

高等学校教学用书

金属切削学

Г. И. 格蘭諾夫斯基, П. П. 格魯多夫,
В. А. 克利沃烏何夫, М. Н. 拉林,
А. Я. 馬尔金著

高等教育出版社

高等学校教学用书



金属切削学

Г. И. 格蘭諾夫斯基, П. П. 格魯多夫,

В. А. 克利茨烏何夫, М. Н. 拉林,

А. Я. 馬尔金著

曾宪唐 甘佑文等译

高等教育出版社



本書系根据苏联国立机器制造書籍出版社 (Государственное издательство машиностроительной и судостроительной литературы) 出版, 格蘭諾夫斯基 (Г. И. Грановский)、格魯多夫 (П. П. Грудов)、克利沃烏何夫 (В. А. Кивоухов)、拉林 (М. Н. Ларин)、馬爾金 (А. Я. Малкин) 合著“金屬切削學” (Резание металлов) 一書 1954 年第一版譯出。原書經苏联高等教育部审定为机械制造高等学校和机械制造系的教科書。

書中敘述了金屬切削學的基本原理和切削原理在机器制造工艺学中的意义; 列举了有关切刀、鑽头、銑刀和其他金屬切削刀具的几何参数的数据, 关于切削过程的物理基础、切削力、各种因素对切削力、切削速度和刀具耐用度的影响等方面的資料。書中还講述了車削、鉋削、鑽削、銑削、拉削、齒輪切削和磨削的过程, 敘述了計算切削力、切削速度、送进量、功率等的方法, 并列出了計算公式, 同时也敘述了求最有利切削用量的方法。

本書可作为高等学校机械制造各專業的教学参考書, 也可作为机器制造厂中工程师、施工人員的参考書。

本書由成都工学院机床及刀具教研組曾宪唐、甘佑文、赵沔等人翻譯, 由赵沔校閱。

金 屬 切 削 学

Г. И. 格蘭諾夫斯基等著

曾宪唐 甘佑文等譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第054号)

京华印書局印刷 新华書店發行

統一書号15010·640 開本850×1168 1/32 印張16 4/16 字數397,000 印數0001—4,000

1958年6月第1版 1958年6月北京第1次印刷 定價(10) 2.40

目 录

緒論	1
§ 1. “金屬切削”課程的任务	1
§ 2. 苏联有关金屬切削科学的發展史簡述	2
§ 3. 在金屬切削机床上工作时,影响劳动生产率的条件	8
第一章 切刀切削部分的几何参数	13
§ 4. 切刀的基本要素	13
§ 5. 基本概念	15
§ 6. 切刀的几何参数	18
§ 7. 切刀在运动中的几何参数	22
第二章 切削要素和切屑層	33
§ 8. 切削要素	33
§ 9. 切屑層的几何形狀	36
第三章 刀具材料	46
§ 10. 总論	46
§ 11. 碳素工具鋼	47
§ 12. 合金工具鋼	49
§ 13. 高速工具鋼	52
§ 14. 硬質合金	54
§ 15. 陶瓷刀片	58
第四章 切削过程的物理基础	60
§ 16. 塑性变形总論	60
§ 17. 切削时的变形圖和所得切屑的类型	68
§ 18. 剪切平面和滑移平面的位置	75
§ 19. 切削过程中积屑瘤的形成	81
§ 20. 切屑層中塑性变形量的估計	86
§ 21. 切屑層变形所需之力	94
§ 22. 已加工表面下材料中的变形	99
§ 23. 切削过程中的力系	104
§ 24. 切削过程中产生的热量的确定	108
§ 25. 热在刀具、工件和流出切屑之間的分配	110
§ 26. 切削区内热源分布,热源的地位和作用	112
§ 27. 热流和溫度場的基本概念。导热率方程式	116

