

The background of the cover features technical drawings of mechanical parts. On the left, there is a detailed drawing of a part with a chamfered edge, showing dimensions such as a_p , f , B , C , R_r , and $1/2$. On the right, there is a smaller, less detailed drawing of a similar part, also showing dimensions like a_p , f , B , and E . The drawings are rendered in a light, semi-transparent style against a dark blue background with geometric shapes.

面向“十三五”普通高等院校机械专业规划教材

制造技术基础

▪ 付平 吴俊飞 主编

面向“十三五”普通高等院校机械专业规划教材

制造技术基础

主 编 付 平 吴俊飞
参 编 王 帅 张永涛

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容简介

本书共9章,内容包括切削加工基础知识、切削加工方法与设备、常见表面加工方案选择、机械制造工艺基础、特种加工、数控加工技术、先进制造技术、机械制造业环境保护和机械制造企业管理与经济性分析。本书在内容上重视基础性知识,对于目前仍广泛应用于现代机械制造业的传统常规工艺精选保留,对于过时的内容予以淘汰;同时重视跟踪科学技术的发展,增加了技术上较为成熟的、应用范围较宽或发展前景看好的“三新”(即新材料、新技术、新工艺)内容。本书既体现了常规制造技术与现代制造技术、材料科学和现代信息技术的密切交叉与融合,也体现了制造技术的历史传承和未来发展趋势。教材中的名词术语采用国家最新标准,取材新颖、结构紧凑、文字简练、图文并茂。

本书可以作为本科院校机械类、近机类各专业的教材,也可以作为高职类院校相关专业师生及工程技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

制造技术基础 / 付平, 吴俊飞主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2019. 7 (2019. 8重印)

ISBN 978-7-5682-7353-4

I. ①制… II. ①付… ②吴… III. ①机械制造工艺 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 167660 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)
(010) 82562903 (教材售后服务热线)
(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 山东临沂新华印刷物流集团有限责任公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 16

字 数 / 332 千字

版 次 / 2019 年 7 月第 1 版 2019 年 8 月第 2 次印刷

定 价 / 45.00 元

责任编辑 / 徐春英

文案编辑 / 赵 轩

责任校对 / 杜 枝

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

Preface

本书根据教育部工程材料及机械制造基础课程教学指导组“工程材料及机械制造基础系列课程”教学基本要求，以教育部课程改革指南为指导，以科学性、先进性、系统性、实用性为目标进行编写，注重学生获取知识、分析问题、解决工程技术问题的实践能力、综合素质与创新能力的培养。

本书是一部建立在原金属工艺学机械加工部分基础上，力图把传统制造工艺基础与先进制造工艺基础联系在一起的宽口径、涉及不同学科的教材，吸收了不同学科大量的新理论、新材料、新工艺、新技术、新方法，有助于学生更好地适应社会的需求，并兼顾个人的长远发展。本书涉及金属切削加工基础知识、金属切削机床与加工、特种加工、典型表面加工分析、机械加工工艺过程的基本知识、数控加工技术、先进制造技术、机械制造业的环境保护、机械制造企业管理与经济性分析等多方面知识，具备了基础性、实践性和跨学科的知识结构。本书在内容的编写上重视基础性知识，对于目前仍广泛应用于现代机械制造业的传统常规工艺精选保留，对于过时的内容予以淘汰；同时重视跟踪科学技术的发展，增加了技术上较为成熟的、应用范围较宽或发展前景看好的“三新”（即新材料、新技术、新工艺）内容，如增加了特种加工、数控加工技术、先进制造技术的比重，增加了机械制造业环境保护和机械制造企业管理与经济性分析的相关内容。本书既体现了常规制造技术与现代制造技术、材料科学和现代信息技术的密切交叉与融合，又体现了制造技术的历史传承和未来发展趋势，为学生的进一步学习及今后从事机械产品设计和加工制造方面的工作奠定基础。

