



职业教育教学改革规划教材

金属切削原理与刀具

芦福桢 编



职业教育教学改革规划教材

金属切削原理与刀具

芦福桢 编



机械工业出版社

本书是为适应职业技术教育教学改革需要而编写的,旨在培养学生利用金属切削原理与刀具相关知识解决生产实际问题的能力。本书在编写中力求结合生产实际,突出应用性,形成教师好教,学生易学的教材特色;同时强调以能力为本的教育理念。本书紧紧围绕职业教育培养目标,讲求实效,图文并茂,通俗易懂,简单实用,以“够用为准”的原则,力求以较少的篇幅完成对所需内容的介绍。

本书内容突出了切削原理的基础理论和生产中常用的刀具结构及其应用。尤其对车刀、铣刀、拉刀、齿轮刀具等的选择、使用注意事项、刃磨等更是做了详细的介绍。全书包括金属切削原理和金属切削刀具两部分内容,共九章(刀具材料、金属切削加工的基本术语和定义、金属切削的基本理论、切削条件的合理选择、车刀、孔加工刀具、铣削与铣刀、其他刀具和磨削)。

本书可作为职业院校机械制造、数控技术和机电一体化等专业教材,以及相关工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

金属切削原理与刀具/芦福桢编. —北京:机械工业出版社,2008.2

职业教育教学改革规划教材

ISBN 978-7-111-23426-5

I. 金… II. 芦… III. ①金属切削-高等学校:技术学校-教材②刀具(金属切削)-高等学校:技术学校-教材 IV. TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第016955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:崔占军 责任编辑:齐志刚 责任校对:陈立辉

封面设计:鞠杨 责任印制:邓博

北京四季青印刷厂印刷(三河市兴旺装订厂装订)

2008年3月第1版第1次印刷

184mm×260mm·8.75印张·208千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-23426-5

定价:14.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379201

封面无防伪标均为盗版

前 言

根据机械工业出版社组织的，教育部职业教育示范专业（数控技术应用、模具设计与制造、机械加工技术、机电技术应用专业）教学研讨及教材建设会议的精神，按照教育部职业教育示范专业规划教材编写工作的具体要求，编者编写了《金属切削原理与刀具》一书。

《金属切削原理与刀具》已经有很多种优秀的版本，理论性及学科的系统性也很完整。但随着社会的发展，尤其是近年来企业对职业院校学生就业岗位知识的要求，对金属切削原理与刀具的学习内容也提出了新的要求。这样，能真正适合目前职业院校的教材就显得很少了。本书就是在这样一个大背景下，根据企业对学生的实际要求，从最终的培养目标出发，不求体系完整，也不求系统性和全面性，在难度、深度降低的同时，强调基本的、常识性的内容，并充分反映新知识、新技术、新工艺和新方法，力求保持教材内容与生产实际相结合，专业理论为专业技能服务的基本原则。注重对学生专业能力和解决生产实际问题能力的培养，使学生获得的知识能满足生产第一线的需要。全书贯彻了 GB/T 12204—1990 所规定的金属切削术语和符号。同时，用最通俗的语言，图文并茂，争取让各个层次的人员读懂本书，力争做到教师好教，学生易学。

本书内容包括“金属切削原理”和“金属切削刀具”两部分，共分九章，依次为刀具材料、金属切削加工的基本术语和定义、金属切削的基本理论、切削条件的合理选择、车刀、孔加工刀具、铣削与铣刀、其他刀具和磨削。为了便于学习，各章附有复习思考题。本书内容在讲授时，可根据本校的实际情况作适当增减，学时数控制在 50 学时左右。

本书可作为职业院校机械制造、数控技术和机电一体化等专业教材，以及相关工程技术人员的参考书。

本书在编写过程中，编者阅读和分析了已经出版的多种相关教材及资料，所用参考文献均已列于书后。在此，向这些资料、文献作者表示衷心感谢！

由于编者水平所限，书中难免有欠妥之处，恳请各位同仁及广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言		第三节 可转位车刀	61
绪论	1	第四节 成形车刀	63
第一章 刀具材料	3	复习思考题	65
第一节 刀具材料应具备的性能	3	第六章 孔加工刀具	66
第二节 刀具材料的种类及其选择	4	第一节 孔加工刀具的种类及用途	66
复习思考题	10	第二节 麻花钻	71
第二章 金属切削加工的基本术语和定义	11	第三节 深孔钻	79
第一节 切削运动及形成的表面	11	第四节 铰刀	81
第二节 切削用量与切削层参数	12	第五节 孔加工复合刀具	87
第三节 刀具切削部分的几何参数	14	复习思考题	89
复习思考题	23	第七章 铣削与铣刀	91
第三章 金属切削的基本理论	24	第一节 铣刀的种类及用途	91
第一节 切削变形	24	第二节 铣刀的几何角度	95
第二节 切削力	31	第三节 铣削用量	97
第三节 切削热与切削温度	36	第四节 铣削方式	98
第四节 刀具磨损	40	第五节 铣刀的刃磨	99
复习思考题	43	复习思考题	100
第四章 切削条件的合理选择	45	第八章 其他刀具	101
第一节 工件材料的切削加工性	45	第一节 螺纹刀具	101
第二节 切削液	46	第二节 拉刀	105
第三节 刀具几何参数的合理选择	49	第三节 齿轮刀具	113
第四节 切削用量的合理选择	53	第四节 自动化加工刀具	122
复习思考题	56	复习思考题	125
第五章 车刀	57	第九章 磨削	126
第一节 焊接式车刀	58	第一节 砂轮与磨削	126
第二节 机夹式车刀	60	第二节 先进磨削方法简介	132
		复习思考题	134
		参考文献	135

