

断屑技术

DUANXIE JISHU

庞爱芳 著



国防工业出版社

断屑技术

庞爱芳 著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书是一本断屑技术的学术专著。它是在研究解决国防产品中
大弹体加工的断屑技术的基础上, 经过由实践到理论, 总结提高而
写成的。

本书比较全面系统地论述了切屑的形成、分类、卷曲与折断的
原理, 以及各种有效的断屑方法。重点介绍了作者的研究成果——
变进给断屑机理、各种实现方法及试验结论。这对于断屑理论研
究及生产实践尤其是对难以加工的产品的生产具有重要的使用价值。

本书可供机械制造行业的工程技术人员、大专院校的教
师及生产操作者参考。

断 屑 技 术

庞爱芳 著

责任编辑 崔金泰

*

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

北京昌平长城印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张77/8 202千字

1991年9月第一版 1991年9月北京第一次印刷 印数: 00001-5 000册

ISBN 7-118-00777-3/TG·59 定价: 6.70元

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分，又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展，加强社会主义物质文明和精神文明建设，培养优秀科技人才，确保国防科技优秀图书的出版，国防科工委于 1988 年初决定每年拨出专款，设立国防科技图书出版基金，成立评审委员会，扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是

1. 学术水平高，内容有创见，在学科上居领先地位的基础科学理论图书；在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖，内容明确、具体、有突出创见，对国防科技发展具有较大推动作用的专著；密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的高科技内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值，密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的新技术、新工艺内容的科技图书。

4. 填补目前我国科学技术领域空白的薄弱学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展评审工作，职责是：负责掌握出版基金的使用方向，评审受理的图书选题，决定资助的图书选题和资助金额，以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书，由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就，积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下，国防科工委率先设立出版基金，扶持出版科技

图书，这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版，随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物，是对出版工作的一项改革。因而，评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进，这样，才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授，以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来，为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗！

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金
第一届评审委员会组成人员

主任委员：邓佑生

副主任委员：金朱德 太史瑞

委 员：尤子平 朵英贤 刘琯德
(按姓氏笔画排列)

何庆芝 何国伟 张汝果

范学虹 金 兰 柯有安

侯 迁 高景德 莫梧生

曾 铎

秘 书 长：刘琯德

序

庞爱芳副教授从事断屑技术工作十余年，主要结合兵器工业中大弹体生产的课题任务，提出了“变进给断屑”机理，研制出了多种变进给断屑装置，培养了多届研究生和本科生，其研究成果为国内首创，两次通过部级鉴定，获得国防科工委重大科技成果奖、北京市优秀发明奖及国家专利权，并在大批生产中应用成功，取得了较好的社会效益和经济效益。

目前，金属切削加工正在向高效率、自动化和柔性化方向发展，断屑技术已成为影响生产效益、劳动保护与文明生产等方面的一个重要问题而被尖锐地提了出来，而且也是军工生产和机械加工行业必须认真对待的重要技术问题之一。

关于断屑技术的研究，国内外学者和科技工作者已做了不少工作，其成果散见于有关书刊、文献中，然而迄今尚未见到有这类专著。

本书作者综合了前人和作者本人的研究成果，比较全面系统地论述了切屑形成机理、切屑分类及各种有效断屑方法的原理及装置。重点总结了作者的研究成果——各种变进给断屑装置。这种断屑方法克服了断屑槽断屑法难以适应切削条件变化的缺点，在理论与实践的结合上为断屑技术作出了新的贡献。

本书具有较高的学术水平和实用价值，它的出版将对断屑技术的研究、应用与推广，提高军工产品、机械产品质量和自动化水平，安全生产和文明生产等产生积极的推动作用。

清华大学精密仪器与机械学系

钟寿民 王先逵 1990年3月

前 言

在国防产品生产中,大口径炮弹的生产量很大,其弹体所用材料强度高、韧性大,外形又为曲面,余量不均匀,而且加工中切削用量各参数的变化大,切屑很难折断。在利用一般刀具的断屑槽断屑时,很难以一种尺寸的槽型来达到在切削弹体各部分时都能稳定断屑的目的。在切削过程中高速排出的长屑十分锋利,对人和设备都会造成危害。据了解,在我国有关工厂中,曾多次出现切屑将工人割伤致残的工伤事故,而不断的长屑损坏机床、刀具及加工表面的现象在生产中则屡见不鲜,严重时会影响整个生产线或自动线的正常运行。

