

叶茂盛
编著

金属切削

液



金属切削液

叶茂盛 编著



机械工业出版社

内 容 提 要

本书扼要介绍了金属切削过程及其润滑特点。详细阐述了切削液的作用机理、分类与组成、添加剂性能、配方与配制、性能指标与评定方法以及切削液的选用原则、使用方法与管理。

本书主要读者对象为机械加工行业工程技术人员与工人；切削液生产厂的有关人员；学校中金属切削专业师生亦可参考。

金 属 切 削 液

叶茂盛 编著

*

责任编辑：余茂祚 版式设计：霍永明

封面设计：肖 晴 责任校对：姚竹青

责任印制：王国光

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码：100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $8^{7/8}$ ·字数194千字

1996年12月第1版·第2次印刷

印数 2 251—4 750·定价：12.00元

*

ISBN 7-111-03812-6/TG·837

序

金属切削液是金属切削加工的重要配套材料。有效地使用切削液,则可提高切削速度30%左右;降低切削温度100~150℃;减少切削力10%~30%;延长刀具寿命4~5倍;减小表面粗糙度值;并能降低成本。随着切削技术的发展,切削液的作用日益为人们所重视。

金属切削的历史始于18世纪后期,欧洲出现了车床和镗床。最初,金属切削以很低的速度进行,没有采用切削液。1883年,美国F·M·Taylor将水浇注切削区,可以提高切削速度、排除切屑。随后为了防止水锈蚀和改善其润滑性能,在水中加入电解质(如苏打),制成电解质水溶液,紧接着出现了肥皂水溶液。由于切削技术的进步,采用当时非常廉价的矿物油作为冷却润滑液:因为它能在金属表面形成润滑膜,减少切屑与刀具前刀面及工件与刀具后刀面之间的摩擦,降低切削力,提高表面质量。

由于切削力和切削温度不断提高,人们又采用了动、植物油作为切削液。它们在金属表面形成比较牢固的吸附膜,提高工件的加工质量。但动、植物油易氧化变质,使用期限较短,又为食用油,因而发明了脂肪油与矿物油掺合的复合油。后来,含硫、氯、磷等有机化合物和其他添加剂的非活性极压油和活性极压油应运而生。它们与金属起化学反应,形成高熔点、低剪切强度的固体润滑膜,提高了在高温、高压下降低摩擦和抗烧结的能力。

随着切削速度和切削温度的不断提高，油基切削液的冷却性能不能完全满足切削要求，这时人们又开始重新重视水冷却的优点，把油的润滑性能 and 水的冷却性能结合起来，促使乳化液的应用。现在又发展了合成液和半合成液（即微乳液），且分别形成了系列产品。

近十几年来，由于切削技术的不断提高；先进的自动化、精密机床的不断涌现；刀具和工件材料的多样化，对切削液的要求也越来越高。因此，国内外对切削液的研究非常活跃，对其作用机理进行深入的研究，并不断提出新论点，如Kramer效应，Rehbinder效应、电解化学作用等；同时，对于切削液的性能指标与评定方法、加注的方向和方式以及管理等方面进行深入的探讨。

当前国内外切削液发展的趋势是：① 从油基切削液向水基切削液转移。如英国1980年水基切削液需求量占切削液总量的38%，1990年上升为58%，美国为60%；我国水基切削液用量也逐年增加；② 水基切削液以完全不含油，用酯或醚的人工合成的离子型切削液为主攻研究方向，如英国Shell NetalineGC类，美国Polerchip336F、Wymis911-1，日本W₂与ボラーカット400-NN，奥地利Alpha-100等均属这类离子型切削液；③ 卫生、安全和环保条例促使金属切削液向“无公害”或“低公害”方面发展；④ 一些合成型添加剂获得广泛应用，以取代动、植物油类添加剂，多效能切削液品种日益增多。总而言之，切削液的发展前景是广阔的。