绪 论

一、我国金属切削加工技术的发展概况

金属切削加工是指利用金属切削刀具，切除被加工工件多余材料的机械加工方法。它能使工件达到规定的几何形状、尺寸精度和表面质量，是机械制造业中最基本的加工方法，在机械加工总的劳动量中，切削加工约占 30%~40%。

我国古代在金属切削加工方面有着悠久的历史 and 光辉的成就。公元前 2000 多年青铜器时代就已出现了金属切削加工的萌芽。当时的青铜刀、锯、锉等刀具已经类似于现代的切削刀具，并用于对金、银和铜的加工。由大量出土文物与文献推测，最迟在八世纪（唐代）我国已有原始的车床。公元 1668 年（明代）制造的天文仪器铜环，直径达 2 米，其外圆、内孔、平面及刻度的加工精度与表面粗糙度均已达到相当高的水平。当时采用畜力带动铣刀进行铣削，用磨石进行磨削，刀片磨钝后用脚踏刃磨机刃磨。

近代历史中，由于封建制度的腐败和帝国主义的侵略，我国机械工业一直处于落后状态，到 19 世纪中叶起才开始有少量机械工厂。1915 年上海荣昌泰机器厂制造出国产第一台车床。到 1947 年，民用机械工业只有三千多个企业，拥有机床两万多台。当时使用的是碳素工具钢刀具，切削速度仅能在 10m/min 以内，切削效率很低。另外，只有少数机床修造厂和工具厂能自制一些车床、刨床、铣床、台钻及少量的麻花钻、丝锥等简单刀具，多数机械设备和工具只能依靠进口来补缺。

建国以来，我国金属切削水平得到突飞猛进的发展。自 20 世纪 50 年代起就广泛使用了高速钢、硬质合金刀具，切削速度由原来的 10m/min 提高到 100m/min 以上，并大力推广高速切削、强力切削、多刀多刃切削等，兴起了改革刀具的热潮。此后，先进刀具，先进切削工艺，新型刀具材料不断涌现，如群钻、深孔钻、75°强力车刀、高速螺纹刀、细长轴车刀、宽刃精刨刀、强力铣刀、拉削丝锥等。同时，不断研究、生产出新型刀具材料，如高性能高速钢、粉末高速钢、涂层刀具材料、复合陶瓷、超硬刀具材料等。有关工具厂也不断改革工艺、革新产品，提高刀具的精度与性能，制造出了各类普通、复杂刀具和各类可转位刀具，数控工具系统等。许多高等院校、研究所、工具刀具厂在切削加工技术和切削刀具的研究方面都取得了十分丰硕的成果。

20 世纪 80 年代以后，我国金属切削技术达到较高的水平，计算机开始在切削理论研究和刀具设计中应用，各种先进的测试仪器已应用于切削机理的分析和研究中，并取得了一系列科研成果。

随着精密机械、电子、造船、宇航等工业的发展，新材料、新产品的不断涌现，在金属切削加工中遇到的新课题也日益增多，如解决硬、韧、脆、粘等难加工材料的切削，解决精、光、深、长、薄、小件的加工等。

如今，计算机在切削研究、刀具设计与机械制造中已得到广泛应用，一批我国自行开发

的刀具 CAD、CAPP、CAI、切削数据库软件也相继问世。新的刀具标准参照 ISO 标准也作了修订,已基本上与国际接轨。

随着科学技术和现代工业的快速发展,切削机床的数控化、柔性化和智能化,切削加工技术也正朝着高速化、高精度化、自动化、柔性化和智能化的方向发展。我国的切削加工技术在不久的将来一定能赶上发达国家的水平,并能同步增长。

二、本课程的性质、内容和任务

1. 本课程的性质

“金属切削原理与刀具”是讨论金属切削加工过程中主要物理现象的变化规律、控制与应用,常用金属切削刀具的选择、使用与常用非标准刀具的设计的一门专业课。它也是学习机械制造、数控技术等专业中有关金属切削加工工艺及其设备等专业课的基础。“金属切削原理与刀具”在工科院校的机械制造、数控技术等专业中始终占有重要的地位,是机械制造、数控技术等专业的重要课程之一。

2. 本课程的内容

本书分为两部分,切削原理部分讨论的是金属切削加工过程中产生的各种物理现象及其变化规律,以及对变化规律的控制及应用;刀具部分则主要讨论常用刀具的选择、使用与常用非标准刀具的设计问题。

3. 本课程的任务

通过本课程的学习,要求达到如下要求:

- 1) 具有正确图示和合理选择刀具几何参数的能力。
- 2) 基本掌握金属切削过程中主要物理现象的变化规律、应用及其控制方法,具有解决实际生产问题的能力。
- 3) 具有根据具体工艺要求选择和使用常用刀具,以及设计一般非标准刀具的能力。
- 4) 具有一定的金属切削加工实验技能。