§ 28. 导热率的微分方程式	122
§ 29. 关于被加工金属在主截面内的温度场的问题	124
§ 30. 应用热交换理论来解决金属切削实际问题的概念	129
§ 31. 近似地解决有关切削区温度场的问题的方法	131
确定车外圆时切屑的平均温度的量热器法	131
根据显微组织变化来确定刀具中三度温度场的方法	133
利用特殊热电偶来观察切刀的热状况的方法	136
利用工件-刀具热电偶(“自然热电偶”)来确定刀具接触面积表面 上的平均温度法	137
利用滑动热电偶和有灯丝的光学高温计来确定切屑温度的方法	140
确定切屑平均温度的热涂料法	141
§ 32. 在靠近切刀那面的切屑表面上最大温度值的计算	141
§ 33. 高速切削金属时发生的热现象	146
§ 34. 金属切削过程强度的特性	153
§ 35. 切削过程中润滑油冷却液的作用本质	156
第五章 刀具的磨损	165
§ 36. 刀具材料的摩擦和耐磨性	165
§ 37. 刀具磨损总论	168
§ 38. 润滑油冷却液对摩擦过程和刀具磨损的影响	176
§ 39. 刀具的磨损标准	179
§ 40. 最有利的刀具几何形状	180
第六章 车削	187
§ 41. 车削时的切削力	187
§ 42. 作用在车刀上的切削力示意图	191
§ 43. 单位切削力、单位接触力和作用在切削刃单位长度上的力。切削功率	192
§ 44. 测量切削力的器具	194
§ 45. 速度对切削力的影响	196
§ 46. 切削深度和送进量对切削力的影响	198
§ 47. 车刀切削部分的几何参数对切削力的影响	202
§ 48. 车刀材料的品质对切削力的影响	210
§ 49. 车刀的磨损和润滑油冷却液对切削力的影响	212
§ 50. 计算切削力的综合公式	213
§ 51. 切削速度和各种因素对切削速度的影响	218
§ 52. 选择刀具耐用度的基本原理	230
§ 53. 切削深度和送进量对切削速度的影响	232
§ 54. 车刀切削部分的几何参数对车刀耐用度或切削速度的影响。在各种 不同的零件加工条件下, 切削部分几何参数的选择	236
§ 55. 材料(刀具材料和被加工材料)品质对切削速度的影响	248

§ 56. 液体的润滑冷却性能对切削速度的影响	254
§ 57. 确定切削速度的公式的一般形式	256
§ 58. 有效功率方程式的分析	261
§ 59. 切削金属时产生的振动	262
§ 60. 车削时已加工表面的光洁度	267
§ 61. 规定金属切削机床上切削用量的方法	273
决定切削用量的例子	274
§ 62. 高速车工 Г. С. 波尔特凯维奇、И. Б. 貝科夫、В. А. 科列索夫、 和 В. К. 謝明斯基的工作經驗	275
第七章 鉋削和插削	284
§ 63. 切削参数和切屑屑几何形状	284
§ 64. 鉋削和插削过程中作用的力	285
§ 65. 鉋削和插削时切刀的磨损和切削速度	287
§ 66. 使用鉋床和插床的原则	288
第八章 鑽削	290
§ 67. 鑽头切削部分的切削要素和几何参数	291
§ 68. 鑽削时切削过程的特点	295
§ 69. 鑽削时的切削力	299
§ 70. 鑽头几何形状和切削用量对 M_{kp} 和 P_o 的影响	302
§ 71. 鑽头的磨损和磨损标准	308
§ 72. 鑽头的耐用度	312
§ 73. 鑽头几何参数对其耐用度的影响	312
§ 74. 各种因素对鑽削时切削速度的影响	317
§ 75. 鑽削时基本工艺时间和切削用量的确定	322
第九章 鉸削	326
§ 76. 鉸鑽的切削参数和几何形状	326
§ 77. 鉸鑽的切削过程和磨损的特点	328
§ 78. 鉸鑽切削部分的最有利的几何参数	331
§ 79. 鉸削时的切削力和扭矩	332
§ 80. 鉸削时的切削速度	333
§ 81. 确定鉸削时切削用量的方法	334
第十章 鉸削	337
§ 82. 鉸刀的切削参数和切削部分几何形状	337
§ 83. 鉸削时切削过程的特点	338
§ 84. 切削部分几何参数对鉸刀工作的影响。鉸刀的磨损	341
§ 85. 鉸孔时的切削速度	342
§ 86. 鉸孔时的切削用量的确定	345

