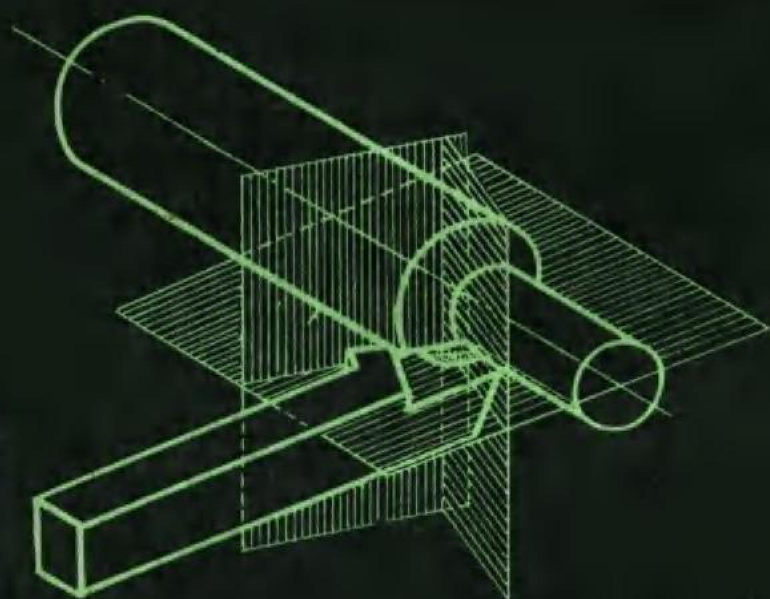
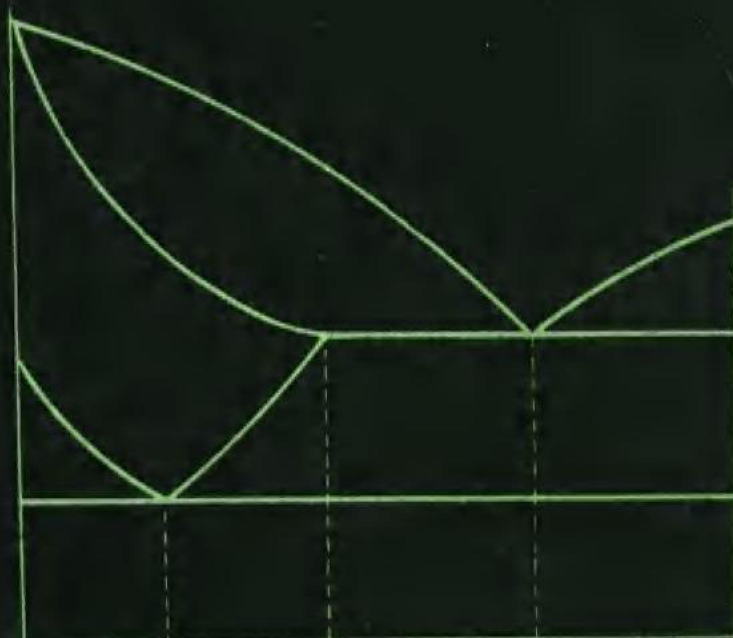


金属材料

可切削性与刀具



江苏科学技术出版社

金属材料可切削性与刀具

韩克筠 编著

江苏科学技术出版社

内 容 提 要

金属切削加工是机械加工中面广量大的加工形式。

在切削加工中, 刀具与被切削材料两者的性能, 均影响切削效果, 所以应综合考虑, 本书将两者联系起来进行了较为详尽的阐述。

书中首先扼要地介绍金属材料和切削加工的基础知识, 随之着重阐明金属材料和一些非金属材料的被切削加工性能(可切削性)及其改善措施, 并结合实际列举了切削各种材料的典型刀具共140种。

本书内容比较丰富, 理论联系实际, 可作为车工的进修读物, 亦可供其他金属切削工人、技术人员、大专院校机器制造专业的师生参阅。

金属材料可切削性与刀具

韩克筠 编 著

*

江苏科学技术出版社出版

江苏省新华书店发行

镇江前进印刷厂印刷

1980年7月第1版 1980年7月第1次印刷

印数: 1—18,200册

书号: 15196·039 定价: 1.62元

前 言

刀具切削工件与工件抵抗刀具的切削，是切削加工过程中矛盾着的两个方面。刀具材料、刀具几何角度以及切削用量的选用，很重要的方面，要根据被加工材料的性能来决定。

随着我国机械工业的迅速发展，越来越多的新材料需要进行切削加工，如高温合金、热强钢、不锈钢、高锰钢、淬火钢、特种铸铁、钛合金、钼、镍、玻璃纤维层压材料、橡胶等，需要针对它们各自的特性，选用合适的刀具材料、刀具几何角度，考虑合理的切削用量、润滑和切削方式。因此，对切削加工人员来说，了解各种被切削加工材料的可切削性，对提高切削效率，保证产品质量，是十分重要的。所以，本书以较多的篇幅介绍了材料的可切削性。

刀具是切削加工的主要工具，种类很多，有车刀、铣刀、刨刀、钻头等等，而且形状各不相同。然而，刀具有其共性，基本是车刀的变态。了解车刀会有助于了解和改进其它刀具。本书介绍的140种典型刀具中绝大部分是车刀。