三、本课程的学习方法

“金属切削原理与刀具”是一门综合性和实践性很强的学科,涉及知识面很广。因此,学习本课程时不但要注意系统地学好本课程的基础理论知识,而且要密切联系生产实际,重视机加工实习和生产实习,通过实验、实训及工厂调研等来加深对课程内容的理解,将知识转化为技术应用能力。同时还要注意加强与基础学科和相关学科知识间的联系,培养综合运用知识分析问题、解决问题的能力,善于发现生产实际中提高加工质量、提高生产效率的有效工艺措施和客观规律。通过本课程及后续课程的学习,逐步掌握机械加工的理论与实践知识,为今后参加社会实践打下坚实的基础。

第一章 刀具材料

在金属切削过程中，刀具直接承担切除工件余量和形成已加工表面的任务。各类刀具一般都由夹持部分和切削部分组成。夹持部分的材料一般多用中碳钢，而切削部分的材料需根据不同的加工条件合理选择。通常所说的刀具材料，一般指切削部分的材料。刀具材料的切削性能对生产效率、已加工表面质量、刀具寿命和加工成本等影响很大，因此，应当重视刀具材料的正确选用和合理使用，重视新型刀具材料的研制与应用。

目前广泛应用的刀具材料有高速钢和硬质合金。随着现代工业对加工精度和生产效率要求的不断提高，以及难加工材料的日益广泛使用，超硬刀具材料也不断涌现，如陶瓷、人造金刚石和立方氮化硼等。

本章主要介绍各种常用刀具材料的性能、牌号及其使用等。本章重点是高速钢和硬质合金，尤其普通高速钢和钨钴类，钨钛钴类硬质合金的应用。

第一节 刀具材料应具备的性能

在切削加工时，刀具切削部分与切屑、工件相互接触，承受着很大的压力和剧烈的摩擦。刀具在高温下进行切削的同时，还承受着切削力、冲击和振动，工作条件十分恶劣，因此，刀具材料必须满足以下基本要求。

1. 高的硬度和耐磨性

这是指刀具材料抵抗机械摩擦和磨损的能力。刀具材料的硬度必须高于工件材料的硬度。一般刀具材料的硬度越高，耐磨性也就越好。

2. 足够的强度和韧性

这是指刀具在承受较大载荷和机械冲击时不致破损的能力。切削时，刀具切削部分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。

3. 高的耐热性

这是指刀具热稳定性的能力。耐热性也称为热硬性，即刀具材料在高温下保持高的硬度、耐磨性、强度和韧性的能力。它是衡量刀具材料切削性能的主要指标。材料的热硬性越好，允许的切削速度也就越高。

4. 良好的物理性能

物理性能是指材料的密度、熔点、热膨胀性、导热性等。良好的物理性能是提高加工精度的需要。其中刀具材料的导热性能越好，由刀具传出的热量越多，越有利于降低切削温度、提高刀具寿命。

5. 稳定的化学性能

这是提高刀具抗化学磨损的需要。刀具材料的化学性能稳定，在高温、高压下，才能保持良好的抗扩散、抗氧化的能力。刀具材料与工件材料的亲和力小，则刀具材料的抗粘接性

能好, 粘接磨损小。

6. 良好的工艺性

为了便于刀具制造, 要求刀具材料具有良好的工艺性能。工艺性能主要包括刀具材料的热处理性能、磨削加工性能、锻造性能及高温塑性变形性能等。工艺性能差的材料不宜制造刀具。

7. 经济性

刀具材料的发展应结合本国资源, 尽可能满足资源丰富、价格低廉的要求。经济性是评价新型刀具材料的重要指标之一, 也是正确选用刀具材料、降低产品成本的主要依据之一。

刀具材料种类很多, 但目前还没有找到一种能完全满足上述性能要求的刀具材料。硬度、耐磨性高的材料, 其强度、冲击韧度往往较差, 反之亦然。所以一种好的刀具材料应根据它的工艺需要保证主要需求的性能。

第二节 刀具材料的种类及其选择

一、常用刀具材料种类

(1) 工具钢 包括碳素工具钢、合金工具钢和高速钢。

碳素工具钢是碳的质量分数在 0.65% ~ 1.35% 的优质高碳钢, 常用牌号有 T10A, T12A 等。碳素工具钢一般只能在小于 10m/min 的切削速度下工作。合金工具钢是在碳素工具钢中加入一定量的合金元素 (如钨、铬、锰、硅等) 组成的工具钢。常用的合金工具钢有 9SiCr, CrWMn 等。其切削速度可比碳素工具钢高 20% 左右。由于碳素工具钢和合金工具钢的切削性能较差, 现在作为刀具材料的使用量都较少, 仅用于手工锯条、锉刀和丝锥、板牙等手工工具或低速刀具。本章只重点介绍应用较多的高速钢。

(2) 硬质合金 硬质合金是现在应用最多的刀具材料。有钨钴类硬质合金, 钨钛钴类硬质合金和钨钛钽 (钼) 类硬质合金等。

(3) 超硬刀具材料 包括陶瓷、金刚石及立方碳化硼等。

二、高速钢

1898 年, 美国机械工程师泰勒和冶金工程师怀特成功研制高速钢。1906 年, 泰勒和怀特在经过广泛而系统的切削试验之后, 确立了真正影响后世百年的切削用高速钢的最佳成分 W18Cr4V, 切削中碳钢速度可达 30m/min。100 年来, 尽管不断出现各种新的刀具材料, 但高速钢依然没有被历史所淘汰, 一直沿用并发展至今, 甚至曾长期占据霸主地位。根据有关统计, 目前高速钢刀具占世界刀具消费总额的 40%。

