

П. Р. РОДИН

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

金属切削刀具

机械工业出版社

金属切削刀具

П.Р.РОДИН

喻怀仁 陈世忠 等译

薄化川 校



机械工业出版社

本书论述金属切削刀具的计算与设计方法。大部分是分析刀具设计的一般原则，掌握这些原则，便可以顺利地设计新刀具及改进现有刀具。书中还介绍了制造刀具所用材料的选择，以及分析了在工业中日益获得广泛应用的各种磨具。

再版补充了有关程序控制机床用刀具、镶有超硬材料的先进刀具结构的新资料以及它们的计算方法。

教材是按苏联高等工业学校机器制造专业《刀具设计》课程大纲编写的。

本书供高等学校机器制造专业学生使用。

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ

ИНСТРУМЕНТЫ

П. Р. РОДИН

Издательское объединение

«Вышшая школа», 1979, с изменениями

* * *

金属切削刀具

〔苏〕 П. Р. 罗金

喻怀仁 陈世忠 等译

薄化川 校

*

机械工业出版社出版（北京·成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

河北省永清县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经销

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张16 · 字数 421千字

1985年8月北京第一版·1985年8月北京第一次印刷

印数 00,001—21,000 · 定价4.60元

*

统一书号：15033·5984

译 者 的 话

《МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ》(金属切削刀具)一书是由 П. Р. 罗金教授按照苏联高等工业学校机器制造专业的《金属切削刀具设计》课程教学大纲编写的。本书内容比较全面,不仅介绍了各种金属切削刀具与磨具的设计计算方法,大量运用了矢量这一数学工具,还对刀具设计的基本原则作了较为详尽地阐述。原书在苏联共出了两版,本译本系修订版。为适应发展的需要,在修订版中增设了《程序控制机床刀具与自动线刀具》一章,并对原有的《刀具材料》、《成形铣刀》、《磨具》各章作了较大的改写。本书与目前国内出版的类似书籍比较,我们认为是有其一定特色的,值得我国高校机器制造工艺及其设备专业的本科生、研究生以及工厂企业、设计科研部门从事金属切削刀具设计与科研的科技人员参考。

参加本书翻译的有:喻怀仁(扉页说明、序、引言、第二章、第四章及第五章)、陈世忠、薄化川(第三章、第六章及第七章)、范忠仁、陈先(第一章)、姜文华及朱秀杰。其中第八章~第十五章为陈世忠、范忠仁、姜文华及朱秀杰所译,由陈世忠统稿。全书由喻怀仁统稿,薄化川校订。

本书在翻译过程中得到中国高校金属切削研究会的大力支持和指导,使译文尽量作到忠实于原文,又力求文句通顺,在此谨致深切谢意。

译 者

一九八四年二月

序

自本书第一版问世以来，机器制造工业在刀具工艺水平的提高方面取得了很大的成就。新型的、高生产率的高速钢与硬质合金刀具的使用扩大了，以金刚石及立方氮化硼为基础的新型的多晶体刀具材料基本上获得了广泛应用，这些材料可以制造用于加工各种不同零件的高生产率刀具，掌握了数控机床刀具、自动线刀具、新型的先进结构刀具、新型高生产率磨具的生产，刀具计算与设计方法也得到进一步发展。

根据上述刀具生产发展的基本方向，本书的再版补充了《程序控制机床刀具与自动线刀具》一章，相当大幅度地改写了《刀具材料》、《成形铣刀》、《磨具》几章。

对于本书其余各章，也作了不同程度的修改。

目 录

引言	1
第一章 刀具材料	8
§ 1 概述	8
§ 2 工具钢	8
§ 3 硬质合金	12
§ 4 陶瓷材料	17
§ 5 磨料	18
§ 6 金刚石和其它超硬材料	21
§ 7 制造刀体的钢种	26
第二章 刀具设计基础	27
§ 1 总论	27
§ 2 刀具原始表面的形成方法	30
§ 3 零件表面的形成条件	35
§ 4 刀具的主要部分	40
§ 5 刀具的切削部分	42
§ 6 在机床上固定刀具的方法	54
第三章 切刀	60
§ 1 用途及主要类型	60
§ 2 车刀刀头的静态几何角度	65
§ 3 硬质合金车刀的结构特点	68
§ 4 车刀的外形尺寸	76
§ 5 金刚石车刀	77
第四章 成形车刀	82
§ 1 基本概念	82
§ 2 成形车刀切削部分几何参数	85
§ 3 用图解法设计棱体车刀廓形	87
§ 4 用解析法设计棱体车刀廓形	89
§ 5 设计圆体成形车刀廓形的解析法	91

