

高等学校教学用书

# 金属切削原理

(修訂本)

陶 乾 編



中国工业出版社

高等学校教学用书



# 金属切削原理

(修订本)

陶乾编

中国工业出版社

哈尔滨工业大学机床刀具教研室先后在Φ·B·顾林和Л·A·罗日杰斯文斯基两位苏联专家指导下，逐步学习着金属切削原理的教学。四年来曾按专家教学笔记，参考苏联书籍并结合我国生产和教学实际，編印了专修科用、师资进修班用和本科用的讲义共三份。这本书是按1954年的讲义和苏联中等技术学校以及1954年苏联高等学校教本，并参考各兄弟学校試用1954年讲义后所提出的意見补充修改而成。希望讀者能多提意見，以便进一步修改。

本书符合于1955年1月第一次全国机电专业会議中所确定的教学大綱，可供高等工业学校冷加工专业教学上参考之用，也可供工厂中工程技术人员閱讀。

本书由郭玉驊同志校閱，并在审校中曾征求过袁哲俊、侯鎮冰、傅佑同、陈学英、蕭詩綱、程大中等同志意見，加以修改，书中图10-6系在作者指导下由曹聚盛、郑鴻章、罗汉江、陈燮鈞等同志設計繪制，并此說明。

## 金屬切削原理

(修訂本)

陶乾編

(根據原机械工业出版社重印)

\*

第一机械工业部教材編审委员会編輯 (北京復興門外三里河第一机械工业部)

中国工业出版社出版 (北京佟麟閣路丙10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

\*

开本 850×1168<sup>1/32</sup>·印張 17<sup>3/16</sup>·插頁 1·字数 405,000

1961年3月北京第一版

1962年12月北京新一版·1964年8月北京第三次印刷

印数 11,319—17,918·定价(科五)2.45元

\*

統一书号: K15165·1353(一机-249)

# 目 录

代序 .....	9
第三版序 .....	11
第四版說明 .....	12
緒論 .....	13
§ 1. 課程的任务及內容 .....	13
§ 2. 金屬切削原理发展簡史 .....	14
§ 3. 我国过去在金屬切削方面的貢獻和成就, 以及近年来在切削加工 方面的发展情况 .....	13

## 第一篇

第一章 基本定义和切削运动 .....	23
§ 1. 切削过程中的运动 .....	23
§ 2. 工件上的一些基本定义 .....	27
§ 3. 刀具上的基本定义 .....	30
§ 4. 切削用量的三要素和切削层的几何参数 .....	40
§ 5. 自由切削和不自由切削 .....	45
第二章 刀具切削部分的材料 .....	47
§ 1. 刀具切削部分材料必须具备的性能 .....	47
§ 2. 碳素工具鋼 .....	48
§ 3. 合金工具鋼 .....	49
§ 4. 高速鋼 .....	51
§ 5. 硬质合金 .....	52
§ 6. 非金属材料 .....	54
§ 7. 結論 .....	55
第三章 金屬切削过程的物理基础 .....	59
§ 1. 金屬力学性质略述 .....	59
§ 2. 金屬变形的物理本质 .....	61
§ 3. 金屬的变形强化及弱化 .....	65
§ 4. 温度和变形速度对金屬变形的影响 .....	67
§ 5. 金屬的破裂 .....	69
§ 6. 塑性变形对金屬性能的影响 .....	71
§ 7. 摩擦和潤滑 .....	72
§ 8. 切屑的形成过程和切屑的种类 .....	78

