



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
中等职业学校机械专业教学用书

第2版

金属切削 原理与刀具

JINSHU QIEXIAO YUANLI YU DAOJU

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会 组编
机电专业委员会

沈志雄 主编



赠电子课件

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
中等职业学校机械专业教学用书

金属切削原理与刀具

第2版

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会 组编
机电专业委员会

沈志雄 主编



机械工业出版社

本书是为适应中等职业技术教育教学改革需要而编写的。主要内容有：金属切削刀具的材料，刀具的几何形状和切削要素，金属的切削过程，刀具的磨损与刃磨，提高金属切削效率的途径，常用刀具。

本书可作为中等职业技术学校、技工院校机械类专业的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

金属切削原理与刀具/沈志雄主编；中国机械工业教育协会，全国职业培训教学工作指导委员会，机电专业委员会组编。—2版。

—北京：机械工业出版社，2013.12

（教育部职业教育与成人教育司推荐教材 中等职业学校机械专业教学用书）

ISBN 978-7-111-44395-7

I. ①金… II. ①沈…②中…③全…④机… III. ①金属切削—理论—中等专业学校—教材②刀具（金属切削）—中等专业学校—教材
IV. ①TG501②TG71

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 244440 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：王华庆 责任编辑：王华庆 张振勇

版式设计：霍永明 责任校对：刘秀芝

封面设计：赵颖喆 责任印制：杨曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2014 年 1 月第 2 版第 1 次印刷

140mm×203mm · 4.25 印张 · 110 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-44395-7

定价：13.80 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务 网络服务

社服务中心：(010)88361066 教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010)68326294 机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010)88379649 机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

中等职业学校机械专业教学用书(第2版)

编审委员会名单

- 主任** 郝广发
- 副主任** 周学奎 刘亚琴 李俊玲 何阳春 林爱平 李长江
付捷 单渭水 王兆山 张仲民
- 委员** (按姓氏笔画排序)
- 于平 王珂 王军 王洪琳 付元胜 付志达
刘大力 (常务) 刘家保 许炳鑫 孙国庆 李木杰
李稳贤 李鸿仁 李涛 何月秋 杨柳青 杨耀双
杨君伟 张跃英 张敬柱 林青 周建惠 赵杰士
郝晶卉 荆宏智 贾恒旦 黄国雄 董桂桥 曾立星
甄国令
- 本书主编** 沈志雄
- 参编** 陈明

前 言

由中国机械工业教育协会、全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组编的中等职业学校机械专业和电气维修专业教学用书（共 22 种）自 2003 年出版以来，已多次重印，受到了教师和学生的广泛好评，并且有 17 种被教育部评为“教育部职业教育与成人教育司推荐教材”。

随着技术的进步和职业教育的发展，本套教材中涉及的一些技术规范、标准已经过时，同时，近年来各学校普遍进行了教学和课程的改革，使教学内容也有了一定的更新和调整。为更好地服务教学，我们对本套教材进行了修订。

本次修订，充分继承了第 1 版教材的精华，在内容、编写模式上做了较多的更新和调整，配套资源更加丰富。第 2 版教材具有以下特点：

(1) 内容新而全 本套教材在修订过程中，主要是更新陈旧的技术规范、标准、工艺等，做到知识新、工艺新、技术新、设备新、标准新，并根据教学需要，删除过时和不符合目前授课要求的内容，精简赘述、繁杂的理论，适当增加、更新相关图表和习题，重在使学生掌握必需的专业知识和技能。

(2) 编写模式灵活 为了适应教学改革的需要，部分专业课教材采用任务驱动模式编写。

(3) 配套资源丰富 本套教材全部配有电子课件，部分教材有配套习题集或复习思考题。

本套教材的编写工作得到了各相关学校领导的重视和支持，参加教材编审的人员均为各校的教学骨干，使本套教材的修订工作能够按计划有序地进行，并为编好教材提供了良好的保证，在此对各个学校的支持表示感谢。

本书由沈志雄主编，陈明参加编写。

尽管我们不遗余力，但书中仍难免存在不足之处，敬请读者批评指正。我们真诚地希望与您携手，共同打造职业教育教材的精品。

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会

目 录

前 言

绪 论	1
第一章 金属切削刀具的材料	3
第一节 刀具材料应具备的性能和种类	3
第二节 工具钢	5
第三节 硬质合金	9
第四节 其他刀具材料	13
思考与练习题	16
第二章 刀具的几何形状和切削要素	17
第一节 切削过程中的运动和形成的表面	17
第二节 刀具切削部分的基本定义	18
第三节 切削要素	24
思考与练习题	26
第三章 金属的切削过程	27
第一节 切屑的形成	27
第二节 积屑瘤与加工硬化	31
第三节 切削力	34
第四节 切削热与切削温度	38
思考与练习题	41
第四章 刀具的磨损与刃磨	42
第一节 刀具的磨损及其原因	42