§ 6	用图解法设计加工内表面圆体成形车刀廓形	95
§ 7	用径向成形车刀加工时零件形状的畸变	98
§ 8	直线进给运动的切向成形车刀	101
§ 9	用图解法设计切向棱体成形车刀廓形	103
§ 10	用解析法求切向成形车刀廓形	105
§ 11	回转进给运动的切向成形车刀	107
§ 12	成形车刀的结构形式	110
§ 13	成形车刀的刃磨	114
第五章	孔加工刀具	119
§ 1	钻头的用途与主要类型	119
§ 2	麻花钻的结构要素	126
§ 3	硬质合金钻头的结构特点	136
§ 4	麻花钻切削部分的几何参数	139
§ 5	扩孔钻	149
§ 6	扩孔用的圆柱形扩孔钻	153
§ 7	铰刀	157
§ 8	圆柱形铰刀结构要素	159
§ 9	孔加工复合刀具	162
第六章	铣刀	170
§ 1	铣刀类型及用途	170
§ 2	尖齿铣刀结构要素	177
§ 3	硬质合金铣刀的结构特点	181
§ 4	组合铣刀	186
第七章	成形铣刀	189
§ 1	基本概念	189
§ 2	铲齿成形铣刀	191
§ 3	加工圆柱面(直沟)用铲齿铣刀廓形设计的图解法	196
§ 4	加工圆柱面的铲齿铣刀廓形设计的解析法	200
§ 5	成形铣刀加工柱面的成形条件	207
§ 6	圆铲背装配式铣刀廓形设计的解析法	210
§ 7	圆铲背装配式铣刀廓形设计的图解法	218
§ 8	铲齿成形铣刀的结构要素	219

§ 9	尖齿成形铣刀.....	222
§ 10	加工螺旋槽的铣刀廓形设计	223
§ 11	铣削螺旋槽时既定槽形的形成条件	226
§ 12	螺旋槽铣刀廓形设计的解析法	229
第八章	拉刀	233
§ 1	用途与基本类型.....	233
§ 2	内孔拉刀.....	237
§ 3	外拉刀.....	256
§ 4	组合拉刀.....	261
第九章	螺纹刀具	266
§ 1	用途与类型.....	266
§ 2	螺纹车刀.....	274
§ 3	丝锥.....	280
§ 4	圆板牙.....	288
§ 5	螺纹铣刀.....	291
第十章	螺纹滚压工具	299
§ 1	概述.....	299
§ 2	搓丝板.....	304
§ 3	滚丝轮.....	306
§ 4	加工内螺纹的挤压丝锥.....	310
第十一章	展成刀具	313
§ 1	用途与基本类型.....	313
§ 2	展成车刀.....	318
§ 3	展成车刀廓形设计的图解法.....	321
§ 4	展成车刀廓形设计的图解解析法.....	323
§ 5	展成车刀加工成形表面时的条件.....	325
§ 6	展成车刀的结构要素.....	329
§ 7	滚刀、滚刀廓形设计的图解法.....	331
§ 8	滚刀廓形设计的图解解析法.....	334
§ 9	滚刀廓形设计的解析法.....	337
§ 10	用滚刀加工成形廓形时的成形条件	340
§ 11	滚刀的结构要素	345

§ 12 插齿刀。插齿刀廓形设计的图解法	348
§ 13 插齿刀廓形设计的解析法	349
§ 14 插齿刀廓形设计的图解解析法	351
§ 15 用插齿刀加工成形廓形时的成形条件	352
§ 16 插齿刀的结构要素	355
§ 17 用展成法加工复杂成形表面的刀具	357

