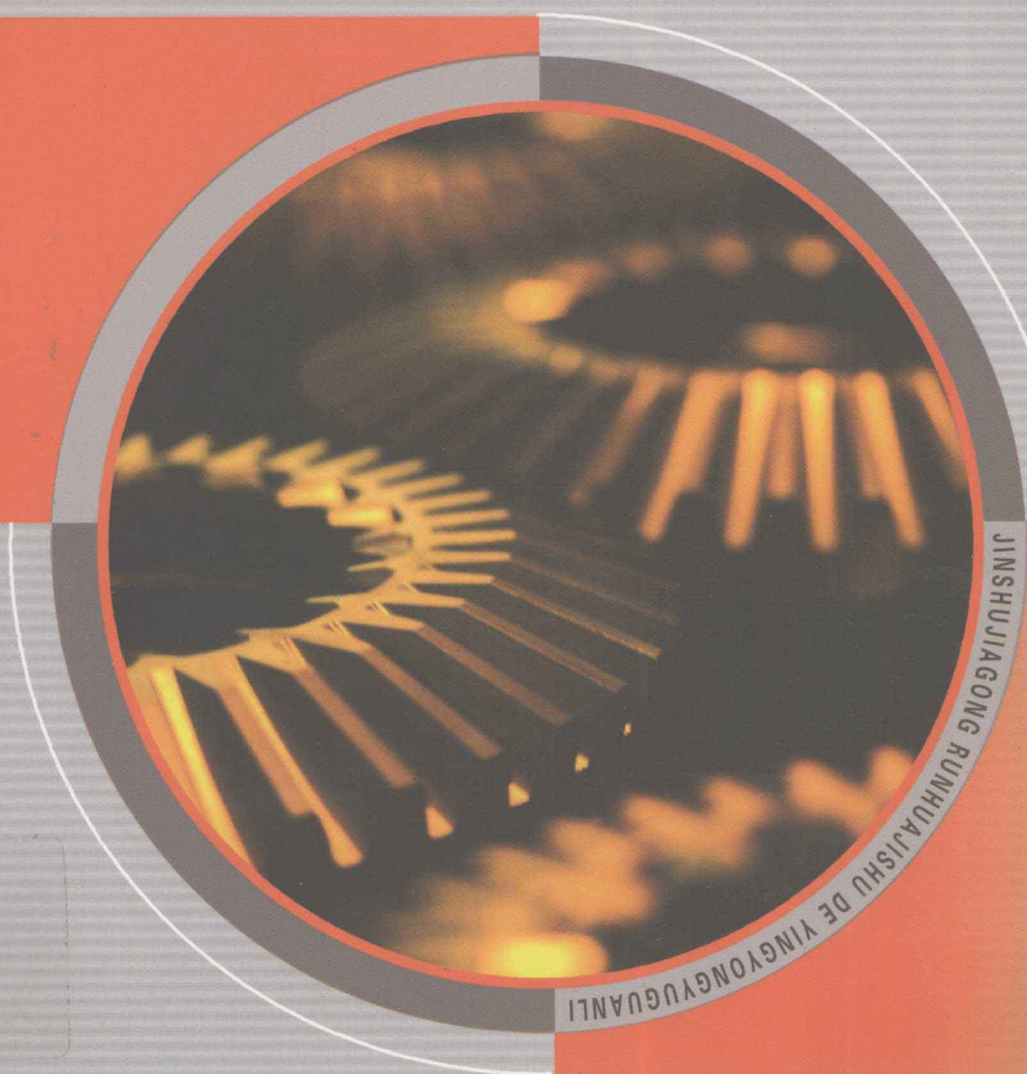


金属加工润滑技术的 应用与管理

潘传艺 张晨辉 编著



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

金属加工润滑技术的应用与管理

潘传艺 张晨辉 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了金属加工润滑技术的应用与最新发展。内容涉及金属加工润滑技术,结合大量的实际应用案例,分类详细论述了切削加工液和塑性加工润滑剂的选择与应用,叙述了金属加工润滑剂检测方法与评价手段,突出介绍了金属加工润滑的管理,最后介绍了金属加工润滑技术的最新发展和相关标准。突出新材料、新技术与新案例式的应用是本书最大特色。

本书适用于从事金属加工润滑剂研究与应用的工程技术人员、使用和销售金属加工润滑剂的相关销售人员以及化验员使用和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

金属加工润滑技术的应用与管理 / 潘传艺, 张晨辉编著.
—北京: 中国石化出版社, 2010. 8
ISBN 978 - 7 - 5114 - 0547 - 0

I. ①金… II. ①潘… ②张… III. ①金属加工 - 润滑剂
IV. ①TE626. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 177792 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 19.75 印张 496 千字

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

定价: 48.00 元

前 言

金属加工润滑剂是润滑剂产品中一个非常重要的分类,虽然其产量只占润滑剂总量的百分之几,但其品种、牌号却占润滑剂总量的80%。金属加工润滑剂与机械加工、现代化造业的技术进步息息相关,没有好的金属加工润滑剂,就不可能实现先进的金属加工工艺技术,就不可能造出合格的零件和机械产品;可以说,没有先进的金属加工润滑剂就没有现代化制造业。可见金属加工润滑剂在国民经济中的重要性。

我国原来的机械加工工业比较落后,同样金属加工润滑剂的品种也较少、质量水平较低;许多高端的金属加工润滑剂产品要靠进口。改革开放以来,特别是近十几年来,我国机械加工工业的迅猛发展,特别是汽车制造、冶金、电子信息、航空航天、造船、家电等工业的高速发展,促使金属加工润滑剂的需求总量也翻了几番,随着现代新材料、新工艺的应用,也给金属加工润滑剂提出了更高的要求。国外一些名牌的金属加工润滑剂企业,都纷纷在我国设厂或推广产品,占领高端市场;我国一大批民营金属加工润滑剂企业,也纷纷加入这一行业,金属加工润滑剂市场出现激烈竞争的局面。

