汽车板表面粗糙度比对试验的评价判据研究

罗五四

（东风商用车公司技术中心工艺研究所，湖北 十堰 442001）

摘 要：目的 针对在与国外某汽车材料实验室进行冷轧薄钢板表面粗糙度比对试验中，没有统一评价判据的问题，对交流中提及的相关性和一致性进行系统研究。**方法** 对评价方法遴选中涉及的数据，进行相关系数检验和配对 t 检验。**结果** 经汽车板表面粗糙度比对试验数据验证，相关系数检验只适合评价两组试验数据是否具有线性相关关系；配对 t 检验，则适用于评价两组试验数据的均值之间是否具有一致性。通过应用实例，介绍了一种新开发的，在同一界面中既能显示配对 t 检验的定量评价结论，又能通过比对试验数据散点图几何中心点和坐标原点连线与45°理想位置线夹角的数值小于限制夹角为±1°的标准，直观显示比对试验的评价结果，编写完整结论的比对试验评价软件。±1°的评价标准是由大量的汽车板表面粗糙度比对试验数据统计确定的。**结论** 由于汽车板表面麻点分布不均匀，所以在汽车板表面粗糙度比对试验中，只能采用一致性评价方法进行判断评定。

关键词： 表面粗糙度；比对试验；评价判据；相关性；一致性；应用软件

中图分类号： TG84 **文献标识码：** A **文章编号：** 1001-3660(2015)05-0136-07

DOI： 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2015.05.025

Research on the Evaluating Criterion of the Surface Roughness Contrast Test for the Auto Sheet

LUO Wu-si

(Material and Technology Research Institute of Dongfeng Commercial Vehicle Technical Center, Shiyan 442001, China)

ABSTRACT: Objective Aiming at the problem of not having a unified evaluating criterion for the contrast test during the comparison with a foreign auto material lab on the surface roughness of cold-rolled steel sheets, systematic study was carried out on the correlation and consistency mentioned in the communication. **Methods** This paper elaborated the correlation coefficient test and the paired t-test both concerned in the selection of evaluation methodologies. **Results** By the contrast test data verification of the auto sheet surface roughness, the correlation coefficient test was only suitable for evaluating whether the two groups of test data was linearly correlated; the paired t-test was suitable to evaluate whether there was consistency between the averages of the two groups of test data. Based on application examples, a newly developed evaluation software of the contrast test was introduced. On the same interface, the software could not only display the quantitative evaluation conclusion of the paired t-test, but also visually display the evaluation result on the scattergram of the contrast test data via the value that was smaller than the limiting angle of ±1° standard of the angle formed by the line connecting the geometric center point to the origin of coordinate and the 45° ideal location line, and then draw a complete conclusion. ±1° standard was determined by a large number of statistical surface roughness contrast test data

收稿日期： 2014-12-30；**修订日期：** 2015-01-12

Received: 2014-12-30; **Revised**: 2015-01-12

作者简介： 罗五四(1957—)，男，湖北人，高级工程师，主要研究方向为汽车板材成形试验技术。

Biography: LUO Wu-si(1957—), Male, from Hubei, Senior engineer, Research focus: sheet material forming test technique for the automobile.

for the auto sheet. **Conclusion** Due to the uneven distribution of surface pits on the auto steel sheets, only the evaluation method for consistency could be used in the contrast test of auto sheet surface roughness.

KEY WORDS: surface roughness; contrast test; evaluating criterion; correlation; consistency; application software

