



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109632007 A

(43)申请公布日 2019.04.16

(21)申请号 201910042277.3

(22)申请日 2019.01.17

(71)申请人 北京理工大学

地址 100081 北京市海淀区中关村南大街5号

(72)发明人 朱炜 万富春 吴欢

(51)Int.Cl.

G01D 21/02(2006.01)

G06T 7/136(2017.01)

G06T 7/11(2017.01)

G06T 7/187(2017.01)

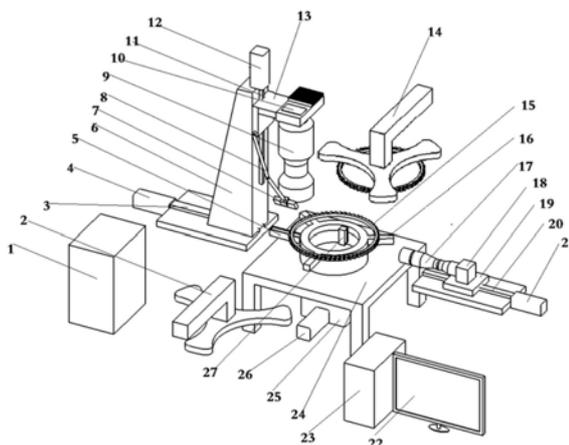
权利要求书2页 说明书11页 附图35页

(54)发明名称

一种边缘点提取方法及齿轮高精度视觉测量系统

(57)摘要

本发明提供了一种边缘点提取方法及齿轮高精度视觉测量系统。本发明的齿轮测量系统包括：第一视觉子系统、第二视觉子系统、服务器和机台子系统，其中所述第一视觉子系统能够沿着所述齿轮的轴线方向获取被测齿轮的第一图像；所述第二视觉子系统能够沿着垂直于所述齿轮的轴线方向获取被测齿轮的第二图像；所述服务器能够对所述第一图像和第二图像进行处理，以测量被测齿轮的外形参数；所述机台子系统能够把被测齿轮送到适合采集图像的指定位置；所述服务器使用本发明的边缘点提取方法提取边缘点。本发明的系统可以方便快捷且准确地进行齿轮视觉测量，提高了测量精度，改善了环境适应性。



1. 一种边缘点提取方法,包括以下步骤:
步骤S1,获取待处理的灰度图像;
步骤S2,对所述灰度图像进行阈值分割,提取感兴趣区域;
步骤S3,对所述感兴趣区域进行开闭运算,并进行连通,选择其中面积最大的区域;
步骤S4,对所述步骤S3选择的区域求最小外接矩形;
步骤S5,在所述最小外接矩形的一侧边界创建测量区域,使得图像中物体的真实边缘位于所述测量区域内;
步骤S6,在所述测量区域内提取边缘点。
2. 根据权利要求1所述的边缘点提取方法,其特征在于,还包括以下步骤:步骤S0,采集原始灰度图像,并将其分割为多个块,取其中的一个块作为待处理的灰度图像。
3. 根据权利要求1或2所述的边缘点提取方法,其特征在于,所述步骤S5中通过绘制测量矩形建立所述测量区域,所述测量矩形基本垂直于所述边界。
4. 根据权利要求1或2所述的边缘点提取方法,其特征在于,所述步骤S6使用亚边缘检测算法提取边缘点。
5. 一种齿轮测量系统,包括第一视觉子系统、第二视觉子系统、服务器和机台子系统,其中
所述第一视觉子系统能够沿着所述齿轮的轴线方向获取被测齿轮的第一图像;
所述第二视觉子系统能够沿着垂直于所述齿轮的轴线方向获取被测齿轮的第二图像;
所述服务器能够对所述第一图像和第二图像进行处理,以测量被测齿轮的外形参数;
所述机台子系统能够把被测齿轮送到适合采集图像的指定位置;
其特征在于,所述服务器使用根据权利要求1-4中任一项所述的边缘点提取方法提取边缘点。
6. 根据权利要求5所述的齿轮测量系统,其特征在于,所述服务器包括:图像采集设备、数据接口、显示设备,并且配置有图像分析处理系统;
所述图像分析处理系统进一步包括:图像拼接模块、第一图像信息处理模块、第二图像信息处理模块、保存子模块、摄像机参数标定子模块,以及参数文件设置与读取子模块。
7. 根据权利要求6所述的齿轮测量系统,其特征在于,所述图像拼接模块能够将所述第一线阵相机采集的图片拼接成完整的齿轮图片;
所述服务器将一整张线扫图片平均分成多份,先暂时丢弃两头的齿,对每一份分别提取边缘点;最后把丢掉的部分拼接起来以后,再提取一次边缘点。
8. 根据权利要求6所述的齿轮测量系统,其特征在于,所述第一图像信息处理模块包括:第一图像采集子模块、第一图像处理与边缘点提取子模块、边缘点极坐标变换子模块、拟合圆子模块、直径和圆跳动子模块、同心度子模块、公法线子模块;
所述第二图像信息处理模块包括:第二图像采集子模块、第二图像处理与边缘点提取子模块、齿宽计算子模块、平面度计算子模块、毛刺计算子模块。
9. 根据权利要求8所述的齿轮测量系统,其特征在于,所述第一图像信息处理模块的第一图像处理与边缘点提取子模块进一步包括:齿顶径的边缘点提取模块、内圆区域边缘点提取模块,公法线的边缘点提取模块、面曲量的区域宽度计算模块和齿根区域边缘点提取模块;

所述齿顶径的边缘点提取模块采用如下步骤提取齿顶径的边缘点：

步骤S11,将采集到的图像进行阈值分割,提取灰度值较小的部分,即暗的部分为感兴趣区域；

步骤S12,进行一次闭运算把感兴趣区域连通；

步骤S13,对所述感兴趣区域进行矩形开运算,矩形参数计算公式如下：

$$\begin{cases} w = (d - d_i) * 1000 / (2p) \\ h < w' * 1000 / p \end{cases}$$

其中:w表示开运算的矩形宽度,单位为像素个数;h表示开运算的矩形高度,单位为像素个数;d表示分度圆直径,单位为毫米;di表示内圆直径,单位为毫米;p表示像元尺寸,单位为微米;w'表示齿厚,单位为毫米;

步骤S14,进行区域连通,得到单个的长条区域,每一个齿对应一个长条区域；

步骤S15,对每一个长条区域求最小外接矩形,然后在最小外接矩形的存在齿顶的侧边缘创建一个测量区域来求取边缘点；

步骤S16,把每一个齿顶处的边缘点汇总。

10.根据权利要求8所述的齿轮测量系统,其特征在于,所述第二图像信息处理模块的图像处理与边缘点提取子模块进一步包括:齿轮厚度上边缘提取模块,以及齿轮厚度下边缘提取模块；

所述齿轮厚度上边缘提取模块采用如下步骤提取齿轮厚度上边缘：

步骤S21,对采集到的齿轮厚度灰度图像进行阈值分割；

步骤S22,提取暗的部分；

步骤S23,求所述步骤S22提取部分最小外接矩形；

步骤S25,以最小外接矩形的左边界绘制测量矩形区域；

步骤S26,利用亚像素边缘检测法提取边缘点；

所述齿轮厚度下边缘提取模块采用如下步骤提取齿轮厚度下边缘：

步骤S31,对采集到的齿轮厚度灰度图像在齿轮下表面固定位置绘制支撑爪的长条矩形；

步骤S32,利用所述长条矩形截取原图获得裁剪图片,并对裁剪后的图片进行阈值分割,提取暗的部分,即是支撑爪；

步骤S33,跳过所述支撑爪,在齿轮下边缘绘制测量区域矩形；

步骤S34,在绘制的测量区域矩形内利用亚像素边缘法提取边缘点。

一种边缘点提取方法及齿轮高精度视觉测量系统

技术领域

[0001] 本发明涉及非接触式工件测量领域,尤其涉及一种齿轮视觉测量系统。

背景技术

[0002] 工业齿轮广泛运用在机械传动中和生产设备中。齿轮的精度影响着机械设备的使用性能和工作寿命。

[0003] 随着市场需求的不断提高,越来越多的企业要求对齿轮进行全检。现有技术中的三坐标的检测精度虽然满足要求,但是检测时间很长,采点少的需要几分钟,全面扫描的需要几十分钟,无法满足全检的要求。传统的齿轮生产完成后通常由人工进行全检,流水线作业工作强度大,工人易受工作环境和心理等因素的影响导致齿轮的测量出现偏差,降低了生产效率。

[0004] 视觉检测是实现生产制造智能化的有效途径,能实现机械产业生产的转型升级。现有技术已经能够运用机器视觉和图像处理的技术到齿轮几何参数检测上,从而实现了非接触测量。

[0005] 申请号为201710968282.8、发明名称为“一种基于机器视觉回转体工件检测方法”的中国发明专利申请公开了一种回转体工件的检测方法,利用500万像素的CMOS面阵相机对回转体工件进行静态拍摄。虽然该发明技术在工件尺寸较小(最大直径小于25mm)、形状规则(如为圆柱型,或为圆环型)、精度要求不高($>0.05\text{mm}$)的情况下具有较好效果,但是对于齿轮这种精度要求很高($<0.02\text{mm}$)、外圈有齿顶齿根、直径范围较大(200mm-350mm)的工件来讲,使得该发明的技术难以实施,这就需要一种环境适应性更强、精度更高的视觉测量技术。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种可以方便快捷且准确的齿轮视觉测量系统,提高测量精度,改善环境适应性。

[0007] 本发明的技术方案如下。

[0008] 本发明一方面提供了一种边缘点提取方法,包括以下步骤:

[0009] 步骤S1,获取待处理的灰度图像;

[0010] 步骤S2,对所述灰度图像进行阈值分割,提取感兴趣区域;

[0011] 步骤S3,对所述感兴趣区域进行开闭运算,并进行连通,选择其中面积最大的区域;

[0012] 步骤S4,对所述步骤S3选择的区域求最小外接矩形;

[0013] 步骤S5,在所述最小外接矩形的一侧边界创建测量区域,使得图像中物体的真实边缘位于所述测量区域内;

[0014] 步骤S6,在所述测量区域内提取边缘点。

[0015] 优选地,所述方法还包括以下步骤:步骤S0,采集原始灰度图像,并将其分割为多

个块,取其中的一个块作为待处理的灰度图像。

[0016] 优选地,所述步骤S5中通过绘制测量矩形建立所述测量区域,所述测量矩形基本垂直于所述边界。

[0017] 优选地,所述步骤S6使用亚边缘检测算法提取边缘点。

[0018] 本发明另一方面提供了一种齿轮测量系统,包括第一视觉子系统、第二视觉子系统、服务器和机台子系统,其中

[0019] 所述第一视觉子系统能够沿着所述齿轮的轴线方向获取被测齿轮的第一图像;

[0020] 所述第二视觉子系统能够沿着垂直于所述齿轮的轴线方向获取被测齿轮的第二图像;

[0021] 所述服务器能够对所述第一图像和第二图像进行处理,以测量被测齿轮的外形参数;

[0022] 所述机台子系统能够把被测齿轮送到适合采集图像的指定位置;

[0023] 其特征在于,所述服务器使用根据以上技术方案中任一项所述的边缘点提取方法提取边缘点。

[0024] 优选地,所述服务器包括:图像采集设备、数据接口、显示设备,并且配置有图像分析处理系统;

[0025] 所述图像分析处理系统进一步包括:图像拼接模块、第一图像信息处理模块、第二图像信息处理模块、保存子模块、摄像机参数标定子模块,以及参数文件设置与读取子模块。

[0026] 优选地,所述图像拼接模块能够将所述第一线阵相机采集的图片拼接成完整的齿轮图片;

[0027] 所述服务器将一整张线扫图片平均分成多份,先暂时丢弃两头的齿,对每一份分别提取边缘点;最后把丢掉的部分拼接起来以后,再提取一次边缘点。

[0028] 优选地,所述第一图像信息处理模块包括:第一图像采集子模块、第一图像处理与边缘点提取子模块、边缘点极坐标变换子模块、拟合圆子模块、直径和圆跳动子模块、同心度子模块、公法线子模块;

[0029] 所述第二图像信息处理模块包括:第二图像采集子模块、第二图像处理与边缘点提取子模块、齿宽计算子模块、平面度计算子模块、毛刺计算子模块。

[0030] 优选地,所述第一图像信息处理模块的第一图像处理与边缘点提取子模块进一步包括:齿顶径的边缘点提取模块、内圆区域边缘点提取模块,公法线的边缘点提取模块、面曲量的区域宽度计算模块和齿根区域边缘点提取模块;

[0031] 所述齿顶径的边缘点提取模块采用如下步骤提取齿顶径的边缘点:

[0032] 步骤S11,将采集到的图像进行阈值分割,提取灰度值较小的部分,即暗的部分为感兴趣区域;

[0033] 步骤S12,进行一次闭运算把感兴趣区域连通;

[0034] 步骤S13,对所述感兴趣区域进行矩形开运算,矩形参数计算公式如下:

$$[0035] \begin{cases} w = (d - d_i) * 1000 / (2p) \\ h < w' * 1000 / p \end{cases}$$

[0036] 其中:w表示开运算的矩形宽度,单位为像素个数;h表示开运算的矩形高度,单位

为像素个数; d 表示分度圆直径,单位为毫米; d_i 表示内圆直径,单位为毫米; p 表示像元尺寸,单位为微米; w' 表示齿厚,单位为毫米;

[0037] 步骤S14,进行区域连通,得到单个的长条区域,每一个齿对应一个长条区域;

[0038] 步骤S15,对每一个长条区域求最小外接矩形,然后在最小外接矩形的存在齿顶的侧边缘创建一个测量区域来求取边缘点;