然而,金属加工润滑剂的标准化方面仍然是进展缓慢,虽然我国参照国际标准化组织ISO 6743/0—1981 润滑剂、工业润滑油和有关产品(L类)的分类—第0部分:总分组》和GB 498—894 石油产品及润滑剂的总分类》,于1989年制定了国家标准GB/T 7631.5—1989《润滑剂和有关产品(L类)的分类第5部分:M组(金属加工)》分类,但目前无论国外大公司还是中小民营企业,都没有人认真按此标准执行;《合成切削液》GB 6144—85 国家标准是1985年制定的,已较长时间。由于金属加工工艺不同、加工材料的复杂、多变性,制定统一的金属加工润滑剂的国家标准仍需要时间。目前各生产企业都是制定自己的企业标准,或参照国外一些知名公司的标准,这给使用企业造成很大的不便。市场上金属加工液产品质量良莠不齐,许多企业用错油、损坏设备和工件的现象常有发生。还有,由于标准化没有统一,金属加工润滑剂的有些评定和测试方法也存在着不少问题,许多产品好不好用要靠在现场试用,这些都期待着建立统一有效的试验方法。还有,由于价格竞争和观念落后,一些危害环境和人身安全的材料如氯化石蜡、亚硝酸盐、甲醛释放剂等添加剂还在大量使用;一些国内外新型的环保原材料得不到很好的推广使用。此外,金属加工润滑剂的生产和应用,涉及多学科、多专业,无论是生产企业或应用企业都严重缺乏这方面的人才。这些都制约我国金属加工润滑剂产品的开发和金属加工润滑技术应用,制约着整个行业的技术进步。

鉴于目前的现状,笔者根据多年的科研、教学、现场应用的经验,将自己的一些体会和经验奉献与读者。本书侧重点在于金属加工润滑剂的应用技术、新材料、新技术的应用及现场应用案例的介绍,一些国内外评定测试方法的介绍,国外金属加工润滑剂的新发展以及技术营销和现场管理。本书取材新颖,现场资料丰富,应用性较强,非常合适金属加工润滑剂生产企业、应用企业的工程技术人员使用。

本书在编写过程到了中国石化石油化工科学研究院、中国石化润滑油分公司上海研发中心、广东工业大学的多位专家的指导和建议,在此表示衷心感谢!

由于作者水平和时间限制,本书一定还存在着许多不足之处和错漏,敬请读者批评指正!

编著者

目 录

第一章 金属加工润滑技术	(1)
第一节 金属加工工艺特点与润滑	(1)
一、金属加工工艺特点与润滑要求	(1)
二、金属加工润滑剂的作用	(4)
三、金属加工过程的润滑状态	(4)
第二节 金属材料加工与润滑	(6)
一、黑色金属材料加工与润滑	(6)
二、有色金属材料加工与润滑	(14)
三、非金属材料加工与润滑	(17)
第三节 金属加工润滑剂的基础	(19)
一、金属加工润滑剂的组成	(19)
二、金属加工润滑剂的配制与生产	(23)
三、金属加工润滑剂的分类	(26)
第二章 金属切削加工润滑技术的应用	(29)
第一节 概述	(29)
一、切削加工的摩擦与磨损	(30)
二、切削加工的种类	(31)
三、切削加工机床、刀具与材料	(32)
四、切削加工液的作用与分类	(36)
第二节 油基切削液的应用	(41)
一、油基切削液	(41)
二、油性切削液的应用	(42)
三、油性切削液的应用案例	(45)
第三节 水基切削液的应用	(45)
一、水基切削液	(45)
二、水基切削液的应用	(52)
三、水基切削液的应用案例	(62)
第四节 磨削加工液的应用	(64)
一、磨削加工液	(65)
二、磨削加工液的应用	(70)
三、磨削加工液的应用案例	(78)
第五节 电加工液的应用	(79)
一、电加工液	(79)
二、电加工液的应用	(84)
三、电加工液的应用案例	(92)

第六节 金属加工切削液应用的问题解答	(94)
一、油性切削液应用的问题解答	(94)
二、水性切削液应用的问题解答	(95)
第三章 金属塑性成型加工润滑技术的应用	(97)
第一节 概述	(97)
一、塑性成型加工工艺的摩擦与磨损	(97)
二、金属塑性加工的种类	(106)
三、塑性成型加工设备与材料	(109)
四、塑性成型加工润滑剂的作用与分类	(111)
第二节 冲压拉伸润滑剂的应用	(114)
一、冲压拉伸润滑剂	(114)
二、冲压拉伸润滑剂的应用	(115)
三、冲压拉伸润滑剂的应用案例	(122)
第三节 金属轧制加工润滑剂的应用	(123)
一、金属轧制润滑剂	(123)
二、金属轧制润滑剂的应用	(129)
三、金属轧制润滑剂的应用案例	(149)
第四节 金属锻造加工润滑剂的应用	(150)
一、金属锻造润滑剂	(150)
二、金属锻造润滑剂的应用	(153)
三、金属锻造润滑剂的应用案例	(161)
第五节 金属挤压成形润滑剂的应用	(162)
一、金属挤压加工润滑剂	(162)
二、金属挤压加工润滑剂的应用	(166)
三、金属挤压加工润滑剂的应用案例	(175)
第六节 金属拉拔润滑剂的应用	(176)
一、金属拉拔润滑剂	(176)
二、金属拉拔润滑剂的应用	(178)
三、金属拉拔润滑剂的应用案例	(185)
第七节 塑性成型加工润滑剂应用的问题解答	(185)
第四章 金属加工润滑剂测评方法的应用	(187)
第一节 常用的润滑剂理化性能评定及其方法	(187)
第二节 金属加工润滑剂的应用性能测评	(197)
一、概述	(197)
二、金属加工润滑剂的应用性能测评方法	(200)
第三节 金属加工润滑剂的模拟试验与综合性能评价	(210)
一、金属切削润滑剂模拟试验与现场试验	(210)
二、金属成型加工润滑剂模拟试验与现场使用试验	(213)
第五章 金属加工润滑的管理	(219)
第一节 金属加工润滑的管理	(219)

