



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108596880 A

(43)申请公布日 2018.09.28

(21)申请号 201810310148.3

(22)申请日 2018.04.08

(71)申请人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市玄武区四牌楼2号

(72)发明人 张侃健 葛志霞 魏海坤 方仕雄  
张金霞 葛健

(74)专利代理机构 南京众联专利代理有限公司  
32206

代理人 许小莉

(51)Int.Cl.

G06T 7/00(2017.01)

G06T 7/194(2017.01)

G06T 7/50(2017.01)

G06T 7/62(2017.01)

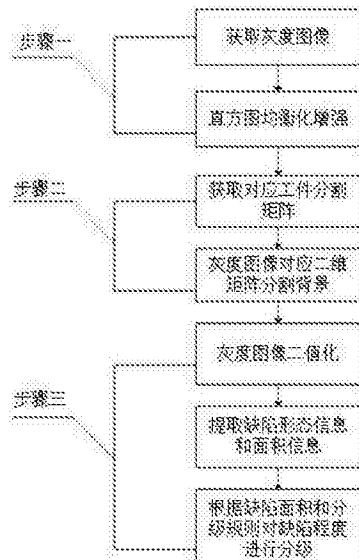
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

基于图像处理的焊接缺陷特征提取与焊接质量分析方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于图像处理的焊接缺陷特征提取与焊接质量分析方法。本发明的方法包括如下步骤：S1. 对黑白相机获取的灰度图像进行图像增强；S2. 根据工件类型和焊接区域类型，设计工件背景分割卡，对增强后的图像进行背景分割，剔除背景对后续图像处理的影响；S3. 根据焊洞的特征设计提取算法，获得焊接缺陷的形态和面积信息，分析焊洞的大小情况，对焊洞的不合格程度进行自动分级。该方法将图像增强，背景分割，二值化处理和轮廓提取等图像处理技术成功运用于实际的焊接场景中，有效地提取出了焊接后工件中的焊接缺陷特征并计算出缺陷面积。该方法能够实时自动分析焊接质量，有利于工厂生产效率的提高。



1. 一种基于图像处理的焊接缺陷特征提取与焊接质量分析方法,其特征在于,该方法包括如下步骤:

S1. 对黑白相机获取的灰度图像进行图像增强;

S2. 根据工件类型和焊接区域类型,设计工件背景分割卡,对增强后的图像进行背景分割,剔除背景对后续图像处理的影响;

S3. 根据焊洞的设计特征提取算法,获得焊接缺陷的形态和面积信息,分析焊洞的大小情况,对焊洞的不合格程度进行自动分级。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,步骤S1中所述的图像增强是运用直方图均衡化增强算法对黑白相机获取的灰度图像进行图像增强,即采用以下步骤对黑白相机获取的灰度图像的像素分布进行调整,提高了图像的对比度,使图像更加清晰:

S11. 求出黑白相机获取的灰度图像的原图f的灰度直方图,设为H,灰度直方图是灰度级的函数,它表示图像中具有某种灰度级的像素的个数,反映了图像中某种灰度出现的频率;

S12. 求出f的总体像素个数N,N=m×n,式中m,n分别为图像长和宽,根据公式(1)计算对应灰度级出现的概率,

$$p_r(r_k) = H(k) / N \quad (0 \leq r_k \leq L-1) \quad \text{公式 (1)}$$

公式(1)中,r<sub>k</sub>表示第k个灰度,p<sub>r</sub>(r<sub>k</sub>)表示第k个灰度级出现的概率,H(k)为第k个灰度级出现的频数,N为图像像素总数,L为图像中可能的灰度级总数;

S13. 根据公式(2)计算原图的灰度级累积分布函数:

$$S_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_j(r_j), \quad \text{公式 (2)}$$

公式(2)中,S<sub>k</sub>为归一化灰度级,T(r<sub>k</sub>)为变换函数;

S14. h为变换直方图后的新图像,根据公式(3)求出新图像每个像素的灰度值,绘制新图像h:

$$\begin{cases} 0 & k = 0 \\ (L-1) \times S_k & k = 1, 2, \dots, L-1 \end{cases} \quad \text{公式 (3)}$$

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,步骤S2中所述的设计工件背景分割卡,对增强后的图像进行背景分割的具体操作步骤是:

S21. 针对不同型号的焊接工件设置不同的区域分割二维矩阵,设定一个m×n(m,n分别为图像长和宽)二维矩阵T,矩阵T中只有0和1两个值,通过调整0和1值的排布,将矩阵分割成特定的1和0两类区域,1和0两个区域对应于工件中的兴趣区域和非兴趣区域,不同的工件焊接图像中焊接的形状和区域分布不同,工件类型众多,针对不同的工件,设置不同的T来满足工件需求;

S22. 某特定工件焊接灰度图像为f(i,j),将该工件图像根据其对应的二维矩阵T中的0和1的分布进行分割,分割依据为:

$$f(i,j) = \begin{cases} f(i,j) & T(i,j) = 1 \\ 0 & T(i,j) = 0 \end{cases}$$

可将图像中不需要的背景像素值设置为0,将需要的背景像素保留,方便后续的特征提

取。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,步骤S3中所述的根据焊洞的设计特征提取算法的具体操作步骤是:

S31. 对处理后的灰度图像进行阈值二值化操作,将小于阈值的像素值置0,大于阈值像素值置1,得到0、1二值图像,其中缺陷区域颜色较深,二值化后缺陷区域像素值为0;

S32. 对该二值图像运用轮廓提取算法,获得缺陷区域的轮廓形态信息,并统计轮廓像素面积信息;

S33. 根据焊接缺陷像素面积制定缺陷程度划分规则,对新的焊接图像进行处理时,根据该划分规则界定焊接缺陷的缺陷等级,从而实现自动焊接质量分析功能。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,步骤S32中所述的对二值图像运用轮廓提取算法,需进行以下步骤获得缺陷轮廓:

输入的二值图像即为0和1的图像,用 $g(i, j)$ 表示图像的像素值, $i$ 和 $j$ 分别为像素点在图像中的横坐标和纵坐标位置,轮廓边界追踪采用编码的思想,给不同的边界赋予不同的整数值,从而确定边界类型以及层次关系,追踪开始从图像左上角逐行扫描,在扫描过程中,不断地对已发现的边界点进行标记,给最新发现的边界用一个独特的可辨识的数字赋值,称它为边界序列号,记做NBD(number of the border),为了只获得缺陷轮廓,需经过以下四个步骤:

S321每次行扫描,当 $g(i, j-1) = 0, g(i, j) = 1$ ,则 $g(i, j)$ 是外边界的起始点,给这个新发现的边界一个新的NBD值,初始时NBD=1,每次发现一个新边界时NBD加1;

S322遇到 $g(i, j) = 1, g(i, j+1) = 0$ 时,将 $g(i, j)$ 置为-NBD,就是右边界的终止点,遇到负值的像素点是不判断它是否为一个新轮廓的起始点的,确保一个轮廓只扫描一次;

S323跟踪并标记完整个边界后,重新开始光栅扫描,找到一个边界,就用一个唯一的数字去标记,最后标记值相同的像素点属于同一个边界,不同边界之间的层次关系通过其标记值保存下来。当扫描到图片的右下角,算法终止;

S324跟踪到所有轮廓的边界后,统计轮廓的面积信息,根据以下规则区分该轮廓是否为需要提取的缺陷轮廓,其中area表示统计得到的图像中轮廓的像素面积(像素\*像素):

$$\begin{cases} \text{area} > 100000 & \text{视作背景} \\ \text{area} < 1000 & \text{视作干扰} \\ 10000 \leq \text{area} \leq 100000 & \text{视作有效的缺陷轮廓} \end{cases}$$

6. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,步骤S33中所述的根据焊接缺陷像素面积制定缺陷程度划分规则如下:

S331对面积小于1k像素的缺陷,即未检测到有效的缺陷轮廓,视作该工件焊接合格;

S332对面积大于1k又小于10k像素的缺陷,视作小焊接缺陷;

S333对面积大于10k又小于20k像素的缺陷,视作大焊接缺陷;

