

高等学校教学用書

金屬切削原理

陶 乾 編

(修訂本)

机械工业出版社

哈尔滨工业大学机床刀具教研室先后在 Ф. В. 顾林和 J. 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，编印了专修科用、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，并参考各兄弟学校试用1954年讲义后所提出的意见补充修改而成。希望读者能多提意见，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议中所确定的教学大纲，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阅读。

本书由郭玉麟同志校阅，并在审校中曾征求过袁哲俊、侯镇冰、傅佑同、陈学英、萧诗纲、程大中等同志意见，加以修改，书中图10-6系在作者指导下由曹聚盛、郑鸿章、罗汉江、陈燮钧等同志设计绘制，并此说明。

№ 3515

(根据人民教育出版社纸型重印)

1931年3月新一版 1931年3月新一版第一次印刷

787×1092¹/₃₂ 405千字 印张 16¹/₂ 00,001-10,000册

机械工业出版社(北京阜成门外百万庄)出版

京华印书局印刷

新华书店科技发行所发行 各地新华书店经售

北京市书刊出版业营业许可证出字第008号

定价 1.90 元

目 录

代序	9
第三版序	12
緒論	13
§ 1. 課程的任务及內容	13
§ 2. 金屬切削原理發展簡史	14
§ 3. 我國過去在金屬切削方面的貢獻和成就, 以及近年來在切削加工 方面的發展情況	18

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層的几何参数	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. 硬質合金	52
§ 6. 非金屬材料	54
§ 7. 結論	55

第三章 金屬切削过程的物理基础	59
§ 1. 金屬力学性質略述	59
§ 2. 金屬变形的物理本質	61
§ 3. 金屬的变形强化及弱化	65
§ 4. 溫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
第四章 切削热	113
§ 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
第五章 刀具磨损及刀具耐用度	135
§ 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. 刀具磨损标准	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
第六章 刀具几何参数的合理数值	158
§ 1. 前角 γ 的选择	159
§ 2. 后角 α 的选择	166
§ 3. 导角 φ 的选择	169
§ 4. 离角 φ_1 的选择	170
§ 5. 付后角 α_1 的选择	171
§ 6. 刃倾角 λ 的选择	172
§ 7. 过渡刃 f 、 φ_0 的选择	177
第二篇	
第七章 车刀的种类、车刀的工作角度	180
§ 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. 测量切削力的方法	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 和單位切削力 p	217
第九章 車削时的切削速度	220
§ 1. 切削寬度 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驟	246
§ 3. 切削用量的圖解法	256
例题	262
第十一章 高速車削	260
§ 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 鉋削和插削	286
第十三章 鑽削	292
§ 1. 麻花鑽的構造	293
§ 2. 麻花鑽切削部分的角度	293
§ 3. 切削要素	297
§ 4. 鑽削力及力矩	298
§ 5. 鑽头几何形狀对鑽削力及力矩的影响	301
§ 6. 鑽削的特征	303
§ 7. 鑽头的磨損及耐用度	305
§ 8. 鑽头的合理几何形狀	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
第十四章 擴孔、鏢孔、鉸孔	325
§ 1. 擴孔、鏢孔、鉸孔的應用	325
§ 2. 擴孔、鏢孔、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
第十五章 銑削	338
§ 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
第十六章 拉削	393
§ 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
第十七章 螺紋切削	407
§ 1. 螺紋車削	407
§ 2. 絲錐	410
§ 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	422

3. 螺紋旋風切削法	423
第十八章 齒輪的切削	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
第十九章 磨削	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. 磨削後的工件表面質量	470
§ 7. 磨削力及動力	478
§ 8. 砂輪耐用度	474
§ 9. 磨削用量的選擇	476
結尾語	484
附錄 1. 復習提綱	488
附錄 2. 刀具耐用度的具體數值	497
參考書刊	512
索引	516

代 序

斯大林獎金獲得者 И. А. 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爾 (А. М. Даниель) 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響，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过不止一次爭論。

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

的各种幾何参数。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幾何参数的数值时，能有充分的、並基於同一原則的說明。

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、積屑瘤、磨損和耐用度，因为这些问题都存在於所有金属切削加工方法中。

苏联科学所証实的規律，使得我們也可以在共同的形式下研究切削力及一連串的其他现象，但是在这些問題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，因此为了从理論上說明所有与切削过程有關的现象，在我們面前还有着很多的工作，但是这並不應該阻止我們应用總結共同部分的方法。这种方法是先進的，是有助於切削原理这門科学向前發展的。

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，我們补充了磨削的工作循环，磨削过程及表面形成的概念等，同时介绍了按單位磨量来选择磨削用量的原則和方法。此外还更正了前一版中的若干錯誤。