本书既是各专业学习现代制造技术的专业基础教材，也是提高本科生的综合素质，培养高素质、复合型和创新型人才，为理、工、文、医、经、管、艺术等不同学科之间提供快速工业知识的特色基础教材。

本书中的名词术语采用国家最新标准，取材新颖、结构紧凑、文字简练、图文并茂。

本书有一定的灵活性，在保证教学基本要求的前提下，各院校在安排课程内容时，可结合自己学校的情况来选择、决定。

本书由付平、吴俊飞担任主编。付平编写了第一、二、四、五章，吴俊飞编写了第

三、六、七、八章。王帅、张永涛编写了第九章。

本书可以作为本科院校机械类、近机类各专业的教材，也可作为高职类院校相关专业师生及工程技术人员的参考书。

由于编者水平所限，书中难免会有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2019 年 3 月

第一章 金属切削加工的基础知识.....	(1)
第一节 切削加工概述.....	(1)
一、切削加工的分类	(1)
二、切削加工的特点	(2)
第二节 切削运动和切削要素.....	(2)
一、零件表面的形成	(2)
二、切削过程中的工件表面	(3)
三、切削运动	(3)
四、切削要素	(4)
第三节 切削刀具材料及其结构.....	(6)
一、刀具材料	(6)
二、刀具角度	(9)
三、刀具结构.....	(15)
第四节 金属切削过程及其伴生的物理现象	(16)
一、切屑的形成及其种类.....	(16)
二、积屑瘤.....	(18)
三、切削力和切削功率.....	(19)
四、切削热和切削温度.....	(21)
五、切削液的选用.....	(22)
六、刀具磨损和刀具寿命.....	(23)
七、切削用量的合理选择.....	(25)
第五节 工件材料的切削加工性	(26)
一、工件材料切削加工性的评定.....	(26)
二、常用材料的切削加工性.....	(27)
三、改善工件材料切削加工性的途径.....	(27)
四、难加工材料的切削加工性.....	(28)

第二章 金属切削机床与加工	(31)
第一节 金属切削机床的分类与加工	(31)
一、金属切削机床的分类	(31)
二、金属切削机床的型号	(32)
第二节 车削加工	(34)
一、车床及工件装夹	(35)
二、车刀	(42)
三、车削基本工艺	(42)
四、车削加工的应用	(43)
五、车削的工艺特点	(50)
第三节 铣削加工	(51)
一、铣床及其附件	(52)
二、铣刀	(54)
三、铣削基本工艺	(55)
四、铣削加工的应用	(57)
五、铣削的工艺特点	(58)
第四节 钻孔、扩孔、铰孔	(59)
一、钻孔	(59)
二、扩孔	(64)
三、铰孔	(65)
第五节 刨削、插削、拉削、镗削加工	(66)
一、刨削加工	(66)
二、插削加工	(70)
三、拉削加工	(71)
四、镗削加工	(74)
第六节 磨削加工	(77)
一、磨床	(77)
二、磨具	(80)
三、磨削基本工艺	(84)
四、磨削加工的应用	(85)
五、磨削的工艺特点	(88)
第七节 光整加工方法	(90)
一、研磨	(90)
二、珩磨	(92)
三、超级光磨	(93)
四、抛光	(94)