汽车外板表面粗糙度(*Ra*)是其表面各种微小不规则凹凸的起伏程度,明确地数值化衡量指标之一。目前许多汽车板生产企业,如欧系和日系都将 *Ra* 作为评价板材高表面质量的重要参数。汽车厂向钢厂订货时,都对 *Ra* 提出具体要求。*Ra* 即中心线平均粗糙度[1—6],是指在一个取样长度 l_r 内,将从平均线到测量曲线的偏差绝对值合计后,进行平均的值,单位为 μm。

$$Ra = \frac{1}{l_r}\int \left| f(x) \right| \mathrm{d}x \qquad (1)$$

采用麻面钢板[7—12]的优点:1) *Ra* 对冲压时,汽车板与模具之间的摩擦特性有明显影响,表面无数微观的凹谷,有利于存储并保持冲压时形成的金属磨粒和润滑油膜,因而比光面钢板冲压时具有更好的抗擦伤性能和成形性能;2) *Ra* 直接影响车身外板零件涂装后的外观品质,表面上足够的凸峰有利于吸附油漆和粘结剂;3) 表面分布充足的凹谷可提高零件的可塑性。

测量数值的准确度需要通过计量及比对试验来保证。除对设备标定外,与同行经常开展比对试验[13—14]也是保证测量准确度的重要措施之一。目前的比对试验评价判据,一种是集中几十家实验室进行比对试验,采用取中间值的中位值法[15],由于研究汽车板材料的单位少,不能用此法;另一种是二家实验室采用逐点比对两个测量值的相对误差,以不超过 3% 为标准,不能得出一个完整的比对结论,且点数多时亦不方便。由于 *Ra* 分布的不均匀性,即使是测量计量标称值(样板的平均值)为 0.343 μm 的标准多刻线样板,不同的部位都可能测出不同的数值,如随机测量 3 个部位的实际 *Ra* 值分别为 0.344,0.339,0.346 μm,相差都在仪器误差允许的第 2 位范围内,三者之间的最大相对误差为 2.06%,小于 3%。再如,不同时间 3 次测量同一块汽车板的 *Ra*,测量值为 1.094,1.202,1.197 μm,三者之间的最大相对误差为 9.87%,远大于 3%。这导致在与国外某材料实验室(以下简称 A 方)进行汽车板 *Ra* 参数比对试验中,没能形成统一认识的评价判据,而出现了“相关性”的提法。下面介绍一种用计算机实现的比对试验评价判据。

1　比对试验准备

比对试验双方采用 100 mm×100 mm 的正方形试样,测量前擦净试样表面。采用材料评价中的 14 个牌号汽车板进行比对试验。图 1 为其中 3 个牌号、厚度为 0.7 mm 的试样。由于 *Ra* 测量属非破坏性,为使双方保持相同测量条件,不受材料个别组成相及微小不均匀性的影响,试样统一由 A 方准备,测量数据后寄到 DFL(以下简称 B 方)。

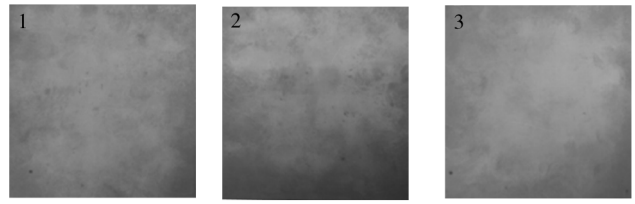


图 1　三个牌号汽车板制备的 *Ra* 检测试样

Fig. 1 The specimens of *Ra* test for three kinds of auto steel sheets

A 方使用的触针式表面粗糙度测量仪品牌型号为 ACCRETECH(东京精密) SURFCOM 1500DX2,B 方为 Mitutoyo(三丰) Surftest SV-3000 S4。双方采用的探针规格都为:探针的锥形尖端曲率半径 2 μm,圆锥的坡形角度 60°,探针在平均位置上的微测力 0.75 mN。基于比对试验条件要保持一致原则,双方都使用新的标准探针,并用标称值为 0.4 μm 的探针尖端用标准片检查探针尖端部位的使用状态。

检测 *Ra* 时,比对双方采用统一的仪器测量条件设置:测量长度为 4.8 mm;试验速度为 0.2 mm/s;最大采样间隔为 0.5 μm。双方仪器中评价条件选择为:标准 JIS2001;评价轮廓类别 R_J01;取样长度为 0.8 mm;区间数为 5;长波滤波器的截止值为 0.8 mm;短波滤波器的截止值为 0.0025 mm;滤波器类别 Gaussian;评价长度为 4.0 mm;启动长度为 0.4 mm;停止长度为 0.4 mm。