第二节	刀具的磨钝标准	45
第三节	刀具的寿命	46
第四节	刀具的刃磨	49
	思考与练习题	53
第五章	提高金属切削效率的途径	51
第一节	改善工件材料的切削加工性	54
第二节	刀具几何参数的合理选择	57
第三节	切削液的合理选择	65
第四节	切削用量的合理选择	68
	思考与练习题	72
第六章	常用刀具	74
第一节	车刀	74
第二节	麻花钻	88
第三节	镗刀	98
第四节	铰刀	103
第五节	铣刀	107
第六节	丝锥与板牙	111
第七节	磨削原理及砂轮的选择	116
	思考与练习题	124
参考文献	126

绪 论

金属切削加工是利用高于工件硬度的切削工具，在工件上切除多余金属的加工方法，是机械制造业基本的加工方法之一。在机械制造工艺过程中，凡是精度和表面质量要求较高的零件，一般都需要经过切削加工。

我国的金属切削加工技术有着悠久的历史，它是从古代加工石质、木质、骨质和其他非金属器物发展演变而来的。公元前二千多年青铜器时代就已经出现了金属切削的萌芽，当时的青铜刀、锯、锉等已经类似于现代的刀具。根据大量出土文物与文献推测，最迟在唐代（8世纪）我国已有了原始的车床。到了明代（17世纪），各种切削加工如车、铣、钻、刨、磨等分工逐渐明确。当时为了精加工天文仪器上的直径达2m多的大铜环，用畜力带动铣刀、磨石进行铣削和磨削，这种加工方法与现代的加工方法已经十分相似了。

但是在解放以前很长一段时间，由于封建制度的束缚、外国的侵略和统治阶级的无能，使我国的科学技术长期得不到发展。与国外发达国家相比，我国的金属切削加工技术十分落后，当时除了少数几个修配厂外，根本谈不上自己的机床和工具制造业。

新中国成立后，在中国共产党的领导下，我国的机械制造业有了很大的发展，金属切削加工技术也有了突飞猛进的发展。尤其是改革开放以来，我国引进、消化和吸收国外先进的切削技术和新的工艺，各有关科研院所也对切削理论进行深入研究，取得了丰硕的成果。现在，我国在刀具材料、刀具品种和质量方面，有些已跃入世界先进行列，但与世界上工业发达国家相比，还有一定的差距。

目前金属切削加工有两项引人瞩目的成就：一是精密加工技术，30多年前只能加工 $10\mu\text{m}$ 级精度零件，而现在已能加工 $10^{-1}\mu\text{m}$ 级至 $10^{-2}\mu\text{m}$ 级精度的零件；二是计算机辅助制造 (CAM) 技术和柔性制造系统 (FMS) 进入实用阶段，使加工制造向自动化、智能化方向发展。

刀具是金属切削加工中不可缺少的重要工具之一，无论是普通机床、数控机床还是柔性制造系统，都必须依靠刀具才能完成切削工作。一方面，由于刀具的改进与发展，往往可以成倍，甚至几十倍地提高工效，促进了生产率的提高、机床结构及加工工艺的改革；另一方面，随着科学技术与生产力的发展，又对刀具的材料及结构提出了更高的要求，以适应加工的需要。

通过本课程的理论教学、实验、实习等教学环节，应达到以下要求：

了解常用金属切削加工基本理论知识，掌握金属切削过程的基本规律；掌握常用刀具的类型、结构特点与应用范围，能根据加工条件正确选择与使用各种常用刀具；掌握正确选择刀具几何角度和切削用量的基本知识。

第一章 金属切削刀具的材料

在金属切削加工过程中，刀具直接完成切削工作。刀具切削性能的优劣，直接影响到工件被加工表面的质量、切削效率、刀具的使用寿命和加工成本的高低。合理选择刀具切削部分的材料以及刀具几何形状和结构是十分重要的。

