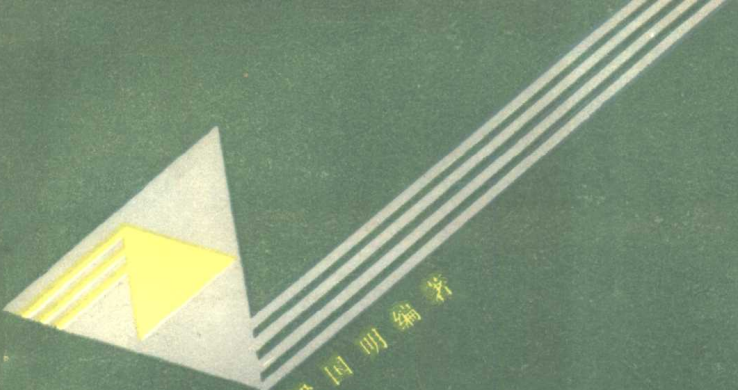
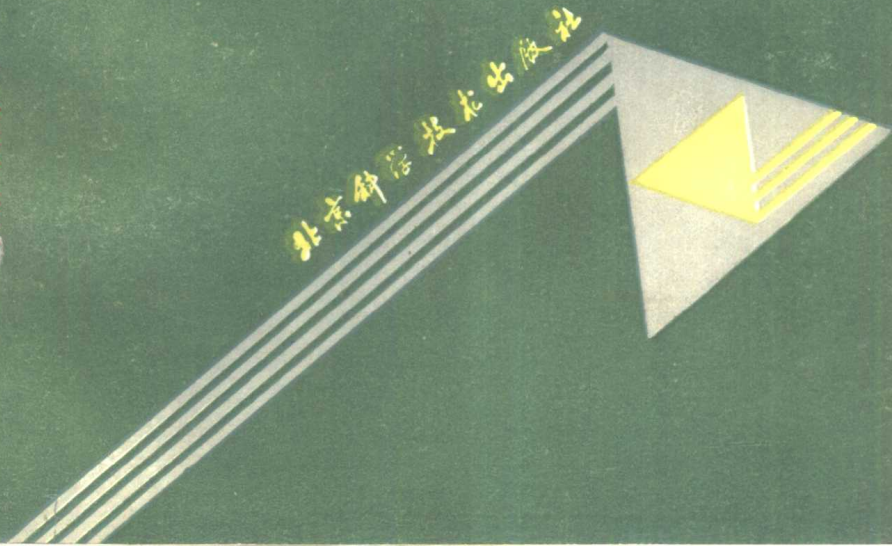




梁国明编著

表面光洁度 和波纹度



北京科学技术出版社



表面光洁度和波纹度

梁国明 编著

北京科学技术出版社

内 容 简 介

本书主要介绍金属切削加工中的车削、刨削和磨削等几种方法所产生的表面光洁度和波纹度，以及与其有关的问题。内容主要包括：表面几何形状误差及其分类；金属切削的光洁度和波纹度；提高表面光洁度和波纹度的途径；表面光洁度和波纹度的标准及标注方法；光洁度的测量、检定方法；表面光洁度和波纹度对机械零件及设备性能的影响；如何选择表面光洁度等。本书可供从事机械制造和设计的工程技术人员及工人阅读。

表面光洁度和波纹度

梁国明 编著

北京科学技术出版社
(北京西外大街140号)
北京市新村印刷厂印刷
北京市新华书店发行
各地新华书店经售

开本：787×1092毫米1/32印张：8.625字数：194千字

1984年5月第一版1984年5月第一次印刷

印数：1—8,000

定价：1.15元

统一书号：15274·004 本社书号：0024

前 言

表面光洁度和表面波纹度是评定机械零件表面质量的重要内容之一，它们不仅对机械零件的耐磨性、耐腐蚀性、密封性、疲劳强度、装配性等有很大影响，而且对机械设备的工作性能、动力消耗、噪声以及使用寿命也有很大影响。随着机械设备向高速度、高精度、重载方向发展，人们对机械零件的内在质量和表面质量提出越来越高的要求。因此，世界各国，特别是工业发达的国家，除不断研究发展新材料和新技术，提高机械零件的内在质量之外，还很重视表面光洁度和表面波纹度等表面质量的理论研究及标准的制订和修改工作。