第三章 特种加工	(96)
第一节 电火花加工	(98)
一、电火花加工的原理和机床	(98)
二、电火花加工的特点	(101)
三、电火花加工的基本工艺规律	(101)
四、电火花加工的应用	(105)
第二节 电解加工	(109)
一、电解加工的原理	(110)
二、电解加工的特点	(111)
三、电解加工的应用	(111)
第三节 超声波加工	(113)
一、超声波加工的原理	(113)
二、超声波加工的特点	(114)
三、超声波加工的基本工艺规律	(114)
四、超声波加工的应用	(115)
第四节 激光加工	(117)
一、激光加工的原理	(117)
二、激光加工的特点	(118)
三、激光加工的应用	(118)
第五节 电子束加工	(120)
一、电子束加工的原理	(120)
二、电子束加工的特点	(120)
三、电子束加工的应用	(120)
第六节 离子束加工	(122)
一、离子束加工的原理	(122)
二、离子束加工的特点	(122)
三、离子束加工的应用	(122)
第七节 快速原型制造技术	(124)
第四章 典型表面加工分析	(126)
第一节 外圆表面的加工	(126)
一、外圆表面的技术要求	(127)
二、外圆表面加工方案的分析	(127)
第二节 孔的加工	(128)
一、孔的技术要求	(128)
二、孔加工方案的分析	(128)
第三节 平面的加工	(129)
一、平面的技术要求	(130)

二、平面加工方案的分析	(130)
第四节 成形面的加工	(131)
一、成形面的技术要求	(131)
二、成形面加工方法的分析	(131)
第五节 螺纹的加工	(132)
一、螺纹的技术要求	(132)
二、螺纹的加工方法	(133)
三、螺纹加工方法选择	(138)
第六节 齿轮齿形的加工	(138)
一、齿轮的技术要求	(139)
二、齿轮齿形的加工方法	(141)
第五章 机械加工工艺过程的基本知识	(151)
第一节 工艺过程的基本概念	(151)
一、生产过程和工艺过程	(151)
二、机械加工工艺过程的组成	(151)
三、生产纲领和生产类型	(154)
第二节 工件的装夹和夹具	(155)
一、工件的装夹	(156)
二、夹具的分类和组成	(156)
三、基准及其选择	(159)
四、工件在夹具中的定位	(161)
第三节 零件机械加工工艺规程的制订	(163)
一、机械加工工艺规程的内容及作用	(163)
二、制订工艺规程的原则	(163)
三、制订工艺规程的步骤	(163)
第四节 零件的切削结构工艺性分析	(169)
第六章 数控加工技术	(176)
第一节 数控机床的基本组成	(176)
一、输入与输出装置	(178)
二、数控系统	(178)
三、伺服系统	(180)
四、数控机床主机	(183)
五、数控机床的辅助装置	(185)
第二节 数控机床的特点	(186)
一、加工方面的特点	(186)
二、适应性与经济性特点	(187)
三、管理与使用方面的特点	(187)



第三节 数控加工程序编制.....	(188)
一、数控加工程序编制的基本知识	(188)
二、数控加工程序的代码及其功能	(190)
三、数控加工程序的编制	(191)
第四节 加工中心.....	(193)
一、加工中心的特点	(195)
二、加工中心的特殊构件	(195)
第七章 先进制造技术.....	(199)
第一节 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)技术	(200)
一、CAD/CAM 的基本概念	(200)
二、CAD/CAM 系统的组成	(201)
三、计算机辅助设计(CAD)技术	(202)
四、计算机辅助工艺过程设计(CAPP)	(203)
五、计算机辅助制造(CAM)技术	(204)
六、CAD/CAPP/CAM 集成技术	(204)
第二节 柔性制造技术.....	(205)
一、柔性制造系统的概述	(205)
二、柔性制造系统的组成	(206)
第三节 计算机集成制造系统.....	(209)
一、CIMS 的组成.....	(210)
二、CIMS 的发展.....	(212)
第八章 机械制造业的环境保护.....	(217)
第一节 机械制造业的环境污染.....	(217)
第二节 机械制造业的环境保护技术.....	(219)
一、工业废气的防治	(219)
二、工业废水的防治	(224)
三、工业固体废物污染的防治	(227)
四、工业噪声的防治	(230)
第九章 机械制造企业管理与经济性分析.....	(233)
第一节 机械制造企业管理.....	(233)
一、企业	(233)
二、现代企业	(234)
三、现代企业管理职能和组织结构	(235)
第二节 机械制造经济性分析.....	(238)
一、工艺成本的组成	(238)
二、成本分析方法	(240)
参考文献.....	(243)

