

汽车板 180BH 三维表面轮廓测试

郭晶, 吴长江, 李志伟

(本钢产品研究院用户服务技术研究所, 辽宁 本溪 117000)

摘要: **目的** 测试汽车板的三维表面轮廓及表面结构参数波纹度和粗糙度, 判定汽车板表面是否符合汽车厂标准的要求。**方法** 利用白光干涉的三维光学轮廓仪, 在 15~30 °C、湿度小于 80%、无凝结的条件下, 依照相关国际标准, 测量汽车板表面三维轮廓及波纹度和粗糙度。通过分析汽车板表面结构的形成过程及其分类, 介绍了基于白光相移干涉法测量的原理及方法。**结果** 以 180BH 汽车板为例, 厚度为 0.8 mm, 测试得到其表面最大高度可达到 20 μm , 中间的高度较低, 最低高度为 -13 μm 。取样长度 50 mm, 水平方向经过一次多项式处理, 然后经过 5 次多项式拟合, 去除取样长度内的形状误差, 最后利用高斯滤波器去除 $\lambda_c=0.8$ mm 短波部分, 得到取样长度内的波纹度 W_a 为 0.404 μm , 表面粗糙度 Ra 为 1.089 μm 。**结论** 测试结果显示汽车板 180BH 的波纹度小于 0.5 μm , 表面粗糙度小于 1.2 μm , 均符合汽车厂产品的要求。白光相移干涉三维光学轮廓仪能够清晰地测量汽车板的表面轮廓, 得到表面结构参数, 为汽车板表面质量的评价提供了一个重要的手段。

关键词: 汽车板; 白光干涉; 三维测试; 表面轮廓; 波纹度; 粗糙度

中图分类号: TG84 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2018)01-0249-05

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2018.01.039

3D Surface Profile Test on Auto Sheet 180BH

GUO Jing, WU Chang-jiang, LI Zhi-wei

(Research and Design Institute of Bengang Steel Plates Co. Ltd, Benxi 117000, China)

ABSTRACT: The work aims to determine whether auto sheet surface meets requirements of automobile factory standards by testing 3D surface profile and surface structure parameters of the auto sheet waviness and roughness. 3D contours, waviness and roughness of the auto plate surface were measured with a 3D optical profiler utilizing white light interference according to relevant international standards provided with room temperature of 15~30 °C, humidity of less than 80% and no coagulation condition. Principle and method of measurement based on white light phase-shift interferometry were introduced by analyzing formation process and classification of automobile plate surface structure. Taking auto sheet 180BH as an example, the thickness was 0.8 mm, maximum height of the surface reached 20 μm , height of the middle was lower, and the minimum height was -13 μm . Sampling length was 50 mm, and linear polynomial processing was performed in horizontal direction. Then, shape error in the sampling length was removed by performing 5-order polynomial fitting. Finally, $\lambda_c=0.8$ mm short wave part was used with Gaussian filter, and obtained waviness degree W_a was 0.404 μm , and surface roughness Ra was 1.089 μm . Test results show that waviness of the auto sheet 180BH is below 0.5 μm and surface roughness is below 1.2 μm , which are in line with the requirements for automotive plant products. White light phase-shift interference 3D optical profiler can clearly measure surface profile

收稿日期: 2017-07-03; 修订日期: 2017-11-29

Received: 2017-07-03; Revised: 2017-11-29

作者简介: 郭晶 (1986—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为汽车板成形及表面性能研究, 汽车板冲压模拟仿真。

Biography: GUO Jing (1986—), Female, Master, Research focus: auto plate forming and surface performance research, auto plate stamping simulation.

of the auto sheet and obtain surface structure parameters, hence it can provide an important means for evaluating surface quality of the auto sheet.