人们为了学习和掌握切削液方面的知识，渴望获得这方面的书籍，然而这类专著极少。为满足读者需要，本人将搜集的国内外有关文献资料和多年来从事切削液技术工作的经验系统编写成册，期望能起到抛砖引玉的作用。书中许多论

点、经验数据、图表来源于书末所附的主要参考资料，在此谨向原作者们表示衷心感谢。本书初稿，承蒙广州机床研究所高级工程师谭淑兰审校，并提出宝贵意见，还得到了机械电子工业部科技司研究员级高级工程师彭学鑫等同志的支持和指导；同时致以谢意。

本书初稿完成后，虽经多方修改，但由于本人学识有限，经验不足，难免有不少缺点和错误，诚恳希望读者批评指正。

叶茂盛

目 录

序

第 1 章 金属切削过程及其润滑特点.....	1
1.1 金属切削过程	1
1.2 金属切削过程的润滑特点	3
第 2 章 切削液的作用	7
2.1 冷却作用	7
2.2 润滑作用	12
2.3 清洗作用	16
2.4 防锈作用	18
第 3 章 切削液的种类和组成	20
3.1 切削液的分类和组成	20
3.2 油基切削液	21
3.3 水基切削液	26
第 4 章 切削液中的添加剂	33
4.1 添加剂的种类和作用	33
4.2 油性添加剂和极压添加剂	35
4.3 防锈添加剂	53
4.4 防霉添加剂	58
4.5 抗泡沫添加剂	60
4.6 助溶添加剂	61
4.7 乳化剂	61
4.8 乳化稳定剂	68
第 5 章 切削液的配方、配制和新产品	70
5.1 切削液的配方、性能和用途	70
5.2 切削液的配制	98

5.3 新产品介绍	120
第 6 章 切削液的性能指标与评定方法	147
6.1 切削液的理化性能指标	147
6.2 理化性能指标评定方法	149
6.3 切削液的力学性能指标	159
6.4 切削液力学性能指标的评价方法	161
第 7 章 切削液的选用	176
7.1 按工件材料性质选用	176
7.2 按加工要求不同选用	182
7.3 按机加工操作特性选用	184
7.4 按刀具材料选用	185
7.5 按机床种类选用	190
7.6 切削液推荐选用表	192
第 8 章 切削液的使用方法	222
8.1 切削液加注方向	222
8.2 切削液加注方法	223
第 9 章 切削液的管理	233
9.1 切削液的使用管理	233
9.2 切削液的废液处理	244
9.3 安全卫生管理	253
附录 A 技术标准	256
附录 B 试验方法	262
参考文献	273

第1章 金属切削过程及其润滑特点

金属切削涉及材料力学、应用数学、热力学、流体力学、物性学等各种学科，与切削液也密切相关。为了更好地叙述切削液方面的知识，有必要对切削过程与切削过程的润滑特点作简要介绍。

1.1 金属切削过程

金属的加工方法繁多，其中切削加工是金属加工中最常见、应用最广泛的一种。根据工件的形状、精度及表面质量的不同要求，金属切削加工可分为车、铣、钻、刨、镗、铰、拉、齿轮切削、螺纹切削及磨削等。尽管这些具体加工方法各有特点，但它们却有一个重要的共同点，都是用带刃口（研齿除外）的工具（即刀具和磨具）切削金属。这一点也是金属切削加工区别其他加工方法的特殊性。所谓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。见图1-1。

〔A〕为第一变形区，又称剪切区，在该区域存在着变形的种类及状态问题。也就是存在着被切削材料的应力-应变特性和强度的问题。

〔B〕为第二变形区，即是切屑和刀具前刀面发生摩擦的区域，在此区域存在着摩擦、润滑和磨损的问题。

〔C〕为第三变形区，即是刀具后刀面与已加工表面发生

摩擦的区域，在这里存在着工件的尺寸精度，加工表面粗糙度及变质层的问题。

在切削加工过程中，切削用量（包括切削速度，切削深度和进给量）和刀具的几何参数，不是孤立的、抽象概念的东西，而是具体的统一有机体，它们对金属切削加工有着内在的、本质的影响。

