文章编号：1001-3806(2012)05-0620-03

基于灰度共生矩阵方法的激光散斑特性分析

朱保华[1]，黄 静[2]，张文涛[1]，蒋曲博[1]，周 钦[1]
(1. 桂林电子科技大学 材料科学与工程学院，桂林 541004；2. 贵州民族学院 科研处，贵阳 550000)

摘要： 为了实现物体表面粗糙度的测量，基于激光散斑原理，利用灰度共生矩阵方法计算了激光散斑图像的基本参量，分析了激光散斑含有的物体表面粗糙度特征。在此基础上搭建了物体表面粗糙度激光散斑测量实验系统，采集了不同表面粗糙度标准样板在不同入射角条件下的激光散斑图，继而得到了研磨和平磨条件下散斑条纹对比度与光束入射角之间的关系。结果表明，入射角约为 60°时，散斑特性及其对比度效果最好。

关键词： 激光光学；激光散斑；表面粗糙度；对比度
中图分类号： TN247 **文献标识码：** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.05.011

Analysis of characteristics of laser speckles based on grey level co-occurrence matrix

ZHU Bao-hua[1], *HUANG Jing*[2], *ZHANG Wen-tao*[1], *JIANG Qu-bo*[1], *ZHOU Qin*[1]
(1. School of Materials Science and Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China; 2. Department of Scientific Research, Guizhou University for Nationalities, Guiyang 550000, China)

Abstract: In order to measure the surface roughness, based on laser speckle, the parameters of laser speckles were analyzed by means of gray level co-occurrence matrix least squares method. The measurement system of laser speckle was set up, and the images at different incident angles were compared. The results showed that the contrast of the laser speckles was best when the incident angle was 60°.

Key words: laser optics; laser speckle; surface roughness; contrast

版权所有 © 《激光技术》编辑部

引 言

表面粗糙度作为衡量加工工件表面质量的重要标志之一，反映着加工工件表面微观几何形貌的重要参量[1]。激光散斑方法是一种性能优越的物体表面粗糙度技术，它具有非接触式、测量速度快、精度高等特点[2]。

本文中主要对粗糙面形成的散斑进行了转换，生成相应的灰度共生矩阵，利用灰度共生矩阵所提供的纹理特性参量来进行表面粗糙度表征，继而搭建了激光散斑测量实验系统，以此为基础得到了不同条件下物体表面粗糙度的激光散斑图，并对实验散斑图进行了分析，得到了激光散斑特征与光束入射角之间的关系。

基金项目：广西省自然科学基金资助项目(2012GXNSFAA053229)

作者简介：朱保华(1974-)，女，硕士，讲师，长期从事激光技术及系统理论方面的研究工作。
E-mail: uestczrk@126.com

收稿日期：2011-12-14；收到修改稿日期：2012-01-06

1 激光散斑原理及灰度共生矩阵方法

当具有良好相干性的光波照射在光学粗糙的表面(反射型漫射板)或通过光学粗糙的透射板(透射型漫射板)时，在漫射板一定距离处的接收屏上将得到杂散无规则的斑点式光强分布，这种分布就是所谓的散斑[3]。在相干光照明这样的粗糙表面时，每个面元就相当于一个衍射单元，而整个表面则相当于大量衍射单元构成的“位相光栅”[4]，这样子波之间的光程差约为数个波长。这些经光学粗糙面散射而产生的子波不仅相位随机，而且实振幅也随机，由于诸面元是无规则分布而且数量很大，随着观察点的改变，干涉效果将急剧而无规则地变化。这样一些相位不同的次级相干子波相互干涉而产小强度分布且颗粒状的图样，即为散斑图[5]。

任何图像表面都可以看成 3 维空间中的一个曲面，在 3 维空间中，相隔某一距离的两个像素，它们具有相同的灰度级，或者具有不同的灰度级[6]，若能找出这样两个像素间的联合分布的统计形式，对图像的纹理分析将很有意义的。空间灰度共生矩阵

(spacial gray level co-occurrence matrix, GLCM) 就是基于这种思想的统计方法[7]。灰度共生矩阵用两个位置的像素的联合概率密度来定义，它不仅反映亮度的分布特性，也反映具有同样亮度或接近亮度的像素之间的位置分布特性，是有关图像亮度变化的二阶统计特征[8]，它是定义一组纹理特征的基础。