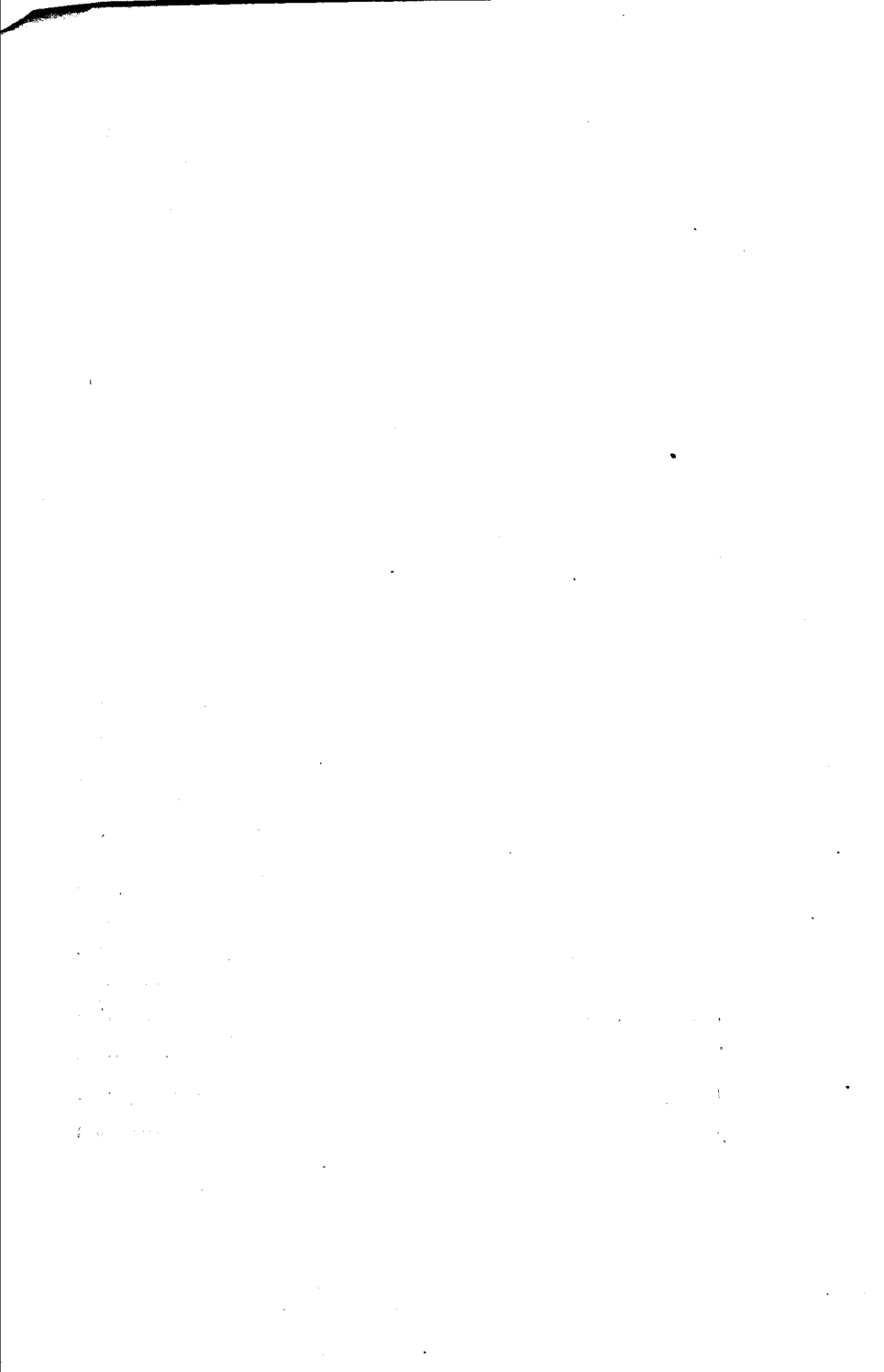
§ 9. 切屑受力和变形的分析	82
§ 10. 滞流和积屑瘤	86
§ 11. 加工表面金属层的变形——冷硬和残留应力	92
§ 12. 切削时影响金属变形的因素	96
§ 13. 切削力和功的概念	100
§ 14. 切削时的振动现象	102
§ 15. 已加工表面光洁度	105
§ 16. 研究切削过程的方法	108
<b>第四章 切削热</b>	<b>113</b>
§ 1. 切削热的来源	113
§ 2. 切削热的传出	115
§ 3. 切削时刀具、切屑、工件中温度分布的情况	116
§ 4. 切削温度的测量方法	119
§ 5. 研究切削温度的方法	122
§ 6. 影响切削温度的因素	124
§ 7. 切削温度的公式	128
§ 8. 切削热和切削温度场的理论分析	129
<b>第五章 刀具磨损及刀具耐用度</b>	<b>135</b>
§ 1. 一般机件磨损和刀具磨损	135
§ 2. 刀具磨损的原因	137
§ 3. 刀具磨损的情况	138
§ 4. 影响磨损的因素	143
§ 5. 刀具磨钝标准	144
§ 6. 刀具耐用度、刀具耐用度和切削速度的关系	146
§ 7. 用示踪原子研究刀具磨损	153
<b>第六章 刀具几何参数的合理数值</b>	<b>153</b>
§ 1. 前角 $\gamma$ 的选择	159
§ 2. 后角 $\alpha$ 的选择	166
§ 3. 导角 $\varphi$ 的选择	169
§ 4. 离角 $\varphi_1$ 的选择	170
§ 5. 付后角 $\alpha_1$ 的选择	171
§ 6. 刃倾角 $\lambda$ 的选择	172
§ 过渡刃 $f_0$ 及 $\varphi_0$ 的选择	177
<b>第二篇</b>	
<b>第七章 车刀的种类、车刀的工作角度</b>	<b>180</b>
§ 1. 车刀的种类	181