表面光洁度对机械零件和机械设备性能的影响，很早就引起人们的注意。但是，把表面光洁度当作一门科学来研究，这是近一百余年前的事。表面波纹度是在机械设 备 向 高 速度、高精度发展的过程中，才逐渐引起人们的注意和重视的。我国在解放前没有自己的表面光洁度和表面波纹度国家标准，1968年颁布了第一个表面光洁度的国家标准，使用至今。表面波纹度的国家标准至今还没有制订出，亟待解决。

为更快地发展我国的机械制造业，近年来，广大科技人员和工人，都在深入研究表面光洁度和表面波纹度，取得了不少成果。当前，随着国外先进技术的不断引进，国外的图纸、资料也越来越多，其中有许多涉及到表面光洁度和表面波纹度的问题。一些技术人员和工人在阅读这些技术文

件和资料时、往往苦于查找有关这方面的参考资料，而机械行业的广大中、青年技术工人在工作和自学中，也感到很难找到一部较为系统、全面地介绍表面光洁度和波纹度的读物。为给广大读者提供有关这方面的技术资料和实际知识，我特意编写了此书。

由于本人经验有限，因此书中难免有谬误之处，敬请读者批评指正。

梁国明

一九八二年十二月

目 录

第一章	概 述	
第一节	表面几何形状误差及其分类	(1)
第二节	光洁度和波纹度的研究概况	(2)
第二章	金属切削的光洁度和波纹度	
第一节	车削加工的光洁度	(8)
第二节	刨削和拉削加工的光洁度	(28)
第三节	铣削加工的光洁度	(36)
第四节	铰削加工的光洁度	(40)
第五节	磨削加工的光洁度	(54)
第六节	研磨加工的光洁度	(77)
第七节	金属切削加工的波纹度	(94)
第三章	提高光洁度和改善波纹度的途径	
第一节	提高切削加工光洁度的途径	(99)
第二节	提高磨削加工光洁度的途径	(109)
第三节	采用光整加工提高光洁度	(114)
第四节	改善磨削加工波纹度的途径	(132)
第四章	光洁度和波纹度标准及标注方法	
第一节	光洁度的表征参数及其相互关系	(136)
第二节	ISO及一些国家的粗糙度标准	(149)
第三节	我国的光洁度标准	(153)
第四节	光洁度的标注方法	(164)
第五节	波纹度标准及标注方法	(184)
第五章	生产现场测量检定光洁度的方法	
第一节	光洁度的测量方法及测量工具	(197)
第二节	生产现场检定光洁度的方法	(200)
第三节	光洁度比较样块	(212)

第六章	光洁度和波纹度对机械零件及机械设备性能的影响	
第一节	对测量和配合的影响.....	(224)
第二节	对机械零件寿命的影响.....	(228)
第三节	对结合强度和耐腐蚀性的影响.....	(236)
第四节	对振动和噪声的影响.....	(238)
第七章	光洁度的选择	
第一节	正确选择光洁度的意义.....	(243)
第二节	选择光洁度的一般原则.....	(248)
第三节	纹理方向的选择.....	(250)
第四节	选择光洁度的方法.....	(252)
参考书刊		(268)

第一章 概 述

第一节 表面几何形状误差及其分类

在金属切削加工中,由于机床精度不良、夹紧定位误差、工件变形、切削工具磨损、机床调整不佳、切削用量不当、操作不慎,或各种振动等因素的影响,使得切削加工出的机械零件的实际尺寸和形状与理想、正确的尺寸和形状不一致。机械零件的实际尺寸与理想、正确的尺寸之差,称为机械零件的尺寸误差;机械零件的实际表面几何形状与理想、正确的表面几何形状之差,称为机械零件的表面几何形状误差。