本书的特点是把刀具和被切削加工材料两方面的内容有机地联系起来，进行综合阐述。在编写过程中，承南京长江机器制造厂奚建同志审校，谨表示感谢。

编 者

一九七九年十月

目 录

第一篇 金属材料可切削性基础知识

第一章 可切削性	(1)
第一节 可切削性指标	(1)
第二节 相对可切削性	(5)
第三节 分级可切削性	(6)
第二章 金属切削	(10)
第一节 切削运动及切削要素	(10)
第二节 刀具几何形状	(12)
第三节 刀具材料	(17)
第四节 切削过程的物理现象	(23)
第三章 切屑变形和断屑	(29)
第一节 切屑形状	(29)
第二节 影响切屑变形和断屑的因素	(29)
第三节 断屑范围	(34)
第四章 钢铁及热处理	(40)
第一节 铁碳合金	(40)
第二节 钢的热处理	(43)
第三节 合金性能和状态图之间的关系	(48)
第五章 影响钢的可切削性的因素	(50)
第一节 成分的影响	(50)
第二节 金相组织的影响	(52)
第三节 性能及其它条件的影响	(54)

第二篇 各种钢和铸铁的可切削性及切削刀具

第六章 碳素钢的可切削性及切削刀具	(59)
第一节 碳钢的分类	(59)
第二节 碳钢的可切削性	(62)
第三节 切削碳钢的先进刀具	(66)
第七章 合金结构钢的可切削性及切削刀具	(81)
第一节 锰结构钢	(81)
第二节 硅锰结构钢	(83)
第三节 铬结构钢	(85)
第四节 铬镍结构钢	(88)
第五节 铬锰结构钢	(91)
第六节 铬钼结构钢	(94)
第七节 硼结构钢	(96)

第八章 不锈钢的可切削性及切削刀具	(99)
第一节 不锈钢的牌号、性能和用途.....	(99)
第二节 不锈钢的可切削性.....	(101)
第三节 不锈钢的切削条件.....	(106)
第四节 切削不锈钢的先进刀具.....	(111)
第九章 高锰钢的可切削性及切削刀具	(123)
第一节 高锰钢的可切削性.....	(123)
第二节 高锰钢的切削条件.....	(124)
第三节 切削高锰钢的先进刀具.....	(125)
第十章 淬火钢的切削	(130)
第一节 切削条件.....	(130)
第二节 切削淬火钢的先进车刀.....	(135)
第十一章 易切削钢的可切削性	(140)
第十二章 灰铸铁的可切削性及切削刀具	(143)
第一节 灰铸铁及其牌号、性能和用途.....	(143)
第二节 灰铸铁的可切削性.....	(143)
第三节 灰铸铁的切削条件.....	(147)
第四节 切削灰铸铁的先进刀具.....	(149)
第十三章 高强度、特殊性能铸铁的切削	(156)
第一节 球墨铸铁.....	(156)
第二节 可锻铸铁.....	(159)
第三节 特殊性能铸铁.....	(160)

第三篇 高温合金、有色金属、非金属材料的可切削性及切削刀具

第十四章 高温合金的切削	(164)
第一节 高温合金的分类和牌号.....	(164)
第二节 高温合金的可切削性.....	(164)
第三节 高温合金的切削条件.....	(169)
第四节 高温合金的切削加工.....	(175)
第十五章 钛及钛合金的切削	(178)
第一节 钛及钛合金的分类、牌号.....	(178)
第二节 影响钛合金可切削性的原因.....	(179)
第三节 切削条件对可切削性的影响.....	(181)
第四节 钛及钛合金的切削加工.....	(183)
第十六章 铜及铜合金的可切削性和切削刀具	(188)
第一节 紫铜、黄铜、青铜和白铜.....	(188)
第二节 铜及铜合金的可切削性.....	(193)
第三节 切削铜及铜合金的先进刀具.....	(198)
第十七章 铝及铝合金的可切削性和切削刀具	(205)
第一节 铝合金的分类、热处理.....	(205)
第二节 工业纯铝、变形铝合金、铸造铝合金.....	(207)
第三节 铝及铝合金的可切削性.....	(209)
第四节 切削铝及铝合金的先进刀具.....	(213)

第十八章 镁及镁合金的切削	(220)
第一节 镁及镁合金	(220)
第二节 镁合金的可切削性	(223)
第三节 镁合金的切削规范	(225)
第十九章 锌及锌合金的切削	(229)
第一节 锌及锌合金的牌号、成分、性能和用途	(229)
第二节 锌及锌合金的可切削性	(230)
第三节 切削锌及锌合金的车刀	(231)
第二十章 塑料的可切削性及切削刀具	(233)
第一节 塑料的可切削性	(233)
第二节 切削塑料的先进刀具	(238)
第二十一章 橡胶的切削	(249)
第一节 切削橡胶的典型车刀	(249)
第二节 切削橡胶的典型钻头	(252)
第二十二章 其它材料的切削	(255)
第一节 铝、钼、铍的可切削性	(255)
第二节 钢结硬质合金的可切削性	(257)
第三节 切削铸造碳化钨、石墨、换向器的车刀	(260)
附录一 黑色金属硬度及强度换算值	(263)
附录二 元素物理—机械性能表	(265)
附录三 本书所用符号、单位、公差等级与国际制的对照	(266)
参考文献	(267)

