

基于高斯滤波和信息熵原理的 R_a 评定研究

钟艳如¹, 郭德伟¹, 黄美发²

ZHONG Yan-ru¹, GUO De-wei¹, HUANG Mei-fa²

1. 桂林电子科技大学 计算机与控制学院, 广西 桂林 541004

2. 桂林电子科技大学 机电工程学院, 广西 桂林 541004

1. School of Computer and Control, Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi 541004, China

2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi 541004, China

E-mail: boykug@hotmail.com

ZHONG Yan-ru, GUO De-wei, HUANG Mei-fa. Application of Gauss filtering and information entropy principle in verification of arithmetic mean deviation. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(7): 230-234.

Abstract: A calculation method for uncertainty of R_a is proposed to assure integrity of the verification result and its validity. The method calculates the verification results by the basic principle of Gauss filtering of R_a in surface roughness. Then, the uncertainty of the verification results is computed by the relations between information entropy and uncertainty. The experiment results demonstrate that the components can be accepted or rejected quantitatively by the decision rules provided by ISO 14253-1, on the basis of the result of R_a and uncertainty. Therefore, this method can decrease the number of parts of mis-acceptance and mis-rejection. Finally, the paper compares the verification result and its validity calculated by the least squares with calculated by the Gauss filtering, and the Gauss filtering is better than the least squares to assess the R_a of surface roughness when the uncertainty of the verification results is given.

Key words: new generation of GPS standards; uncertainty calculation; information entropy; Gauss filtering; arithmetic mean deviation (R_a)

摘要: 提出了一种表面粗糙度 R_a 测量不确定度的计算方法。该方法依据高斯滤波的基本原理计算检验结果, 并根据信息熵与不确定度的关系计算检验结果的不确定度。实验结果表明, 根据 R_a 的测量结果及其不确定度和 ISO 14253-1 给出的判定原则, 可以定量地判定产品是否合格, 从而减少产品的误收和误废。最后, 对利用高斯滤波法和最小二乘法计算的检验结果及其不确定度进行对比, 认为在考虑检验结果不确定因素的基础上, 高斯滤波法更适合表面粗糙度参数的评定。

关键词: 新一代 GPS 标准; 不确定度; 信息熵; 高斯滤波; 算术平均偏差 (R_a)

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.07.070 **文章编号:** 1002-8331(2009)07-0230-05 **文献标识码:** A **中图分类号:** TG84

1 引言

表面粗糙度是指在机械加工过程中形成的微观几何形状特征。表面粗糙度的大小将直接影响零件的耐磨性、抗腐蚀性, 影响零件的疲劳强度工作精度^[1], 因此, 表面粗糙度是评定加工制品表面质量的重要指标。目前的表面粗糙度测量技术中, 主要以算术平均中线、最小二乘中线和高斯中线作为评定基准, 近几年也提出了小波中线, 但都存在以下不足^[2]:

(1) 在一个取样长度上可以找到多个算术平均中线, 以不同的中线作为评定基准, 会产生不同的结果。

(2) 虽然最小二乘中线是唯一的, 但相邻取样长度的中线并不能保证连续, 在取样长度的端点应用两侧中线为基准线, 会产生不同的结果。

(3) 虽然高斯中线可以解决(1)和(2)中存在的不足, 但表面粗糙度参数往往只给出检验结果, 而没有考虑检验结果的不确定因素, 从而引起工件的误收和误废, 不符合新一代 GPS 标准规范。

为此, 根据新一代 GPS (Geometrical Product Specification) 标准^[3-4]中表面粗糙度的检验操作链、高斯滤波的基本原理^[5-6]和 ISO 14253-1^[7]给出的判定原则, 提出了一种平面表面粗糙度 R_a 高斯滤波检验的不确定度计算方法。新一代 GPS 标准中, 表面粗糙度的检验操作链主要包括分离、提取、滤波、拟合和评定 5 种操作。在拟合操作中利用傅里叶变换法拟合得到评定长度中表面粗糙度测量数据的高斯中线, 从而根据表面粗糙度 R_a 的定义求得其检验结果, 并根据信息熵与测量不确定度的关系,

基金项目: 广西省自然科学基金(the Natural Science Foundation of Guangxi of China under Grant No.0708211); 广西“新世纪十百千人才工程”专项资金(No.桂人函[2007]74号文)。

