

DOI: 10.7652/xjtuxb201608004

采用测量不确定度的复杂自由曲面 表面质量测试与评价

王伟, 庄文浩, 陶文坚

(电子科技大学机械电子工程学院, 611731, 成都)

摘要: 针对国内外标准中对与复杂自由曲面零件高物理性能密切相关的表面加工质量的测量和评价存在很多不确定性的问题,提出了根据工件的曲率分布和曲面连续性分布确定表面质量测量位置的方法,发现表面质量的极值区域与曲率极值及曲面连续性突变的位置一致,该方法可以快速有效地确定表面质量的测量位置;基于测量不确定度分析提出了波纹度截止波长 λ_f 的确定方法,发现国家标准中推荐的 $\lambda_f=10\lambda_c$ 并不一定是合理的,该方法有助于得到高置信度的表面质量评价指标,实验结果验证了该方法的可行性,并表明了切削振痕属于波纹度范畴,波纹度值是理想的评价参数。上述研究对于完善现有标准中表面质量测量位置及波纹度截止波长的确定具有实际意义。

关键词: 自由曲面;粗糙度;波纹度;测量不确定度;测量评价

中图分类号: TH115 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2016)08-0020-06

Measurement and Evaluation Method for Quality of Complex Free-Form Surface Based on Uncertainty of Measurement

WANG Wei, ZHUANG Wenhao, TAO Wenjian

(School of Mechatronics Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: A method is proposed to solve the problem that the surface machining quality is closely related to high physical properties of free-form surface while there exist many uncertainties of measurement and evaluation on surface quality in domestic and international standards. The method is used to determine the surface quality measuring position based on the distribution of workpiece curvature and surface continuity. The method finds the extremal area of surface quality that agrees with the mutation position of surface continuity and curvature extreme, and can quickly and effectively determine the measuring position of surface quality. A method to determine the waviness cut-off wavelength λ_f is proposed based on measurement uncertainty, and it is found that $\lambda_f=10\lambda_c$ in standards is not reasonable. The method is helpful to get highly confident evaluation index of surface quality. Test results verifies the feasibility of the method, and show that cutting chatters belong to waviness, and the value of waviness W_a is an ideal evaluation parameter. This study is beneficial to consummating the determination of measuring position and waviness cut-off wavelength in existing standards.

Keywords: free-form surface; roughness; waviness; measurement uncertainty; measurement and evaluation

自由曲面是指表面形状不能被连续加工的、具有传统加工成型任意性的曲面,其显著的特点就是具有变曲率、变扭曲角和开闭角转换等,自由曲面的几何特征变化常常导致表面质量(粗糙度和波纹度)存在不均匀性,并且某些位置下的粗糙度和波纹度很难测量和评价。随着自由曲面零件在工业上的应用越来越多,例如飞机机翼、叶轮叶片等,对其表面质量的要求也越来越高,如何准确表征自由曲面的表面质量成为亟待解决的问题。

高物理性能要求下的自由曲面表面质量测试已经不仅仅满足于粗糙度,对波纹度的测量也有要求。粗糙度测量方法较为成熟,在现有标准^[1]中对粗糙度的测量有详细的方法和步骤,然而目前对波纹度的测量、评价方法还不成熟,虽然在国标 GB/T 16747—2009^[2]中给出了测量步骤,但截止波长 λ_f 取值、表征参数存在很多不确定性,现有文献主要集中在波纹度的产生和定义^[3]、改善波纹度的途径^[4]以及波纹度轮廓的提取方式^[5-9]。综合来看,自由曲面表面质量的测量与评价存在以下几个问题:①由于自由曲面的复杂几何特性,仪器无法对整个表面测量,而质量的不均匀性使整个表面的评价产生困难;②波纹度截止波长 λ_f 在国标中推荐为 $\lambda_f = 10\lambda_c$, λ_c 为粗糙度截止波长,但是该推荐对于复杂曲面的测量结果存在很大不确定性;③波纹度测量结果的评定还没有标准,评价参数没有统一。