一、金属加工润滑的管理任务	(219)
二、金属加工润滑的管理组织	(220)
三、金属加工润滑的管理制度	(222)
第二节 金属加工润滑剂的使用管理	(224)
一、金属加工润滑剂的管理与维护	(224)
二、金属加工润滑剂的使用安全与环保	(249)
三、废液处理与废油再生处理技术	(251)
第三节 金属加工润滑剂的技术营销	(256)
一、金属加工润滑剂的技术营销案例分析	(257)
二、为客户提供设备与加工的润滑方案	(259)
第六章 金属加工润滑技术的发展	(264)
第一节 金属加工润滑技术的发展	(265)
一、金属加工润滑新材料的发展	(265)
二、金属加工润滑技术的发展新趋势	(269)
三、金属加工润滑剂检测与评价手段的发展	(276)
第二节 金属加工润滑技术标准的发展	(285)
一、金属加工润滑技术标准的历史、现状和发展	(285)
二、中国的金属加工润滑技术标准	(288)
三、其他部分国家的相关标准	(288)
附录	(294)
附录1 润滑油专业词英中文对照	(294)
附录2 润滑油常用缩略语一览表	(300)
附录3 部分常用金属加工液和工业润滑油添加剂	(303)
参考文献	(307)

第一章 金属加工润滑技术

金属加工润滑技术涉及机械加工工艺学、摩擦学与润滑科学、材料力学、流体力学、应用数学、热力学等多个学科，在金属加工过程中，在机床、工件材料、模具或刀具、加工材料以及操作工熟练程度等各项同等条件下，合理应用金属加工润滑技术，正确选用金属加工润滑材料，可以减少摩擦、降低磨损，延长模具、刀具或砂轮的使用寿命、降低工件表面粗糙度，提高加工精度，从而达到降低生产成本，提高经济效益的目的。

第一节 金属加工工艺特点与润滑

一、金属加工工艺特点与润滑要求

(一) 金属切削加工工艺特点及其润滑要求

金属加工工艺种类繁多，根据其加工工艺特点大致可分为切削加工和塑性成形加工两大类，其中切削加工是金属加工中最常见、应用最广泛的一种。根据金属加工的不同要求，切削加工可分为切削及磨削等。金属切削过程就是由机床提供必要的运动和动力的条件下，用刀具(或磨具)切除(或磨削)坯件上多余的金属，从而获得形状、精度及表面质量都符合要求的工件的过程。在切削加工过程中，由于工件材料、切削用量以及刀具等切削条件的不同将对切削过程中的金属变形、切削力、切削温度、刀具磨损、表面粗糙度等现象产生了不同程度的影响。金属切削的润滑不同于一般部件的润滑，是由于切削加工工艺的特点决定的。下面从切削工艺过程解释其工艺特点及其润滑要求，切削工艺过程示意简图见图1-1。

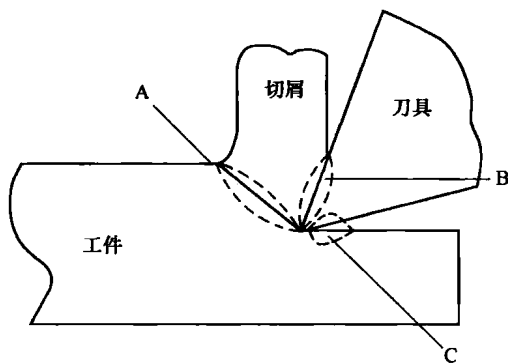


图1-1 切削工艺过程示意图

图1-1中A区为被切削金属的剪切变形区，在该区域存在着金属变形的种类及状态问题，即是存在着被切削材料的应力-应变特性和强度的问题。B区是切屑底面和刀具前刀面发生摩擦的区域，存在着摩擦、润滑和磨损的问题。C区是刀具后刀面与已加工表面发生摩擦的区域，存在着工件的尺寸精度，加工表面粗糙度及变质层的问题。

切削加工时，A区和B区是切削热的主要来源；切削脆性金属时，C区是切削热的主要来源。通常，金属切削过程中的热主要是由于塑性变形和接触摩擦产生的，而金属塑性变形属于金属的内摩擦，严格来说，切削过程中的热是金属的外摩擦和内摩擦造成的，可以使的切削区达到很高的温度。因此，根据这个工艺特点，切削液的冷却和润滑性能的要求显得十分重要。

切削过程的特点是被切削金属层在切削刃的切割和前刀面的推挤作用下进行的。由于刀

具施加到被加工件上的压力远远超过其弹性极限,而造成被加工件的塑性变形,被切削金属层经过塑性变形转变为切屑,切屑以最高可达 3000MPa 的压力作用在前刀面上,同时以较高速度沿前刀面流出。切屑的内表面和已加工表面都是在切削过程中形成的,这种因切削不断暴露出来的新生金属表面往往在尚未来得及与切削液中极性物质形成吸附保护膜时,就立即与刀具表面接触,并在高温高压下不断擦除消耗刀具表面原有起润滑作用的冷却液吸附膜,而造成两摩擦表面间的熔着粘附,从而使刀具磨损增加,工件表面质量下降。在切削加工中,切屑与前刀面的接触时间极短(磨削时,接触弧的时间约 $0.04\mu\text{s}$),并且与刀具只接触一次就以很高的速度沿前刀面流出,为防止摩擦面的熔着粘附,要求切削液中的极压抗磨剂与金属表面的化学反应能瞬时完成。切削液中成分与金属在切屑离开刀具表面后继续进行的化学反应,对于改善切削过程的润滑已经不起作用。由此可见,切削液的极压抗磨性对其性能影响重大。

切削液若要进入切削刃尖部位起润滑冷却作用,首先需经过切屑与前刀面、已加工表面与后刀面的楔形空间。由于切屑和工件相对于刀具的运动方向与切削液进入切削区的方向正好相反,这样就使得切削液难以进入切屑区,造成切削液浸入的困难,特别是钻孔作业,一般在高速条件下,切削液很难在切削区停留,因此切削液的渗透性对其性能好坏具有极大的影响。切削液从刀背部浸入,流到刀具的两侧,进而从侧面扩散,能够快速渗透到刀尖区,其注入方式和流量也是需要考虑的因素。

在切削过程中,要使切削温度和切削力得到最大限度的降低,提高刀具寿命和工件尺寸精度及表面质量,除选择最佳切削条件和最佳刀具材料及其几何角度等外,只有认识和掌握了切削加工过程的工艺特点,才能正确认识金属切削过程的润滑要,从而合理地选用切削加工液。