为解决上述问题,北京理工大学与有关工厂协作,研究出变进给切削法,解决了难加工材料车削中的断屑问题。在总结经验的基础上,以获得的研究成果为主,参考了国内外有关资料,编写成了《断屑技术》一书。

变进给断屑法是一种不受工件材料、切削用量和刀具几何角度限制的可靠断屑方法,它不仅适用于大弹体、炮管等军工产品加工时的断屑,也同样适合于加工一般机械产品零件时的断屑。用这种断屑方法不仅能可靠保证安全生产和文明生产,而且可使刀具的耐用度提高40%至100%,机床的动态稳定性增加,从而延长机器设备的使用寿命,具有显著的社会效益和经济效益。

本书在编写过程中,得到了清华大学池去病教授、北京理工大学王育民教授、胡永生教授、王信义教授等的关心与指教,在此一并致以衷心的感谢。

由于金属切削过程的复杂性和军工产品的特殊性,使得断屑技术涉及的理论与实践知识很广泛,而著者的水平所限,书中肯定会有不妥或错误之处,诚恳希望读者批评指正。

著 者 1990年3月于北京

目 录

第一章 断屑技术概述	1
一、研究断屑技术的意义	1
二、切屑处理和断屑技术的关系	3
三、切屑处理的评价标准	3
四、各种断屑方法	6
五、各种断屑方法的应用范围及其发展趋向	12
第二章 切屑形成机理及其变形规律	14
一、切屑形成过程	14
二、切屑形状分类及切屑参数	16
三、切屑的流出、卷曲和折断	28
四、影响切屑折断的主要因素	41
第三章 断屑槽断屑法的机理及其槽形设计	45
一、断屑槽形状及其参数	45
二、断屑槽断屑法切屑的折断过程	56
三、利用断屑槽断屑时影响切屑折断的因素	58
四、断屑槽断屑时的断屑条件分析	59
五、切屑厚度 a_0 及其平均曲率半径 R_0 的计算	63
六、被加工材料的机械性能与断屑的关系	66
七、车刀断屑槽的设计方法	67
八、断屑槽断屑法的优缺点及其适用范围	68
第四章 振荡断屑法	70
一、概述	70
二、振荡断屑装置及其工作原理	72
三、断屑条件分析	81
四、断屑条件的验证	86
五、振荡切削中的切削温度	93
六、振荡切削中的刀具耐用度	94

七、振荡切削中的工件表面粗糙度	99
八、振荡切削法的动态稳定性	101
第五章 齿轮-连杆式断屑装置断屑法	117
一、“齿轮-连杆”式断屑装置结构及工作原理	117
二、齿轮-连杆式断屑装置的断屑条件	123
三、齿轮-连杆式断屑装置的切削试验	129
四、齿轮-连杆式断屑装置断屑法的优缺点	135
第六章 车刀摇动断屑法	137
一、概述	137
二、车刀摇动断屑法的基本原理及装置结构	137
三、摇动车削过程运动分析	143
四、刀具摇动车削法工艺试验	169
第七章 其他的断屑方法	202
一、在数控车床上利用变进给程序控制断屑	202
二、双刀切削断屑法	213
三、用声发射技术监控切屑状态	222
参考文献	239

第一章 断屑技术概述

一、研究断屑技术的意义

随着切削加工技术不断向高效率、高精度、自动化等方面发展，使原来不被重视的“切屑处理”问题逐步转变成为生产中必须解决的问题之一。过去在单人、单机、单刀、低速加工的情况下，切屑处理的难易程度虽然也曾作为评价被加工材料可加工性的基本因素之一，但同其它因素如刀具耐用度、切削力、加工表面质量等相比，它往往只处于无足轻重的次要地位。