本文以典型自由曲面“S”试件为例,结合标准中粗糙度、波纹度的计算方法,分析了自由曲面表面质量测量存在的问题,通过等照度法和曲率分布确定了测量位置,提出了基于测量不确定度选取波纹度截止波长 λ_f 的方法,并通过了实验验证,最终对波纹度测量结果做出评价。

1 测量位置的选取

GB/T 10610—2009 规定对于不均匀表面应在表面质量极值部位测量,因此如何预测极值区域,选择合适的测量位置成为首先要解决的问题。

1.1 等照度法

等照度法是采用一组平行的人射光源照射曲面,得到具有相同光照度的点所形成的曲线。等照度法用于检查曲面的连续性,有效地反映出不同阶次的曲面连续性,例如几何连续 G0、切线连续 G1、曲率连续 G2。现有的造型软件,例如 UG 都可以用等照度法对曲面品质进行检查。由文献[10]可知,在曲面连续性突变的位置容易引起机床加工振动,

所以连续性突变的位置是表面质量较差的区域。

如图 1 所示,“S”试件是一种五轴数控机床加工性能检验试件,具有自由曲面的变曲率、变曲面连续性、变扭曲角和开闭角转换等几乎所有的几何特征,因此“S”试件可以作为自由曲面的典型示例。

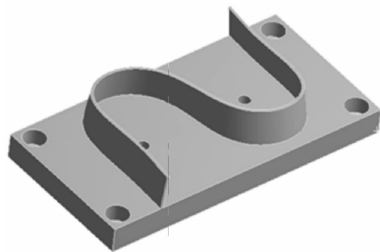


图 1 “S”试件

图 2 所示为“S”试件的等照度图,可以看到其表面大致分为 5 个不同的连续性区域,连续性突变处为测量的选取位置。

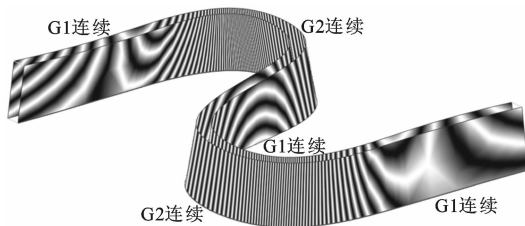


图 2 “S”试件等照度图

1.2 曲率分布

由文献[11]可知,工件表面质量与曲率分布也存在一定的关系,机床运动轴的加速度随着曲率的增大而增大,曲率越大,惯性力越大,对机床的冲击就越大,导致表面质量与曲率成正比关系。图 3 所示为“S”试件的曲率梳分布,直观地反映了曲率的变化情况,曲率在不断波动且变化丰富。

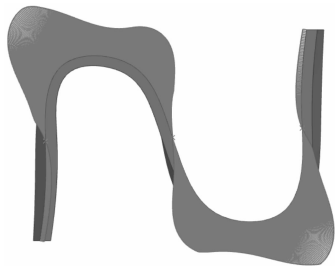


图 3 “S”试件的曲率梳分布

由图 2、3 可以看出,曲面连续性突变的区域及曲率的极值主要集中在图 4 所示的 5 个位置。由于仪器无法测量位置 5,所以“S”试件表面质量的测量位于其他 4 个位置。