第十二章 圆柱齿轮刀具

§ 1 概述	362
§ 2 盘形与指状齿轮铣刀。成形齿轮铣刀的廓形设计	367
§ 3 成形齿轮铣刀的设计特点	371
§ 4 直齿齿条刀	375
§ 5 齿轮滚刀	382
§ 6 插齿刀	400
§ 7 精整加工圆柱齿轮刀具	418
§ 8 剃齿刀	422

第十三章 锥齿轮刀具

§ 1 概述	435
§ 2 齿轮刨刀	441
§ 3 加工锥齿轮的盘形展成铣刀	445
§ 4 加工圆弧齿锥齿轮的刀盘	447
§ 5 切削圆弧齿锥齿轮的理论基础	457
§ 6 加工曲线齿锥齿轮的滚刀	467
§ 7 用滚刀切削锥齿轮的基本原理	468

第十四章 磨具

§ 1 概述	469
§ 2 砂轮	476
§ 3 砂带	482
§ 4 金刚石砂轮	485
§ 5 珩磨与超精加工用的磨石	486
§ 6 弹性砂轮	489

第十五章 程控机床刀具与自动线刀具

§ 1 概述	492
§ 2 加工复杂成形表面的刀具及其运动轨迹的确定	494

主要符号说明	498
--------------	-----

引 言

金属切削刀具是最重要的生产工具之一。它用于在金属切削机床上加工各种零件。工件材料的一部分被切成切屑，直到获得所要求的零件表面。

现代的机器制造工业中，应用着大量各种形式的刀具。例如，许多车刀只有一个切削部分，而那些复杂刀具，如拉刀，则有几十个切削齿。

在人类文化发展的初期，人们在自己劳动过程中，最早使用的工具之一是石头工具。在新石器时代，人类已经能制造许多各种精巧的石头工具：石铲、石刀、石钻、石针、石剑、石斧、石锤、石凿、石锄、石镰、石铤等。

石头工具性脆，经常会断裂，而人们扩大了的生产活动需要更为经久耐用的工具。所以在公元前三千~一千年，人们用铜、锡、青铜取代了石头。用青铜制造的工具虽然比较坚固，但其硬度及锋利程度则不如石头。因此青铜并不能代替石头工具。

手工业的发展迫切需要兼有青铜的强度和石头的硬度那样一种材料。铁就是这种材料。从而使手工业者获得既硬又锋利的工具，这在当时不论是任何一种石头，还是已被发现的任何一种金属都是无法相比的。

在中世纪，独立的行会之间和行会中个体工人之间还没有劳动分工。每个工人都必须会操作与该行会有关的所有工序。

代替手工业生产的工场手工业时期，产生了劳动的分工。每个工人只需要完成许多工序中的一项工序。这一变化促进了劳动工具的分解，以适应工场手工业生产中固定工序的需要。

由一定数量的从事工场手工业劳动的工人组成了所谓“集体工人”。

与独立完成某一种产品制造中全部工序的同样数量的个体工人相比较，“集体工人”的生产效果要好得多。

当从工场手工业生产向机器工业过渡时，社会生产率的发展出现了飞跃。这和从手工劳动过渡到机器生产以及直接影响到劳动对象的机器有密切关系。

应用机器可以使劳动工具的能力远远超过人的体力，提高工作过程的进展速度，发展由一个工人操纵的由许多工作机械组成的联动机组。

随着机器复杂程度的提高和机器功率及机构工作精度的提高，手工劳动已不能解决机器制造中的许多技术问题。

那时加工金属的主要技术工具是手动车床。工作时，工人手执车刀，按照被加工表面的形状，沿要求的方向移动车刀。机床上显然必须有一种机构代替人手夹持车刀，那机构就是车床的刀架。带有刀架的车床最早是由俄国的 A. K. 纳尔托夫（一六九三～一七五六年）制造出来的。

应用刀架可以采用机用刀具，可以创造能够高速度制造各种高精度机器零件的高生产率的多刀车床。

向机器生产的过渡导致工具十分蓬勃的发展及新型工具的出现。

在十九世纪中叶，出现了诸如麻花钻头、铰刀、扩孔钻、各种型式的铣刀等刀具，其中包括加工齿轮用的铲齿成形铣刀。十九世纪末及二十世纪初开始在生产中采用一些复杂刀具，如齿轮滚刀、插齿刀、齿条刀等。在二十世纪 20 年代又创造了拉刀这样的刀具，这种刀具由于高的生产效率及高的加工质量，如今已被广泛采用。在这一时期内，开始采用各种复合刀具以及可以把几道工序合并的组合刀具。