(二) 金属塑性成形工艺特点及其润滑要求

金属塑性成形工艺与切削加工工艺的有很大的差别,塑性成形工艺的种类也比较多,因而金属的塑性成形过程中的对工艺润滑的要求,与切削加工的润滑相比也有所不同。

1. 金属塑性成形工艺的摩擦特点

(1) 金属塑性成形是在比较高的接触压力下产生的摩擦,接触面上压力高,润滑油薄膜易破裂,接触界面润滑比较困难。

(2) 金属在塑性变形的过程时,一部分塑性变形功转化为热量,连同相对滑动摩擦产生的热量,共同使金属材料 and 模具升温,如不锈钢板料在室温下进行拉深的过程中,局部的温度也可高达 400°C 以上。金属塑性成形中产生的高温使润滑剂的黏度变稀,改变了摩擦条件,给润滑工作带来很大的困难。

(3) 金属板材在面积成形过程中不断有少量新的金属表面出现,而金属材料的体积成形将产生大量的新生金属材料表面,新的金属表面的物理、化学性能与原先的金属表面不同,若没有润滑剂薄膜的保护,易与模具发生黏着现象,增加润滑难度。

(4) 模具在金属塑性成形中的摩擦是一种非稳定的间断性摩擦,模具接触表面的不同部位的摩擦都不相同。

(5) 许多金属体积成形工艺需要加热,加工时的摩擦表面也处于高温状态。

(6) 在金属板材塑性变形的过程中,还存在有利摩擦的部位,该部位的摩擦力有利于金属材料的流动变形。对于有利摩擦的部位,不能够涂覆润滑剂。在金属的塑性成形过程中的有害摩擦将给金属板料的塑性成形带来很多不利影响,摩擦减少了金属材料的流动范围,使

金属材料过多地集中在局部产生变形。其结果是：当局部变形超过材料的变形能力时，材料将会发生断裂，加工终止，从而减少了金属材料的整体变形能力；摩擦力还会改变金属的变形方式，如筒形件的扩口与缩口，当摩擦力比较大时，筒形件将会产生轴向受压失稳而使加工失败。通常随摩擦力的增加还需要提高材料的成形力，从而增加设备的能耗；摩擦还将使模具产生磨损，降低模具的使用寿命。

为适应各种塑性成形加工工艺特点，塑性成形润滑剂配方不仅应该种类繁多而且性能各异，以便能在各种比较恶劣的摩擦条件下起到润滑作用。

2. 塑性成形工艺润滑剂的要求

(1) 降低接触面的摩擦阻力。降低摩擦阻力可以降低能耗，能使金属材料均匀变形，增大金属材料的变形能力。

(2) 降低工件与模具的磨损。工件的适度磨损通常是允许的，但所有形式的磨损都是有害的，润滑剂应将工件的磨损限制到允许的范围内，同时降低模具的磨损，并且磨损的生成物不能有腐蚀性，以便提高模具的使用寿命。

(3) 分离模具与金属坯料表面。理论上认为，塑性成形工艺润滑剂应该起到隔离接触表面的作用，它应尽可能把模具和工件表面完全分离，防止金属间直接接触。

(4) 降低模具表面上的压痕。即使在局部区域失去润滑剂而不再连续时，模具表面的压痕也不应加速扩张。在环境发生变化时，塑性成形工艺润滑剂也应该能保持其润滑效能以阻止已形成的压痕再扩张。

(5) 保护新旧金属表面。因为在金属塑性成形过程中将不断出现新的金属表面，新的金属表面的物理-化学性能与原金属表面不同，要求润滑剂即使在新旧表面化学活性可能完全不同的情况下，也能有效地将它们覆盖住，从而能获得最佳粗糙度的工件。即塑性成形润滑剂应具有良好的浸润性和伸展性，能沿金属新生表面迅速延展。

(6) 快速响应的性能。塑性成形工艺润滑剂必须在实际加工过程中极短的时间内发挥作用。在产生新生表面的情况下，润滑剂必须能够在新生的金属材料表面上迅速成膜；当润滑剂发生损耗时，新生表面能否得到保护是润滑剂快速响应功能的体现。

(7) 塑性成形工艺润滑剂薄膜有一定的持久性。在模具表面形成的润滑剂薄膜，最初是通过粘附在工件表面上的形成隔离膜而起作用，部分后来转移到模具表面继续起润滑作用，能承受住连续的和反复的挤压。

(8) 有很好的成分和性能稳定性。塑性成形工艺润滑剂在规定的使用周期内不应随时间和重复使用的影响而发生性质的变化。其性质应不受温度、氧化、细菌侵蚀和工业上不可避免的污染的影响，保持稳定。

(9) 冷却性好。利于对工件、模具温度起到冷却、调节与控制的作用、提高模具的使用寿命以及产品质量。

(10) 绝热性好。在热加工过程中，润滑剂应在工具和工件表面间起到绝热作用，在一定程度上降低热加工件的热损失并防止模具过热。

(11) 有适当的闪点及着火点，避免在塑性成形中的挥发过快或起明火燃烧，丧失润滑能力，同时也有利于实现安全生产。

(12) 对变形金属和设备不存在有害作用(如腐蚀、生锈等)。

(13) 便于使用和去除。润滑剂应该有较长的储存寿命，加工工艺过程应易于使用，润滑剂及其残留物应易去除。

(14) 易于处理。润滑剂能经过适当的处理后, 最好能够反复使用, 润滑剂处理时产生的废液废料对环境无害。

(15) 价格低廉, 资源丰富, 特别对于大量使用的润滑剂配方, 其组分材料必须尽量选用自然界储量丰富的材料。

(16) 润滑剂在制造、使用、储存的过程中无毒, 不对操作者及周围的环境产生不良的影响, 储存及运输方便并安全。

在金属的塑性成形过程中, 由于加工方法的不同、变形金属的力学性能的不同以及加工工艺条件的不同, 金属塑性成形工艺对润滑剂的要求也不尽相同, 应依据不同的工况条件配制出不同类型或不同组分的润滑剂, 供选择使用。

二、金属加工润滑剂的作用

金属加工润滑的目的是在刀具(模具或砂轮)与加工工件两摩擦副相对运动的表面间加入润滑剂从而减少磨损和降低能耗, 减少磨损, 延长刀具(模具或砂轮)使用寿命, 保证加工设备正常运转。各种金属加工润滑剂的作用, 均有它的侧重性和针对性, 因此, 要根据具体情况, 抓住主要矛盾, 兼顾其他方面, 合理地选用加工润滑剂。金属加工润滑剂的作用主要有以下几方面:

(1) 控制摩擦。润滑剂的首要作用是控制摩擦。润滑剂在摩擦副相对运动的表面间形成润滑吸附膜, 将摩擦表面隔开, 使两表面间的摩擦转化成抗剪强度较低的油膜分子之间的内摩擦, 从而控制摩擦阻力和能耗。由于各种金属加工润滑剂的种类、组成、理化性能的不同, 所起润滑作用也有所不同。对于大多数金属加工过程, 金属加工润滑剂的作用是降低摩擦, 但润滑剂摩擦力并不是越低越好, 一些成形工艺, 比如轧制或拉拔等, 材料和模具会因为摩擦力太低, 难以咬合, 加工无法进行。

(2) 减少磨损。在摩擦表面形成的润滑吸附膜, 可以减少表面磨损及划伤, 保证零件的表面精度, 降低模具和刀具的损耗。

(3) 冷却作用。采用液体润滑剂进行循环润滑, 可以将加工过程产生的热量带走, 降低温度。

(4) 防止腐蚀。目前绝大多数金属加工润滑剂都添加有防锈剂或防腐蚀剂, 可起到防止或减缓金属表面腐蚀的作用。加工工件以及机床表面的润滑吸附膜可以隔绝空气、水蒸气及腐蚀性气体等环境介质对摩擦表面的浸蚀, 防止或减缓生锈。

(5) 其他作用。根据金属加工工艺的不同特点和要求, 金属加工润滑剂还可以具有其他作用, 如清洗作用, 随着润滑剂的流动, 可将加工工件摩擦表面上的污染物、切屑、磨屑等冲洗带走; 有的金属加工润滑剂还可起密封作用, 防止冷凝水、灰尘及其他杂质的侵入, 同时与接触的密封材料、油箱油漆的相容; 金属加工润滑剂还应具备良好的稳定性, 在存储和使用中不应产生沉淀或分层、析油、析皂、老化; 对细菌和霉菌有一定抵抗能力, 不易长霉、发臭、变质。不损坏涂漆零件, 对人体无危害, 无刺激性气体; 在使用过程中无烟、雾或少烟雾; 便于回收, 低污染, 废液放的排处理简单, 经处理后能达到国家规定的工业污水排放标准等。

三、金属加工过程的润滑状态

金属加工过程中两摩擦副表面之间(刀具与工件)的润滑方式或状态, 可根据润滑膜的

形成机理和特征分为 5 种：流体动压润滑；弹性流体动压润滑；流体静压润滑；边界润滑；干摩擦或无润滑状态，前三种有时也称统为流体润滑。这 5 种类型的润滑状态，借助斯特里贝克(Stribeck)摩擦曲线，将所形成的润滑膜的厚度与表面粗糙度综合值进行对比，可以正确地判断。

图 1-2 是典型的斯特里贝克曲线与润滑类型。由图可以看到，根据两对偶表面粗糙度综合值 R 与油膜厚度 h 的比值关系，可将润滑的类型区分为流体润滑、混合润滑和边界润滑。表面粗糙度综合值可计算而得：

$$\bar{R} = (\bar{R}_1^2 + \bar{R}_2^2)^{1/2}$$

式中 $\bar{R}_1, \bar{R}_2$ ——两对偶表面的相应粗糙度值 R_a 或 R_z 。

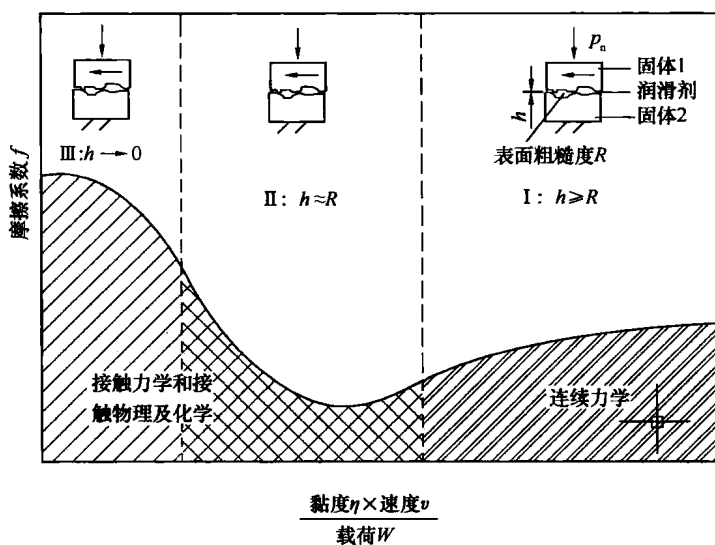


图 1-2 斯特里贝克曲线与润滑类型

1. 流体润滑

相当于曲线右侧一段。在流体润滑状态下，润滑剂膜厚度 h 和表面粗糙度综合值的比值 λ 约为 3 以上，典型膜厚 h 为 $1 \sim 100 \mu\text{m}$ 。对弹性流体动压润滑，典型膜厚 h 为 $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ 。摩擦表面完全为连续的润滑剂膜所分隔开，由低摩擦的润滑剂膜承受载荷，磨损轻微。

2. 混合润滑

几种润滑状态同时存在时，相当于曲线中间一段，比值 λ 约为 3，典型膜厚 h 在 $1 \mu\text{m}$ 以下，此状态摩擦表面的一部分为润滑剂膜分隔开，承受部分载荷，也会发生部分表面微凸体间的接触，以及由边界润滑剂膜承受部分载荷。

3. 边界润滑

相当于曲线左侧一段，比值 λ 趋于 0 ($0.4 \sim 1$) 时，典型膜厚 h 为 $0.05 \sim 0.001 \mu\text{m}$ ，此状态摩擦表面微凸体接触较多，润滑剂的流体润滑作用减少，甚至完全不起作用，载荷几乎全部通过微凸体以及润滑剂和表面之间相互作用所生成的边界润滑剂膜来承受，同时产生大量的热，这种润滑状态就叫做边界润滑。理想的润滑基本上取决于金属表面上的化学膜。

4. 无润滑或干摩擦

当摩擦表面之间、润滑剂之间润滑剂的流体润滑作用已经完全不存在，载荷全部由表面

上存在的氧化膜、固体润滑膜或金属基体承受时的状态称为无润滑或干摩擦状态。一般金属氧化膜的厚度在 $0.01\mu\text{m}$ 以下。

随着工况参数的改变,可能导致润滑方式与状态的转化,润滑膜的结构特征发生变化,摩擦系数也随之改变,处理问题的方法也有所不同。有金属加工润滑剂的情况下,两摩擦副的微观润滑方式如下图 1-3。