§ 2. 車刀的工作角度 .....	184
第八章 車削时的切削力 .....	192
§ 1. 切削力的来源、切削分力及其实用意义 .....	192
§ 2. 切削力的理論推算 .....	194
§ 3. 測量切削力的方法 .....	197
§ 4. 影响切削力的因素·切削力的計算 .....	200
§ 5. 切削力公式中的系数 $C_{p2}$ 、切削力系数 $K$ 和单位切削力 $p$ .....	217
第九章 車削时的切削速度 .....	220
§ 1. 切削宽度 $b$ 和切削厚度 $a$ 对于車削速度 $v$ 的影响——車削速度的計算公式 .....	220
§ 2. 切削条件对于車削速度的影响 .....	223
§ 3. 刀具上各种因素对于車削速度的影响 .....	228
§ 4. 工件材料对于車削速度的影响 .....	234
§ 5. 車削速度的一般公式 .....	239
§ 6. 机床动力不足时切削速度的公式 .....	240
§ 7. 材料加工性 .....	240
第十章 車削用量的选择 .....	245
§ 1. 选择切削用量的次序 .....	245
§ 2. 选择車削用量的具体步骤 .....	246
§ 3. 切削用量的图解法 .....	256
例题 .....	262
第十一章 高速車削 .....	269
§ 1. 高速切削及大走刀高速切削 .....	269
§ 2. 高速切削的特征 .....	270
§ 3. 几种先进車刀的介绍 .....	272
§ 4. 大走刀車削时的特点 .....	280
§ 5. 大走刀車削时切削用量的选择 .....	283
第十二章 刨削和插削 .....	286
第十三章 钻削 .....	292
§ 1. 麻花钻的构造 .....	293
§ 2. 麻花钻切削部分的角度 .....	293
§ 3. 切削要素 .....	297
§ 4. 钻削力及力矩 .....	298
§ 5. 钻头几何形状对钻削力及力矩的影响 .....	301
§ 6. 钻削的特征 .....	303
§ 7. 钻头的磨損及耐用度 .....	305
§ 8. 钻头的合理几何形状 .....	306

§ 9. 鑽削速度	312
§ 10. 鑽削用量的選擇	314
§ 11. 高速鑽削	318
例題	321
<b>第十四章 擴孔、鉸孔、鉸孔</b>	<b>325</b>
§ 1. 擴孔、鉸孔、鉸孔的應用	325
§ 2. 擴孔、鉸孔、鉸孔的刀具	326
§ 3. 切削層斷面尺寸	329
§ 4. 切削力及力矩	329
§ 5. 刀具磨損、耐用度和切削速	330
§ 6. 選擇切削用量	333
<b>第十五章 銑削</b>	<b>338</b>
§ 1. 銑削種類及銑削法	341
§ 2. 銑刀切削部分幾何形狀	341
§ 3. 銑削要素	343
§ 4. 均衡銑削	355
§ 5. 銑削力及動力	357
§ 6. 銑削的特徵	365
§ 7. 順銑與逆銑	367
§ 8. 銑刀磨損和耐用度	369
§ 9. 銑削速度	371
§ 10. 銑削用量的選擇	377
§ 11. 幾種高生產率的銑削	385
例題	387
<b>第十六章 拉削</b>	<b>393</b>
§ 1. 拉刀的構造及切削部分的幾何要素	394
§ 2. 拉削簡圖	397
§ 3. 切削要素	399
§ 4. 拉削力	400
§ 5. 拉削特徵	402
§ 6. 拉削用量的選擇	404
<b>第十七章 螺紋切削</b>	<b>407</b>
§ 1. 螺紋車削	407
§ 2. 絲錐	413
§ 3. 絲錐的切削要素	416
§ 4. 絲錐扭力矩	420
§ 5. 絲錐磨損、耐用度及切削速度	423