S334对面积大于20k像素的缺陷,视作严重焊接缺陷。

## 基于图像处理的焊接缺陷特征提取与焊接质量分析方法

### 技术领域：

[0001] 本发明涉及一种基于图像处理的焊接缺陷特征提取与焊接质量分析方法，属于图像处理技术领域。

### 背景技术：

[0002] 随着自动化焊接技术的发展，越来越多的工厂引入了焊接机器人进行自动化焊接生产。焊接机器人具有高效、质量稳定且通用性强等优点。焊接过程的柔性化、自动化、智能化已成为先进焊接装备的重要发展趋势。随着焊接机器人的普及，工厂的生产效率得到了极大地提高，但是焊接质量问题也接踵而至。本发明主要针对自行车行业中焊接机器人对车架焊接时出现的质量问题。焊接质量问题将直接影响到自行车的耐久性和安全性，而焊接质量靠人工监控的话，在比较昏暗的生产环境下，工人可能会因为疲惫和疏忽而误判工件质量。为此，机器代替人工对工件进行质量检测成为新的趋势。

[0003] 在多种质量检测手段中，基于机器视觉的检测方法脱颖而出。视觉传感器具有信息量大、与工件不接触、灵敏度和精度高、抗电磁干扰能力强等优点，可以在不影响生产的情况下进行焊接质量的监测分析。图像处理是视觉传感焊接质量分析的软核心，主要任务是将视觉传感器所采集的图像信息进行加工处理，提取焊接缺陷的特性信息，判断焊接质量问题。

[0004] 目前，国内很多学者都对焊接质量，尤其是焊缝的质量进行了研究。这些研究多数采用了边缘提取方法提取焊缝的形态，除了直接采用传统的边缘算子对边缘进行提取外，还有结合Sobel算子与Snake模型对焊缝图像边缘进行提取，或把压缩编码技术GED预测器模板引入焊缝图像边缘提取技术中，这些研究成功提取出了清晰的焊缝边缘，对边缘形态进行分析判断焊接的质量，但对焊接缺陷的形态大小、缺陷程度仍没有明确定量的分级研究。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种基于图像处理的焊接缺陷特征提取与焊接质量分析方法，在处理焊接缺陷问题时，运用改进后的二值化算法结合连通域面积算法定量地获取焊接缺陷的面积参数。在工厂实际生产环境下，通过图像处理获得焊接缺陷特征并分析焊接质量，及时筛选出不合格的工件，对提高生产效率保障生产安全具有非常重要的意义。

[0006] 上述的目的通过以下技术方案实现：

[0007] 一种基于图像处理的焊接缺陷特征提取与焊接质量分析方法，该方法包括如下步骤：

[0008] S1. 对黑白相机获取的灰度图像进行图像增强；

[0009] S2. 根据工件类型和焊接区域类型，设计工件背景分割卡，对增强后的图像进行背景分割，剔除背景对后续图像处理的影响；

[0010] S3. 根据焊洞的设计特征提取算法，获得焊接缺陷的形态和面积信息，分析焊洞的

大小情况,对焊洞的不合格程度进行自动分级。

[0011] 进一步地,步骤S1中所述的图像增强是基于直方图均衡化增强算法将黑白相机获取的灰度图像进行图像增强,即采用以下步骤对黑白相机获取的灰度图像的像素分布进行调整,提高了图像的对比度,使图像更加清晰:

[0012] S11.求出黑白相机获取的灰度图像的原图f的灰度直方图,设为H,灰度直方图是灰度级的函数,它表示图像中具有某种灰度级的像素的个数,反映了图像中某种灰度出现的频率;

[0013] S12.求出f的总体像素个数N,N=m×n,式中m,n分别为图像长和宽,根据公式(1)计算对应灰度级出现的概率,

$$p_r(r_k) = H(k) / N \quad (0 \leq r_k \leq L-1) \text{ 公式 (1)}$$

[0015] 公式(1)中,r<sub>k</sub>表示第k个灰度,p<sub>r</sub>(r<sub>k</sub>)表示第k个灰度级出现的概率,H(k)为第k个灰度级出现的频数,N为图像像素总数,L为图像中可能的灰度级总数;

[0016] S13.根据公式(2)计算原图的灰度级累积分布函数:

[0017]

$$S_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_j(r_j), \quad \text{公式 (2)}$$

[0018] 公式(2)中,S<sub>k</sub>为归一化灰度级,T(r<sub>k</sub>)为变换函数;

