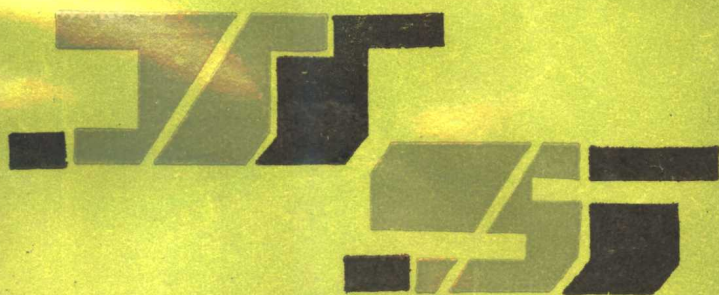


高等学校教材

金属切削学

张铁茂 编著



兵器工业出版社

金属切削学

张铁茂 编著

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书是《金属切削原理与刀具设计》的后续部分，以金属切削应用研究为出发点，力求精简、扼要、系统地阐述金属切削理论与试验研究的基本问题。全书共五章：第一章切削力学；第二章切削热和切削温度；第三章刀具磨损和耐用度；第四章金属切削加工的表面完整性；第五章金属材料的切削加工性。本书阐明了各章的基本理论和数学模型，并用实践范例介绍了有关试验研究方法和经验公式的建立方法，从而把理论与实际，教学与科研结合起来，以利于培养学生分析问题解决问题的能力，提高应用研究的水平。

本书可以作为工科机械类专业研究生、本科生的试用教材或教学参考书；对于科学工作人员、工程技术人员、试验工作人员均有参考价值。

本书由顾祖端主审，经机械电子工业部兵工教材编审室审定，同意作为部级教材出版。

金 属 切 削 学

张铁茂 编著

机械工业出版社 出版

北京市海淀区车道沟10号)

店总店科技发行所发行

各地新华书店经销

北京昊海印刷厂印装

开本：787×1092 1/32 印张：8.375 字数：183千字

1991年4月第1版 1991年4月第1次印刷

印数：1200 定价：2.15元

ISBN 7-80038-313-X/TG·21(课)

前 言

金属切削加工是机械制造业中应用最久也最广泛的加工方法，到目前为止仍不失为机械制造的主要方法。即使对于工业比较发达的美国，传统的机械加工方法所占的重要地位，在短时期内也不会改变。苏联对美国机械工业发展趋向的评论指出：“美国机械工业一直到2000年或者更长一些时间，机械产品的基本结构材料仍然是金属，它占材料消耗总量的90%以上。因此，在最近几十年内，传统的机械加工方法仍将占优势。任何在物理—化学性能上采用全新原理的革命性方法，如果要达到工业应用阶段，多半要到20世纪以后”。由此可知，传统的机械加工方法在工业中的主导地位，在最近几十年内是不会改变的。因此，世界各国都在不遗余力地研究金属切削加工方法，并且不断地对其理论进行深入探讨。

60年代末以后先进工业国家已经普遍采用了近代电子测试仪器进行金属切削的研究工作。到了70年代由于电子计算机、电视录相机、红外测温技术、高速摄影机和快速落刀技术等进一步完善与利用，在金属切削的研究方面已由宏观观察进入到微观的定性定量分析研究，从静态研究进入动态研究，从单项因素的研究进入多因素的综合研究。

工业发达国家在金属切削试验研究方面的进展也是很快的。为了提高试验结果的科学性和准确性，国外已普遍采用按数理统计设计的试验方法进行试验设计与数据处理，如因子设计法，正交试验法，响应曲面法，均匀设计法等等。为了节约人力、物力、缩短试验周期，还研究出不少快速切削

EA-6369

试验法。

纵观近年来对金属切削理论研究和试验研究,可以看出,其目的主要是掌握准确的刀具耐用度和它的稳定性,以满足数控机床、加工中心、柔性制造单元和柔性制造系统乃至计算机集成制造系统的需要。研究的课题主要有切削力学、切削温度、刀具磨损和破损、表面质量和切削振动、工件材料的切削加工性和刀具材料的完善与改进等等。有关的研究成果已在生产实践中起到了显著的作用。

