

工程材料的可切削性

〔英〕 B.米尔斯 A.H.雷德福 著

高元坤 译

韩 伟 校

内 容 简 介

在机械制造业中,大量零件是由切削加工来制造的。

本书介绍了可切削性的概念、切削过程的基本问题及可切削性的评定方法,并提出了改进可切削性的措施。对刀具材料和工件材料,本书也作了简单介绍。最后还以一定篇幅介绍了可切削性数据使用方法,以保证金属切削机床达到“优化”功效。

本书可供机械制造业的工人、技术人员使用,也可供机械制造专业大专院校师生参考。

Machinability of Engineering Materials

B. Mills and A. H. Redford

Applied Science Publishers

1983

*

工程材料的可切削性

〔英〕 B. 米尔斯 A. H. 雷德福 著

高元坤 译

韩伟 校

*

国防工业出版社出版、发行

(北京市车公庄西顺老虎庙七号)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/32 印张5⁵/₈ 121千字

1989年10月第一版 1989年10月第一次印刷 印数: 0,001—2,380册

ISBN 7-118-00366-1/TH·26 定价: 2.90元

目 录

第一章 可切削性的概念	I
1.1 前言	1
1.2 可切削性的定义	1
第二章 切削过程的基本问题	4
2.1 金属切削机理	4
2.1.1 切屑形成	4
2.1.2 切削参数变化对切削力的影响	8
2.1.3 切削参数变化对切削温度的影响	11
2.2 刀具的磨损	13
2.2.1 磨损机理	13
2.2.2 磨损类型	15
2.2.3 刀具磨损与时间的关系	18
2.2.4 刀具磨损与切削条件的关系	20
2.2.5 刀具寿命与温度之间的关系	20
2.2.6 刀具寿命的判据	21
2.3 表面光洁度	21
2.3.1 引言	21
2.3.2 表面光洁度形成的机理	22
2.3.3 影响产品表面光洁度的因素	24
2.4 断屑器	26
2.4.1 断屑器的机理	26
2.4.2 切削条件对切屑形成的影响	28
2.4.3 断屑器对切削力的影响	29
2.4.4 断屑器对刀具磨损的影响	30
2.5 切削液的作用	30
参考文献	31

第三章 可切削性的评定	33
3.1 可切削性试验的类型	33
3.2 快速可切削性试验	35
3.3 非切削试验	37
3.3.1 化学成分试验	37
3.3.2 显微组织试验	38
3.3.3 物理性能试验	40
3.4 切削试验	41
3.4.1 恒压试验	41
3.4.2 快速端面车削试验	42
3.4.3 攻丝试验	42
3.4.4 刀具恶化试验	43
3.4.5 加速磨损试验	43
3.4.6 高速钢刀具磨损速率试验	44
3.4.7 锥体车削试验	45
3.4.8 变速切削试验	46
3.4.9 台阶车削试验	46
3.5 切削参数的组合	48
3.6 用非单刃切削工艺评定可切削性	50
3.6.1 引言	50
3.6.2 钻削中可切削性的评定	50
3.6.3 铣削中可切削性的评定	52
3.7 关联工艺可切削性的评定	52
3.8 刀具磨损的联机评定	53
参考文献	56
第四章 刀具材料	59
4.1 历史背景	59
4.2 刀具材料要求	61
4.3 高速钢	66
4.3.1 引言	66
4.3.2 高速钢的组织	71
4.3.3 高速钢的热处理	74

4.3.4 高速钢的应用	77
4.4 硬质合金	79
4.4.1 引言	79
4.4.2 硬质合金的分类	79
4.4.3 硬质合金的组织 and 性能	79
4.4.4 涂粘结的混合硬质合金	85
4.4.5 涂层硬质合金	87
4.4.6 碳化钨硬质合金	88
4.5 铸造钴基合金	89
4.6 陶瓷刀具材料	90
4.7 金刚石	92
参考文献	93
第五章 工件材料	94
5.1 引言	94
5.2 钢铁材料	97
5.2.1 碳钢	97
5.2.2 易切削钢	100
5.2.3 不锈钢	107
5.2.4 铸铁	111
5.3 钛合金	114
5.4 镍基合金	115
5.5 铝合金	120
5.6 镁及其合金	121
5.7 铜及其合金	121
参考文献	124
第六章 ISO 可切削性试验	126
6.1 前言	126
6.2 基准工件	126
6.3 基准刀具材料和刀具几何形状	127
6.4 基准切削液	128
6.5 切削条件	128