根据表面几何形状特征不同,误差又可分为宏观几何形状误差(表面形状误差,简称形状误差)、中间几何形状误差(表面波纹度,简称波纹度)、微观几何形状误差(表面光洁度,简称光洁度)。形状误差、波纹度和光洁度三者有密切联系,在精加工中,它们往往同时存在于工件的同一表面上。因此,如何划分它们是研究中首先要解决的问题,但至今人们还没找到一种令人完全满意的划分方法。

波高和波距是表征表面几何形状误差程度的两个重要参数,我们可根据这两个参数来划分形状误差、波纹度和光洁度。

一、根据波距的长度来划分

在工件的表面上,如果大量出现的波形的波距小于1毫

米，属于光洁度；波距在1~10毫米之间的波形，属于波纹度；波距大于10毫米的波形，属于形状误差。这种划分方法是不严密的，例如，在磨削圆柱形工件的外圆时，工件横向（圆周方向）的形状误差（圆度）与波纹度的周波数，往往很难找到严格的分界线。在某些切削加工中，工件纵截面内波纹度的波距与光洁度微小波峰之间的距离相差极微，二者之间也没有明显的分界线。

二、根据波距与波高的比值来划分

令波形的波高为 W ，波距为 A ，若

$A/W = 0 \sim 50$ ，属于光洁度；

$50 < A/W \leq 1000$ ，属于波纹度；

$A/W > 1000$ ，属于形状误差。

波高和波距可从工件的截面轮廓放大图上测量得到。

三、根据波数来划分

对于圆柱形工件，可根据横截面内波形的数量来划分形状误差、波纹度和光洁度。

令 n 为横截面内的波形数，则

$n = 3 \sim 7$ ，属于形状误差；

$7 < n \leq 4\pi d_m$ ，属于波纹度；

$n > 4\pi d_m$ ，属于光洁度。

式中 d_m ——工件的直径，厘米。

对于平面，在1毫米²面积上大量出现波峰波谷的波形，属于光洁度，否则属于波纹度或形状误差。

第二节 光洁度和波纹度的研究概况

光洁度和波纹度是机械零件表面质量的重要组成部分，

光洁度和波纹度标准是机械行业的基础技术标准之一。

光洁度对机械零件和机械设备性能的影响很早以前就已引起人们的注意，但是，对光洁度进行系统的研究，则是近一百余年前才开始的。世界上第一个对光洁度进行系统研究的人，是俄国的切比雪夫（Чебышев）教授，在系统研究的基础上，1874年，他提出了在圆柱铣中计算光洁度的最大高度的公式。1893年，在俄国的一些兵工厂中采用光洁度标准样板以比较法检定工件的光洁度。1929年，苏联学者、科学院院士林尼克（В.П.Линник）发明了用于测量光洁度的光切显微镜。测量光洁度的其他各种仪器也不断出现。测量仪器的出现为研究光洁度提供了有力的手段。

随着科学技术的发展，特别是机械制造工业的不断发展，世界各国，尤其是工业发达的国家很重视对光洁度的理论研究、标准的制订和修改工作。例如，美国1940年制订的光洁度标准，以后平均每8~9年修订一次，使之不断适应机械制造工业发展的需要，同时又起到促进机械制造工业发展的作用。

构成表面的微小波峰波谷是三维空间的复杂的几何体，这些几何体的幅度、波距、倾斜度、方向等均影响机械零件和机械设备的性能。由于各国的科学技术发展水平不同，研究和测量光洁度的方法及手段不一，所以对光洁度的认识也不一致。各国根据自己对光洁度的认识以及本国的具体情况，提出自己的光洁度标准。由于认识不同，标准不一，给国际间的技术交流和贸易往来造成困难。为统一认识和统一光洁度标准，国际标准化组织（ISO）1956年8月在苏联列宁格勒召开的国际加工表面质量第二次会议上，建议用表面粗糙度来评定加工表面质量，并推荐了评定表面粗糙度的标准，但