[0039] 步骤S16,把每一个齿顶处的边缘点汇总。

[0040] 优选地,所述第二图像信息处理模块的图像处理与边缘点提取子模块进一步包括:齿轮厚度上边缘提取模块,以及齿轮厚度下边缘提取模块;

[0041] 所述齿轮厚度上边缘提取模块采用如下步骤提取齿轮厚度上边缘:

[0042] 步骤S21,对采集到的齿轮厚度灰度图像进行阈值分割;

[0043] 步骤S22,提取暗的部分;

[0044] 步骤S23,求所述步骤S22提取部分最小外接矩形;

[0045] 步骤S25,以最小外接矩形的左边界绘制测量矩形区域;

[0046] 步骤S26,利用亚像素边缘检测法提取边缘点;

[0047] 齿轮厚度下边缘提取模块采用如下步骤提取齿轮厚度下边缘:

[0048] 步骤S31,对采集到的齿轮厚度灰度图像在齿轮下表面固定位置绘制支撑爪的长条矩形;

[0049] 步骤S32,利用所述长条矩形截取原图获得裁剪图片,并对裁剪后的图片进行阈值分割,提取暗的部分,即是支撑爪;

[0050] 步骤S33,跳过所述支撑爪,在齿轮下边缘绘制测量区域矩形;

[0051] 步骤S34,在绘制的测量区域矩形内利用亚像素边缘法提取边缘点。

[0052] 通过以上技术方案,本发明能够在线快速测量齿轮参数。本发明可以一次同时检测11个齿轮参数,包括:内径、齿底径、齿顶径、内径圆跳动、齿顶径圆跳动、同心度、公法线、面曲量(齿侧倒角宽)、齿轮厚度、平面度,以及毛刺。而且本发明对于同一个齿轮的内径和齿顶径的重复检测精度可以达到0.005mm,视觉测量结果与三坐标的测量结果相比误差小于0.02mm,满足精度要求。

附图说明

[0053] 图1是本发明的系统结构示意图;

[0054] 图2是图1中的一细节部位展示图;

[0055] 图3是对灰度图水平分割并提取齿轮部分示意图;

[0056] 图4是对图3中提取的齿轮部分建立测量区域示意图;

[0057] 图5是对图4中建立的测量区域提取边缘点示意图;

[0058] 图6是对灰度图阈值分割并提取齿轮部分示意图

[0059] 图7是对图6中提取的齿轮部分开运算示意图;

[0060] 图8是对图7中开运算结果建立测量区域示意图;

[0061] 图9是对图8中的测量区域求取边缘点示意图;

[0062] 图10是对图7开运算结果绘制齿侧上边缘矩形测量区域示意图;

[0063] 图11是对图10的矩形测量区域提取边缘点示意图;

- [0064] 图12是对图7开运算结果绘制齿侧下边缘矩形测量区域示意图；
- [0065] 图13是对图12的测量区域提取边缘点示意图；
- [0066] 图14是对图7开运算结果绘制齿侧上方倒角矩形测量区域示意图；
- [0067] 图15是对图14的矩形测量区域阈值分割示意图；
- [0068] 图16是对图15分割的区域测量曲面量示意图；
- [0069] 图17是对采集到的图像提取齿轮部分示意图；
- [0070] 图18是对原图按照图17获得最小外接矩形裁剪矩形区域示意图；
- [0071] 图19是对提取的齿轮部分开运算结果示意图；
- [0072] 图20是对图19的开运算结果创建测量区域示意图；
- [0073] 图21是对图20的测量区域求取吃根区域边缘点示意图；
- [0074] 图22a、22b、22c是对图像拼接之后再次提取边缘点示意图；
- [0075] 图23是对拟合圆求直径示意图；
- [0076] 图24是对拟合圆求同心度示意图；
- [0077] 图25是齿组合求公法线长度示意图；
- [0078] 图26是对齿轮厚度灰度图像阈值分割示意图；
- [0079] 图27是对图26分割的结果绘制矩形测量区域示意图；
- [0080] 图28是对图27绘制的区域提取边缘点示意图；
- [0081] 图29是对齿轮厚度灰度图像绘制支撑爪长条矩形示意图；
- [0082] 图30是对原图按照图29的矩形提取支撑爪示意图；
- [0083] 图31是在齿轮下边缘绘制测量区域矩形示意图；
- [0084] 图32是对图31的区域矩形内提取边缘点示意图；
- [0085] 图33是对齿轮厚度灰度图像提取齿轮区域开运算示意图；
- [0086] 图34是对图33的开运算结果进行一次膨胀示意图；
- [0087] 图35是图像边缘带图像；
- [0088] 图36是齿轮边界处毛刺图像阈值分割示意图；
- [0089] 图37是对图36横向腐蚀得到离散毛刺示意图；
- [0090] 图38a、38b是第一和第二图像信息处理模块处理结果示意图；
- [0091] 图39a、39b是第一和第二图像信息处理模块参数输入示意图；
- [0092] 图40是第一图像信息处理模块结果显示示意图；
- [0093] 图41是第二图像信息处理模块结果显示示意图。
- [0094] 图中各附图标记的含义如下。
- [0095] 1PLC控制器、2下料爪盘、3第一滚珠丝杠、4第一伺服电机、5第一条形背光源、6第一水平滑块、7线扫光源、8魔术师、9第一双远心镜头、10第一线阵相机、11第二滚珠丝杠、12第二伺服电机、13竖直滑块、14上料爪盘、15齿轮、16透明转盘、17第二双远心镜头、18第二线阵相机、19第二水平滑块、20第三滚珠丝杠、21第三伺服电机、22显示器、23服务器、24机台、25减速器、26第四伺服电机、27第二条形背光源。

具体实施方式

- [0096] 如图1所示,根据本发明的一种齿轮高精度测量系统,包括第一视觉子系统、第二

视觉子系统、服务器和机台子系统四部分。

[0097] 机台子系统能够把待测的齿轮送到指定位置。所述机台子系统将齿轮15送到指定位置后,能够通知所述服务器23,进一步地所述服务器23能够通知第一视觉子系统和第二视觉子系统开始采集照片。所述第一视觉子系统和所述第二视觉子系统采集完成后,所述机台子系统更换下一个齿轮15,同时所述服务器开始对所述第一视觉子系统和所述第二视觉子系统拍摄的齿轮照片进行处理,处理完成后保存结果并且显示在显示屏22上。

[0098] 在一优选的实施方式中,所述第一视觉子系统包括:第一线阵相机10,第一双远心镜头9,魔术师8,线扫光源7、第一条形背光源5。

[0099] 所述第一线阵相机10的线状采集视野经过所述机台子系统的机台24中轴线。所述第一双远心镜头9距离待测齿轮15上表面的距离被设置为其镜头物距,并且第一线阵相机10的线状采集视野能够覆盖待测的最小内径齿轮到最大外径的齿轮15。所述第一线阵相机10通过竖直滑块13安装在第一水平滑块6上。若一次无法完全覆盖,则通过移动第一水平滑块6,调整第一线阵相机10的视野位置,以实现完全覆盖。

[0100] 第一条形背光源5放在转台上固定连接,并且设置在转台中轴线上,与第一线阵相机10的采集缝重合。为了使光线全部进入第一线阵相机10的视野,第一条形背光源5被设置为具有特定的长度,以使得第一线阵相机10的位置在一定范围内变动的情况下,第一条形背光源5仍然能够完全覆盖第一线阵相机10的视野。

[0101] 线扫光源7被魔术师8夹持着,并且倾斜一定角度,使光线正好落在齿轮15上表面中轴线上。由此可以使线扫光源7被反射的光最大限度的进入第一线阵相机10的视野。

[0102] 线扫光源7从背着倒角对的方向打过去,如图2所示,在第一线阵相机10下方,倒角在右侧,所以线扫光源7从左侧倾斜打入。这样设置的目的是尽量使线扫光源7打在倒角上的光反射不到第一线阵相机10的视野里面,从而使拍摄的图像灰度值拉开差异:背景最亮(第一条形背光源5直射)、齿轮15上表面次之(线扫光源7最大限度反射)、倒角最暗(线扫光源7最下限度反射)。

[0103] 所述第二视觉子系统包括:第二线阵相机18、第二双远心镜头17、第二条形背光源27。

[0104] 所示第二线阵相机18固定安装在第二水平滑块19上,并且与所述第二水平滑块19一起经过透明转盘16中轴线。

[0105] 第二条形背光源27固定安装在机台24上,并且设置在透明转盘16的中轴线上,正对第二线阵相机18的视野,完全覆盖第二线阵相机18的视野采集区域。第二条形背光源27的下表面安装位置低于台面。

[0106] 所述服务器23包括:图像采集卡、以太网接口、显示器22,并且配置有图像分析处理系统。

[0107] 所述机台子系统包括:PLC控制器1、第一伺服电机4、第二伺服电机12、第三伺服电机21、第四伺服电机26、第一滚珠丝杠3、第二滚珠丝杠11、第三滚珠丝杠20、上料爪盘14、下料爪盘2、透明转盘16。

[0108] PLC控制器1能够将启动信号经过以太网接口发送给服务器23,服务器23通知第一视觉子系统的第一线阵相机10和第二视觉子系统的第二线阵相机18开始拍摄照片。

[0109] 所述第一伺服电机4能够驱动第一水平滑块6在水平方向滑动。所述第二伺服电机

12能够驱动竖直滑块13在竖直方向滑动。所述第三伺服电机21能够驱动第二水平滑块19在水平方向滑动。所述第四伺服电机26能够驱动所述透明转盘16转动。

[0110] 第一视觉子系统的第一线阵相机10将采集到的图片经过图像采集卡送给所述第一图像信息处理模块,第二视觉子系统的第二线阵相机18将采集到的图片经过图像采集卡送给第二图像信息处理模块。二者都完成以后通过以太网接口通知PLC控制器1下料,并且更换下一个齿轮15等待下一次测量。

[0111] 第一图像信息处理模块和第二图像信息处理模块将处理结果保存下来并且发送给显示屏22上。

[0112] 系统启动后,如果测试成功和齿轮选型完成,PLC控制器1首先控制第一伺服电机4、第二伺服电机12和第三伺服电机21运动到该齿轮型号下记录的各伺服电机的指定位置处,而且关机之前不再移动位置,等待测量,以免需要重新标定。

[0113] 开始测量后,PLC控制器1控制上料爪盘14将齿轮15送至测量区域,即透明转盘16上,然后启动第四伺服电机26。第四伺服电机26通过变速器带动透明转盘16转动,透明转盘16转速稳定后,PLC控制器1通过以太网接口将启动测量信号发送给服务器23。

[0114] 在一优选的实施方式中,所述图像分析处理系统包括:图像拼接模块、第一图像信息处理模块、第二图像信息处理模块、保存子模块、摄像机参数标定子模块,以及参数文件设置与读取子模块。

[0115] 所述图像拼接模块能够将所述第一线阵相机10采集的图片拼接成完整的齿轮图片。由于第一线阵相机10采集图片是一行一行堆积的,当相机分辨率特别高的时候,采集一整圈齿轮的照片会特别大。为了提高软件运行速度,本发明将一整张线扫图片平均分成多份,对每一份分别提取边缘点。但是,这样会导致一个问题,就是在照片分解处,可能会有有的齿被一分为二,此时无法进行边缘点的准确提取。因此,在一优选的实施方式中,在提取边缘点的时候先暂时丢弃两头的齿,在最后会把丢掉的部分拼接起来以后,再提取一次边缘点,如图22a、图22b和图22c所示。

[0116] 所述第一图像信息处理模块包括:第一图像采集子模块、第一图像处理与边缘点提取子模块、边缘点极坐标变换子模块、拟合圆子模块、直径和圆跳动子模块、同心度子模块、公法线子模块。

[0117] 所述第二图像信息处理模块包括:第二图像采集子模块、第二图像处理与边缘点提取子模块、齿宽计算子模块、平面度计算子模块、毛刺计算子模块。

[0118] 所述第一图像信息处理模块和第二图像信息处理模块的第一图像采集子模块和第二图像采集子模块能够将图像采集卡采集到的图片保存在内存中,准备处理。

[0119] 特别地,所述第一图像信息处理模块的第一图像处理与边缘点提取子模块还包括内圆区域边缘点提取模块,齿顶径的边缘点提取模块、公法线的边缘点提取模块、面曲量的区域宽度计算模块和齿根区域边缘点提取模块。

[0120] 所述内圆区域边缘点提取模块采用如下步骤提取内圆区域边缘点。

[0121] 首先,将采集到的灰度图进行水平分割成 n 段($n < \text{图片高度} / \text{测量算子步距}$),如图3所示。

[0122] 利用循环语句,对每一块分割后的图像阈值分割,提取低灰度值部分(因为齿轮比背景要暗的多),如图3所示。

[0123] 对提取到的区域进行开闭运算,并进行连通,选择其中面积最大的区域(即齿轮部分),对提取到的齿轮区域求最小外接矩形,然后在最小外接矩形的左侧边缘创建一个测量区域来求取边缘,如图4所示。

[0124] 把每一块图像上左边计量模型获取的边缘点汇总起来,结束循环。

[0125] 创建一个测量区域,即绘制一个测量矩形,测量矩形近似垂直于边界,起止点坐标和宽度人为给定。使得图像中物体的真实边缘位于所谓的测量区域内,然后在所绘制的测量区域内使用亚边缘检测算法提取边缘点,如图5所示。