例如，被切削的金属会产生不同程度的变形而形成不同种类的切屑；有时轻快，有时沉重；有时平稳，有时振动；有时刀头和工件烫手，甚至烧伤切削刃和工件表面，而有时切削区的温度较低，工件表面可以

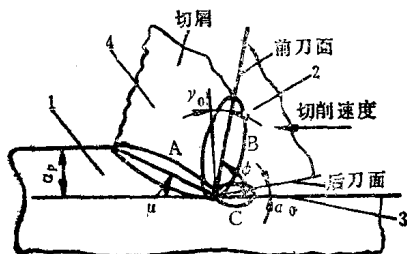


图1-1 切削过程示意图⁽¹⁾

1—工件 2—刀具 3—已加工表面

4—切屑

γ_0 —刀具的前角 α_0 —刀具的后角 ϕ —
切削角 μ —剪切角 a_p —切削深度

用手触摸；有时刀具很快被磨损甚至崩刃，而有时却磨损很慢；有时已加工表面粗糙度细，符合工艺要求等，而有时已加工表面粗糙度粗，不符合工艺要求等。所有这些，都是因为工件材料，切削用量以及刀具等切削条件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。

金属变形、切削力、切削温度、刀具磨损和工件表面质量随切削条件的变化规律是金属切削过程的基本规律，直接关系到刀具的寿命、加工尺寸精度和表面粗糙度、切削效率及切削加工的经济性。因此，只有认识和掌握了切削过程的基本规律，才能了解和掌握最佳切削用量和刀具几何参数以

及切削液的选择原则。

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，合理地选用机械加工工艺的重要配套材料即切削液也是一个重要途径，有时甚至起着决定性的作用。因此，对切削液进行深入研究和合理使用，不仅在目前，就是在将来较长的一个时期内，仍然是金属切削加工中的一个普遍问题。

1.2 金属切削过程的润滑特点

金属切削的润滑与一般部件的润滑有许多不同的地方，这是由于切削过程的特点决定的。

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。由于往被加工件上施加的压力远远超过其弹性极限，而造成被加工件的塑性变形或称永久性变形。所以工具与被加工件之间的单位面积上的压力，比一般被润滑部件的弹性极限以内的表面压力大得多。被切削金属层经过塑性变形转变为切屑。切屑以很大的压力（最高可达 $2000\sim 3000\text{MPa}^{(2)}$ ）作用在前刀面上，并以较高速度沿前刀面流出。

由于被切削金属的塑性变形区（图1-1A区），切屑底面与刀具前刀面接触摩擦区（图1-1B区），以及刀具后刀面与已加工表面的摩擦区（图1-1C区），在切削过程中都要产生热量。所以切削区的温度很高。切削塑性金属时，第一变形区和第二变形区是切削热的主要来源；切削脆性金属时，第三变形区是切削热的主要来源。由此可知，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,所以严格地说,切削过程中的热是金属的外摩擦和内摩擦造成的。其摩擦热比只有外摩擦的一般部件润滑时大得多,可以达到摄氏数百度以上的温度。因此,对于高温下的切削,冷却和润滑显得十分重要,而一般部件润滑几乎不存在冷却问题。

一般被润滑的部件,绝大部分能量用以做功,只有较少部分能量转化为热能。而切削过程所消耗的能量,除创生面的表面能、加工面和切屑中的残留应变能等占 $1\% \sim 3\%$ ^[1]外,97%的工作能量都转化为热能。其中 $2/3$ 的能消耗于塑性变形, $1/3$ 的能消耗于刀具与切屑、刀具与工件的摩擦^[3]。由于切削刃区域极小,热量高度集中,故有时切屑与刀具界面温度很高切削时可达 800°C ,磨削时可达 1200°C ^[4]。刀具在高温下其硬度、强度大幅度下降,使用寿命急剧缩短,有人认为刀具寿命和切削时刀具温度的20次方成反比。例如用高速钢刀具在特定条件下切削,当刀具与切屑界面平均温度由 650°C 下降到 600°C 时,刀具的寿命可以由57min增加到150min^[2]。