本书是《金属切削原理和刀具设计》的后续部分,是硕士研究生“金属切削理论”课程的试用教材,也是本科生毕业班选修课的主要参考书。本书以应用研究为出发点,根据实际情况,力求精简、扼要、系统地阐明金属切削理论与试验研究的基本问题。全书共五章,前三章是切削力学、切削温度和刀具磨损的基本理论和数学模型,并且通过实例介绍有关的试验研究方法以及建立经验公式的方法;第四章介绍了已加工表面完整性理论和用机械加工方法提高表面完整性的措施,本章还用实例介绍了“通过加工表面粗糙度的在线检测,监测刀具磨损”的试验研究方法;第五章工件材料的切削加工性,除了阐述材料切削加工性的一般理论之外,还研究了碳钢切削加工性的基本规律,在此基础上阐述了合金钢和难加工材料切削加工的规律性。

本书可作为高等工科院校机械专业硕士研究生教材和本科生毕业班选修课的主要参考书,并可供工程技术人员参考。

在编写本书过程中,得到了沈正功教授、邓子琼教授、艾兴教授、杨惠民教授、奚克勤教授、桂一夫副教授等人的热情指导,我院机械制造试验室协助作了大量实验,在此一

并表示感谢。

由于本人理论水平和实践经验所限，书中错误和不当之处在所难免，诚望读者批评指正。

张铁茂

于华东工学院机械制造系

1990年6月

目 录

第一章 金属切削力学	(1)
第一节 概 述.....	(1)
第二节 金属切削过程.....	(4)
一、变形区的划分.....	(5)
二、金属切削过程中的变形规律.....	(6)
三、切削变形程度的表示方法.....	(8)
四、金属切削时的摩擦.....	(12)
第三节 剪切角及其解法.....	(16)
一、剪切角的概念.....	(16)
二、剪切角的理论计算.....	(17)
三、剪切角试验求法.....	(23)
第四节 切削力.....	(25)
一、切削力的理论研究.....	(25)
二、切削力的试验方法.....	(30)
第二章 切削热和切削温度	(36)
第一节 切削热的产生和传递.....	(36)
一、切削热的产生.....	(36)
二、运动材料中的热传递.....	(38)
第二节 切削温度的理论计算.....	(40)
一、第一变形区的温度.....	(41)
二、第二变形区的温度.....	(43)
三、应用实例.....	(44)

第三节	切削温度的测量方法	(48)
第四节	刀具-工件热电偶的标定	(51)
一、	试验材料	(52)
二、	影响热电关系的因素	(53)
三、	一般规律	(58)
第五节	标定硬质合金刀片-工件热电偶的方法	(59)
一、	标定装置和标定方法	(59)
二、	标定曲线和标定结果	(62)
三、	热电关系一致性检验	(65)
四、	标定方法的评价	(76)
第三章	刀具磨损和耐用度	(77)
第一节	刀具磨损的形式	(77)
一、	正常磨损	(77)
二、	非正常磨损	(79)
第二节	刀具磨损过程及磨钝标准	(80)
一、	刀具磨损过程	(80)
二、	刀具的磨钝标准	(81)
第三节	刀具耐用度及其与切削用量之间的关 系式	(83)
一、	刀具耐用度的定义	(83)
二、	刀具耐用度与切削用量的关系式	(84)
三、	刀具耐用度经验公式的局限性	(86)
第四节	刀具耐用度的理论分析	(88)
第五节	刀具耐用度的试验方法	(102)
一、	刀具耐用度标准试验法——外圆车削法	(102)
二、	刀具耐用度快速试验法	(103)