6.6	刀具寿命判据和刀具磨损测量	128
6.7	刀具磨损测量	131
6.8	设备	131
6.9	刀具寿命试验程序	132
6.10	刀具寿命数据的评价	132
第七章 可切削性数据对金属切除特性和经济性的影响		
	性的影响	133
7.1	前言	133
7.2	功效的判据	136
7.3	车削加工的经济性	137
7.4	最小成本的切削	146
7.5	最大生产率下的切削	150
7.6	最大效益的切削	152
7.7	用于铣削加工的可切削性数据	156
7.8	可切削性数据的可靠性	158
参考文献		159
附录 1 用于确定单刃刀具切削时切削温度的分析式		160
附录 2 用于两种快速绝对可切削性试验的分析式		167
A2.1	变速可切削性试验	167
A2.2	台阶车削试验	169

第一章 可切削性的概念

1.1 引 言

初看起来，给“可切削性”下定义似乎并不困难。它是表示材料用刀具进行切削加工的难易程度的一种特性。这一名词在从事工程制造及生产的人们中间广为应用，但只要详细地考察一下就会发现它的准确定义也有不确切之处，甚至它的一般含意也是含糊的。与多数材料性质不同，目前没有一个公认标准来度量它。显然，在实践中，“可切削性”这一名词直接反映了使用者的兴趣。与表面光洁度[●]关系大的工程师倾向采用“光加工性”这一名词。其他一些人则可能认为这一名词用来表示材料在特定机床上于固定的切削条件下所显示出来的特性更合理。还有一些人会把这一名词看作是度量刀具使用寿命的标准。在众多的科技领域中，对有关参数定义问题颇为关注，但在切削加工中，可切削性仍然有“八面玲珑”的含意。

1.2 可切削性的定义

要想得到有关可切削性的确切定义，就特别要把目标集中 在切削过程的一个或几个具体特性上，例如，刀具的寿命、刀具的磨损速度、以标准速度切除金属所需的能量或

● 光洁度在我国已改用粗糙度表示。

已加工表面可能得到的质量。直至不久以前，由于加工原因或经济原因，切削力和切削所需的能量，还被认为是无关紧要因素，也许现在，人们对能量已有更深刻的认识，切削效率有可能被视作可切削性的合理度量。而更常用的定义虽不严格，仍以能保证工件获得合格表面质量的刀具寿命为依据。必须指出，在许多实际加工中，表面质量并不那么重要，但这个定义却意味着，在许多情况下，刀具寿命可能同时与两个特性，即刀具磨损与表面质量恶化有关。此外，对“合格的”表面质量和“刀具寿命”都要下定义，这本身就相当困难。

因此，似乎有必要严格限定“可切削性”这一术语的定义，换句话说，有必要“杜撰出”一些有限含意的新名词。为此，有人提出可切削性不应以切削能量及表面质量来定义，而应理解为切削过程中材料对刀具的磨损程度。

以上述方式限定可切削性的含意，仍有必要规定如何测定材料的这种特性。刀具磨损方式有很多种，例如，后面磨损、月牙洼磨损、切口磨损以及崩刃。此外，用来描述每一种磨损的参数也有很多。刀具具有许多不同类型，它们相互之间也有许多不相同之处。而且，加工材料所选用的条件也不尽相同。待测磨损类型、待测参数、刀具类型以及加工规范的选择，这些对于定义和度量材料的可切削性来说都有点随机性。显然，可切削性是试验本身的一个函数，而不是材料的一、两种基本性质的函数。由于对刀具磨损过程尚缺乏基本了解，不可能从基本性质与切削条件的综合中得出可切削性的度量。相反，可切削性必须针对具体条件通过实验来加以确定，因此，当条件改变时就不一定能预测出材料的性质。虽然，实验业已表明，一种试验观测到的可切削性与