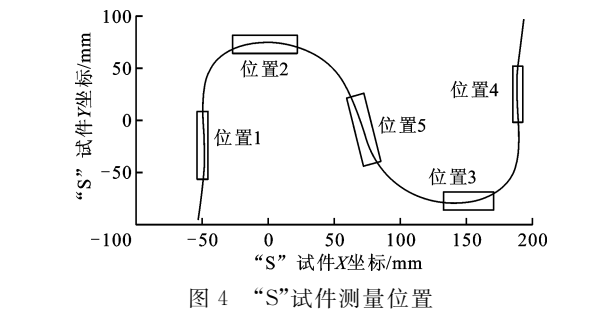


图 4 “S”试件测量位置

2 粗糙度测量及评价

2.1 粗糙度测量方法

取样长度 l_r 的确定不仅影响粗糙度值 R_a , 而且关系到波纹度截止波长。确定 λ_c 并测量 R_a 的方法为: ①估计粗糙度值 R'_a , 根据 R'_a 在表 1 中选取对应的粗糙度取样长度 l'_r ; ②根据测量条件即测量仪器的针尖半径, 在表 2 中选取去噪的截止波长 λ'_s , 测得粗糙度值 R_a ; ③如 R_a 在表 1 中的范围与取样长度 l'_r 相对应, 则认为 R_a 与取样长度 l'_r 合理, 结束测量; ④如 R_a 在表 1 中的范围与取样长度 l'_r 不对应, 则根据 R_a 在表 1 中重新选择取样长度 l_r , 在表 2 中重新选取 λ_s , 重新测得粗糙度值, 重复此步骤直到 R_a 的范围在表 1 中与其取样长度 l_r 相对应。

表 1 粗糙度取样长度 l_r 与粗糙度值 R_a 的关系^[1]

$R_a/\mu\text{m}$	l_r/mm	评定长度 L/mm
$0.006 < R_a \leq 0.02$	0.08	0.40
$0.02 < R_a \leq 0.1$	0.25	1.25
$0.1 < R_a \leq 2$	0.80	4.00
$2 < R_a \leq 10$	2.50	12.50
$10 < R_a \leq 80$	8.00	40.00

表 2 λ_s 和 λ_c 的取值规范^[1]

λ_c/mm	$\lambda_s/\mu\text{m}$	针尖半径/ μm	采样间距/ μm
0.08	2.5	2	0.5
0.25	2.5	2	0.5
0.80	2.5	2	0.5
2.50	8.0	5	1.5
8.00	25	10	5.0

2.2 粗糙度测量实验

“S”试件表面粗糙度、波纹度测量实验所用测量仪器均为泰勒 Form Talysurf PGI830 超精粗糙度轮廓仪, 其技术参数见表 3。根据上述的测量方法测得 4 个位置的粗糙度值 R_a , 以及粗糙度的截止波长 λ_c 和去噪的截止波长 λ_s 。实验的针尖半径为

2 μm , 采样间距为 0.25 μm , 结果见表 4。

表 3 超精粗糙度轮廓仪技术参数

类型	分辨率/ nm	采样点数	采样间隔/ μm
相位光栅干涉	0.8	1 600 000	0.125

表 4 粗糙度测量结果

测量位置	测量顺序	λ_c/mm	$\lambda_s/\mu\text{m}$	$R_a/\mu\text{m}$	R_a 均值/ μm
位置 1	第 1 次	0.8	2.5	0.355 6	0.360 4
	第 2 次	0.8	2.5	0.363 4	
	第 3 次	0.8	2.5	0.362 2	
位置 2	第 1 次	0.8	2.5	0.423 0	0.421 4
	第 2 次	0.8	2.5	0.426 1	
	第 3 次	0.8	2.5	0.415 1	
位置 3	第 1 次	0.8	2.5	0.437 0	0.441 6
	第 2 次	0.8	2.5	0.438 6	
	第 3 次	0.8	2.5	0.449 1	
位置 4	第 1 次	0.8	2.5	0.343 8	0.343 1
	第 2 次	0.8	2.5	0.341 8	
	第 3 次	0.8	2.5	0.343 8	

图 5 是“S”试件的 4 个位置, 可以发现位置 2、3 与位置 1、4 相比有明显的切削振纹。实验结果中 4 个位置的 λ_c 均为 0.8 mm, λ_s 均为 2.5 μm , 位置 2、3 的粗糙度 R_a 比位置 1、4 的略大, 但是差值较小, 因此切削振纹不属于粗糙度范畴。