[0126] 所述齿顶径的边缘点提取模块采用如下步骤提取齿顶径的边缘点。

[0127] 首先将采集到的图像进行阈值分割,提取灰度值较小的部分(即暗的部分)为感兴趣区域即齿轮部分,然后进行一次闭运算把齿轮区域连通一下,如图6所示。对提取到的感兴趣区域进行矩形开运算,矩形参数计算公式如下:

$$[0128] \quad \begin{cases} w = (d - d_i) * 1000 / (2p) \\ h < w' * 1000 / p \end{cases}$$

[0129] 其中:w表示开运算的矩形宽度,单位为像素个数;h表示开运算的矩形高度,单位为像素个数;d表示分度圆直径,单位为毫米;d_i表示内圆直径,单位为毫米;p表示像元尺寸,单位为微米;w'表示齿厚,单位为毫米。

[0130] 对目标区域进行开运算,结果如图7所示。

[0131] 然后,进行区域连通,得到单个的长条区域,每一个齿对应一个长条区域,再通过循环语句,对每一个长条区域求最小外接矩形,然后在最小外接矩形的右侧边缘创建一个测量区域来求取边缘点,如图8所示。提取边缘点的结果如图9所示。

[0132] 最后,把每一个齿顶处的边缘点汇总,并结束循环。

[0133] 所述公法线的边缘点提取模块采用如下步骤提取公法线的边缘点。

[0134] 步骤i,提取上方齿侧边缘。根据齿顶径边缘提取过程中的齿顶开运算得到的每一个长条区域的最小外接矩形,绘制提取齿侧上边缘的矩形测量区域,如图10所示。矩形参数计算公式如下

$$[0135] \quad \begin{cases} col_0 = col_2 - (d_a - d) * 1000 / (2p) \\ row_0 = row_1 \\ w_1 = m * 1000 / p \\ h_1 < w' \end{cases}$$

[0136] 其中:col₀为矩形测量区域的列坐标;row₀为矩形测量区域的行坐标;col₂为长条区域最小外接矩形的右下方角点的列坐标;row₁为长条区域最小外接矩形的左上方角点的行坐标;d_a为齿顶径,单位为毫米;w₁为矩形宽度,单位为像素个数;m为模数,单位为毫米;h₁为矩形高度。

[0137] 对测量矩形内使用亚像素边缘检测算子提取边缘点结果,如图11所示。

[0138] 步骤ii,提取下方齿侧边缘。这一提取过程和上方边缘提取同理,二者关于齿顶中轴线对称,如图12和图11所示。

[0139] 四、面曲量的区域宽度提取具体步骤如下:与公法线操作一样,同样是根据上一步齿顶开运算之后得到的每一个长条区域的最小外接矩形,绘制提取齿侧上方倒角处的矩形

区域,如图14。然后在原图中裁剪该矩形区域,并阈值分割,分割出最暗的区域,如图15,也就是倒角,然后求该倒角的最小外接平行四边形,如图16,即可求出该倒角的宽度,工业上称之为面曲量。

[0140] 五、齿根区域边缘点提取具体是指,首先将采集到的图像进行阈值分割,提取灰度值较小的部分(即暗的部分)为感兴趣区域即齿轮部分,然后进行一次闭运算把齿轮区域连通一下,如图6所示。然后求其最小外接矩形,从原图中以最小外接矩形为基准裁剪一个矩形区域的图像,如图17所示。其中,裁剪的矩形区域的右边界比齿轮最小外接矩形的右边界向右偏 $2m$,即两个模数,偏离的像素个数为 $2m*100/p$ 。然后对裁剪后的图像进行阈值分割,提取背景,即亮的灰度区域。如图18所示。对提取到的感兴趣区域进行矩形开运算,矩形参数计算公式如下:

$$[0141] \quad \begin{cases} w_1 = 3m * 1000 / p \\ h_1 < w' * 1000 / p \end{cases}$$

[0142] 其中: w_1 表示开运算的矩形宽度,单位为像素个数; h_1 表示开运算的矩形高度,单位为像素个数。

[0143] 开运算结果如图19所示。然后像齿顶处一样,进行区域连通,得到单个的长条区域,每一个齿对应一个长条区域,再通过循环语句,对每一个长条区域求最小外接矩形,然后在最小外接矩形的左侧边缘创建一个测量区域,如图20所示。在测量区域求取边缘点,边缘点提取结果如图21所示。最后把每一个齿根处的边缘点汇总,并结束循环。

[0144] 所述第一图像信息处理模块的边缘点极坐标变换子模块,对提取到的内圆、齿顶圆、齿根圆上的点以行坐标从小到大进行排序,排序后再进行极坐标变换,极坐标变换公式如下。

$$[0145] \quad \begin{cases} dist = \sqrt{col^2 + d_0^2 - 2col \cdot d_0 \cdot \cos \alpha} \\ y = dist \cdot \sin(row \cdot angl) \\ x = dist \cdot \cos(row \cdot angl) \end{cases}$$

[0146] 其中: d_0 为机台回转中心距离相机图像边界的距离, row 和 col 为内圆、齿顶圆、齿根圆上的边缘采集点的行纵坐标, α 为第一线阵相机采集缝与机台水平中轴线的安装夹角,以上单位为像素个数。 $angl$ 为第一线阵相机采集的每一行对应的实际角度,单位为度。

[0147] 所述第一图像信息处理模块的拟合圆子模块,先使用最小二乘法拟合出初始圆心和半径,然后使用优化过的基于最小二乘法的huber算法利用最速下降法来迭代拟合圆。

[0148] 第一步:使用普通最小二乘法拟合圆,求初始圆心半径,圆方程可以写为:

$$[0149] \quad (x-x_c)^2 + (y-y_c)^2 = R^2$$

[0150] 普通的的最小二乘拟合要求距离的平方和最小。也就是

$$[0151] \quad f = \sum \left(\sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2} - R \right)^2$$

[0152] 最小。为了便于求解析解,上式可以简化为:

$$[0153] \quad f = \sum \left((x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 - R^2 \right)^2$$

$$[0154] \quad \text{令 } g(x, y) = (x-x_c)^2 + (y-y_c)^2 - R^2$$

[0155] 那么上式可以表示为 $f = \sum g(x_i, y_i)^2$ 。

[0156] 可知当 f 取得极小值的时候,应该满足下面的条件:

$$[0157] \begin{cases} \frac{\partial f}{\partial x_c} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial y_c} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial R} = 0 \end{cases}$$

[0158] 由以上方程可以求出初始圆心坐标 (x_c, y_c) , 初始圆半径 R 。

[0159] 第二步:将初始圆心半径代入到huber算法进行迭代优化。

[0160] 使用优化过的最小二乘法进行迭代,单个边缘点到目标圆的距离

$$[0161] e_i = \sqrt{(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2} - R$$

[0162] e_i 可正可负,将其作为自变量带入到huber函数中:

$$[0163] \rho_H(e) = \begin{cases} e^2/2, |e| \leq k \\ k|e| - k^2/2, |e| > k \end{cases}$$

[0164] 可得到贡献总误差一个正的样本误差,自变量待求的参数向量为 $\vec{a} = (a, b, R)^T$, 目标函数为:

$$[0165] G(\vec{a}) = \sum_{i=1}^n \rho(\sqrt{(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2} - R)$$

[0166] 本发明采用最速下降法求解,最速下降法的核心在于自变量沿着负梯度迭代变化时,函数下降最快。

$$[0167] \text{令 } r_i = \sqrt{(x_i - a)^2 - (y_i - b)^2}, \quad e_i = \sqrt{(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2} - R,$$

[0168] 则 $G(\vec{a})$ 的梯度 $\nabla G(\vec{a})$ 为

$$[0169] \nabla G(\vec{a}) = \begin{cases} \sum_{i=1}^n \rho'(e_i) \frac{x_i - a}{r_i} \\ \sum_{i=1}^n \rho'(e_i) \frac{y_i - b}{r_i} \\ \sum_{i=1}^n \rho'(e_i) * (-1) \end{cases}$$

[0170] 第三步:迭代步长的设置

[0171] 根据 $\vec{a}_{k+1} = \vec{a}_k - \alpha_k \nabla G(\vec{a}_k)$ 计算当前自变量 \vec{a}_{k+1} 下的目标损失函数 $G(\vec{a}_{k+1})$ 的值,

与上一次迭代的目标损失函数 \vec{a}_k 比较,如果变小,回到步骤2进行下一次迭代,直到 $G(\vec{a}_k)$

小于某一误差阈值,或者循环次数达到上限;如果变大, $\alpha_k = \alpha_k \cdot \eta$, η 为下降因子(如0.5),回

到 $\vec{a}_{k+1} = \vec{a}_k - \alpha_k \nabla G(\vec{a}_k)$, 直到满足运算终止条件, 循环结束, 返回目标圆。

[0172] 运算停止的两个条件:

[0173] 直到循环次数大于设定阈值;

[0174] 目标函数的值与上一次迭代的目标函数的值之差小于某一设定阈值。

[0175] 所述第一图像信息处理模块的直径和圆跳动子模块, 上一步拟合圆结束后, 可以得到极坐标变换后的边缘离散点的圆心和半径, 然后从这些离散点按照角度均匀提取N份(其中N为偶数), 每一份的宽度(角度范围为 β , 其中 $\beta < 360/N$), 然后利用循环语句, 求出每一份的平均半径, 接下来再将关于圆心对称的两个半径求和, 即可求出一条直径, 最终可以求出N/2条直径, 结束循环。如图23所示。

[0176] 求圆跳动时, 对刚刚求得的N/2条直径, 提取最大值和最小值, 然后最大值减去最小值, 即可求出圆跳动。

[0177] 所述第一图像信息处理模块的同心度子模块, 根据要求同心度测量内圆和齿顶圆的同心度。拟合圆结束后, 可以得到极坐标变换后的边缘离散点的圆心和半径, 然后按照齿顶的数量和位置, 将离散点分成Z份(其中Z为齿顶数), 如图24所示, 然后利用循环语句, 求出每一份的内圆和齿顶圆平均半径之差。最后求出半径差的最大值减去最小值, 所得结果即为内圆和齿顶圆同心度。

[0178] 所述第一图像信息处理模块的公法线子模块, 在图像处理与边缘点提取子模块中的公法线的边缘点提取, 可以得到直角坐标系下测量公法线所需要的边缘点坐标, 有多少个齿就可以得到多少组公法线边缘点数据, 然后利用循环语句, 对第i个齿与第i+n个齿进行组合, 其中n为实际加工过程中使用公法线千分尺测量公法线时所卡的齿数。对每一组组合, 进行对应角度的极坐标变换, 从而把这组合里的两个齿, 都放平, 上下关于x轴正半轴对称分布, 然后利用下方齿的行坐标最大值, 减去上方齿的行坐标最小值, 即可得出公法线的长度, 如图25所示。其中图片的左上角点为行纵坐标为0的原点。

[0179] 所述第二图像信息处理模块的图像处理与边缘点提取子模块, 包含两部分, 第一部分是齿轮厚度上边缘提取模块, 第二部分是齿轮厚度下边缘提取模块。

[0180] 齿轮厚度上边缘提取模块的提取步骤如下。

[0181] 首先对采集到的齿轮厚度灰度图像进行阈值分割, 如图26所示, 提取暗的部分, 然后求其最小外接矩形, 以最小外接矩形的左边界绘制测量矩形区域。然后利用亚像素边缘检测法, 如图27所示, 随后提取边缘点, 如图28所示。

[0182] 齿轮厚度下边缘提取模块的提取步骤如下。

[0183] 首先对采集到的齿轮厚度灰度图像在齿轮下表面固定位置绘制支撑爪的长条矩形, 如图29所示。利用该矩形截取原图获得裁剪图片, 并对裁剪后的图片进行阈值分割, 提取暗的部分, 即是支撑爪。如图30所示。接下来跳过支撑爪, 在齿轮下边缘绘制测量区域矩形, 如图31所示。最后在绘制的区域矩形内利用亚像素边缘法提取边缘点。如图32所示。

[0184] 所述第二图像信息处理模块的齿轮厚度计算子模块, 能够获取由公法线子模块采集到的边缘点, 将其平均分成M组, 并且求列坐标均值, 最后将上边缘和下边缘行坐标相对应的两组的列坐标的平均值进行相减, 即得到该组处的齿轮厚度, 最终会得到M组齿轮厚度。

[0185] 所述第二图像信息处理模块的平面度计算子模块,能够根据图像处理与边缘点提取子模块得到的齿轮厚度,利用最大值减去最小值即为所求的平面度。

[0186] 所述第二图像信息处理模块的毛刺计算子模块能够计算毛刺是否满足要求。首先对采集到的齿轮厚度灰度图像,进行阈值分割,提取出暗的部分,即齿轮区域,然后进行一次开运算,如图33所示。然后进行一次膨胀,如图34所示。利用膨胀后的大区域减去开运算后的小区域,得到一张图像边缘带的图像,如图35所示。接下来进行连通,根据长度和方位提取出齿轮上下表面的边缘带,然后利用该边缘带区域去裁剪原图,得到齿轮边界处的毛刺图像,阈值分割后,如图36所示。接下来进行横向腐蚀,断开毛刺之间的连接,可以得到一个个离散的毛刺,如图37所示。最后,对每一个离散的毛刺求其最小外接圆,从而判断出其是否满足要求。

[0187] 所述保存子模块,能够在图像信息处理模块结束以后,将结果保存至指定位置。同时,将合格和不合格产品分开保存,不合格产品要注明齿轮型号和检测编号,并且注明是哪一项不合格。其中第一图像信息处理模块和第二图像信息处理模块的处理结果分开保存,如图38a和图38b所示。