第十一章 銑削	347
§ 87. 銑削及切屑層要素	348
§ 88. 銑刀切削部分的几何参数	360
§ 89. 銑削时切削过程的特点	363
銑刀齿切削刃的切入过程	363
銑削时的切屑形成过程	366
切削用量对銑削区温度的影响	369
銑刀的磨損标准	371
§ 90. 銑刀切削部分的最有利几何参数	378
最有利后角的决定	378
端刃后角的选择	380
最有利前角的决定	381
硬質合金銑刀最有利的前角的决定	383
偏角的选择	385
銑刀刃傾角的决定	389
§ 91. 銑削时的切削力和功率	392
作用在銑刀齿上的力	392
測量銑削时切削力的仪器(側力仪)	394
用柱狀銑刀工作时的圓周力和功率	397
成形銑削时的圓周切削力和功率[144]	404
銑刀切削部分几何参数和切削用量各因素对圓周力的影响	409
銑刀的变鈍对圓周力和功率的影响	411
§ 92. 銑削时的切削速度	414
§ 93. 銑削时基本工艺时间的决定	422
§ 94. 銑削时切削用量的决定	423
第十二章 拉削	428
§ 95. 用拉削来加工零件的方法	428
§ 96. 拉刀切削方式	431
§ 97. 切屑層	433
§ 98. 拉刀的切削要素	438
§ 99. 拉削时的热現象	440
§100. 拉刀的磨損	441
§101. 拉成表面的光潔度	443
§102. 拉刀耐用度	445
§103. 拉削时的切削速度	446
§104. 拉削时的切削力	447
第十三章 齒輪切削	451
§105. 切削齒廓时切削过程的特点	451

§106. 插齿时的切削过程。刀具和零件的运动简图	453
§107. 插齿时切削力和功率的确定	455
§108. 插齿时耐用度、切削速度和送进量的选择	457
§109. 插齿时基本时间的决定	458
§110. 用盘状模数铣刀切齿	458
§111. 用模数滚刀切齿	461
§112. 被切毛坯每转送进量的选择	463
§113. 用滚刀切削齿轮时的切削速度及功率的决定	464
第十四章 磨削	468
§114. 磨料	468
§115. 制造磨削工具时采用的粘結剂	471
§116. 磨削工具的組織和硬度	472
§117. 磨削工具的形狀以及在磨削工序中的磨削工具的选择	475
§118. 用砂輪磨削时的切削简圖	478
§119. 磨粒与被加工金屬接触弧長度的确定	482
§120. 磨削时的切屑層厚度	486
§121. 用磨削工具工作时表面的形成过程和表面質量	489
§122. 砂輪的磨損特性和关于砂輪耐用度的概念	491
§123. 磨削时的切削力和功率	494
§124. 磨削时所采用的冷却液	496
§125. 磨削时的切削用量的选择和基本工艺时间的决定	496
§126. 高速磨削	499
参考書刊	501

緒 論

§ 1. “金屬切削”課程的任务

在現代获得广泛發展的許多門科学之中，有一門在苏联創立的年青的科学，这就是关于金屬切削的科学。在“金屬切削”課程中所講述的這門科学的基本原理，在于研究下列一些基本問題：

1) 切削过程的物理基础，即研究切屑層和已加工表面的变形，随切削过程而产生的物理現象和这些現象与各种不同切削条件的关系，其中也包括刀具切削部分几何参数的关系在内；

2) 切削时所产生的力、切削过程中所消耗的能和各种不同因素对切削力和所消耗的能的影响；

3) 由各种不同刀具材料所作成的刀具随切削条件而变化的速度和耐用度；

4) 金屬的可加工性和刀具切削性能的研究方法；

5) 先进生产工作者在金屬切削方面的成就。

在設計切削刀具和机床时，在設計用金屬切削作机械加工的工艺过程并制定其定額时，以及在使用刀具和机床时，都要利用“金屬切削”課程的上述原理，在进行这些工作时，研究上述原理就保証能够有意識地控制切削过程，以使机器零件的加工达到經濟、生产率高而質量也高。