第一篇 金属材料可切削性基础知识

第一章 可 切 削 性

在机器制造工业中，金属切削加工工艺占有首要地位。

金属切削加工是依靠刀具和工件的相对运动，从毛坯上切去加工余量，从而得到一定形状、尺寸和表面光洁度的金属零件的加工方法。

刀具切削工件和工件抵抗刀具切削是切削加工过程中矛盾着的两个方面，是不平衡的，矛盾主要方面和非主要方面随着事物发展中双方斗争力量的增减会互相转化。对于研究切削加工，既要研究刀具一方，又要研究被加工工件材料一方。如果把切削过程仅仅看成是刀具机械力的作用在刀具上进行研究，可能造成把局部范围得出的结论用到普遍情况中去，结果在生产实践中发生问题。具有切削加工知识的人都知道，加工各种不同的金属材料，应该选用不同的刀具(材料)、几何角度，并考虑不同的切削用量等等。可见，了解和研究各种被加工金属材料的可切削加工性，是切削加工中不容忽视的重要方面。

表示金属材料被切削加工难易程度的工艺性能，称为可切削加工性，简称可切削性。一些文献上也称切削加工性、机械加工性、可加工性、可削性、加工性以及切削性等。

金属材料的可切削性是一个综合指标，通常指材料在被切削加工中的生产率、刀具耐用度、切削力、切屑形状以及切削加工后的零件表面光洁度等。

在不同要求和情况下，可切削性的主要指标各不相同。例如，在粗加工时，可切削性的主要指标是生产率高、切削力小、刀具耐用。在这种情况下，被加工材料要求硬度低或切削阻力小，可切削性就好；在精加工时，要求表面光洁度高，而韧性大的材料易于发生“粘刀”现象，可切削性就不好；切屑形状是连续的、缠绕的或是四散飞溅的，则对工件表面质量和顺利进行加工都带来不利，这些都是可切削性不好的表现。又如，导热性差的材料会引起已变形层内热量高度集中，造成切削区温度很高，使刀具很快磨损、耐用度下降，可切削性就很差。因而了解和控制金属材料的内部构造，即金相组织，则有利于认识和改善被切削材料的可切削性。

第一节 可切削性指标

影响可切削性的因素，从被切削材料方面来看，材料的力学性能、物理性能、化学成分和金相组织等是较重要的方面，以下分述可切削性的几个常用指标。

一、硬度

硬度与可切削性的关系是重要的。一般说来，在同类型、同名称、同条件以及在已知范围内，金属的硬度愈高，则它的可切削性愈差。例如铸铁，在切削加工中基本的切削功是消耗在切屑的粉碎和刀具前、后面与切屑、工件的摩擦上的。如果切削条件（如刀具材料、几何角度、切削用量等）相同，取硬度作为可切削性的主要指标是符合铸铁可切削性特性的。实践证明，铸铁的可切削性随硬度下降而改善，因为硬度较低的铸铁，愈具有分离切屑所必需的“加工软脆性”。当切削时所形成的热量随着切屑一起消除时，则刀具耐用度和切削速度就可以提高。除了高的生产率外，切削速度的提高和切削韧性的减低，还能促使得得到较好的表面光洁度。在这种情况下，硬度是可切削性的主要指标。但在不同情况下，例如对低碳钢，切削加工中基本的切削功是消耗在切屑的分离和刀具前、后面与切屑的摩擦上的。虽然低碳钢的硬度不高，但延伸率、断面收缩率数值高（即韧性大），而韧性较大的材料，缺乏加工软脆性，将使切屑分离困难，产生的高温带状切屑沿刀具前面流出，使刀具热量增高，刀具耐用度降低，工件表面光洁度也差。在这种情况下，硬度低就不是可切削性良好的指标。相反，含碳量较高的中碳钢，因为含碳量比低碳钢高，含碳量的增加可以使硬度增加而韧性下降，这就是说，中碳钢比低碳钢有稍高的硬度和较低的韧性，使它具有了适宜的加工软脆性，因之硬度稍高的中碳钢其可切削性比低碳钢好。而对高碳钢来说，由于含碳量很高，硬度较高，韧性虽低，它的性能属于硬而脆，不具有软脆性，所以可切削性不好。就几种碳钢来说，硬度是可切削性的指标之一，但不是唯一的指标，因此，不能简单地认为硬度愈低，可切削性愈好。

二、切削阻力

如果其它条件相同，则硬度高的金属材料，切削阻力大，其可切削性比硬度低的金属材料差。

如果其它条件相同，则韧性大的金属材料，切削阻力大，其可切削性比韧性小的金属材料差。

一般说来，材料越硬，抗拉强度也越大，切削阻力随着抗拉强度的增加而增大。例如车削抗拉强度 $\sigma_b 35$ 公斤/毫米²的碳钢时切削力等于1的话，在车削 $\sigma_b 85$ 公斤/毫米²的钢时切削力等于1.41，只增加了41%。切削阻力并不按抗拉强度的比例增加，原因是硬的、坚固的钢的延伸率（韧性）比软钢小得多。只有同时具有大的抗拉强度和大的延伸率的钢切削阻力最大。同样理由，有两种钢具有相同的抗拉强度 $\sigma_b 80$ 公斤/毫米²，但硬度不同，第一种钢硬度HB242，第二种钢硬度HB178，切削时第二种钢的切削力却比第一种钢多20%，原因是它的延伸率比第一种钢大一倍。

