

第 18 章

表 面 技 术

18.1 表面技术总论

设计高应力零件需要考虑在制造过程中所产生的表面状态。这种考虑必须包括仔细审查每道工序对加工表面的改变。表面技术是一种详细说明和评价所造零件的表面状态和表层状态的工作。过去对加工表面强调的是表面特征（粗造度、波纹度和纹理），现在已发展到包括对次表面效应，即表面完整性的评价，因而也包括对零件最外层表面和表层的评价，这些表层已与基体材料的材质有所差别。

18.1.1 动向及有关问题

近年来，由于对产品的安全性、可靠性和使用寿命的要求日益提高，人们非常注意各种制造方法所产生的不同表面状态对零件投入使用后的性能的重要影响。由于新的特殊使用要求以及节能和节材的要求，导致人们采用薄壁截面的新材料（更难加工的材料），而在设计时要求更接近于发挥这些材料的全部潜力。在零件图上要求外形、尺寸、公差和材料特性的同时，完整的零件定义，必须加上表面质量的规范。上述所有设计因素是互相紧密联系的，而且直接影响零件的成本和生产率。

生产人员在认识到上述设计趋势和特点后，还必须关心这类截面较薄的零件所能达到的精度，因为这种零件经常由于加工应力而产生变形。这类较薄而轻的零件所采用的某些新的高性能合金很可能对热梯度或加工中产生的热更为敏感。对质量保证和产品可靠性的重视，要求人们认识制造过程对材料性能有重要的影响。此外，零件的加工还受到经济效果和环境影响的制约。

18.1.2 表面特征和表面完整性的关系

人们已经习惯于把表面特征（粗糙度、波纹度和纹理）作为衡量表面质量的标准。而且普遍地假设表面粗糙度与疲劳强度和其它特性之间存在着直接的关系。现在已搜集的大量数据足以说明表面特征仅是设计依据的一部分。表面之下的金相变化和其它变化对材料性能也有重要影响。在工作要受很大应力或环境条件恶劣时，这一点尤为重要。

由于材料性能的变化大部分出现在表面之下第一个 0.38mm 范围内，这个范围对于所要设计的薄壁零件的全部厚度是重要的一部分，许多零件的损坏都是从几何表面之下最初的几十微米范围内开始

的。这些事实说明，从事设计、制造和质量检查的人员要关心和理解表面技术的两个方面，即表面特征和表面完整性，以便生产出安全、可靠和寿命长的零件。

各种材料切除过程所制造的表面对零件特征的影响已有大量的研究。图 18.1-1 表示迄今所研究过的表面技术的作用。在切削过程中，加工能量与工件材料特性相结合，便产生了各种不同的表面效应。如图 18.1-2 所示，在切削过程中所产生的表面效应会影响工件的材料性能，并进而影响零件的可靠性。研究表明，每一种材料切除工艺对每一种工件材料都有它自己的影响。同时说明，对于每一种切削加工来说，加工强度或能量大小对工件材料的某种金相状态也会有明显影响。

18.1.3 经济情况

零件的生产成本是随着表面规范的提高而提高的。如果为了满足零件的功能而对表面特征或表面完整性规定很高的要求，当然是合理的。但有许多零件，却只要粗加工即可获得所需的形状和公差。精加工能够提高质量，但也会提高加工费用。为了提高零件的可靠性而强调考虑表面完整性，也会提高加工费用。为了减少不必要的费用，要有选择地仅对零件上需要讲求表面特征和完整性的局部表面提出相应的规定，而不是把这些规定强加到所有零件表面上，这一点是很重要的。表面特征与加工费用之间的关系将在第 21 章中进一步讨论。

表面完整性原理和指导原则的应用，可使生产合格零件的数目增加，而减少制造过程中的损失。对表面完整性的评价，应考虑到零件的全部加工过程，并且强调最后加工出来的表面达到高质量。不关心表面完整性的代价是零件过早损坏或失去可靠性。

18.1.4 质量保证

表面完整性与外形尺寸、公差等直观的质量标志是同样重要的。表面质量随着生产时间或生产零件数量的增加而降低，这种情况往往是刀具和调整情况变坏的一种迹象。根据实践经验，已发现操作条件只有在 10% 的活动范围内，才能进行正常生产，而不会损害表面质量。这一尺度表明，如果表

面粗糙度提高 10% (以 R_a 或均方根值计) 或者把某一加工参数的既定值重新调整或“调节” $\pm 10\%$, 则加工过程的控制状态就会立刻发生问题。如果有

两个以上的参数被“调节”了 10% 以上, 则加工过程就会失去控制, 应该停机, 直到校正措施生效为止。

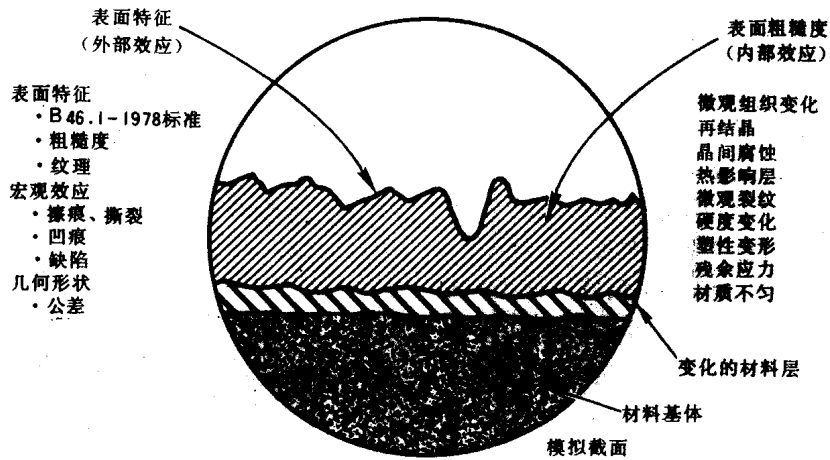


图 18.1-1 表面加工的效应

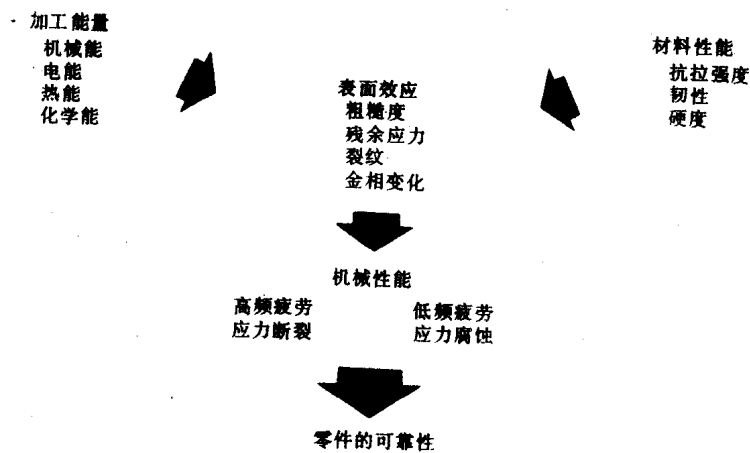


图 18.1-2 各种加工与材料的相互影响

18.2 表面特征

18.2.1 序言

切削加工出来的表面一般是不规则的和复杂的。但是只要采用普通的工艺和质量管埋,大多数加工后的零件的一般表面特征能很好地完成其功能。对宏观缺陷进行尺寸检查和肉眼直观检查就足够了。当表面粗糙度要求大于 $Ra16\mu m$ 时,一般都用肉眼检查,而不用测量的方法。用肉眼检查往往要用一组粗糙度样件。如果不从实际用途出发而去追求更高的技术要求,都会引起不必要的浪费。