2　比对试验结果与讨论

2.1　比对试验数据采集

表 1 为比对试验双方采用统一的检测方法,对相同的 3 个牌号制备的 3 件试样,由双方仪器测量的 *Ra* 比对试验数据。

表 1 三个牌号汽车板 *Ra* 原始数据表

Tab. 1 The original data table of *Ra* for the three kinds of auto sheets μm

厚度/mm	测量面	轧向	测量位置	牌号 A		牌号 B		牌号 C	
				A 方	B 方	A 方	B 方	A 方	B 方
0.7	上面	压延方向	1	1.180	1.248	1.097	1.051	0.867	0.840
			2	1.147	1.063	1.107	1.072	0.889	0.878
			3	1.078	1.135	1.045	1.002	0.897	0.953
		直角方向	1	1.125	1.203	1.068	1.005	0.886	0.832
			2	1.207	1.107	1.154	1.045	0.876	0.809
			3	1.289	1.219	1.122	1.040	0.953	0.823
	下面	压延方向	1	1.231	1.190	1.133	1.131	0.697	0.633
			2	1.268	1.323	1.125	1.071	0.689	0.756
			3	1.226	1.074	1.141	1.045	0.659	0.663
		直角方向	1	1.113	1.142	1.187	1.213	0.673	0.733
			2	1.194	1.137	1.176	1.151	0.681	0.630
			3	1.289	1.149	1.148	1.273	0.688	0.742

2.2 评价判据

2.2.1 运用相关系数 *r* 分析

在分析测试中,变量之间随机分布的非确定性关系称为相关关系。两个变量具有相关关系的这种性质称为相性。相关关系显著程度采用相关系数 r 检验,见式(2):

$$r=\frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_iy_i-\bar{x}\bar{y}}{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x}^2)}\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y}^2)}} \tag{2}$$

式中:x,y 分别为比对试验 A 方和 B 方数据,n 为独立试验的次数。

判定法则如下:

1) 当$|r|\leqslant r_{0.05}(n-2)$时,则认为 y 与 x 之间的线性相关关系不显著,用符号△表示。

2) 当$r_{0.05}(n-2)<|r|\leqslant r_{0.01}(n-2)$时,则认为 y 与 x 之间的线性相关关系显著,用符号 * 表示。

3) 当$|r|>r_{0.01}(n-2)$时,则认为 y 与 x 之间的线性相关关系高度显著,用符号 * * 表示。

2.2.2 运用配对 *t* 检验

配对 t 检验是判别两组试验数据均值存在的差异是由误差引起的,还是确有本质差异的一种数学方法,见式(3):

$$t=\frac{\left|\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-y_i)\right|}{\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left[(x_i-y_i)-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-y_i)\right]^2/\sqrt{n}}} \tag{3}$$

一致性显著程度判定法则如下:

1) 当$|t|\leqslant t_{0.025}(n-1)$时,则认为 y 与 x 之间的一致性高度显著,用符号 * * 表示。

2) 当 $t_{0.025}(n-1)<|t|\leqslant t_{0.005}(n-1)$时,则认为 y 与 x 之间的一致性显著,用符号 * 表示。

3) 当$|t|>t_{0.005}(n-1)$时,则认为 y 与 x 之间的一致性不显著,用符号△表示。

2.2.3 比对试验的相关性与一致性

将表 1 第 5 和第 6 列牌号 A 比对数据,代入相关系数 r 检验公式(2)得到 r 值为 0.330,小于高、低临界值 0.708($a=0.01$)和 0.576($a=0.05$),相关性检验结果为△。采用相同方法,得到第 7 和第 8 列牌号 B 的 r 值为 0.697,小于高临界值,大于低临界值,相关性检验结果为 *;第 9 和第 10 列牌号 C 的 r 值为 0.833,大于高、低临界值,相关性检验结果为 * *。试验条件相同,3 个牌号试样得到 3 种相关系数 r 检验结果。