KEY WORDS: auto sheet; white-light-interference; 3D test; surface profile; waviness; roughness

汽车板被广泛应用在车身覆盖件的冲压生产中, 冲压件的漆膜外观质量是汽车品质的重要指标, 汽车板表面形貌直接影响覆盖件的漆膜质量^[1-7]。汽车板的表面形貌由宏观几何形状、粗糙度和波纹度组成。汽车板表面粗糙度 Ra 和波纹度 W_a 影响汽车外板的涂装性能和涂装后的反光性、视觉清晰度和鲜映性, 并对冲压成形性有很大的影响, 因此研究汽车板表面形貌, 准确测量汽车板的粗糙度 Ra 和波纹度 W_a 具有重要的意义, 越来越受到汽车厂和钢厂的重视。

早期主要通过人的视觉和触觉来估测试件表面微观不平度。20 世纪 30 年代初, 人们就已经开始测量汽车板的表面形貌, 当时研制的第一台仪器是根据容易测量的峰谷高度信息而设计的, 并提供简单的图像。随后英国和德国迅速研制了类似的仪器, 能够计算平均表面粗糙度参数^[8-13]。本文测试了汽车板的三维表面轮廓及表面结构参数波纹度和粗糙度, 以此判定汽车板表面是否符合汽车厂标准的要求。

1 表面结构

表面几何形貌通常被认为是表面结构, 汽车板的表面结构由表面粗糙度 A、表面波纹度 B 和宏观几何形状 C 组成, 见图 1。物体表面结构的实际轮廓见图 1, 粗糙度 A 是表面结构变化较快的部分, 波长普遍超过 1 mm。表面粗糙度中的轮廓算术平均偏差 Ra 是最常用的粗糙度评定常数, 即中心线平均粗糙度。几何形状 C 是变化最缓慢的部分, 波长普遍超过 10 mm。表面波纹度 B 则是介于微观表面粗糙度和宏观几何形状之间的成分结构的表面不平度。

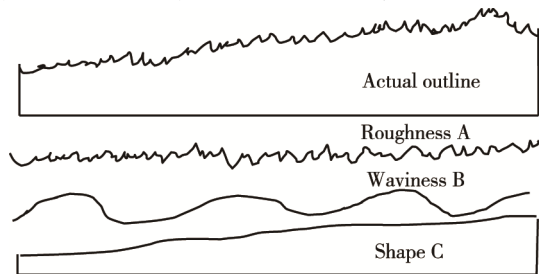


图 1 表面结构简单示意图

Fig.1 Simplified schematic diagram of surface structure

2 测试原理及方法

2.1 测试原理

汽车板表面形貌测量有两种方式, 一种是针尖和

表面之间的接触测量, 另一种是非接触测量。接触测量由于测量头与被测零件表面接触, 很容易损伤被测表面, 同时受触针曲率和仪器放大倍数的影响, 测量精度受到一定的限制, 无法满足现代工业对零部件表面的高质量要求。非接触测量是传感器和物体之间没有任何接触, 通过光学技术获得表面形貌信息。非接触式表面轮廓测量法具有非接触性、高灵敏性、高精度性的优点。

白光相移干涉法是采用白光为干涉光源, 克服了单色光干涉法需单值解相的缺点, 利用求解调制度的间接算法获取被测工件表面上各点的相对表面高度, 绘出三维表面轮廓。白光干涉技术是非接触测量方式的一种, 可测量要求纳米分辨率的表面, 能够避免样品的污染和损伤, 白光相移干涉仪测量原理图见图 2。照明光在从物镜透射到样品表面之前被分光镜等分成两束光, 一束投射到了样品表面, 作为探测光, 其路径长度随表面高度的变化而变动; 另一束则投射到参考面, 参考面通常为一个平整的镜面, 它的光路径长度通过压电驱动精密地监控。以分光镜为起始点, 到参考面的光程被调整为与物镜焦面的光程相等。从样品表面和参考面分别反射回来的两束光在物镜处相遇, 如果这两束光的光程差为零, 相机采集的图像上会出现干涉条纹。干涉光源到参照面的光程差通常是固定的, 通常可上下移动样品来改变光程差, 从而改变干涉条纹的位置。条纹的变化与样品表面各点的高度直接相关。通过 Z 方向的扫描来生成样品的三维图像。