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表面(一般被润滑的部件无初生面可言)往往在尚未来得及在周围介质中吸附氧、水及其他极性物质时,就立即与刀具表面接触,并在高温高压下不断擦试刀具表面,将刀具表面原有润滑作用的吸附膜逐渐擦净,而造成两相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。为防止摩擦面的熔附,^[5]故要求优良的极压剂能以足够的速度和摩擦表面反应形成极压润滑膜,迅速地覆盖瞬间出现的新生金属表面,这就要求反应相当强的化合物作极压剂。通常在切削液中加入可溶性的氯、硫、

磷等极压抗磨剂，这些添加剂在高温高压下与金属表面起化学反应形成固体化学膜，起到边界极压润滑作用，在很大程度上防止了切屑与刀具间的金属紧密接触，从而避免了金属熔着粘结。现已证明这种固体润滑膜的化学反应一般是在金属表面吸附的氧和水等参与下进行的，对于新生的金属表面这类反应的进行则困难得多，造成了油性极压剂在切削过程中起良好润滑作用的一个不利因素。

对于一般的被润滑的部件来说（如轴承、齿轮、轧钢等），润滑剂是随着摩擦表面运动被携带接触区的，摩擦表面的运动方向有利于形成具有静压力的油楔。例如轴与轴承的摩擦部分的表面压力下，由于曲率效果（楔形效果），润滑油很容易流入摩擦部位。但切削过程的润滑则不同如图1-1所示，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。但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，所以构成了妨碍油楔形成和切削液不易进入切屑区的不利条件。因此，人们一方面考虑切削液的加入方式和流量，另一方面考虑切削液从两侧面浸入。其切削液浸入的困难程度也是一般部件的润滑油所不能比拟的。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，切削液的渗透性对其性能好坏具有极大的影响^[5]。

另外，在切削加工中，切屑以很高的速度沿前刀面流出，与前刀面的接触时间极短（磨削时，接触弧的时间约 $0.04\ \mu\text{s}$ ^[1]），并且与刀具只接触一次，因此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，对于改善切削过程润滑实际上不起作用。这种情况与一般部件的润滑也是不同的。一般部件的润

滑是金属表面上有一层氧化薄膜，或者附着一层有机物，在不变的摩擦面上通过反复移动或旋转动作完成。例如齿轮啮合时间极短，但因其不断周而复始地循环，油性极压剂可以在数个循环周期逐步完成。由此可见，在切削过程中使用油性极压添加剂改善切削液的性能必须考虑其反应速度，也就是说反应速度越快越好。而反应速度又与切削液的渗透能力和其中添加剂的活性以及被切削金属的化学活泼性有着密切关系。

第2章 切削液的作用

切削液,一般是以液体的形式加到切屑形成区,用来改善切削条件(与干切削条件相比)。改善的情况是多种多样的,它取决于刀具材质和几何形状及其热处理方法、工件材质、切削液类型,并在很大程度上取决于切削条件。使用切削液的具体目的是:① 延长刀具寿命;② 保证和提高加工尺寸精度;③ 改善加工面,降低工件表面粗糙度值;④ 随时排除碎切屑,洗净加工面;⑤ 迅速均匀地冷却加工的刀具、工件和机床有关部件;⑥ 防止工件和机床腐蚀或生锈;⑦ 提高切削加工效率;⑧ 降低能耗和生产成本。

为实现上述目的,故要求切削液具有多种功能。对具体加工来说,切削液的各种功能相对重要性有所不同。但绝大多数金属切削过程都要求切削液具有冷却、润滑、清洗和防锈四方面的基本功能。每种功能都有其独特的意义。并且在一定范围内可以由某些已知的物质或组成来实现它。

2.1 冷却作用

由第1章可知,切削热是由切削过程中金属变形和摩擦所消耗的功转变而来。图1-1所示的三个变形区就是产生切削热的热源:即被加工材料的弹、塑性变形所消耗的功转变的热和刀具前刀面与切屑底层摩擦所产生的热以及刀具后刀面与加工表面摩擦所产生的热。产生这些热量除去以辐射的形式散出去的部分外,均用于加热刀具、切屑及加工表面,