高度复杂的、高应力的或者用于特殊环境下的零件,往往有更具体的表面质量要求。对这些零件的公差要求可能同所能达到的粗糙度有紧密联系。试验证明,有些零件的性能与表面特征有直接联系。因而,对这些零件就需要有测量表面特征的质量控制。下列零件是为了提高疲劳强度、抗腐蚀性能、清洁度、外观质量、可涂层性能、密封性能或产品性能而需要提高表面特征规范例子:

- 1) 耐磨轴承和机翼;
- 2) 在腐蚀性环境中运转的制品;
- 3) 食品配制装置;
- 4) 望远镜的镜片、塞规和轧辊;
- 5) 轴颈轴承;
- 6) 涂漆表面和镀层表面;
- 7) 密封表面或依靠摩擦夹紧的部件。

如第 18.3 节所述,受应力严重的零件、对产品的寿命或安全有要求的零件,或这类零件上的特定表面都应该有额外的技术要求,包括第 18.3 节中所说的表面完整性。

18.2.2 表面特征的定义

所谓表面特征,就是偏离于名义表面的重复误差或随机误差,这些误差构成三维的表面形貌。可以采用各种机械装置、电子装置和光学装置,对工件表面轮廓的这些误差进行测量检查。图 18.2-1 表示一个表面轮廓的测定值与各义值之间的比较。

美国国家标准 ANSI B46.1-1978 对表面特征测量装置作了解释和规定,并提出了合理的表面特征测量装置^①(国际标准为 ISO R468,参看文中对照)。根据该标准,表面特征包括四个要素:粗糙度、波纹度、纹理和缺陷(如裂纹等)。图

18.2-2 表示这些特征与单向纹理表面的关系。

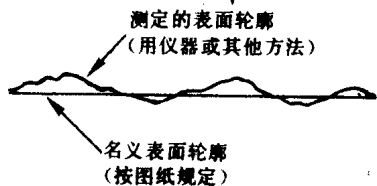


图 18.2-1 表面特征的外形 (按 ANSI B46.1-1978)

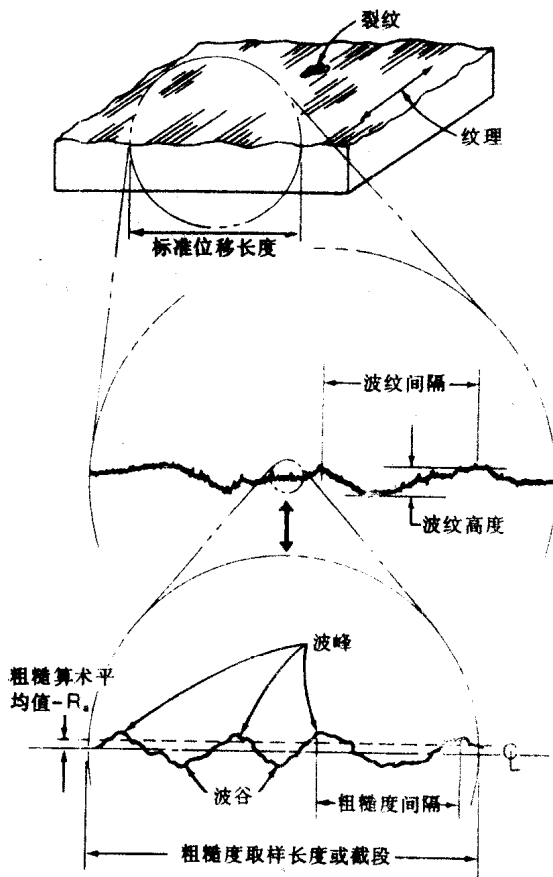


图 18.2-2 单向纹路的表面特性示意图
(根据 ANSI B46.1-1978)

表面特征四个要素的定义如下:

- 1) 粗糙度: 由生产过程本身的作用所引起的

① ANSI B46.1-1978“表面特征”(包括 ANSI Y14.36-1978,“表面特征符号”),凡是与规定或测量表面特征有关的人员都应利用和看懂。复制本可向美国机械工程师协会、美国工程中心索取。(American Society of Mechanical Engineers, United Engineering Center), 345 East 47 Street, New York, ny10017.

表面特征 18.2

细微不平度所组成。这些不平度包括取样长度范围内的横向进给痕迹和其他不平度。

2) 波纹度：包括间隔大于粗糙度取样长度而小于波纹度取样长度的所有不平度。波纹度可能是由机床或工件的变形、颤振、振动、热处理或刀具的径向振摆所引起的。粗糙度可以看成是叠加在“波纹”表面上的。

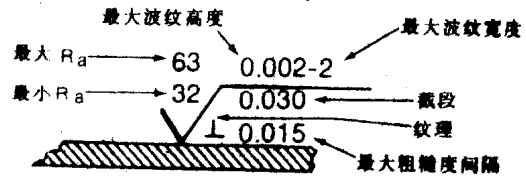
3) 纹理：明显的表面花纹的方向，一般取决于所采用的生产方法。

4) 缺陷：无心造成的不规整，是在表面上的某一部分或在偶然的或变化很大的间距内出现的。缺陷包括裂缝、砂眼、夹杂、裂纹、起皱和擦伤等。除非特别规定，在粗糙度平均值测量中将不包括缺陷。在需要限制或控制缺陷的地方，应该在图纸或技术要求中对检查方法有专门的标准。

表面光洁度是一种广泛用来表示一般表面质量的常用术语。表面光洁度既不明确地约束表面特征，也不约束具体的粗糙度值；然而，“高光洁度”却意味着低的粗糙度值或相反。表面光洁度这个名词没有严格的定义，也没有必要用数字来表示。

18.2.3 表面特征的符号

描述和规定表面特征是采用 ANSI 标准 Y14.36-1978 (与 ISO1302 基本上一致) 的符号标志。如图 18.2-3 所示，标示表面粗糙度的符号是一个带水平延长线的“核对”号。粗糙度是最常用的表面参数，其表示方法是把以微米 ($1\mu\text{m}=0.000001\text{m}$) 计的高度值放在“核对”号的左边。如果有最大值和最小值之分，可把两个数字上、下并列。粗糙度被认为是该表面相对于中位线或中心线 (见图 18.2-2 和图 18.2-4) 的算术平均偏差 (AA)，用 μm 表示。Ra 是国际上通用的粗糙度符号。表面粗糙度有时仍用 AA 或 CLA，或 cla 来表示。现在仍在使用的许多仪器是采用所谓均方根 (rms) 来表示，这是对于粗糙度中心线的平均偏差，它也用 μm 表示 (Rq)。均方根 (rms) 虽然还经常使用，但实际上从 1950 年以来就已经废止了。以均方根刻度的粗糙度测量仪同以 Ra 刻度的粗糙度测量仪相比，在给定的表面上的读数值大约高 25% (参看图 18.2-1)。这一差别通常比任何一个加工表面上两点之间的差别小得多。