§ 6. 螺紋旋風切削法 .....	423
<b>第十八章 齒輪的切削</b> .....	428
§ 1. 齒輪滾刀及插齒刀 .....	429
§ 2. 切削要素 .....	431
§ 3. 切削力及動力 .....	434
§ 4. 刀具磨損及耐用度 .....	435
§ 5. 切削速度 .....	437
§ 6. 切削用量的選擇 .....	439
<b>第十九章 磨削</b> .....	443
§ 1. 砂輪 .....	444
§ 2. 磨削的種類及其運動 .....	455
§ 3. 磨削的工作循環及基本工時 .....	458
§ 4. 切削要素 .....	461
§ 5. 磨削過程 .....	467
§ 6. 磨削後的工作表面質量 .....	470
§ 7. 磨削力及動力 .....	473
§ 8. 砂輪耐用度 .....	474
§ 9. 磨削用量的選擇 .....	476
<b>第二十章 各種材料的切削加工性及加工方法</b> .....	484
§ 1. 鋼的加工性 .....	484
§ 2. 高強度合金鋼的加工性及加工方法 .....	491
§ 3. 淬火鋼的加工性及加工方法 .....	496
§ 4. 不銹鋼的耐熱鋼的加工性及加工方法 .....	499
§ 5. 耐熱鈦合金的加工性及加工方法 .....	504
§ 6. 鑄鐵的加工性 .....	508
§ 7. 有色金屬的加工性及加工方法 .....	510
§ 8. 非金屬材料的加工性及加工方法〔112〕 .....	512
<b>結尾語</b> .....	518
<b>附錄 1. 復習提綱</b> .....	522
<b>附錄 2. 刀具耐用度的具體數值</b> .....	531
<b>參考書刊</b> .....	544





## 代 序

斯大林獎金獲得者 J. A. 羅日杰斯文斯基專家在第一次  
機電專業會議時期(1955.1)有關審訂教學大綱問題的談話。

(摘錄自高教部印發的該次會議資料集 [100])

……機械製造工業中有冷加工和熱加工之分。在冷加工方面的機床、工具和機械製造工藝等三個專業雖是分別培養着各該有關的專業人材，但在培養工作方面也有很多相同的部分。機床專業的主要專業課是機床；工具專業的主要專業課是工具；機械製造工藝專業的主要專業課是機械製造工藝學。但不論是研究上述三種專業課程，或者是研究工廠設計及夾具設計等，都必須具有金屬切削原理方面的知識。如果學生在這方面沒有足夠的知識，便不能深入地去研究上述機床、工具、夾具、工廠設計、機械製造工藝學等課程。

“金屬切削原理”這門課的性質是介於基礎課和專業課之間的，它是機床、工具和機械製造工藝三個專業的基礎課，同時也帶有專業課的性質。我認為這三個專業對金屬切削原理的要求應該是完全一樣的。如教學計劃容許，則不論在講課和實驗的內容以及教學時數上，都應該完全一樣，而不應有何區別。……為了能使“金屬切削原理”及其他各專業課程學習得深入些，就應當將“金屬切削原理”和“金屬切削工具”分開來教。……只有對非冷加工專業，例如銲接、金相熱處理、鍛工、鑄工等等專業的學生才可以把“金屬切削原理”和“金屬切削工具”合併在一起教。我想大家都已看到蘇聯達尼耶良 (A. M. Даниелян) 教授所寫的“金屬切削及工具”那本書；它是為軍事工程學院而不是為冷加工專業而寫的，所以是將金屬切削及工具合併在一起。……