早在革命前的俄国，就已經打下了关于金屬切削科学的基础，但是只有在偉大的十月社会主义革命之后，這門科学才得以形成。十月社会主义革命保証了苏联工業和社会主义經濟計劃原則的强大發展，这就使我們有可能积累和总结金屬切削方面的很多实际

資料。

§ 2. 苏联有关金屬切削科學的發展史簡述

金屬切削过程在俄国的第一次試驗研究,是由 И. А. 基麦教授进行的(在 1865—1870 年期中),其結果已在 1870 年用“金屬和木材的切削抗力”的标题来發表了[1]—[4]。

伊凡·阿甫古斯多維奇·基麦在 1838 年 7 月 11 日誕生于茲拉烏斯特。他在 1851 年进入彼得堡矿业工程学院,該学院于 1866 年改名为矿业学院。基麦在 1858 年获得了矿业工程师的称号之后,就在烏拉尔开始工作。И. А. 基麦在 1870 年被推选为彼得堡矿业学院应用力学和矿厂力学教研組的教授。基麦于 1920 年 11 月 5 日逝世。

在魯干斯克(現在叫伏罗希洛夫格勒),И. А. 基麦在龍門鉋床上进行了他关于切削过程的研究。基麦在分析了所得的結果之后,得出了下列結論:“……切削抗力是最复杂的物理現象之一……”。他初次指出了:“……切削抗力就是分子內聚力在某一断面中的逐步(而非同时)破坏,这种破坏是由于分子的相互离开而引起的”。基麦在归納了各种不同的切削操作后写道:“……車削、鉋削、鑽削等等都是切削的不同形态”。由于研究的結果,基麦确定了:1)切屑的名称;2)挤裂(剪切)面的位置;3)切屑層的变形特性和各种不同因素对于这种变形的影响;4)切屑卷曲的特性。基麦曾企圖用他的實驗数据来推导計算切削力的公式。

分析了基麦教授所作的切削过程的實驗研究之后,必須肯定是他最先全面地提供出了切削过程的科学原理,如果說基麦所提出的求切削力的公式目前已經不合用了,那末上列其余各因素的研究結果,就是在今天也还是有意义的。后来,И. А. 阿發納謝夫

教授(1884年)和A. B. 加多林院士(1888年)提出了他们用理论方法推出的计算切削力的方程式[1]—[4]。

K. A. 茨沃雷金教授的理论研究和实验研究,对于有关金属切削的科学有很大的意义,这些研究已经由他于1893年发表在他的著作“切离金属切屑所需的力和功”中。

康士坦丁·阿列克塞维奇·茨沃雷金在1861年3月25日出生于莫罗姆。他在1879年在莫斯科的中学毕业之后,就进入了彼得堡工艺学院,并在1884年毕业。茨沃雷金具有多方面的工程知识,他把这些知识成功地应用在各种不同的技术方面。茨沃雷金在1894年被批准为哈尔科夫工艺学院机械工艺学教研组的教授。从1898年起,他就在基辅多科性工学院中工作。茨沃雷金于1928年7月7日逝世。

K. A. 茨沃雷金提出了作用在切刀上的力系示意图,计入了切刀前倾面和后隙面上的摩擦。如果计入C. C. 鲁得尼克教授对这个力系示意图所作的补充[48],则这个力系示意图在现在也还是合乎实际的。茨沃雷金在理论上确定了剪切(挤裂)平面的位置;同时他作了一个很有意思的假设,那就是有引起相应摩擦力的法向力作用在剪切平面上。K. A. 茨沃雷金推出了计算切削力的方程式,并在实验上确定了单位切削力和功率都是指数小于1的切屑厚度的函数。K. A. 茨沃雷金利用他所设计的并在哈尔科夫工艺学院工厂中所制造的油压记录测力仪,来进行他对切削力的实验研究。