这样看来，硬度、延伸率、抗拉强度这些力学性能对切削阻力有很大影响。而切削阻力大小，对于生产率和刀具耐用度是有直接影响的，因此可以认为切削阻力的大小，是表示可切削性的十分重要的指标。为了对金属切削阻力有比较正确的概念，产生了各种不同的以直接切削来进行金属切削阻力的比较实验，例如在同样的切削用量及条件下进行车削、钻削等。

实验给很多金属材料定出了它们的“切削系数”，即在指定的切削规范和工作情况下，以切屑断面积（5毫米²）除切削力所得的商，它表明金属对切削阻力的性质，切削系数愈大，这种金属的切削阻力也越大，并从这里确定切削钢比较难，切削轻合金比较容易等的说法。

实际上，切削系数不能作为可切削性的准确根据，因为制定切削系数的理论情况和生产中的实际情况常常是不相符合的。例如有些硬钢通常是用小值前角甚至采用负前角的刀具加工，而轻金属常常是用大值前角的刀具加工，而用负前角刀具切削几乎是没有的。又例如对同一种金属进行粗加工和精加工时，刀具的几何角度、切削用量也是不同的。再例如切屑横断面积的比例，对切削力的影响，也是有改变的等等。

也有用取作比较的金属分别钻孔，使加在主轴上的进刀力量不变，以钻头旋转100转时钻进金属的深度作为切削阻力的单位，根据钻孔深度来判断不同金属的切削阻力。以这种方法来确定金属材料的可切削性，只能是用于同类型，同名称而不同牌号的金属切削阻力。否则和切削系数一样，它不是完全符合生产实际情况的。

三、切屑

金属材料可分为塑性材料和脆性材料两类。塑性材料如碳钢、不锈钢、紫铜等。脆性材料如铸铁、铅黄铜和一些铸造有色金属等。

塑性材料切削时形成切屑的过程大致是被加工工件表层受到刀具的挤压、经弹性变形、而后发生塑性变形、达到断裂形成切屑。通常塑性材料在金属塑性尚未完全耗尽即未达到完全断裂时便形成切屑，沿刀具前面流出，这时切屑呈连续的带状，称为带状切屑，或称连续切屑，在生产中最为常见。

脆性材料切削时形成切屑的过程大致是被加工工件表层受到刀具的挤压、经弹性变形，而不经塑性变形或稍有塑性变形即达到断裂形成切屑。这种切屑，因为未经和稍微经塑性变形，切屑形状主要是崩碎的，或略呈卷片的松散碎屑，是四散飞溅的。

切屑的形状，也是可切削性的指标之一。带状的、连续的切屑和崩碎的、卷片的切屑对可切削性有一定影响。例如在切削低碳钢、不锈钢或紫铜等塑性材料时，切屑有着大卷的螺旋形状或几乎是僵直长条的形状，这种切屑会使机床上切屑堆积，会缠绕在工件上和刀具部分，会擦伤工件表面，还可能割破和烫伤工人皮肤，如果切屑落到机床的动作部分，就要迫使机床停止运转以去掉切屑。总之，连续不断灼热的切屑使切削加工不能顺利进行而发生困难。在这种情况下，排除切屑的难易或使带状切屑断屑的难易，就成为可切削性的一个重要指标。又例如在切削灰铸铁、铅黄铜或一些铸造有色金属等脆性材料时，由于切屑形状是崩碎的，崩碎切屑会四散飞溅，有时即使将工件倒转、把车刀反装使刀具前面向下，认为这样可使崩碎切屑向下飞溅，希望可改善乱飞乱溅状况，但结果并不如愿，崩碎切屑仍能向上向四处飞溅，特别是铅脆黄铜的飞溅，以及一些铸造有色金属切屑的飞溅，不仅影响本机床工人的操作，甚至还威胁到周围机床工人的操作。因此，使崩碎切屑不飞溅的难易或使崩碎切屑变成细卷并在长度10~100毫米内能自行折断的难易，这也是可切削性的一个指标。

近年来，我国已有上千种先进车刀、钻头运用断屑槽和控制切削用量等方法在使连续切屑断屑方面取得了很好的效果。又通过运用变化的刃倾角和控制切削用量等方法在使崩碎切屑变成卷状切屑方面也取得了良好成绩。这些断屑和卷屑的典型先进刀具，在后面各章中将介绍。

四、导热性

金属传导热能的性质叫导热性。它以导热率表示，即物质在1秒钟内传过长1厘米、截面积1厘米²、两端温度差为1℃的导热热量（小卡）。导热率的物理单位为卡/厘米·秒·度。

例如45号钢的导热率 $\lambda = 0.14$ 卡/厘米·秒·度,奥氏体不锈钢的 $\lambda = 0.04$ 卡/厘米·秒·度,普通黄铜的 $\lambda = 0.25 \sim 0.58$ 卡/厘米·秒·度等。

金属材料的导热性也是可切削性的一个重要指标,导热率小的材料,可切削性是差的。例如45号钢和不锈钢比较,不锈钢的可切削性比45号钢差;而以45号钢和普通黄铜比较,普通黄铜的可切削性比45号钢好。不锈钢比45号钢可切削性差和普通黄铜可切削性比45号钢好的原因虽然是多方面的,但导热系数的高低是重要原因之一。不锈钢导热系数小,散热条件差,切削区温度高,从而使刀具磨损较快。而普通黄铜导热系数大,散热条件好,切削区温度低,从而使刀具耐用度提高。