另一种实验测得的，或在其他条件测得的可切削性之间可能存在一些关系，但这些关系几乎仍具有经验性质。在不同试验中以及同一试验的不同条件下，许多材料的可切削性的排列次序可能是不同的。归根到底，在具体的实际切削条件下测定某一材料的可切削性，要想得到有意义的“数值”，或许必须在特定的加工条件下进行。

与定义和测定材料可切削性并存的困难是确定切削液的功效、刀具材料的耐磨性以及具体刀具有效性，尽管存在着这些重大的困难，但在研究可切削性有效度量与实测某些具体工件材料性能方面还是做了相当多的工作。回顾这一工作，切勿忘记可切削性的规范有很大的局限性。

虽然，对各种金属切削加工，都做了多种类型的可切削性试验，但大部分可切削性数据是从连续切削，特别是在车削加工中取得的。因此，即使提及了多种不同加工中的可切削性，但本书主要阐明车削加工中的可切削性问题，而读者亦不应试图把试验者所推荐的试验程序、刀具材料和几何形状、工件材料等等搬用到他种加工方面去。尽管，在选定的刀具与工件材料相同的条件下，可切削性的某些特点具有普遍意义，也适用于其他一些加工，但令人遗憾的是，人们还不可能不费力地鉴别这些。对所要研究的加工工艺，使用“等效”数据，不进行可切削性试验，虽则暂时可能省事，但会因切削用量选择不当而要付出更大的代价。

第二章 切削过程的基本问题

2.1 金属切削机理

2.1.1 切屑形成

有关金属切削机理的最早解释，是十九世纪末期提出来的。早期学说认为，刀具前面的工件材料是被“劈开”的，但人们很快就放弃了这种解释，进而赞同剪切面理论。该理论认为，切屑是工件材料在切削时沿着一系列剪切面（该面与切削方向成一斜角）破断而形成的，见图 2.1。通常多用

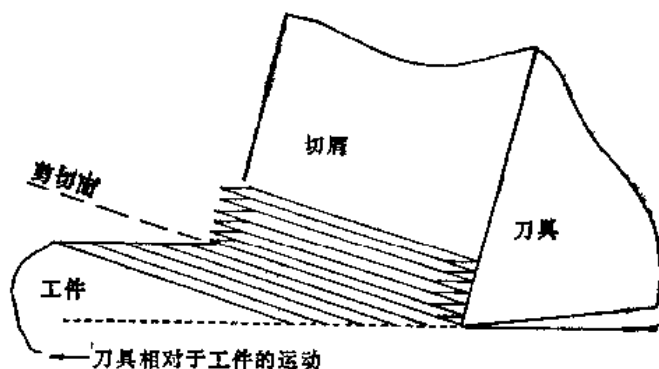


图2 1 连续切屑的形成

一堆滑动的卡片来比拟。工件可视为由一系列很细小的平行四边形组成。它们与工件-刀具相对运动方向成一斜角。当工件基元右下角接触刀刃时，首先要产生弹性变形，然后，进行塑性变形。待变形达到一定程度后，该基元就要相对于紧

邻的基元滑动，直到左下角的材料基元接触刀刃。工件基元彼此相对滑动的面称为剪切面。多数金属切削理论是采用纯剪切平面模型作为进一步计算的基础。最近，又有人提出剪切区中的剪切不是连续的，该区内的变形是由于一系列极高频率破断和反复焊合造成的，但这种观点几乎还没有论据支持。

当新形成的切屑力图沿顺刀具的工作面上移（图 2.1）时，切屑与工作面间存在着极大的法向力，据文献〔1〕指出，作用在工作面上的法向应力分布如图 2.2 所示。由于这种应力很大，真实接触面与法向力成正比。当真实接触面小于视