表 1 第 5 和第 6 列牌号 A 比对数据,经配对 t 检验公式(3)计算得 t 值为 1.237,小于高、低临界值 2.200($a=0.025$)和 3.110($a=0.005$),一致性检验结果为 * *。采用相同方法,得到第 7 和第 8 列牌号 B 的 t 值为 1.860,小于高、低临界值,一致性检验结果为 * *;第 9 和第 10 列牌号 C 的 t 值 0.746,小于高、低临界值,一致性检验结果为 * *。试验条件相同,采用不同厂家仪器对 3 个牌号试样测量的数据都获得高度一致的结论。

为进一步说明相关性不适合作比对试验的评价判据,再将表 1 中取得高度显著的第 9 和第 10 列牌

号 C 的数据列于表 2 的第 5 和第 6 列,并将第 6 列除以 2 后列于第 7 列,第 6 列乘 2 后列于第 8 列。

表 2　分析 *Ra* 的相关性与一致性数据表

Tab. 2 The data table of correlation and consistency of *Ra*　　μm

厚度/mm	测量面	轧向	测量位置	牌号 C			
				A 方	B 方	B 方数据除以 2	B 方数据乘 2
0.7	上面	压延方向	1	0.867	0.840	0.420	1.680
			2	0.889	0.878	0.439	1.756
			3	0.897	0.953	0.477	1.906
		直角方向	1	0.886	0.832	0.416	1.664
			2	0.876	0.809	0.405	1.618
			3	0.953	0.823	0.412	1.646
	下面	压延方向	1	0.697	0.633	0.317	1.266
			2	0.689	0.756	0.378	1.512
			3	0.659	0.663	0.332	1.326
		直角方向	1	0.673	0.733	0.367	1.466
			2	0.681	0.630	0.315	1.260
			3	0.688	0.742	0.371	1.484

表 2 第 5 和第 7 列(B 方数据除以 2)数据的相关系数 r 值为 0.834,大于高、低临界值,相关性检验结果仍为高度显著。同法得到表 2 第 5 和第 8 列数据的 r 值为 0.833,大于高、低临界值,相关性检验结果也为高度显著。第 7 和第 8 列数据已明显与第 5 列不同,但相关系数 r 检验结果仍都为高度显著,这种任何一方数据除以 2 或乘 2 后仍有高度相关的现象,说明相关系数 r 检验不能作为比对试验的评价判据。

表 2 第 5 和第 7 列(B 方数据除以 2)数据的 t 值为 17.985,大于高、低临界值,一致性检验结果为△。同法得到表 2 第 5 和 8 列数据的 t 值为 21.476,大于高、低临界值,一致性检验结果为△。两个检验结论均为不显著,都反映出了第 7 和第 8 列数据明显与第 5 列数据有差异,说明配对 t 检验能作为 *Ra* 比对试验的评价判据。

2.2.4　用相同比对条件验证判据

表 3 数据是从 3 种特殊情况:1) 同一台仪器对同一件试样进行两次重复检测;2) 采用四个型号的表面粗糙度测量仪对同一件试样进行 4 次检测,其中前两台为同一个品牌的测量仪;3) 从同一块冷轧板不同部位取下的两件试样的检测数据表。下面通过 3 个特例的相关系数 r 检验与一致性配对 t 检验,更深入地验证。