“金屬切削原理”及“刀具”兩門課分開教，有些同志認為在內容上會有重覆，但是這兩門課的內容若安排得恰當，則內容是不会有什麼重覆的。現在我舉一些例子來說明，例如在“金屬切削原理”和“刀具”中都講刀具材料，但在“金屬切削原理”中只講刀具切削部分材料的切削性能、磨損性質等等，而在金屬切削刀具中則講刀具材料的应用範圍，何種刀具宜採用何種材料等等，這樣就不会有重覆。又如在“金屬切削原理”中講刀具幾何形狀時，只講它對切削过程和磨損的影响，而在“金屬切削刀具”中便要講與刀具幾何形狀設計有關的內容，在金屬切削刀具中必須講到切削部分與夾持部分的联接和結構、切削刃外形的修正計算、刀具的強度和出屑槽的容屑能力等等，但這些在金屬切削原理中都是不講的。所以只要我們把內容分清楚：哪些應在“金屬切削原理”中講，哪些應在金屬切削刀具中講，就可以完全避免重覆了。……

“金屬切削原理”教學方法中，存在着兩個方向，關於這兩個方向曾有過不止一次爭論。

第一個方向的特點是在課程中列入了共同部分，在講課開始時，講解所有加工方法所具有的切削过程的諸現象和規律的概念；然後在切削过程及其現象的共同規律基礎上，來逐一分析各種加工方法。

第二個方向是分別論述各種加工的方法，依照這個方法來講授課程時，是把每種加工方法與其他加工方法區別開來，進行單獨的分析，分析這種加工方法在每種情況下的、一般的及特殊的問題。

我在自己的教學工作中堅持了第一種方法，因為，我認為這種方法會開闊學生的眼界，教會他們在各種加工方法中尋求共同的現象，以及這些加工方法所用的刀具的共同要素；這種研究方法使學生習慣於把各種刀具的切削过程看成具有各種加工方法的共同規律的切削过程。

那些金屬切削原理的問題需要概括起來而作為共同規律呢？這首先是刀具切削部分的幾何形狀，大約在 30 年以前，當金屬切削的科學還未充分地發展時，刀具設計僅是基於經驗的數據，還未能說明所採用

的各种几何参数。今天，切削过程中物理现象的研究，积累了丰富的经验使我们选择各种类型刀具的最合适几何参数的数值时，能有充分的、并基于同一原则的说明。

切削过程的物理现象也可以概括起来，如塑性变形、热现象、摩擦、积屑瘤、磨损和耐用度，因为这些问题都存在于所有金属切削加工方法中。

苏联科学所证实的规律，使得我们也可以在共同的形式下研究切削力及一连串的其他现象，但是在这些问题上仍然是做得不够的。

金属切削的科学还没有解决所有的问题，因此为了从理论上说明所有与切削过程有关的现象，在我们面前还有着很多的工作，但是这并不应该阻止我们应用总结共同部分的方法。这种方法是先进的，是有助于切削原理这门科学向前发展的。

### 第三版序

这一版中，主要是改写了第十九章磨削。按照苏联在这方面的新近文献如高速磨削用量手册及路尔耶等教授在这方面的研究，我们补充了磨削的工作循环，磨削过程及表面形成的概念等，同时介绍了按单位磨量来选择磨削用量的原则和方法。此外还更正了前一版中的若干错误。

根据我们的教学经验：在金属工学中未学过冷加工的同学，在学第一章时，只宜以车刀为主，介绍静止（标注）角度的定义，角度的普遍定义可分别在以后各章中去讲。

切削力及切削热的理论推算则不一定在课堂上讲解。

編 者

## 第四版說明

这本书已經重版数次，虽然早应修改，但未如願。1961年教材編审委员会审定为全国通用教材后，曾又补写了“各种材料加工性及加工方法”一章。其余部分尚待編委会討論后，繼續改写。不过近年来編者在自己的教学工作中对課程的体系、內容曾陸續作了若干改变，編印成讲义，在校內試用。茲略述大意，作为同志們使用此书时的参考，并請指正。

金屬切削过程中刀具和工件間相互运动、相互作用，切削过程中的基本矛盾就是刀具的切削性能和工件材料的被切削性能（加工性）之間的矛盾。它們是依賴切削运动而产生的。因此本課程必須从工件、刀具和切削运动等三方面来研究其規律，并从上述三方面来分析研究和提高生产效率。由此出发，本課程的內容可以概括分为以下三大部分：