刀具是机器制造工业各部门中最重要的技术装备。在金属加工发展的整个历史过程中，刀具都对金属切削机床的结构及机器制造工艺产生巨大的影响。

例如，用高速钢代替碳素工具钢，导致了加工用量的显著提

高。同样，也导致了劳动生产率的提高。

碳钢刀具的切削速度在 10 m/min 左右。同样的高速钢刀具可把切削速度提高到 $30 \sim 40 \text{ m/min}$ 。切削速度如此显著的提高，不会不影响到金属切削机床的结构。具有高转速的机床要求具有更高的刚性和强度。单独传动代替了成组天轴传动。

《红色无产者》工厂出产的 ДИП 型车床可以作为采用高速钢刀具加工机器零件用的最完善的车床楷模。由 10 台 ДИП-200 型车床组成的第一批产品于一九三二年五月一日出厂。中心高为 200 mm 的 ДИП-200 型螺纹车床具有单独传动的电动机，可保证主轴最高转速为 600 r/min 。

机器制造技术的不断进步是和采用硬质合金作为刀具材料有关，与高速钢刀具相比较，硬质合金可以提高切削速度 $2 \sim 3$ 倍。切削速度如此急剧的提高，迫切要求创造新型的金属切削机床，以适应新型刀具的要求。

ДИП 型车床已经不适用于硬质合金刀具的加工了。一九四九年，《红色无产者》工厂开始生产新型的 1A62 车床，该车床与 ДИП-200 相比，功率增大，主轴最高转速提高一倍。但该车床一直生产到一九五六年，并不能满足高速切削的全部要求。因此，《红色无产者》工厂于一九五六年十一月创造了具有转速 $12.5 \sim 2000 \text{ r/min}$ 的 1K62 车床。

因此，采用了新型的、更完善的刀具材料会促使金属切削机床的改革，促使设计出具有更高转速、更大功率和刚性的机床。

刀具不仅影响到机床的结构和零件的制造工艺，还在一定程度上影响到机器零件的结构形状。例如，由于拉削方法的应用，才有可能在机器零件中出现和广泛普及花键联结。花键拉刀可以保证高生产率地加工必要精度的花键孔。

重型机床制造的发展导致创造大尺寸刀具的新型结构。在机器制造中建立和使用自动线，要求设计具有高的尺寸耐用度刀具，要求能够在一定时间（如一个工作班）内加工出合格尺寸的零件。结果研究出在切削过程中恢复切削刃的刀具，带有自动调

整装置的刀具，带有在机床外调整尺寸的装置以及为了在自动线工作过程中能自动更换已磨损刀具的自动换刀装置。

乍看上去，似乎刀具在工业中的作用并不大，但是如果考虑到机器制造工厂中，每天有千百万个切削刃在加工上千万件各种各样的零件时，那么刀具在国民经济中的作用就十分清楚了。

任何机器制造生产的顺利发展，在很大程度上取决于能否保证供应足够数量的刀具。

革命前的俄国甚至于连一个专业工具厂也没有。仅仅在图拉、普梯罗夫、兹拉托乌斯特、伊热夫、奥布霍夫、柯罗姆诺等工厂中，为了满足本厂的需要而制造刀具，而从国外进口的却占刀具总数的90%。一九一九年，我国首先在莫斯科建立了专业国营工具厂。第一阶段，工厂专门生产刀具与夹紧工具，其主要产品是铣刀、丝锥、板牙、铰刀、钻头。工具的生产是以把生产过程划分为许多独立工序为基础组织起来的，每个工人在固定的装有专用夹具的机床上完成一道工序。在当时这种工具生产的组织方式被认为是新式的和先进的，显得十分有效。