第六节 刀具磨损试验研究实例·····	(111)
一、试验条件的选择·····	(111)
二、切削速度与刀具耐用度、切削行程的关系·····	(114)
三、试验方案及试验结果·····	(115)
四、刀具耐用度的表达式·····	(119)
五、数据处理的计算机程序框图及计算结果 分析·····	(131)
第四章 金属切削加工的表面完整性 ·····	(139)
第一节 表面完整性概念·····	(139)
一、表面完整性的定义及已加工表面层的组成·····	(139)
二、评定表面完整性的试验方案·····	(141)
第二节 已加工表面粗糙度·····	(143)
一、表面粗糙度产生的原因·····	(143)
二、理论粗糙度与实际粗糙度·····	(145)
三、表面粗糙度与零件使用性能的关系·····	(147)
第三节 工件已加工表面层内的残余应力·····	(150)
一、残余应力概念·····	(150)
二、切削与磨削加工残余应力·····	(152)
三、残余应力对零件使用性能的影响·····	(161)
四、残余应力的测量方法·····	(162)
第四节 已加工表面层的变形硬化·····	(170)
一、变形硬化的标志·····	(170)
二、已加工表面层加工硬化的原因·····	(171)
三、影响表面硬化的主要因素·····	(172)
第五节 切削和磨削加工表面完整性的控制·····	(176)
一、切削加工的控制·····	(176)

二、磨削加工的控制…………… (177)

三、后期处理…………… (178)

第六节 通过加工表面粗糙度的在线检测监测刀具

磨损…………… (179)

一、研究刀具磨损在线检测的意义…………… (179)

二、表面粗糙度的评定参数和测量方法…………… (182)

三、加工表面粗糙度与刀具磨损的关系…………… (185)

四、用扩充的正交试验法验证 V_B 与 R_z 的关系 (189)

五、加工表面粗糙度在线检测的系统设计…………… (196)

第五章 金属材料的切削加工性…………… (198)

第一节 切削加工性的概念…………… (198)

一、切削加工性…………… (198)

二、材料的相对加工性…………… (199)

三、材料切削加工性快速鉴别法…………… (208)

第二节 碳钢的切削加工性…………… (208)

一、碳素结构钢的化学成分与机械性能…………… (209)

二、碳钢相对加工性与机械性能和金相组织的
关系…………… (209)

三、适合于切削加工的碳钢的机械性能与金相
组织…………… (217)

四、提高碳钢相对加工性的途径…………… (219)

五、加工方式与金相组织和表面粗糙度的关系 (225)

第三节 合金元素在碳钢中的作用…………… (231)

一、合金元素与铁和碳的作用…………… (231)

二、合金元素对热处理的影响…………… (235)

第四节 合金钢的切削加工性…………… (236)

一、合金元素对钢的切削加工性的影响·····	(237)
二、钢中其它常存杂质对相对加工性的影响···	(239)
第五节 难加工材料的切削加工性·····	(240)
一、高锰钢的切削加工性·····	(242)
二、高强度合金钢的切削加工性·····	(243)
三、不锈钢的切削加工性·····	(244)
四、高温合金的切削加工性·····	(246)
五、钛合金的切削加工性·····	(249)

第一章 金属切削力学

第一节 概 述

众所周知，在1776年詹姆斯·瓦特（James Watt）成功地发明了第一台蒸汽机。尽管这是一项伟大的发明，但它不能立即造福于人类。因为在研制蒸汽机的过程中遇到了困难，其中最大困难之一是汽缸铸件的镗孔加工，他用金属薄板试制了第一个汽缸，但这种汽缸不能密封蒸汽，即使在活塞和汽缸之间的间隙中填满布、皮革或油脂也无济于事。若干年后，由于约翰·威尔金逊（John Wilkinson）发明了第一台卧式镗床，才解决了这个问题。在这台镗床上，镗刀装在镗杆上，镗杆支承在汽缸外面的轴承中，镗杆可以穿过汽缸旋转和进给，于是刀尖就形成了一个与铸件毛坯的粗糙度无关的圆柱表面（图1-1）。这台镗床是第一台实用的机床，正是它使詹姆斯·瓦特成功地制成了一台蒸汽机。并引起了第一次工业革命。今天，金属切削技术就是在这第一台镗床的基础上发展起来的。

在第一台机床出现之后约70年，才开始了金属切削的研究工作。这里，只对金属切削的某些较为重要的研究阶段作一简单介绍。

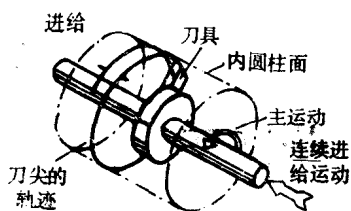


图1-1 在卧式镗床上圆柱面的形成

芬尼 (Finnie) 在一篇关于金属切削研究工作的历史性评论^[1]中谈到：金属切削的早期研究，是由考克夸尔哈特于1851年开始的^[2]，他直接测量了钻削时切下一定体积的材料所