第一节 刀具材料应具备的性能和种类

一、刀具材料应具备的性能

刀具在切削过程中，要承受切削力、高温、冲击和振动，并被磨损。因此，刀具材料必须具备以下几方面的性能：

1. 足够的硬度和耐磨性

硬度是刀具材料应具备的基本性能。刀具材料的硬度应高于工件材料的硬度，一般刀具材料的常温硬度须在 60HRC 以上。耐磨性是指材料抵抗磨损的能力，它与材料硬度、强度和组织结构有关。材料硬度越高，则耐磨性越好。材料组织中碳化物、氮化物等硬质点的硬度越高、颗粒越小、数量越多且分布均匀，则耐磨性越高。

2. 足够的强度与韧性

切削时刀具要承受很大的切削力、冲击和振动。为避免崩刃和折断，刀具材料应具有足够的强度和韧性。材料的强度和韧性通常用抗弯强度 σ_{bb} 和冲击韧度 a_k 表示。

3. 高的耐热性

耐热性是刀具材料在高温下仍能维持刀具切削性能的一种特性。通常把材料在高温下仍保持高硬度的能力称为热硬性。刀具材料的高温硬度越高，耐热性越好，允许的切削速度越高。它是影响刀具材料切削性能的重要指标。

4. 良好的导热性

刀具材料的热导率越大，刀具传导热量的能力就越大，有利于将切削区的热量传出，降低切削温度，提高刀具寿命。

5. 良好的工艺性

为便于刀具本身的加工制造，刀具材料要有良好的工艺性能，如热轧、锻造、焊接、热处理和磨削加工等性能。尤其是制造复杂形状的刀具材料，要求在热处理前的退火状态下具有较低的硬度，以便经过切削加工获得需要的造型和精度；经过热处理淬火后，切削部分的硬度则应满足切削时的需要，并且在允许的重磨次数内保持这一硬度值不会明显降低；在热处理过程中，则要求刀具毛坯不发生过大的热处理变形等。

6. 经济性

在切削加工中，刀具消耗是很大的，刀具费用在机械零件的成本构成中占有较大比重。在满足切削加工要求的前提下，应尽量选用原料丰富、制备容易、价格低廉、立足国内的刀具材料。

二、刀具材料的分类

刀具切削部分的材料主要有：工具钢（包括碳素工具钢、合金工具钢、高速钢）、硬质合金、陶瓷和超硬材料等四类。一般切削加工使用最多的是高速钢和硬质合金。各类刀具材料的主要物理性能和力学性能见表 1-1。

表 1-1 各类刀具材料的主要物理性能和力学性能

材料种类	密度 $\rho / (\text{g}/\text{cm}^3)$	硬度 HRC (HRA) [HV]	抗弯强度 σ_{bb} /GPa	冲击韧度 a_K (MJ/m ²)	热导率 $\lambda / [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	耐热性 /°C	
工具钢	碳素工具钢	7.6~7.8	60~65 (81.2~84)	2.16	—	≈ 41.87	200~ 250
	合金工具钢	7.7~7.9	60~65 (81.2~84)	2.35	—	≈ 41.87	300~ 400
	高速钢	8.0~8.8	63~70 (83~86.6)	1.96~4.41	0.098~ 0.588	16.75~ 25.1	500~ 600

(续)

材料种类		密度 /(g/cm ³)	硬度 HRC (HRA) [HV]	抗弯强度 σ_{bb} /GPa	冲击韧度 a_K (MJ/m ²)	热导率 λ /[W/ (m·K)]	耐热性 /°C
硬质合金	钨钴类 (K类) ^①	14.3~ 15.3	(89~91.5)	1.08~2.16	0.019~ 0.059	75.4~ 87.9	800
	钨钛钴类 (P类)	9.35~ 13.2	(89~92.5)	0.882~ 1.37	0.0029~ 0.0068	20.9~ 62.8	900
	含有碳化 钽、铌类	—	(90~92)	1.18~1.47	—	—	1000~ 1100
	碳化钛基类	5.56~6.3	(92~93.3)	0.78~1.08	—	—	1100
陶瓷	氧化铝陶瓷	3.6~4.7	(91~95)	0.44~ 0.686	0.0049~ 0.0117	41.9~ 20.93	1200
	氧化铝碳化 物混合陶瓷			0.71~ 0.88			1100
	氮化硅陶瓷	3.26	[5000]	0.735~ 0.83	—	37.68	1300
超硬材料	立方氮化硼	3.44~ 3.49	[8000~ 9000]	≈0.294	—	75.55	1400~ 1500
	人造金刚石	3.47~ 3.56	[10000]	0.21~0.48	—	146.54	700~ 800