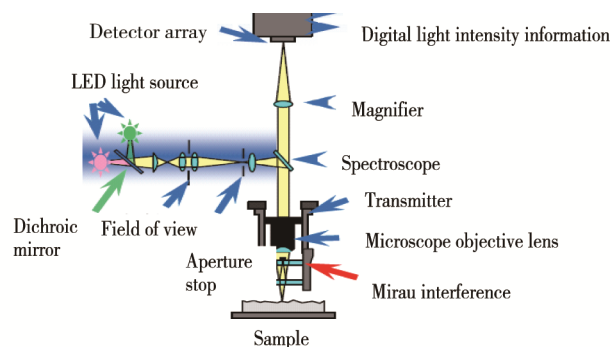


图 2 白光相移干涉仪测量原理

Fig.2 Measurement principle of white light phase-shift interferometer

2.2 测试方法

白光干涉三维光学轮廓仪的高度分辨率为 0.1 nm, 可测量高度范围~10 mm, 适用于测量各种样品

的表面三维形貌、表面粗糙度和波纹度，可对曲率和台阶高度等功能进行分析。为了保证测量准确性，全量程闭环扫描，可连续测量 0.1 nm~10 mm 的 Z 向起伏样品，具备自动聚焦功能和自动调光强功能。测试试样尺寸为 150 mm×100 mm，试样表面清洁，无瑕疵和弯曲变形。测量前，用酒精将试样表面擦拭干净，试验测试条件见表 1，同时要求测试环境干净、无灰尘，且无产生噪声与震动的大型设备。

表 1 测量条件
Tab.1 Measurement conditions

Item	Range
Ambient temperature	15~30 ℃
Environment humidity	Less than 80%, no condensation
Earthquake requirements	Vibration isolation system
Compressed air	4.2~7.0 kg/cm ²

测试步骤：（1）清除样品台上的杂物，进行测量前准备，查看电源电压是否正常，确保接地情况良好，待一切正常后开始工作；（2）开启电脑，打开机器电源开关，打开操作台绿色按钮，打开外部测试光源，检查机器启动是否正常，预热 15 min；（3）运行软件，进行初始化，进入待测状态；（4）抬高测量头到安全高度，将样品被测表面朝上，正确、平稳、可靠地放在物品台上，固定工件，确认工件不会出现松动或其他因素导致测量头与工件相撞的情况出现；（5）在软件上设置所需的测量条件，将测试物镜至于样品上方，缓缓落下至 1 cm，寻找干涉条纹，整个视场中有干涉条纹 3 到 5 条，选择白光开始测量；（6）测量完毕，对结果进行分析，并保存、打印。

3 测试结果

测试以 180BH 汽车板为例，厚度为 0.8 mm。180BH 是烘烤硬化钢的一种，此钢板在冲压成形前有较低的屈服强度，成形后经涂漆烘烤，屈服强度提高，从而提高零件的强度及抗凹陷性能。烘烤硬化钢是为了克服高强度钢板屈服应力高、冲压成形性差的缺点而开发的一种汽车用钢板，主要用于汽车外覆件，因此对于该汽车板的波纹度和粗糙度要求较高。试验中分别测试了样品的表面几何形貌、波纹度 W_a 和表面粗糙度 Ra 。

3.1 表面形貌

利用上述实验方法，测试其表面形貌见图 3。图 3a 为测试方向与轧制方向相同，避开明显缺陷，测试长度为 50 mm、宽度为 2 mm 的实际轮廓图。从图 3a 可以看出，整个样品的形貌轮廓是中间低，两端高，其中蓝色区域表示样品形貌较低，红色区域表示样品形貌较高。

图 3b 为对应的测试数据，与图 3a 显示的结果相符，从曲线中可以得到样品表面存在着明显的几何形状，这个几何形状是试样经过剪板机剪切方式留下的轻微变形，试样品质受剪板机剪切方式、剪板机精度和操作人员的影响较大，试样边缘部分易产生翘曲现象，因此要注意保证裁剪试样的平面度公差。

图 3c 为对应的三维几何形貌，试样两端的高度较高，呈红色，从图中右侧坐标可以看出，最大高度可达到 20 μm；中间的高度较低，呈蓝色，最低高度为-13 μm。整个表面表现为柱形面。结合图 3 中的三张图，能够从二维平面及三维立体方式充分反应出 180BH 样品表面的几何形貌。