[0188] 所述摄像机参数标定子模块用于对摄像机的参数进行标定。标定时,先提供一标准样件,两个线阵相机对焦完成后,记录每次测量结果,并与三坐标进行对比,根据差值,适当微调转台回转中心到第一线阵相机视野边界的距离、第一线阵相机线型采集区域与回转台中轴线的夹角、第一线阵相机的像元尺寸、第二线阵相机线型采集缝与竖直方向的夹角、第二线阵相机像元尺寸。直到视觉测量结果和三坐标吻合,点击“退出”,结束标定。

[0189] 所述参数文件设置与读取子模块,能够在操作面板内接收齿轮11个项目的公差输入,其中第一图像信息处理模块和第二图像信息处理模块的参数别分输入,如图39a和图39b所示。

[0190] 所述显示器22能够在第一图像信息处理模块结束以后,将其处理结果显示在第一用户界面上,包括齿顶径、齿底径、内圆、内圆真圆度、外圆圆跳动、内外圆同心度、公法线、面曲量,结果如图40所示。

[0191] 所述显示器22还能够在第二图像信息处理模块结束以后,将其处理结果显示在第二用户界面上,包括齿轮工件厚度、平面度、上下表面毛刺,结果如图41所示。

[0192] 本发明能够以7s为一个周期在线快速测量一个齿轮,其中转台转动一周拍摄时间约3s,分析处理时间约4s。本发明可以同时一次性检测11个齿轮参数,包括:内径、齿底径、齿顶径、内径圆跳动、齿顶径圆跳动、同心度、公法线、面曲量(齿侧倒角宽)、齿轮厚度、平面度,以及毛刺。而且本发明对于同一个齿轮的内径和齿顶径的重复检测精度可以达到0.005mm,视觉测量结果与三坐标的测量结果相比误差小于0.02mm,满足精度要求。

[0193] 以上所述仅为本发明的优选实施例,并不用于限制本发明,对于本领域技术人员而言,本发明可以有各种改动和变化。凡在本发明的精神和原理之内所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