[0019] S14.h为变换直方图后的新图像,根据公式(3)求出新图像每个像素的灰度值,绘制新图像h:

$$[0020] \begin{cases} 0 & k = 0 \\ (L-1) \times S_k & k = 1, 2, \dots, L-1 \end{cases} \quad \text{公式 (3)}.$$

[0021] 进一步地,步骤S2中所述的设计工件背景分割卡,对增强后的图像进行背景分割的具体操作步骤是:

[0022] S21.针对不同型号的焊接工件设置不同的区域分割二维矩阵,设定一个m×n(m,n分别为图像长和宽)二维矩阵T,矩阵T中只有0和1两个值,通过调整0和1值的排布,将矩阵分割成特定的1和0两类区域,1和0两个区域对应于工件中的兴趣区域和非兴趣区域,不同的工件焊接图像中焊接的形状和区域分布不同,工件类型众多,针对不同的工件,设置不同的T来满足工件需求;

[0023] S22.某特定工件焊接灰度图像为f(i,j),将该工件图像根据其对应的二维矩阵T中的0和1的分布进行分割,分割依据为:

$$[0024] f(i,j) = \begin{cases} f(i,j) & T(i,j) = 1 \\ 0 & T(i,j) = 0 \end{cases}$$

[0025] 可将图像中不需要的背景像素值设置为0,将需要的背景像素保留,方便后续的特征提取。

[0026] 进一步地,步骤S3中所述的根据焊洞的设计特征提取算法的具体操作步骤是:

[0027] S31.对处理后的灰度图像进行阈值二值化操作,将小于阈值的像素值置0,大于阈值像素值置1,得到0、1二值图像,其中缺陷区域颜色较深,二值化后缺陷区域像素值为0;

[0028] S32.对该二值图像运用轮廓提取算法,获得缺陷区域的轮廓形态信息,并统计轮

廓像素面积信息；

[0029] S33. 根据焊接缺陷像素面积制定缺陷程度划分规则,对新的焊接图像进行处理时,根据该划分规则界定焊接缺陷的缺陷等级,从而实现自动焊接质量分析功能。

[0030] 进一步地,步骤S32中所述的对二值图像运用轮廓提取算法,需进行以下步骤获得缺陷轮廓:

[0031] 输入的二值图像即为0和1的图像,用 $g(i, j)$ 表示图像的像素值, $i$ 和 $j$ 分别为像素点在图像中的横坐标和纵坐标位置。轮廓边界追踪采用编码的思想,给不同的边界赋予不同的整数值,从而确定边界类型以及层次关系。追踪开始从图像左上角逐行扫描,在扫描过程中,不断地对已发现的边界点进行标记,给最新发现的边界用一个独特的可辨识的数字赋值,称它为边界序列号,记做NBD(number of the border)。为了只获得缺陷轮廓,需经过以下四个步骤:

[0032] S321每次行扫描,当 $g(i, j-1) = 0, g(i, j) = 1$ ,则 $g(i, j)$ 是外边界的起始点,给这个新发现的边界一个新的NBD值,初始时NBD=1,每次发现一个新边界时NBD加1;

[0033] S322遇到 $g(i, j) = 1, g(i, j+1) = 0$ 时,将 $g(i, j)$ 置为-NBD,就是右边边界的终止点,遇到负值的像素点是不判断它是否为一个新轮廓的起始点的,确保一个轮廓只扫描一次;

[0034] S323跟踪并标记完整个边界后,重新开始光栅扫描。找到一个边界,就用一个唯一的数字去标记,最后标记值相同的像素点属于同一个边界,不同边界之间的层次关系通过其标记值保存下来。当扫描到图片的右下角,算法终止。

[0035] S324跟踪到所有轮廓的边界后,统计轮廓的面积信息,根据以下规则区分该轮廓是否为需要提取的缺陷轮廓,其中area表示统计得到的图像中轮廓的像素面积(像素\*像素):

[0036]	$\begin{cases} \text{area} > 100000 & \text{视作背景} \\ \text{area} < 1000 & \text{视作杂质} \\ 10000 \leq \text{area} \leq 100000 & \text{视作有效的缺陷轮廓} \end{cases}$
--------	---

[0037] 进一步地,步骤S33中所述的根据焊接缺陷像素面积制定缺陷程度划分规则如下表所示:

[0038]