高速钢是含有较多的钨 (W)、钼 (Mo)、铬 (Cr)、钒 (V) 的高合金工具钢。它允许的切削速度比碳素工具钢及合金工具钢高 1 ~ 3 倍, 故称为高速钢。由于小型高速钢刀具在空气中冷却就能淬硬, 且刃磨时能获得锋利的刃口, 故高速钢又有“风钢”、“锋钢”之称。磨削后因其刃口颜色呈白色, 又称“白钢”。

高速钢具有较高的热稳定性, 在切削温度高达 500 ~ 650℃ 时, 还能进行切削, 是综合性

能好、应用广泛的一种刀具材料。其强度和韧性是现有刀具材料中最高的（抗弯强度为一般硬质合金的 2~3 倍，为陶瓷的 5~6 倍，韧性是硬质合金的 9~10 倍），具有一定的硬度（62~66HRC）和耐磨性，适合于各类切削刀具的要求，可以加工从非铁金属到高温合金的各种材料。高速钢刀具制造工艺简单，容易磨成锋利的切削刃，能锻造，具有良好的工艺性，故在复杂刀具及成形刀具（如钻头、丝锥、各种铣刀、成形车刀、成形铣刀、拉刀、齿轮刀具等）制造中，高速钢仍占主要地位。但是，高速钢也存在耐磨性、热硬性较差等缺陷，已难以满足现代切削加工对刀具材料越来越高的要求。此外，高速钢材料中的一些主要元素（如钨）的储藏资源在世界范围内日渐枯竭，据估计其储量只够再开采使用 40~60 年，因此，高速钢材料面临严峻的发展危机。

高速钢按性能可分为普通高速钢和高性能高速钢。按制造工艺可分为熔炼高速钢和粉末冶金高速钢。

1. 普通高速钢

这类高速钢刀具的切削速度一般不太高，切削普通钢料时一般不高于 40~60m/min。普通高速钢可分为钨系和钨钼系两类。

1) 钨系高速钢，常见的牌号是 W18Cr4V，简称 W18。它具有较好的综合性能，可制造各种复杂刀具。W18 的优点是淬火时过热倾向小，热处理控制较容易，刃磨工艺性好。缺点是碳化物分布不均匀，强度和韧性显得不够，不宜做大截面的刀具，热塑性也较差。这种牌号的高速钢过去在国内使用很普遍，目前已日渐减少，逐渐被新的钢种取代。国外因钨价格较贵，这种牌号也很少采用。

2) 钨钼系高速钢，常见的牌号是 W6Mo5Cr4V2，简称 M2。它具有较好的综合性能。这种高速钢最初是某些国家为解决缺少钨而研制的，使用结果表明 1% 的钼可替代 2% 的钨。与 W18 相比，其抗弯强度提高约 30%，冲击韧度提高约 70%，且热塑性较好，适于制造热轧钻头和齿轮滚刀及承受冲击较大的插齿刀、刨齿刀等，是目前国内外大量使用的高速钢品种。这种刀具材料的主要缺点是热处理容易脱碳，淬火温度范围窄，热处理工艺较难掌握。

3) 我国自行研制的另一种钨钼钢是 W9Mo3Cr4V，简称 W9。它具有良好的力学性能，其热稳定性略高于 M2 钢。这种钢的碳化物均匀性优于 W18 而接近于 M2 钢，具有良好的热塑性，易锻、易轧，热处理温度范围宽，脱碳倾向比 M2 钢小得多（略高于 W18 钢），磨削加工性也很好，刀具寿命也有一定程度的提高。

2. 高性能高速钢

高性能高速钢是指在普通高速钢中增加碳、钒，添加钴或铝等合金元素，进一步提高耐磨性和耐热性的新型高速钢。其常温硬度可达 67~70HRC，切削性能优于普通高速钢，寿命是普通高速钢的 1.5~3 倍，主要用来加工不锈钢、耐热钢、高强度钢、高温合金、钛合金等难加工材料。不同牌号的高性能高速钢只有在规定的切削条件下使用，才能取得良好的加工效果，加工一般钢材时，其优越性不明显。因此，它不能完全取代普通高速钢。我国最常用的高性能高速钢有钴高速钢和铝高速钢。

1) 钴高速钢的典型牌号是 W2Mo9Cr4VCo8，简称 M42。在钢中加入了钴，可提高高速钢的热硬性和抗氧化能力，因此能适用于较高的切削速度。用来切削加工不锈钢、高温合金等难加工材料的效果很好。钴高速钢在国外使用较多，我国因钴的价格较贵（我国钴主要靠进

口), 使用量尚不多。

2) 铝高速钢是我国独创的超硬高速钢。典型的牌号是 W6Mo5Cr4V2A1, 简称 501。它是在 M2 钢中加入 1% 质量分数的铝而制成的。在普通高速钢中加入少量的铝, 从而提高了材料的热硬性和耐磨性, 还可防止抗弯强度和冲击韧度下降。其切削性能已接近国外的钴高速钢 M42, 价格却低的多。因不含钴, 加工成本低, 适合我国国情, 已在我国推广使用。主要缺点是热处理工艺要求较严, 磨削性能较差。

