

ZT19346

机械工人学习材料

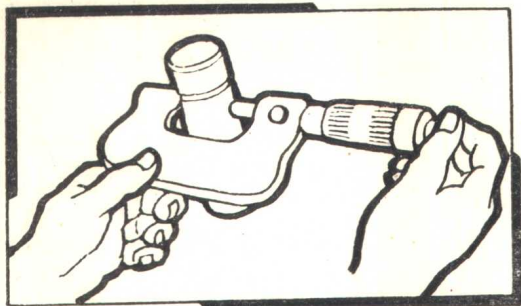
JIXIE GONGREN XUEXI CAILIAO

谈表面光洁度

(修订第一版)

余用仁编著

技 术 测 量



机械工业出版社

内容提要 本书全面地介绍了表面光洁度的一般知识、选择和评定的标准、在图纸上标注的方法等。书中还介绍了我国的标准,国际的、日本、美国、西德、英国及苏联的标准,对开阔读者眼界,丰富知识,有所增益。

、 本书是一九六五年的修订本,修订过程中作了大量的修改,并补充了新内容。适合机械工人阅读。

谈表面光洁度

余用仁 编著

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门内百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $3 \frac{1}{4}$ · 字数 76 千字

1981 年 7 月北京第一版 · 1981 年 7 月北京第一次印刷

印数 00,001—24,000 · 定价 0.25 元

*

科技新书目: 5—110

统一书号: 15033 · 5190

目 次

一	表面光洁度的基本概念.....	1
	1 表面光洁度(1) —— 2 表面光洁度对零件性能的影响(3) —— 3 表面光洁度的术语和表征参数(6) —— 4 GB 1031-68 表面光洁度标准(13) —— 5 ISO/R468 表面粗糙度标准(16) —— 6 表面纹理(24) —— 7 表面光洁度在图纸上的标注(26) —— 8 木材零件的表面光洁度(37)	
二	表面光洁度的应用.....	39
	1 表面光洁度的选择(39) —— 2 表面光洁度和尺寸精度(42) —— 3 影响表面光洁度的因素(48) —— 4 一般机械加工方法所能达到的表面光洁度(55) —— 5 提高表面光洁度的途径(59)	
三	表面光洁度的测量.....	69
	1 比较测量法(69) —— 2 光学测量法(71) —— 3 针描测量法(87) —— 4 印模测量法(95) —— 5 激光测量法(96) —— 6 综合测量法(98)	

一 表面光洁度的基本概念

1 表面光洁度 经过机械加工的表面，实际上并不是完全光洁平整的，总是留下许许多多微量高低不平的加工痕迹，通常叫它做刀痕。粗加工的表面，用眼睛就能看出明显的加工痕迹。经过精加工的表面，单凭眼睛观察，似乎很平整，可是用放大镜或仪器来观察时，仍然可以看出加工的表面上有错综交叉各种各样的加工痕迹。表面光洁度是指经过加工后，在表面上留下加工痕迹的光洁平整程度，或者说是加工后表面粗糙毛刺的程度。光洁度愈高，表面就愈光洁平整，粗糙毛刺的程度就愈小。反之，光洁度愈低，表面就愈不光洁平整，粗糙毛刺的程度也就愈大。六十年代，国际标准化组织（ISO）和大多数国家都已采用“表面粗糙度”来代替原来的“表面光洁度”这个词。由于我国现行的国家标准（GB1031-68）仍用“光洁度”这个词，因此在这本小册子中除了在介绍有关国际标准有时用“表面粗糙度”一词外，一般都用“表面光洁度”这个词。名词不一，但实质都一样。

表面加工后留下不平的加工痕迹，虽然比较微小，但它具有一定几何形状的特征，所以它是属于表面微观不平度，或者是表面微观几何形状误差，而不是表面波度或者表面宏观几何形状误差。

表面波度是指由于加工过程中机床——刀具——零件加工系统中的振动，材料组织的不均匀，以及传动误差等因素造成的。表面波度不仅周期明显，而且波距也较大，一般波距在1~10毫