序号	1	2	3	4
面积	小于1k	1k~10k	10k~20k	大于20k
级别	合格	小缺陷	大缺陷	严重缺陷

[0039] 该表格是依靠实际的焊接经验人为制定而成,通过对焊接缺陷分级,可以对焊接后的工件进行有效的分类以进行批量处理。

[0040] 采用本发明可以达到如下的有益效果:

[0041] 将机器视觉技术运用于焊接领域,设计的缺陷特征提取算法能够自动识别焊接缺陷,成功地解决了焊接质量需要人工监控的问题,减少了人力成本,提高生产效率。

[0042] 将图像处理技术运用于现场生产,创造性地设计了背景分割卡,针对不同型号的焊接工件都能获得较好的图像处理结果,解决了昏暗条件下背景复杂前后景分离困难的技术难题。

## 附图说明

- [0043] 图1示出了具体实施过程中的三个步骤流程图。
- [0044] 图2(a)为待处理焊接工件的原始图像的像素分布图;图2(b)为图像增强后的图像的像素分布图;图2(c)为直方图均衡化前后的像素分布图。
- [0045] 图3(a)为3条焊缝工件焊接原图;图3(b)为两条焊缝工件焊接原图;图3(c)为拐角区域焊缝工件焊接原图;图3(d)为3条焊缝工件背景分割卡处理后图像;图3(e)为两条焊缝工件背景分割卡处理后图像;图3(f)为拐角区域焊缝工件背景分割卡处理后图像。
- [0046] 图4(a)为焊接工件二值化后的图像;图4(b)为提取出的缺陷特征形态图像。
- [0047] 图5(a)为第一组用于试验算法效果的焊接缺陷工件样本;图5(b)为了第二组焊接缺陷工件样本;图5(c)为第三组焊接缺陷工件样本;图5(d)为第四组焊接缺陷工件样本;图5(e)为第五组焊接缺陷工件样本;图5(f)为第六组焊接缺陷工件样本;图5(g)为第七组焊接缺陷工件样本;图5(h)为第八组焊接缺陷工件样本;图5(i)为第九组焊接缺陷工件样本;图5(j)为第十组焊接缺陷工件样本。

## 具体实施方式

- [0048] 下面结合具体实施方式,进一步阐明本发明,应理解下述具体实施方式仅用于说明本发明而不同于限制本发明的范围。
- [0049] 根据本发明的一个实施例,提供一种基于图像处理的焊接缺陷特征提取与焊接质量分析方法。
- [0050] 概括而言,该方法在采集焊接图像后,运用图像增强,背景分割,二值化处理和轮廓提取等图像处理技术,提取出焊接后工件中的焊接缺陷特征,并计算缺陷面积,对缺陷程度进行自动分级。

- [0051] 下面将结合图1详细描述该方法的各个步骤。
- [0052] 在步骤一中,先通过黑白工业相机采集焊接后的灰度图像,如图2(a)所示。
- [0053] 然后,对采集的焊接工件图像进行直方图均衡化的图像增强操作。直方图均衡化是一种仅靠输入图像直方图信息自动达到图像增强效果的变换函数。
- [0054] 先根据公式 $p_r(r_k) = H(k) / N (0 \leq r_k \leq 1, k = 0, 1, 2 \dots L-1)$ 计算对应灰度级出现的概率,再计算原图的灰度级累积分布函数: $S_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_j(r_j)$ ,最后根据公式
- $$\begin{cases} 0 & k=0 \\ (L-1) \times S_k & k=1, 2 \dots L-1 \end{cases}$$
- 求出新图像每个像素的灰度值,绘制新图像。

- [0055] 它的基本思想是对图像中像素个数多的灰度级进行展宽,而对图像中像素个数少的灰度进行压缩,从而扩展像素取值的动态范围,提高了对比度和灰度色调的变化,使图像更加清晰。

- [0056] 图2(b)示出了焊接后图像均衡化处理后的效果,图2(c)示出了直方图均衡化前后的像素分布对比图,像素分布更加均匀,均衡化后的图像更亮丽清晰。均衡化弥补了光线不足的劣势,更突出细节,有利于特征的提取。