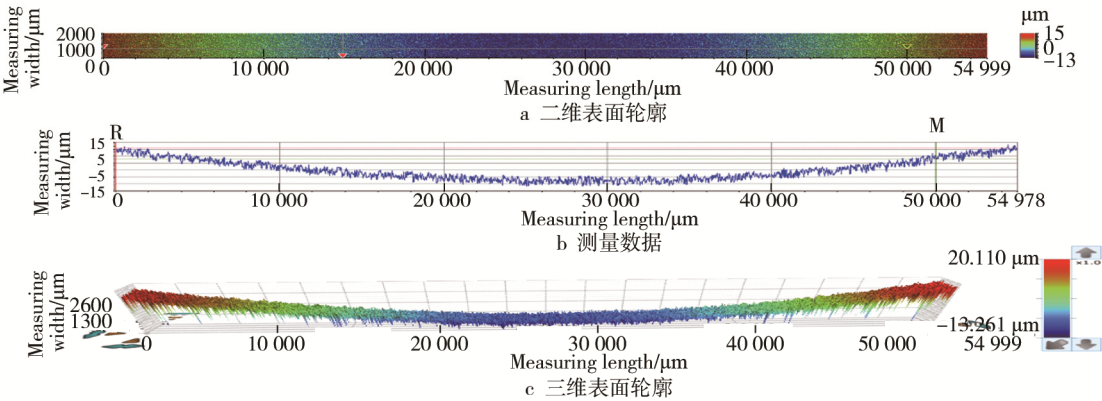


图 3 汽车板表面形貌测试结果

Fig.3 Test results of surface morphology of auto sheet: (a) 2D surface profile; (b) measurement data; (c) 3D surface profile

3.2 波纹度 W_a

波纹度 W_a 是评价汽车板表面弯曲不定度的一个指标，对汽车零部件的冲压成形性能具有很大的影

响，可以影响到汽车面板的涂装性能，因此波纹度 W_a 越小越好，标准要求波纹度 $W_a < 0.5 \mu\text{m}$ 。检测时直接测量获得的实际断面曲线经过滤波，所得曲线 $Z(x)$ 偏离最小二成中心线的距离绝对值的算数平均值即

为 W_a , 单位 μm , 定义见式 (1):

$$W_a = \frac{1}{l_w} \int |Z(x)| dx \quad (1)$$

式中: l_w 为评定波纹度轮廓的取样长度 (mm); $Z(x)$ 为波纹度轮廓曲线函数。

依据 ISO 16610-21^[14], 在同一样品上进行测量, 避开明显缺陷, 取样长度 50 mm, 波纹度的计算一般分为三步: 分离形状、分离粗糙度和计算波纹度轮廓曲线高度算术平均值。为了消除测量平台倾斜造成的误差, 在进行分离前, 使用线性回归对形貌轮廓进行平坦化。然后经过 5 次多项式拟合, 去除取样长度内的形状误差, 最后利用高斯滤波器去除 $\lambda_c=0.8\text{ mm}$ 的短波部分, 最后得到取样长度内的波纹度 $W_a=0.404\text{ }\mu\text{m}$, 见图 4。横坐标方向为取样长度方向, 纵坐标反映了波纹度的波动, 已经消除了粗糙度的影响。180BH 的波纹度 $W_a=0.404\text{ }\mu\text{m}$, 小于汽车厂要求的 $0.5\text{ }\mu\text{m}$, 因此符合汽车厂的标准要求。