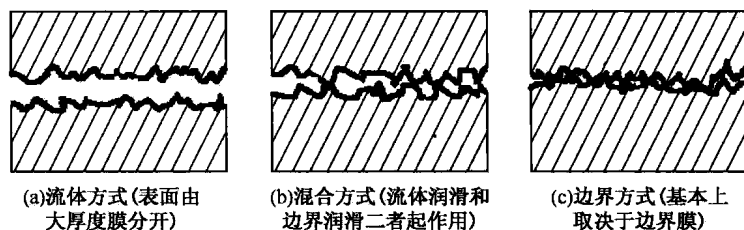


图 1-3 两摩擦副微观润滑方式

金属切削加工润滑最终表现的是边界润滑。金属剪切所产生的温度和压力对形成和维持连续的液体膜极为不利。在切削力特别大的地方,如攻螺纹和拉削工序,切削润滑剂中的某些化学物质必须与金属表面起化学反应,以便产生低剪切强度的理想化合物,以使切削刀具能以较小的力穿透,同时产生的摩擦热可使烧结和产生的积屑瘤减小到最低程度;如果切削不特别剧烈,切削力较小,那么工件表面不需要产生化学反应,而切削润滑剂中的组分能形成物理吸附膜即可。而对于金属塑性成形加工润滑,理想的润滑状况是流体润滑方式,这样模具与成形材料两摩擦副不会直接发生摩擦磨损,就能够避免工件表面划伤和保护模具,但由于大多数金属塑性成形加工两界面存在很大压力,实际上很多情况下润滑剂的润滑方式状态比较接近混合润滑。

为使金属加工润滑剂在金属加工过程中能够提供合适润滑方式,应根据具体情况采用合适的金属加工润滑剂供给方法。包括:润滑剂的加注方向和方式、供液量(流量)等。金属加工润滑剂供给方法选得恰当与否,直接影响金属加工润滑剂性能的发挥及刀具寿命和加工质量。对于塑性成形加工,润滑剂的用量也应该保证能够形成润滑吸附膜提供足够润滑保护。

第二节 金属材料加工与润滑

金属材料是最基础的加工材料,也是目前国民经济中使用量大、最为重要的材料品种之一,包括各种金属及其合金。金属材料种类繁多,按传统习惯分成黑色金属材料和有色金属材料两大类,其加工性能不同,因而对润滑的要求也不同。

一、黑色金属材料加工与润滑

黑色金属材料包括铸铁、钢、铁合金和生铁。黑色金属材料的应用最为广泛,钢铁及其合金材料占整个结构材料和工具材料的 90% 以上,因为其工程和加工性能优越,价格便宜,故是最重要的工业材料。

(一) 钢的加工与润滑

1. 钢的分类与加工性能

钢是由生铁经冶炼而成的。含碳量低于 2.1%, 其杂质(主要是 S、P)含量降低到规定

标准。钢的种类很多,按照钢的外形、化学成分、品质、冶炼方法和用途等的不同,可对钢进行多种方法的分类。

(1) 根据化学成分分类,钢材可分为非合金钢、低合金钢和合金钢。这三者的合金元素量界限值见表 1-1。

表 1-1 非合金钢、低合金钢和合金钢合金元素规定含量界限值

合 金	合金元素规定含量界限值/%		
	非合金钢	低合金钢	合金钢
Al	<0.10		≥0.10
B	<0.0005		≥0.0005
Bi	<0.10		≥0.10
Cr	<0.30	0.30 ~ 0.50	≥0.50
Co	<0.10		≥0.10
Cu	<0.10	0.10 ~ 0.50	≥0.50
Mn	<1.00	1.00 ~ 1.40	≥1.40
Mo	<0.02	0.05 ~ 0.10	≥0.10
Ni	<0.30	0.30 ~ 0.50	≥0.50
Nb	<0.02	0.02 ~ 0.06	≥0.06
Pb	<0.40		≥0.40
Se	<0.10		≥0.10
Si	<0.50	0.50 ~ 0.90	≥0.90
Te	<0.10		≥0.10
Ti	<0.05	0.05 ~ 0.13	≥0.13
W	<0.10		≥0.10
V	<0.04	0.04 ~ 0.10	≥0.12
Zr	<0.05	0.05 ~ 0.12	≥0.12
La 系(每一种元素)	<0.02	0.02 ~ 0.05	≥0.05
其他规定元素(S、P、C、N 除外)	<0.05		≥0.05

① 非合金钢。非合金钢合金元素包括普通碳素钢、优质非合金钢和特殊质量非合金钢。碳素钢是钢中应用最多的、数量最大的一种。常轧制成板材、型材及异型材,用于一般结构和工程。

优质非合金钢当中:低碳钢(C 含量 <0.5%)由于塑性、韧性及焊接性能优良,主要用于轧制薄板、钢带、型钢及拉丝等。08F 多用于制造各种冲压件。如搪瓷制品、汽车外壳零件等。15、20、20Mn 是常用的渗碳钢,可用于制造对强度要求不高的渗碳零件如机械装置、汽车或拖拉机的齿轮、凸轮、活塞销等。中碳钢(C 含量 0.25% ~ 0.60%)与低碳钢相比,强度较高而塑性、韧性稍低,多轧制型钢;或经调质处理后用于制造轴类零件,因此也称高质钢。45 钢是应用得十分广泛的中碳钢。高碳钢(C 含量 >0.60%)具有较高的强度、硬度、弹性和耐磨性。多生产型钢,主要用于制造机器的易磨损零构件和弹簧等,如农机的犁铧、耙片、轧机轧辊及减振弹簧、坐垫弹簧等。其中 65Mn、70Mn、70、75、80、85 钢属于特殊质量非合金钢(弹簧钢)。