没有得到与会国的公认。1966年国际标准化组织正式提出《ISO/R468-1966表面粗糙度》国际推荐标准。该标准提出后,不少国家根据这一标准制订或修改自己的光洁度标准,例如美国的《ANSI B46.1-1978》、英国《BS 1134-1972》法国的《NFE 05-016-1978》、西德的《DIN 4763-1978》日本的《JIS B0601-1976》、苏联的《ГОСТ 2789-1973》等标准,均采用了《ISO/R468-1966表面粗糙度》的主要内容,因此,目前各国的光洁度标准基本上趋于一致,这促进了国际间的技术交流和贸易往来。

随着机械设备向高精、高速、高温、高压和重载方向发展,特别是在发展高精度机械设备和高精度仪器仪表中,波纹度的重要性日益显示出来。例如,高转速的滚动轴承,若其滚动体和滚道的波纹度不符合要求,轴承在转动时,不仅产生噪声,而且引起振动,影响轴承的使用性能和寿命。目前在加工高精度机床主轴中的主要问题之一是波纹度,这个问题国内外都没有得到解决。现代科学技术的发展对机械设备和仪器仪表的精度要求越来越高,因此,现在越来越多的国家正在加强对波纹度进行系统的理论研究和标准的制订、修改工作。

我国在古代已掌握了高光洁度的加工方法,例如古代的“铜镜”,它是利用研磨和抛光方法加工出来的光洁度达 $\nabla 13 \sim 14$ 级的铜制品。周朝发明了用动物油作润滑剂,以减少两个粗糙表面的摩擦磨损。新中国成立后,我国先后制订了《机 50-56》、《JB 051-58》和《BJ 178-60》三个光洁度部颁标准。1969年1月1日中华人民共和国科学技术委员会颁布了《GB 1031-68表面光洁度》国家标准。表面波纹度国家标准至今尚未正式颁布。为适应当前我国机械制造业

迅速发展的需要，原第一机械工业部1981年发布了《JB/Z 168-81磨削表面波纹理度》指导性技术文件。

近年来，国内外出现了不少新的金属和非金属材料，在金属切削加工中也采用了许多新的加工方法、工具和工艺。在研究这些新材料、新方法、新工具和新工艺的同时，更加深入地研究光洁度和波纹理度，并不断用研究的新成果充实、完善光洁度和波纹理度标准，促进了机械制造业的发展。

当前，一些国家为了保持自己的机械产品质量处于领先地位，所以对光洁度和波纹理度的试验研究十分重视。他们一是对现行的金属切削加工工艺进行深入地研究和不断地改进，并不断探索新的加工工艺，以稳定和经济地获得所需的加工光洁度和波纹理度；同时，他们还研究获得高级光洁度和波纹理度的加工工艺，以及在金属切削中影响加工光洁度和波纹理度的各种因素。另一方面，他们进一步研究光洁度和波纹理度的评定标准，统一光洁度、波纹理度的量值，制订先进的测量方法以及设计和制造先进的测量仪器。

现在，测量光洁度和波纹理度的仪器已发展到很高的水平，例如英国生产的泰勒雪夫-5型轮廓仪配上专用电子计算机，可处理光洁度和波纹理度的12种函数。有的国家运用概率论、相关函数和电子计算机等来分析研究生产过程中的光洁度和波纹理度。但是，自动控制金属切削加工过程的光洁度和波纹理度，至今还未在大生产中应用。

为适应我国机械制造业发展的需要，近年来，国内对光洁度和波纹理度也进行了系统而深入的研究和试验工作，并取得了不少成果。例如，我国已能制造出加工光洁度达 $\nabla 14$ 级的高精度和高光洁度磨床和车床；不少单位掌握了高光洁度的加工方法；在生产中逐步使用金刚石刀具和磨具；使用