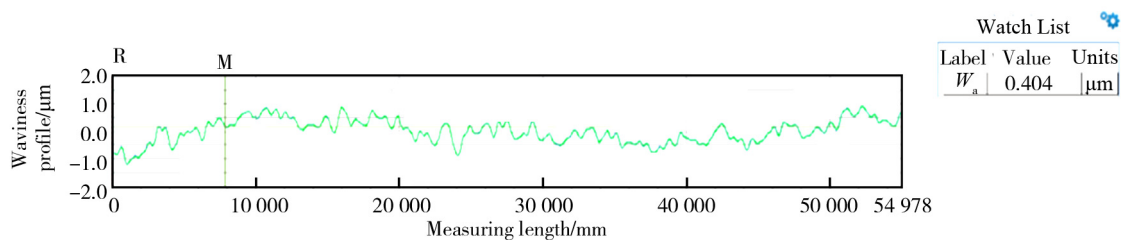


图 4 汽车板波纹度测试结果
Fig.4 Test results of auto sheet waviness

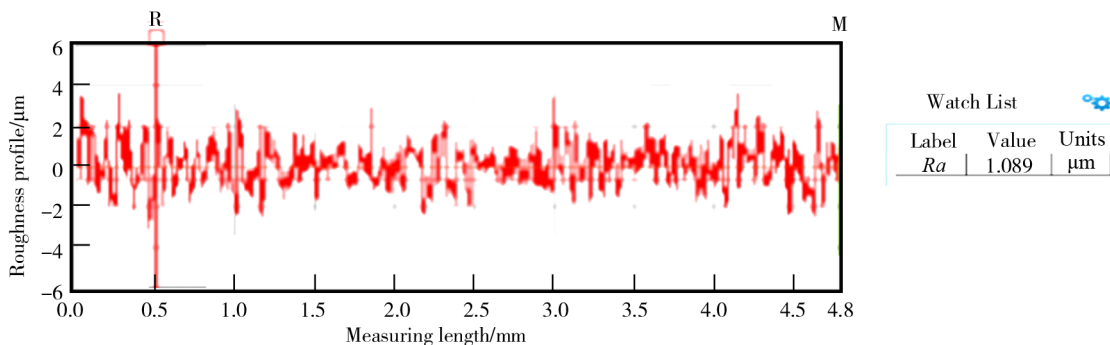


图 5 汽车板粗糙度测试结果
Fig.5 Test results of auto sheet roughness

4 结语

1) 三维光学轮廓仪能够清晰地得到汽车板 180BH 的表面形貌特征, 当测试试样尺寸为 $150\text{ mm}\times 100\text{ mm}$ 时, 沿着轧制方向的表面轮廓的最大高度可达到 $20\text{ }\mu\text{m}$, 中间的高度较低, 最低高度为 $-13\text{ }\mu\text{m}$, 表面呈柱状弧面。

2) 按照相关标准要求, 取样长度 50 mm 时, 在规定的室温条件下, 经过一次多项式处理及 5 次多项

3.3 粗糙度 R_a

粗糙度是对表面间距较小、高低不平的微小峰谷的不平度进行明确数值化衡量的指标之一, 是评价车身外覆盖件用钢板表面质量的重要参数。试样粗糙度依据 DIN EN ISO 4287—2010^[15]测试, R_a 指一个取样长度 l_r 内将从平均线到测量曲线的偏差绝对值合计后平均的值, 单位 μm 。 R_a 定义式见式 (2):

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int |Z(x)| dx \quad (2)$$

式中: l_r 为评定粗糙度的取样长度 (mm); $Z(x)$ 为波纹度轮廓曲线函数。

取样区间数为 5 个, 表面粗糙度为每个取样长度内粗糙度的平均值, 粗糙度轮廓的截面高度为轮廓最大高度 R_z 的 10%。测试样品的表面粗糙度 $R_a=1.089\text{ }\mu\text{m}$, 见图 5。

式拟合后, 利用高斯滤波去除 $\lambda_c=0.8\text{ mm}$ 的短波部分, 得到 180BH 样品的波纹度 $W_a=0.404\text{ }\mu\text{m}$, 表面粗糙度 $R_a=1.089\text{ }\mu\text{m}$ 。

3) 白光相移干涉法为汽车板表面质量的评价提供了一个重要的手段, 能够测量汽车板表面的粗糙度、波纹度等表面性能参数, 为汽车板的应用提供了良好的数据基础。

参考文献:

- [1] 张理扬, 李俊, 左良, 等. 国内外合金化热镀锌汽车

- 外板表面粗糙度对比分析[J]. 材料与冶金学报, 2005, 4(3): 245-249.
- ZHANG Li-yang, LI Jun, ZUO Liang, et al. Comparison and Analysis of the Surface Roughness of Galvannealed Automobile Outer Panel Produced Domestically and Abroad[J]. Journal of Materials and Metallurgy, 2005, 4(3): 245-249.
- [2] 谭娟, 王俊, 高海燕, 等. 高强钢合金化热镀锌研究进展[J]. 材料导报, 2008(2): 64-67.
- TAN Juan, WANG Jun, GAO Hai-yan, et al. Recent Advances in High Strength Galvannealed Sheet Steels [J]. Materials Review, 2008(2): 64-67.
- [3] 张红, 袁明生, 胡凡, 等. 合金化热镀锌微观组织对镀层抗粉化性能的影响[J]. 宝钢技术, 2002(3): 41-44.
- ZHANG Hong, YUAN Ming-sheng, HU Fan, et al. Effect of Microstructure on Powdering-resistance in Galvannealed Coating[J]. Baosteel Technology, 2002 (3): 41-44.
- [4] 胡宽辉, 田德新, 冯冠文, 等. 汽车用热镀锌高强 IF 钢的研究进展[J]. 热加工工艺, 2010(18): 34-38.
- HU Kuan-hui, TIAN De-xin, FENG Guan-wen, et al. Research Progress of Galvanized High Strength Interstitial-free Steel Used for Automotive[J]. Material & Heat Treatment, 2010(18): 34-38.
- [5] 李守华, 李俊. 汽车用高强度 IF 钢的研究进展[J]. 上海金属, 2007(5): 66-70.
- LI Shou-hua, LI Jun. Progress in Research of High Strength IF Steel for Automotive Applications[J]. Shanghai Metals, 2007(5): 66-70.
- [6] 姚贵升. 钢板表面形貌对冲压成形性能和油漆后外观质量的影响[J]. 宝钢技术, 2001(S1): 12-18.
- YAO Gui-sheng. Effect of Surface Morphology of Steel Sheet on Stamping Formability and Appearance Quality after Paint[J]. Baosteel Technology, 2001(S1): 12-18.
- [7] 罗五四. 汽车板表面粗糙度实测值分布不均匀性试验研究[J]. 汽车工艺与材料, 2011(7): 39-45.
- LUO Wu-si. Experimental Study on Distribution Unevenness of Measured Value of Surface Roughness of Automobile Plate[J]. Automobile Technology & Material, 2011(7): 39-47.
- [8] 束方军, 冯传玉. 全景三维轮廓检测技术研究[J]. 实验力学, 2000, 15(2): 147-151.
- SHU Fang-jun, FENG Chuan-yu. Research on 3D Horizontal Profile Detection Technology[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2000, 15(2): 147-151.
- [9] 田爱玲, 刘洋. 双 CCD 光栅投影法测量物体三维轮廓技术[J]. 西安工业大学学报, 2009(2): 108-112.
- TIAN Ai-ling, LIU Yang. Dual CCD Grating Projection Method for Measuring 3D Contour of Objects[J]. Journal of Xi'an Technological University, 2009(2): 108-112.
- [10] 盖绍彦, 达飞鹏. 一种新的相位法三维轮廓测量系统模型及其标定方法研究[J]. 自动化学报, 2007(9): 902-910.
- GAO Shao-yan, DA Fei-peng. A New Model of 3D Shape Measurement System Based on Phase Measuring Profilometry and Its Calibration[J]. Acta Automatica Sinica, 2007(9): 902-910.
- [11] SU Li-kun, SU Xian-yu, LI Wan-song, et al. Application of Modulation Measurement Profilometry to Objects with Surface Holes[J]. Applied Optics, 1999, 38 (7):1153-1158.
- [12] 田爱玲. 用时间域相位解包法测量不连续物体的三维轮廓[J]. 西安交通大学学报, 2004,(11): 1196-1198.
- TIAN Ai-ling. Three Dimensional Profile Measurement of Objects with Spatially Isolated Surfaces by Modified Temporal Phase Unwrapping[J]. Journal of Xi'an Technological University, 2004(11): 1196-1198.
- [13] 吕伟新, 印丽颖. 一种基于视觉的三维轮廓检测系统[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2008,(S1): 87-89.
- LV Wei-xin, YIN Li-ying. A Three-dimensional Profile Detection System Based on Machine Vision[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Nature Science), 2008(S1): 87-89.
- [14] ISO 16610-21—2011, 产品几何技术规范(GPS) 过滤法 第 21 部分: 线性廓度滤波器, 高斯滤波器[S].
- ISO 16610-21—2011, Geometrical Product Specifications(GPS)-Filtration-Part 21: Linear Profile Filters, Gaussian Filters[S].
- [15] DIN EN ISO 4287—2010, 产品几何量技术规范(GPS) 表面结构: 轮廓法 术语、定义及表面结构参数[S].
- DIN EN ISO 4287—2010, Geometrical Product Specifications(GPS)—Surface Texture: Profile method, Terms, Definitions and Surface Texture Parameters[S].