优质碳素结构钢一般在供货合同中注明了加工方法,按加工方法分成压力加工用钢(热压力加工、冷锻等)和切削加工用钢。

冷锻钢是主要用于制造螺钉、铆钉、销钉的优质碳素结构钢。冷锻钢中含 S、P、Si 等杂质少,保证冷锻性能及热处理后的力学性能。

易切削结构钢是加入某些元素来改善钢的切削加工性能，以适于在机床上进行高速切削的钢种。常用改善切削加工性能的元素有 S、Pb、Ca 等，其中以 S 最常用。S 在钢中形成 MnS，MnS 很脆，并有一定润滑作用因而切屑易于碎断，工件表面光洁度高，可减少刀具磨损，提高切削速度。易切削结构钢中虽然含 S、P 较多，但在这类钢中是作为有益元素加入或保存下来，因此，属于优质钢。易切削钢用作生产标准件如小型螺丝、螺母、油泵、手表、计算机和打字机零件，以及机床光杠、丝杠等。易切削结构钢牌号用“Y”加钢号表示。

② 低合金钢。低合金钢在钢中加入少量合金元素，由于合金元素的强化作用，低合金结构钢的屈服点比普通碳素钢高 25% ~ 150%，加上大多碳含量低，因而具有良好的塑性、韧性和焊接性能，有的还具有耐腐蚀、耐低温等特性。常用于铁路、桥梁、船舶、汽车、锅炉和压力容器，也常用作焊接结构和机械构件等。

③ 合金钢。合金钢分为优质合金钢和特殊质量合金钢。优质合金钢和特殊质量合金钢，在生产过程中都需要严格控制质量和性能。下面介绍常用几种合金钢：

a. 弹簧钢 弹簧钢用于生产各种板簧和螺旋弹簧或类似零件（如轧辊等）。要求必须有高的屈服强度和疲劳强度，不易脱碳，有良好的表面质量，具有一定的淬透性和良好的工艺性能。有的弹簧还要求耐热、耐腐蚀等。弹簧钢含碳较高。

b. 轴承钢 轴承钢主要用来制造滚动轴承内外套圈、滚珠、滚粒、保持架等，此外，在量具、冷作模具、低合金刀具、柴油机高压油泵件等方面也有广泛应用。轴承钢种类较多，如高碳铬钢、不锈钢、高温钢、渗碳钢、无磁轴承钢等。渗碳轴承钢牌号用“G”为汉语拼音字头，后数字表示含碳的百分数，Cr 元素后数字表示铬含量名义百分数，后面用元素符号及其名义含量百分数表示。

c. 合金结构钢 一般工程结构用合金钢属优质合金钢，俗称“合结钢”。主要用于制造机械结构件，大多经热处理后使用。

d. 高速工具钢 为满足切削过程中，刀具线速度达 80m/min，刀具硬度 HRC > 60 的要求，在高碳钢中加入大量 W、Mo、Cr、V、Si、Mn 等合金元素，以提高其耐热性和耐磨性而获得高速钢。Cr、Si、Mn 提高钢的淬透性，同时 Cr、Si 还能提高回火稳定性；Mn 可减小淬火变形；这类钢主要用于制造车刀、刨刀、铰刀、拉刀等刀具及量规、样板、千分尺、塞规等量具。耐冲击工具钢有 C4Cr2Si、5CrW2Si、6CrW2Si，属中碳钨系钢。通过降低含碳量以增加韧性，加入钨提高钢耐磨性，用于制造受冲击载荷大的工具，如冷作模具、顶锻模、风凿等。W 和 Mo 可提高钢的热硬性，W 可提高耐磨能力，细化组织，在回火温度 500 ~ 600℃ 下，W、Mo 析出并生成 Mo₂C、W₂C，发生二次硬化，可保持 HRC60 的硬度。其耐用度约为通用型高速钢的 1.5 ~ 3 倍。高速工具钢也叫高速钢，其牌号表示方法同合金钢。它们适用于切削加工奥氏体不锈钢、高温合金、钛合金和高强度钢等难切削材料。

高性能高速工具钢（以下简称高工钢）中 W18Cr4V 是世界上最早生产，也是最常用高工钢，用来制造各种刀具，如车刀、插齿刀、扩孔钻、钻头等。但由于碳化物偏析严重、热塑性低等，限制了进一步使用。CW6MoCr4V2 是以 Mo 代 W 的 Mo 系高速钢，其碳化物分布均匀，热塑性好，价格便宜。

如果增加高速钢的含碳量，得到高碳高速钢如 95W18Cr4V、100W6Mo5Cr4V2 等，可以提高钢的硬度、耐磨性和耐热性。这类高速钢适于做耐磨性高的铰刀、铰钻、丝锥和钻头，用于切削加工不锈钢、钛合金等，耐磨性比普通高速钢高 2 ~ 3 倍。

在高速钢中加钴，得到钴高速钢，可以显著提高其热稳定性（645 ~ 650℃）和硬度

(HRC67), 改善其导热性(可增加 20% ~ 30%)及磨加工性能。钴高速钢的牌号有: W6Mo5Cr4V2Co、W8Mo5Cr4V2Co、W9Mo4Cr4V2Co3 等。钴高速钢主要用于切削镍基耐热合金和铸造高温合金。刀具耐用度为 W18Cr4V 的 1.5 ~ 3 倍。

含钒量在 3% 以上的高速钢称为高钒高速钢。钒与钢中的碳形成大量的碳化钒。碳化钒的硬度高(HV2800), 使高速钢的硬度提高(HRC65 ~ 67), 耐磨性和耐热性均好, 耐热性比通用高速钢高(637 ~ 640℃)。它主要切削纤维、硬橡胶、塑料等对刀具磨损比较大的材料和不锈钢、耐热合金、高强度钢。主要牌号有: W12Cr4V4Mo、W6Mo5Cr4V3、W9Cr4V5。由于它含钒量高, 磨削性能不好, 不宜作复杂刀具。

在高钒高速钢中加入适量的钴, 可以综合高钒高速钢耐磨性能好和钴高速钢高温硬度好的优点。它的硬度为 HRC66 ~ 68, 600℃ 高温时的硬度比通用型的高速钢高 HRC5.5。牌号有: W9Cr4V5Co5、W12Cr4V5Co5。这种高速钢主要适用于切削不锈钢、耐热合金、镍基和钴基高温合金及铸造高温合金等难切削材料。