米范围内，波距和波高之比在 50~1000 之间。对波度的评定问题，至今还没有标准。

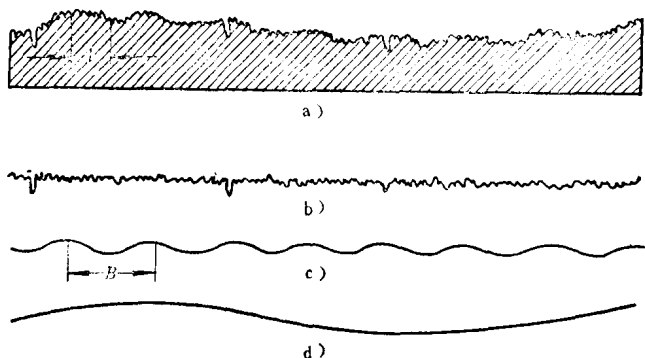


图 1 零件表面微观几何形状特性

表面宏观几何形状误差是指加工系统中的精度误差，是相对于表面正确几何形状的误差，如表面凹度、凸度等。也就是表面的不平度误差，它的波距更大，一般都在 10 毫米以上，波距和波高之比在 1000 以上。

表面光洁度是指零件加工后表面上所具有的较小间距和微小峰谷的不平度，是对这些微观几何形状特性的综合评价，而不考虑加工表面的缺陷和其它物理特性诸因素。也就是说：表面光洁度的高低主要是根据这些微小的波峰和波谷间的高度来评价，并且把表面波度和表面宏观几何形状误差排除在外。如果用图形来说明这三种误差，可能更容易了解些。在图 1 中，a 是零件实际轮廓的表面，b 是表示具有微小的波峰和波谷的表面微观形

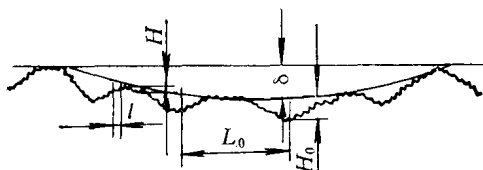


图 2 具有宏观几何形状误差、表面波度及微观几何形状误差的断面示意图

状，c 是具有波度的表面，d 是具有宏观误差不平度的表面。图 2 表示具有三种情况的实际轮廓表面，在宏观几何形状上讲，表面不平，是中间凹下，不平度误差为 δ ；表面上还有较规则的明显的表面波度，其波距为 L_0 ，波高为 H_0 ；沿轮廓表面还有微小的波峰和波谷，峰的间距为 l ，峰顶到谷底的高度为 H ，这是微观几何形状误差，也就是我们要论述的表面光洁度。

2 表面光洁度对零件性能的影响 大家都知道，精密的零件必须具有较高的表面光洁度，才能保证达到零件的尺寸精度，因此首先影响的是尺寸精度，关于这一点，后面还要专门讨论它。一般说来，表面光洁度的高低，对零件的性能有以下这些影响：

1) 减少磨损，延长零件使用寿命 零件的表面光洁度低，表面就比较粗糙，两个接触的表面就不是全部接触，而是由一些突起的峰顶相互接触，如图 3。这样使实际接触的面积大大减小，也就是负荷面积减小。例如，精车后的表面，接触面积只有理论的 10~15%，精磨的表面也只有 30~50%。只有精密研磨的表面才能提高到 90%。由于接触面积的减小，突起的峰顶就承担了整个负荷，单位面积上的压力显著增加，尖峰就会很快地被磨平，而造成零件的配合间隙增大，使配合偶件失去原有的精度。所以磨光的轴要比车光的轴耐用，研磨过的塞规或卡规也比精磨的塞规或卡规耐用，道理也就在这里。有些机床设备，新时精度很好，但使用后很快失去原来精度，其中主要原因，多半是光洁度不高造成。所以，适当地提高零件的表面光洁度，机器的精



图 3 表面接触情况

度很高，但使用后很快失去原来精度，其中主要原因，多半是光洁度不高造成。所以，适当地提高零件的表面光洁度，机器的精

BCC30/06

度也就愈可靠，使用寿命也愈长。

2) 保证静配合零件的紧固作用 如果两个零件要求是静配合，在装配时必须用外力才能压入。当零件加工面光洁度较低的时候，由于表面一些凸起的尖峰在压配合时会被挤平，这样就等于轴的外径减小或孔的内径增大，减小了过盈量，降低了配合紧度，使原来的重压配合可能降低为轻压配合。经实验得知，对于一根直径 180 毫米的轴，当表面光洁度为 $\nabla 4$ 时，即使尺寸的过盈增大 15%，比表面光洁度为 $\nabla 5$ 时，配合的紧固程度反要降低 45~50%，可见表面光洁度对结合紧固程度的影响是非常大的。