随着科学技术的发展，宇航工业、机械工业和化学工业等部门正在推广使用高强度、高韧性的难加工材料。与此同时，切削加工也在朝着自动化和省力化方向发展，各种自动机床、专用机床、自动生产线、数控机床、加工中心和柔性制造系统的推广应用以及采用计算机控制和无人化管理等，因而使断屑问题成为影响生产率和加工质量的重要因素。

在“切屑处理”中，通常要求切屑能按一定规律断成小段，因为长的带状切屑具有以下弊端：

首先，长切屑容易伤害操作工人，增加他们工作时的紧张情绪，不利于安全生产和文明生产；

第二，连续不断的带状切屑若缠绕在工件上，会损伤被加工表面，降低其精度和增大表面粗糙度；

第三，在各类机床上加工零件时，由于切屑的堆积会使工作台的移动不平稳，或者由于切屑的热量使机床导轨产生热变形，导致加工精度降低。

在切削过程中，操作者需要经常进行排屑，如果排屑稍不及时，将会造成机床停机，甚至会使整个自动化生产线停产。这种

矛盾在无人化的自动生产工厂就更为突出，如不妥善解决，将直接影响切削加工向自动化、高精度、高效率方向发展。在我国，近几年来某些工厂就是由于不能很好地解决断屑和排屑问题，致使切削加工自动生产线和数控机床不能正式投产。生产中由切屑引起的工伤事故也时有发生。例如，某厂生产的大口径弹体，材料为高强度钢，外形为成形曲面（图 1-1）。生产中采用液压仿

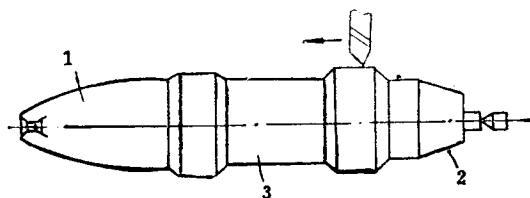


图1-1 弹体外形

1—弧形部，2—尾锥部，3—弹体部。

形车床和带断屑槽的可转位车刀，分粗、精车两个工序进行车削加工。由于弹体的外形特点及性能要求决定了各部分的切削参数（ v ， a_p ， f ）差别很大，使断屑槽起不到断屑作用，影响切屑的折断。高速排出的切屑温度高、强度大，十分锋利，不仅将机床的外观损坏，而且还常常从床头钻出，缠绕在电机上，使电机着火，造成停产事故。操作者及有关人员稍不小心就会被割伤，工作情绪十分紧张。

另外，在弹体头部与尾部的锥体部分，切削中刀具的主、副后面交替地与工件表面接触摩擦，产生尖叫噪声，使车间工作人员十分疲劳。如果增加刀具后角，则会使刀具强度降低，刀具消耗量增加，并降低了劳动生产率。

由于产品的批量大，加之长而不断的切屑体积要十倍甚至几十倍于原材料体积，如不及时处理，会迅速堆积如山，影响车间的正常工作 and 通行。为此，在车间需设置专人处理切屑（勾出，砸断，运走），增加了产品的生产成本。因此，迫切需要一种不受切削条件限制的可靠的断屑方法，以便尽快治理机械加工中因

切屑而引起的公害。这对于保障操作工人的人身安全,保证切削过程的正常进行,提高被加工零件的表面质量和刀具耐用度,实现文明生产和自动化生产都具有重要的现实意义。

二、切屑处理和断屑技术的关系

所谓“切屑处理”,包含着断屑和排屑两方面的内容。大家知道,在切削过程中产生而不断的带状切屑具有上述种种弊端,必须采取各种措施使其能有规律地折断;同时,这些折断的切屑还必须及时地从机床上清除掉,并把它们从车间中搬运出去。由于这些切屑的体积往往比原来的金属体积大许多倍,搬运它们需要花费许多人力、物力和时间,从而影响生产效率和产品成本。另外,在这些切屑中含有大量有用的金属元素,应回收加以利用,这就需要用专门的设备将其破碎、压实,以便回炉提炼。因此,切屑处理应包括断屑、排出、运输、压实成块状并回炉的全过程。