作者简介: 钟艳如(1965-), 女, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向计算机辅助精度设计; 郭德伟(1982-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为计算机辅助公差设计; 黄美发(1962-), 男, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向机电系统精度的智能设计、精密检测与控制、制造系统建模与优化、虚拟设计以及国际新一代精度理论体系的基础研究等。

收稿日期: 2008-01-03 **修回日期:** 2008-04-22

求得其检验结果的扩展不确定度,并依据 ISO14253-1 给出的判定原则对被测表面的粗糙度 R_a 进行一致性比较。最后,对利用高斯滤波法和最小二乘法计算的检验结果的不确定度进行对比,结果表明,在考虑了检验结果的不确定因素的情况下,高斯滤波法同样也比最小二乘法更适合零件表面粗糙度的评定,能更好地减少产品的误收和误废。

2 高斯滤波

2.1 高斯滤波器的基本原理

根据 ISO 11562^[8],高斯滤波器^[5-6]是一个由方程 $h(x)$ 定义的连续权函数的线性轮廓滤波器:

$$h(x) = \frac{1}{\alpha\lambda_c} \exp\left[-\pi\left(\frac{x}{\alpha\lambda_c}\right)^2\right] \quad (1)$$

其中: x 是权函数离中心点(即最大点)的距离, λ_c 是截止波长, $\alpha = \sqrt{\log 2/\pi} \approx 0.4697$ 是一个常数。

设表面轮廓为 $z(x)$, 则通过一次卷积运算可以将表面轮廓 $z(x)$ 分离为高频粗糙度信号 $r(x)$ 和低频基准信号 $w(x)$ 两部分,且:

$$r(x) = z(x) - w(x) \quad (2)$$

当满足采样定理,以等距离采样间隔 Δx 离散采样时, $x_i = (i-1) \cdot \Delta x$ ($1 \leq i \leq n$, n 为采样点数), 则离散化的低频基准信号 $w(x_i)$ 的计算公式为:

$$w(x_i) = \sum_{k=-m}^m z(x_i) h(k\Delta x) \Delta x \quad (3)$$

其中 m 为高斯权函数的半窗宽, $i = m, m+1, \dots, n-m$ 。

由式(2)和式(3)可得,离散高频粗糙度信号 $r(x_i)$ 的计算公式为:

$$r(x_i) = z(x_i) - w(x_i) \quad (4)$$

可见,若设表面轮廓的等间隔采样数据为 x_i ($1 \leq i \leq n$, n 为采样点数), 则可由式(3)求得采样数据的低频基准信号 $w(x_i)$, 由式(4)求得采样数据的高频粗糙度信号 $r(x_i)$ 。

2.2 R_a 高斯滤波检验的操作步骤

表面粗糙度的高斯滤波检验主要包括分离、提取、滤波、拟合和评定 5 种操作步骤:

(1) 分离。通过分离,从非理想表面模型获取一条非理想的表面形貌轮廓,如图 1(a)和(b)所示。图 1(a)所示为通过截面从非理想表面模型获取一条非理想表面形貌轮廓,放大后的非理想表面形貌轮廓如图 1(b)所示。

(2) 提取。从分离要素中确定替代实际要素的有限个点,如图 1(b)和(c)所示。本文中的分离要素为如图 1(b)所示的非理想表面形貌轮廓,实际要素为如图 1(c)所示的采样间隔为 Δx (其中 Δx 满足采样定理)的有限个采样数据 x_i ($1 \leq i \leq n$, n 为采样点数)。

(3) 滤波。根据第 2.1 节中介绍的高斯滤波器的基本原理,由式(3)和式(4)分别求得采样数据 x_i 的低频基准信号 $w(x_i)$ 和 高频粗糙度信号 $r(x_i)$ 。如图 1(c)、(d)和(e)所示。图 1(c)为等间隔的采样数据,图 1(d)为采样数据经过高斯滤波后得到的高频基准信号,图 1(e)为采样数据经过高斯滤波后得到的低频基准信号。

