



最新科技入门书

切削学说、理论、 技术及其实践

北京工业大学

陈章燕 著

主要内容：

1. 世界最新切削学说；
2. 国际最新切削理论；
3. 切削三大定律及应用；
4. 各国最先进的切削技术与加工方法；
5. 生产中先进实践经验
6. 桃李芬芳（介绍培养大批农民升助理工程师、工人升工程师全国劳模革新能手以及学生成为专家教授学者、首长、高级工程师的点滴体会……）。



六十年代倪志福同志与
老师、战友在一起留影！

老倪与老师（作者）做世
界学术报告前夕（科学会堂）

北 京 工 业 大 学

版权所有，禁止任何形式
翻印违者必究

目前北京工业大学出版社正在出版一套科技系列丛书《工艺技术宝典》，按机械、电子、化工、环保、建筑和热能等分册，近期出版！希速来预订：100022北京工业大学出版社出版部。集体预订者，优惠20%书价。银行帐号：460148—21工商行北京朝阳区九龙山分理处。

北京工业大学出版社副总编周汝忠

目前全国各省市、有关工厂都纷纷来函，特邀著名刀具专家陈章燕同志亲临现场讲学和切削表演！请邀请单位速寄来1000元订金（作随身带教材、旅差费、邮费之用，多退少补，有发票报销）。银行汇款帐号同上，邮局汇款，请寄（100083）北京航空航天大学家属第十二住宅一单元203号陈章燕同志收。款到即安排讲学日程，切切！

〈书价说明〉

本书初版由作者个人自己投资××××美元，印刷××××册（成本高，4元以上，如印几十万册以上，成本2元以下）大量发行于1991年第一季度。全国各省市技协、技术交流站、各工厂工会、团委会为了提高青年工人大搞技术革新和技术革命，欢迎来信集体预订，保证供给、数量不限（100022）北京工业大学出版社）

目前全国有扬州市技协，江苏省总工会、四川省机械工程师学会来函邀请讲学订书。如江苏省扬州地区高邮水泵厂工会主席陈普高、团委书记高程等很多工厂负责同志来信邀请讲学，订书××××册以上，特此奉告！

作者

1990.6.30

序 言

本书为全国广大机械加工的工人、技术人员以及大专院校、技工学校、高等院校师生提供学习金属切削理论和最新试验方法的科技知识的一本入门书，从生产实践中先进经验提升到科学理论，然后再举一反三地进行分析 and 解决车间切削加工中存在问题。理论严谨，深入浅出，图表文字并茂，文字简明易懂，系统全面介绍世界各国最先进的切削学说、理论、技术和先进经验方法，并配有大量例题和计算，使初学者易于瞭解，启迪读者可立收《学以致用》之效，推动社会主义工业进步，幸莫甚焉！尚祈各界能人群贤者惠予指教，感激不尽！今年六十寿辰，从教四十年贡献小著一本，祝祖国繁荣昌盛，国泰民安，万事如意！

作者陈章燕写于11届亚运会前夕。

目 录

序 言

(一) 金属切削过程的基本学说

1. 机械加工与切削加工有何异同之处?.....(1)
2. 金属切削的含义是什么?.....(1)
3. 刀具切除金属的本质是什么?.....(1)
4. 金属切削的学说有几种呢?.....(2)
5. 金属切屑形成新学说是是什么?.....(5)
6. 金属切削过程中有什么新观点?.....(8)

(二) 金属切削过程的理论

7. 切削过程的理论基础是什么?.....(10)
8. 切屑形成机理 (简称切削机理)(11)
9. 研究切削过程的最新方法.....(11)
10. 切削第一定律 (高速切削法的理论基础)
的确定及其应用.....(13)
11. 切削第二定律 (强力大走刀切削法的理论
基础) 的确定及其应用.....(16)
12. 切削第三定律 (最佳切削温度守恒定律)
理论、规律确定及其应用.....(18)
13. 车工如何在最佳状态 (切削过程最优化)
下干活呢?.....(22)
14. 切削加工性的最新概念.....(23)
15. 急需建立我国切削数据库.....(29)

