

工程材料与机械制造基础

下 篇

程万逵 宋天民 主 编

哈 尔 滨 工 程 大 学 出 版 社



工程材料与机械制造基础

下 篇

(切削加工工艺基础)

主 编 程万逵 宋天民

副主编 司俊山 黄美平

主 审 刘喜平

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书共分七章,包括金属切削加工的基础知识、金属切削机床的基础知识、常用加工方法综述、精密加工和特种加工、典型表面加工分析、机械加工工艺概论和零件的结构工艺性等。每章之后附有习题,可供学生用作复习和讨论。

本书可作为高等工科院校机构类专业和相近专业的教学用书,也适宜作为职工大学、业余大学和函授大学该类专业的教材及供有关工程技术人员参考。

DWZS/2921

工程材料与机械制造基础

下篇

程万逵 宋天民 主编

责任编辑 罗东明

哈尔滨工程大学出版社出版发行

新华书店经销

东北林业大学印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 12.875 字数 280 千字

1996 年 1 月第 1 版 1996 年 1 月第 1 次印刷

印数:1~1500 册

ISBN-81007-655-8

TG·12 定价:39.00 元

(共三册 13.00 元/册)

前 言

本书是参考全国高等工科院校《工程材料与机械制造基础》教学指导小组制订的教学基本要求,并结合编者的多年教学实践经验编写的。

全书分为《工程材料》、《热加工工艺基础》和《切削加工工艺基础》三册。既可分册单独授课,满足多学时专业的教学要求;又可成套合并使用,用于少学时专业的教学。全书采用最新国家标准和国际标准。

本书可作为高等工科院校机械类专业和相近专业的教学用书,也适宜作为职工大学、业余大学和函授大学该类专业的教材及供有关专业工程技术人员参考。

参加《切削加工工艺基础》编写的有哈尔滨理工大学、抚顺石油学院、哈尔滨工程大学、东北重型机械学院、佳木斯广播电视大学等单位。全书共分七章,绪论、第三章、第二章第三节由程万逵编写,第一章第一、三、四节由宋天民编写,第二章第一、二节由丛树岩编写,第四、五章由黄美平编写,第六章、第一章第二节由司俊山编写,第七章、第二章第四节由朱莉编写。

全书由程万逵、宋天民担任主编,司俊山、黄美平担任副主编,东北重型机械学院刘喜平担任主审。

本教材在编写和审稿过程中,得到不少同志的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

1996年1月

绪 论

《工程材料与机械制造基础》是一门综合性的技术基础课,它涉及机械制造从材料到冷热加工的各方面。《切削加工工艺基础》包括金属切削的基本原理、金属切削机床的基本知识、常用加工方法和工艺过程的基本知识以及零件的结构工艺性等内容。

切削加工是用刀具从毛坯(或型材)上切除多余的材料,以便获得形状和尺寸精度以及表面质量等都符合要求的零件的工艺过程。切削加工又分机械加工和钳工,钳工一般是通过工人手持工具来进行切削加工的,目前多在装配和修理过程中采用。机械加工是通过工人操纵机床来完成切削加工的,其主要方法有车、钻、刨、铣、磨及齿轮加工等,所用的机床为车床、钻床、刨床、铣床、磨床及齿轮加工机床等。

由于现代机器的精度和性能要求较高,因而对组成机器的大部分零件的加工质量也相应地提出了较高的要求。为了满足这些要求,除了很少一部分零件是采用精密铸造或精密锻造的方法直接获得外,绝大部分零件还要由毛坯经切削加工来保证,因为切削加工是改变工件尺寸与形状精度的最佳方法。因此,研究如何正确地进行切削加工以保证零件质量,并提高劳动生产率和降低成本,就有着十分重要的意义。

切削加工技术的出现和发展是科学技术进步的结果,同时切削加工技术的发展也促进了科学技术的进步,两者的关系是相辅相成的。例如材料科学的发展使很多高强度、高硬度的难加工材料得到广泛的应用,与此同时,也出现了许多新的刀具材料用于加工这些难加工材料。另一方面随着切削加工技术的发展相继出现了各种加工难加工材料的新的工艺方法,如电火花加工,电化学加工、电子束加工、激光加工等,使这些性能优良的材料得到进一步的应用,促进了科学技术的发展。

据历史资料记载和出土文物的证实,我国古代在切削加工技术方面已达到了很高的水平,只是在近代才落后了,新中国成立后,机械制造业作为国民经济基础产业而得到迅速发展。作为基础的基础,机床制造业也得到了很大发展,生产出了各种高精密的、高度自动化的、高效率的机床和生产线。机械制造业也形成了完整的工业体系,为国民经济的发展奠定了必要的物质基础。但我国切削加工技术的整体水平,还与工业发达国家有一定差距,加工精度和自动化程度都比较低,有待我们的进一步努力。