表 3　3 种特例的 *Ra* 原始数据表

Tab. 3 The original data table of *Ra* for the three special cases　　μm

轧向	测量位置	牌号 A						牌号 D	
		同仪器同试样重复检测		4 台不同型号仪器同试样比对				同一块板不同部位取样	
		第一次	第二次	SV-3100	SV-3000 S4	SURFCOM 130A	CS-5000L	第一件	第二件
上面压延方向	1	1.094	1.248	1.087	1.248	1.127	1.056	0.958	0.957
	2	1.126	1.063	1.225	1.063	1.093	0.956	1.052	1.077
	3	1.239	1.135	1.199	1.135	1.052	1.116	0.953	1.001
上面直角方向	1	1.203	1.203	1.174	1.203	1.095	1.228	0.917	1.065
	2	1.102	1.107	1.136	1.107	1.057	1.120	1.043	0.945
	3	1.145	1.219	1.183	1.219	1.135	1.052	0.941	0.986
下面压延方向	1	1.213	1.190	1.288	1.190	0.956	1.071	1.056	0.930
	2	1.120	1.323	0.985	1.323	1.019	0.897	0.882	1.037
	3	1.201	1.074	1.121	1.074	1.150	1.159	0.961	1.003
下面直角方向	1	1.102	1.142	1.154	1.142	1.018	1.146	1.003	0.961
	2	1.189	1.137	1.193	1.137	1.046	1.051	0.971	0.933
	3	1.204	1.149	1.218	1.149	1.065	1.074	1.015	0.979

表 3 第 3 和第 4 列数据的相关系数 r 值为0.215,小于高、低临界值,相关性检验结果为△。t 值为 0.151,小于高、低临界值,一致性检验结果为 * *。通过同一台仪器对同一件试样进行两次重复测量得到的比对结果没有相关性,有一致性,说明配对 t 检验能作为比对试验的评价判据,而相关系数 r 检验不能。测量条件相同,自己与自己比对,逻辑上应具有高度显著的一致性。

表 3 第 5 和第 6 列数据的相关系数 r 值为0.527，小于高、低临界值；相关性检验结果为△。t 值为 0.059，小于高、低临界值，一致性检验结果为＊＊，验证了同一品牌、两台不同型号测量仪对同一件试样测量应该具有一致性的推理。由于每种型号仪器具有各自不同的特点，能做到测量结果一致说明配对 t 检验能作为比对试验的评价判据。

表 3 第 9 和第 10 列数据的相关系数 r 值为 0.358，小于高、低临界值，相关性检验结果为△。t 值为0.409，小于高、低临界值，一致性检验结果为＊＊。从同一块汽车板不同部位取下的两件试样，比对结果应该有一致性，如果不一致就无法再开展比对试验了。

上述 3 种特例，得到相关性分析结果都不显著，是由麻面钢板表面麻点分布不均匀造成的。均匀性好的钢板，测量一次完成，且不同时间测量的数值接近。均匀性差的钢板，部位不同，测量数据波动大。不均匀的麻点之间不一定有相关性符合客观情况。有了 3 种特例中的任何一种情况，就可以确认在比对试验中，不能提相关性。

3 种特例，得到一致性分析结果都为高度显著的原因是，汽车板表面形貌各处麻点的分布虽然是随机的，无法进行规律性描述的，但微坑单元的深度都是控制在一定范围内的，不能太浅，也不能太深，故能取得一致性，这用肉眼是不能区分的。上述分析结果表明：1）相关性与一致性是两回事；2）相关性不包含一致性，一致性也不包含相关性；3）相关不一定一致，一致也不一定相关；4）相关性和一致性有时有交集，交集的大小程度是由具体的比对数据决定。因此，在汽车板 Ra 比对试验中，提一致性是唯一选择。

2.2.5 用有差异的比对条件验证判据

表 3 第 6 和第 7 列数据的相关系数 r 值为0.176，小于高、低临界值，相关性检验结果为△。t 值为 3.369，大于高、低临界值，一致性检验结果为△。结果为△的原因是，与测量第 7 列数据采用的型号为 ACCRETECH SURFCOM 130A 的设备测杆上配有导头有关系，这种使用导头基准的探头对有些麻坑无法正确追踪到深的谷底，所测数值比实际的要小，不及采用不带导头的独立直线基准探针测量的第 6 列数据准确。