第一章

金属切削加工的基础知识

第一节 切削加工概述

一、切削加工的分类

切削加工是使用切削工具，在工具和工件的相对运动中，把工件上多余的材料层切除，使工件获得规定的几何参数（尺寸、形状、位置）和表面质量的加工方法。切削加工分为机械加工和钳工加工两大类。

机械加工（简称机工）是利用切削过程产生的机械力对各种工件进行加工的方法。机械加工一般是通过工人操纵各种金属切削机床来完成的，其主要加工方式有车削、钻削、铣削、刨削、镗削、拉削、磨削、研磨、珩磨、超精加工、抛光等，所用的机床分别为车床、钻床、铣床、刨床、镗床、拉床、磨床等。

钳工加工（简称钳工）是在钳工台上，通过工人手持工具对工件进行加工的方法，它是机械制造中的重要工种之一。目前虽然有各种先进的加工方法，但钳工具有所用工具简单、加工多样灵活、操作方便、适应面广，可以完成机械加工所不能完成的某些工作等特点，更容易保证产品的质量。因此尽管钳工操作的劳动强度大、生产效率低，但钳工在机械制造及机械维修中有着特殊的、不可取代的作用，是切削加工不可缺少的一个组成部分。而且随着加工技术的发展和自动化程度的提高，钳工工具和操作方法也在不断改进和发展，钳工机械化的内容也越来越丰富。

钳工的基本操作可分为以下几类。

（1）辅助性操作。辅助性操作即划线，它是根据图样在毛坯或半成品工件上划出加工界线的操作。

（2）切削性操作。切削性操作有镗削、锯削、锉削、攻螺纹、套螺纹、钻孔（扩孔、铰孔）、刮削和研磨等多种操作。

（3）装配性操作。装配性操作指将零件或部件按图样技术要求组装并调试成机器的工

艺过程。

(4) 维修性操作。维修性操作指对在役机械、设备进行维修、检查、修理的操作。

二、切削加工的特点

切削机具有以下主要特点。

(1) 切削加工能获得较高的精度和表面质量。切削加工可以根据要求达到不同的精度和表面粗糙度，可以获得很高的加工精度和很低的表面粗糙度。现代切削加工技术已经达到 IT12 ~ IT3 的尺寸公差精度，表面粗糙度可达到 $Ra25.000 \sim 0.008 \mu\text{m}$ 。

(2) 切削加工对被加工材料、工件几何形状、尺寸和生产批量具有广泛的适应性。切削加工可用于金属材料的加工，如各种碳钢、合金钢、铸铁、有色金属及其合金等；也可用于某些非金属材料的加工，如石材、木材、塑料和橡胶等。零件的形状一般不受限制，只要能在机床上实现装夹，就可以进行切削加工，且可以加工各种型面，如外圆面、内圆面、锥面、平面、螺纹、齿轮齿形及各种曲面等。零件的尺寸不受限制，质量可以达数百吨。目前世界上最大的立式车床可加工直径 26 m 的工件。

(3) 切削加工中存在切削力，刀具和工件都要有一定的强度和刚度，而且刀具材料的硬度必须高于工件材料的硬度。

(4) 切削加工生产效率较高，在常规条件下高于其他加工方法；只有在少数特殊情况下，其生产效率低于精密铸造或精密锻造等无屑加工方法。

因此，在现代机械制造中，机器上的零件除极少数采用精密铸造或精密锻造等无屑加工的方法获得以外，绝大多数零件都是靠切削加工的方法来获得的，因此它在机械制造业中占有十分重要的地位。切削加工与国家整个工业的发展紧密相连，起着举足轻重的作用。

第二节 切削运动和切削要素

一、零件表面的形成

切削加工的具体对象是组成机械产品的各种零件。零件虽然随其功用、形状、尺寸和精度等不同而千变万化，但大致可分为轴类、盘套类、支架箱体类、六面体类、机身机座类和特殊类。