- [0057] 在步骤二中,先为不同型号的焊接工件设计背景分割卡来划分焊接区域。首先制

作0、1区域二维分割矩阵T，T为一个 $m \times n$ (m,n分别为图像长和宽)二维矩阵,矩阵T中只有0和1两个值。通过调整0和1值的排布,可以将矩阵分割成特定的1和0两类区域,1和0两个区域对应于工件中的兴趣区域和非兴趣区域。不同的工件焊接图像中焊接的形状和区域分布不同,工件类型众多,可以针对不同的工件,设置不同的T来满足工件需求。

[0058] 然后,将二维矩阵与与之对应的焊接工件增强处理后的图像结合,设待处理图像为 $f(i,j)$ ,可以根据如下公式,获得背景分割后的图像。

$$[0059] f(i,j) = \begin{cases} f(i,j) & T(i,j)=1 \\ 0 & T(i,j)=0 \end{cases}$$

[0060] 可将图像中不需要的背景像素值设置为0,将需要的背景像素保留,方便后续的特征提取。图3(a)-(f)示出了三种类型工件运用对应的背景分割卡后获得的背景分割效果。其中,图3(d)示出了实施例所用焊接工件背景除杂后的图像。

[0061] 在步骤三中,先对步骤二处理后的图像进行图像二值化。

[0062] 图像的二值化有利于图像的进一步处理,使图像变得简单,而且数据量减小,能凸显出感兴趣的目标的轮廓。要进行二值图像的处理与分析,首先要把灰度图像二值化,得到二值化图像。所有灰度大于或等于阀值的像素被判定为属于特定物体,其灰度值设置为255,否则这些像素点被排除在物体区域以外,灰度值设置为0,表示背景区域。

[0063] 图4(a)示出了焊接工件二值化后的图像。

[0064] 最后,提取图像的焊接缺陷特征,特征包括焊接缺陷的形态信息和占用像素面积。

[0065] 通过设置轮廓提取时的像素面积阈值,可以排除掉一些非缺陷杂质,只获取有效的缺陷轮廓信息和缺陷面积大小信息。

[0066] 图4(b)示出了焊接工件缺陷特征提取出的特征形态图像。

[0067] 最后,比对提取出的缺陷面积大小与分级规则,对缺陷程度进行分级。

[0068] 现统计了十组样本的缺陷面积和缺陷分级情况,并对样本中的缺陷位置用红线进行了标注。

[0069] 图5(a)-(j)示出了试验中十组焊接缺陷样本图像。

[0070] 以下表格示出了图5十组焊接缺陷样本运用该方法后获得的自动分级情况。

[0071]

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
面积	17629	16194	25125	5471	9433	2749	6165	15148	24009	6784
分级	大 缺陷	大 缺陷	严 重 缺陷	小 缺陷	小 缺陷	小 缺陷	小 缺陷	大 缺陷	严 重 缺陷	小 缺陷

[0072] 该方法在焊接缺陷特征提取中获得了较理想的效果并根据缺陷分级规则自动进行了合理的分级,分级结果比较准确。

[0073] 本方法最重要的特点是将多种图像处理方法融合,设计了针对不同型号工件的背景分割卡,成功解决了现场灯光不足导致工件图像较暗及背景复杂导致缺陷提取困难等问题。结合图像处理中的轮廓提取算法设计了针对焊接缺陷特征的特征提取算法,从复杂的鱼鳞焊接曲线中清晰地提取出了缺陷特征,为自动化焊接质量监控提供了新的思路,精确

的轮廓面积计算,为缺陷工件的分类提供了参考依据。

[0074] 应当指出,上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例,而并非对实施方式的限定,这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。本实施例中未明确的各组成部分均可用现有技术加以实现。对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