3) 减少摩擦降低消耗功能 表面摩擦力的大小和接触表面的光洁度有直接关系。像机械零件中的轴颈和轴承配合面，导轨的支承面等，不但相互支承接触，而且要相对地运动。如果表面光洁度不高，摩擦的系数就增大，摩擦的阻力也相应增大，这时除了克服摩擦力所消耗的功能要增大外，还容易产生发热和咬损。因此，提高表面光洁度可以减少机器消耗的功率和摩擦。

4) 增加零件的抗疲劳强度 在零件承受负荷工作的时候，有些零件承受的负荷是经常变化的，像车辆上的缓冲弹簧，车辆运行时受到的负荷，经常随着路面的高低不平而忽大忽小，这是负荷量大小的改变。发动机的传动轴有时顺转，有时倒转，负荷量大小可能没有改变，而负荷的方向却改变了。这两种负荷我们统称它为变动负荷。承受变动负荷的零件，使用一定时间后，在运转中往往会突然损坏，像弹簧会突然折断，发动机的传动轴会突然扭断，这些损坏现象，在材料学中称它做疲劳损坏或疲乏损坏，也就是说零件的抗疲劳强度不高。

零件的抗疲劳强度不高，除了材料本身性能外，与表面光洁度高低也有很大关系。表面光洁度低的零件，在加工时往往由于材料的塑性变形，使切屑呈撕裂状态切下，这样在表面会产生细

小裂纹，特别是在凹槽角隅处。这些细小裂纹在变负荷的作用下会逐渐扩大，由表面深入到内层，以致使零件突然损坏。根据试验的报告，在变动负荷下，车削出的零件比磨削的零件寿命要缩短两倍；表面粗加工的零件，其疲劳强度要比精加工的零件减低12%左右。

5) 增加耐蚀作用 空气中的气体和水蒸汽对金属表面有腐蚀作用，表面愈粗糙，这种腐蚀作用也愈快。因为水蒸汽和腐蚀性的气体，不但最容易附着和凝聚在凹下的沟谷处，并且容易从表面细微的裂纹中迅速渗透到金属的内层，如图4所示。这样表面的金属层就会因锈蚀产生斑块剥落，很快地把零件腐蚀损坏。我们在生产中，也有这样的经验，一根粗车的轴，放在空气中很快就会有锈蚀出现，而一根磨光的轴，放在空气中，能在较长的时间保持光洁不锈，原因就是磨光的轴要比粗车的轴表面光洁度高。所以提高表面光洁度，就能增加零件的耐蚀能力。



图4 在腐蚀影响下的表面被破坏的略图

总的来说，表面光洁度是保证零件的工作精度和使用寿命的必要条件，提高零件的表面光洁度有利于提高零件的精度和质量。特别是对于高速运转，负荷较大，精度较高以及要求密封性好的零件，更应注意表面的光洁度问题。那么是否在零件的设计和加工时，都要尽量提高零件的表面光洁度呢？当然也不能一概而论，还是要从实际需要和经济合理出发，如对下述情况的零件

表面，光洁度就不宜太高。

加工后还要涂以涂料的表面，如果光洁度过高，涂料和表面反而附着不牢，反之粗糙的表面，涂料更容易附着牢靠。需要考虑散热的零件，对它暴露在外的表面应当粗糙些，因为粗糙的表面比光洁的表面更有利于散热。对于某些运动副接触的表面，光洁的程度也要掌握适当，过低会增大摩擦，过高又不利于润滑油的储存，以致造成干摩擦或半干状态摩擦，反使摩擦力增大或者产生咬损。除了这些情况外，表面光洁度高时，加工工艺也复杂，生产的效率要减低，成本要增高，对生产也不利。所以零件表面光洁度的高低，应当根据零件使用时的具体技术要求来合理选择。