机器零件的形状虽然很多，但主要是由基本表面和成形面组成。基本表面包括外圆面、内圆面（孔）、平面，成形面包括螺纹、齿轮齿形和各种沟槽等。外圆面和孔是以某一直线为母线，以圆为轨迹作旋转运动所形成的表面。平面是以某一直线为母线，以另一直线为轨迹作平移运动所形成的表面。成形面是以曲线为母线，以圆或直线为轨迹作旋转或平移运动所形成的表面。这些表面可分别用图 1-1 所示的相应加工方法来获得。

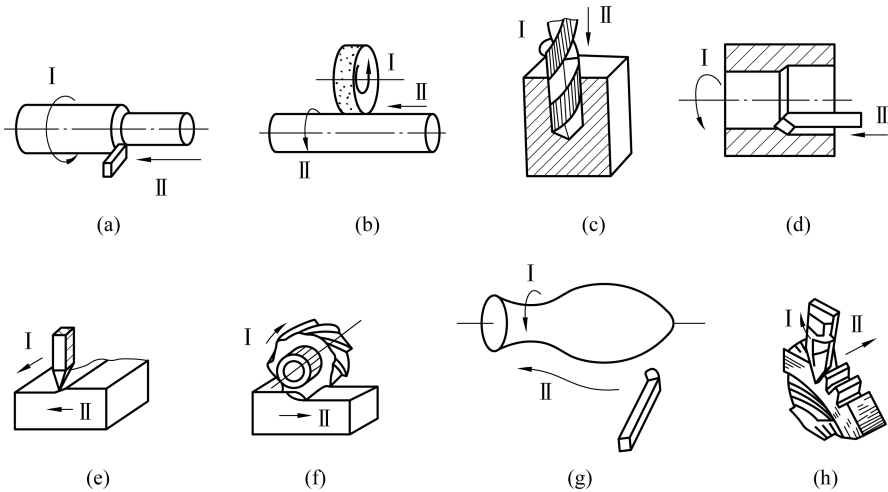


图 1-1 零件不同表面加工时的切削运动

(a) 车外圆面；(b) 磨外圆面；(c) 钻孔；(d) 车床上镗孔；(e) 刨平面；(f) 铣平面；(g) 车成形面；(h) 铣成形面

二、切削过程中的工件表面

切削加工过程是一个动态过程，在切削加工中，工件上通常存在着 3 个不断变化的表面，即待加工表面、过渡表面（加工表面）、已加工表面，如图 1-2 所示。待加工表面是指工件上即将被切除的表面。已加工表面是工件上已切去切削层而形成的表面。过渡表面是指加工时工件上正在被刀具切削刃切削着的表面，其介于待加工表面和已加工表面之间。

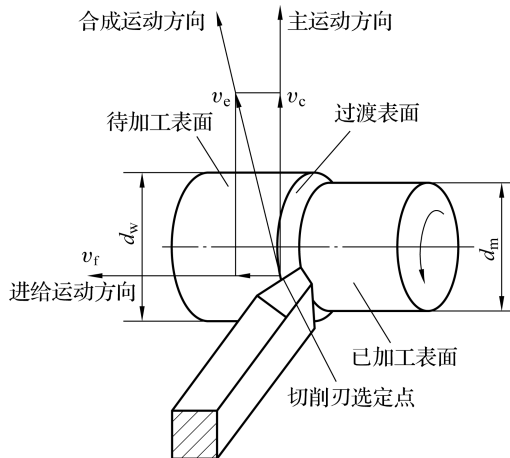


图 1-2 切削运动和加工表面

三、切削运动

无论在哪一种机床上进行切削加工，刀具和工件间必须有一定的相对运动，即切削运动。切削运动可以是旋转运动或直线运动，也可以是连续运动或间歇运动。根据在切削中所起的作用不同，切削运动（如图 1-1）分为主运动（图中 I）和进给运动（图中 II）。切削时，实际的切削运动是一个合成运动。