由于导热系数小而引起对刀具磨损剧烈最突出的例子是切削胶木塑料。这种材料硬度不高,脆性很好,具有加工软脆性,照理说可切削性是最好的。然而,从切削加工中某些现象来看,虽然切削胶木塑料时切削速度高,生产率高,切削力也很小,但突出的缺点是加工胶木塑料刀具的耐用度较低,刀具被剧烈磨损。对于软而脆的材料竟会剧烈地磨损刀具,似难理解。有人分析,有的胶木塑料的粉末状切屑具有磨料作用,因此刀具被磨损,这种分析有一方面的道理。但是,事实是不具有磨料性粉末切屑的胶木塑料,切削加工时刀具仍然较快地被磨损,其主要原因就是胶木塑料的导热率很小,仅为45号钢的 $1/300$ 左右,高速切削所产生的热量高度集中刀尖切削区,故使刀具迅速磨损。

导热性差的材料不仅使刀具磨损快,对加工零件还会造成内外温差很大,产生内应力,招致工件的开裂。例如在加工奥氏体不锈钢、塑料或淬火钢等材料有时产生所谓发裂,其原因之一往往就是由于这些材料导热率差。导热率 $\lambda < 0.06$ 卡/厘米·秒·度的被加工材料,不仅刀具容易磨损,而且还有使工件产生发裂的可能。因此,在加工这类材料的工件时应该很好选用切削用量,控制切削温度。

五、金相组织

金属材料的力学、物理性能对可切削性影响很大,而性能是由金属材料的化学成分决定的,所以金属材料的可切削性首先决定于化学成分。但是,即使是相同化学成分的材料,由于工艺上处理的不同,可以得到不同的金相组织,金相组织不同,力学、物理性能也就不同。因此,金属材料的可切削性最终决定于金相组织,了解和控制改变金属材料的金相组织,对认识和改善金属材料的可切削性有实际的重大意义。

生产实践证明,即使化学成分相同,甚至硬度也相同,由于其金相组织不同,可切削性就有很大的差异。例如同样是20铬锰钛钢,在经过不同的热处理工艺“调质处理”或“不完全淬火”后,硬度均在HRC20~25时,调质处理的切屑是挤裂状的,加工表面的光洁度很差,约 $\nabla 3 \sim 4$ 。而不完全淬火的切屑是卷曲带状的,光洁度较好,约 $\nabla 6 \sim 7$,而且刀具耐用度可提高3~4倍。

不完全淬火的20铬锰钛钢所以能具有良好的可切削性,其原因是它的金相组织为低碳马氏体+铁素体。这种组织由于低碳马氏体比较硬,铁素体比较软,这两种组织加在一起有较大的显微硬度差,于是造成较好的加工软脆性,因之可切削性好。

调质处理的20铬锰钛钢所以不能有良好的可切削性,其原因是它的金相组织大部分为被强化了铁素体,这种铁素体韧性大,切屑塑性变形功大,切削阻力大,因之工件表面光洁度差,刀具耐用度低,可切削性不好。

从了解金属材料的金相组织以达到认识金属材料的可切削性这一点是重要的,但更重要

的还在于在认识的基础上来改变金属材料金相组织以达到改善可切削性。运用热处理工艺来达到所要求的金相组织，这在生产中已经得到广泛的使用了。例如切削低碳钢，最好的金相组织希望是低碳马氏体+铁素体，对中碳钢则要求球化的珠光体组织为最好，对高碳钢则应该是完全球化组织。又例如对H62黄铜，也可进行热处理工艺以得到 $\alpha + \beta$ 组织，这种组织使强度、硬度提高而塑性下降，从而改善了可切削性。

关于金相组织以及热处理工艺对各种金属材料可切削性的影响，后面各章述及不同金属材料时将会分别讲到。

第二节 相对可切削性

前面讲了金属材料的可切削性决定于许多因素的综合，除被加工材料本身条件外，还和切削条件有相互影响。关于如何选定可切削性的指标，应该最终决定于对加工零件所提的要求。例如在切削速度、刀具耐用度、表面光洁度或要解决的主要矛盾而取其中一、二项或几项作为可切削性的指标。但是，在不考虑对于工件的要求和工艺过程的特性的情况下，则被加工材料对刀具耐用度有着最大的影响，它决定了综合的生产和经济指标。因此在一般情况下，都是选定以刀具磨损的快慢为基础的耐用度与切削速度的关系作为判定可切削性的指标。通常采用刀具耐用度 $T = 60$ 分钟时的切削速度 v 表示可切削性。而以被测验材料的 v_{60} 与同一测验条件下对基准材料所测得的 v_{60} 相比较，就得到对被测验材料的相对可切削性。

以抗拉强度 $\sigma_b = 61$ 公斤/毫米²的45号钢测得的可切削性作为100%，则各种材料的相对可切削性如表1—1所示。

表1—1 各种金属材料的相对可切削性

等 级	程 度	相对可切削性%	材 料 名 称
1	极 易 削	>300	铝合金、镁合金、巴氏合金等
2	很 易 削	250~300	锌合金、易切削黄铜等
3	易 削	160~250	Y12易切削钢、黄铜等
4	不 难 削	100~160	45号钢、40硼钢、灰铸铁等
5	稍 难 削	65~100	锰钢、硅锰钢、铬锰钢、碳素工具钢等
6	较 难 削	50~65	耐热钢、马氏体不锈钢、调质合金钢等
7	难 削	15~50	奥氏体不锈钢、钛合金、淬火钢、高锰钢等
8	极 难 削	<15	高温合金等