① 国际标准 ISO 代号将硬质合金分为 K、P、M 三类，括号内为新牌号。

第二节 工 具 钢

一、碳素工具钢

碳素工具钢是含碳量(质量分数)为 0.65%~1.3%的优质碳素钢,常用钢号有 T7A、T8A、T10A 及 T12A 等。这类钢工艺性能良好,经适当热处理,硬度可达 60~64HRC,有较高的耐磨性,价格低廉。最大缺点是热硬性差(约 200~250°C),故允许的切削速度较低($v < 8\text{m/min}$),且淬透性差,水冷时,心

部能淬透的最大直径只有 $\phi 10 \sim \phi 12 \text{mm}$ 。因此，只能用于制造手用刀具、低速及小进给量的机用刀具。

二、合金工具钢

合金工具钢是在碳素工具钢中加入适当的合金元素 Cr、Mo、Si、W、Mn、V 等炼制而成的，它提高了刀具材料的淬透性、韧性、耐磨性和耐热性。其耐热性达 $250 \sim 350^\circ\text{C}$ ，所以切削速度比碳素工具钢高。合金工具钢主要用于制造细长刀具或截面积大、刃形复杂的刀具，如拉刀、丝锥、板牙等。常用的合金工具钢有 9SiCr、CrWMn 等。

三、高速工具钢

高速工具钢简称高速钢，是含有较多的合金元素如 W、Cr、Mo 及 V 等的合金工具钢。它与碳素工具钢或合金工具钢相比，突出的性能特点是热硬性很高，在切削温度高达 $500 \sim 600^\circ\text{C}$ 时，仍能保持 60HRC 的高硬度，切削速度可提高 1~3 倍。高速钢具有良好的淬透性，小型刀具在空气中冷却即可淬透。同时，高速钢还具有较高的硬度和耐磨性以及较高的强度和韧性。高速钢的使用约占刀具材料总量的 60%~70%，特别是用于制造结构复杂的成形刀具、孔加工刀具，例如各类铣刀、拉刀、螺纹刀具及齿轮刀具等。

常用高速钢牌号及其物理力学性能见表 1-2。

1. 普通性能高速钢

普通性能高速钢应用最为广泛，约占高速钢总量的 75%。其性能特点是工艺性能好，具有较高的硬度、强度、耐磨性和韧性，可用于制造各种刃形复杂的刀具。切削普通钢料时的切削速度通常不高于 $40 \sim 60 \text{m/min}$ 。高速钢碳的质量分数为 0.7%~0.9%，主要牌号有以下三种：

(1) W18Cr4V 其优点是综合性能较好，热处理工艺性能和可磨削性都较好，可制造各种形状复杂的刀具。其缺点是碳化物分布不均匀性严重，抗弯强度和冲击韧度比钼系差。此外由于钨的价格较高，国外已较少采用。我国在 20 世纪 60~70 年代曾

表 1-2 常用高速钢牌号及其物理力学性能

类型	牌 号			硬度 HRC			抗弯强度 σ_{bb}/GPa	冲击韧度 a_K /(MJ/m ²)
	GB/T9941~9943-2009 (YB/T2-1980)	美国 AISI 代号	国内有 关厂代号	室 温	500℃	600℃		
通用型 高速钢	W18Cr4V	(T1)		63~66	56	48.5	2.94~3.33	0.176~0.314
	W6Mo5Cr4V2	(M2)		63~66	55~56	47~48	3.43~3.92	0.294~0.392
	W9Mo3Cr4V			65~66.5			4~4.5	0.343~0.392
	W10Mo4Cr4V3Co10	(EV4)		65~67		51.7	≈3.136	≈0.245
	W6Mo5Cr4V3	(M3)		65~67		51.7	≈3.136	≈0.245
含钴 高生产率 高速钢	W6Mo5Cr4V2Co5	(M36)		66~68		54	≈2.92	≈0.294
	W2Mo9Cr4VCo8	(M42)		67~70	60	55	2.65~3.72	0.225~0.294
超 硬 型	W6Mo5Cr4V2Al	(M2Al)	(501)	67~69	60	55	2.84~3.82	0.225~0.294
	W6Mo4Cr4V2	(5F-6)		67~69	60	54	3.04~3.43	0.196~0.274
	CW6Mo5Cr4V2	(B201)		66~68	57.7	50.9	3.53~3.82	0.255~0.265