滚压等超精加工方法；研究出用激光测量光洁度的仪器等。当前，为提出新的光洁度标准和制订波纹度国家标准，许多单位都在深入对光洁度和波纹度进行试验研究。

第二章 金属切削的光洁度和波纹度

表面光洁度是机械零件表面上所具有的较小间距的微小波峰和波谷的微观不平度。如果这种微小波峰越矮，波谷越浅，则机械零件的表面越光滑平整，表面光洁度越高；如果这种微小波峰越高，波谷越深，则机械零件的表面越粗糙不平，表面光洁度越低。表面光洁度实质上是机械零件表面上粗糙不平的程度，所以国际标准化组织在《ISO/R468-1966》中称之为表面粗糙度 (Surface Roughness)，而我国的《GB 1031-68》国家标准称之为表面光洁度。按国家标准规定，在本书中仍用表面光洁度这一名称，并简称光洁度。在介绍ISO和外国标准时称粗糙度。

在金属切削加工中，工件的已加工表面上的光洁度，主要是切削工具的切削刃留下的切削痕迹形成的。切削加工方法不同，得到的光洁度也不同，即使用同一加工方法，由于加工条件的差异，所得到的光洁度也不完全一样。在切削加

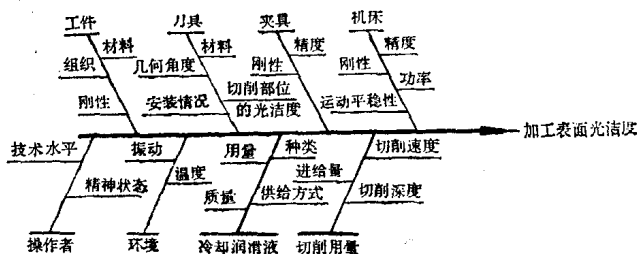


图2-1 影响切削加工光洁度的主要因素

工中，工艺系统、切削工具、切削用量、冷却润滑等，都影响到加工光洁度。图2-1列出了影响切削加工光洁度的一些主要因素。

加工光洁度是切削加工过程中多种因素共同作用的结果。这些因素的作用过程是很复杂的，而且是不断变化的。所以，在同样的切削条件下，切削加工出来的同一批零件，甚至同一个零件的同一表面上的不同部位，其光洁度也不完全相同。我们研究光洁度，首先要研究各种金属切削加工方法中影响光洁度的因素和规律，以便在加工中把光洁度控制在规定的范围内，使之满足设计上的要求。

本章分别讨论车削、铣削、磨削等几种主要金属切削方法的加工光洁度，并以车削为例讨论波纹度的形成规律。

第一节 车削加工的光洁度

车削外圆时，特别是当车刀的刀尖很尖，纵进给量较大，车削出来的工件表面不是光滑的圆柱面，而是象细牙螺纹那样波峰和波谷相间的粗糙表面。这种峰谷相间的痕迹，用肉眼就能观察到。用其他形状的车刀车削，在已加工表面上也会有这种波峰和波谷。由于这种波峰和波谷的存在，使工件表面粗糙不平。这种粗糙不平的程度，即是车削加工的光洁度。图2-2是车削外圆及车削后的表面状态示意图。

如果用一个垂直于切削痕迹的平面AA去截工件，截面图A—A上的凸凹不平的部分称为残留面积。残留面积上凸起的最高处到凹下的最低处之间的距离，称为表面微观不平度的最大高度，用 R_{max} 表示。 R_{max} 值的求法如图2-3所示。