(三) 金属切削技术

16. 如何节约机床的切削功率? (31)
17. 阶梯切削法 (MSC) 分析和应用 (33)
18. 推广 SSRAC 切削法 (35)
19. 流线型平面刨刀在生产中应用 (39)
20. 热管 (技术) 刀具在生产中应用 (HPTT)
是热管型刀具4个英文字母的缩写) (39)

(四) 机加车间中生产实践

21. 目前生产中钻削力和扭矩公式的分析 (43)
22. 在工厂切削试验室内求钻削力和扭矩 (43)
23. 高速钻削力和扭矩的研究 (45)
24. 在生产中如何应用上述科研成果 (46)
25. 如何提高 Z35 摇臂钻床的生产效率? (46)
26. 世界最先进钻头 (群钻) 的最佳用量 (47)
27. 世界上最先进的端铣刀是哪种型式? (47)
28. 最佳端铣刀设计者巧门在哪里? (50)
29. 铣工如何合理操作、不必重新设计、
制造端铣刀 (生产周期长), 是否可得最佳冲击
状态呢? (50)

30. 近年来国外磨削加工最佳化的新成果是
什么? (50)

31. 磨削力的研究及其在生产中的应用 (51)
32. 近年来国内外切削技术的进展和趋势 (67)

(五) 桃李芬芳

33. 教导学生的思想原则 (75)
34. 培养大批农民升助理工程师 (77)
35. 培养工人提升工程师、劳模等 (78)
36. 培养高工、专家、教授和首长的点滴体会 (79)

(一)金属切削过程的基本学说

1. 机械加工与切削加工有何异同之处？

根据日本著名教授中山一雄先生在日本横浜国立大学的教材《金属切削加工理论》(1985年机械工业出版社)第一章绪论中第一句就指出：所谓切削加工、广义来说为机械加工，所以我国生产中常把机械加工车间和切削加工车间混为一谈，常简称《机加车间》。但从狭义来说，是有异同之处的。机械加工是将原材料加工成产品的过程，其中除切削加工外，还包括铸造、锻造、冲压、焊接和热处理等加工方法。切削加工是指在各种切削机床上将毛坯切去一层金属而得出合乎要求的工件之过程。

2. 金属切削的含义是什么？

根据英国著名教授E.M.特伦特教授著的大学教材《金属切削》第一章导言中指出：利用楔形工具，从较大的金属体上切除一薄层金属，使之成为切屑或细屑（磨削）的加工，叫金属切削。

3. 刀具切除金属的本质是什么？

刀具切除金属的本质在目前看来，人们是有争论的，请自己分析一下若干切削本质论点：

①削的本质——削字最先浮在人的脑海中，应该是削铅笔这一件事，大家都用过小刀来削铅笔，在十八世纪中叶以前，工程结构所用的主要材料是木材，当时人们以为用斧子劈木头一样，利用尖劈把多余部分削下来，而漏出中间的铅笔

心来（见台湾《切削加工技术》教科书，全华科技图书公司1986年发行）。

②割的本质——是指工件相对于刀刃方向有速度分量时称为“割”，如果刀刃倾斜角 $\lambda_s \geq 45^\circ \sim 75^\circ$ 时称为割削作用。（北京编著的金属切削理论与实践第44页，北京人民出版社1979年版），橡胶加工就是割的作用。

③切挤的本质——如果 $\lambda_s = 0^\circ$ 时，无速度分量则称《切挤》。所以，近一百多年来人们认识到《金属切削过程中，切削层本质上不是靠刀口割下来或劈开来的，而且靠刀具前刀面的推挤滑移成为切屑，是切削金属的本质。