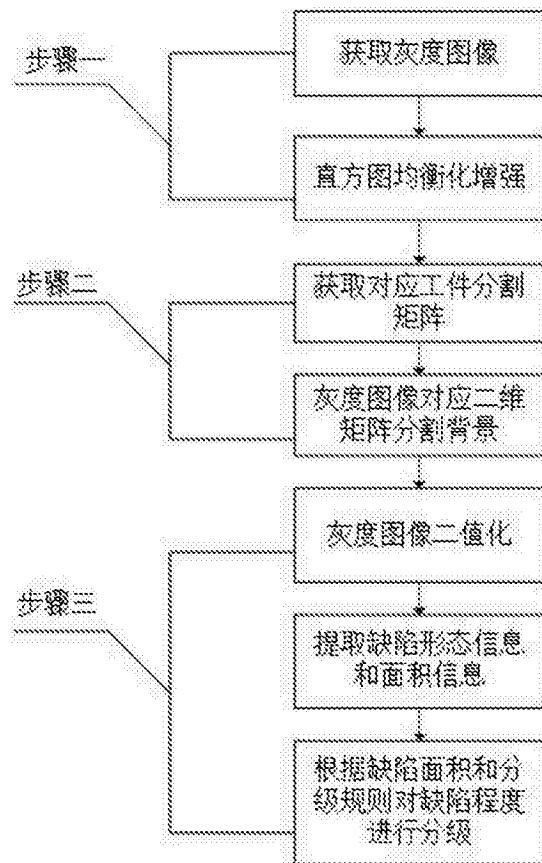


图1

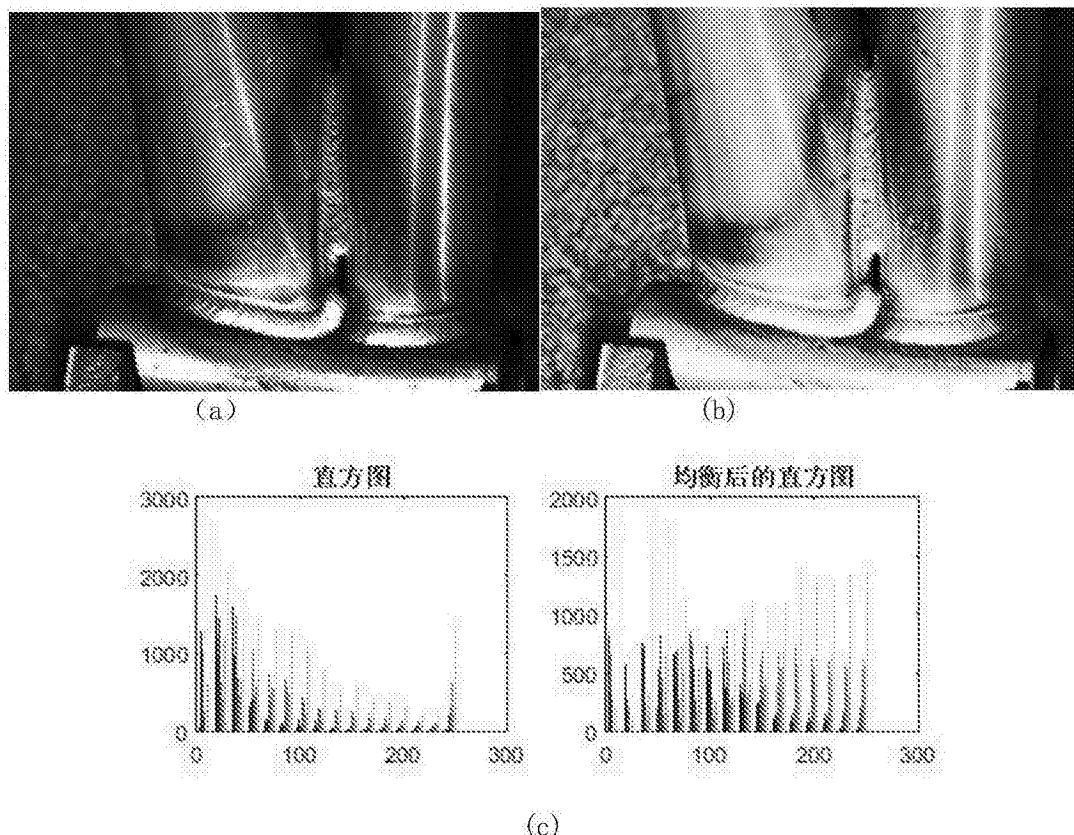


图2

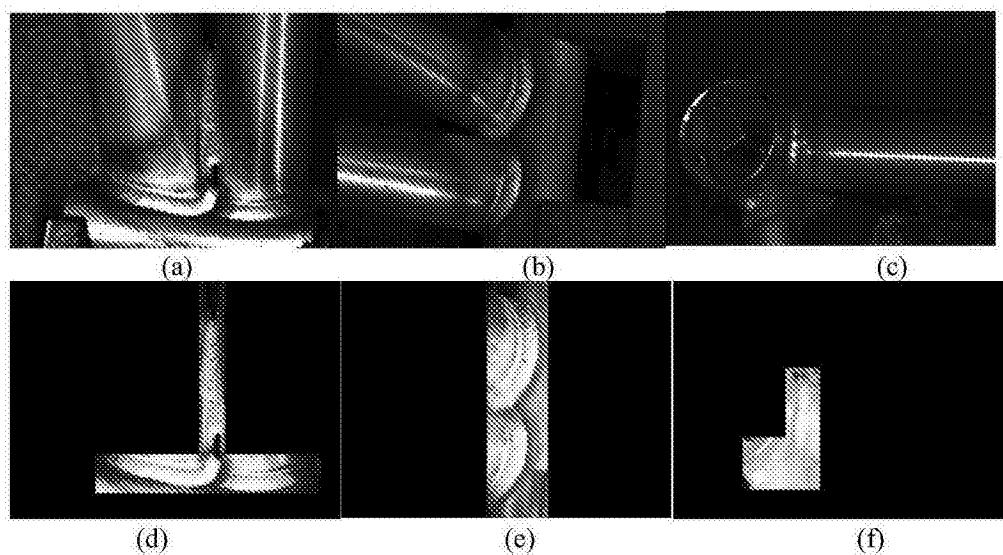