第一篇 切削过程的物理本质及基础理論 这一篇包括切削过程中刀具与工件間的几何运动关系（基本定义一章）切削层的变形，切削力，切削热，刀具磨損和已加工表面的形成过程及其质量等內容。这些都是切削过程中刀具上面，工件上面以及工件与刀具之間所产生的物理化学变化。在这一篇的最后两章引出刀具耐用度（生产率及成本）和表面质量的概念。

第二篇 切削加工的生产效率的影响因素及其提高問題 这一篇包括材料加工性及其改善。刀具材料的切削性能及其选择、刀具几何参数的选择、冷却潤滑液的选用和車削用量的选择等五章，这是在一篇的基础上，运用基础理論来論述工件、刀具、切削条件三方面各种因素对生产率及表面光洁度的影响，以及提高生产效率的途徑，这样就使本課程的实用部分比过去加强了。課程的目的比較明确，內容也比較完整。

第三篇 典型加工 包括钻、銑、磨三章。車削則已在上述兩篇中結合共同規律讲过了。共同規律結合着一个具体工种来讲，可以更具体，更易于接受，同时也更节省讲课時間。

为了貫徹少而精的原則，我們刪去高速車削、鉸、鏢、拉削、齿輪螺紋切削等章以及第一章的第一节、第三章的前七节等，使讲授份量縮減到25万字左右。相信今后在党的领导下，随着“少而精”的原則的深入貫徹，并通过大家的努力，这門課的质量将会迅速不断地得到提高。

編 者 1963年2月16日

# 緒 論

## § 1. 課程的任务及內容

金屬切削原理是研究金屬切削加工中的規律，以便提高生产效率的一門科学。

凡是从坯件上切削去一定厚度的金屬層，而得出在形狀上、在精确度和光潔度上都合乎于定要求的加工，統称为金屬切削加工。

金屬加工的方法很多，除切削加工外，还有鍛、鑄、焊接、压延、粉末冶金等等。但是上述加工方法主要是用来制造工件毛坯，或比較粗糙的金屬品。而精确度和光潔度要求較高的工件，大都非經過切削加工不可。因此在机械制造工業中，切削加工占着極其重要的地位。我国社会主义工業化中，机械制造工業受到很大的重視和优先的發展<sup>①</sup>。因此我們學習机械制造工艺和研究金屬切削理論，其重要性自是不言而喻了。

研究金屬切削原理，掌握切削过程的規律，可以正确地選擇設備，确定切削用量，充分發揮設備的切削效能，保證加工質量，提高生产效率。此外研究金屬切削运动学可以創造新的加工方法。同时金屬切削原理又是設計和創造新的刀具、夾具、机床的理論基础。因此作为一門課程，金屬切削原理既是基础課，又具有專業課的性質。

這門課程和這門科学所要研究的主要內容是：

一、切削运动学：研究現有的和可能有的切削加工中工件和刀具的相对运动关系、切削層圖形、工作时刀具角度的变化等等。

二、切削过程的物理基础：研究切削过程中金屬变形的本質及变形

<sup>①</sup> 根据中国共产党第八次全国代表大会关于政治报告決議。

过程中許多現象的本质，如加热現象等。

三、切削动力学：研究切削时的力、力矩、动力等。

四、刀具材料的切削性能：摩擦、磨損、耐用度、切削速度和合理角度。

五、切削用量的选择方法及仪器图表。

六、加工材料的切削性能。

七、冷却潤滑液。

八、先进生产者在金屬切削加工中的創造发明。

各种金屬切削加工（車削、銑削等等）之間存在着共同的規律，各种加工同时也有其特殊性。本书根据目前这門科学发展的条件及同学的基础，将可以归納为共同規律来讲授的列为第一篇。第二篇則分別研究各种切削加工的特殊問題。

## §2. 金屬切削原理发展簡史

根据古代文物判断，人类自鉄器时代就运用了磨削。不过在資本主义社会开始之前，很难說有过什么金屬切削理論的研究。

十九世紀六十年代里，西方資本主义国家中有人开始研究过切削过程，但是方法不够科学，沒有得到正确的結論。目前一般认为金屬切削理論的研究应当从1870年俄国基麦（Тиме）算起，至今不过八十多年的历史。而金屬切削理論形成一門独立的科学，則是十月社会主义革命以后的事。