要排除切屑,首先应将它折断。从便于切屑处理的角度出发,对断屑、排屑提出如下几点要求:

- (1) 断屑应可靠,其断屑效果应不受切削条件变化的影响;
- (2) 被折断的切屑应能顺利、无阻碍地排出;
- (3) 排出的切屑不能损伤工件已加工表面;
- (4) 排出的切屑不得四处飞散,伤害操作人员;
- (5) 切屑形状应有规律性,而且体积小,便于清理和运输。

鉴于切屑处理的重要性,许多国家的专家、学者经过长期的努力,已经研制出了许多种断屑方法和排屑系统。下面我们将分别作一介绍。

三、切屑处理的评价标准

在自动化生产中实现断屑,要求在切削时能形成向刀具后刀面和工件待加工表面方向上连续排出大小合适、形状规则、不影响

安全生产并便于清除、运输的切屑。但是究竟什么样的切屑是容易处理的切屑？如何来定量评价切屑的优劣？有关这些方面目前在我国还没有统一的标准。

国外曾提出用下述参数来评价切屑处理的难易程度：

(一) 切屑的容积系数 w_c 。

它定义为

$$w_c = \frac{V_{\text{屑}}}{V_{\text{屑}}} \quad (1-1)$$

式中 $V_{\text{屑}}$ ——切屑占有的总体积(cm^3)；

$V_{\text{屑}}$ ——与切屑同样重量的金属体积(cm^3)。

测定方法是，先用已知容积的容器量出某一数量切屑的体积 $V_{\text{屑}}$ ，然后再求出此切屑的重量 $G(\text{kg})$ ，则它的实体金属体积为：

$$V_{\text{屑}} = \frac{G \times 1000}{\gamma} (\text{cm}^3)$$

式中 γ ——金属的密度 (g/cm^3)。

切屑容积系数 w_c 越小，则切屑处理就越容易。奇欧夫莱·博斯罗 (Geoffrey Boothroyd) 在他所著的《金属切削加工基础及机床》一书中介绍的数据为：

连续不断的切屑 $w_c = 50$

密卷的切屑 $w_c = 15$

良好的切屑 $w_c = 3$

这说明良好的断屑，其切屑的体积约为连续不断切屑所占体积的 $1/17$ 。

据日本精密机械学会介绍的数据为：

连续不断的切屑 $w_c = 100 \sim 500$

密卷的切屑 $w_c = 40 \sim 80$

良好的断屑 $w_c = 5 \sim 23$

在此组数据中， w_c 的绝对值虽与上面一组中的 w_c 值差别较大，但其良好的断屑与连续不断的切屑的 w_c 的相对比值（约为 $1/20$ ）是比较接近的。它们均能说明切屑断与不断对切屑处理的

难易程度的影响是很大的。当然，在具体生产中也并不都是 w 。越小越好。例如，在某些情况下（如脆铜等材料的加工时），切屑若断得太碎，则会到处飞散，影响操作者的安全，同时也会降低机床滑动表面（如导轨等）的配合精度，而且切屑不易清理。

（二）切屑形状系数 C_R

日本学者凑喜代士、豊岛敏雄提出，用切屑的形状系数 C_R 来定量评价用吸尘器处理切屑时的切屑处理难易程度。

$$C_R = L + 17.4G + 4.18w_c \quad (1-2)$$

式中 L ——一根切屑的长度 (mm)，指切屑的纵向、横向长度及高度尺寸三者中的最大长度；

G ——一根切屑的重量 (g)；

w_c ——切屑的容积系数。

C_R 值越小，表示切屑越容易处理。

切屑处理是生产中需要解决的一个实际问题，国内外已有许多人对这一课题进行了研究，如：

（1）日本横滨国立大学中山一雄教授，我国南京航空学院张幼桢教授，哈尔滨科技大学李振加教授等，都对切屑处理问题进行了长期的试验与研究，而且在断屑槽断屑法的理论与实践方面作出了一定的贡献。