当前,切削加工技术的发展有以下几个趋势:

一是新材料的出现对切削加工技术产生重大影响 一方面新材料的使用会产生很多切削加工的问题,要解决这些问题会出现新的加工方法,如电火花加工、激光加工等。另一方面新材料也被应用于切削加工技术中,尤其是新的刀具材料的出现,对于切削加工技术水平的提高有着重大意义。刀具材料由普通工具钢发展到高速钢、硬质合金乃至陶瓷材料就证明了这一点。

二是提高精度 随着产品性能要求的不断提高,加工方法的不断改进,制造精度也不断提高。目前,由于综合运用各种现代化的加工技术,超精密加工的精度正从微米级向纳米级发展。

三是加工的自动化 20 世纪初,美国亨利福特(H. Ford)运用劳动分工概念,首先建立了大量生产汽车的自动化生产系统。这是机械制造自动化的开端。当时以及以后若干年中,对于大批大量生产,采用的是自动机床或由自动机床、组合机床和专用机床组成的自动生产线。但是对于中小批生产的自动化问题,长时间未得到很好的解决。直到 50 年代初,由于计算机技术的发展,出现了第一台数控(NC)机床,60 年代后出现计算机数控(CNC)机床以及计算机群控(DNC)系统后,这一问题才得到较好的解决。20 年代后人们把机械制造过程当作系统来研究,在解决小批量生产方面出现了柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)及柔性生产线(FML)。近年来又出现了把计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)相结合并运用到制造系统中的计算机集成制造系统(CIMS)。它为“无人工厂”创造了条件。

切削加工工艺基础是一门实践性很强的技术基础课。与其相关的金工实习是一个很重要的学习实践过程,在实习中应注意锻炼学生的实际工作能力,并与这门课的讲授相结合培养学生的技能。国外高校很重视培养和锻炼学生的技能,国内也有一些学校做了这方面的尝试,取得了较好的效果。

本课程应在学生学完物理学、理论力学、材料力学、机械原理、机械零件和材料学,并进行金工实习后讲授。

本课程的教学基本要求是:了解金属切削过程中的一般现象和规律,具有按加工条件选择刀具及切削用量的能力,并解决生产中的实际问题。了解各种机床的工作原理、结构及范围。掌握各种加工方法和工艺特点。熟悉典型零件的技术要求、工艺过程。具有判别一般零件结构工艺性优良的能力。

目 录

绪 论

第一章 金属切削加工的基础知识	(1)
第一节 切削运动及切削要素	(1)
第二节 刀具材料及刀具结构	(5)
第三节 金属切削过程	(22)
第四节 切削加工的经济性	(39)
第二章 金属切削机床的基础知识	(65)
第一节 机床的类型与结构	(65)
第二节 机床的传动	(71)
第三节 自动机床和数控机床	(85)
第四节 柔性制造系统(FMS)和计算机辅助制造(CAM)	(94)
第三章 常用的加工方法综述	(107)
第一节 车削的工艺特点及其应用	(107)
第二节 钻、镗削的工艺特点及其应用	(109)
第三节 刨、拉削的工艺特点及其应用	(117)
第四节 铣削的工艺特点及其应用	(119)
第五节 磨削的工艺特点及其应用	(125)
第四章 精密加工和特种加工	(135)
第一节 光整加工	(135)
第二节 特种加工	(141)
第五章 典型表面加工分析	(152)
第一节 外圆面的加工	(152)
第二节 孔的加工	(153)
第三节 平面的加工	(155)
第四节 成形面的加工	(156)
第五节 螺纹的加工	(157)
第六节 齿轮齿形的加工	(160)
第六章 机械加工工艺概论	(170)
第一节 基本概念	(170)
第二节 工件的安装和夹具	(172)
第三节 工艺规程的拟定	(175)
第四节 典型零件的工艺过程	(181)
第七章 零件的结构工艺性	(189)
第一节 概念	(189)
第二节 一般原则及实例分析	(190)

第一章 金属切削加工的基础知识

第一节 切削运动及切削要素

在机床上,用金属切削刀具切除工件上多余的(或预留的)金属,从而使工件的形状、尺寸精度及表面质量都合乎预定的要求,这样的加工称为金属切削加工。在切削加工过程中,刀具与工件相互接触且存在着相对运动,这种相对运动的过程称为金属切削过程。刀具同工件之间相对的切削运动由金属切削机床来完成。机床、夹具、刀具和工件构成金属切削加工的工艺系统。在切削过程中,将产生各种物理现象(如切削力、切削温度、刀具磨损……)并发生相应的变化,这些现象和变化规律都要在这个工艺系统的运动状态中考察研究。