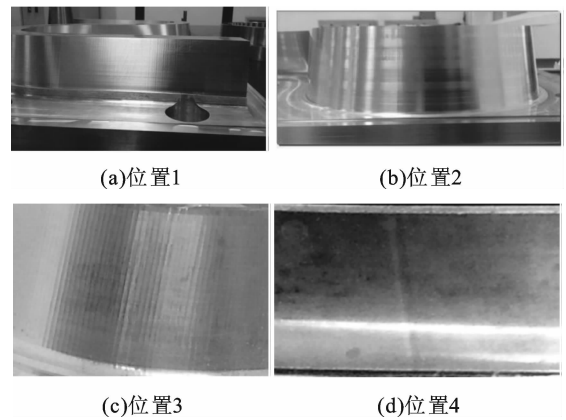


图 5 “S”试件的 4 个位置

3 波纹度测量和评价

波纹度定义为间距比粗糙度大得多的、由随机的或接近周期的成分构成的表面不平度, 通常是由于机床与工具系统的振动所形成的, 直接影响零件表面的机械性能。粗糙度截止波长 λ_c 用于区分粗

糙度轮廓和波纹度轮廓,波纹度截止波长 λ_f 区分波纹度轮廓和形状轮廓,根据 λ_c 和 λ_f 可以提取波纹度轮廓。国标中波纹度截止波长 λ_f 一般情况下推荐为 $\lambda_f:\lambda_c=10:1$,但是对于自由曲面,过长的截止波长可能会使波纹度轮廓包含形状轮廓,不能真实反映表面的波纹度特征。

3.1 截止波长 λ_f 的确定

传统观点是取样长度(即截止波长 λ_f)越长,测得的波纹度值 W_a 相应增加。如图 6 所示,当波纹度的截止波长从 λ_f 变成 λ'_f 时,带宽增加,传输系数保持不变,通过滤波器的幅值部分会更多,波纹度 W_a 即会增加。 W_a 的定义如式(1)所示,但这只针对加工均匀的表面,对于自由曲面来说,却与传统观点不一定相符。

$$W_a = \frac{1}{n} \sum_1^n |z_i| \tag{1}$$

式中: n 为取样长度内取样数; z_i 为波纹度轮廓偏离轮廓中线的距离。

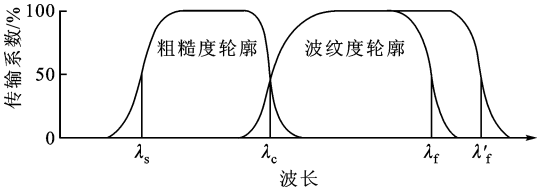


图 6 粗糙度和波纹度轮廓的传输系数

波纹度值 W_a 是在评定长度 L 上评价的参数,因此可以使不同截止波长 λ_f 对应的评定长度 L 尽可能相等来观察 W_a 。国家标准 GB/T 3505—2009 规定对于加工不均匀的表面,评定长度至少为 5 倍取样长度,如截止波长 λ_f 为 8 mm,评定长度 L 为 8 mm $\times$ 5=40 mm,那么截止波长 λ_f 为 2.5 mm 时对应的评定长度 L 则为 2.5 mm $\times$ 16=40 mm。

3.1.1 不确定度来源分析 测量不确定度表明测量结果的可信赖程度,不确定度越小,说明测量结果越可靠。“S”试件波纹度测量的不确定度主要来源为:①测量仪器引入不确定度分量 u_1 ;②重复性测量引入不确定度分量 u_2 ;③波纹度不均匀引入不确定度分量 u_3 。

由于“S”试件表面具有复杂的几何特征,仪器无法对其整个表面进行波纹度测量,并且波纹度很不均匀,对其整个表面的波纹度评价存在困难,而且不符合实际情况,所以对“S”试件表面波纹度分段评价,则不确定度来源不再考虑整个表面不均匀引入的不确定度分量 u_3 。

3.1.2 不确定度评定方式选择 不确定度分量 u_2 的评定方式有 A 类和 B 类评定^[12],其中 A 类评定是根据统计的方法,对重复测量次数 n 有一定的要求,通常取 $n\geq 10$ 。A 类极差法用于测量次数 $n<10$ 的情况下,但是测量结果需要接近正态分布。测量值中最大值与最小值的差称为极差,A 类极差法评定不确定度为

$$u_A(x) = RC^{-1}n^{-1/2} \tag{2}$$

式中: R 为极差; C 为极差系数; n 为测量次数。 C 的选择见表 5。

表 5 极差系数 C 及自由度 ν ^[12]

n	2	3	4	5	6	7	8	9
C	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.7	2.85	2.97
ν	0.9	1.8	2.7	3.6	4.5	5.3	6.0	6.8