表 3 第 6 和第 8 列数据的相关系数 r 值为0.351，小于高、低临界值，相关性检验结果为△。t 值为 2.284，大于高临界值，小于低临界值，一致性检验结果为＊。评价等级低是因为测量第 8 列数据采用的设备型号为 Mitutoyo FORMTRACER CS-5000L，所配探针尖端半径为 5 μm，圆锥的坡形角度为 90°，微测力为 4 mN，与第 6 列采用的设备型号 Mitutoyo Surftest SV-3000 S4，所配探针尖端半径 2 μm，圆锥的坡形角度 60°，微测力 0.75 mN 不同，导致有时 5 μm 探针尖端部位不能追踪到起伏非常细微的最低波谷，因此从纵方向的断面曲线信息计算出的 Ra 等参数计算值会变得较小，第 6 列与第 8 列的比对试验数据符合这种规律。因为 Ra>0.5 μm 的表面，当使用探针尖端半径为 5 μm 时，对测量结果也会产生很大的差值。

以上两组数据的分析结果表明：配对 t 检验能准确反映出汽车板 Ra 比对试验条件不同时的真实情况，也说明进行 Ra 比对时，确认双方设备的重要性。

3 比对试验评价软件应用实例

面对大量的试验数据，使用新开发的专用软件，使寻找比对试验评价判据成为可能。为了与表面粗糙度测量仪实现数据共享，评价软件采用 VC++ 6.0 编程实现。因为采用了链表结构，输入数据个数不受限制，且方便保存数据。

汽车板的选材是多样性的。图 2 是对超深冲板国产化中，宝钢某牌号薄钢板与韩国某牌号薄钢板材料，用同一台设备测量的 Ra 比对试验数据，进行一致性评价软件界面。界面右侧表格为配对 t 检验的定量评价结论，t 值为 0.073，小于高、低临界值，一致性检验结果为＊＊。界面左侧是根据比对试验数据，画在直角坐标系平面上的散点图。图中通过几何中心点和坐标原点连接成评价参考直线。这条直线与 45° 理想位置线的夹角大小，直观显示比对试验的效果。如本例的直线与 x 轴夹角为 44.9°，与 45° 理想位置线的夹角为 0.1°，小于限制夹角为 ±1° 的标准，比对结果高度显著，左右两边的评价结论是统一的。±1° 的标准是由大量 Ra 比对试验数据统计确定的。在工程应用中，几何中心点的坐标值可以采用比对试验数据的平均值，而配对 t 检验又是用来评价平均值的，这样界面左边抽象的数学概念就和右边易理解的、直观的图形通过平均值联系起来了，组合成了一个完整的定量计算的比对试验评价判据。解决了普通用户对抽象的配对 t 检验没有太多概念，且还需要通过 t 检验值来理解评价结论的难题，用夹角大小这种可见的图像给出了比对试验的评价结论。分析表明两种超

深冲板的表面平均粗糙度值接近。观察两列数据,都在 0.6 ~ 1.6 μm 范围内,符合汽车板 *Ra* 的要求,单从 *Ra* 值相当考虑,用宝钢某牌号薄钢板材料改代韩国某牌号薄钢板材料是可行的。

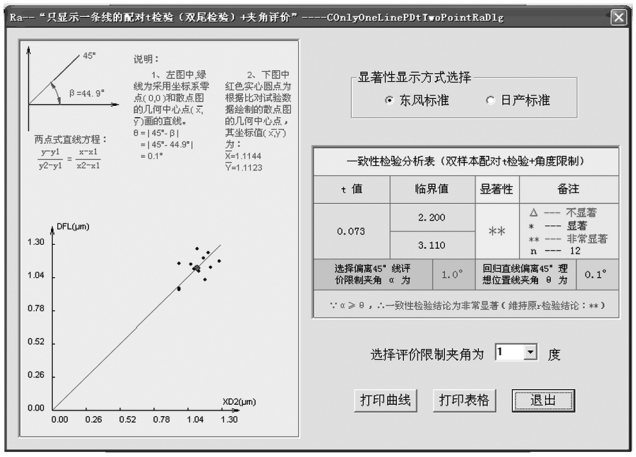


图 2　一致性分析软件界面

Fig. 2 The software interface for consistency analysis

4　结论

1) 提出了一种通过配对 *t* 检验的定量计算,结合比对试验数据散点图的几何中心点和坐标原点连线,与 45°理想位置线夹角大小,图形显示比对效果的汽车板 *Ra* 比对试验评价判据。