这种把工艺过程划分成许多工序，并利用装有专用夹具的通用设备的加工原理，同样也在其它的一些工厂中采用，其中谢斯特罗烈茨克工具厂就是一个例子，该厂于一九二二年便成为专业工具厂。在国民经济恢复时期，除了已经举出的工厂外，一些专业厂也发挥了作用，如兹拉托乌斯特的列宁工厂，哈尔科夫刀具厂，米阿斯和伏罗希洛夫格勒的锉刀厂。

在第一个五年计划快结束时，以 M. И. 加里宁命名的规模巨大的《铣刀》工具厂已投入生产。由于《铣刀》工厂以及诸如谢斯特罗烈茨克工厂和兹拉托乌斯特工厂的开工和工具的扩大生产，莫斯科工具厂（МИЗа）作为标准刀具供应者的作用渐渐成为次要的了。从这时期起，莫斯科工具厂转向生产拉刀、齿轮刀具及其它复杂的非标准刀具。

在战前的五年计划年代里，工具工业的发展发生了重要的变化。到1941年初，仅仅在机床制造工业部系统里，就有九家工具

厂。

但是专业工具工业的发展并不能在刀具上满足国民经济的需要。因为在同一时期，我国机器制造企业在不断地迅速增多，伏尔加格勒、哈尔科夫和切利亚宾斯克的拖拉机厂，莫斯科和高尔基市的汽车厂，乌拉尔、乌克兰的重型机器制造厂等都已投入生产。仅仅在第一个五年计划的年代里，就有1500个以上的各类新厂开工。

自然，这种状况就促使在机器制造厂里建立大型的工具车间，这些车间都在短时间内建成，以满足企业所必需的工具。由于企业中工具车间数量的增加，按1932年的资料，工具车间的机床总数已超过工具厂机床总数的一倍。实际上相当于中等规模工厂的大型工具车间已经在拖拉机和汽车工厂、飞机工厂和其它企业中建成。因此我国在1940年末就几乎不再进口刀具了。

在伟大的卫国战争年代里，由于把工业基地转移到我国东部，专业工具厂几乎倍增，发展到十七家。在托木斯克、诺沃西比尔斯克、奥伦堡、斯维尔德洛夫斯克都建有工具厂。在战后期间，工具生产的扩大是采取推广新的、先进的工具制造方法，并在维尼茨、里沃夫、明斯克、维尔纽斯和其它城市建立了新的工具厂。如今我国的专业工具厂已超过50家。但是在专业工具厂集中生产标准刀具的任务暂时还未解决。

在第九个五年计划里，金属加工工具的专业化生产增长到1.49倍；磨具增长到1.35倍；金刚石工具增长到2.65倍。

一些新的专业工具厂开了工：别尔戈罗德工具厂、伏龙芝工具厂、奥尔沙工具厂等。在提高产品技术水平方面取得了优良成绩。提高生产效率后，高速钢刀具的产量增加到5倍以上；整体硬质合金刀具产量增加到2倍；硬质合金可转位刀具增长到1.6倍；高精度的精密刀具增长到1.7倍。

在第九个五年计划里，基本上广泛采用了以金刚石及立方氮化硼为基础的新型的多晶体刀具材料。在许多情况下，它可以代替硬质合金刀具，并提高金属切削加工生产率2~4倍。

在工业中，推广了新的先进的刀具生产工艺过程：掌握了金刚石的刃磨及硬质合金的研磨工艺，广泛应用了制造刀齿时的表面光整方法，应用新的先进工艺过程制造金属喷镀金刚石砂轮等。

在第十个五年计划里，按照第二十五届苏共代表大会批准的《1979~1980年苏联国民经济发展的基本方向》的精神，扩大生产天然金刚石和人造金刚石刀具以及其它超硬材料及合金的刀具、陶瓷材料刀具；扩大生产用于数控机床及自动线的刀具。由苏共中央委员会及苏联部长会议所通过的决议《关于改善计划和加强经济机构对提高生产效率和工作质量的作用》，拟定出进一步提高生产效率及加速科学技术进步的措施，规定从第十一个五年计划开始，在每年的经济与社会发展计划中，要确定掌握与应用新的高效率的工艺过程和产品形式，以实现科学技术纲领的任务。

广泛推广和应用各种机器，只有在发展相应科学部门的基础上，设计机器的有效结构才有可能。在切削过程理论的研究及刀具设计方面，高等学校的实验室以及工厂全体人员和他们的工艺实验室都作出了很大贡献。