- ✓ 表面可用任何方法产生
- ✓ 需要切削加工：必须备有这种用途的材料
- 0.001 ✓ 以mm计的材料切除量
- ✓ 材料禁止切除

图 18.2-3 用于图纸或技术规范的表面特征符号

(根据 ANSI Y14.36-1978)

粗糙度宽度 (或取样) 截段，就是测量平均粗糙度高度 (图 18.2-2) 时两个重复表面不平度之间的最大间隔。它用 mm 表示，放在“核对”号的水平延长线之下。波纹度高度就是波峰到波谷之间的距离，它用 mm 或 μm 表示。波纹度间隔或宽度也用 mm 或 μm 表示，它们是相邻排列的波峰或波谷之间的间隔 (图 18.2-2)。波纹度的高度值和宽度值位于“核对”号的水平延长线之上。表示纹理的符号位于“核对”号的延长线之下。该符号表示纹理相对于名义表面的方向。图 18.2-5 列举了表示纹理的各种符号。不定向的凹陷或突起的纹理符号，即 P，用来表示某些特种加工所产生的表面。表面特征的符号还可以表示希望的材料切除量——从零到任意值，如图 18.2-3 所示。

表 18.2-1 粗糙度的均方根同算术平均值之间的比例

粗糙度的均方根值:	Rq
粗糙度的算术平均值:	Ra
正弦波之间的理论比 Rq/Ra :	1.11
各种加工过程的实际比 Rq/Ra :	
车削	1.17~1.26
铣削	1.16~1.40
平面磨削	1.22~1.27
切入磨削	1.26~1.28
软珩磨	1.29~1.48
硬珩磨	1.50~2.10
电火花加工	1.24~1.27
喷丸硬化	1.24~1.28
Rq/Ra 的第一近似值:	
大多数加工过程	1.25
珩磨	1.45

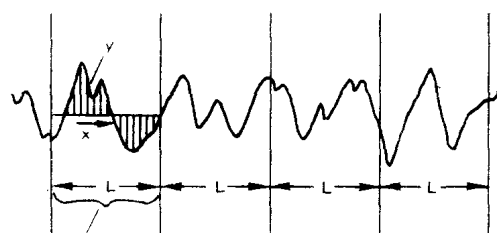
资料来源: J.Peters; P.Vanherck; M.Sastrodinoto. Assessment of surface typology analysis techniques. Annals of the CIRP 28 / 12.1979

18.2 表面特征

R_a R_q

R_a 是公认的粗糙度参数，它是表面轮廓对于中位线的偏离量 y 的算术平均值。它一般被认为是连续几个 L 长度取样的平均结果

R_q 是对应的均方根值

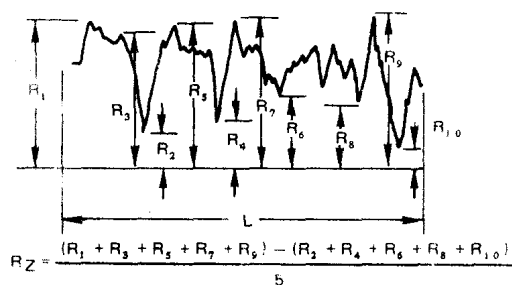


$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y| dx$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2(x) dx}$$

R_z

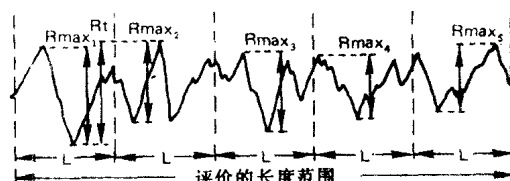
10 点的高度是取样长度范围内五个最高波峰和五个最低波谷之间垂直测量的平均距离



$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{5}$$

R_t R_{max} R_{tm}

R_t 是在评价的长度范围内波峰到波谷之间的最大高度。 R_{max} 是取样长度 L 范围内波峰到波谷之间的最大高度。然而，由于该值会受表面上的假伤痕和尘埃颗粒的很大影响，所以，往往要采用连续五个取样长度的平均值 (R_{tm})

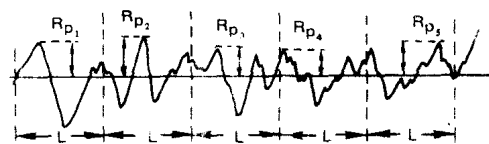


$$R_{tm} = \frac{R_{max_1} + R_{max_2} + R_{max_3} + R_{max_4} + R_{max_5}}{5}$$

$$R_{tm} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 R_{max_i}$$

R_p R_{pm}

R_p 是取样长度范围内中位线以上轮廓的最大高度。 R_{pm} 是根据 5 个以上取样长度所确定的 R_p 的平均值



$$R_{pm} = \frac{R_{p_1} + R_{p_2} + R_{p_3} + R_{p_4} + R_{p_5}}{5} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 R_{p_i}$$

P_c

波峰数是每 25mm 长度范围内超出带宽 b 的峰 / 谷的数量。带宽以中位线为中心划线

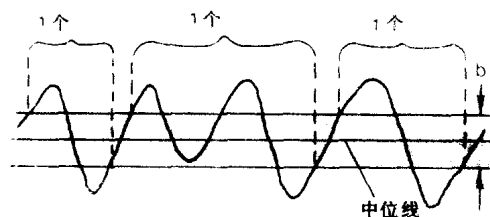


图 18.2-4 一些常用的表面特征符号及其定义

(根据 ANSI B46.1-1978)

纹理符号	含 义	表示刀痕方向的示例	示例的实物照片
—	表示纹理大致平行于符号中代表该表面的线段。		
⊥	表示纹理基本垂直于代表该表面的线段。		
X	表示纹理在二个方向上同代表该表面的线段成角度		
M	表示纹理是多方向的。		
C	表示纹理基本围绕该表面的中心呈圆状。		
R	表示纹理相对于该表面的中心呈放射状。		
P	表示纹理呈颗粒状, 不定向或突起。		

图 18.2-5 表示表面特征的纹理符号(根据 ANSI Y14.36-1978)

18.2 表面特征

18.2.4 表面特征的测量

最流行的表面特征测量技术是用机械-电子装置，其读数所显示的表面轮廓的粗糙度是一个小半径测头在表面上直线移动一小段获得的。最常用的金刚石测头的半径为 $10\mu\text{m}$ ，一般在截段宽度为 0.8mm 时采用。测头的总移动量通常为截段宽度的 $20\sim 60$ 倍，测量时由电子电路不断地给截段宽度上的读数进行平均化。这些测量仪可依靠不同的设计显示出平均粗糙度 R_a 、波峰数或其它粗糙度指标。