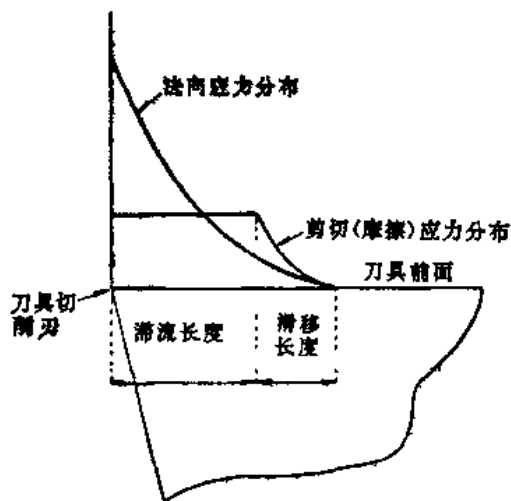


图2.2 刀具工作面应力分布的理想化模型

接触面积，或当摩擦力与真实接触面积成正比时，常规的库伦摩擦理论就不再适用了。而当法向应力较高时，真实接触面积就等于视接触面积。在这种情况下，法向力的增加并不影响真实接触面积，此区域中的摩擦力恒定不变，其值等于剪

断此区域中切屑材料所需的力，也就是说，切屑不是均速地流上刀具前面，切屑外层以自由切削的速度流动，而切屑最内层与刀具的相对速度为零。从刀刃到前面的距离通常称为“滞流”长度，在此长度范围内上述现象很明显，而从这一位置到切屑与工作面失去接触处通常称为“滑动”长度。许多研究者已证明了滞流区的存在，特别是特伦特 (Trent)^[2] 先生已详细地描述了刀具与工件间的粘滞现象。图 2.3 是说明刀具与切屑底层间接触面的典型实例。

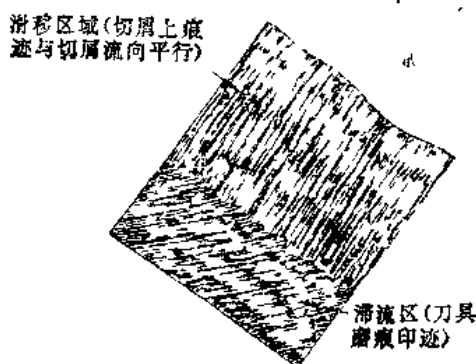


图2.3 切屑底层 (从中可看到滞流与滑动摩擦区)

切屑经过滞流区 (粘滞区) 时产生相当大的变形。这一区域通常称为第二变形区。许多作者指出，该区为一三角区，如图 2.4 所示。由于金属切削加工中总存在一个滞流区，又因为静止部分材料的厚度有限，故称此区为堆积层 [BUL(built-up-layer)]。在某些切削条件下，静止层很厚，就称为积屑瘤 [BUE(built-up-edge)]。积屑瘤有不稳定与稳定两种。不稳定的积屑瘤，周期性地破断而又迅速形成，部分积屑瘤被切屑底层带走，部分积屑瘤从刀具后面下方穿过，嵌入新切削的工件表面。由于形成积屑瘤的材料冷