主运动是由机床或人力提供的主要运动，它使刀具和工件之间产生相对运动，促使刀具前刀面接近工件而实现切削，如图 1-2 所示工件的旋转运动。主运动速度高、消耗功率大，且只有一个。主运动可以由工件完成，也可以由刀具完成。主运动的形式有旋转运动和往复运动（由工件或刀具进行）两种，如车削、铣削、磨削加工时的主运动是旋转运动，刨削、插削加工时工件或刀具的主运动是往复直线运动。

进给运动是刀具与工件之间产生的附加相对运动，与主运动配合，即可连续地切除余量，如图 1-2 所示车刀的移动。根据工件表面形成的需要，进给运动可以是 1 个，也可以是多个；可以是连续的，也可以是间歇的。当主运动为旋转运动时，进给运动是连续的，如车削、钻削；当主运动为直线运动时，进给运动是间歇的，如刨削、插削等；拉削时没有进给运动。

合成运动是由同时存在的主运动和进给运动合成的运动。

四、切削要素

切削要素包括切削用量三要素（切削速度 v_c 、进给量 f 、背吃刀量 a_p ）和切削层参数。

1. 切削速度

切削刃上选定点相对工件主运动的瞬时速度称为切削速度，以 v_c 表示，单位为 m/s 或 m/min。

若主运动为旋转运动（如车削、铣削等），切削速度一般为其最大线速度，即

$$v_c = \frac{\pi dn}{1000}$$

式中： d ——工件（或刀具）的直径，mm；

n ——工件（或刀具）的转速，r/s 或 r/min。

若主运动为往复直线运动（如刨削、插削等），则常以其平均速度为切削速度，即

$$v_c = \frac{2Ln_r}{1000}$$

式中： L ——往复行程长度，mm；

n_r ——主运动每秒或每分钟的往复次数，1/s 或 1/min。

2. 进给量

刀具在进给运动方向上相对工件的位移量称为进给量。不同的加工方法，由于所用刀具和切削运动形式不同，进给量的表述和度量方法也不相同。

用单齿刀具（如车刀、刨刀等）加工时，当主运动是回转运动时，进给量指每转进给量，即工件或刀具每回转一周，两者沿进给方向的相对位移量，单位为 mm/r；当主运动是直线运动时，进给量指每行程进给量，即刀具或工件每往复直线运动一次，两者沿进给方向的相对位移量。

用多齿刀具（如铣刀、钻头等）加工时，进给运动的瞬时速度称进给速度，以 v_f 表

示，单位为 mm/s 或 mm/min。刀具每转或每行程中每齿相对工作进给运动方向上的位移量，称每齿进给量，以 f_z 表示，单位为 mm。 f_z 、 f 、 v_f 之间有如下关系

$$v_f = fn = f_z zn$$

式中： n ——刀具或工件转速，r/s 或 r/min；

z ——刀具的齿数。

3. 背吃刀量

在通过切削刃上选定点并垂直于该点主运动方向的切削层尺寸平面中，垂直于进给运动方向测量得到的切削层尺寸，称为背吃刀量，以 a_p 表示，单位为 mm。如图 1-2 所示，车外圆时， a_p 可用下式计算，即

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2}$$

式中： d_w 、 d_m ——工件待加工表面直径已加工表面直径，mm。

4. 切削层参数

切削层是指切削过程中，由刀具切削部分的一个单一动作（如车削时工件转一圈，车刀主切削刃移动一段距离）所切除的工件材料层。它决定了切屑的尺寸及刀具切削部分的载荷。切削层的尺寸和形状，通常是在切削层尺寸平面中测量的，如图 1-3 所示。