3 表面光洁度的术语和表征参数 国际标准化组织在1966年就制定了表面粗糙度的国际标准，它的代号为ISO/R468，以后在1974年国际标准化组织召开的表面几何参数专门技术委员会会议上，又正式审议了“表面粗糙度术语和参数”标准草案第二稿。许多国家也先后制定了本国表面粗糙度的国家标准，如西德的DIN4762-1978、4763-1978、4766-1978，美国的ANSI、B46.1-1978，英国的BS1134-1972，日本的B0601-1976，苏联的ГОСТ2789-1973等。这些标准都是依据ISO/R468为主要内容，基本统一于国际标准，从而奠定了“表面粗糙度”统一用的术语和表征参数，这些术语和表征参数也完全适用于表面光洁度标准。我国将来修订GB1031-68表面光洁度标准时，很可能参照国际发展趋向，转而采用表面粗糙度一词。我们只要注意把这些术语和表征参数的意义弄清，在实际应用中无论是评价表面光洁度或表面粗糙度，其实质都是完全一样。下面介绍一些最常用的术语和表征参数：

表面光洁度（表面粗糙度）：零件加工表面上所具有的较小

间距和微小峰谷的微观几何形状不平度，而不考虑加工表面上的其他几何特性，如表面形状误差和表面波度等。

基准线：为确定剖面轮廓曲线诸参数而拟定的线，在多数国家中都采用轮廓中线为基准线。

轮廓中线 m ：具有和被测表面几何形一致的几何轮廓形状（如直线、圆弧线等），并将测量轮廓加以划分的线，在基本长度范围内，使被测轮廓上的各点至该线距离（ $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ ）的平方和为最小，如图 5 所示。有的文献上把轮廓中线称为剖面曲线平均线。

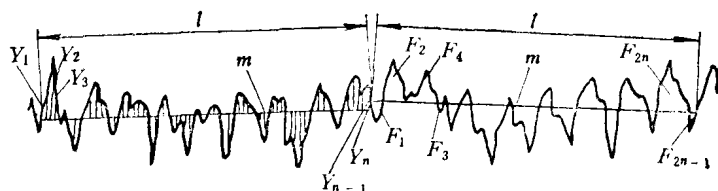


图 5 零件轮廓曲线图

在轮廓图上确定中线 m 位置时，允许用下列方法求得：

中线的方向应与被测轮廓的方向一致，并将轮廓曲线分为上下两半，使在基本长度范围内，由中线至轮廓线上下两边的面积彼此相等。

$$\text{即： } F_1 + F_3 + \dots + F_{2n-1} = F_2 + F_4 + \dots + F_{2n}$$

基本长度 l ：为限制和减弱加工表面其它几何形状偏差，特别是表面波度对表面光洁度测量结果的影响，在评定表面光洁度时，所规定的一段表面长度。

测量长度 L ：由于加工表面有着不同程度的不均匀性，为了充分合理地反映某一表面光洁度特性，在测量时所必需的一段最小的表面长度。它包含一个或数个基本长度。

表面光洁度的表征参数：目前国际上比较广泛用来评定表面光洁度的表征参数有：

一、轮廓的平均算术偏差 R_a 。在基本长度内被测轮廓上各点至轮廓中线距离的总和的平均值，参看图 6。

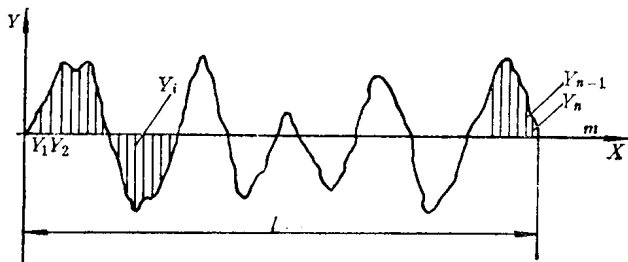


图 6 以轮廓的平均算术偏差表示

用算式表示：
$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Y| dx$$

近似为：
$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i|}{n}$$

也可写成：
$$R_a = (|Y_1| + |Y_2| + \dots + |Y_n|) \cdot \frac{1}{n}$$

上列式中 $|Y|$ 是表示 Y 的绝对值，即不论 Y 为正值或负值，在计算时一律取正值。

R_a 能充分反映表面微观几何形状的特征，即既和轮廓的不平度有关，又和轮廓的形状有关。所表示的数值直观性较好，并且测量方法也比较简单，是国际上采用的主要表征参数。