需要的功；1873年哈蒂格 (Hartig)^[3]在一本权威性的著作中，发表了金属切削所需功率的表格。

首先想要解释切屑是怎样形成的人是俄国学者基麦 (Time)^[4] (1870年) 和法国科学家特雷沙 (Tresca)^[5] (1873年)；后来，在1881年，马洛克 (Mallock)^[6] 正确地指出，金属切削过程基本上是剪切工件材料使之成为切屑的过程。他还强调：切除金属时前刀面上的摩擦非常重要[图1-2 (a)]；他还将部分的切屑试样，经抛光和腐蚀做成切屑形成图。其中许多研究成果，与近代理论十分相似，在以后的90年内，这种研究还不断地进行着。

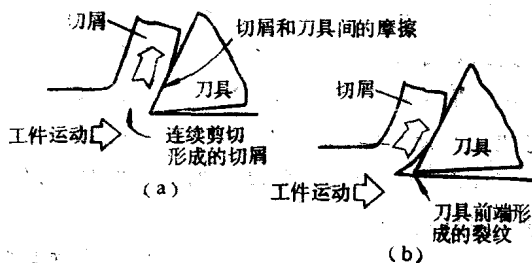


图1-2 切削过程模型

(a) 现在的模型； (b) 过去概念错误的模型。

芬尼提到，在1900年鲁莱克斯 (Reuleaux)^[7]提出：金属切削时，位于刀具的前面存在一个裂纹，其过程就像劈开木头一样。这样，对金属切削过程的理解反而倒退了一步。该理论还提出了一个如图1-2 (b) 所示的切削模型。这是一种流行多年的错误概念。

在1906年，泰勒 (Taylor) 发表了著名的论文^[8]，这篇论文总结了长达26年之久的调查研究与实践成果，泰勒研究了粗加工中刀具材料和切削条件对刀具耐用度的影响，其主要目的是为了寻找切削规律，以便能获得最佳的切削条件。泰勒把高速钢刀具热处理过程（通称为泰勒-怀特热处理过程）的发展，与改进车间管理方法的实验研究结果结合起来，曾使伯利恒钢铁公司的机加车间的生产增加了500%。值得注意的是，泰勒提出的刀具耐用度与切削速度之间的经验公式一直延用到今天，而且还成为研究切削加工的理论基础。泰勒的一个重大发现是：切削区的温度决定刀具磨损的速率。

自从1906年泰勒的论文发表以来，有关金属切削的经验总结和理论著作日益增多：1940~1944年间，B.Д.Кузнецов^[9]以固体物理学为基础，从金属的塑性压缩观点出发，全面研究了金属切削学的物理本质，并阐明，塑性金属的切削过程，本质上是挤压过程；厄恩斯特和麦钱特 (Ernst and Merchant)^[10]在1941年发表了有关金属切削过程的力学问题的著名论文等等。

从60年代以来，美、日、德、英等先进工业国家已普遍采用了近代先进的电子测试仪器进行金属切削的研究工作。60年代末已开始利用高压透射电子显微镜 (HTEM)；在70

年代又应用了扫描电子显微镜 (SEM)、俄歇电子光谱仪 (AES) 和X光衍射仪等仪器设备来研究切削变形、刀具磨损和已加工表面质量; 现在甚至已发展到能在扫描电子显微镜中, 在控制着的温度下, 直接对切削过程作动态观察研究。再加上电子计算机、电视录相机, 各种动态测力仪, 光弹应变仪, 红外测温技术, 高速摄影机和快速落刀技术等进一步完善和发展, 使国外从70年代开始, 在金属切削的研究方面已由宏观观察进入到微观的定性定量分析和研究, 从静态研究进入动态研究, 从单因素的研究进入多因素的综合研究。