（2）日本精密机械学会切削加工委员会，西德切削情报中心 (INFOS)，我国成都工具研究所等学术研究单位及学术团体，多年来都有专门人员从事这一课题的研究。他们在切屑的形成及其形状分类等方面获得了许多研究成果。

（3）国际生产工程学会 (CIRP) 成立了专门小组，对断屑技术进行了系统调查、研究与综合，早在 1979 年就发表了关于切屑处理的综合性调查文章。

但是，由于切削过程的复杂性和加工工艺的多样性，使得这一课题到目前为止还没有得到较完善的解决。当然，上述研究结果对实际生产都有一定的指导意义。下面简要介绍一些国内外目

前常用的断屑方法。

四、各种断屑方法

由金属切削原理可知，在加工韧性材料时，被切削材料是经过第一变形区和第二变形区的变形后从刀具前面脱离而变为切屑的。为简化起见，通常用 OM 线来代表第一变形区，用 OO' 代表第二变形区(图 1-2)。

根据金属材料的强度理论，使连续切屑折断的条件是，加于切屑上的变形力应大于切屑材料的断裂强度极限。

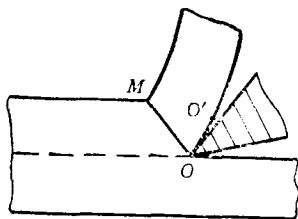


图1-2 切屑形成过程

按照切屑的形成过程及折断条件，可将断屑方法归纳为以下四类：

(一) 在第一变形区内断屑

为使切屑能在第一变形区内受刀具的挤压而剪断，就必须使作用于滑移面上的最大剪应力大于被加工材料的剪切强度极限，并使切屑在第一变形区就脱离材料母体而断裂，形成碎屑(图 1-3)。为此应采用如下措施：

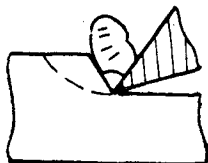


图1-3 切屑在第一变形区内折断

1. 改变被加工材料的性能；
2. 增加切屑变形，如加大进给量，使剪切应力加大。

(二) 在第二变形区内断屑

如果切屑经过第一变形区变形后没有折断，便继续流向第二变形区。若在第二变形区内使切屑的变形量突然增大，就可能使切屑折断。这方面可采用以下方法来实现：

1. 在刀具前刀面上设置断屑槽(或断屑台)，使切屑在第二变形区内突然增大变形而折断(图1-4)。一般可转位刀片均设置断屑槽。

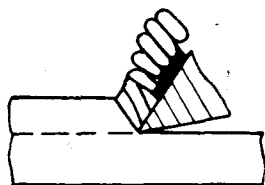


图1-4 切屑碰到断屑台而折断

2. 改变主切削刃形状使切屑变形增加，从而将切屑折断。

(1) 在主切削刃上做出负倒棱 这样不仅可增加刀刃强度，而且可使切削区的变形加大，从而有利于断屑。

(2) 采用双刃倾角刀具 在刀具主切削刃上靠近刀尖处磨出第二个刃倾角 λ_{r2} ，它和刀具前面上的断屑槽相配合，可以起到断屑作用。图1-5所示的双刃倾角刀具，在切削深度 $a_p = 4 \sim 15\text{mm}$ ，进给量 $f = 0.1 \sim 0.35\text{mm/r}$ 时，加工不锈钢的断屑效果较好。

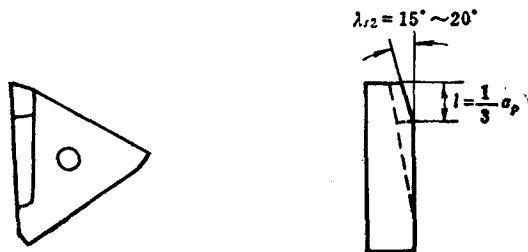


图1-5 双刃倾角刀片

(3) 用搓板形车刀 在切削脆黄铜等脆性材料时，切屑会断成碎片状或针状，飞溅伤人，还可能磨损机床的滑动表面。为了改善切屑形状，可采用如图1-6(a)所示的前搓板形车刀。它