图3

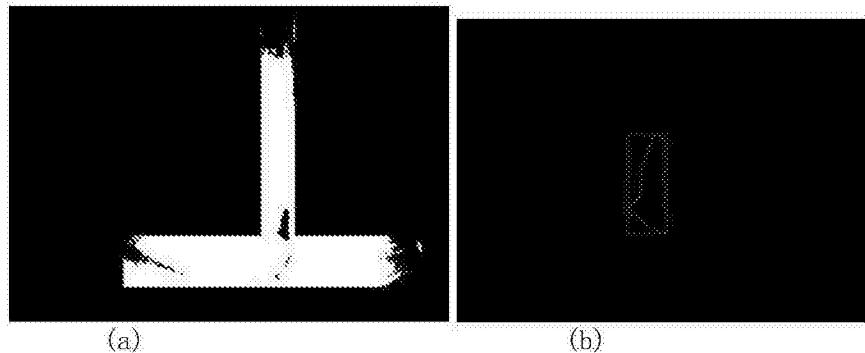


图4

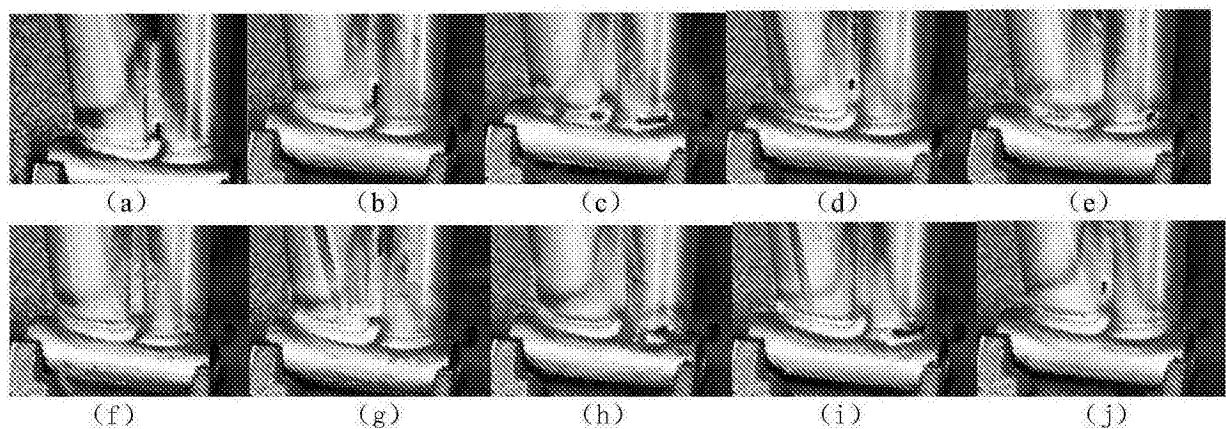


图5