3. 粉末冶金高速钢

普通高速钢都是熔炼的方法制成的, 而粉末冶金高速钢是用高压氩气或纯氮气, 使熔化的高速钢钢液雾化, 直接得到细小的高速钢粉末, 在高温下压制成细密的钢坯, 而后锻轧成钢材或刀具形状。这种高速钢具有细小均匀的结晶组织, 具有良好的力学性能。抗弯强度、冲击韧度分别是熔炼高速钢的 2 倍和 2.5~3 倍, 并有良好的磨削性能和热处理工艺性。粉末冶金高速钢刀具可用于加工普通钢, 也可用于加工不锈钢、耐热钢和其他特殊钢, 刀具寿命可提高 1~5 倍, 但造价昂贵。一般用来制作形状复杂的大尺寸刀具 (如滚刀、插齿刀等) 及截面尺寸小、切削刃薄的成形刀具。

4. 涂层高速钢

涂层刀具材料是在刀具材料 (如高速钢或硬质合金) 的基体上, 涂覆一层几微米厚的高硬度、高耐磨性的金属化合物而制成的。这种刀具材料既有基体的强度和韧性, 又使表面有更高的硬度和耐磨性, 性能优异。自 20 世纪 60 年代出现以来发展迅速, 应用广泛。

涂层高速钢是用物理气相沉积法 (PVD) 在高速钢刀具基体上涂覆一薄层 TiN 而成的刀具材料。由于基体是强度、韧性较好的高速钢, 表层是硬度和耐磨性很高的 TiN 涂层, 同时 TiN 涂层有较高的热稳定性, 与钢的摩擦因数较低, 且与高速钢结合牢固, 所以涂层高速钢刀具寿命比不涂层高速钢的刀具寿命提高 2~10 倍。目前涂层高速钢已在钻头、齿轮刀具、拉刀、丝锥等结构复杂刀具上广泛应用。

常用高速钢的牌号与性能见表 1-1。

表 1-1 常用高速钢的牌号与性能

类别		牌号	洛氏硬度 (HRC)	抗弯强度 /GPa	冲击韧度 /kJ·m ⁻²	高温 (600℃) 硬度 (HRC)
普通高速钢		W18Cr4V	62~66	3.34	0.294	48.5
		W6Mo5Cr4V2	62~66	4.6	0.5	47~48
高性能 高速钢	钴高速钢	W2Mo9Cr4VCo8	66~70	2.75	0.25	55
	铝高速钢	W6Mo5Cr4V2A1	68~69	3.43	0.3	55

三、硬质合金

1923 年, 德国的施勒特尔发明了硬质合金。根据有关统计, 目前硬质合金刀具占世界刀具消费总额的 55%。硬质合金是由硬度很高的难熔金属碳化物 (WC、TiC、TaC 和 TbC 等) 和金属粘结剂 (Co、Ni、Mo 等) 用粉末冶金的方法制成的。它的常温硬度为 89~93HRA, 耐热温度为 800~1000℃, 比高速钢硬、耐磨、耐热。硬质合金刀具允许的切削速度比高速钢刀具高 5~10 倍, 达到 100m/min 以上。但它的抗弯强度只是高速钢的 1/4~1/2,

冲击韧度比高速钢低数倍至数十倍。硬质合金因其切削性能好而被广泛地应用于生产。在我国绝大多数的车刀、面铣刀、深孔钻等均已采用硬质合金，其他刀具材质采用硬质合金也在增多。

根据 GB/T 2075—1998《切削加工用硬切削材料的用途—切屑形式大组和用途小组的分类代号》的规定，硬质合金按加工对象及切削时排出切屑的形状分为 P、M、K 三类。P 类适于加工长切屑的钢铁材料（钢），以蓝色为标志。M 类适合加工长切屑或短切屑的钢铁材料和非铁金属，以黄色为标志。K 类适合加工短切屑的钢铁材料（铸铁）、非铁金属及非金属材料，以红色为标志。

1. 常用硬质合金的牌号和选用

1) 钨钴类硬质合金 (YG) 它由 WC 和 Co 组成，属 K 类。其硬度为 89~91HRA，热硬性温度为 800~900℃，主要用于加工铸铁、非铁金属及非金属材料。常用牌号有 YG3、YG6、YG8 等，G 后面的数字为 Co 的质量分数。硬质合金中含钴量越多，韧性越好，适合于粗加工（如 YG8），含钴量少者用于精加工。

2) 钨钛钴类硬质合金 (YT) 它是由 WC、TiC 和 Co 组成，属 P 类。其硬度为 89~93 HRA，热硬性温度为 900~1000℃，主要用于加工碳钢等塑性材料。常用牌号有 YT5、YT14、YT15、YT30，T 后面的数字代表 TiC 的质量分数。当 TiC 的含量较多、Co 的含量较少时，硬度和耐磨性提高，适合于精加工（如 YT30）；反之，适合于粗加工。

3) 钨钽（铌）钴类硬质合金 (YA) 它是在钨钴类硬质合金中添加少量 TaC（或 NbC）组成，属 K 类。有较高的常温硬度、耐磨性、高温强度和抗氧化能力。常用牌号为 YA6，适合于对冷硬铸铁、非铁金属及其合金进行半精加工，也可用于淬火钢、高锰钢及合金钢的半精加工和精加工。