过去在英国 R_a 被称为中心线平均值，用 H_{LCA} 来表示，在美国被称为算术平均值，用 AA 表示，还有用 H_{CA} 来表示。

二、不平度平均高度 R_z 在基本长度内，从平行于轮廓中线

的任意一条线起，到被测轮廓的五个最高点（峰）和五个最低点（谷）之间的平均距离。如图 7。用算式表示：

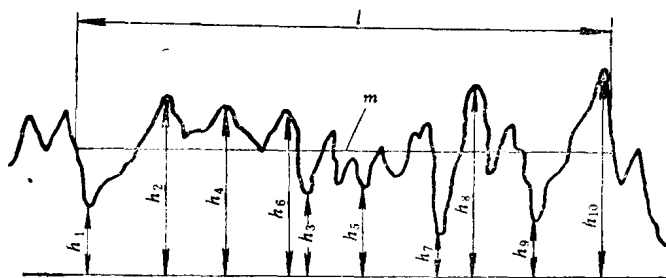


图 7 以不平度平均高度表示

$$R_z = \frac{(h_2 + h_4 + \dots + h_{10}) - (h_1 + h_3 + \dots + h_9)}{5}$$

因为 R_z 是测量十个点后所得到的不平度数值，故在国外文献上有将 R_z 称为十点不平度平均高度。

R_z 有明显的直观性，但不能反映出表面微观几何形状的变化。 R_z 可用双管显微镜或干涉显微镜进行测量，在适合于电动轮廓仪测量的范围内 ($\nabla 5 \sim \nabla 12$)，也可利用记录下的轮廓曲线计算出 R_z 值，有的仪器还能直接读出 R_z 的数值。

R_z 和 R_a 的比值关系随零件表面的加工方法和切削条件等因素而变化，根据我国计量部门实际测试的结果，可用下列关系式进行换算：

$$\lg R_z = 0.653 + 0.971 \lg R_a$$

或
$$R_z = 4.5 R_a^{0.971}$$

三、最大不平度高度 R_{max} 在基本长度内，最高峰与最低谷在垂直于轮廓中线方向上的距离。如图 8。但对个别的偶然出现的特大高峰，可以略去不计，因为个别特大高峰不能代表整个表面的微观几何特性，而且这样的个别特大高峰在使用中很容易

被磨掉。

国外文献中有用 H_{max} 来表示。

R_{max} 除了不能充分反映表面微观几何特性外，在其他方面的优缺点与 R_z 相似。我国木材制品的表面光洁度，目前仍以 R_{max} 为表征参数。

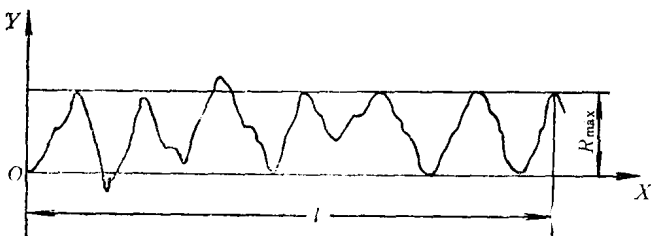


图8 以最大不平度高度表示

R_{max} 可用测量 R_z 的仪器来进行测量。 R_{max} 与 R_a 之间的比值关系随轮廓形状而变化，无一定的换算式，对于几种有规则的轮廓形状变化关系可参阅表 1。

四、微观不平度的平均高度 H_{10} ，从被测轮廓上的峰顶到谷底的高度的算术平均值，对许多 H 数值中个别有显著差异的，可以剔除不计。如图 9 中的 H_0 即可略去不计。