金属切削加工领域里的研究工作在专门的科学研究所里进行（全苏工具科学研究所、金属切削机床科学实验研究所、中央重型机器制造与工艺科学研究所）。

在苏联社会主义国民经济蓬勃发展的同时，成功地解决了培养工程技术干部的任务。

机器制造工艺、金属切削机床与刀具的机械工程专业是苏联高等学校工程专业中的一个专业。在苏联，首次有计划地培养这个领域的工程师是在30年代，当时开始高速度发展机器制造业，其中包括机床制造与工具生产。于1930年成立了莫斯科机床制造学院。同时开始培养机床制造与工具生产的专业工程师。

机器制造工艺、金属切削机床与刀具的专家们从高等学校毕业后能够到国民经济各个部门的各类机器制造厂工作。

在机器制造厂里，机器零件的生产过程不断完善。毛坯生产过程走上提高毛坯精度和减少切削加工余量的方向。但是尽管如此，零件的切削加工所占比重仍旧很高。例如，在涡轮机制造业中，机械加工与装配的劳动量占机器制造总劳动量的70%左右，而在机床制造与拖拉机制造业中，约占60%。

必须指出，锻压与金属切削的设备有效数量的比例已经几乎是长期不变的。最近又出现了化学和电化学的金属加工方法，如阳极机械加工、电腐蚀加工和电脉冲加工、超声波加工、电辐射加工等。

当采用通常的切削加工方法加工高强度钢、不锈钢及耐热钢有困难时，采用物理—化学的新加工方法是有效率的。但是，目前采用新的物理—化学方法的工作范围还不够广泛。可以推测，在不久的将来，这些方法的发展速度将超过切削加工方法的发展速度，但是这并不会影响到切削加工在机器制造中的地位和作用。在评价切削加工作用时，必须考虑到它具有高的机动性和灵活性，制造由复杂的成形表面组成的各种零件的可能性，被加工材料性能对加工精度与质量影响较小，与其它加工方法相比较，可获得更高的尺寸精度，较低的刀具费用，通过调整可扩大机床的灵活性，较小的单位能量的消耗。

改善毛坯制造方法可扩大精加工的比重，但并不能排除切削加工。

机器结构的复杂化，其精度和质量的提高，其结果虽然会导致其它金属加工方法的发展，但切削加工在机器制造中所占的地位本质上是不变的，而其应用范围却有很大的增长。在不久的将来，切削加工仍然是最普遍的加工方式，在极大程度上决定着机器制造的经济指标、机器制造的劳动量及机器质量。

第一章 刀具材料

§1 概 述

金属切削加工的发展史表明,采用新型刀具材料,是提高机械制造劳动生产率的有效途径之一。例如,用高速钢代替一般工具钢(指碳素工具钢、合金工具钢)、切削速度可提高1~2倍。这就要求机床结构作根本性的改变,首先是增加它的转速和功率。类似的情况,也会出现在以硬质合金作为刀具材料的时候。

刀具材料必须具备较高的硬度,以便在相当长的一段时间内都能进行切削。

刀具材料的硬度应远比工件的硬度高,即使切削过程中刀具受热后也应如此。在高温情况下,刀具材料保持其硬度的性能,称为红硬性(热硬性)。

刀具切削部分在高温高压下应具备较好的耐磨性。

刀具材料应有足够高的强度,也是一项很重要的要求。因强度不够会发生切削刃剥落,特别是小尺寸的刀具,或许会折断。

刀具材料还应具有良好的工艺性,即便于制造和重磨,此外价格应较为低廉。

目前,用于制造刀具切削部分的材料有:工具钢(碳素工具钢、合金工具钢和高速钢)、硬质合金、陶瓷材料、金刚石和其它超硬材料、磨料等。

§2 工 具 钢

碳素工具钢 Y10A、Y11A、Y12A、Y13A 制成的刀具,在常温下具有足够的硬度、强度和耐磨性,但其热硬性较差,温度达200~250℃时,硬度就明显下降,故这类材料常用于制造以较低的切削速度加工软金属的手动和机动刀具,如锉刀、小钻头、