(4) 拟合。根据明确的规则,通过拟合得到非理想轮廓的理

想中线。对于平面表面粗糙度高斯滤波检验来说,拟合规则就是选择合适的曲线拟合方法对如图 1(e)所示的低频基准信号 $w(x_i)$ 进行拟合,从而得到拟合中线的方程。本文使用 matlab 拟合工具中的傅里叶变换进行拟合,表面粗糙度高斯滤波检验的拟合中线可以表示为:

$$y = \sum_{m=0}^8 [a_m \cos(mwx) + b_m \sin(mwx)] \quad (5)$$

其中 m 为拟合的阶数, w 为与拟合数据相关的系数。拟合后的函数波形如图 1(f)所示。

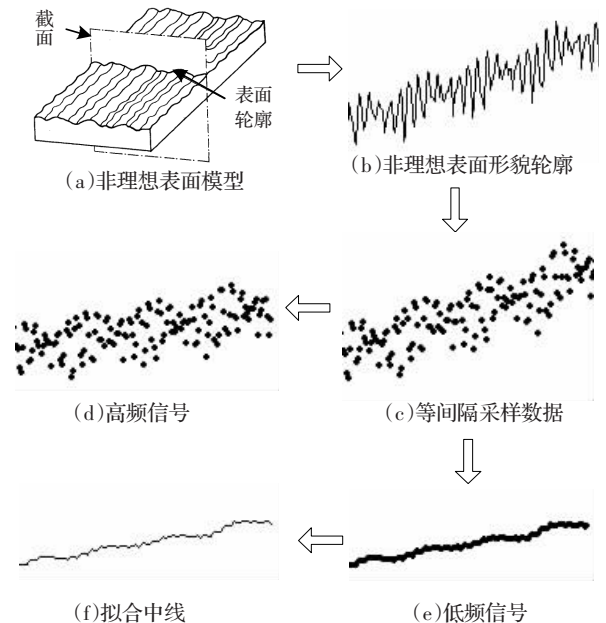


图 1 表面粗糙度检验操作链

(5) 评定。根据拟合中线方程,由下面的公式计算给定采样点 (x_i, y_i) 到高斯中线的距离:

$$w_i = \pm \sqrt{\min[(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2]} \quad (6)$$

其中:点 (x, y) 满足式(5)。

式(6)中 w_i 的符号可以通过以下方法来判别:若 $y_i -$

$\sum_{m=0}^8 [a_m \cos(mwx_i) + b_m \sin(mwx_i)] \geq 0$, 则采样点 (x_i, y_i) 在拟合中线上或曲线上, w_i 的符号为正;若 $y_i - \sum_{m=0}^8 [a_m \cos(mwx_i) + b_m \sin(mwx_i)] < 0$, 则采样点 (x_i, y_i) 在拟合中线下方, w_i 的符号为负。

由前面的拟合操作可知,若已知表面粗糙度 R_a 测量数据样本,则可经过滤波、拟合操作求得高斯中线,从而由式(6)求得测量数据样本中每个点 (x_i, y_i) 到拟合中线的距离 w_i 。

3 信息熵及其与测量不确定度的关系

目前的测量不确定度包括两类评定方法,即 A 类评定和 B 类评定。A 类评定方法在实际测量过程中很难满足评定所需要的条件,若仍采用 A 类评定方法则不可能获得较高的评定精度,而基于信息熵原理的不确定度评定则没有对测量数据样本独立同分布的要求,且在大小样本容量下均能获得可靠的评定结果^[9]。

离散信源的熵 $H(X)$ 可以表示为:

$$H(X)=H(p_1, p_2, \dots, p_n)=-\sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad (7)$$

对于连续信源, 随机变量 X 的分布用概率密度函数 $p(x)$ 来表示, 则连续信源的熵 $H(X)$ 的表达式为:

$$H(X)=H(p(x))=-\int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \ln p(x) dx = -E[\ln p(x)] \quad (8)$$

其中 $E[\ln p(x)]$ 为 $\ln p(x)$ 的数学期望。由此可见, 熵表示的是平均信息量。

具有某一概率分布的随机变量 X , 其熵 $H(X)$ 与方差之间存在一定的对应关系。在参考文献[9-10]中已经对 3 种常见分布的熵与方差的对应关系进行分析, 从而得到扩展不确定度 U 与熵 $H(X)$ 有如式(9)所示的关系:

$$U = \frac{e^{H(X)}}{2} \quad (9)$$

由式(9)所示关系可知, 表面粗糙度 R_a 测量数据样本的扩展不确定度可以通过计算其熵来得到。

4 R_a 检验结果及其不确定度的计算

4.1 R_a 检验结果的计算

根据 GB/T 3505-1983^[11] 中表面粗糙度主要评定参数 R_a 的规定, 本文规定 R_a 为在评定长度 l_n 内轮廓偏距 (在测量方向上轮廓线上的点到基准线的距离) 绝对值的算术平均值。如图 2 所示, 图中 $r(x)$ 为评定长度 l_n 内的高频粗糙度信号的函数曲线, $w(x)$ 为评定长度 l_n 内的低频基准信号的函数曲线, w_i 为评定长度 l_n 内轮廓取样点到基准线 (本文的基准线为高斯中线) 的距离, 则表面粗糙度 R_a 的计算公式可近似表示为:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |w_i| \quad (10)$$