2) 经 *Ra* 比对试验数据验证,相关系数 *r* 检验只适合评价两组数据是否具有线性相关关系;配对 *t* 检验,则适用于评价两组试验数据均值之间是否具有一致性。由于汽车板表面麻点分布不均匀,所以在汽车板表面粗糙度比对试验中,只能采用一致性评价方法进行判断评定。

参考文献

[1] GB/T 3505—2009,产品几何技术规范(GPS) 表面结构 轮廓法 术语、定义及表面结构参数[S].
GB/T 3505—2009, Geometrical Product Specifications (GPS)—Surface Texture: Profile Method—Terms, Definitions and Surface Texture Parameters[S].

[2] GB/T 10610—2009,产品几何技术规范(GPS) 表面结构 轮廓法 评定表面结构的规则和方法[S].
GB/T 10610—2009, Geometrical Product Specifications (GPS)—Surface Texture: Profile Method—Rules and Procedures for the Assessment of Surface Texture[S].

[3] GB/T 6062—2009,产品几何技术规范(GPS) 表面结构 轮廓 接触(触针)式仪器的标称特性[S].
GB/T 6062—2009, Geometrical Product Specifications (GPS)—Surface Texture: Profile Method—Nominal Characteristic of Contact (Stylus) Instruments[S].

[4] GB/T 19067.1—2003,产品几何量技术规范(GPS) 表面结构 轮廓法 测量标准第 1 部分:实物测量标准[S].
GB/T 19067.1—2003, Geometrical Product Specifications (GPS)—Surface Texture: Profile Method—Measurement Standards—Part 1: Material Measures[S].

[5] GB/T 18777—2009,产品几何技术规范(GPS) 表面结构 轮廓 相位修正滤波器的计量特性[S].
GB/T 18777—2009, Geometrical Product Specifications (GPS)—Surface Texture: Profile Method—Metrological Characteristics of Phase Correct Filters[S].

[6] 邱坤,原君静,王海宁,等. 高速干式铣削马氏体不锈钢的表面质量与组织特性[J]. 表面技术,2014,43(5):20—24.
QIU Kun, YUAN Jun-jing, WANG Hai-ning, et al. Surface Quality and Microstructure Characteristics of Martensite Stainless Steel Machined by High-speed Dry Cutting Process [J]. Surface Technology, 2014, 43(5): 20—24.

[7] DIN EN 10049—2006, Measurement of Roughness Average Ra and Peak Count RPc on Metallic Flat Products[S].

[8] SEP 1940—2002, Measurement of Roughness Average Ra and Peak Count RPc on Cold Rolled Steel Sheet[S].

[9] 罗五四,王屹然,王生怀,等. 对 DIN 10049 更改 ISO 4288 取样长度选用规则的检验试验[J]. 理化检验:物理分册,2014,50(8):543—553.
LUO Wu-si, WANG Yi-ran, WANG Sheng-huai, et al. Inspection Test on DIN 10049 Changing Sampling Length Selection Rule of ISO 4288[J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part A: Physical Testing), 2014, 50(8): 543—553.

[10] 罗五四,张耿旭,李玲,等. 金属薄板表面粗糙度与波纹度测试截止波长重叠问题的探讨[J]. 理化检验:物理分册,2013,49(10):637—646.
LUO Wu-si, ZHANG Geng-xu, LI Ling, et al. Discussion on Problem of Cut-off Wavelength Overlapping in Measurement of Surface Roughness and Waviness on Cold Rrolled Steel Sheets [J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part A: Physical Testing), 2013, 49(10): 637—646.