4. 金属切削的学说有几种呢？

目前世界上关于切削的学说有下列三种：

①单元切削学说——美国1975年高等院校《金属切削加工的理论基础》教科书第70页中指出（1980年山东科技出版社）：1870年俄国学者基麦教授是世界上最先提出《切屑如何形成的单元切屑学说》。首先从图1中可以明显看出：切削速度 $v \leq 8\text{m/min}$ ，加工碳钢材料，切削层是被刀具前刀面推挤而形成的一个单元切屑。我们再用高速摄影机

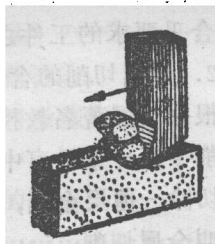


图1. a单元切屑

（每秒拍一百张片底）拍下 $\lambda_s = 0$ 的切削过程，如图1、b中所示，刀具前刀面推挤金属多余的切削层，切削层产生滑移，最后剪切破坏产生裂纹而形成第二个单元切屑。如果切削速度 $v \geq 20 \sim 50\text{m/min}$ 时，就会形成如图2中所示的带状切屑（每单元切屑未能达到破裂应力）。因而可以得出两个结论：

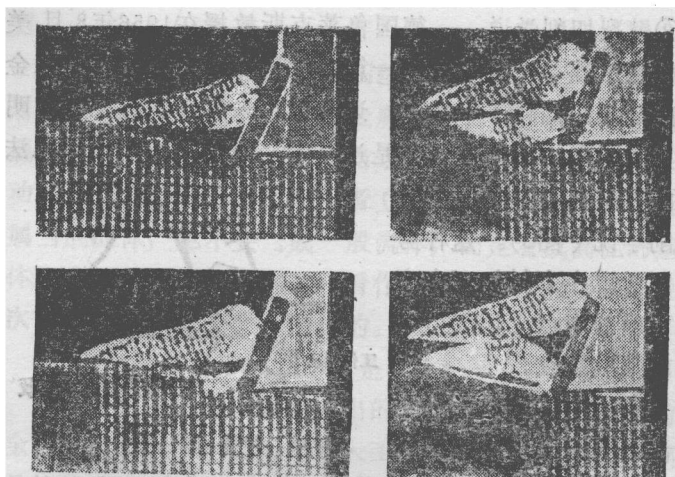


图1, b 单元切屑形成过程

1) 切屑是永远缩短的, 即切削变形程度的系数 K 为:

$$K = \frac{L_0}{L} > 1.0$$

式中 L_0 —— 工件的加工路程 (mm);

L —— 切屑的长度 (mm)。

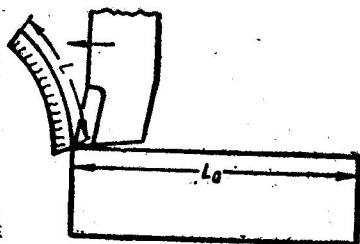


图2 切屑缩短

2) 切屑是在推挤塑性滑移变形后, 永远是变厚的, 即:

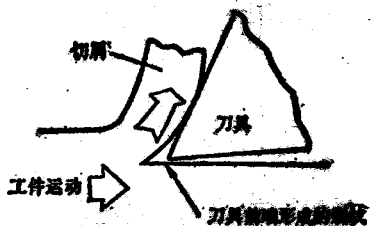
$$K = \frac{a_o}{a_o} > 1.0$$

式中 a_o —— 切屑的厚度 (mm);

a_o —— 切削层的厚度 (mm)。

金属切削中切削层厚度 $a_o = f \sin K_r$, 如主偏角 $K_r = 90^\circ$, $a_o = f$ (走刀量)。

②劈裂切削学说——德国鲁莱克斯教授在1956年8月美国《机械工程》杂志中发表一篇科学论文（过去一百年来金属切削分析的回顾）中指出：近几十年来生产实践充分表明了古典的单元切屑形成学说是过时了，而且对切削现象无法解释而提出的倒退的楔子劈裂切削学说（图3）。这种劈裂切削学说在木材加工中完全是正确的观点，切削刃口的前端形成裂纹。