上表所列各种材料的相对可切削性，仅是粗略的数据，因为同一类材料其品种和牌号是很多的，例如铝和铝合金，纯铝和铝合金的可切削性是不一样的。而铝合金的品种又有防锈铝、硬铝、锻铝、超硬铝等。此外还有铸造铝合金，而铸造铝合金又有铝硅、铝铜、铝镁、铝锌等品种。而所有铝合金的每一品种又有多种牌号。不同牌号、品种的铝合金其可切削性各不一样。因此，往往对于某一类材料独立地根据其品种牌号定出相对可切削性，例如铝合金的可切削性，按加工难易程度分为五级，从五级到一级分别为优良级、良好级、合格级、次级和劣级。又例如铜合金，品种、牌号也很多，一般是以铅黄铜HPb63—3的可切削性作为100%，而后和其它铜合金比较定出相对可切削性，如铅黄铜HPb59—1的相对可切削性为80%，普

通黄铜H62的相对可切削性为40%，白铜B30的相对可切削性为20%等。因此，各类材料的相对可切削性较细的分类将根据需要在以后的有关章节中分别叙述。

第三节 分级可切削性

为了更直接地判明各种各样被加工材料的可切削性以及了解对可切削性有主要影响的因素，从而能较合理地选用刀具材料、几何角度和切削用量以满足加工要求（如刀具耐用度、工件表面质量、切屑控制等），采用分级可切削性的方法，在生产中是有实际意义的。

将影响被加工材料可切削性的各类因素加以分析，可以认为，被加工材料的物理、力学性能直接反映了切削加工的难易程度，是影响可切削性的直接指标，而材料的化学成分、金相组织，则是决定物理、力学性能变化的根据。区分物理、力学性能和化学成分、金相组织这两者之间的关系，而采用几项物理、力学性能指标，可以简明地判明材料的可切削性。

选定材料的硬度、强度、塑性、韧性和导热系数作为评定可切削性的指标。分级可切削性按上述五项指标数值的大小分成11级，分级情况如表1—2所示；常用材料的五项指标数据如表1—3所示。对被加工材料的五项指标数值查明后，可顺次进行分析，如发现4级以

表1—2 工件材料可切削性分级表

可切削性	等级代号	硬 度		抗拉强度	延伸率	冲击值	导热系数
		HB	HRC	σ_b 公斤/毫米 ²	δ %	a_k $\frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{厘米}^2}$	λ $\frac{\text{卡}}{\text{厘米} \cdot \text{秒} \cdot \text{度}}$
易切削	0	0~50		< 20	< 10	< 2	1.0~0.7
	1	51~100		20~45	10~15	2~4	0.7~0.4
	2	101~150		45~60	15~20	4~6	0.4~0.2
较易切削	3	151~200		60~80	20~25	6~8	0.2~0.15
	4	201~250	< 24.5	80~100	25~30	8~10	0.15~0.1
较难切削	5	251~300	24.6~31.8	100~120	30~35	10~14	0.1~0.08
	6	301~350	31.9~37.7	120~140	35~40	14~18	0.08~0.06
	7	351~400	37.8~43.0	140~160	40~50	18~20	0.06~0.04
难切削	8	401~480	43.1~50	160~180	50~60	20~25	0.04~0.02
	9	481~635	51~60	180~200	60~100	25~30	< 0.02
	9a	> 635	> 60	200~250	> 100	30~40	

上数字，要重点分析，并和其它指标联系起来，找出主要矛盾，以确定选用刀具材料、几何角度、切削用量等。

现举六个例子介绍分级可切削性的用法：

例1 低碳钢08F的可切削性分析

查表1—3得到08F的HB = 131、 σ_b = 33、 δ > 33、 a_k = 28、 λ = 0.193。根据表1—2得出分级可切削性代号为：2·1·5·9·3。