其中 n 为采样点的个数。

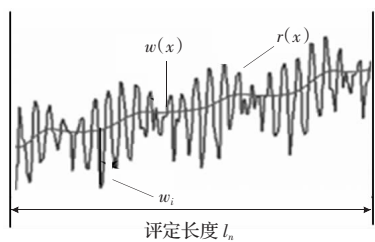


图 2 轮廓曲线和表面粗糙度表征参数 R_a

根据第 2.2 节中给出的表面粗糙度 R_a 高斯滤波检验的操作步骤, 将式(5)和式(6)代入式(10)可得表面粗糙度 R_a 高斯滤波的检验结果 δ 为:

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{\min[(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2]} \quad (11)$$

这样, 通过式(11)就可以得到表面粗糙度 R_a 高斯滤波的检验结果 δ 。

4.2 R_a 检验结果的不确定度计算

表面粗糙度 R_a 高斯滤波的检验结果 δ 的不确定度可以依据第 3 章中介绍的信息熵与测量不确定度的关系进行计算。对于本文的表面粗糙度 R_a 测量数据样本来说, 可以将 w_1, w_2, \dots, w_n 看作样本 W , 采用分组统计频数的熵估计方法来求其熵估计。具体方法为:

(1) 将样本 W 按其等间距 Δ 分为 m 组 (分组数取决于样本容量, 本文取 $m=10^{[9]}$), 则:

$$\Delta = \frac{w_{\max} - w_{\min}}{m}$$

其中: w_{\max} 为样本 W 中的最大值, w_{\min} 为样本 W 中的最小值。

(2) 统计样本 W 在每组内出现的频数 n_i , 并用相应的频率 $p_i = n_i/N$ (N 为样本 W 的容量, $1 \leq i \leq m$) 作为概率估计, 用频率密度 p_i/Δ 作为概率密度估计, 则样本的熵估计 $\hat{H}(W)$ 为:

$$\hat{H}(W) = -E[\ln p(x)] \approx -\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N} \ln \left(\frac{n_i}{N \cdot \Delta} \right) \quad (12)$$

(3) 将式(12)代入式(9)可得检验结果 δ 的扩展不确定度 U 的计算公式为:

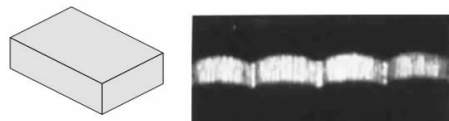
$$U = \frac{e^{\hat{H}(W)}}{2} \quad (13)$$

由式(12)和式(13)所示的扩展不确定度 U 的计算公式可以看出, 只要求得各采样点到拟合中线的距离 w_i ($1 \leq i \leq n$), 就可以按照上面的熵估计方法求得检验结果 δ 的扩展不确定度 U 。

5 实验分析

5.1 高斯滤波法检验结果不确定度的计算分析

如图 3(a) 所示为表面粗糙度 R_a 公差为 0.02 mm 的长方形工件, 用光切显微镜进行测量时的工件表面轮廓如图 3(b)^[12] 所示。



(a) 工作 (b) 光切显微镜表面轮廓

图 3 光切显微镜测量长方形工件

根据 GB/T 3505-1983 中表面粗糙度主要术语关于评定长度 l_n 的规定, 本文取评定长度 $l_n=7.5$ mm, 其中, 测量时对评定长度 l_n 进行三次重复测量, 第一次测量的部分数据见表 1。