应该记住，电子式表面测量装置往往只显示粗糙度，而不能显示表面的物理特性。图 18.2-6 表示几个表面的外形实际上是不同的，但仍得出了类似的粗糙度值。如图 18.2-7 所示，微观形貌是一种更精确的描述表面粗糙度的方法。这些微观形貌是由测头产生的一些相隔很小的连续轨迹线绘制而成的。有时，采用电子扫描显微镜可以更详细地进行检测。图 18.2-8 表示采用电子扫描显微镜所获得的

一系列不同放大倍数的观察结果（放大倍数为 $20\times$ 、 $200\times$ 、 $1000\times$ 、 $2000\times$ 和 $5000\times$ ）。这些放大倍数容易与采用 $10\times$ 的手持式放大器所获得的观察结果相对比。

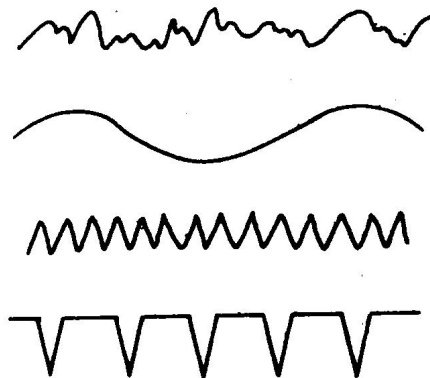


图 18.2-6 表面特性差异很大，而粗糙度基本相同的表面的横截面示意图

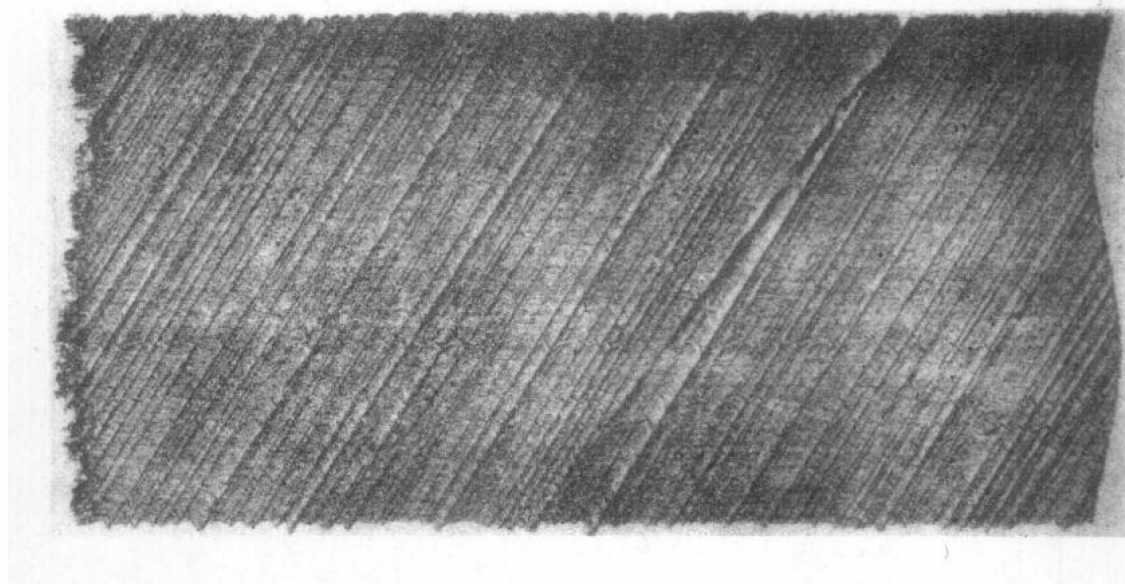


图18.2-7 不锈钢磨削后表面的微观形貌，X-Y平面为放大 $200\times 8/10X$ ，Z方向为放大 $2000\times 8/10X$ 。（由Gould Inc.提供）

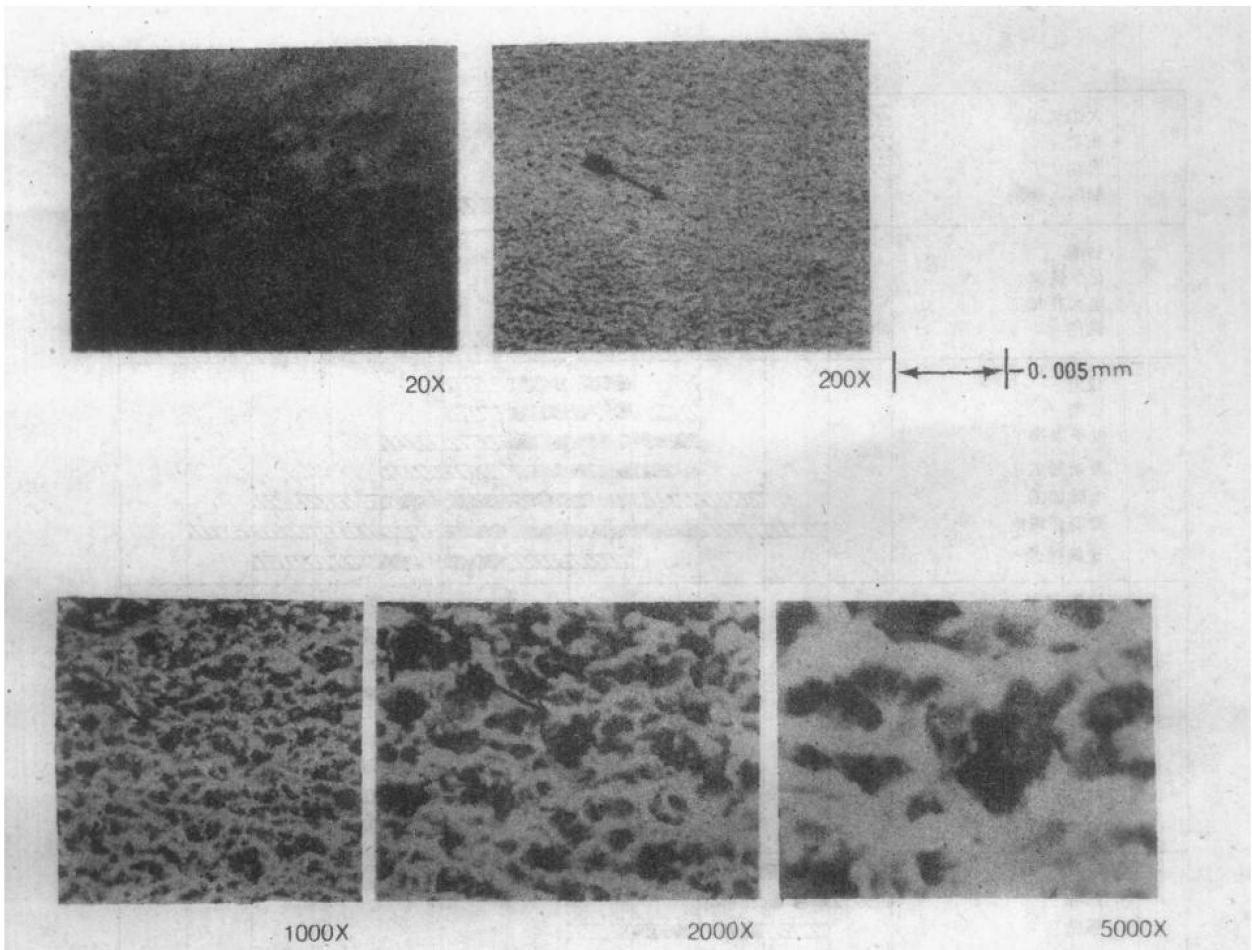


图18.2-8 电解加工17-4PH不锈钢的典型表面,用电子扫描显微镜倾斜 55° 的观察结果。计算平均粗糙度(R_a)为 $0.74\mu\text{m}$ 。波峰到波谷的最大高度(R_t)为 $3.86\mu\text{m}$