图2-3(a)是尖车刀车削后残留面积的形状，可以证明，

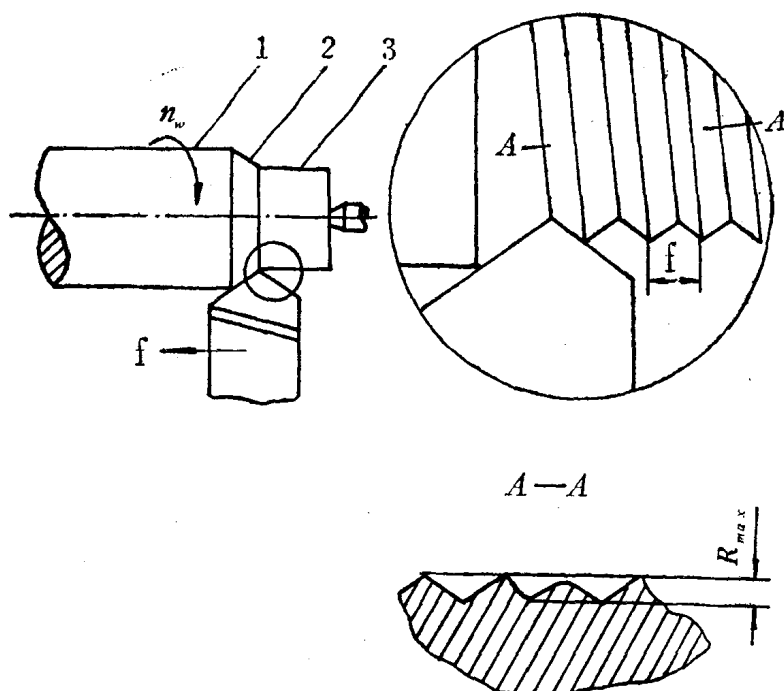


图2-2 车削外圆及车削后的表面状态

1——待加工表面； 2——加工表面； 3——已加工表面；

其微观不平度的最大高度 R_{max} 为

$$R_{max} = \frac{f}{\text{ctg} k' + \text{ctg} k_r} \quad (2-1)$$

式中 f ——进给量（毫米/转）；

K_r ——车刀主偏角（度）；

K' ——车刀副偏角（度）。

图2-3(b)是用既不圆，又不尖的车刀车削后残留面积的形状，其 R_{max} 为（ $K_r \neq 90^\circ$ ）

$$R_{max} = \frac{f - r_e \left(\operatorname{tg} \frac{K_r}{2} + \operatorname{tg} \frac{K_r}{2} \right)}{\operatorname{ctg} K_r' + \operatorname{ctg} K_r} \quad (2-2)$$

式中 r_e ——车刀刀尖圆弧半径 (毫米)。

图2-3(c)是用圆弧车刀车削后残留面积的形状, 其 R_{max} 为

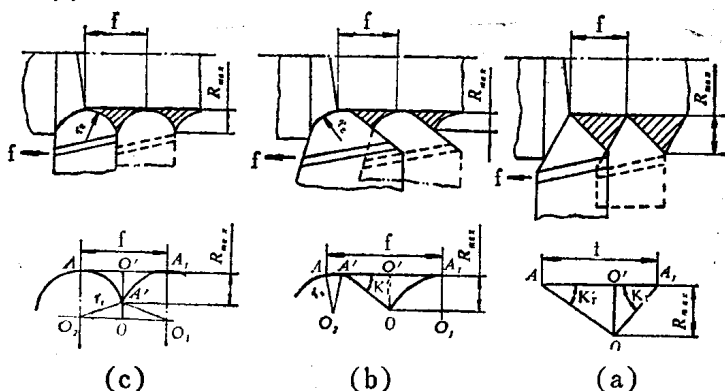


图2-3 R_{max} 值的计算示意图

$$R_{max} = \frac{f_2}{8r_e} \quad (2-3)$$

式(2-1)至式(2-3)是直角切削中利用不同形状车刀车削后的微观不平度最大高度值的计算公式, 当用圆弧车刀进行斜角切削时 (见图2-6), 其 R_{max} 为

$$R_{max} = \frac{f^2}{4d_m \operatorname{tg}^2 \phi} \quad (2-4)$$

式中 d_m ——工件直径 (毫米)；

ϕ ——车刀前刀面斜角 (度)。

上述公式描述了在车削加工中, 利用各种形状车刀车削时形成光洁度的规律, 同时说明, 车削加工的光洁度与进给量及车刀的几何形状有关。在斜角切削中, 车削加工的光洁