B 类评定是根据经验的方法,常用非正态分布的 B 类不确定度见表 6,如果测量结果不满足经典分布或者属于无规律分布,可以认为其落在区间内任意处的可能性相同,即假设符合均匀分布,B 类评定均匀分布的不确定度为

$$u_B(x) = 3^{-1/2}a \tag{3}$$

式中: a 为区间半宽度。

表 6 常用非正态分布的置信因子 k 及

B 类不确定度 $u_B(x)$ ^[12]

分布类型	$P/\%$	k	$u_B(x)$
三角形	100	$6^{1/2}$	$a/6^{1/2}$
梯形($\beta=0.71$)	100	2	$a/2$
矩形(均匀)	100	$3^{1/2}$	$a/3^{1/2}$
反正弦	100	$2^{1/2}$	$a/2^{1/2}$
两点	100	1	a

通过比较不同波纹度截止波长时测得值 W_a 的合成不确定度 u_c 来确定合理的截止波长 λ_f ,不确定度 u_c 越小,说明测量值 W_a 的可信度越高, u_c 为

$$u_c = (u_1^2 + u_2^2)^{1/2} \tag{4}$$

3.2 波纹度测量实验

上述“S”试件粗糙度实验确定了每个位置的粗糙度截止波长 λ_c 为 0.8 mm,根据国家标准 GB/T 16747—2009 的推荐,波纹度截止波长 $\lambda_f=10\lambda_c=8$ mm,但是“S”试件的波纹度波长明显小于 8 mm,所以设置另一个截止波长 $\lambda_f=2.5$ mm,“S”试件的波纹度测量参数见表 7。测得 4 个位置的波纹度值 W_a 见表 8。

可以看出,重复测量 3 次的 W_a 属于无规律分布,因此不满足 A 类极差法评定,但测量结果都落

在某一区间内,可假设其结果符合经典均匀分布,因此选择 B 类评定计算“S”试件每个位置不同波纹度截止波长时的不确定度分量 u_2 ,根据 JJF 1105—2009 得到不确定度分量 $u_1 = W_a \times 1.00\%^{[13-14]}$,最终得到“S”试件表面 4 个位置波纹度值 W_a 的合成不确定度 u_c 。

表 7 波纹度测量方案

实验	截止波长 λ_f/mm	取样长度 L_r/mm	评定长度 L/mm
1	2.5	2.5	40
2	8.0	8.0	40

由表 8 可知,随波纹度截止波长 λ_f 变大,波纹度值 W_a 及合成不确定度 u_c 都变大。因为 λ_f 变大,波纹度包含了形状,使得其轮廓偏离中线的距离变长,导致 W_a 及不确定度分量 u_1 变大,引起 u_c 变大。由表 8 及图 7 可知,截止波长 λ_f 变大时位置 2、3 的 W_a 差值及 u_c 差值都比位置 1、4 大,因为位置 2、3 的曲率比位置 1、4 大,所以截止波长 λ_f 变大时位置 2、3 的波纹度比位置 1、4 包含了更多的形状。综上所述,合理的波纹度截止波长 $\lambda_f = 2.5\text{ mm}$ 。