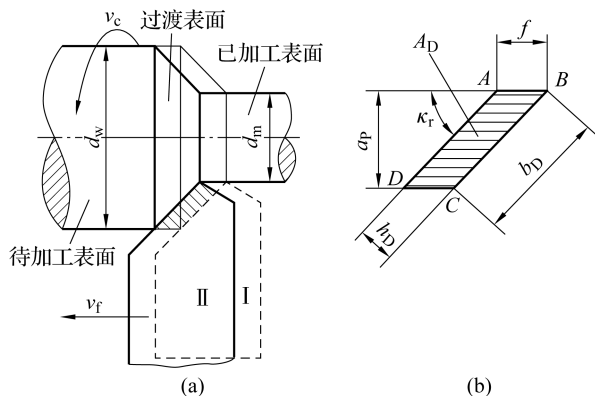


图 1-3 车削时切削层尺寸

(1) 切削层公称横截面积 A_D 。切削层公称横截面积指在给定瞬间，切削层在切削层尺寸平面里的实际横截面积，单位为 mm^2 。

(2) 切削层公称宽度 b_D 。切削层公称宽度指在给定瞬间，作用于主切削刃截形上两个极限点间的距离，在切削层尺寸平面中测量，单位为 mm。

(3) 切削层公称厚度 h_D 。切削层公称厚度指同一瞬间切削层公称横截面积与其公称宽度之比，单位为 mm。由定义可知

$$A_D = b_D h_D$$

对于车削加工来说，切削层公称横截面积 A_D 为

$$A_D \approx f a_p$$

第三节 切削刀具材料及其结构

切削加工过程中，直接完成切削工作的是刀具。切削刀具的种类繁多，形状各异。但不管它们的结构多么复杂，它们的基本构成是一样的。无论哪种刀具，都是由夹持部分和切削部分组成。夹持部分是用来将刀具夹持在机床上的部分，要求它能保证刀具正确的工作位置，传递所需要的运动和动力，并且夹固可靠、装卸方便。切削部分是刀具上直接参加切削工作的部分。刀具切削性能的好坏，取决于刀具切削部分的几何参数、结构及材料。

一、刀具材料

1. 刀具材料应具备的性能

切削过程除了要求刀具具有适当的几何参数外，还要求刀具具有良好的切削性能。刀具的切削性能主要取决于刀具材料。刀具材料是指刀具切削部分的材料。

刀具在切削时要承受高压、高温、剧烈摩擦、冲击和振动。金属切削过程中的加工质量、加工效率和加工成本在很大程度上取决于刀具材料的选择。为了保证切削的正常进行，刀具材料应具备以下基本性能。

(1) 较高的硬度：刀具材料硬度必须高于工件材料硬度，刀具材料常温硬度一般要求在 60 HRC 以上。

(2) 较好的耐磨性：刀具材料须具有较好的耐磨性，以抵抗切削过程中的磨损，维持一定的切削时间。一般来说，刀具材料的硬度越高、晶粒越细，其耐磨性就越好。

(3) 足够的强度和韧度：刀具材料须具有足够的强度和韧度，以便承受切削力、冲击和振动，防止刀具脆性断裂和崩刃。

(4) 较高的耐热性：刀具材料须具有较高的耐热性，以便在高温下仍能保持较高的硬度、耐磨性、强度和韧度。耐热性又称为红硬性或热硬性。

(5) 良好的工艺性和经济性：刀具材料应具有良好的锻造性能、热处理性能、焊接性能、切削加工性能等，以便制造成各种刀具，而且要追求高的性能价格比。

目前尚没有一种刀具材料能全面满足上述要求。因此，技术人员必须了解常用刀具材料的性能和特点，以便根据工件材料的性能和切削要求选用合适的刀具材料，同时应进行新型刀具材料的研制。

2. 常用的刀具材料

常用的刀具材料有碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、硬质合金、陶瓷、涂层刀具材料、金刚石和立方氮化硼等，其基本性能如表 1-1 所示。