根据我們的教學經驗：在金属工學中未學过冷加工的同学，在学第一章时，只宜以車刀为主，介紹靜止(标注)角度的定义，角度的普遍定义可分別在以后各章中去講。

切削力及切削热的理論推算則不一定在課堂上講解。

編 者

緒 論

§ 1. 課程的任務及內容

金屬切削原理是研究金屬切削加工中的規律，以便提高生產效率的一門科學。

凡是從坯件上切削去一定厚度的金屬層，而得出在形狀上、在精確度和光潔度上都合乎預定要求的加工，統稱為金屬切削加工。

金屬加工的方法很多，除切削加工外，還有鍛、鑄、焊接、壓延、粉末冶金等等。但是上述加工方法主要是用來製造工件毛坯，或比較粗糙的金屬品。而精確度和光潔度要求較高的工件，大都非經過切削加工不可。因此在機械製造工業中，切削加工占着極其重要的地位。我國社會主義工業化中，機械製造工業受到很大的重視和優先的發展^①。因此我們學習機械製造工藝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，掌握切削過程的規律，可以正確地選擇設備，確定切削用量，充分發揮設備的切削效能，保證加工質量，提高生產效率。此外研究金屬切削運動學可以創造新的加工方法。同時金屬切削原理又是設計和創造新的刀具、夾具、機床的理論基礎。因此作為一門課程，金屬切削原理既是基礎課，又具有專業課的性質。

這門課程和這門科學所要研究的主要內容是：

一、切削運動學：研究現有的和可能的切削加工中工件和刀具的相對運動關係、切削層圖形、工作時刀具角度的變化等等。

二、切削過程的物理基礎：研究切削過程中金屬變形的本質及變形

^① 根據中國共產黨第八次全國代表大會關於政治報告決議。

过程中許多現象的本質，如熱現象等。

三、切削動力學：研究切削時的力、力矩、動力等。

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、切削用量的選擇方法及儀器圖表。

六、加工材料的切削性能。

七、冷卻潤滑液。

八、先進生產者在金屬切削加工中的創造發明。

各種金屬切削加工(車削、銑削等等)之間存在着共同的規律，各種加工同時也有其特殊性。本書根據目前這門科學發展的条件及同學的基礎，將可以歸納為共同規律來講授的列為第一篇。第二篇則分別研究各種切削加工的特殊問題。

§ 2. 金屬切削原理發展簡史

根據古代文物判斷，人類自鐵器時代就運用了磨削。不過在資本主義社會開始之前，很難說有過什麼金屬切削理論的研究。

十九世紀六十年代里，西方資本主義國家中有人開始研究過切削過程，但是方法不夠科學，沒有得到正確的結論。目前一般認為金屬切削理論的研究應當從 1870 年俄國基麥(Тиме)算起，至今不過八十多年的歷史。而金屬切削理論形成一門獨立的科學，則是十月社會主義革命以後的事。

十九世紀中葉，俄國走上資本主義發展的道路，工商業的發展對科學界提出了新的要求。1870 年彼得堡礦業學院基麥教授在俄國進步哲學家的思想影響下，用唯物的觀點和辯證的方法開始了金屬切削的研究。1870—1877 年間基麥教授對下列問題作了研究，其結果迄今仍有價值，不可否認：這對於切削原理的發展是有重要貢獻的，基麥研究的問題主要有：

(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,基麦为这门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:

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

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潛特(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(Усацев)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现象着手，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 (Бриксс)、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 (Челюсткин) 進一步確立了切削力的公式：

$$P_z = k \frac{\delta}{60} \cdot \frac{1}{(\sin \varphi)^{0.25}} t \cdot s^{0.75},$$

駁斥了德國的許多錯誤觀念，並且到 1936 年為止蘇聯科學家們寫作了許多很有價值的切削原理書籍（見本書末的書目），使切削原理漸漸具備了一門獨立性科學的規模。

由於黨和政府對於科學家研究工作的重視，切削原理的研究工作在 1935 年以後，進入了新的階段，那就是按照 1935 年聯共（布）黨中央十二月全體會議的決定，在 1936 年成立了金屬切削研究委員會。從此以後，分散的無組織的研究力量，在黨的領導與組織下匯合成了一支有組織、有共同目的、有步驟、有統一方法和觀點的科學大軍，這是非常重要的轉變，因此在短短的五年中，這支力量能有計劃地研究和解決了 150 多個問題，制定了切削用量手冊，這是一種巨大的工作，這種成就到目前為止是任何資本主義國家中找不到，也是不可能在資本主義國家中找到的。

1936 年的同時，又由於斯達哈諾夫運動推動了科學研究工作，並且由於科學界在黨的領導下，更能和群眾結合，所以出現了高速切削的方法：這首先從基輔城格魯道夫（П. П. ГРУДОВ）等工程師，開始使用了負前角的硬質合金車刀來切削 $R_C = 60$ 的鋼料，切削速度達到 280 公尺/分鐘（美國在 1944 年才使用負前角）。此後，高速切削就不斷地在理論與應用上得到了提高。

即使是在最艱難的日子里，黨和政府都沒有減少對科學研究工作的重視，當 1943 年德國侵略者包圍了列寧格勒的時候，在莫斯科還召開着蘇聯機器製造工業部的聯合會議，會上討論了鮑曼工業大學對於刀具角度合理數值的研究，決定把它規定在蘇聯國家標準（ГОСТ）中，推廣到全國各工廠中去。由於刀具形狀的這種改進而大大減少了刀具材料的消耗（在某些情況下可以減低 5~10 倍），為國家節省了大量資金，並且提高了生產率 2 倍以上（在某些情況下可以提高到 5 倍）。