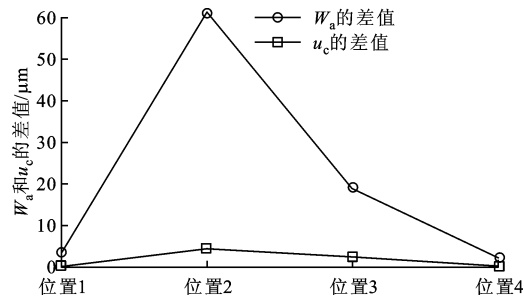


图 7 两个截止波长下 4 个位置的 W_a 和 u_c 的差值

表 8 波纹度测量合成标准不确定度 u_c

测量位置	测量顺序	$W_a/\mu\text{m}$	W_a 均值/ μm	$u_c/\mu\text{m}$	$W_a/\mu\text{m}$	W_a 均值/ μm	$u_c/\mu\text{m}$
		$\lambda_c = 0.8\text{ mm}, \lambda_f = 2.5\text{ mm}, L = 40\text{ mm}$			$\lambda_c = 0.8\text{ mm}, \lambda_f = 8\text{ mm}, L = 40\text{ mm}$		
位置 1	第 1 次	141.858 1			145.732 6		
	第 2 次	150.449 8	150.331 4	5.117 8	153.242 8	153.720 8	5.124 1
	第 3 次	158.686 2			162.187 2		
位置 2	第 1 次	317.252 1			367.861 2		
	第 2 次	317.600 4	317.619 2	3.184 0	386.797 9	378.928 1	7.428 6
	第 3 次	318.005 0			388.125 3		
位置 3	第 1 次	366.979 6			381.292 8		
	第 2 次	367.153 2	367.310 4	3.683 9	394.057 2	386.183 8	5.964 7
	第 3 次	367.798 5			383.201 4		
位置 4	第 1 次	110.741 5			112.293 6		
	第 2 次	110.429 6	110.787 2	1.132 1	112.671 7	112.928 9	1.241 3
	第 3 次	111.190 4			113.821 6		

3.3 波纹度评价

测量不确定度 u_c 反映的是测量结果的可信程度,所以根据上述方案确定的波纹度截止波长 λ_f 以及波纹度值 W_a 精度更高,能真实地反映表面波纹度的大小。

波纹度值 W_a 是波纹度轮廓偏离中线距离的均值,对波峰及波谷不太敏感,可以很快地收敛到一个稳定值,所以 W_a 为理想的波纹度评价参数,但是对于有特殊用途的工件需要选择合适的评价参数。

“S”试件波纹度在 4 个位置很不均匀,说明位置 2、3 的切削振纹主要属于波纹度范畴,所以不能对其整个表面进行评价,分段评价更能反映“S”试件表面波纹度的分布情况。

4 结 论

本文针对现有标准中自由曲面表面质量测试存在的诸多不适用性问题,对自由曲面测量位置、测量方法及评价指标进行了研究,主要结论如下。

(1)自由曲面的表面质量存在不均匀性,根据等照度法以及工件的曲率分布可以快速确定表面质量的极值区域,从而有效地选取测量位置。

(2)基于测量不确定度分析给出了高置信度波纹度截止波长 λ_f 的取值方法,根据这种方法可以得到真实的波纹度测量值,并且通过了实验的验证。

(3)自由曲面切削振纹主要属于波纹度范畴, W_a 是评价波纹度的理想参数,其表征轮廓偏离中线距离的均值,所以对曲面局部的不均匀性波动不太敏感。

(4)综合上述结果,以示例形式给出了高置信度的自由曲面表面质量测试与评价方法,针对性的完善了自由曲面表面质量的测试体系。

参考文献:

- [1] 中国国家标准化管理委员会. 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: GB/T 10610—2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 4.
- [2] 中国国家标准化管理委员会. 产品几何技术规范 (GPS)表面结构: 轮廓法 表面波纹度词汇: GB/T 16747—2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 2.
- [3] 胡凤英. 波纹度参数的研究及检测 [J]. 内燃机配件, 2006(2): 38-39.
HU Fengying. Research and detection on waviness parameters [J]. Internal Combustion Engine and Parts, 2006(2): 38-39.
- [4] 马伏波. 表面波纹度的研究 [J]. 煤矿机械, 2008, 29(10): 89-90.
MA Fubo. Research on surface waviness [J]. Coal Mine Machinery, 2008, 29(10): 89-90.
- [5] 中国国家标准化管理委员会. 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: GB/T 3505—2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 2.
- [6] DIETZSCH M, HARTMANN T. The MOTIF-method (ISO 12085): a suitable description for functional, manufactural and metrological requirements [J]. Tools Manufact, 1998, 38: 625-632.
- [7] 冯秀, 顾伯勤. 表面形貌的研究现状及发展趋势 [J]. 润滑与密封, 2006(2): 168-170.
FENG Xiu, GU Boqin. The research status and development tendency of surface topography [J]. Lubrication Engineering, 2006(2): 168-170.
- [8] XIA Chunlin, WU Yangfang, LU Qianqian. Surface characteristic profile extraction based on Hilbert-Huang transform [J]. Measurement, 2014, 47: 306-313.
- [9] 中国国家标准化管理委员会. 产品几何技术结构 (GPS)表面结构: 轮廓法 图形参数: GB/T 18618—2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 8.
- [10] 崔浪浪. 基于“S”形检验试件的数控机床动态因素误差分析及溯源 [D]. 成都: 电子科技大学, 2013: 17.
- [11] 王伟, 陶文坚, 李晴朝. 五轴数控机床动态精度检验试件特性研究 [J]. 机械工程学报, 2015, 56(6): 1-9.
WANG Wei, TAO Wenjian, LI Qingzhao. Research on characteristic of test specimen for five-axis CNC machine tools [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2015, 56(6): 1-9.
- [12] 中国国家质量监督检验检疫总局. 测量不确定度评定与表示: JJF 1059.1—2012 [S]. 北京: 全国法制计量管理技术委员会, 2012: 13-17.
- [13] 张欣, 田勇, 刘佳丽, 等. 测量表面粗糙度和测量结果不确定度的研究 [J]. 天津科技, 2012(2): 76-77.
ZHANG Xin, TIAN Yong, LIU Jiali, et al. Research on roughness measurement and measurement uncertainty [J]. Tianjin Science and Technology, 2012(2): 76-77.
- [14] 中国国家质量监督检验检疫总局. 触针式表面粗糙度测量仪校准规范: JJF 1105—2003 [S]. 北京: 全国法制计量管理技术委员会, 2003: 11.

[本刊相关文献链接]

- 田红亮, 余媛, 陈甜敏, 等. 考虑表面粗糙度和几何曲率的两球体接触问题. 2016, 50(3): 1-7. [doi:10.7652/xjtuxb201603001]
- 方源, 章桐, 陈霏霏, 等. 电动车动力总成噪声品质粒子群-向量机预测模型. 2016, 50(1): 41-46. [doi:10.7652/xjtuxb201601007]
- 褚坤明, 王家序, 蒲伟, 等. 混合润滑状态下滤波减速器的啮合冲击分析与修形方法. 2015, 49(7): 140-148. [doi:10.7652/xjtuxb201507023]
- 田红亮, 赵美云, 郑金华, 等. 新的柔性结合部法向接触刚度和接触阻尼方程. 2015, 49(1): 118-126. [doi:10.7652/xjtuxb201501020]
- 田红亮, 赵春华, 朱大林, 等. 整个螺栓结合部的法向连接刚度及试验验证. 2012, 46(9): 31-36. [doi:10.7652/xjtuxb201209007]
- 许志倩, 闫相祯, 杨秀娟, 等. 随机抽样在粗糙表面接触力学行为分析中的应用. 2012, 46(5): 102-108. [doi:10.7652/xjtuxb201205018]
- 王晶, 赵远扬, 李连生, 等. 跨临界 CO₂ 制冷系统中绝热毛细管性能模拟研究. 2011, 45(11): 16-21. [doi:10.7652/xjtuxb201111004]
- 留剑, 洪军, 杨朝晖, 等. 高速精密角接触球轴承旋转精度创成机理研究. 2011, 45(11): 72-78. [doi:10.7652/xjtuxb201111014]
- 王少锋, 洪军, 贺巧玲, 等. 组合测量设备不确定度的实验研究. 2011, 45(5): 84-89. [doi:10.7652/xjtuxb201105016]
- 王栋, 梁法春, 张炳东, 等. 多相流体流量测量的采样分流方法. 2009, 43(1): 103-107. [doi:10.7652/xjtuxb200901023]

(编辑 武红江)