硬度达到 HRC67 ~ 70 的高速钢称为超硬高速钢。这种高速钢主要用于切削加工高温合金、难熔金属、钛合金、超高强度钢和奥氏体不锈钢等难切削材料。牌号有: W10Mo4Cr4V3Al、W7Mo4Cr4V2Co5、W2Mo9Cr4VCo8 (M42)、W6Mo5Cr4V2Al (501)、W12Mo3Cr4V3N(V3N)、W18Cr4V4SiNbAl(B212)、W6Mo5Cr4V5SiNbAl(B201)等。

e. 模具钢 模具钢用于制造成型模具, 包括冷作模具钢、热作模具钢、无磁模具钢和塑料模具钢等。

(2) 根据外形分类, 钢材按还可分为型材、板材、管材、金属制品四大类。我国目前将钢材分为十六大品种。国内钢材根据外形分类见表 1-2。

表 1-2 国内钢材外形分类

类 别	品 种	说 明
型 材	重 轨	每米质量大于 30kg 的钢轨(包括超重机轨)
	轻 轨	每米质量小于或等于 30kg 的钢轨
	大型型钢	普通钢、圆钢、方钢、扁钢、六角钢、工字钢、槽钢、等边和不等边角钢及螺纹钢等, 按尺寸大小分为大、中、小型
	中型型钢	
	小型型钢	
	线 材	直径 5 ~ 10mm 的圆钢和盘条
	冷弯型钢	将钢材或钢带冷弯成型制成的型钢
	优质型材	优质圆钢、方钢、扁钢、六角钢等
板 材	其他钢材	包括重轨配件、车轴坯、轮箍等
	薄钢板	厚度等于和小于 1mm 的钢板
	厚钢板	厚度大于 1mm 的钢板。可分为中板(厚度大于 1mm 小于 20mm 的钢板)、厚板(厚度大于 20mm 小于 60mm)、特厚板(厚度大于 60mm)
	钢 带	也叫带钢, 实际上是长而窄的钢带并成卷供应的薄钢板
管 材	电工硅钢薄板	也称中硅钢片
	无缝钢管	用热轧、热轧冷拔或挤压等方法生产的管壁无接缝的钢管
	焊接钢管	将钢板或钢带卷曲成形, 然后焊接制成的钢管
金属制品	金属制品	包括钢丝、钢丝绳、钢绞线等

(3) 根据不同用途分类, 可以把钢分成结构钢、工具钢和特殊用途钢。

① 结构钢。结构钢可分为工程结构钢和机械结构钢。工程结构钢主要是指用作建筑、铁路、桥梁、容器等工程构件用钢。机械结构钢指机床、武器等零构件。

② 工具钢。主要是来制造各种工具如量具、刀具、模具, 对制成的工具都要进行热处理。

③ 特殊性能钢。特殊性能钢是指制成的零构件在特殊条件下工作, 对钢的物理、化学、力学等性能有特殊要求。常用的有不锈钢、耐热钢、电工硅钢、电子纯铁及各种精密合金(软磁合金、硬磁合金、弹性合金、膨胀合金、热双合金、电阻合金、电偶材料等)。

a. 不锈钢。不锈钢以其良好的耐腐蚀性能而得名, 它主要合金成分为铬和镍。铬在氧化介质中能生成致密坚韧的钝化膜, 能有效地阻止了合金的进一步氧化。在铬钢中加入镍, 可提高合金在非氧化性介质中的耐腐蚀性能。当铬、镍含量一定时, 钢中碳含量愈低, 其耐腐蚀性能就愈好。不锈钢的耐腐蚀性能还与基体组织的均匀程度有关。当形成均匀一致的合金固溶体时, 能有效地减少钢在电解溶液中的腐蚀速度。

奥氏体不锈钢属铬镍系不锈钢, 具有良好的耐蚀性、低温韧性、压力加工和焊接工艺性、无磁性, 广泛用作腐蚀介质中工作的低温钢和无磁钢。铁素体型不锈钢因为含有铬, 在加热和冷却过程中有相变发生, 是硝酸、氮肥工业常用的防腐材料。马氏体不锈钢含碳量较高, 淬透性好, 淬火后获马氏体组织。低碳不锈钢韧性好, 可制造在腐蚀介质中工作的耐冲击零件; 高碳不锈钢用于制造弹簧、轴承、手术刀片等。由奥氏体和铁素体两相混合组织为基体的不锈钢是双相不锈钢, 它具有强度高、韧性好、耐晶间腐蚀等优点。

b. 电工钢。也称硅钢, 是含碳量低于 0.05% 的铁硅二元合金。具有铁损小、矫顽力小、磁导率和磁感应强度高等特点, 是常用作短暂或反复磁化的材料。硅对电工钢磁性影响显著, 当纯铁中加入 3.0% Si 时, 硬度和强度明显提高。通常硅含量不超过 4.5%, 否则太硬, 不易加工。硅钢主要用于电机、变压器、电器、电工仪表等电力工业用, 多轧成 0.3mm、0.35mm、0.5mm 薄板, 有热轧和冷轧两种。冷轧硅钢薄板形状均匀、表面平整, 无氧化膜, 有利于提高组装质量和效率。

电工硅钢的牌号用汉语拼音字母和两组数字表示, “DR”表示热轧, “DQ”表示轧取向(钢的各方向的磁性差别很小)。第一组数字表示硅钢板的铁损值的 100 倍, 第二组表示硅钢板轧制厚度的 100 倍。

2. 钢材加工的润滑

由于钢材普遍的强度和硬度较高, 加工润滑有相应的要求, 应根据钢材的物理、力学性能进行综合分析分级, 同时考虑钢材的高温强度和硬度、微观组织硬度、金相组织和化学性能对钢材加工性的影响, 才能为钢材加工的提供合适润滑条件。

通常把材料在切削加工时的难易程度称为该材料的切削加工性。根据这个定义, 钢材或其他材料的切削加工性, 不仅取决于钢材本身的成分、结构、性能和状态, 而且也取决于切削条件。切削不同材料时, 在相同的条件下, 刀具耐用度也各不相同。如果我们把刀具耐用度定为一样, 那所采用的切削速度就有高有低, 切削速度高的材料, 切削加工性就好, 反之则差。工程上以切削未淬火的 45 号钢时的刀具耐用度 $T = 60\text{min}$ 、切削速度 $v_c = 60\text{m/min}$ 的切削加工性定为 1, 作为比较基准, 将其他材料在相同条件下的切削速度的比值, 称为此材料相对 45 号钢的相对切削加工性。表 1-3 ~ 表 1-5 分别表示了材料的相对切削加工性等级、典型难切削材料的相对切削加工性以及工件材料切削加工性分级。