根据表面粗糙度测量的国际标准 ISO4288^[13] 规定, 选取截止波长与取样长度相等, 即选取截止波长为 $\lambda_c=2.5$ mm。取样间隔的选取与表面轮廓的频率有关, 用光切显微镜进行测量时, 在评定长度内估计一微观不平度间距最小的中线长度 l_{\min} 作为表面轮廓的周期 T , 则由采样定理可得取样间隔 $\Delta x \leq l_{\min}/2$ 。本实验选取取样间隔为 $\Delta x=0.05$ mm。根据式(3)和(4), 选取高斯权函数的半窗宽 $m=6$, 则可由采样数据计算其低频基准信号 $w(x_{(i)})$ 和高频粗糙度信号 $r(x_{(i)})$ 。根据式(5), 由低频基准信号 $w(x_{(i)})$ 计算出拟合中线方程的系数 a_m, b_m 和 w 。对于表面粗糙度 R_a 测量数据来说, 由式(5)和三组滤波后的低频基准信号 $w(x_{(i)})$ 求得评定长度 l_n 的拟合中线方程的格式如式(14)所示。

$$y = \sum_{m=0}^8 [a_m \cos(mx) + b_m \sin(mx)] \quad (14)$$

其中, 式(14)各系数的值如表 2 所示。表 2 中每组的均方差反映了拟合效果的好坏, 从表中的 3 个均方差的大小可以看出, 本文所采用的拟合方法比较适合。

由高频粗糙度信号 $r(x_{(i)})$ 和式(14)所示的拟合中线方程, 可由式(11)求得每个评定长度中 R_a 的高斯滤波检验结果。在评定长度中, 取三组检验结果的平均值作为表面粗糙度 R_a 高

表1 第一组部分测量数据

序号	x/mm	$y(\times 6.25 \times 10^{-4})/mm$	序号	x/mm	$y(\times 6.25 \times 10^{-4})/mm$	序号	x/mm	$y(\times 6.25 \times 10^{-4})/mm$
1	0.000	39.2	26	1.250	43.4	51	2.500	53.8
2	0.050	29.4	27	1.300	39.4	52	2.550	62.0
3	0.100	32.2	28	1.350	48.0	53	2.600	54.0
4	0.150	27.2	29	1.400	48.2	54	2.650	42.2
5	0.200	29.8	30	1.450	43.4	55	2.700	41.2
6	0.250	43.2	31	1.500	43.8	56	2.750	46.8
7	0.300	42.0	32	1.550	33.4	57	2.800	61.2
8	0.350	36.4	33	1.600	37.8	58	2.850	60.8
9	0.400	21.0	34	1.650	43.4	59	2.900	53.4
10	0.450	28.8	35	1.700	47.8	60	2.950	48.8
11	0.500	42.6	36	1.750	45.6	61	3.000	47.4
12	0.550	47.2	37	1.800	44.8	62	3.050	51.0
13	0.600	38.0	38	1.850	31.8	63	3.100	60.2
14	0.650	30.6	39	1.900	37.2	64	3.150	54.6
15	0.700	28.8	40	1.950	43.8	65	3.200	51.2
16	0.750	33.8	41	2.000	51.6	66	3.250	52.2
17	0.800	50.8	42	2.050	48.8	67	3.300	45.8
18	0.850	49.8	43	2.100	36.8	68	3.350	50.6
19	0.900	40.8	44	2.150	27.8	69	3.400	50.2
20	0.950	36.0	45	2.200	43.2	70	3.450	54.8
21	1.000	36.2	46	2.250	54.8	71	3.500	55.2
22	1.050	44.8	47	2.300	54.6	72	3.550	52.2
23	1.100	51.2	48	2.350	46.4	73	3.600	45.8
24	1.050	43.6	49	2.400	36.2	74	3.650	51.0
25	1.200	42.3	50	2.450	35.2	75	3.700	56.8

表2 高斯中线参数表

第1组				第2组				第3组			
系数	值	系数	值	系数	值	系数	值	系数	值	系数	值
a_0	0.017 520 00	b_0	0	a_0	1.115 000	b_0	0	a_0	0.017 560 00	b_0	0
a_1	0.000 133 10	b_1	-0.004 049 0	a_1	-2.0530 00	b_1	-0.031 310 0	a_1	-0.000 059 17	b_1	0.004 110 0
a_2	0.000 065 71	b_2	-0.002 175 0	a_2	1.676 000	b_2	0.055 360 0	a_2	-0.000 103 90	b_2	-0.002 196 0
a_3	-0.000 203 30	b_3	-0.001 319 0	a_3	-1.185 000	b_3	-0.053 110 0	a_3	0.000 274 50	b_3	0.001 211 0
a_4	-0.000 611 60	b_4	-0.000 713 4	a_4	0.714 700	b_4	0.034 720 0	a_4	-0.000 612 60	b_4	-0.000 664 8
a_5	0.000 227 30	b_5	-0.000 691 4	a_5	-0.358 500	b_5	-0.015 340 0	a_5	-0.000 236 50	b_5	0.000 653 5
a_6	0.000 215 20	b_6	-0.000 532 8	a_6	0.143 300	b_6	0.003 491 0	a_6	0.000 211 60	b_6	-0.000 469 5
a_7	0.000 108 70	b_7	-0.000 337 3	a_7	-0.042 310	b_7	-0.000 581 0	a_7	0.000 033 77	b_7	0.000 283 2
a_8	0.000 076 79	b_8	-0.000 260 3	a_8	0.006 723	b_8	-0.000 382 7	a_8	0.000 028 68	b_8	-0.000 218 0
w	0.792 2	均方差	0.000 269	w	0.959 3	均方差	0.000 212 9	w	1.661	均方差	0.000 220 2