假定一幅图像 f 由水平方向的 N_x 个像素、垂直方向的 N_y 个像素组成，像素的最大灰度为 N_g。则 3 个行向量可以表示为[9]：

$$\overrightarrow{L_x} = [1,2,3,\cdots,N_x] \tag{1}$$

$$\overrightarrow{L_y} = [1,2,3,\cdots,N_y] \tag{2}$$

$$\overrightarrow{G} = [1,2,3,\cdots,N_g] \tag{3}$$

则可以把待纹理分析的图像 f 理解为从 $\overrightarrow{L_x} \times \overrightarrow{L_y}$ 中的每一个点对应到 $\overrightarrow{G}$ 的一个变换，即对 $\overrightarrow{L_x} \times \overrightarrow{L_y}$ 中的每一个点对应一个属于 f 的灰度，可表示为 $f: \overrightarrow{L_x} \times \overrightarrow{L_y} \rightarrow \overrightarrow{G}$。空间灰度共生矩阵定义为方向 θ(即灰度共生矩阵的生成方向) 和间隔距离 d(即灰度共生矩阵的生成步长) 的函数，该矩阵记为：$[P(i,j,d,\theta)]$。

$P(i,j,d,\theta)$ 表示生成的灰度矩阵的第 i 行第 j 列的元素，$(i,j) \in G \times G$，θ 分别为 0°，45°，90°，135°。对不同的 θ，矩阵的定义为[10]：

$$P(i,j,d,0°) = N\{(k,l),(m,n) \in (L_xL_y) \times (L_xL_y), |k-m| = 0, |l-n| = d\} \tag{4}$$

$$P(i,j,d,45°) = N\{(k,l),(m,n) \in (L_xL_y) \times (L_xL_y), |k-m| = d, |l-n| = d\} \tag{5}$$

$$P(i,j,d,90°) = N\{(k,l),(m,n) \in (L_xL_y) \times (L_xL_y), |k-m| = d, |l-n| = 0\} \tag{6}$$

$$P(i,j,d,135°) = N\{(k,l),(m,n) \in (L_xL_y) \times (L_xL_y), |k-m| = d, |l-n| = d\} \tag{7}$$

上述各式满足 $(k,l) = i$，$(m,n) = j$，记号 $N\{\cdots\}$ 表示满足条件的元素数。矩阵 $[P(i,j,d,\theta)]$ 的第 i 行第 j 列的元素表示所有 θ 方向，相邻间隔为 d 的像素中有一个取 i 值，另一个取 j 值的对点数[11]。

图 1 中给出了激光散斑形成的原理图，把参差不齐的表面考虑为一系列曲率半径只有波长 λ 的 1/2 的凹凸反射镜，考虑把激光束分成直径为波长宽的一系列光束。那么现在取其中两束来分析，细分的激光束分别照射到 Q_1 和 Q_2 窄区域内。经过 Q_1 出的凹面反射镜后会聚于 O_1 后又发散为一束比较窄的光椎，标记为 W_1 波；Q_2 处反射面则发散为 W_2 波面，在夫琅和费面上叠加(相长或相消)。在衍射面上的总扰动将物体上的全部反射镜元产生的相干波相叠加，再像空间产生干涉，由于粗糙便面是随机变化的，所以，这些波