为什么单元切屑形成学说无法解释如下现象：

图3 劈裂切削学说

- 1) 切削钛合金时切屑为什么反而变薄或变长了？
- 2) 切削变形系数 K 可以 <1.0 ，而不是永远 $K>1.0$ 。
- 3) $K=1.0$ 钛合金切屑不是变形等于零（没有任何变形），而是变形十分严重。
- 4) 切屑为什么永远向前内弯曲呢？无法解释。
- 5) 高速切削时切屑为什么呈平直状态，难于折断和控制，影响车工安全和损坏刀头。
- 6) 在 $v \geq 100 \sim 200 \text{ m/min}$ 下，为什么仍有积屑瘤产生呢？
- 7) 切削温度 $\theta = 600 \sim 900^\circ\text{C}$ 范围内，为什么还存在积屑瘤？
- 8) 积屑瘤生成机理根本不是冷焊造成的。
- 9) 积屑瘤不是忽长忽消失的，而是可以连续不断地生长的。
- 10) 前角 $r_o \geq 20 \sim 30^\circ\text{C}$ ，为什么仍产生积屑瘤？

以上这些矛盾是鲁莱克斯教授倒退提出劈裂切削学说的原

因。

③塑流切削学说——当切削温度 $\theta = 600^{\circ} \sim 1400^{\circ}\text{C}$ 下切屑可以看作粘性流体一样的金属塑流切削过程。在高温下金属内部晶格之间的移动，相当于液体内部分子之间彼此移动，这是作者和苏联拉姆学者（他认为不要把切削过程的金属当成固体，也不要当成一般流体，而是看成高温的塑性流体。也就是把金属切削过程看作流体动力学的切削学说）多次在国内外杂志上公开提出的。

5. 金属切屑形成新学说是什？

近年来国内外学者新提出的切屑形成学说是这样的：在金属切削过程中，当刀具切入工件材料时，材料的切削层内晶粒就产生塑性变形，如果金属材料内应力状态没有达到它的破坏应力，则变形金属不会发生裂纹破坏成为单元切屑，因此，处于塑性状态的金属沿刀具前刀面流出，形成《塑流》，尤其用立方氮化硼（CBN）刀片进行超高速（ $v \geq 500\text{m/min}$ ）切削，切屑汤红（切削温度达 $\theta = 1000 \sim 1400^{\circ}\text{C}$ ），完全可视为塑流（图4）时，塑性变形区内每一小粒金属分子可以自由移动或扩散，由于刀具前刀面有外摩擦阻力，因此，塑性区沿工件径向Z轴方向上各点分子流动速度 V_0 就不一样，出现了速度梯度 $\frac{dv_0}{dz}$ ，这时塑性流体区内的摩擦阻力 F 可以根据流体力学中的牛顿定律来求得：