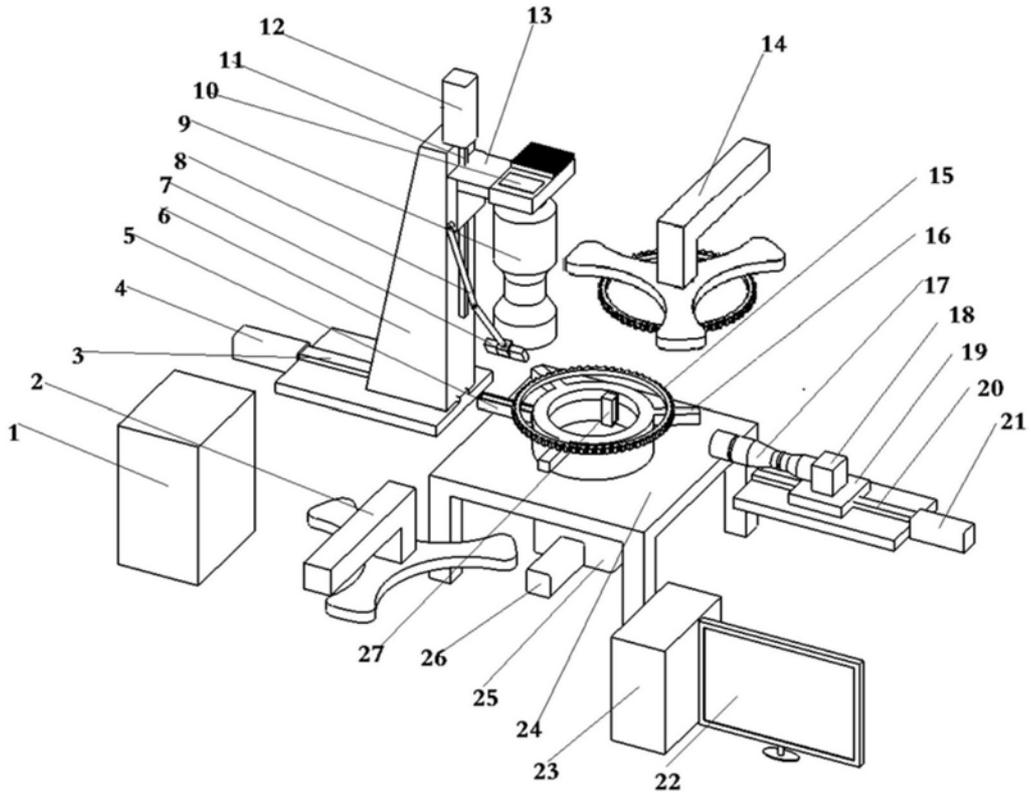


图1

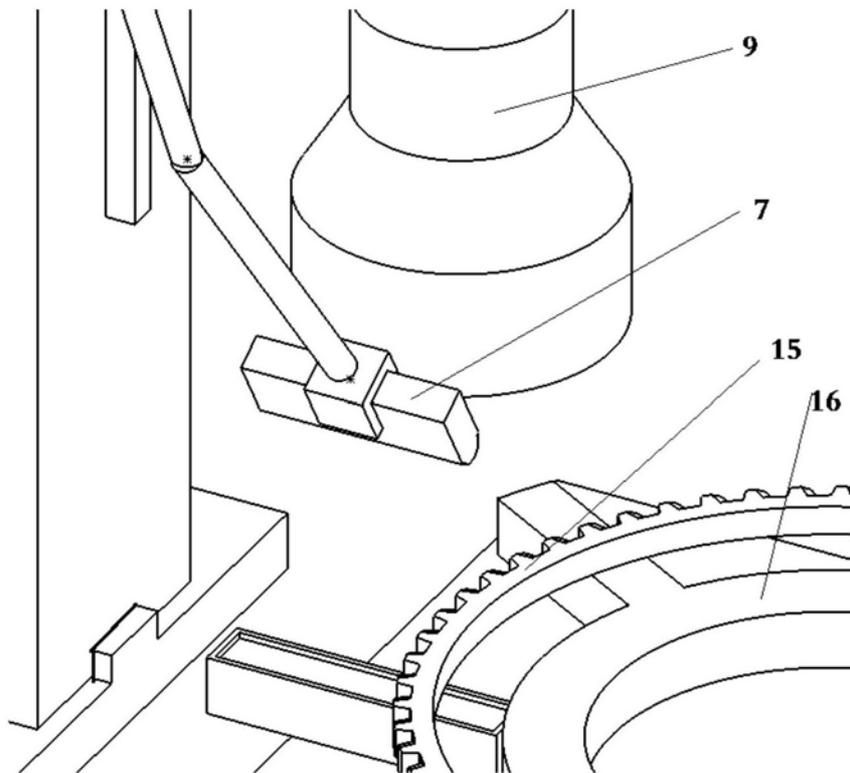


图2

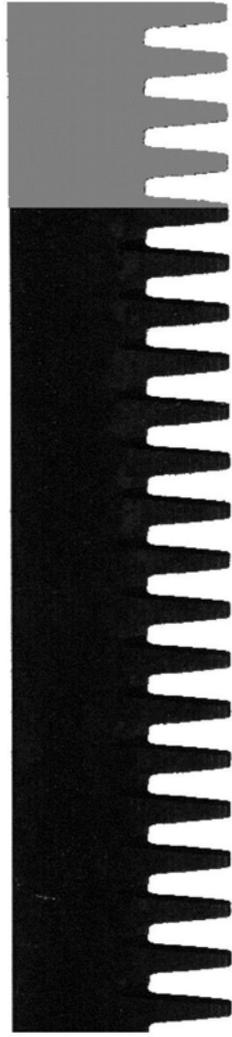


图3



图4

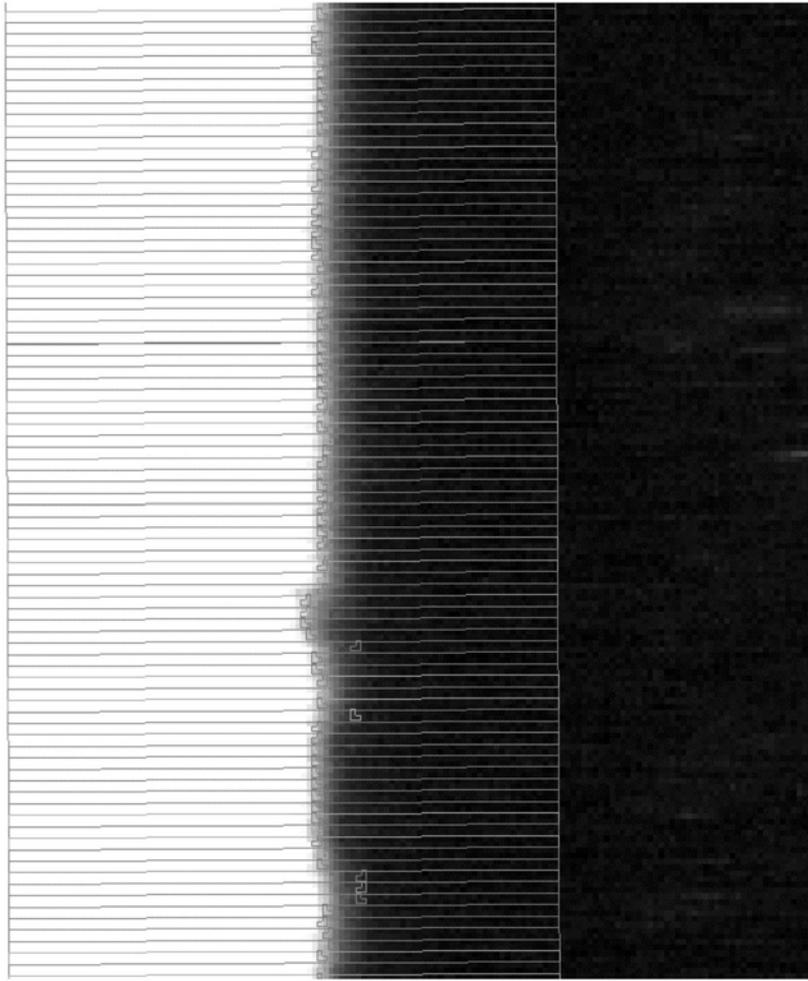


图5

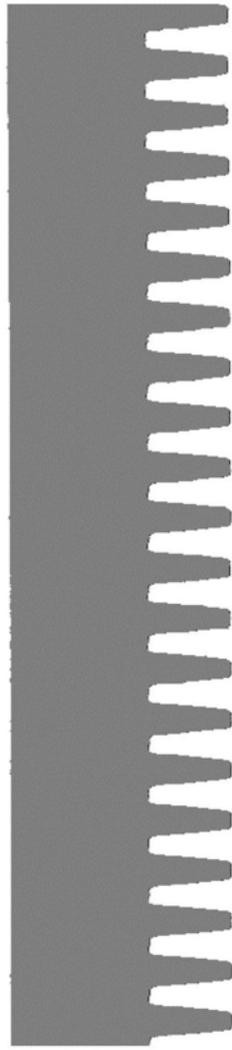


图6

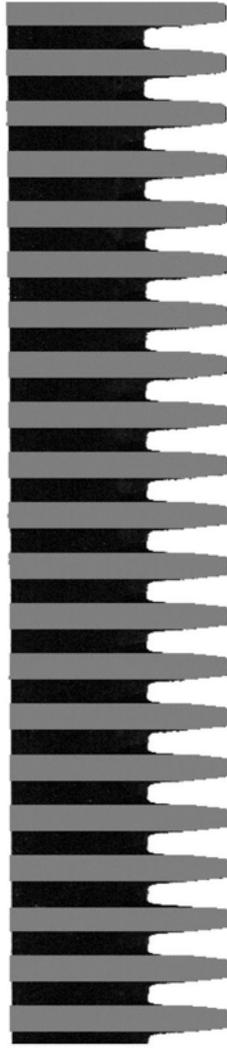


图7

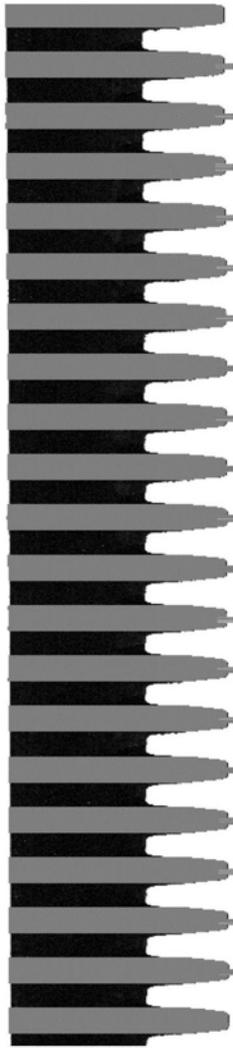


图8

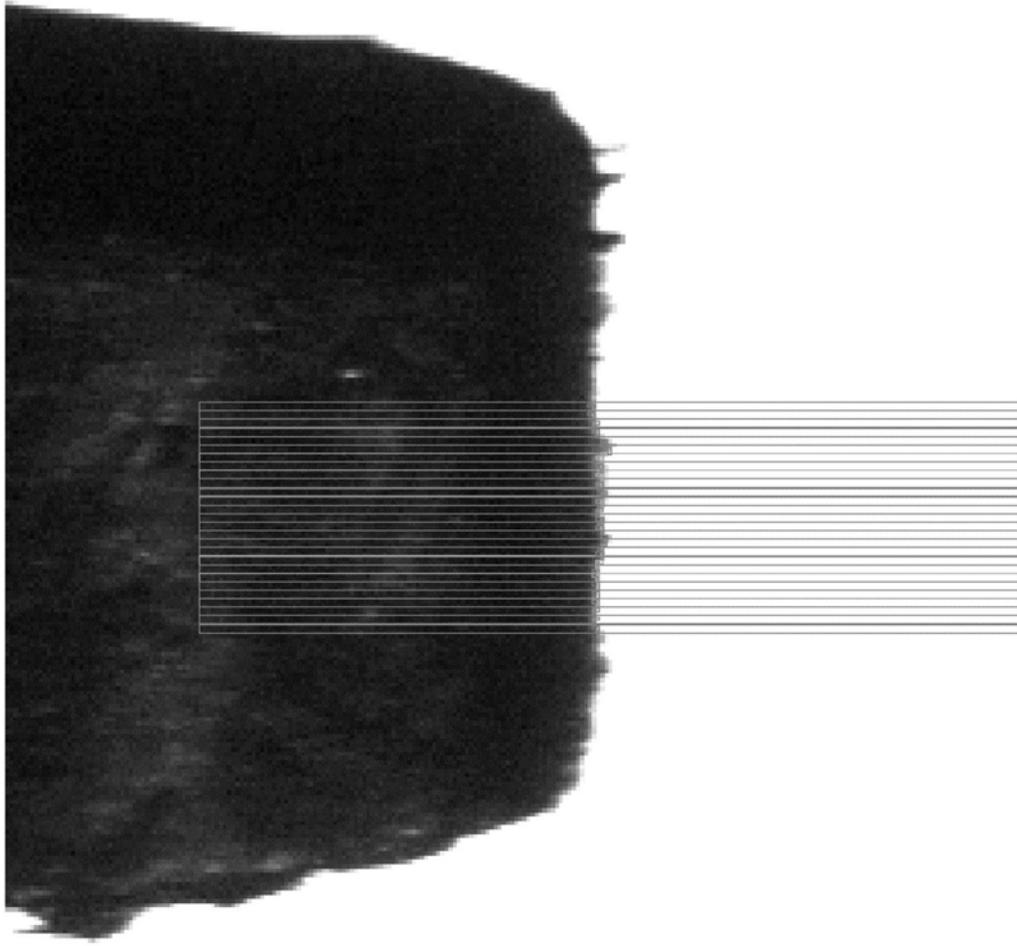


图9

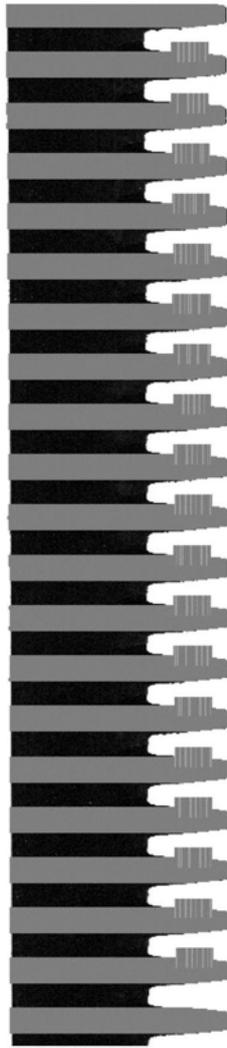


图10

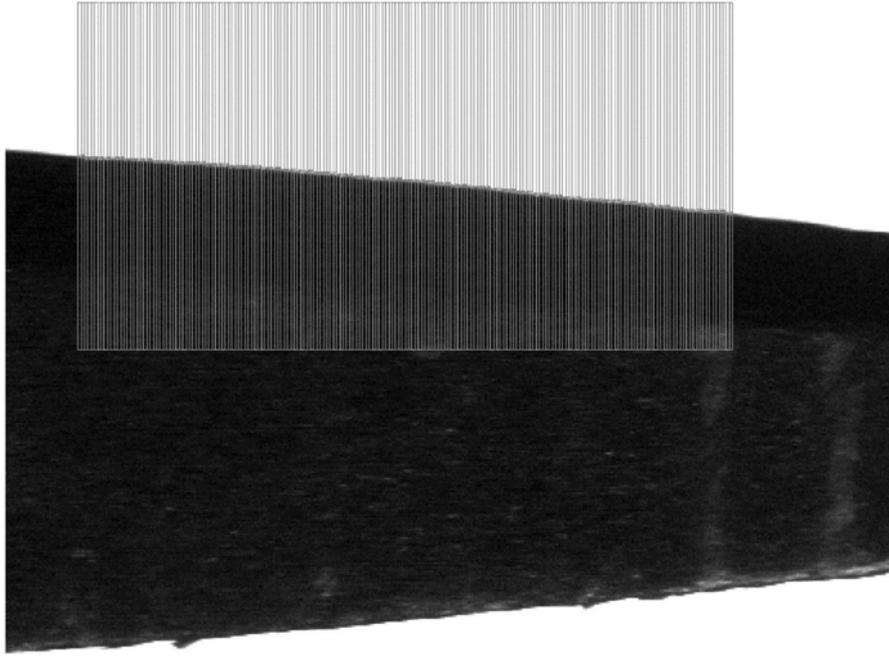


图11



图12