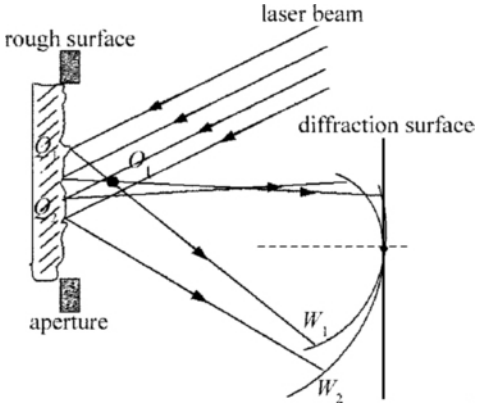

Fig. 1　Schematic diagram of laser speckle

面的相位也是随机变化的故而产生斑点分布也是随机变化的，故此产生亮暗随机变化的散斑图样[12]。

2　散斑图像采集系统

图 2 中给出了散斑图像采集系统装置图。该装置主要由 He-Ne 激光器(波长 $\lambda = 632.8$nm)、表面粗糙度标准样块、CCD 传感器、图像采集卡、计算机、透镜、可滑动光具座、夹具、光学实验平台组成。以 He-Ne 激光器作为光源，透镜 L_1 和 L_2 安装在可滑动的光具座上，用于调节照射到粗糙板 P 上的光束大小。置于透镜和粗糙板之间的光阑用来限制激光束附近的杂散光束照射到粗糙板上。被测试的金属样块位于 L_1 和 L_2 组成的光学系统的焦平面附近，在被照明表面的远场区形成干涉散斑空间。由金属表面的散射光产生的散斑图像经图像采集卡数字化后，以 bmp 格式存储在计算机中，利用计算软件 MATLAB 编程求得纹理特征参量。

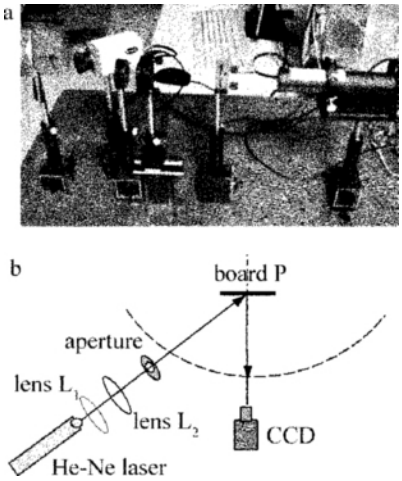

Fig. 2　a—experimental mechanism devices of laser speckle　b—schematic diagram of laser speckle collection

3　实验结果及数据分析

图 3、图 4 和图 5 中分别给出了 $R_a = 0.1\mu m$ 条件

版权所有©《激光技术》编辑部

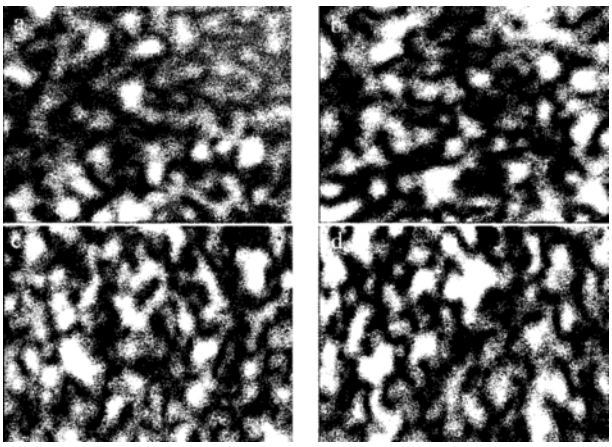

Fig. 3 Drawing of laser speckle at $R_a = 0.1\mu m$ (grinding)
a—incident angle 15° b—incident angle 30° c—incident angle 45° d—incident angle 60°

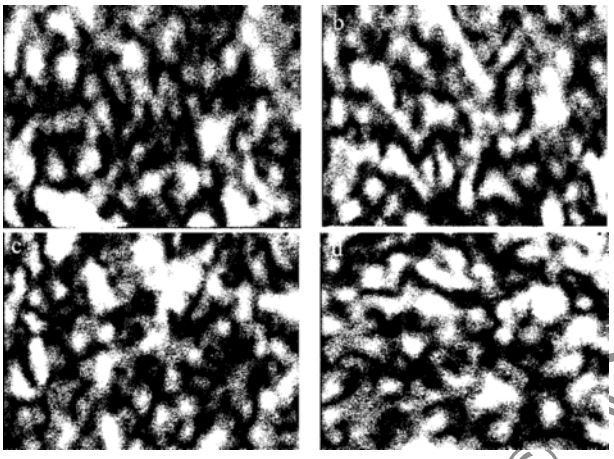

Fig. 4 Drawing of laser speckle at $R_a = 0.1\mu m$ (flat grinding)
a—incident angle 15° b—incident angle 30° c—incident angle 45° d—incident angle 60°