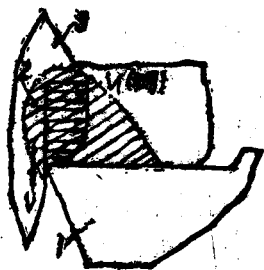


图4 “塑流”区

1—车刀； 2—塑流区；
3—工件

$$F = \mu f \frac{dv_0}{dz} k_0$$

式中 μ ——粘性系数（或称内摩擦系数），它受工件材料的成分、组织、机械性能以及外界条件如切削液……等因素所影响。

f ——摩擦层的面积（ mm^2 ）。

k_0 ——金属切削过程比流体运动过程要复杂的修正系数。

这种切削过程的流体动力学切削学说可以完满地解释了金属切削过程中碳钢切屑变厚的原因以及钛合金切屑变薄的原因。

根据粘性流体动力学理论，由于摩擦阻力使切屑流出前刀面的速度是递减的（即 $v_1 > v_2 > v_3$ ），如图5中所示。

但从塑性变形理论中知道，塑性变形中金属体积可以看做是没有改变的，即：

$$V(\text{切削层的金属体积}) = V_1 = F_1 v_1 = V_2 = F_2 v_2 = V_3 = F_3 v_3$$

$$\text{则 } F_1 < F_2 < F_3$$

$$\text{由于 } F_1 = a_1 b, F_2 = a_2 b, F_3 = a_3 b$$

切削过程中切削宽度是等于切屑宽度（二维自由切削，没有副刀刃切削）。

$$\text{所以 } a_0 < a_1 < a_2 < a_3$$

也就是说，切屑面积是递增的结论，就很明白说明了切削碳钢过程中切屑为什么变厚的道理。

现在，我们可以从图6中看出钛合金在惰性气体（氩气等）介质中低速（ $v=5\sim 30\text{m/min}$ ）切削时，切削变形系

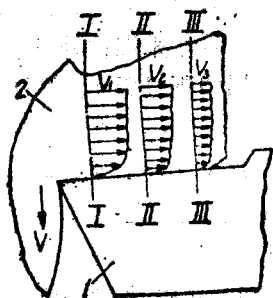


图5 速度梯度的示意图

1—车刀；2—工件

数 K 仍大于1.0, 但在 $v \geq 30 \sim 100 \text{ m/min}$ 时钛合金对大气中氧和氮的亲合性很大, 在 $\theta \geq 700^\circ \sim 800^\circ \text{C}$ 高温条件下, 钛合金的切屑便强烈地从周围空气中吸收这些气体, 产生相变(切屑体积变大), 并使缩短的切屑重新伸长起来, 结果产生: $L > L_0$, $a_0 < a_c$.

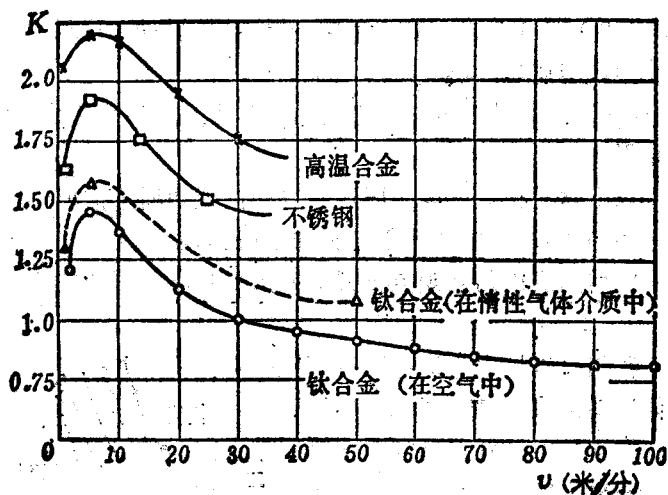


图6 各种金属材料的不同 K 值

在这里, 也清楚地说明了金属材料晶粒内、外摩擦阻力对于切屑的卷曲程度有着密切的影响, 塑流区内速度梯度愈大, 切屑卷曲半径就愈小。改变内外摩擦阻力的关系就可以控制切屑的卷曲的状态。如切削温度 $\theta \geq 800^\circ$ 以上时塑性区内、外摩擦阻力减小, 使切屑卷曲状态也减小, 甚至成为平直的切屑, 这就充分说明了高速切断车刀所形成的切屑呈平直状态的事实。以上事例很简易地分析和解决单元切屑形成学说无法解释的前五种矛盾现象。

6. 金属切削过程中有什么新观点?