4) 钨钛钽（铌）钴类硬质合金 (YW) 它是在钨钛钴类硬质合金中添加少量 TaC（或 NbC）组成，属 M 类。其抗弯强度、疲劳强度、热硬性、高温硬度和抗氧化能力都有很大的提高。常用牌号有 YW1、YW2，既能加工钢材，又能加工铸铁、非铁金属及其合金等，通用性较好，又称“通用合金”或“万能合金”。

5) 碳化钛基类硬质合金 (YN) 它是由 TiC、Mo 和 Ni 组成，属 P 类。其抗氧化能力、耐磨性、热硬性较高。常用牌号有 YN05、YN10，主要用于对碳钢、合金钢、工具钢、淬火钢等进行精加工。

2. 细晶粒、超细晶粒硬质合金

细晶粒、超细晶粒硬质合金多用于 YG 类硬质合金（如 YG6X、YG10H 等）。普通硬质合金中 WC 的粒度为几微米，细晶粒硬质合金中 WC 的粒度在 1.5 μm 左右，超细晶粒硬质合金中 WC 的粒度则在 0.2~1 μm 之间，其中绝大多数在 0.5 μm 以下。

细晶粒硬质合金硬度与强度都比同样成分的硬质合金高，硬度约提高 1.5~2HRA，抗弯强度约提高 0.6~0.8GPa，而且高温硬度也能提高一些，可减少中低速切削时产生崩刃的现象。

超细晶粒硬质合金的应用范围是：高硬度、高强度的难加工材料；难加工材料的间断切削，如铣削等；低速切削的刀具，如切断刀、小钻头、成形刀等；要求有较大前角、较大后角、较小刀尖圆弧半径的能进行薄层切削的精密刀具，如铰刀，拉刀等刀具。

3. 涂层硬质合金

涂层硬质合金采用韧性较好的基体和硬度、耐磨性极高的表层 (TiC 、 TiN 、 Al_2O_3 等, 厚度 $5 \sim 13\mu\text{m}$), 通过化学气相沉积 (CVD) 等方法实行表面涂层, 是 20 世纪的重大技术进展, 较好地解决了刀具的硬度、耐磨性与强度、韧性之间的矛盾, 因而具有良好的切削性能。在相同的刀具寿命下, 涂层硬质合金允许采用较高的切削速度, 或者能在相同的切削速度下大幅度地提高刀具寿命。涂层硬质合金多用于普通钢材的精加工或半精加工。

按涂层材料的不同可分为:

1) TiC 涂层。 TiC 涂层呈银白色, 硬度很高, 耐磨性好, 抗氧化性也好, 一般涂层厚度为 $5 \sim 7\mu\text{m}$ 。

2) TiN 涂层。 TiN 涂层呈金黄色, 有很强的抗氧化能力和很小的摩擦因数, 抗粘接性能好, 能有效地降低切削温度。硬度比 TiC 涂层低, 但抗磨损能力比 TiC 涂层好, 一般涂层厚度为 $8 \sim 12\mu\text{m}$ 。

3) TiN 与 TiC 复合涂层。里层为 TiC , 外层为 TiN , 从而使其兼有 TiC 的高硬度与耐磨性和 TiN 层不粘刀的特点。这种复合涂层的抗粘接磨损性能较高, 且涂层与基体的粘着性较好。

此外, 还有 Al_2O_3 涂层, $\text{TiC} - \text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层和 $\text{TiN} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiC}$ 三涂层硬质合金等。目前, 单涂层刀片已很少使用, 大多采用复合涂层或三复合涂层。

一般而言, 涂层硬质合金刀具的寿命较未涂层的约提高 $1 \sim 3$ 倍。一片涂层刀片可代替几片未涂层刀片使用。据报道, 涂层可转位刀片在工业发达国家应用较多, 在包括瑞典、美国、德国等在内的主要工业国, 涂层可转位刀片生产占可转位刀片产量的 50% 以上。

常用硬质合金牌号及选用见表 1-2。

表 1-2 常用硬质合金牌号及选用

牌号	用 途
YG3	铸铁、非铁金属及其合金的精加工、半精加工。要求切削时不承受冲击载荷
YG6X	铸铁、冷硬铸铁、高温合金的精加工、半精加工
YG6	铸铁、非铁金属及其合金的半精加工与粗加工
YG8	铸铁、非铁金属及其合金、非金属材料的粗加工, 也可用于断续切削
YT30	碳素钢、合金钢的精加工
YT15 YT14	碳素钢、合金钢连续切削时的粗加工、半精加工, 也可用于断续切削时的精加工
YT5	碳素钢、合金钢的粗加工, 可用于断续切削
YA6	冷硬铸铁、非铁金属及其合金的半精加工, 也可用于淬火钢、高锰钢、合金钢的半精加工和精加工
YW1	高温合金、高锰钢、不锈钢等难加工材料及普通钢料、铸铁、非铁金属及其合金的半精加工与精加工
YW2	高温合金、高锰钢、不锈钢等难加工材料及普通钢料、铸铁、非铁金属及其合金的粗加工与半精加工
YN05	低碳钢、中碳钢、合金钢的高速精车、工艺系统刚性较好的细长轴精加工
YN10	碳钢、合金钢、工具钢、淬硬钢连续表面的精加工