18.2.5 切削加工产生的表面特征

材料切削加工所产生的表面特征在很大程度上是这一特定切削加工工艺的特性。图 18.2-9 表示不同的切削加工所获得的一般粗糙度范围。该图还表明,在特殊控制的条件下,有可能超过一般的范围。

表面特征值的选择因素,不仅仅与采用的某种切削加工工艺有关。一种加工工序产生表面粗糙度

的能力是由许多因素决定的。例如在车削工序中,表面粗糙度同刀尖半径和每转的进给量有关。平面磨削时,最后的表面取决于砂轮的种类、砂轮修整方法、砂轮速度、工作台速度、横向进给量、纵向进给量以及磨削液。在电火花加工时,粗糙度水平与火花所释放的电能量大小有直接关系。一种工序中的任何一个加工参数发生变化,都可能会对最终形成的表面有重大影响。

18.2 表面特征

平均粗糙度 $R_a, \mu\text{m}$

工 序	[50]	[25]	[12.5]	[6.3]	[3.2]	[1.6]	[0.80]	[0.40]	[0.20]	[0.10]	[0.05]	[0.025]	[0.012]
火焰切割 粗磨 锯切 刨削、插削	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用
钻削 化学铣削 电火花加工 铣削			常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用
拉削 绞削 电子束加工 激光加工 电解加工 镗削、车削 滚筒抛光			常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用
电解磨削 滚柱挤光 磨削 珩磨				常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用
电抛光 抛光 研磨 超精加工						常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用
砂型铸造 热轧 锻造 金属模铸造	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用
失蜡铸造 挤压 冷轧、冷拔 压铸			常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用	常用

表中所示范围是各工序的一般范围。
特殊条件下，可能会获得更大或更小的值

■ 常用
▨ 不常用

图 18.2-9 常用生产方法所形成的表面粗糙度
(引自 ANSI B46.1-1978)

表面特征 18.2

18.2.6 加工成本和表面特征

加工一个表面的生产费用是随着表面粗糙度值的降低而提高的。一定的切削加工工序，如粗车和粗铣，对于制造一个符合尺寸要求的零件来说是必需的。精修表面的补充工序，只有在不这样做，表面就不能完成其功能时才需要。采用普通的粗加工工序和半精加工工序时，在费用合理的条件下，可获得 $1.6\mu\text{m}$ 以上的表面粗糙度。表面特征同加工费用之间的关系将在第 21 章中作进一步讨论。

18.2.7 尺寸公差与表面特性的关系

由于粗糙度的测量值包含着实际表面与尺寸规定的名义表面的平均线性偏差，所以，零件的尺寸公差同允许的表面粗糙度之间有直接关系。如果表面粗糙度所包的偏差超过了尺寸公差所规定的偏差，则该尺寸将会发生公差范围以外的误差，如图 18.2-10 所示。在大多数表面上，总的构形高度大约为测定粗糙度(算术平均粗糙度)的四倍。当按一个零件的直径进行测量时，该值应该加倍。由此可见，如果要保持有效的尺寸控制，则直径上测出的粗糙度值就不应该超过 $1/8$ 的直径尺寸公差。

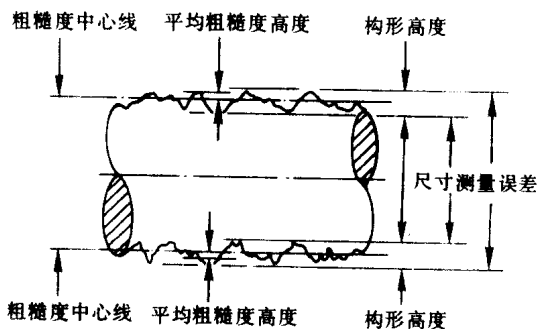


图 18.2-10 尺寸测量公差同圆柱体表面的表面粗糙度的关系(引自 ANSI B46.1-1978)

每一种应用都应按其本身的价值来评价。当切削加工的高精度要求不仅是为了满足表面特征要求，而且还有其它原因的情况下，如果慎重使用表 18.2-2，可以作为所需的表面粗糙度值的规范。必须进一步认识到，日常的精度检验方法还受到零件大小、被切削表面的外形尺寸以及所采用的材料切除工艺的影响。图 18.2-11 表明可达到的尺寸公差随零件尺寸大小而变化的关系。

表 18.2-2 切削加工要求高精度时所需的表面粗糙度值规范

尺寸公差 mm	表面粗糙度 μm
>0.005	>0.2
$0.05 \sim 0.012$	$0.2 \sim 0.4$
$0.012 \sim 0.025$	$0.4 \sim 0.8$
$0.025 \sim 0.05$	$0.8 \sim 1.6$
$0.05 \sim 0.25$	$1.6 \sim 6.3$

18.2.8 表面特征和质量保证

材料切除过程所形成的表面的质量保证应包括对表面粗糙度和其他一切表面特征因素的测量。这并非说可以忽略刮伤、刀痕、锐角和其他几何因素的作用。所有这些因素都会造成应力集中，从而导致过早的疲劳破损，这是早有定论的。表面粗糙度以往一直是判别表面质量的主要依据和达到满意的疲劳强度的指针。最新的资料表明，对于某些合金来说，表面粗糙度不是高频疲劳强度的关键评价指标。第 18.3 节将更详细地讨论这一问题。