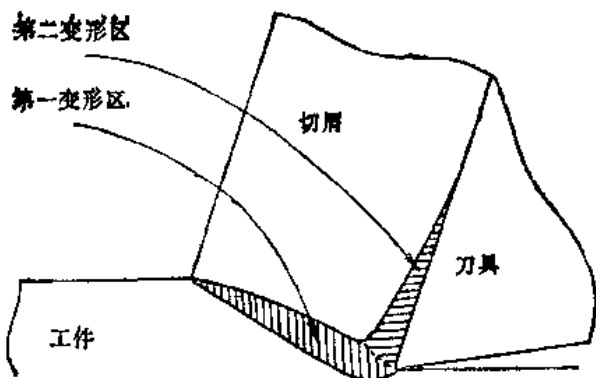


图2.4 直刃金属切削时的变形区

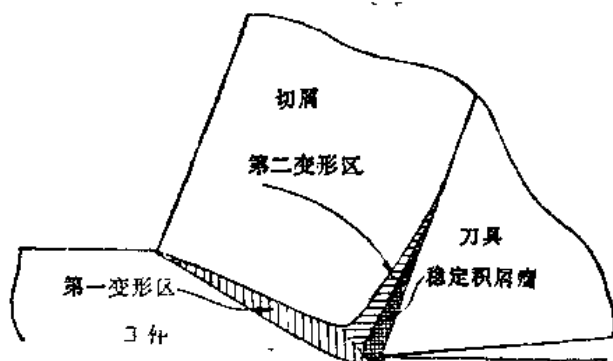


图2.5 稳定的积屑瘤

作硬化很严重，通常比切屑主体要硬得多，使刀具前面和后面都受到摩擦磨损，造成工件的表面光洁度降低。因此，以低速切削脆性材料和/或在不利 的切削条件下，不稳定的积屑瘤总是有损于刀具寿命与工件表面质量。相反，形成稳定积屑瘤的条件是积屑瘤的形成速度等于刀刃移动速度。只要保持稳定切削，一旦形成积屑瘤，其大小就不改变。这种类型的积屑瘤（图 2.5）总是有利于切削加工，因为，首先它

增大了刀具的有效前角，使切削力得以降低。其次，由于积屑瘤伸到刀具后面之下，保护了后面，使之磨损得以减小。稳定的积屑瘤一般不会自然产生，然而，采用特殊形状的刀具则可形成。这一问题将在专门介绍断屑槽的 2.4 节进行更全面的讨论。

2.1.2 切削参数变化对切削力的影响

虽然人们从对工件特性，刀具几何形状和切削条件的认识出发，以相当大的努力去建立预测金属切削试验结果的理论，却只取得有限的成果。即使根据最复杂的理论做出的推测，也往往只适用于为数有限的条件。而且，在大应变量与极大的应变速度的条件下切削金属时，要取得有关材料在切削条件下机械性能的可靠数据是很困难的。

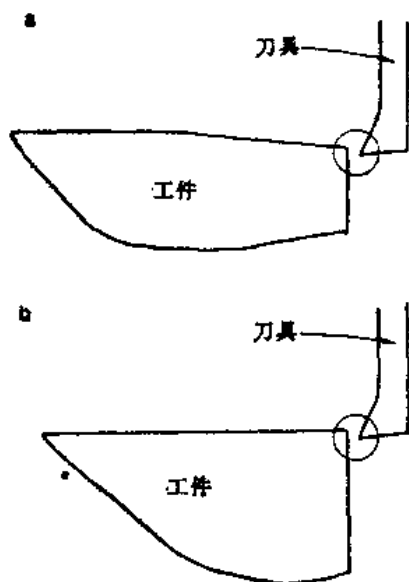


图2.6 (a) 斜面切入点；(b) 平行切入点

建立金属切削理论遇到的主要困难是对加工过程减少可应用的边界条件数目缺乏约束。最近,文献[3]指出,对于特定的一组切削条件不存在唯一解,诸如切削力、切削厚度比以及切屑自然卷曲度等这些参数的数值均与刀具和工件最初接触时占主导地位的条件有关。举例来说,若初始切削条件如图2.6 a所示,则稳态切削就会得到各种各样的答案,继初始条件之后稳态切削得到的答案如图2.6 b所示。

尽管缺乏全面的金属切削理论,总的发展动向还是可以知道的,现将其阐述如下。

虽然,实践中大多数金属切削作业采用斜刃(图2.7 a)切削(切削刃不垂直于工件-刀具相对运动方向,即走刀方向),但在研究机理时考察直刃切削加工较为方便(图2.7 b),因为这是二维问题。对直刃切削来说,一般测量平行

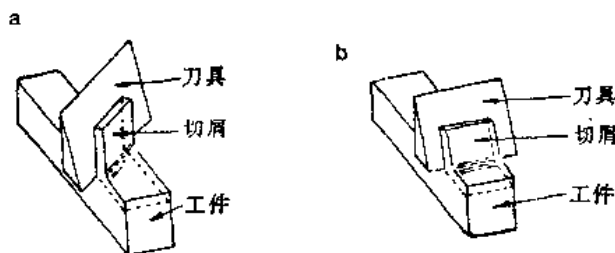


图2.7 (a) 斜刃切削; (b) 直刃切削

和垂直于工件-刀具相对运动方向的力。这些力分别地定义为切向切削力与法向切削力。受剪切之前的切屑厚度叫做“未变形的切屑厚度”,而受剪切之后的切屑厚度叫做“已变形的切屑厚度”。直刃加工时,走刀量和未变形的切屑厚度是同义语。剪切面与工件-刀具相对运动方向构成的锐角叫做“剪切角”,经过切削刃垂直于工件-刀具相对运动方向引出一平面与前面构成的锐角叫做“前角”。这些参数见图2.8。众所