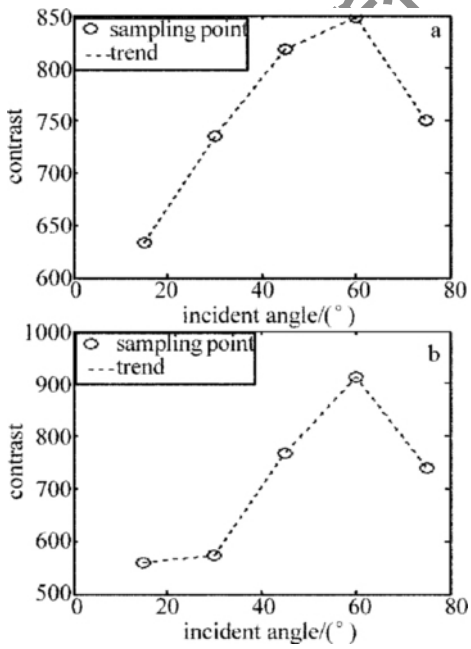

Fig. 5 Contrast vs. incident angle
a—grinding $R_a = 0.1\mu m$ b—flat grinding $R_a = 0.1\mu m$

下，研磨和平磨状态下的激光散斑图以及对比度与入射角之间的关系。由图中可以看出，随着入射角的增加，粗糙表面测量值的对比度呈现先增加后下降的趋势。在 20°～60°之间，随着入射角的不断增加，其对比度迅速增加，所得激光散斑图像也越来越清晰，散斑纹理越来越细。当入射角增大至 60°之后，其对比度随之下降。而在 15°～30°之间，平磨条件下的对比度变化要远远小于研磨条件下对比度的变化。

4 结束语

基于激光散斑原理及灰度共生矩阵方法的特性，搭建了激光散斑测量表面粗糙度测量实验平台，采集了研磨、平磨不同入射角条件下的激光散斑图像，以此为基础分析了入射角与散斑对比度之间的关系，可知入射角为 60°左右时，激光散斑图像较清晰、效果较好。

版权所有©《激光技术》编辑部

参 考 文 献

[1] ZHOU L L, ZHAO X Z. The influence of incident angle on roughness measurement [J]. Laser Journal, 2004, 25(3): 563-565 (in Chinese).

[2] QIN Y W, DAI J B, CHEN J L. Developments on electronic speckle method [J]. Experimental Dynam, 1996, 11(1): 410-415 (in Chinese).

[3] CHEN D Q. Digital speckle correlation and its application in structure monitoring [D]. Suzhou: Suzhou University, 2005: 235-238 (in Chinese).

[4] TOH S L, SHANG H M, TAY C J. Surface-roughness study using laser speckle method [J]. Optics and Lasers in Engineering, 1998, 29(6): 217-225.

[5] WANG Y Z. The mechanism of laser speckle generation and its reduce methods [J]. Journal of Shanxi Normal University, 1983, 4(8): 29-33 (in Chinese).

[6] FENG J. The research of surface-roughness based on laser speckle image texture analysis [D]. Yantai: Yantai University, 2008: 186-190 (in Chinese).

[7] HUANG J Y. Electronic speckle correlation system and measure of surface-roughness [D]. Chongqing: Chongqing University, 2006: 221-229 (in Chinese).

[8] HAMED A M, GHANDOOR H E, DIASTY F E, *et al*. Analysis of speckle images to assess surface roughness [J]. Optics & Laser Technology, 2004, 36(5): 249-253.

[9] QIAN M, LIU J, YAN M Sh, *et al*. Investigation on utilizing laser speckle velocimetry to measure the velocities of nanoparticles in nanofluids [J]. Optics Express, 2006, 14(17): 7559-7566.

[10] MIAO P, LI N, THAKOR N, *et al*. Laser speckle reduction by using a binary micro mirror array: theory and design [J]. Optics Express, 2010, 18(1): 218-236.

[11] RIECHERT F, BASTIAN G, LEMMER U. Laser speckle reduction via colloidal-dispersion-filled projection screens [J]. Applied Optics, 2009, 48(19): 3742-3749.

[12] JIANG Ch, ZHANG H Y, WANG J, *et al*. Dedicated hardware processor and corresponding system-on-chip design for real time laser speckle imaging [J]. Journal of Biomedical Optics, 2011, 16(11): 116008/1-116008/10.