使之温度升高。温度升高虽然有着产生热软化使切削力降低及积屑瘤消失的有利方面，但更重要的还是加剧了刀具的磨损、缩短了刀具寿命、在已加工表面生成热变质层，从这些方面来看，通常认为温度上升是有害的。因此，切削过程中三个变形区所产生的热量除分别由切屑、工件、刀具和周围介质如空气传出外，还应采用切削液将切削区的热量迅速带走。切削液的冷却效果有两个方面：即通过润滑对切削机理的影响所体现的冷却及直接冷却。由于切削液的自身冷却能力，其直接冷却作用不但可以降低切削温度，减少刀具磨损，延长刀具寿命，而且还可以防止工件热膨胀，翘曲对加工精度的影响，以及冷却已加工表面抑制热变质层的产生。

冷却作用通常是指切削液将热量从它产生的地方迅速带走的能力。

切削热的传播是通过热传导、热辐射和热对流等方式进行的。热传导的快慢取决于材料的热导率、受热体和切削液的温差、比热容，并与之成正比。金属的热导率为 $1.72 \sim 309.54 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，液体的热导率为 $0.069 \sim 0.52 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，气体的热导率为 $0.004 \sim 0.43 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。其中金属导热速度最快。而各种金属材料热导率大小，依次为纯金属、有色金属、碳素结构钢及铸铁、低合金钢、合金结构钢、工具钢、耐热钢、不锈钢。但在切削加工时主要是用液体或气体来直接冷却的，故热传导对切削液自身冷却能力影响不大。

在切削加工时，由于热辐射作用传出的热量，仅占总热量的极小一部分，故一般很少考虑。

热量由于受热物质的运动，自一处转移到另一处，称为热的对流。对流只有在液体及气体内才有可能。在金属切削时，靠对流能传出大量的热。例如一高速钢W18Cr4V整体刀，

刀具前刀面上的平均温度 400°C , 刀具底面上的温度 50°C 。靠热传导出出的热量, 通过计算, 为 $0.000167\text{W}/\text{m}^2$ (设刀具高为 25mm); 而通过对流传出的热量为 $0.00142\text{W}/\text{m}^2$, 比热传导大8.5倍^[6], 因此, 在切削加工时, 较大一部分热量是靠切削液的对流而传出的。

切削加工时, 由于切削区温度很高, 则切削液部分沸腾、汽化吸收了大量的热, 这种热叫汽化热。汽化热又要比切削液的对流所传出的热大得多。因此, 在使用切削液时, 对某些加工方法来说, 应尽量创造条件 (如喷雾冷却), 使之易于汽化。

通过上面的分析可知, 切削液的冷却作用大小, 取决于热导率、比热容、汽化热、汽化速度、流量及流速 (流速与粘度、压力有关) 等。通常水的热导率、比热容、汽化热比油大, 粘度比油小见表2-1^[2, 7], 所以一般水的溶液的冷却性能最好, 油类较差, 乳化液介于二者之间, 接近于水。

表2-1 水、油性能比较

对比类别	热导率 [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]	比热容 [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	汽化热 (J/kg)	运动粘度 ($20^{\circ}\text{Cmm}^2/\text{s}$)
水	0.628	4184	2259360	1.0
油	0.126~0.210	1674~2092	167360~313800	20~300

图2-1为几种切削液对外圆车削的切削温度影响曲线^[7], 从该图得知, 车削45钢时, 与干切削相比, 乳化液约可降低切削温度 $60\sim 90^{\circ}\text{C}$ 三种切削油约可降低切削温度 $35\sim 60^{\circ}\text{C}$ 。车削GH131高温合金时, 与干切削相比, 乳化液约可降低切削温度 $70\sim 120^{\circ}\text{C}$, 三种切削油约可降低切削温度 $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ 。