斯滤波的检验结果,结果如表3所示,第1行的前面6列分别为3组测量的检验结果 δ_i ,最后两列为评定长度内得到的表面粗糙度 R_a 的检验结果 δ 。从而得表面粗糙度 R_a 高斯滤波的检验结果 δ 为: $\delta=0.003 3 \text{ mm}$ 。

表3 高斯中线法检验结果及不确定度 mm

第1组	第2组	第3组	平均值				
δ_1	0.003 2	δ_2	0.003 3	δ_3	0.003 3	δ	0.003 3
u_1	0.007 5	u_2	0.007 4	u_3	0.007 8	u_δ	0.007 6

用第4.2节中所述的扩展不确定度 U 的计算方法,对每组评定长度的采样数据进行扩展不确定度计算,并取3个扩展不确定度值的平均值作为表面粗糙度 R_a 高斯滤波检验的不确定度,如表3所示,第2行的前面6列分别为3组测量的检验结果的不确定度 u_i ,最后两列为评定长度内得到的表面粗糙度 R_a 的检验结果的不确定度 u_δ ,则可得表面粗糙度 R_a 高斯滤波检验的不确定度 u_δ 为: $u_\delta=0.007 6 \text{ mm}$ 。

然后根据ISO 14253-1给出的判定原则对表面粗糙度 R_a 进行一致性比较,如图4所示。

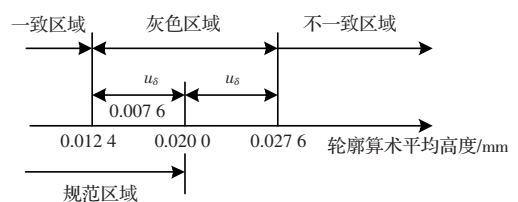


图4 轮廓算术平均偏差检验结果

图4中的0.020 0 mm为所测工件的 R_a 的公差,灰色区域的上下边界分别由公差 $\pm u_\delta$ 得到。由于检验结果 $\delta=0.003 3 < 0.012 4$,由图4可知检验结果的值落在一致区域内,因此依据ISO 14253-1给出的判定原则,该工件是合格的,但如果检验结果落在灰色区域,是否合格就需要由供求双方协商确定。由此可见,不确定度对判定结果有着重要的影响,考虑了不确定

度的判定结果更为合理。

5.2 最小二乘法检验结果不确定度的计算分析

在最小二乘法评定中,取评定长度 l_n 为 3 倍的取样长度 l ,包括取样长度 1、取样长度 2 和取样长度 3。其中,测量时对每个取样长度进行 3 次重复测量,取 3 次重复测量的检验结果及其不确定度的平均值作为每个取样长度的检验结果及其不确定度。最后取 3 个取样长度检验结果及其不确定度的平均值作为表面粗糙度 R_a 的检验结果及其不确定度。

利用最小二乘法对高斯滤波法中所用的数据进行计算,其中,取样长度 $l=2.5$ mm,每个取样长度取 50 个采样点,其结果如表 4 所示,前面 6 列分别是取样长度 1、取样长度 2 和取样长度 3 的检验结果 δ_i 及其不确定度 u_i 的平均值,最后两列为由 3 个取样长度得到的表面粗糙度 R_a 的检验结果 δ 及其不确定度 u_δ 。图 5(a)所示为评定长度内每个取样长度的拟合中线。