И. A. 基麦教授在评价K. A. 茨沃雷金在金属切削方面的研究工作时写道:这个工作是“……在俄国技术文献中的宝贵贡献”[5]。

1896年发表了米哈依罗夫炮兵学院教师A. A. 布雷克斯的著作“金属切削(刨削)”,文中对俄国和外国研究家们的工作作了深

入的分析,并首先企圖把它們归納起来。A. A. 布雷克斯在評價俄国学者的研究工作时写道:“茨沃雷金的理論是前进了一步;这个理論是建筑在强有力的基础上的,而且最后結果也与实验相符合;他的实验是值得大大注意的”。布雷克斯正确指出:“組成切削刀头的角度,在切削理論中占有重要的地位”和“最有利的切削角的选择主要是决定于随切削而产生的下列現象:切刀的变鈍和切刀的發热,有时也决定于随切削而产生的所謂卡刀或振动。选择切刀时,所消耗的功的大小仅占次要地位,主要是在設計机床和設計把应有的功傳达到机床的各部分时,所消耗的功的大小才是重要的。”这样,俄国的研究者——И. A. 基麦、И. A. 阿發納謝夫、A. B. 加多林、E. A. 茨沃雷金和 A. A. 布雷克斯(1865—1900年)——的工作,首先为金屬切削力学奠定了基础。值得指出的是 1944—1945 年时,美国研究者麦尔迁特發表了他的著作[6],这些著作重述了前述俄国研究者在当时所提出的一些基本原理,同时并没有对这些原理作任何引証。

彼得堡多科性工業学院的机工長、杰出的研究者 Я. Г. 烏薩巧夫,在研究金屬切削过程方面建立了新的方向。这个方向涉及了金屬切削过程的物理基础的研究。如果可以把基麦和茨沃雷金叫做金屬切削力学的創始人,那末就完全可以有根据地把烏薩巧夫叫做金屬切削物理学的創始人。Я. Г. 烏薩巧夫把他的工作結果發表在下列各篇論文中:“測量車床車刀上切向力的測力仪”(“工艺技师协会通报”,1913 年第 12 期)和“切削金屬时發生的現象”(“彼得堡多科性工業学院学报”,第 23 卷,1915 年和“工程师通报”,1916 年第 1 期和第 2 期)。

雅可夫·格里哥列維奇·烏薩巧夫在 1873 年 11 月 4 日誕生于庫爾斯克省可里斯克村。Я. Г. 烏薩巧夫在乡村学校讀完三年級后,就到一家馬車木器作坊中工作,之后,就在叶卡节里諾斯拉

夫里(现在叫德涅泊彼得罗夫斯克)高等矿业学校作机工。从1902年起,他开始在彼得堡多科性工业学院作了杰出的实验。1941年10月28日,烏薩巧夫在列宁格勒逝世。

在研究金属切削过程时,烏薩巧夫首先采用了显微镜。这就使他能够证明除开“挤裂平面”之外,还有作为晶体滑移的“滑移平面”。必须指出:前述美国研究者麦尔迁特把这个发现的荣誉撮为己有是不公正的[6]。И. Г. 烏薩巧夫最先拟定了测量切刀表面温度的方法,并用实验方法找出了该温度与切削速度、切削深度和送进量的关系。他也用实验方法找出了产生的热量和切削速度的关系,以及切削速度对于保留在切屑中的热量的影响。而外国学者们(阿特温、赫伯特)则在1926年才开始处理测量刀具表面温度的问题。烏薩巧夫创立了切削过程中积屑瘤形成的理论。他也指出了切屑和已加工表面的强化(加工硬化)现象。烏薩巧夫采用了非常精确的测力仪来测量切削力 P_x ,该测力仪是以切刀空心柄的弹性变形的变化为基础的。

曾经在研究金属切削方面开辟了新途径的烏薩巧夫的工作,在今天也还是现实的。还必须指出,在烏薩巧夫进行金属切削方面研究的同一时期内(1907—1918年),报刊上还出现了俄国学者们的很多其他著作。