四、超硬刀具材料

1. 陶瓷

陶瓷刀具材料是以 Al_2O_3 和 Si_3N_4 为基体, 添加一定量的金属元素和金属碳化物, 在高压下成形, 高温下烧结而成的一种刀具材料。这类刀具材料常温下的硬度为 91~95HRA, 耐热温度达到 1200°C , 化学稳定性好, 与金属的亲合力小, 与硬质合金相比可提高切削速度 3~5 倍。但陶瓷的最大弱点是抗弯强度低, 冲击韧性差, 对冲击载荷特别敏感。因此, 陶瓷主要用于各种金属材料(钢、铸铁、非铁金属等)的精加工和半精加工。根据化学成分, 陶瓷可分为高纯氧化铝陶瓷、复合氧化铝陶瓷和复合氮化硅陶瓷等。

2. 金刚石

金刚石分天然单晶金刚石与人造聚晶金刚石两种。天然单晶金刚石是目前最硬的物质, 耐磨性极好, 可切削极硬的材料而长时间保持稳定, 很适合超精加工。但是, 这种材料抗弯强度低, 韧性极差, 不能承受较大的切削力和振动, 且热稳定性差, 当温度达到 800°C 时, 在空气中金刚石刀具即发生碳化, 从而产生急剧磨损。另外, 它与铁的亲合力很强, 一般不适合加工钢铁材料, 因为金刚石中的碳原子和铁有很强的化学亲和力, 在高温条件下, 铁原子容易与碳原子作用而使其转化为石墨结构, 刀具极易损坏。金刚石主要用于非铁金属及其合金的超精加工, 也可用于加工非金属材料, 如酚醛塑料等。

人造金刚石(PCD)是在高温高压下, 由一层人造的金刚石微粉加溶剂和催化剂聚合而成的多晶体材料。它以硬质合金为基体结合成整体圆刀片。聚晶金刚石的硬度比天然金刚石低, 但是它的抗弯强度比天然金刚石高的多, 具有良好的抗冲击和抗振性能, 其价格比天然金刚石便宜。聚晶金刚石刀片与硬质合金相比, 其硬度高 3~4 倍, 耐磨性和刀具寿命高 100 倍, 加工精度稳定, 生产效率高, 适合于非铁金属和非金属材料的精加工, 特别适合加工高硅铝合金。

金刚石主要用作磨具及磨料, 有些则做成金刚石笔用于修整砂轮, 只有少数金刚石作为刀具。目前已开始使用聚晶金刚石制成的刀具, 主要用于非铁金属及合金的高精度、小表面粗糙度值的车削。

3. 立方氮化硼

立方氮化硼(CBN)是 20 世纪 70 年代才出现的新型超硬刀具材料, 它是由六方氮化硼(白石墨)在高温高压下加入催化剂转变而成的。CBN 有单晶体和聚晶体两种, 单晶体主要用于制造砂轮, 而用于刀具则主要采用聚晶体, 可做成各种形状的刀片。立方氮化硼特点是: 硬度高(8000~9000HV), 仅次于金刚石; 热稳定性大大高于金刚石(人造金刚石在空气中 800°C 开始碳化, 而 CBN 在 1300°C 仍可进行切削, 即使在 1500°C 以上也不发生相变); 化学惰性大, 在 $1200\sim 1300^\circ\text{C}$ 高温下也不易与铁合金材料发生化学作用。因此, 可以加工钢铁材料, 使其比金刚石有更广泛的应用场合。立方氮化硼刀具能加工普通钢、冷硬铸铁、淬硬钢及高温合金等材料。刀具寿命可达到硬质合金或陶瓷刀具寿命的几十倍。公差等级可以达到 IT6, 表面粗糙度值约为 $R_a 1.25\sim 0.1\mu\text{m}$, 可以代替磨削进行高精度的加工, 生产率可比磨削高几倍。

需要指出的是, 国际标准化组织(ISO)以往将刀具(工具)用硬质合金分为三类, 即

P类，主要用于切削钢材；K类，主要用于切削铸铁；M类，为通用型硬质合金。随着工程材料技术的进展，被加工材料的种类不断增多。近几年，ISO又增设了三类硬质合金，即H类，用于切削高硬材料；S类，用于切削高温合金、耐热材料；N类，用于切削非铁金属。故当今硬质合金已分为P、M、K、H、S、N六大类。各大硬质合金及其刀具（工具）的制造厂家已将硬质合金材质按此标准分类，供用户选择。应当注意，立方氮化硼PCBN（是将精选的CBN晶体在高温高压下烧结而成的一种超硬材料）用于切削淬硬钢，被列入了硬质合金的H类。热压聚晶金刚石PCD主要用于切削非铁金属，被列入了N类。

复习思考题

1. 刀具材料应具备哪些性能？其硬度、耐磨性、强度之间有什么联系？
2. 常用的刀具材料有哪几种？高速钢和硬质合金的切削性能有哪些主要区别？
3. 普通高速钢的常用牌号有几种？其性能特点如何？适合于制作哪类刀具？
4. 试述常用硬质合金的性能特点和使用范围。
5. 粗、精加工钢件和铸铁件时，应选用什么牌号的硬质合金？
6. 涂层硬质合金有什么优点？有几种涂层材料？它们各有何特点？
7. 超细晶粒硬质合金常应用于哪些场合？
8. 陶瓷刀具、金刚石与立方氮化硼有何特点？常应用于哪些场合？