18.2 表面特征

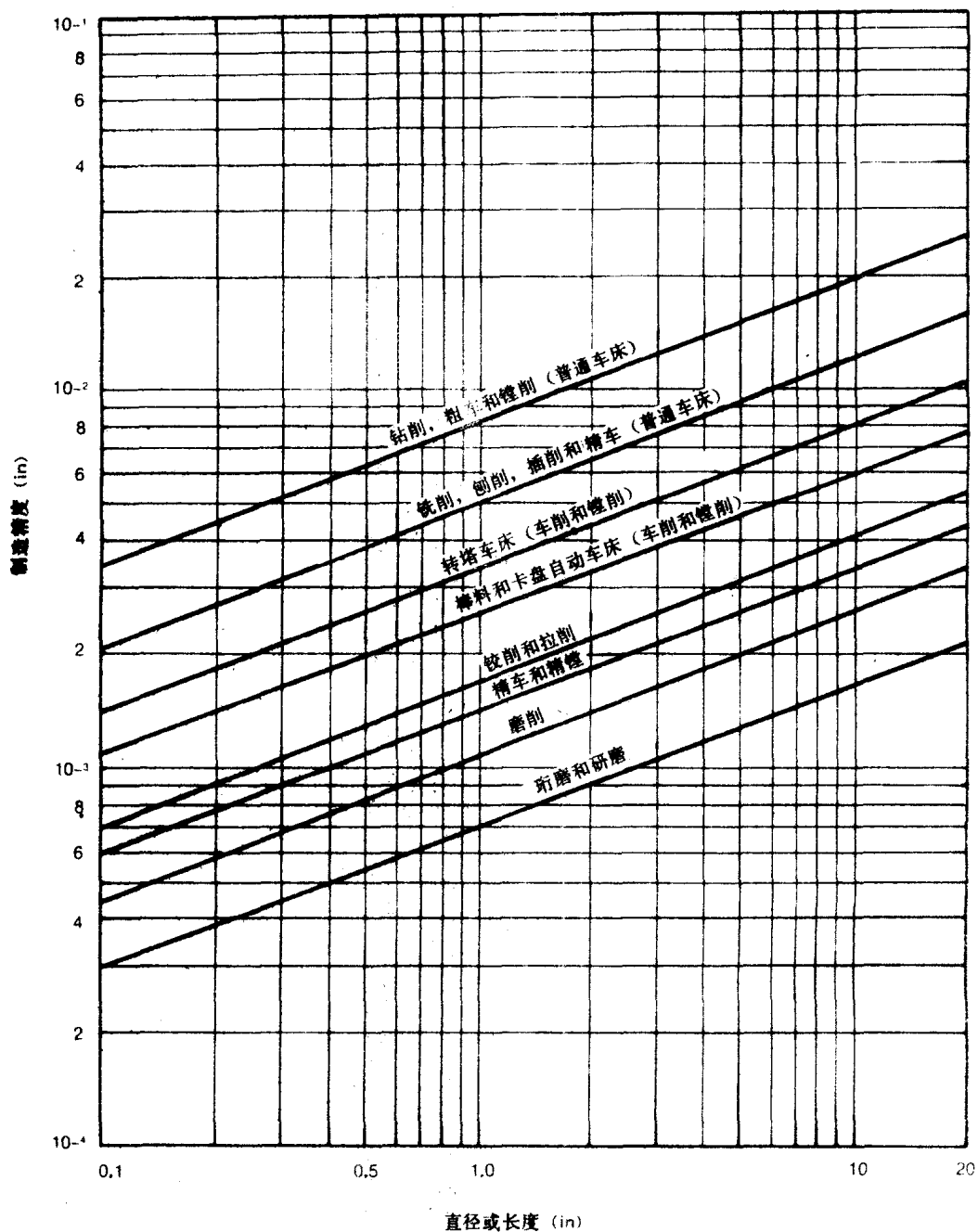


图18.2-11 零件尺寸对制造精度的一般影响(摘自Manufacturing Planning and estimating handbook, New York:McGraw-Hill, 1963, P.20-23)

18.2.9 粗糙度的推荐值

由于一切因素都能影响表面粗糙度值；由于把特定的粗糙度值同特定表面所完成的功能联系起来的数据不足；由于大多数测量技术所采用的微小取样有变化，所以过分强调要达到一个具体的粗糙度值是不切实际的。为了减少图纸上所谓的差异，美国国家标准研究所在 ANSI Y14.36-1978 标准中提倡采用平均粗糙度 (R_a)、粗糙度截段长度和最大波纹高度的推荐值。这些数值见表 18.2-3。

表 18.2-3 算术平均粗糙度 (R_a)、
截段长度和最大波纹高度推荐值

算术平均粗糙度 μm	标准粗糙度取样 长度 (截段) ^② mm	最大波纹高度 mm
0.012	0.08	0.0005
0.025 ^①	0.025	0.0008
0.050 ^③	0.80	0.0012
0.075	2.50	0.0020
0.100 ^④	8.0	0.0025
0.125 ^⑤	25.0	0.0050
0.15		0.008
0.20 ^⑥		0.012
0.25		0.020
0.32		0.025
0.40 ^⑦		0.05
0.50		0.08
0.63		0.12
0.80 ^⑧		0.20
1.00		0.25
1.25		0.38
1.60 ^⑨		0.50
2.00		0.80
2.50		
3.20 ^⑩		
4.00		
5.00		
6.30 ^⑪		
8.00		
10.00		
12.50		
15		
20		
25 ^⑫		

资料来源: ANSI Y14.36-1978。

① 推荐值。

② 当无数值规定时，采用 0.8mm。

18.2.10 铣刀和车刀所产生的理论粗糙度

铣刀在铣削工序中和车刀在车削工序中所产生的理论表面粗糙度是可以计算出来的。由于理论表面粗糙度是锋利的刀具所能产生的最小粗糙度，所以理论表面粗糙度是重要的。由于切削瘤的出现，实际表面粗糙度往往会低于理论表面粗糙度。

在平面铣削时，刀齿可根据下列常用结构^①之一分类：

A 类：刀尖半径为零；

B 类：刀尖为圆弧形；

C 类：有刀尖半径、副偏角和导角。

这些结构如图 18.2-12 所示。针对这些结构确定^②算术平均粗糙度 R_a 和波峰到波谷的粗糙度高度 R_t 的公式已经推导出来。

A 类刀齿在铣削平面时所产生的理论表面粗糙度是导角 (SCEA)、副偏角 (ECEA) 和每齿进给量的函数。表 18.2-4 到 18.2-8 所列是适用于这种齿形的 R_a 和 R_t 的计算值。

圆形的 B 类齿铣削时所产生的理论粗糙度是刀齿半径和每齿进给量的函数。表 18.2-9 所列为适用于这种齿形的 R_a 和 R_t 的计算值。

C 类齿所产生的理论粗糙度值是刀尖半径、副偏角和每齿进给量的函数。针对该类齿形所计算出来的 R_a 值和 R_t 值如表 18.2-10 到表 18.2-19 所列。

在车削工序中，车刀是以 B 类或 C 类结构为特征的 (见图 18.2-13)。对平常用的 C 类车刀来说，理论表面粗糙度是由刀尖半径、副偏角和每转进给量来确定的。当采用圆形的 B 类车刀时，理论粗糙度是刀尖半径和每转进给量的函数。由于 B 类和 C 类结构的车刀和铣刀在这两道工序中具有相同的粗糙度值，所以认为这两类结构的刀具求粗糙度有共同之处。而用于 B 类齿铣刀的 R_a 和 R_t 的理论值

① A 类和 B 类刀具与 G.R. Dickinson 在 "A survey of factors affecting surface finish" 一文中所采用的表示方法相同。见《Proceedings, Institution of Mechanical Engineers 182 (Part 3K, 1968): B5-147。

② H.L. Fischer and T. Elrod, "Surface finish as a function of tool geometry and feed-A theoretical approach", 《Microtecnic》 25 (1971.4): 175-178。

18.2 表面特征

览表(表 18.2-9) 同样也适用于 B 类车刀。依此类推, 表 18.2-10 到 18.2-19 中用于 C 类齿铣刀的粗糙度值同样也适用于 C 类车刀。

有一系列图表描述了如下各种刀具结构的算术平均表面粗糙度:

A 类: 刀尖半径为零的端面铣刀; 图 18.2-14;