近年来许多新兴边缘科学也不断地渗入到切削理论的研究中来。可以举出的如金属物理学中的位错力学 (Dislocation Theory) 已经应用于微观地说明塑性金属切屑的形成; 又如利用动态裂纹的聚集与扩散理论解释脆性金属的切屑形成; 再如激光技术, 计算机技术已使切屑形成机理, 刀具磨损机理的新观点层出不穷, 从而大大地推动了高性能刀具材料的研制和发展, 改善了刀具的切削性能。

第二节 金属切削过程

金属切削过程的研究, 对于切削加工技术的发展 and 进步, 保证加工质量、降低生产成本、提高生产效率, 都有十分重要的意义。因为金属切削加工中各种物理现象, 如切削力、切削热、刀具磨损和耐用度以及加工表面质量等, 都是以切屑形成过程为基础的, 而生产实践中出现的许多问题, 如鳞刺、积屑瘤、振动、卷屑与断屑等等, 都同切削过程中

的变形规律有关。所以，研究金属切削过程，可以通过切削过程中的现象，了解它的本质，掌握它的规律。

一、变形区的划分

根据金属切削层变形情况，可绘制如图1-3所示的金属切削过程中的滑移线和流线示意图^{〔1〕}。对照示意图，可以

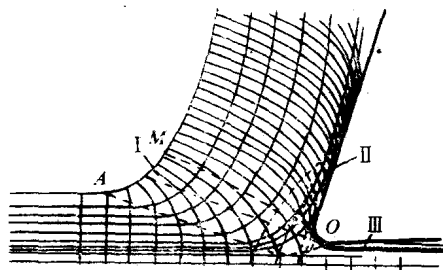


图1-3 金属切削过程中的滑移线和流线示意图

大致划分出三个变形区：

1. 第一变形区

在刀具前面，从 OA 线开始发生塑性变形，至切屑内部到 OM 线，剪切滑移基本完成，这一区域称为第一变形区（图中以Ⅰ表示）。

2. 第二变形区

切屑沿前刀面排出时进一步受到前刀面的挤压和摩擦，使靠近前刀面处金属纤维化方向基本上和前刀面相平行。这部分叫第二变形区（图中以Ⅱ表示）。

3. 第三变形区

已加工表面受到切削刃钝圆部分和后刀面的挤压、摩擦，产生纤维化与加工硬化。这一部分的格子线变形也是较

密集的，称为第三变形区（图中以Ⅲ表示）。

由于第三变形区同已加工表面的形成有较直接的关系，将在第五章中讨论，在这里只讨论第一和第二变形区。

二、金属切削过程中的变形规律

1. 第一变形区内金属的剪切变形

图1-3中的 OA 、 OM 和其他虚线，是等剪应力曲线。当切削层中金属某点 P （图1-4）向切削刃逼近并到达点1的位置时，若通过点1的等剪应力曲线 OA 的剪应力达到材料的屈服强度 τ_s ，则点1在向前移动的同时，也沿 OA 滑移，其合成运动将使点1流动到点2。 $2'-2$ 就是它的滑移量。随着滑移的产生，剪应力将逐渐增加，并超过屈服强度极限 τ_s ，也就是当 P 点向1，2，3，…各点移动时，因而不断滑移，直到点4位置。此后，其流动方向与前刀面平行，不再沿 OM 线滑移。所以 OM 叫终剪切线（或终滑移线）， OA 叫始剪切线（或始滑移线）。在 OA 到 OM 之间整个第一变形区内，其主要特征就是滑移变形，以及随之产生的加工硬化。

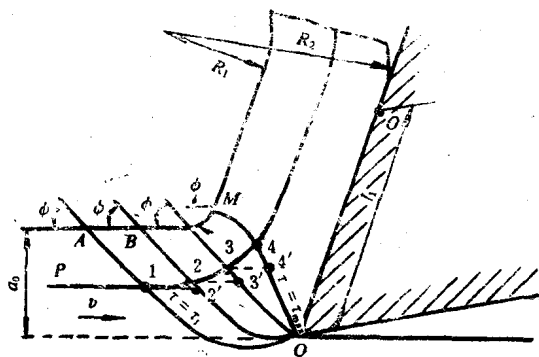


图1-4 第一变形区金属的滑移