第二章 金属切削加工的基本术语和定义

金属切削过程是刀具与工件相互作用的过程。金属切削加工就是用金属切削刀具从工件上切除多余的金属（统称余量），以获得合格零件（形状、尺寸精度及表面质量都满足零件图样要求）的加工方法。

学习金属切削原理与刀具，要从研究切削运动、刀具几何参数等入手。本章主要以车削和外圆车刀为例，来分析切削运动、切削用量和切削层参数、刀具组成以及刀具几何角度等。这些基本概念也适用于其他切削加工和刀具。因为车削在所有切削中最具代表性，车刀在各种刀具中最具典型性，许多其他刀具都可看作是从车刀演变而来的。本章的基本术语和定义也是选用与设计刀具必须掌握的基本内容。

第一节 切削运动及形成的表面

一、切削运动

在切削过程中，刀具和工件之间的相对运动称为切削运动。按其作用，切削运动可分为主运动和进给运动两种（图 2-1）。这些运动是由金属切削机床完成的。

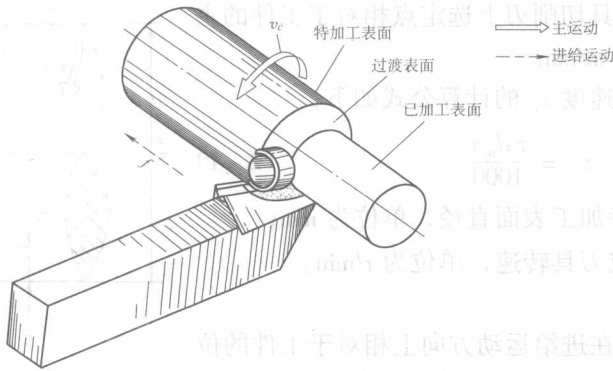


图 2-1 切削运动和工件形成的表面

(1) 主运动 切削运动中速度最高、消耗功率最多的运动称为主运动。主运动是切下金属所必需的基本运动。各种切削加工中主运动只有一个。它可以由被加工工件完成，也可以由切削刀具完成。例如，车削外圆时，工件的旋转运动是主运动；铣削、钻削时，铣刀和钻头的旋转运动是主运动。

(2) 进给运动 使新的金属层不断投入切削, 实现整个余量被切除目的的运动称为进给运动。进给运动可以是连续运动, 如车削外圆时车刀平行于工件轴线的纵向运动; 也可以是断续运动, 如刨削时工件的横向移动。进给运动既可以是一个, 也可以是两个或者由多个组成。例如, 车削外圆时进给运动有两个, 即纵向进给运动和横向进给运动。通常, 进给运动速度较低、消耗的功率较少。

二、切削过程中工件形成的表面

(1) 待加工表面 指工件上即将被切去金属层的表面。

(2) 已加工表面 指已切除多余金属层而形成的新表面。

(3) 过渡表面 指切削刀正在切削的表面。该表面的位置始终在待加工表面与已加工表面之间不断变化。因此有时也称它为加工表面。

第二节 切削用量与切削层参数

一、切削用量

切削用量是切削速度、进给量和背吃刀量(切削深度)的总称; 也称为切削用量三要素, 如图 2-2 所示。切削用量是表示主运动及进给运动大小的参数, 主要用于调整机床、编制工艺路线等。切削用量直接影响工件加工质量、刀具寿命、机床功率损耗及生产率等。

1. 切削速度 v_c

切削速度是指刀具切削刃上选定点相对于工件的主运动线速度, 单位为 m/min 。

车外圆时, 切削速度 v_c 的计算公式如下:

$$v_c = \frac{\pi d_w n}{1000} \quad (2-1)$$

式中 d_w ——工件待加工表面直径, 单位为 mm ;

n ——工件或刀具转速, 单位为 r/min 。

2. 进给量 f

进给量是指刀具在进给运动方向上相对于工件的位移量。车外圆时, 进给量是指工件每转一转, 刀具切削刃相对于工件在进给运动方向上的位移量, 单位为 mm/r 。

进给量还可用进给速度 v_f 来表示。进给速度是指刀具切削刃上选定点相对工件进给运动的线速度, 单位为 mm/min 。

车削时的进给速度 v_f 为

$$v_f = nf \quad (2-2)$$

3. 背吃刀量 a_p

背吃刀量是指工件上已加工表面和待加工表面之间的垂直距离, 单位为 mm 。由图 2-2

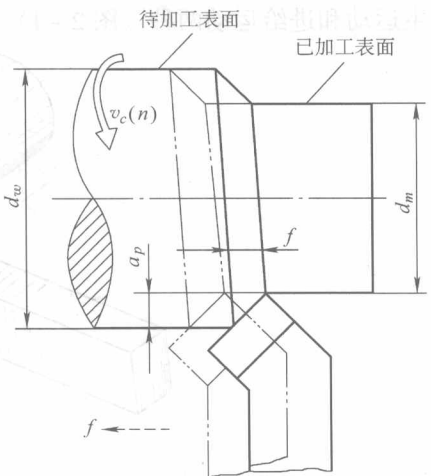


图 2-2 车外圆时的切削用量