B 类: 圆形刀具, 图 18.2-15;

C 类: 有刀尖半径加副偏角的刀具; 图 18.2-16, 18.2-17 和图 18.2-18。

如上所述, 实际表面粗糙度一般都低于表 18.2-4 到 18.2-19 所列的、由几何因素所求出的值(一切理论计算所假定的切削条件都是刀具外形如

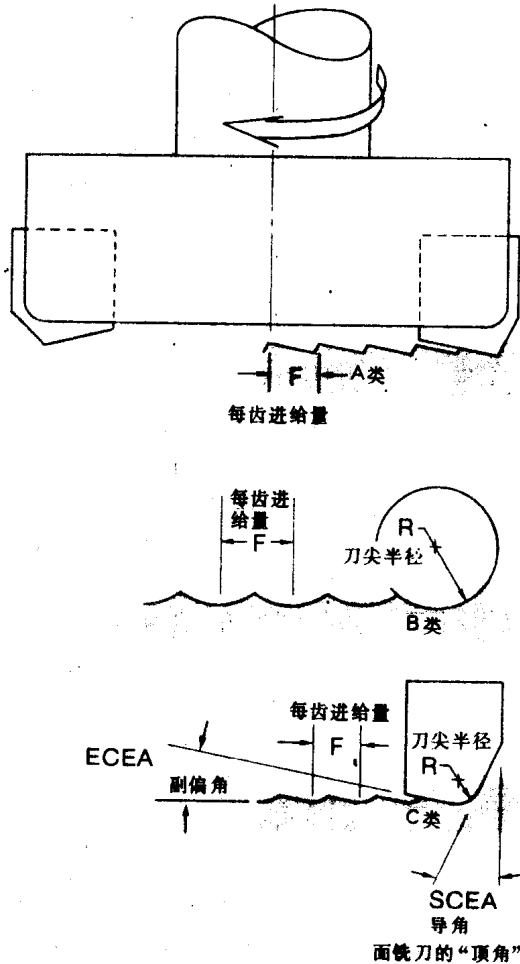


图18.2-12 计算理论表面粗糙度时所采用的各种刀具在平面铣削中所产生的表面

实复印在工件表面上)。在切屑形成过程中, 在切削刃上可能会产生切屑瘤或材料的塑性变形。这种切屑瘤的大部分会被切屑折断而带走。而剩下的一部分切屑瘤则会粘结在精加工后的工件表上, 从而增大表面粗糙度, 如图 18.2-19 所示。切屑瘤的出现会使表面粗糙度增加 1.2 到 2.5 倍。增加的粗糙度, 即切屑瘤的数量, 是切削刀具的材料和工件材料的函数。采用较高的切削速度和活性化学切削液, 可以减少出现在表面上的切屑瘤数量。使表面粗糙度增大的其他因素还有颤振、振动和刀具磨损。

特殊的刀具形状可以产生更小的粗糙度。“刮削刃”(图 18.2-20)就是这样一种刀具形式。其宽阔的凸出面可以减少刀具进给的痕迹。一般说来, 在多齿铣刀中, 只要有一个刮削刃就够了。即使切削速度较高, 也不会降低刮削刃的效果。

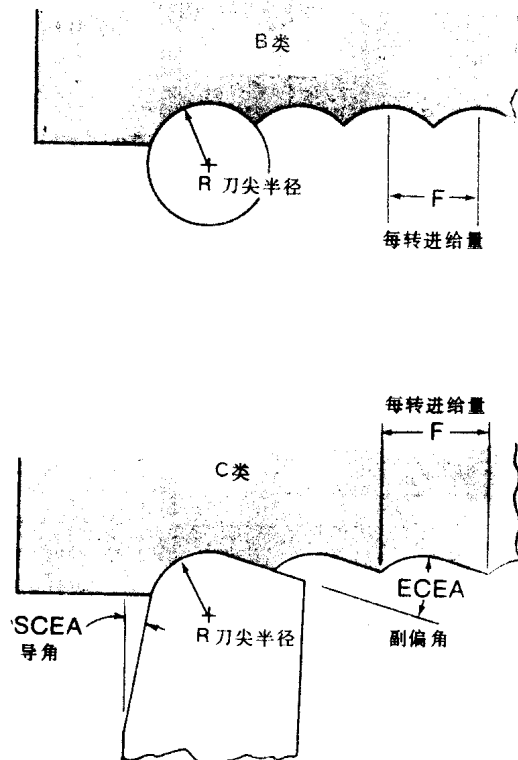


图18.2-13 计算理论表面粗糙度时所采用的各种刀具在车削中所产生的表面

表 18.2-4 A 类铣刀铣削时的算术平均粗糙度(Ra)和波峰到波谷间的最大粗糙度高度(Rt)的理论值

导角(SCEA)=0°														
进给 mm/齿	副偏角 (ECEA)													
	1°		2°		3°		4°		5°		6°		7°	
	Ra	Rt	Ra	Rt	Ra	Rt	Ra	Rt	Ra	Rt	Ra	Rt	Ra	Rt
μm														
0.020	0.09	0.35	0.17	0.70	0.26	1.0	0.35	1.4	0.44	1.7	0.53	2.1	0.61	2.5
0.040	0.17	0.70	0.35	1.4	0.52	2.1	0.70	2.8	0.87	3.5	1.1	4.2	1.2	4.9
0.060	0.26	1.0	0.52	2.1	0.79	3.1	1.0	4.2	1.3	5.2	1.6	6.3	1.8	7.4
0.080	0.35	1.4	0.70	2.8	1.0	4.2	1.4	5.6	1.7	7.0	2.1	8.4	2.5	9.8
0.100	0.44	1.7	0.87	3.5	1.3	5.2	1.7	7.0	2.2	8.7	2.6	11	3.1	12
0.120	0.52	2.1	1.0	4.2	1.6	6.3	2.1	8.4	2.6	10	3.2	13	3.7	15
0.140	0.61	2.4	1.2	4.9	1.8	7.3	2.4	9.8	3.1	12	3.7	15	4.3	17
0.160	0.70	2.8	1.4	5.6	2.1	8.4	2.8	11	3.5	14	4.2	17	4.9	20
0.180	0.79	3.1	1.6	6.3	2.4	9.4	3.1	13	3.9	16	4.7	19	5.5	22
0.200	0.87	3.5	1.7	7.0	2.6	10	3.5	14	4.4	17	5.3	21	6.1	25
0.250	1.1	4.4	2.2	8.7	3.3	13	4.4	17	5.5	22	6.6	26	7.7	31
0.300	1.3	5.2	2.6	10	3.9	16	5.2	21	6.6	26	7.9	32	9.2	37
0.350	1.5	6.1	3.1	12	4.6	18	6.1	24	7.7	31	9.2	37	11	43
0.400	1.7	7.0	3.5	14	5.2	21	7.0	28	8.7	35	11	42	12	49
0.450	2.0	7.9	3.9	16	5.9	24	7.9	31	9.8	39	12	47	14	55
0.500	2.2	8.7	4.4	17	6.6	26	8.7	35	11	44	13	53	15	61
0.600	2.6	10	5.2	21	7.9	31	10	42	13	52	16	63	18	74
0.700	3.1	12	6.1	24	9.2	37	12	49	15	61	18	74	21	86
0.800	3.5	14	7.1	28	10	42	14	56	17	70	21	84	25	98
1.000	4.4	17	8.7	35	13	52	17	70	22	87	26	105	31	123
1.200	5.2	21	10	42	16	63	21	84	26	105	32	126	37	147