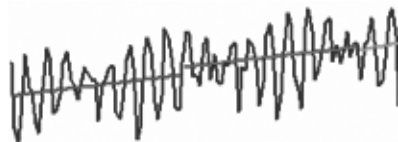
表 4 最小二乘中线法检验结果及不确定度 mm

取样长度 1	取样长度 2	取样长度 3	平均值				
δ_1	0.003 5	δ_2	0.003 5	δ_3	0.003 6	δ	0.003 5
u_1	0.005 4	u_2	0.004 6	u_3	0.006 4	u_δ	0.005 5

5.3 两种方法检验结果的不确定度的对比

下面对基于信息熵原理的最小二乘法和高斯滤波法的检验结果的不确定度进行对比。

由表 4 中的数据和图 5(a)可见,由于每个取样长度的最小二乘中线为分段的折线段,因此 3 个取样长度检验结果的不确定度相差比较大,从而在零件的检验中,可能只考虑到了零件表面某一段的检验结果不确定度,导致零件的误收和误废。由表 3 中的数据和图 5(b)可见,由于高斯滤波法是对整个评定长度进行滤波和计算,对实际轮廓的逼近效果要比最小二乘法好,3 组测量的检验结果的不确定度都比较接近。



(a)最小二乘拟合中线



(b)高斯拟合中线

图 5 拟合中线

另外,由于表 3 中的不确定度均值比表 4 中的不确定度均值大,从而增大了如图 4 所示的灰色区域的范围,也就是缩小了图 4 中的一致区域和不一致区域的范围。缩小一致区域的范围,在产品合格与否的检验中,能更好地减少产品的误收;缩小不一致区域的范围,在产品合格与否的检验中,能更好地减少产品的误废。

6 结论

文章根据高斯滤波原理和信息熵与测量不确定度的关系提出了一种表面粗糙度 R_a 的测量不确定度计算方法,可以直接为表面粗糙度算术平均偏差提供不确定度指标,这不仅保证了表面粗糙度算术平均偏差检验结果的完整性,也符合新一代 GPS 标准的要求,从而在表面粗糙度算术平均偏差的测量过程中可以直接根据 ISO 14253-1 给出的判定原则对表面粗糙度 R_a 进行一致性判定。最后,对高斯滤波法和最小二乘法的检验结果的不确定度进行了比较,结果表明,高斯滤波法的灰色区域范围增大,能更好地减少产品的误收和误废。

参考文献:

- [1] 李柱,徐振高,蒋向前.互换性与测量技术[M].北京:高等教育出版社,2004:217-228.
- [2] 赵学涛.基于小波中线的表面粗糙度测量及表征的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2001:33-34.
- [3] ISO/TC 213.ISO/ TS 17450-1 Geometrical product specification (GPS)-General concept-Part1:Model for geometric specification and verification[S].Geneva:International Organization for Standardization,2002.
- [4] ISO/TC 213.ISO/ TS 17450-2 Geometrical product specification (GPS)-General concept-Part2:Basic tenets,specifications,operators and uncertainties[S].Geneva:International Organization for Standardization,2002.
- [5] 王金星.新一代产品几何规范(GPS)不确定度理论及应用研究[D].武汉:华中科技大学,2006:75-78.
- [6] 李慧芬.基于新一代 GPS 体系的表面稳健高斯滤波技术的研究[D].武汉:华中科技大学,2006:17-19.
- [7] ISO/TC 213.ISO 14253-1 Geometrical Product Specification(GPS)-Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment-Part 1:decision rules for proving conformance or non-conformance with specifications[S].Geneva:International Organization for Standardization,1998.
- [8] ISO 11562 Geometrical Product Specifications (GPS)-surface texture:profile method metrological characteristics of phase correct filters[S].Geneva:International Organization for Standardization,1996.
- [9] 王中宇,夏新涛,朱坚民.测量不确定度的非统计理论[M].北京:国防工业出版社,2000:100-108.
- [10] 林洪桦.现代测量误差分析及数据处理(七)[J].计量技术,1997(7):38-41.
- [11] GB/T 3505-1983 表面粗糙度术语表面及其参数[S].国家标准局,1983.
- [12] 谷勇霞,陈辽军.表面粗糙度光切显微镜数码图像数据处理系统的研制[J].机械制造与自动化,2003(6):139-142.
- [13] ISO 4288 Geometrical Product Specification (GPS)-Surface texture-profile method:Rules and procedures for the assessment of surface texture [S].Geneva:International Organization for Standardization,2003.