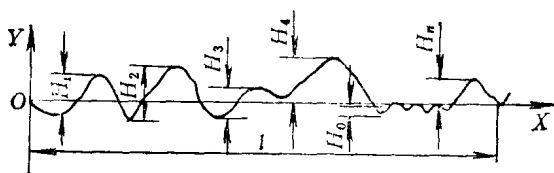


图9 以微观不平度的平均高度表示

$$\text{用算式表示: } H_{10} = \frac{1}{n} (H_1 + H_2 + \dots H_n)$$

H_{10} 的特征和测量方法基本上和 R_z 差不多。早期的表面光

光洁度标准采用此参数，如我国的原第一机械工业部标准 JB178-60，即用 H_{jn} 为表征参数，苏联的 ГОСТ2789-51 也用此作表征参数，代号为 H_{cp} 。在 JB178-60 中没有规定出基本长度，只规定出测量长度，如 $\nabla 1 \sim \nabla 4$ 不小于 3 毫米， $\nabla 5 \sim \nabla 7$ 不小于 2 毫米， $\nabla 8 \sim \nabla 14$ 不小于 1 毫米。在测量长度内应不少于五个峰顶。但由于测量时在轮廓上取点不同，测量结果相差也较大，所以新的标准中都采用 R_z 来替代。

五、微观不平度的平均平方根偏差 H_{jf} 从被测表面轮廓上各点至其轮廓中线距离的平方平均值的平方根，如图 10。

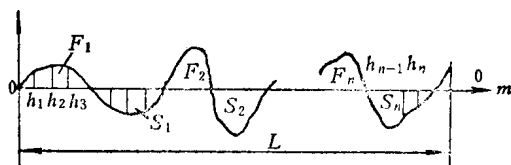


图10 以平均平方根偏差表示

$$\text{用算式表示: } H_{jf} = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L h^2 dl}$$

$$\text{或近似为: } H_{jf} = \sqrt{\frac{1}{n} (h_1^2 + h_2^2 + \dots + h_n^2)}$$

H_{jf} 过去也曾广泛用作评定表面光洁度的表征参数，我国 JB178-60 即采用此参数。其他国家用 R_q 、 $R_{m.s.}$ 、 $H_{r.m.s}$ 和 H_{CK} 等代号来表示。

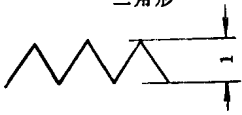
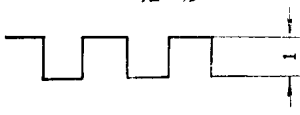
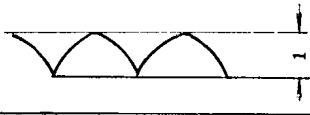
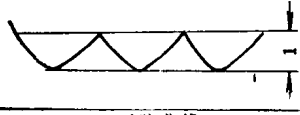
H_{jf} 比 R_a 更能较充分地反映出表面微观几何的特性，但没有 R_a 直观，当有较高的峰或较低的谷时，对测量结果影响也较大。 H_{jf} 虽也可用电动轮廓仪直接测出，但仪器的电路要比测量 R_a 复杂得多，现在已被 R_a 来代替。

H_{jf} 和 R_a 的比值，大约在 1.1~1.35 之间，我国现行的

GB1031-68 表面光洁度标准中, 规定 $R_a \approx 0.8 H_{jf}$ 。

对以上五个表征参数, 在国际标准化组织和绝大多数国家都已统一采用 R_a 、 R_z 和 R_{max} 作为评定表面光洁度 (表面粗糙度) 的表征参数。几种有规则的轮廓形状用这些不同参数来测定时, 它们之间的比例关系如表 1。对于不规则的轮廓形状, R_z 、 R_{max} 和 H_{jf} 并不相等, 并且表中的数值也只是个概略数值。在实际测定时, 很可能出现大于或小于表中所列的数值, 这说明轮廓形状对表面光洁度高低也有直接的影响。

表 1 表征参数与轮廓形状的关系

轮 廓 形 状	R_z, R_{max} (H_{jf})	R_a	R_q (H_{jf})	$\frac{R_z}{R_a}$	$\frac{R_q}{R_a}$
三角形 	1	0.25	0.289	4	1.16
矩 形 	1	0.5	0.5	2	1
抛物线 	1	0.256	0.298	3.9	1.17
反抛物线 	1	0.256	0.298	3.9	1.17
正弦曲线 	1	0.318	0.353	3.1	1.11

4 GB1031-68 表面光洁度标准 GB1031-66是我国科学技术委员会颁布的表面光洁度国家标准,代替原来的 JB178-60旧标准,它也是参照当时国际上一些通行的表面光洁度标准制定的。

GB1031-68 与 JB178-60 比较主要修改地方有:

一、采用 R_a 和 R_z 为表征参数来代替 H_{11} 和 H_{19} , 这样基本上和国际标准一致。另外, R_a 比 H_{11} 直观性好, 测量方法也比较简便。

二、所有光洁度代号不论那一等级都只用一个“▽”代(符)号, 然后在后面注上级别数字, 如▽3、▽6、▽8、▽12等, 比原来用▽3、▽▽6、▽▽▽8、▽▽▽▽12代号, 书写要简便得多, 记忆也比较方便。

三、规定了各级的基本长度, 减少了表面其它几何形状误差对测量的影响。

基本长度系列为: 0.08, 0.25, 0.8, 2.5, 8, 25(毫米)。

GB1031-68 规定表面光洁度划分为 14 个级别, 各级代号和 R_a 、 R_z 的数值以及相应的基本长度见表 2。在精密机械和仪表工业中, 有时还要进一步细分级别, 如 9~14 级每一级再细分为 a 、 b 、 c 三个细级, 过去曾称为等别, 对 9~14 级各细级的 R_a 和 R_z 值见表 3。

在一般情况下, 表征参数 R_a 和 R_z 可以任意选用, 当对某一表面上光洁度级别评定结果有不同意见时, 5~12 级以 R_a 分级为准, 1~4 级和 13~14 级以 R_z 的分级为准。

当表面光洁度要求为某一级别时, 一般是指该表面不能低于这一级, 可以偏高。如“▽9”就是该表面必须达到 9 级或以上。即 R_a 值不得大于 0.32μ ; R_z 值不得大于 1.6μ 。如果表面光洁度必须控制在一个级别或几个级别范围内时, 在代号上应注明限制的范围, 如“▽9-9”就是指该表面必须在 9 级范围内, 不能

偏高,也不能偏低。也就是 R_a 值必须大于 0.16μ , 但又要小于 0.32μ ; R_z 值必须大于 0.8μ , 但又要小于 1.6μ 。

表 2 表面光洁度级别 (GB1031-68)

表面 光洁度 级别	级 别 代 号	轮廓的平均算术偏差值 R_a (μ)	不平度平均高度值 R_z (μ)	基本长度 l (mm)
1	$\nabla 1$	$>40\sim 80$	$>160\sim 320$	8
2	$\nabla 2$	$>20\sim 40$	$>80\sim 160$	
3	$\nabla 3$	$>10\sim 20$	$>40\sim 80$	
4	$\nabla 4$	$>5\sim 10$	$>20\sim 40$	2.5
5	$\nabla 5$	$>2.5\sim 5$	$>10\sim 20$	
6	$\nabla 6$	$>1.25\sim 2.5$	$>6.3\sim 10$	0.8
7	$\nabla 7$	$>0.63\sim 1.25$	$>3.2\sim 6.3$	
8	$\nabla 8$	$>0.32\sim 0.63$	$>1.6\sim 3.2$	
9	$\nabla 9$	$>0.16\sim 0.32$	$>0.8\sim 1.6$	
10	$\nabla 10$	$>0.08\sim 0.16$	$>0.4\sim 0.8$	0.25
11	$\nabla 11$	$>0.04\sim 0.08$	$>0.2\sim 0.4$	
12	$\nabla 12$	$>0.02\sim 0.04$	$>0.1\sim 0.2$	
13	$\nabla 13$	$>0.01\sim 0.02$	$>0.05\sim 0.1$	
14	$\nabla 14$	≥ 0.01	≥ 0.05	0.08

注: 当不能按表 2 所规定的基本长度来测量表面光洁度时 (如不平度 间距较大的端铣, 滚铣及其它大进给走刀的加工表面等), 可按表 1 选用较大的基本长度值, 并在有关技术文件中注明。

表面光洁度的数值, 是指在垂直于被测表面的法向剖面上对被测轮廓实际测量的结果。如果没规定一定的测量方向, 就应该在能得到 R_a 或 R_z 最大值的方向上进行测量。在测量表面光洁度时, 不考虑表面上的其他各种缺陷, 如擦伤、划痕、气孔等。

表面光洁度的测量长度一般应包含一个以上的基本长度, 因此在评定某一表面光洁度的 R_a 或 R_z 数值时, 应当是在测量长度内测得的数个 R_a 或 R_z 的平均值。由于加工表面的均匀性不同,