因此,在1865—1918年这段时期内,俄国研究者在他们的工作中涉及了很多关于金属切削过程的问题。但是在这里所列举的姓名当中,在该时期内最杰出的还是И. А. 基麦、К. А. 茨沃雷金和И. Г. 烏薩巧夫,他们的工作就是金属切削力学和金属切削物理学的基础。

苏维埃时期(1918—1935年)的工作基础,是由去世太早的杰出实验家 А. Н. 切留斯特金奠定的,由于他在列宁格勒工业大学和列宁格勒军事机械学院(1922—1926年)所作的研究的结果,他确

定了求切削力的公式,这个公式直到如今也还在使用。A. H. 切留斯特金更精确地确定了送进量的指数,并且也考虑了切削角、主偏角等等的影响,因而他的研究就使 K. A. 茨沃雷金的公式深入了。苏联科学家們在此后的研究中証实了 A. H. 切留斯特金的公式。A. H. 切留斯特金的上述研究,已經登載在“切屑尺寸对于金屬切削力的影响”一文中(工农紅軍軍事工程学院石印刊物,1925年)。

在同一时期內,苏联科学家們研究了用切刀、鑽头、銑刀和砂輪加工时的金屬切削过程,以便确定这些过程的基本規律,即是:切削速度与刀具耐用度的关系,各种因素对刀具磨損的影响,求切削力、扭矩和功率的經驗公式和求刀具切削性能所許用的切削速度的公式的推导。除此而外,还进行了建立一些解决有关金屬切削的个别問題的方法和手段的工作,例如:拟定研究金屬可加工性的方法、研究刀具切削性能的方法和使用刀具与机床的方法。作为这些資料的总括,已經發表了一系列的著作: [7]—[19]、[21]、[32]、[45]、[48]、[58]、[62]、[64]、[94]、[95]、[100]、[107]、[130]、[133]、[134]、[163]。

除上述而外,在 1918—1935 年这段时期內,还出現了涉及硬質合金切削性能、刀具刃磨的質量、已加工表面的光潔度等方面的研究著作。同时,在相近的科学部門中,也开始建立了如“金屬物理学”、“塑性变形理論”、“固体物理学”等部門。

虽然 1935—1941 年这段时期很短,但是这段时期由于金屬切削加工方面的科学研究而突出,这些研究的成果使它成为整整一个时代。問題是由于在 1935 年展开了斯达汉諾夫运动,这个运动打破了阻碍技术繼續發展的旧的定額标准,其中也包括金屬切削方面的旧定額标准在內。联共(布)中央委员会 1935 年的 12 月全体会議,提出了要在先进生产工作者已开展了的运动的基础上,修訂旧的定額标准和作为定額标准的基础的技术指导資料。为了实

現这个決議，为了管理苏联在金属切削方面的研究工作，就成立了金属切削委员会，該委员会起初直屬重工業人民委員部技术部管理，后来則直屬苏联机床制造部。为了完成它的职能，該委员会吸收了很多在研究金属切削过程方面工作的苏联科学工作人员，以及在同一方面工作的工厂人员和个别的杰出的工程师、工長、工人和很多相近科学部門的科学工作者。

在金属切削委员会的领导下，在五年的时期內，对于一切类型的金属切削刀具的切削过程和机械制造业中所采用的一切主要金属，都进行了实验研究。

已經研究过的有高速鋼刀具、代用高速鋼刀具和鑲有硬質合金的刀具。在已經进行过的 120000 次以上的实验的基础上，对于一切类型的切削刀具和被加工金属，都确定了切削力和耐用度的关系式。拟定了用有負前角的硬質合金車刀的切削方法，該方法后来称为“高速”切削，也拟定了高速切削时刀具和机床的使用方法。該委员会所拟定的科学研究五年計劃已經完成了。無論从所用刀具和所加工材料的多样性来看，或者从进行工作的方法和目标集中性来看，这些工作都是世界上唯一無二的。个别研究的結果都是对比过的，因而所有的研究工作都是按統一的計劃和一般的方法来进行的。在金属切削委员会的领导下并在和相近科学部門的專家們共同努力下，在这段时期內也研究了金属切削过程的物理基础。必須特別指出苏联科学院通訊院士 B. Д. 庫茲涅佐夫和院士 И. А. 雷賓杰尔的工作。