表 1-1 常用刀具材料及其基本性能

刀具材料	代表牌号	硬度/ HRA (HRC)	抗弯强度 σ_{bb}		冲击韧度 a_k		耐热性/ $^{\circ}\text{C}$	切削速度之比
			GPa	kg/mm ²	GPa	kg/mm ²		
碳素工具钢	T10A	81 ~ 83 (60 ~ 64)	2.45 ~ 2.75	250 ~ 280	—	—	~ 200	0.2 ~ 0.4
合金工具钢	9SiCr	81 ~ 83.5 (60 ~ 65)	2.45 ~ 2.75	250 ~ 280	—	—	250 ~ 300	0.5 ~ 0.6
高速钢	W18Cr4V	82 ~ 87 (62 ~ 69)	3.43 ~ 4.41	350 ~ 450	98 ~ 490	1 ~ 5	540 ~ 650	1
硬质合金	K30	89.5 ~ 91	1.08 ~ 1.47	110 ~ 150	19.6 ~ 39.2	0.2 ~ 0.4	800 ~ 900	6
	P10	89.5 ~ 95.2	0.88 ~ 1.27	90 ~ 130	2.9 ~ 6.8	0.03 ~ 0.07	900 ~ 1 000	6
陶瓷	AM	91 ~ 94	0.44 ~ 0.83	45 ~ 85	—	—	>1 200	12 ~ 14

注：冲击韧度 a_k 已废止，但仍有一定的参考价值，故本表予以保留。

1) 碳素工具钢和合金工具钢

碳素工具钢是碳含量较高的优质钢（碳含量为 0.7% ~ 1.2%，如 T7、T8、T9、T10A、T12A 等），淬火后硬度较高、价廉，但耐热性较差。在碳素工具钢中加入少量的 Cr、W、Mn、Si 等元素，形成合金工具钢（如 9SiCr、CrWMn 等），可适当减少热处理变形和提高耐热性。这两种刀具材料的耐热性较低，常用来制造一些切削速度不高的手工刀具，如锉刀、锯条、铰刀等，较少用于制造其他刀具。

2) 高速钢

高速钢是加入较多 W、Mo、Cr、V 等合金元素的高合金钢，其热处理后硬度可达 63 ~ 70 HRC，在 500 ~ 650 $^{\circ}\text{C}$ 时仍能进行切削。它的硬度、耐磨性和耐热性虽略低于硬质合金，但强度和韧度高于硬质合金，工艺性较硬质合金好，价格也比硬质合金低。高速钢适合于制造结构和刃型复杂的刀具，如成形车刀、铣刀、钻头、插齿刀、剃齿刀、螺纹刀具和拉刀等。

普通高速钢（如 W18Cr4V）是国内使用最为普遍的刀具材料，广泛地用于制造形状较为复杂的各种刀具，如麻花钻、铣刀、拉刀、齿轮刀具和其他成形刀具等。高性能高速钢是在普通高速钢中加入 Co、V 等合金元素，其常温硬度可达 67 ~ 70 HRC，抗氧化能力、耐磨性与热稳定性进一步提高。如 W2Mo9Cr4VCo8 是世界上用得较多的高性能高速钢，用于制造加工耐热合金、高强度钢、钛合金、不锈钢等难切削材料的各种刀具。粉末高速钢是用高压氩气或纯氮气雾化熔融的高速钢钢水而得到细小的高速钢粉末，通过粉末冶金工艺制成的刀具材料，适用于制造各种高性能精密刀具，如加工汽轮机叶轮的轮槽铣刀、拉刀、滚刀、插齿刀、剃齿刀等。

3) 硬质合金

硬质合金是以高硬度、高熔点的金属碳化物（WC、TiC 等）作基体，以金属 Co 等作黏结剂，用粉末冶金的方法制成的一种合金。它的硬度高、耐磨性好、耐热性高，允许的切削速度比高速钢高数倍，但其强度和韧度均较高速钢低，工艺性也不如高速钢。因此，