进行分析：

表1—3 常用材料的物理、力学性能及分级可切削性

材 料 名 称	硬 度 HB	抗拉强度 σ_b (公斤/毫米 ²)	延伸率 δ (%)	冲 击 值 a_k (公斤·米/厘米 ²)	导 热 系 数 λ (卡/厘米·秒·度)	分级可切削性 HB· σ_b · δ · a_k · λ
08F 号钢 (热轧)	131	33	33	28	0.193	2·1·5·9·3
15号钢 (热轧)	143	38	27	20	0.185	2·1·4·7·3
30号钢 (热轧)	179	50	21	8	0.180	3·2·3·3·3
45号钢 (热轧)	241	61	16	5	0.162	4·3·2·2·3
60号钢 (热轧)	255	69	12	—	0.161	5·3·1·×3
A3钢 (普通碳钢)	131	38~47	23~21	—	0.185	2·1/2·3·×·3
20Cr (铬 钢)	179	80	10	6	0.185	3·3·0·2·3
40Cr (铬 钢)	207	100	9	6	0.098	4·4·0·2·5
35SiMn (硅锰钢)	229	90	15	6	0.12	4·4·1·2·4
38CrSi (铬硅钢)	255	100	12	7	0.09	5·4·1·3·5
40CrNi (铬镍钢)	241	100	10	7	0.097	4·4·1·3·5
20CrMnTi (铬锰钛钢)	207	80	12	7	0.125	4·3·1·3·4
35CrMo (铬 钼 钢)	229	100	12	8	0.097	4·4·1·3·5
38CrMoAl (铬钼铝钢)	227	100	14	9	0.09	4·4·1·4·5
20MnTiB (锰钛硼钢)	187	115	10	7	0.14	3·5·0·3·4
40B (硼 钢)	207	80	12	7	0.16	4·3·1·3·3
1Cr13 (马氏体不锈钢)	187	60	20	9	0.08	3·2·2·4·5
2Cr13 (马氏体不锈钢)	197~248	66	16	8	0.07	3/4·3·2·3·6
1Cr18Ni9Ti (奥氏体不锈钢)	140~291	55	55~40	10~25	0.04	2/5·2·6/8·4/8·7
0Cr17Ni7Al (沉淀硬化型钢)	363~388	116~125	5~4	10~25	0.04	7·5/6·0·4/8·7
Mn13 (高锰钢)	210	100	80	—	0.04	4·4·9·×·7
淬火锅	300~600	—	—	—	0.017	5/9·×·×·×·9
Y15 (易切钢)	160	40~50	22	—	0.185	3·1/2·3·×·3
HT20-40 (灰 铸 铁)	170~241	25	0~0.5	0~0.8	0.2	3/4·3·0·0·2
QT42-10 (球墨铸铁)	207	42	10	3	0.184	4·1·0·1·3
QT60-2 (球墨铸铁)	229~302	60	2	2	0.15	4/6·2·0·0·3
KT35-10 (可锻铸铁)	120~163	35	10	3	0.184	2/3·1·0·1·3
GH33 (高温合金)	230	114	28	10	0.03	4·5·4·4·8
钛	160~195	55	25	7~8	0.036	3·2·3·3·8
TA7 (钛 合 金)	240~300	80	10	4	0.021	4/5·3·0·1·8
TC8 (钛 合 金)	310~350	100—110	8~12	3~6	0.017	6·4/5·0/1·1/2·9
T4 (铜) 软	35~45	20~40	40~50	—	0.92	0·0/1·6/7·×·0
H62 (黄铜) 软	56	33	49	—	0.26	1·1·7·×·2
HPb59-1 (铅黄铜)	90	40	45	—	0.25	1·1·7·×·2
ZQSn6-6-3 (青铜)	60	18	18	1.7~3	0.23	1·0·0·0·2

续表 1—3

材 料 名 称	硬 度 HB	抗拉强度 σ_b (公斤/毫米 ²)	延伸率 δ (%)	冲 击 值 a_k (公斤·米/厘米 ²)	导 热 系 数 λ (卡/厘米·秒·度)	分级可切削性 $HB \cdot \sigma_b \cdot \delta \cdot a_k \cdot \lambda$
L5 (铝)	20	9	40	—	0.5	0.0.6.×.1
LY12 (硬铝)	110	41	15	—	0.28	2.1.6.×.2
ZL109 (铸铝)	90	22	0.5	—	0.28	1.1.0.×.2
MB3 (镁合金)	64	28	18	—	0.23	1.1.2.×.2
ZnAl10—5 (锌合金)	90	30	1	—	0.24	1.1.0.×.2
钼	140—185	70	—	—	0.34	2/3.3.×.×.2
钽	70~125	40	50	—	0.13	1/2.1.7.9.4
玻璃钢	30	10~30	—	9	0.006	0.0/1.×.9.9a
酚醛塑料	20~25	3~8	—	25~30	0.008	0.0.×.4.9a
有机玻璃	18~24	—	—	—	0.004	0.×.×.×.9a
尼龙1010	7	5.5	—	1	0.004	0.0.×.0.9a
橡 胶 (软)	35~90 (肖氏)	2.5~3	450~600	—	0.003	0.0.9a.×.9a

硬度、强度分别为 2 级和 1 级，属于易切削级，刀具对工件的硬度、强度优势大，可加大刀具前角。

塑性、韧性分别为 5 级和 9 级，延伸率高冲击值大，造成切屑变形大，易粘结，不易断屑。要求刀具抗粘结性能好，前面光洁度高和采取断屑措施。

导热系数为 3 级，矛盾不突出，可用硬质合金刀具在较高的切削速度下切削。

主要矛盾是韧性高，应选用大前角 $\gamma = 25^\circ$ ；为防止低速时发生粘结可采用 120 米/分左右高速切削，或采用涂层刀片；为避免切屑堵塞，卷屑槽要采用较大圆弧。

例2 中碳钢45号钢的可切削性分析

查表 1—3 得到分级可切削性代号为 4.3.2.2.3。进行分析：

硬度、强度分别为 4 级和 3 级，属于较易切削级，刀具对工件的硬度、强度优势较大，但比低碳钢小，粗车时刀具前角可取 $\gamma = 15^\circ \sim 20^\circ$ ，精车时取 $\gamma = 20^\circ$ 。

