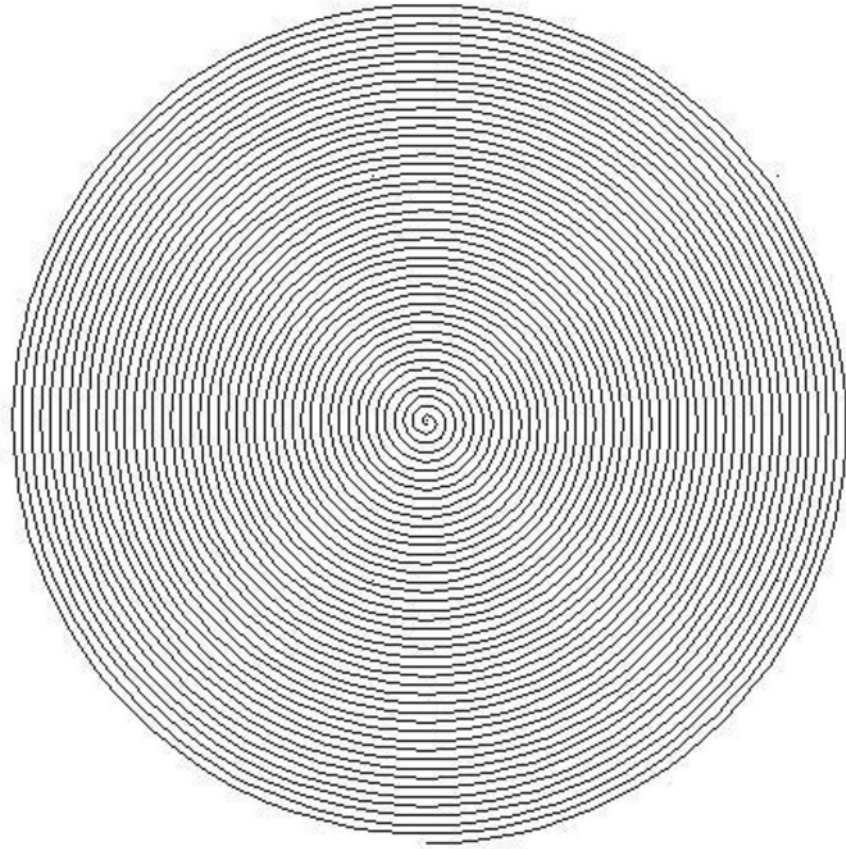


图8