十九世紀中叶，俄国走上資本主义发展的道路，工商业的发展对科学界提出了新的要求。当时机械加工正由徒手操作走上机械化的发展阶段，为了設計各种机床，必須研究切削力及力的形成——切屑形成过程。于是彼得堡的基麦教授对下列問題作了研究，其結果迄今仍有价值，不可否认：这对于切削原理的发展是有重要貢獻的，基麦研究的問題主要有：

(1) 切屑形成的正确观点——他認為韌性金屬的切削是挤压的过程,这在以前是不知道的。

(2) 决定了挤裂角及收縮率。

(3) 决定了切屑的种类以及切屑形成的四个阶段。

至此,基麦为这門科学奠定了良好的基础,除此之外,基麦还研究了切削力,不过限于当时的科学水平,他对切削力只作了初步的分析,沒有能考虑到摩擦和塑性变形的影响。

1893年俄国科学家慈伏雷金(Зворыкин)等在切削力的主要問題上作了許多研究工作:

(1) 創造了直接測定切削力的測力仪(而其他資本主义国家在許多年以后还間接地由測量动力来粗略推算切削力),慈伏雷金的測力仪后来就普遍被采用起来。

(2) 知道了切削力是与切削断面尺寸有关系:

$$P = k \cdot b \cdot t^{3/2}$$

其中,  $b$ ——切削寬度;

$t$ ——切削厚度(現在用  $a$  代表之)。

这是非常重要的發現,一直到二十世紀初叶,德国科学家們还錯誤的認為切削力只与切削断面面积有关系。直至 1941 年美国恩斯特和麦尔潜特(Ernst 和 Merchant)發表有关切削原理的論文中大部分仍然是慈伏雷金理論的重复而已。

1902—1921 年彼得堡工業学院主任技师烏薩乔夫(Усачев)在切削热方面作了很多研究,又有了很重大的貢獻:

(1) 創造了用热电偶測量切削溫度的方法,并在切削热与切削溫度上有許多貢獻。

(2) 最先用金相方法研究切削过程發現了滑移面。

(3) 并且創造用圖解法分析实验結果,寻求切削規律的方法,后来就一直被人沿用着。



(4) 駁斥和批判了許多錯誤的理論與觀點，尤其是泰勒 (Taylor) 關於積屑瘤形成的說法：泰勒認為積屑瘤是由于金屬碎片在高溫的高壓下，熔焊在刀尖上而形成，烏薩喬夫則指出這是滯流層的轉變。

由基麥起到烏薩喬夫以前為止，在切削原理的研究中，都假定在整個切削變形過程中，加工材料的物理機械性質都是不變化的，切削過程中都是純粹用普通力學的方法來分析的。在自然現象的複雜本質還沒有完全推究明確以前，這種假定簡化了事物的複雜性，使研究工作能夠循着正確的方向開始，得出初步的結論，這是完全必要，並且合乎認識過程的規律的；任何科學研究都是從簡單的現象着手，根據最初的比較簡單的和比較合乎理想情況的假定，忽略去一些次要的複雜因素，開始初步的分析，然後逐步深入，才能了解比較複雜、比較具體的事物，逐漸考慮到許多複雜的因素，找出其間關係，得出愈來愈切合實際情況的理論來。

基麥和慈伏雷金等人，按純力學的观点分析了切削過程，正確的反映了切削過程的一些主要規律，奠定了將來發展的基础。

因此，僅就這些方面來說，他們的研究也是很有價值的。

烏薩喬夫的研究使切削原理有了根本的變化，他認為在切削過程中加工材料的性質不是固定不變的，而是變化很大，與切削過程中其他本質問題有密切的關係，而且是互相影響的。

以上三位學者是十月革命前切削原理發展方面主要代表人物和貢獻最大的學者，此外還有布利克斯 (Брикс)、加多林 (Гадолин) 等等，不再詳述。

當然，在十月革命成功后的最初年代里 (1918~1925)，蘇聯處在艱苦的國民經濟恢復時期中，這時科學家們仍然各自艱苦地進行着研究工作，並且由於黨和政府為科學研究創立了許多優良的條件，切削原理仍然有一定的進展，這時契留斯金 (Челюстин) 進一步確立了切削力的公式：