由于出现了金属切削的新学说(流体动力学切屑形成学说),自然会创造了金属切削的新观点和金属切削刀具设计新理论。

①积屑瘤的成因,过去有如下的旧观点:

- 1) 切屑冷焊在刀具前刀面刀尖区;
- 2) 滞流层的一部分金属一层一层地往前刀面粘结时,自然形成积屑瘤。
- 3) 刀具和被切削材料之间的亲和力是积屑瘤生成的主要原因。

以上这些积屑瘤成因旧观点势必出现切屑形成旧学说产生上述6)、7)、8)、9)和10)的种种矛盾。

积屑瘤成因的新观点是刀具的刃口形状是根本的生长原因。

我们可以用水作流体进行塑性流体流动观察实验,如图7中所示。在水流中放置刀具状(木材制造)的障碍物,使水流分成两股时,在障碍物前面与后面分岔处附近发生涡流和水流停滞层,如果障碍物前面与水流方向垂直,将形成死水区(不流动的水流),积屑瘤生成原因与这种现象十分类似。所以,日本星光一教授在《金属切削技术》著作中提出:刀尖采用双 30° 前角($r_0 = -30^\circ$, $r = +30^\circ$),如图8中所示,可以稳定地在任何的切削速度和切削温度下,自然形成连绵不断的副屑沿主刀刃方向排出,带走大量的变形热。

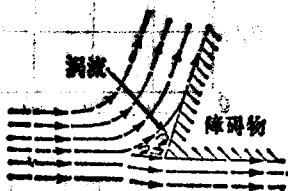


图7 刀尖区产生涡流

②积屑瘤不是粗加工有益、精加工有害的旧观点,创造

(二)金属切削过程的理论

7. 切削过程的理论基础是什么?

切削过程中理论基础是:

①切削机理, 其中包括

- 1) 切屑形成机理;
- 2) 断屑的机理;
- 3) 刀具磨损机理;
- 4) 切削液作用的机理;
- 5) 磨削加工机理;
- 6) 极薄切屑的精加工机理;
- 7) 金刚石加工机理;
- 8) 滚压加工机理;
- 9) 振动切削机理;
- 10) 镜面磨削机理等。

②切削过程的基本规律:

- 1) 切削力变化的基本规律;
- 2) 切削温度变化的基本规律;
- 3) 耐用度与切削用量变化的规律;

③切削过程时有哪些基本定律?

- 1) 高速切削定律;
- 2) 强力切削定律;
- 3) 最佳切削温度的守恒定律;

④最佳切削用量的选择。

⑤国内九十年代刀具材料的最新成果。

⑥切削加工性的最新概念。

现在，分别重点介绍以上的切削理论基础。

8. 切屑形成机理（简称切削机理）

根据日本老教授星光一博士在《金属切削技术（陈章燕等译）17~60页》中指出：切削机理有三种情况：

①以前所说的旧切削机理——是指最基本的、产生连续切屑不产生积屑瘤的情况下的切削机理。

②近来的带楔型积屑瘤的新切削机理。

③用电子计算机确定的带鼻型积屑瘤最新机理。

但是一切所讨论的切削机理，历来最重视的一个问题是剪切面和剪切角 ϕ 的计算。因为剪切角 ϕ 是直接影响切屑承受的剪切应变大小、切屑的形态和切削力的大小…等的重要因素，自古以来，有很多专家、教授、学者进行了大量的切削机理研究，发表了很多计算剪切角的观点和学说：

1) 最大剪切应力学说（1939年克罗斯托夫教授提出），切削力合力 R 与最大剪切力方向之间的夹角为 45° ，即：

$$\phi + \beta - \gamma_0 = \frac{\pi}{4} = 45^\circ$$

式中 ϕ ——剪切角； β ——摩擦角； γ_0 ——前角。

2) 最小阻力学说（1945年默钱特教授提出），利用微分求最小阻力时的剪切角 ϕ 为：

$$\phi = \frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2} + \frac{\gamma_0}{2}$$

3) 带积屑瘤的最大剪应力学说（1951年李和谢弗学者合作提出）认为扇形滑移线场的中心角 θ 和 $\frac{\pi}{4}$ 的关系为：

$$\theta + \frac{\pi}{4} = \phi + \beta - \gamma_0$$

9. 研究切削过程的最新方法