[11] 罗五四,张耿旭,刘琪,等. 取样长度和测试速率对冷轧金属薄板表面粗糙度测试的影响[J]. 理化检验:物理分册,2013,49(6):349—356.
LUO Wu-si, ZHANG Geng-xu, LIU Qi, et al. Effect of Sampling Length and Testing Speed on Measurement of Roughness Average Ra on Cold Rolled Steel Sheet[J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part A: Physical Testing),

2013,49(6): 349—356.
[12] 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. Research on Automobile Sheet Surface Roughness Measured Distribution Inhomogeneity Test[J]. Automobile Technology & Material,2011(7): 39—45.
[13] 李晓东,刘显耀,孙德超. 浅谈实验室的比对与验证试验[J]. 理化检验:物理分册,2008,44(1):54—56.
LI Xiao-dong,LIU Xian-yao,SUN De-chao. Comparison and Verification Test of Laboratory[J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part A: Physical Testing), 2008, 44(1): 54—56.
[14] 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—248.
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—248.
[15] 王苏明,翟培军,牛兴荣,等. 实验室能力验证实践[M]. 北京:中国标准出版社,2006.
WANG Su-ming,ZHAI Pei-jun,NIU Xing-rong,et al. Laboratory Proficiency Testing Practice[M]. Beijing: China Standards Press,2006.

(上接第 61 页)

[12] MELLO C B,UEDAA M,SILVAC M M,et al. Tribological Effects of Plasma Immersion Ion Implantation Heating Treatments on Ti6Al4V Alloy[J]. Wear,2009,267:867—873.
[13] 张慧桥,黄晓波,田伟红,等. Ti6Al4V 表面 Ti-Cu-N 纳米薄膜溅射沉积及抗菌性能研究[J]. 表面技术,2014,43(4):1—5.
ZHANG Hui-qiao,HUANG Xiao-bo,TIAN Wei-hong,et al. Antibacterial Properties of Ti-Cu-N Composite Films Deposited on Ti6Al4V Alloy by Magnetron Sputtering[J]. Surface Technology,2014,43(4):1—5.
[14] HSU C H,HUANG K H,LIN Y H. Microstructure and Wear Performance of Arc-deposited Ti-N-O Coatings on AISI 304 Stainless Steel[J]. Wear,2013,306:97—102.
[15] 田龙,马铭,何强. Ti13Nb13Zr 合金机械研磨处理摩擦磨损性能研究[J]. 科学技术与工程,2014,14(8):141—150.
TIAN Long,MA Ming,HE Qiang. Friction and Wear Properties of Ti13Nb13Zr Alloy by Surface Mechanical Attrition Treatment[J]. Surface Technology and Engineering,2014,14(8):141—150.
[16] CVIJOVIC A,CVIJOVIC Z,MITROVIC S,et al. Wear and Corrosion Behaviour of Ti-13Nb-13Zr and Ti-6Al-4V Alloys in Simulated Physiological Solution[J]. Corrosion Science,2011,53:796—808.

(上接第 105 页)

[11] 李云奇. 真空镀膜[M]. 北京:化学工业出版社,2012.
LI Yun-qi. Vacuum Coating[M]. Beijing: Chemical Industry Press,2012.
[12] 麻蒔立男. 薄膜制备技术基础[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
麻蒔立男. The Film Preparation Technology Foundation[M]. Beijing: Chemical Industry Press,2009.
[13] 方应翠. 真空镀膜原理与技术[M]. 北京:科学出版社,2014.
FANG Ying-cui. Principle and Technology of Vacuum Coating[M]. Beijing:Science Press,2014.
[14] 田民波. 薄膜技术与薄膜材料[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
TIAN Min-bo. Thin Film Technology and Thin Film Materials[M]. Beijing:Tsinghua University Press,2006.
[15] 王冶乐. 薄膜光学与真空镀膜技术[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2013.
WANG Ye-le. Optical Thin Film with Vacuum Coating Technology[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press,2013.