18.2 表面特征

表 18.2-5 A 类铣刀铣削时的算术平均粗糙度(R_a)和波峰到波谷间的最大粗糙度高度(R_t)的理论值

导角(SCEA) = 15°																					
进 给		副 偏 角 (ECEA)																8°			
		1°		2°		3°		4°		5°		6°		7°							
		Ra	Rt	Ra	Rt	Ra	Rt	Ra	Rt	Ra	Rt	Ra	Rt	Ra	Rt						
mm / 齿		μm																			
0.020	0.09	0.35	0.17	0.69	0.26	1.0	0.34	1.4	0.43	1.7	0.51	2.0	0.59	2.4	0.68	2.7					
0.040	0.17	0.69	0.35	1.4	0.52	2.1	0.69	2.7	0.85	3.4	1.0	4.1	1.2	4.8	1.4	5.4					
0.060	0.26	1.0	0.52	2.1	0.78	3.1	1.0	4.1	1.3	5.1	1.5	6.1	1.8	7.1	2.0	8.1					
0.080	0.35	1.4	0.69	2.8	1.0	4.1	1.4	5.5	1.7	6.8	2.0	8.2	2.4	9.5	2.7	11					
0.100	0.43	1.7	0.86	3.5	1.3	5.2	1.7	6.9	2.1	8.5	2.6	10	3.0	12	3.4	14					
0.120	0.52	2.1	1.0	4.2	1.6	6.2	2.1	8.2	2.6	10	3.1	12	3.6	14	4.1	16					
0.140	0.61	2.4	1.2	4.8	1.8	7.2	2.4	9.6	3.0	12	3.6	14	4.2	17	4.7	19					
0.160	0.69	2.8	1.4	5.5	2.1	8.3	2.7	11	3.4	14	4.1	16	4.8	19	5.4	22					
0.180	0.78	3.1	1.6	6.2	2.3	9.3	3.1	12	3.8	15	4.6	18	5.3	21	6.1	24					
0.200	0.87	3.5	1.7	6.9	2.6	10	3.4	14	4.3	17	5.1	20	5.9	24	6.8	27					
0.250	1.1	4.3	2.2	8.6	3.2	13	4.3	17	5.3	21	6.4	26	7.4	30	8.5	34					
0.300	1.3	5.2	2.6	10	3.9	16	5.1	21	6.4	26	7.7	31	8.9	36	10	41					
0.350	1.5	6.1	3.0	12	4.5	18	6.0	24	7.5	30	8.9	36	10	42	12	47					
0.400	1.7	6.9	3.5	14	5.2	21	6.9	27	8.5	34	10	41	12	48	14	54					
0.450	2.0	7.8	3.9	16	5.8	23	7.7	31	9.6	38	12	46	13	53	15	61					
0.500	2.2	8.7	4.3	17	6.5	26	8.6	34	11	43	13	51	15	59	17	68					
0.600	2.6	10	5.2	21	7.8	31	10	41	13	51	15	61	18	71	20	81					
0.700	3.0	12	6.1	24	9.0	36	12	48	15	60	18	72	21	83	24	95					
0.800	3.5	14	6.9	28	10	41	14	55	17	68	20	82	24	95	27	108					
1.000	4.3	17	8.6	35	13	52	17	69	21	85	26	102	30	119	34	135					
1.200	5.2	21	10	42	16	62	21	82	26	103	31	123	36	143	41	163					

表 18.2-6 A 类铣刀铣削时的算术平均粗糙度(R_a)和波峰到波谷间的最大粗糙度高度(R_t)的推荐值

进 给		副 偏 角 (ECEA)																导角(SCEA)=30°	
		1°		2°		3°		4°		5°		6°		7°		8°			
		Ra	Rt	Ra	Rt	Ra	Rt	Ra	Rt	Ra	Rt	Ra	Rt	Ra	Rt	Ra	Rt		
		μm																	
mm / 齿	0.020	0.09	0.35	0.17	0.68	0.25	1.0	0.34	1.3	0.42	1.7	0.50	2.0	0.57	2.3	0.65	2.6		
0.040	0.17	0.69	0.34	1.4	0.51	2.0	0.67	2.7	0.83	3.3	0.99	4.0	1.1	4.6	1.3	5.2			
0.060	0.26	1.0	0.51	2.1	0.76	3.1	1.0	4.0	1.2	5.0	1.5	5.9	1.7	6.9	1.9	7.8			
0.080	0.35	1.4	0.68	2.7	1.0	4.1	1.3	5.4	1.7	6.7	2.0	7.9	2.3	9.2	2.6	10			
0.100	0.43	1.7	0.86	3.4	1.3	5.1	1.7	6.7	2.1	8.3	2.5	9.9	2.9	11	3.2	13			
0.120	0.52	2.1	1.0	4.1	1.5	6.1	2.0	8.1	2.5	10	3.0	12	3.4	14	3.9	16			
0.140	0.60	2.4	1.2	4.8	1.8	7.1	2.4	9.4	2.9	12	3.5	14	4.0	16	4.5	18			
0.160	0.69	2.8	1.4	5.5	2.0	8.1	2.7	11	3.3	13	4.0	16	4.6	18	5.2	21			
0.180	0.78	3.1	1.5	6.2	2.3	9.2	3.0	12	3.7	15	4.5	18	5.2	21	5.8	23			
0.200	0.86	3.5	1.7	6.8	2.5	10	3.4	13	4.2	17	5.0	20	5.7	23	6.5	26			
0.250	1.1	4.3	2.1	8.6	3.2	13	4.2	17	5.2	21	6.2	25	7.2	29	8.1	32			
0.300	1.3	5.2	2.6	10	3.8	15	5.0	20	6.2	25	7.4	30	8.6	34	9.7	39			
0.350	1.5	6.0	3.0	12	4.5	18	5.9	24	7.3	29	8.7	35	10	40	11	45			
0.400	1.7	6.9	3.4	14	5.1	20	6.7	27	8.3	33	9.9	40	11	46	13	52			
0.450	1.9	7.8	3.9	15	5.7	23	7.6	30	9.4	37	11	45	13	52	15	58			
0.500	2.2	8.6	4.3	17	6.4	25	8.4	34	10	42	12	50	14	57	16	65			
0.600	2.6	10	5.1	21	7.6	31	10	40	12	50	15	59	17	60	19	78			
0.700	3.0	12	6.0	24	8.9	36	12	47	15	58	17	69	20	80	23	91			
0.800	3.5	14	6.8	27	10	41	13	54	17	67	20	79	23	92	26	104			
1.000	4.3	17	8.6	34	13	51	17	67	21	83	25	99	29	115	32	130			
1.200	5.2	21	10	41	15	61	20	81	25	100	30	119	34	138	39	156			