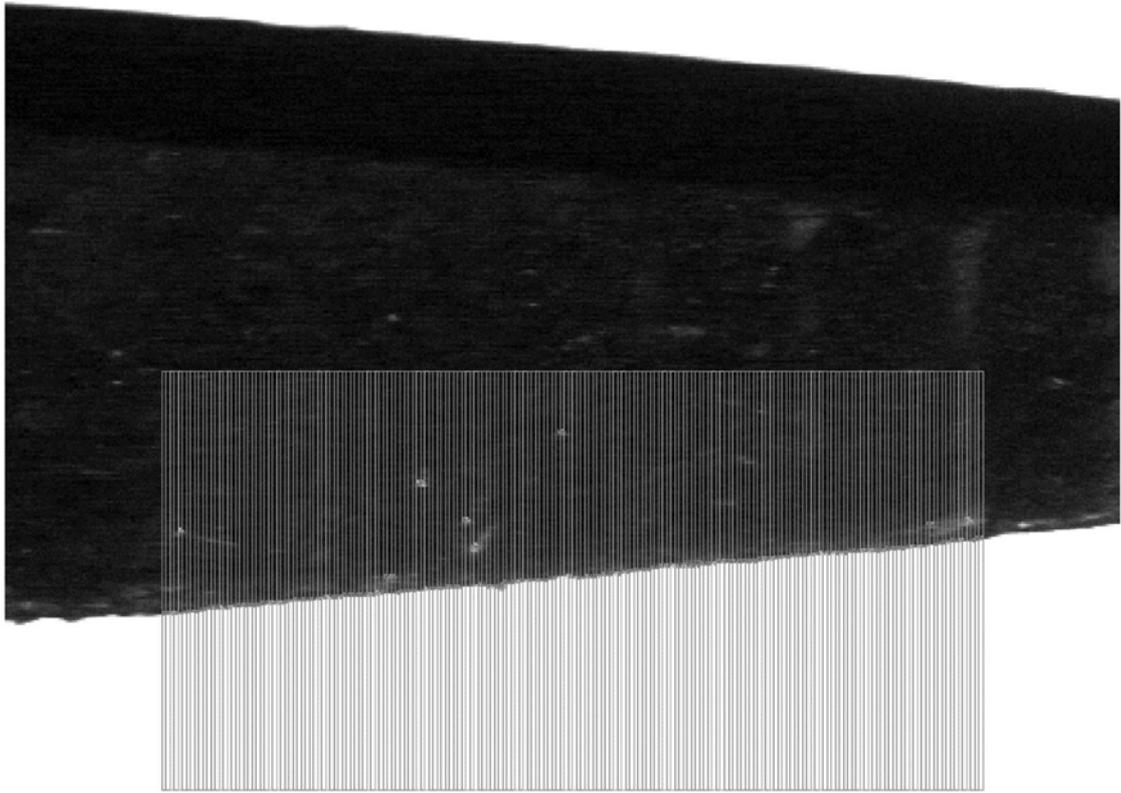


图13



图14

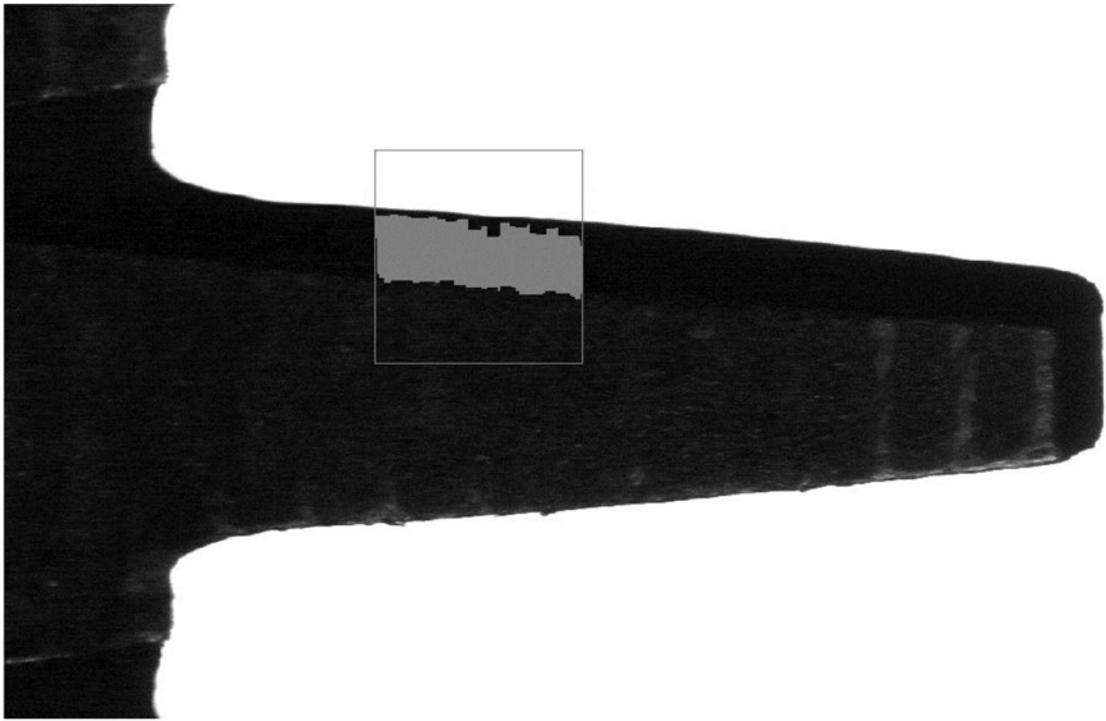


图15

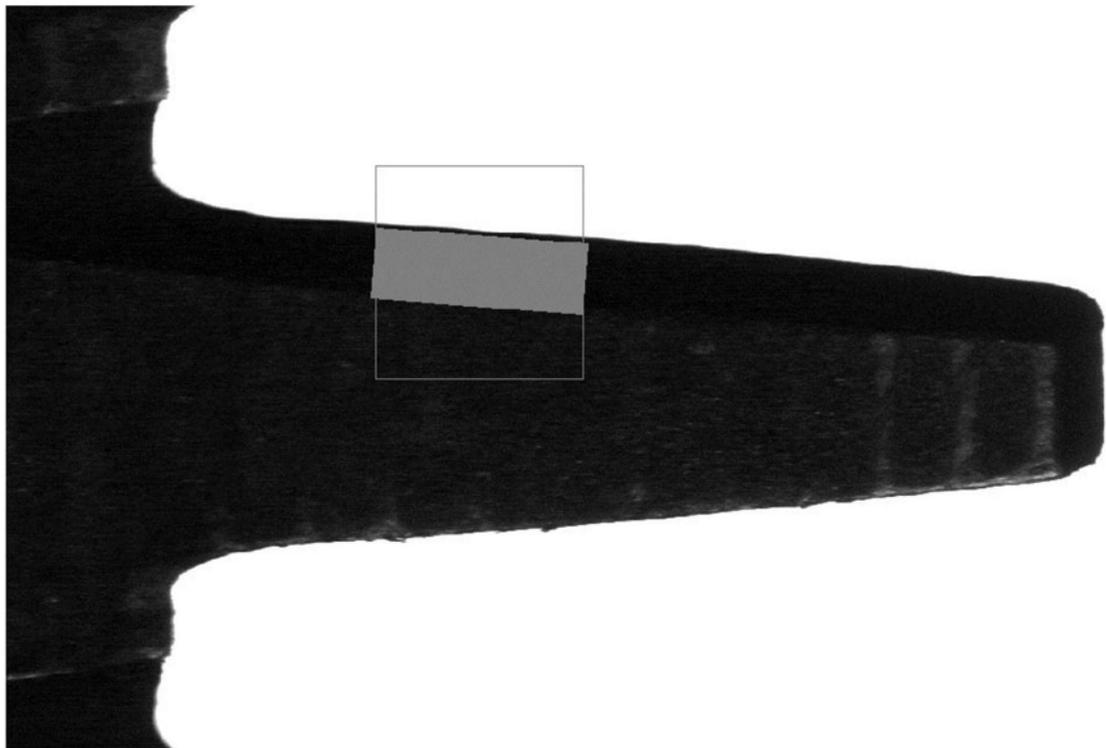


图16

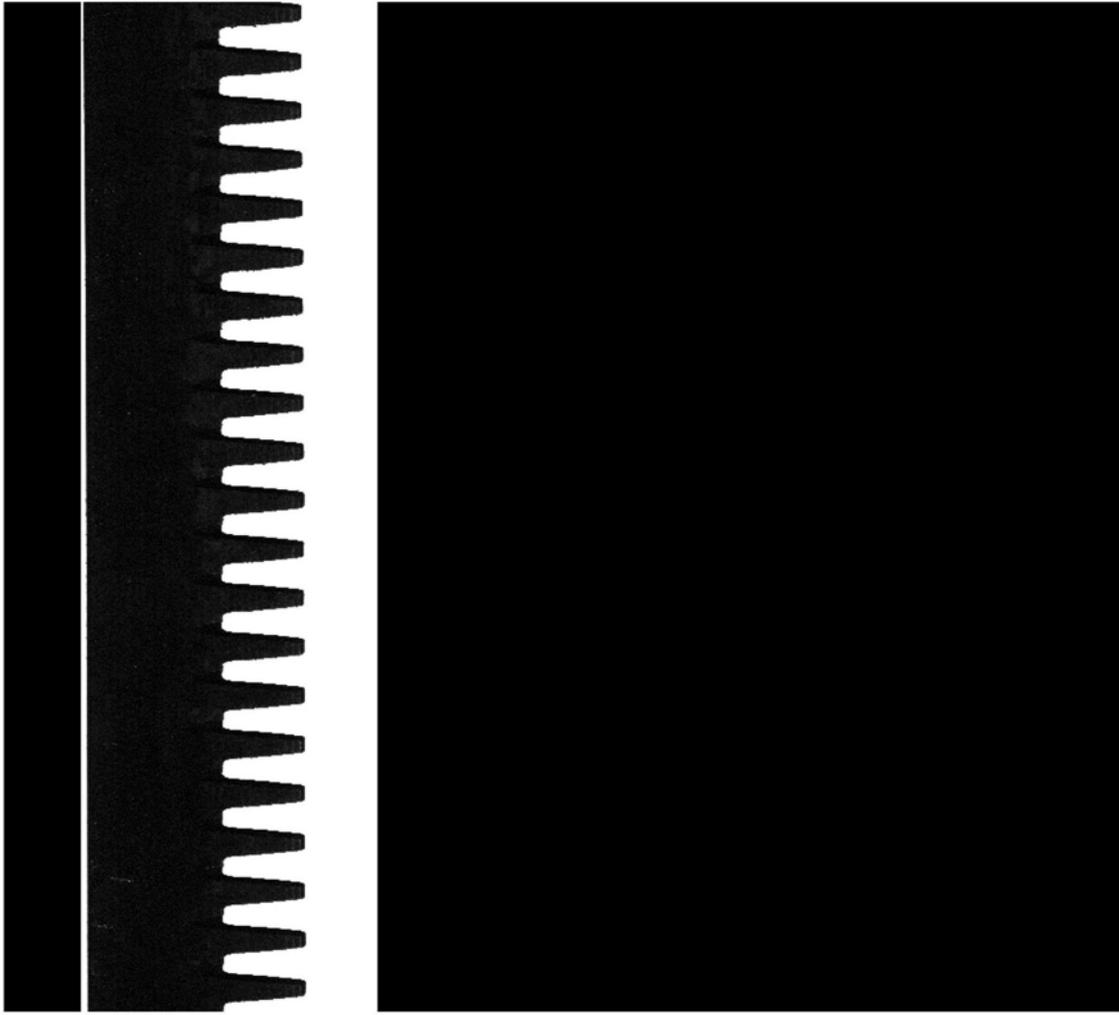


图17

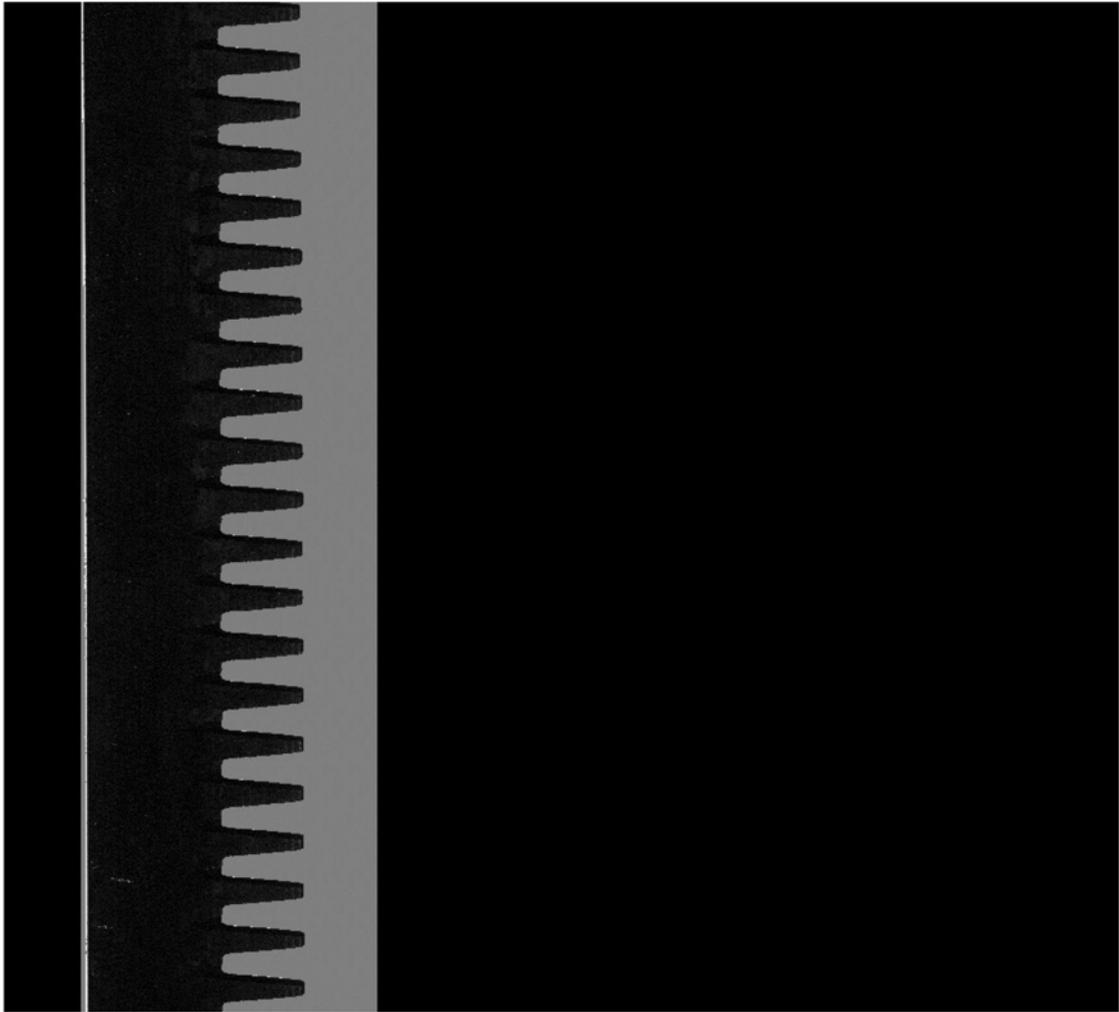


图18

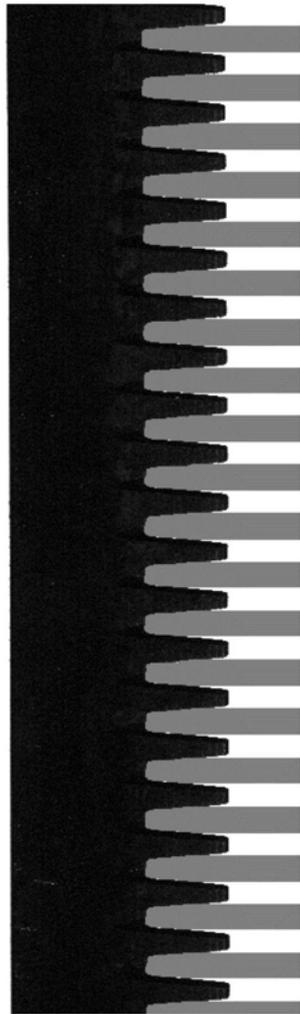


图19

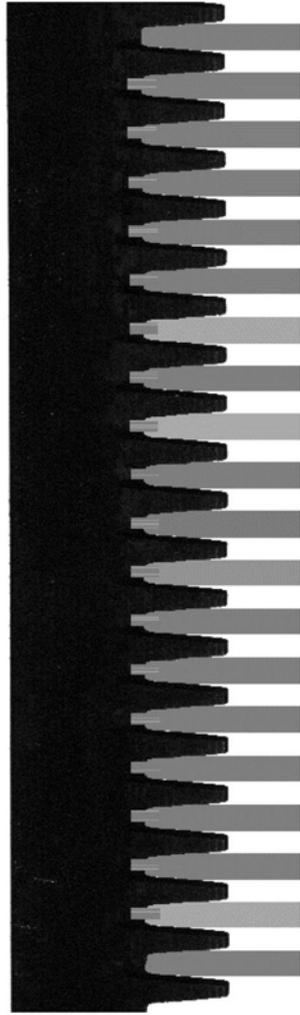


图20

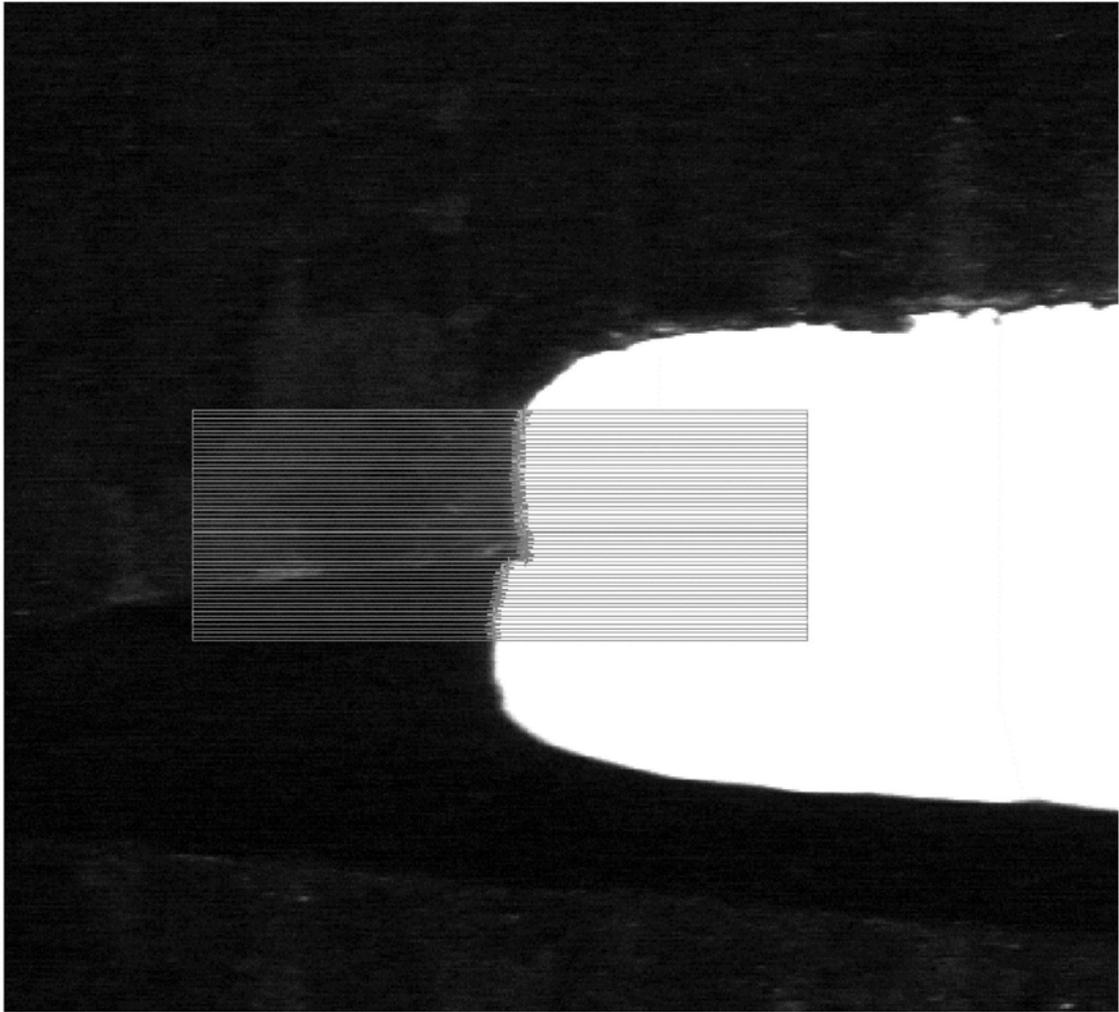


图21

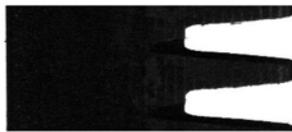


图22a



图22b

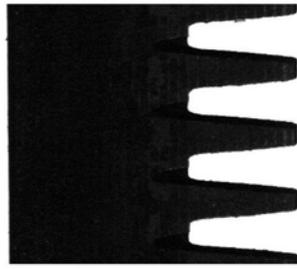


图22c