塑性和韧性分别为 2 级和 3 级，因此粘结现象少；断屑、排屑情况比低碳钢好，可选用直线圆弧型卷屑槽。

导热系数为 3 级，矛盾不突出，可用硬质合金 YT 类刀具在 90~110 米/分的较高切削速度下切削。

例3 奥氏体不锈钢1Cr18Ni9Ti的可切削性分析

查表 1—3 得到分级可切削性代号为：2/5.2.6/8.4/8.7。进行分析：

硬度、强度分别为 2/5 级和 2 级，刀具可选用较大前角。

塑性和韧性同为 6/8.4/8 级，切屑变形大，切削温度高，易粘结，排屑、断屑有一定困难。

导热系数为 7 级，传热性能差。

特殊矛盾是热强性好，冷硬现象较严重，金属碳化物的硬质点多，因此刀具磨损快。

根据上述情况，车削时前角取 $\gamma \approx 20^\circ$ ；选用 YG 加添加剂的刀具材料如 YA6 等，以提高

高温强度、硬度和耐磨性；采用双刃倾角车刀，提高断屑能力和加大切削深度、走刀量使刀刃刀尖超过冷硬层；适当降低切削速度防止刀具过热。

例4 黄铜H62的可切削性分析

查表1—3得到分级可切削性代号为 $1 \cdot 1 \cdot 7 \cdot \times \cdot 2$ 。进行分析：

硬度、强度都是1级，属易切削级，刀具前角可大些。

塑性是7级，属较难切削级，易粘结，工件要求高光洁度时比较困难，要选用粘结性小的刀具材料，并使刀具前面光洁以及采用“斜刃切削”等措施。

导热系数是2级，属易切削级，刀具耐用度好，可选用高的切削速度。

例5 铸铝合金ZL109的可切削性分析

ZL109是铸造铝硅合金的一种，是广泛使用的一类铝合金。查表1—3得到分级可切削性代号为 $1 \cdot 1 \cdot 0 \cdot \times \cdot 2$ 。全部指标都是属于易切削级，但这种材料的刀具耐用度却不高，因为它还有一个较主要的特殊矛盾存在，它的含硅量高达10~13%，硅以极粗大的形态存在铝中，硅元素具有磨料作用，所以使刀具容易被磨损。应该注意，有些材料有特殊矛盾存在时，要做特殊分析。在特殊情况下，仅分析五项指标就不能完全解决问题。

例6 层压材料的可切削性分析

查表1—3得到分级可切削性为 $0 \cdot 0 \cdot \times \cdot 9 \cdot 9$ 。进行分析：

硬度、强度都是0级，属易切削级。韧性（方向性）大，属于难切削级，切削温度也很高。导热系数是9级，属于难切削级，热传导很差。

主要矛盾是切削温度高，传热性差，造成刀具耐用度低，要选用耐热性好的刀具材料，大的前角和刃倾角，后角也可大些，可取 $\gamma = 18^\circ \sim 20^\circ$ ， $\lambda = 10^\circ \sim 14^\circ$ ， $\alpha = 12^\circ \sim 18^\circ$ 。

第二章 金属切削

金属切削加工有车、钻、刨、铣等多种方式，所用的机床、刀具各不相同，但却有共同的特点，如切削时刀具和工件都需有相对运动，刀具都需有一定的几何形状，切削过程中出现相同的物理现象等。现分述如下：

第一节 切削运动及切削要素

一、切削运动

金属零件的形状虽然很多，但加以分析，不外乎是由几种主要表面组成，即外圆、内孔和平面等。

外圆面和内孔是以一直线为母线，以圆为轨迹作旋转运动所形成的表面。

平面是以一直线为母线，以另一直线作平移运动所形成的表面。

这些表面可分别用图 2—1 所示的相应加工方法获得。由图可知，加工时刀具与工件必须有一定的相对运动，即切削运动。

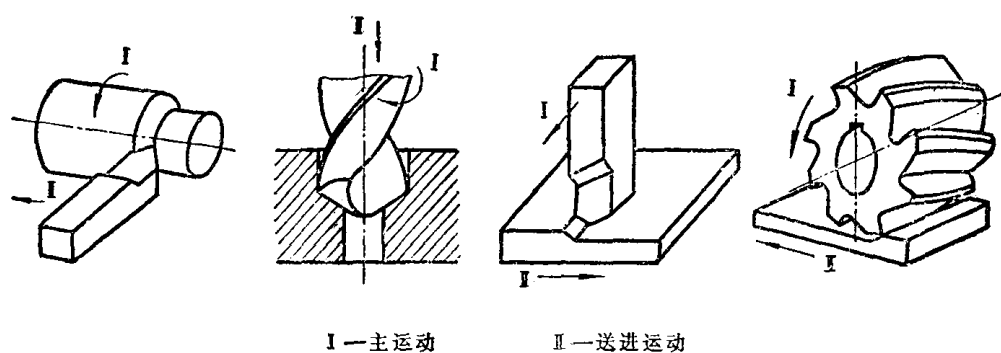


图 2—1 切削运动方式

切削运动分为两类：主体运动（图中 I）和送进（进给）运动（图中 II）。

主体运动——切下切屑所需的基本运动；

送进运动——使金属层不断被切削，从而加工出完整表面所需的运动。

切削运动有旋转的，也有直行的；有连续的，也有间断的。

主体运动和送进运动，可以由刀具和工件分别完成，也可由刀具单独完成，可以同时动作，也可以交替动作。

二、切削要素

切削要素是切削用量和切削层几何参数的总称。

（一）切削用量

切削用量是用来表示切削运动中各个量的大小。例如在车削时，车床的转速，车刀切入