由于委员会工作的結果，就为苏联金属切削学派奠定了坚强的基础。

关于金属切削的科学发展的最新苏維埃时期(从 1941 年起)，包括偉大的衛國战争在內。在这段时期內，在金属切削方面进行了深入的研究，并且基本上完成了建立关于金属切削这门科学的

工作。

可以肯定地說，关于金屬切削的科学是由苏联研究家們在前些时期的最丰富資料的基础上和在补充进行的一些新研究的基础上建立起来的。

这段时期的特点，是鑲有硬質合金的刀具的广泛采用和金屬高速切削的發展。如果說在前一时期內只是研究了硬質合金刀具的切削过程，并由苏联研究者拟定了用有負前角的高速切削法，那末目前來說，生产效能很高的切削就变成了提高劳动生产率的强有力的杠杆了。杰出的高速切削能手 И. Б. 貝可夫、Г. С. 波尔特凱維奇、В. К. 謝明斯基、В. А. 科列索夫等人，提出了很多使金屬高速切削实践丰富起来的宝貴建議。科学工作者和实践者的創造性合作，是苏維埃先进科学和先进技术的發展基础之一，这种合作产生了异乎寻常的結果，首先表現在用高于 500 公尺/分的速度来切削黑色金屬，不仅在實驗室中，而且在生产条件下实现了，其次表現在开始順利地加工甚至很难加工的金屬，包括淬火鋼 ($R_c = 62-65$) 在內。

上列有关金屬切削过程的理論和实际資料，使我們完全有根据和有理由地断定俄国科学家是有关金屬切削科学的奠基人和創始人。工業和国民經济在战后的發展，在苏联的一般科学面前，而特别是在有关金屬切削的科学面前，提出了非常重要的新問題。

§3. 在金屬切削机床上工作时，影响劳动 生产率的条件

关于金屬切削这门科学的目的和任务所要达到的最后結果，就是要最有效地利用切削刀具和現有机床組。

如果令：

T_c 為每一班的时间,分鐘(在通常条件下, $T_c = 480$ 分鐘);

T_{um} 為單件時間定額,分鐘;

H_{sp6} 為每班產量定額,或該工作地點的勞動生產率,

$$\text{則} \quad H_{sp6} = \frac{T_c}{T_{um}}. \quad (1)$$

由公式(1)可知,產量定額隨單件時間和給定的每班時間而變。

單件時間[20]或單件時間定額,可用下列公式計算:

$$T_{um} = t_o + t_s + t_{os} + t_n, \quad (2)$$

式中 t_o 為基本(工藝)時間,分鐘;

t_s 為裝卸零件、操縱機床、更換刀具和測量等所需的輔助時間,分鐘;

t_{os} 為工作地點組織服務和技術服務時間,分鐘;

t_n 為工作中休息和自然需要時間。

我們來更詳細地研究一下在用切削作機械加工的條件下,單件時間的各組成部分。基本工藝時間是消耗於直接實現工藝過程的時間,即消耗於用車削、鉋削、鑽削、銑削等等方法以變更工件的形狀、尺寸和表面的時間。

基本工藝時間可用下列公式計算:

$$t_o = \frac{L}{ns}, \quad (3)$$

式中 L 為計算加工長度,即刀具在送進方向的走刀總長度,公厘;

n 為零件(或刀具)每分鐘的轉數(或往復行程數);

s 為刀具(或零件)在一轉中(一次往復行程中)的走刀量,公厘。

輔助時間 t_s 是工人消耗於完成某些行動的時間,這些行動是隨每個工件或一定數量的工件而重複的,而且沒有這些行動就不可能進行基本工藝工作。屬於這些行動的有:把零件裝在機床上、