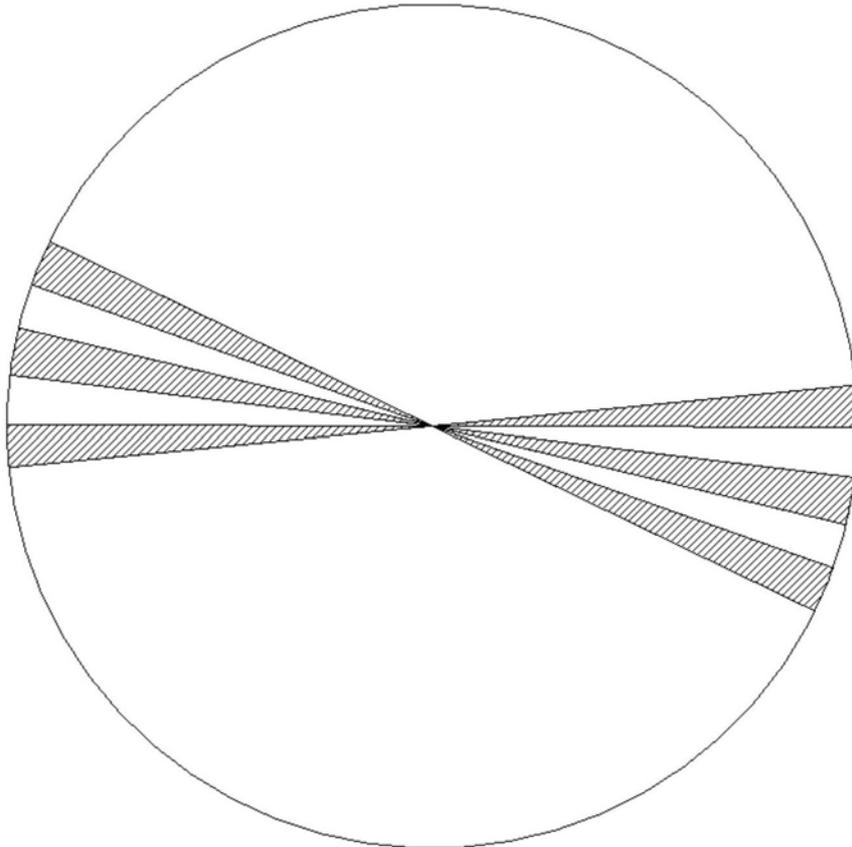


图23

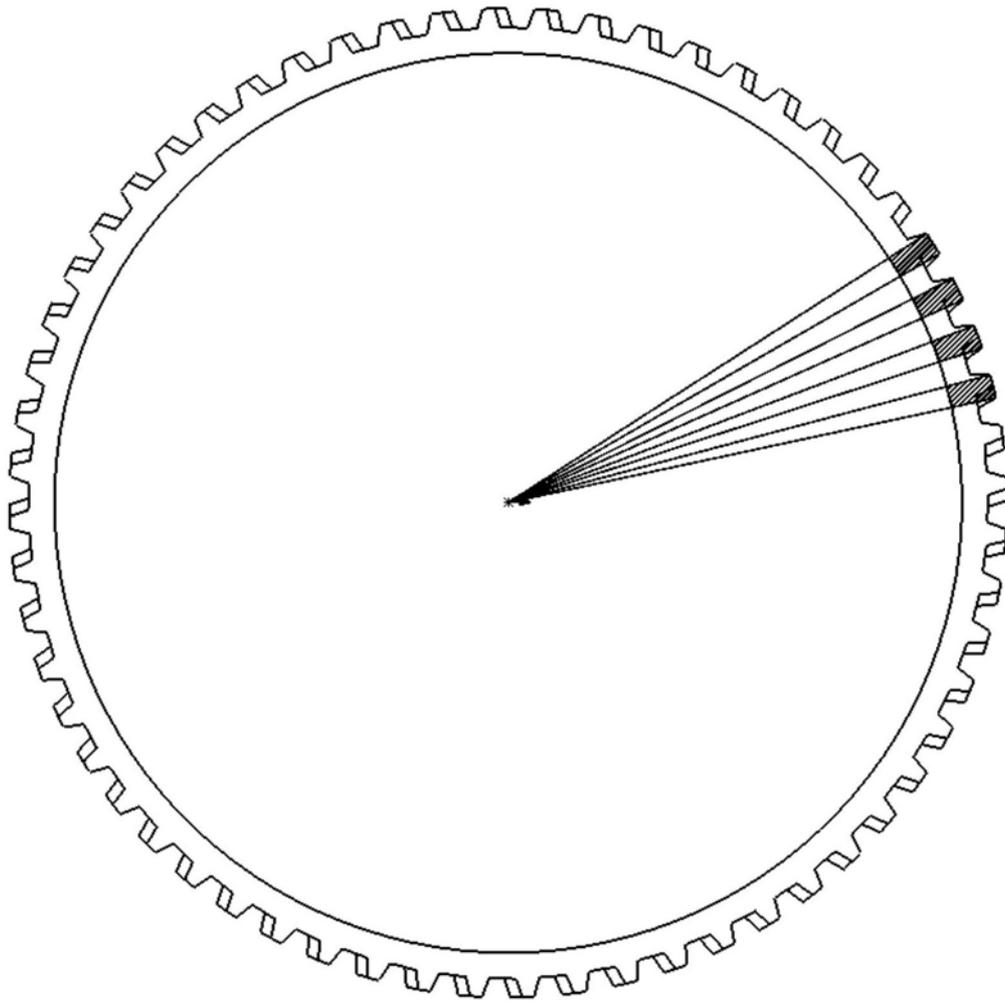


图24

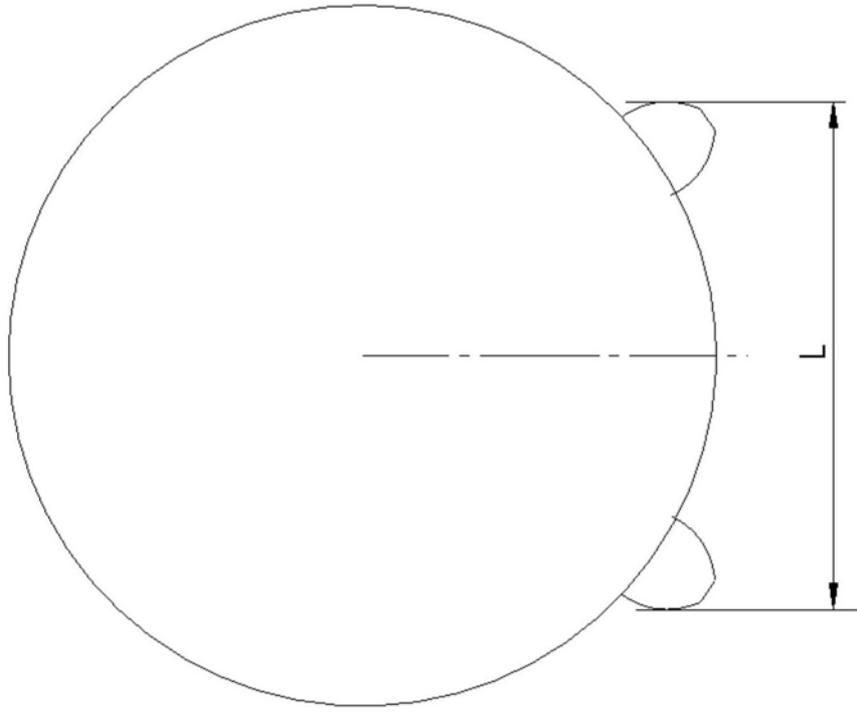


图25



图26

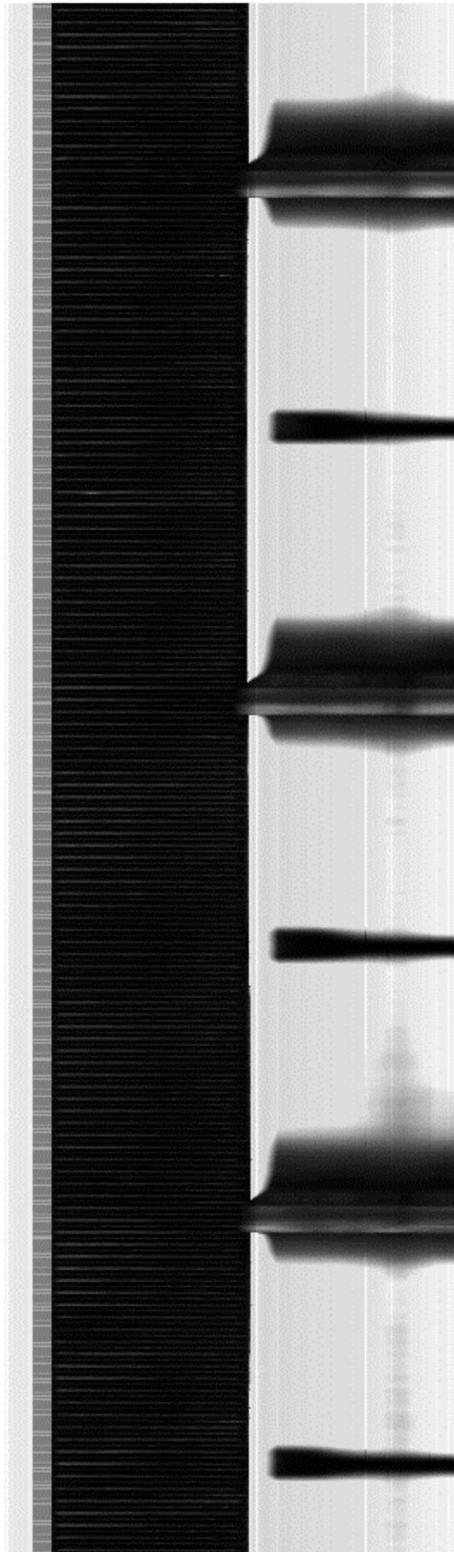


图27

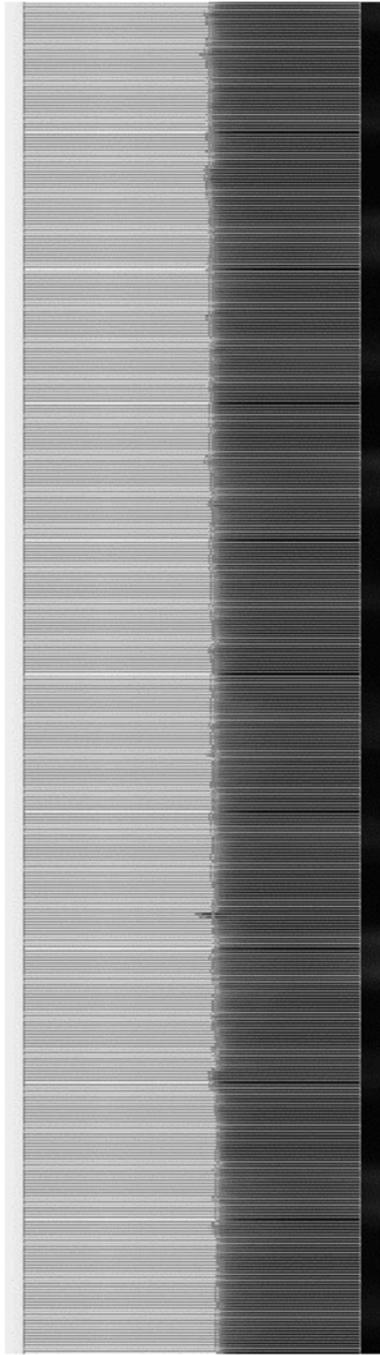


图28

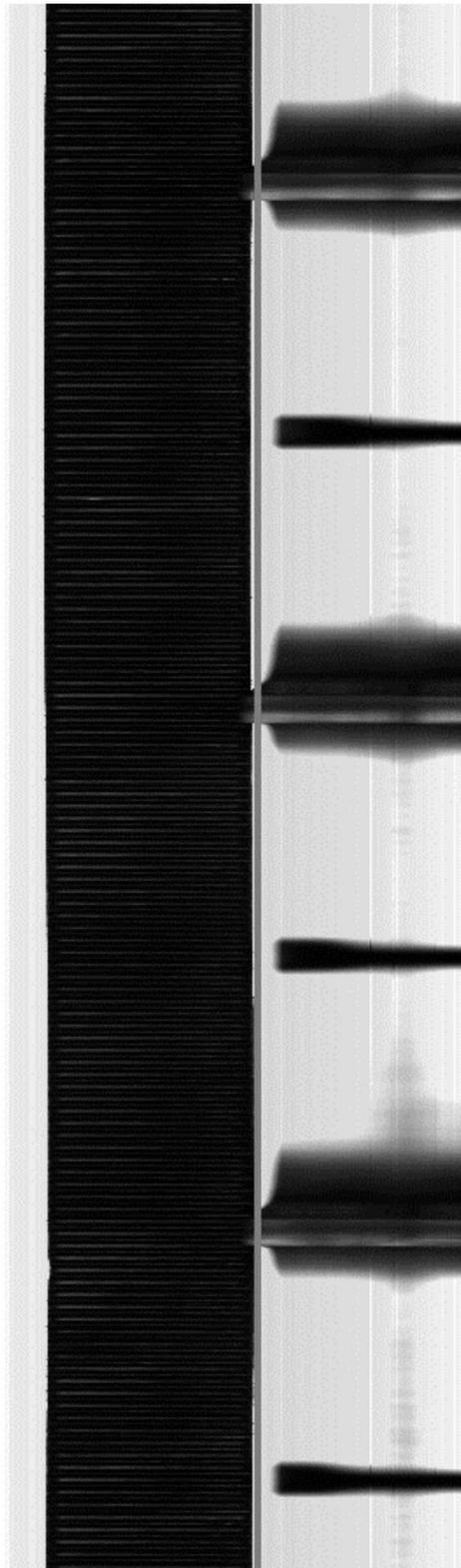


图29

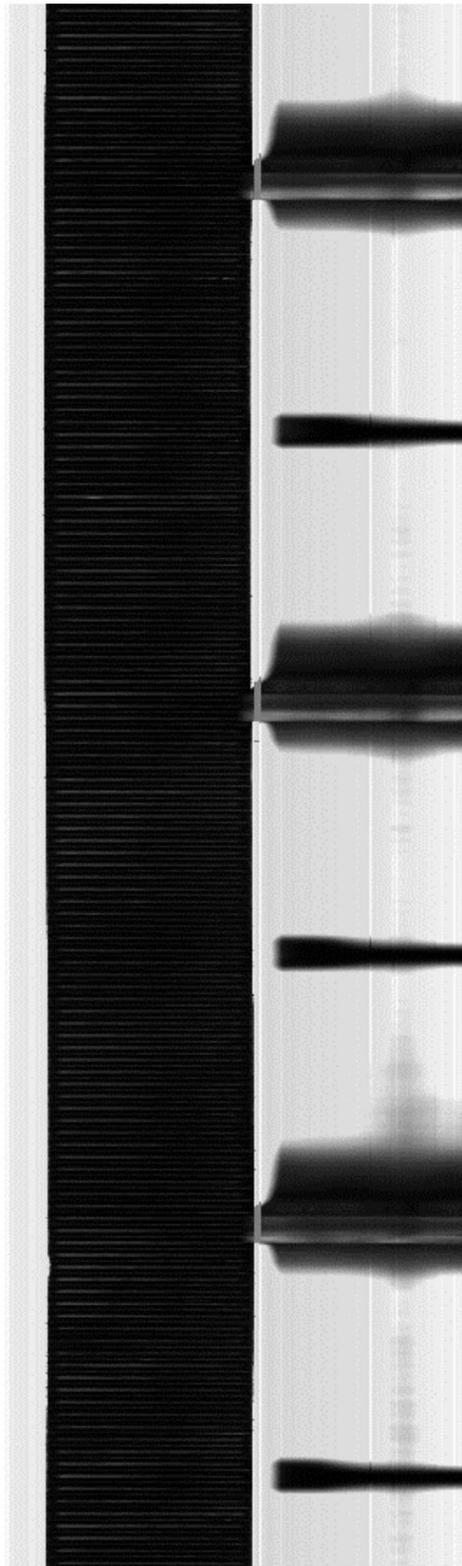


图30

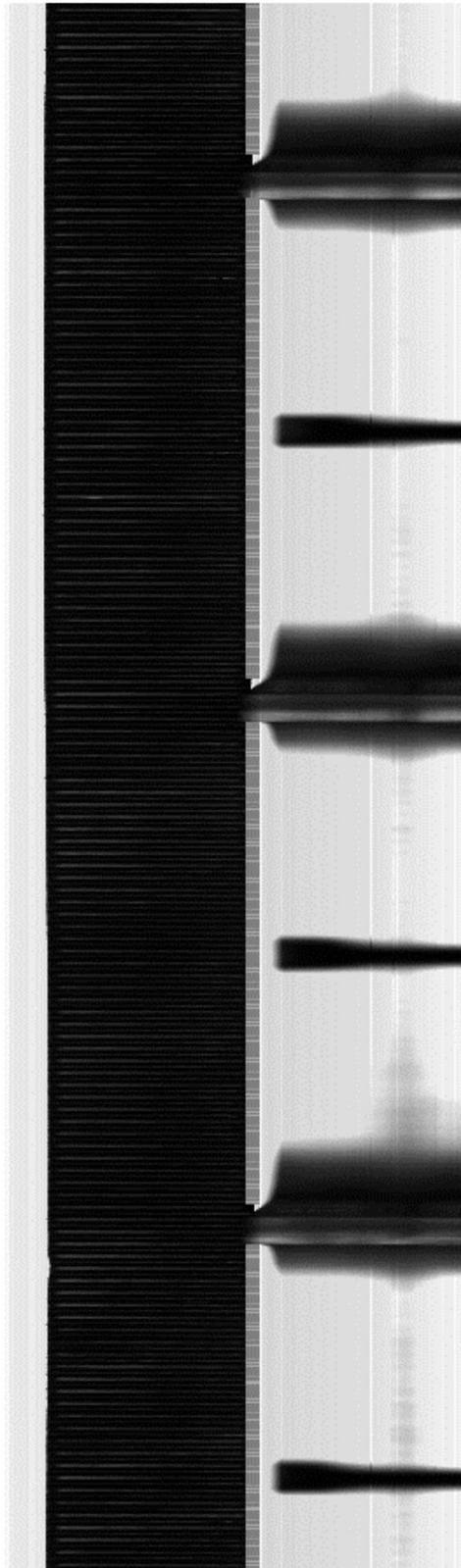


图31

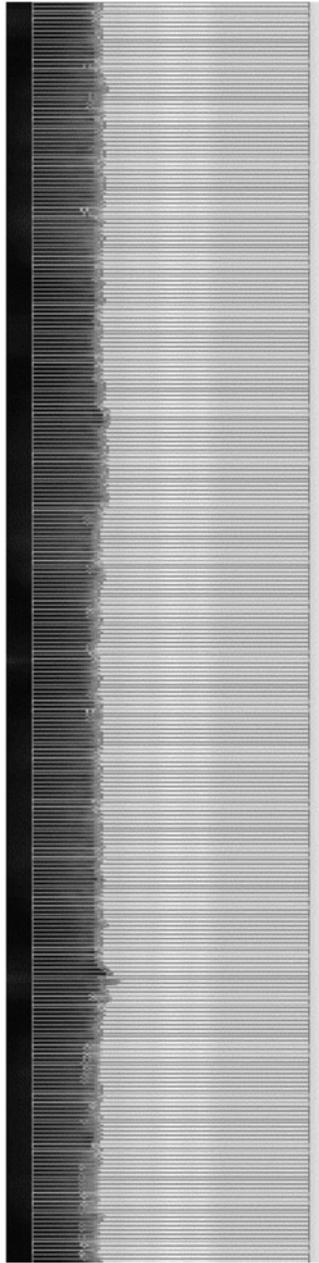


图32



图33



图34



图35

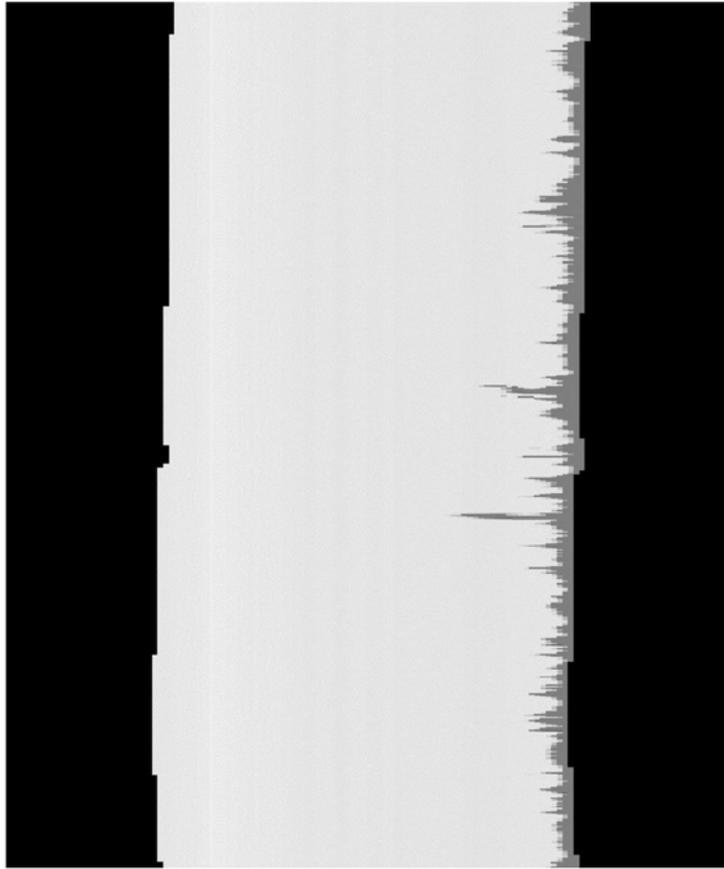


图36