周知，在给定的一组切削条件下，加大剪切角会使已变形的切屑厚度减小，这说明切削更加有效。这是切向与法向切削力都下降的结果。

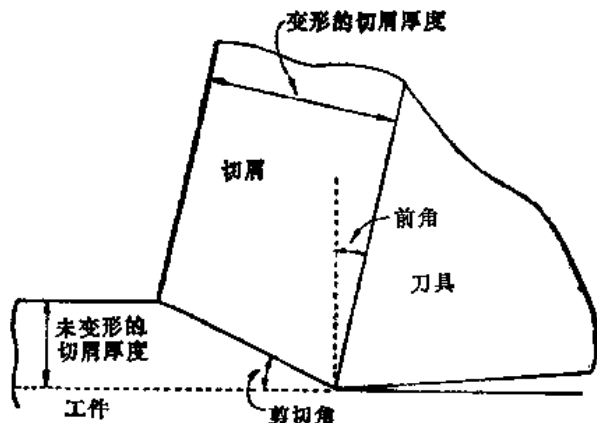


图2.8 直刃切削的重要参数

对于前面为一平面的刀具来说，切向和法向切削力都与未变形的切屑厚度成正比。当未变形的切屑厚度为零时，它们都有一有限值。这是由于作用在刀具上的“前冲”或“前进”力的缘故，也就是说，此力对切除金属无所贡献，不管刀具制造得多么精心，刀刃不锋利就会产生这个力。因此，未变形切屑厚度很小时，此力构成了作用在刀具上总力的重要分力，因此，切削效率较低。但随着未变形切屑厚度增加时，原来与未变形切屑厚度无关并明显保持不变的前进力变得无关紧要，因而，切削变得比较有效了。

一般来说，随着切削速度的增加，切向和法向切削力都在减小，但这种影响通常很小。业已证明，随着切削速度的增加，第一变形区和第二变形区的温度皆升高，造成工件“软化”。如做简化处理，则解释应变速度与温度都增加的复

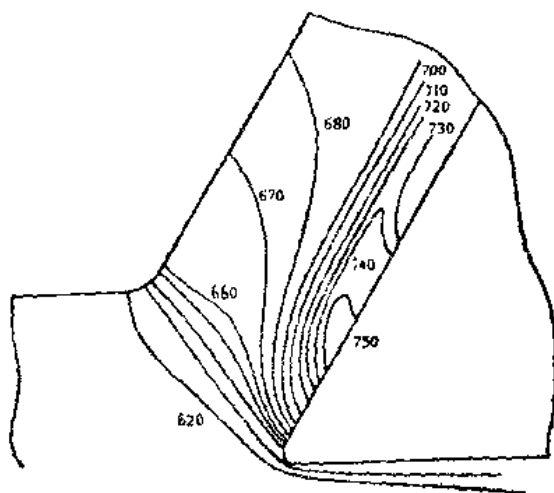
杂过程就方便多了。

在实用范围内，增大前角总使切向和法向力都减少，而法向切削力减少得多一点，这是可以预料到的，因为“锋刃”刀具切削起来要比“钝”刀具更加有效。

切削几何形状的其他一些参数的变化，如主偏角、隙角与刀尖角半径的改变，事实上都不影响切削力的大小，但只有切削深度例外，因为切削力与切削深度成正比地增加。

2.1.3 切削参数变化对切削温度的影响

金属切削过程中，热产生于第一和第二变形区，整个刀具、工件和切屑的温度分布很复杂。图 2.9 为一幅典型的等温图。由图可见，当工件材料在第一变形区受剪切时，整



工件预热温度 611°C
 工件材料：易切削钢
 切削速度： m/min
 前角 30°
 未变形切屑厚度： 0.535

图2.9 直刃切削时工件与切屑的典型等温图