应用较普遍，现在应用也逐渐减少。

(2) W6Mo5Cr4V2 这是以 Mo 代 W 发展起来的一种高速钢，国外应用较多，其切削性能大致与 W18Cr4V 相同。由于钢中合金元素含量较少，碳化物数量相应减少，而且颗粒细小分布均匀，因而与 W18Cr4V 相比，抗弯强度、塑性、韧性和耐磨性略有提高，特别是热塑性非常好。其主要缺点是淬火温度范围狭窄、脱碳、过热敏感性较大，可磨削性也略低于 W18Cr4V。主要用于热轧刀具，如扭制麻花钻等。

(3) W9Mo3Cr4V 此种高速钢是根据我国资源研制的，其抗弯性能与韧性均比 W6Mo5Cr4V2 好。高温热塑性好，而且淬火过热、脱碳敏感性小，有良好的切削性能。

2. 高生产率高速钢

高生产率高速钢是在普通高速钢成分的基础上再添加一些 C、V、Co、Al 等合金元素，进一步提高了钢的耐热性和耐磨性。这类高速钢刀具的寿命约为普通高速钢的 1.5~3 倍。适用于加工不锈钢、耐热钢、钛合金及高强度钢等难加工的材料。

(1) W6Mo5Cr4V3 高钒高速钢 V 的质量分数提高到 3%~5% 的高速钢称为高钒高速钢，V 在钢中形成大量的碳化钒，使其硬度与耐磨性大大提高，但钒的增加也使其可磨削性相应地下降。用于制造加工高强度钢的车刀、铣刀、钻头 etc 刀具。

(2) W2Mo9Cr4VCo8 钴高速钢 这是一种含 Co 超硬高速钢，常温硬度达 67~69HRC，具有良好的综合性能。Co 能提高高温硬度，相应地提高了切削速度。因 V 的含量不高，故其可磨削性良好。钴高速钢刀具适于切削加工不锈钢、高温合金。钴高速钢在国外应用较多，我国由于钴储量少，故使用不多。

(3) W12Mo3Cr4V3Co5Si (这是已经废止的冶金牌号，但目前企业中仍有应用) 低钴高速钢 这是用减少 Co 增加 Si 的办法来获得较好性能的一种刀具材料，但其成分中仍含 Co (仍然不经济)。由于 V 含量增加，使可磨削性降低。

(4) W6Mo5Cr4V2Al (501) 铝高速钢 铝高速钢是我国研制的无钴高速钢，是在普通高速钢的基础上添加少量铝，以提高钢的耐热性和耐磨性，并使其强度和韧性不降低。国产 501 钢的性能已接近国外的 W2Mo9Cr4VCo8。因不含钴，生产成本较低，已在我国推广使用。

第三节 硬质合金

一、硬质合金的组成与性能

硬质合金是将一些难熔的、高硬度的微米级合金碳化物粉末与金属粘结剂混合，经加压成形，烧结而成的粉末冶金材料。常用的合金碳化物有 WC，TiC、TaC、NbC 等。常用的粘结剂有 Co 以及 Mo、Ni 等。

合金碳化物是硬质合金的主要成分，具有高硬度、高熔点和化学稳定性好等特点。因此，硬质合金的硬度、耐磨性、耐热性均超过高速钢，硬质合金的常温硬度为 89~93HRA，切削温度达 800~1000℃时，仍能进行切削。切削性能比高速钢好，切削速度可提高 4~10 倍。其缺点是抗弯强度低，约为 W18Cr4V 的 1/2~1/4，且冲击韧度差，约为 W18Cr4V 的 1/3~1/4。硬质合金的性能取决于化学成分、碳化物粉末粗细及其烧结工艺。碳化物含量增加时，硬度随之增高，抗弯强度反而降低。粘结剂含量增加时，抗弯强度随之增高，硬度反而下降。

硬质合金的切削性能良好，现已成为主要的刀具材料之一。绝大多数车刀和面铣刀的切削部分都采用硬质合金。深孔钻、铰刀以及某些复杂刀具也广泛采用硬质合金。

二、常用硬质合金的分类、牌号及性能

硬质合金按化学成分可分为以下几类：钨钴类硬质合金、钨钛钴类硬质合金、钨钛钽（铌）类硬质合金及碳化钛基类硬质合金。其中前面三类的主要成分为 WC，可统称为 WC 基硬质合金。常用硬质合金的成分与性能见表 1-3。