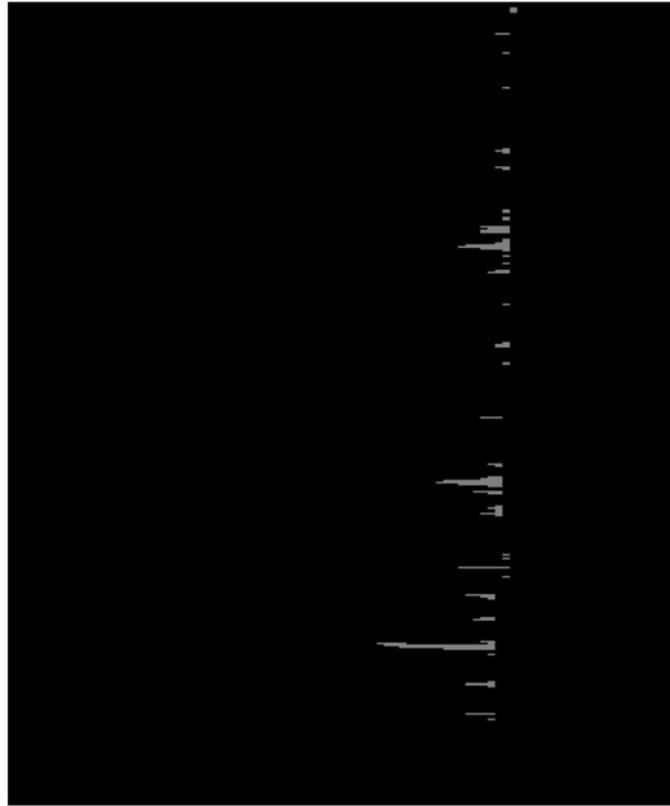


图37

2018_11_19_06

序号	内径	齿底	齿顶	真圆度	齿顶跳动	同心度	倒角宽	公法线	小相机
1	242.484 OK	257.541 OK	266.605 OK	0.408 OK	0.395 OK	0.223 OK	0.870 OK	56.027 OK	NG
2	242.484 OK	257.542 OK	266.606 OK	0.412 OK	0.391 OK	0.224 OK	0.868 OK	56.014 OK	NG

图38a

2018_11_19_06

序号	最大厚度	最小厚度	平均厚度	毛刺数量	平面度
1	10.037 NG	10.010 OK	10.025 OK	0 OK	0.027 OK
2	10.026 OK	10.005 OK	10.019 OK	1 NG	0.021 OK

图38b

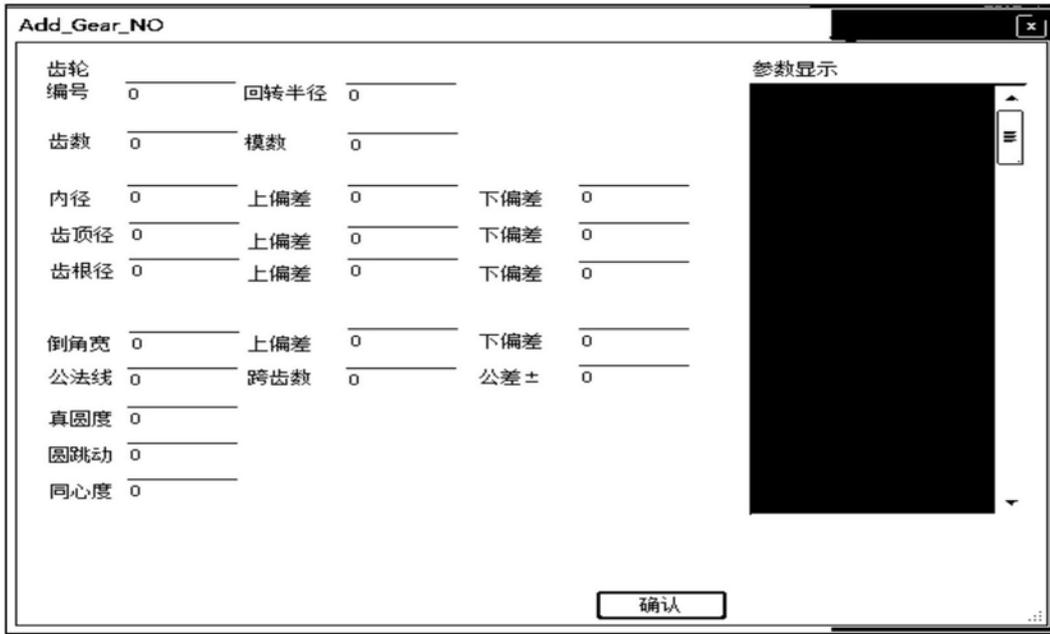


图39a

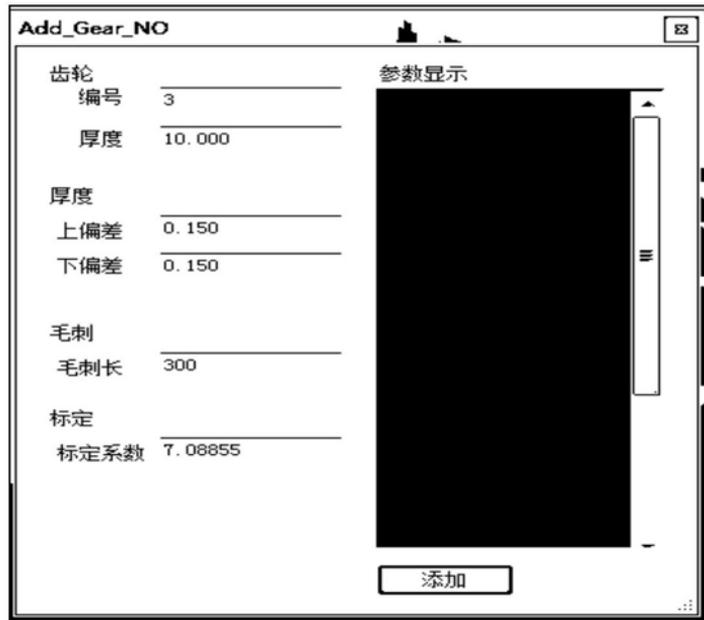


图39b