一、零件表面的形成及切削运动

金属切削加工的种类很多,如车削、刨削、铣削、钻削、磨削等。各种切削加工的目的都是为了形成合乎要求的零件表面,因此,零件表面形成问题是切削加工的基本问题。

常见的零件表面有以下几种:

圆柱面——是以直线为母线,以和它相垂直的平面上的圆为轨迹,作旋转运动所形成的表面,如图 1—1(a)所示。

圆锥面——是以直线为母线,以圆为轨迹,且母线与轨迹平面相交成一定角度作旋转运动所形成的表面,如图 1—1(b)所示。

平面——是以直线为母线,以另一直线为轨迹作平移运动所形成的表面,如图 1—1(c)所示。

成形面——是以曲线为母线,以圆为轨迹作旋转运动或以直线为轨迹作平移运动所形成的表面,如图 1—1(d)和(e)所示。

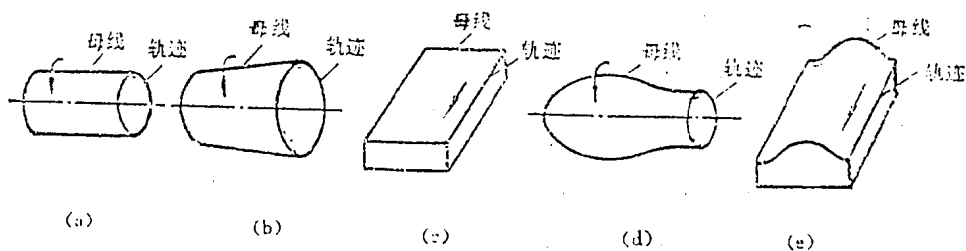


图 1—1 表面的形成

此外,根据使用或制造上的要求,零件上还常有各种沟槽。沟槽实际上是由平面或曲面所组成的。常见沟槽的断面形状如图 1—2 所示。

上述各种表面都可用相应的切削加工方法来获得。车削加工是一种最常见的、典型

的切削加工方法,可获得圆柱面。如图 1—3 所示,普通外圆车削加工是由两种运动组合而成,其一是工件的回转运动,它是切除多余金属以形成工件新表面的基本运动;其二是车刀的纵向(或横向)进给运动,它保证了切削工作的连续进行。

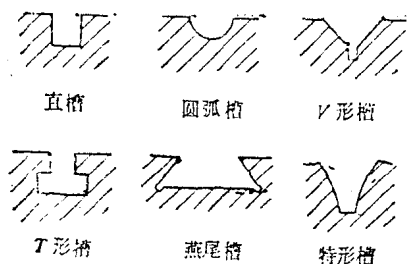


图 1—2 常见沟槽的断面形状

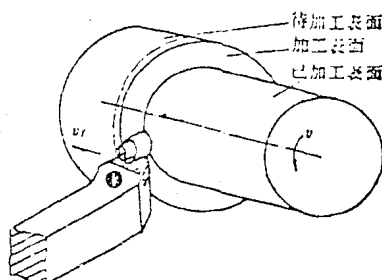


图 1—3 车削运动和加工表面

在这两个合成切削运动作用下,工件表面的一层金属不断地被车刀切下来并转变为切屑,从而加工出所需要的工件新表面。在新表面的形成过程中,工件上有三个依次变化着的表面,即待加工表面、加工表面和已加工表面。

(1)待加工表面 加工时即将切除的工件表面。

(2)已加工表面 已被切去多余金属而形成符合要求的工件新表面。

(3)加工表面(或称切削表面) 加工时由切削刃在工件上形成的那部分表面,它是待加工表面和已加工表面之间的过渡表面。

上述车削运动和加工表面的分析和认识也适用于其他切削加工。可见,切削刃相对于工件的运动过程就是表面的形成过程。在这个过程中,切削刃相对于工件的运动轨迹面就是工件上的加工表面和已加工表面。这里有两个要素,一是切削刃,二是切削运动。不同形状的切削刃和不同切削运动的组合就可形成各种工件表面。

各种切削加工的运动,按照它们在切削过程中所起的作用,可以分为主运动和进给运动两种。这两个运动向量之和,称为合成切削运动。所有切削运动的速度和方向都是相对于工件定义的。各种切削加工机床都有特定的切削运动。在切削加工时,主运动只有一个,进给运动可以是一个,也可以是多个。

1. 主运动

切削时使刀具切削刃及其毗邻的刀具表面直接切除工件上的金属层,使之转变为切屑的运动,称为主运动。通常主运动的速度最高,消耗的功率最大。主运动可以由工件完成,也可以由刀具完成,它是刀具与工件之间主要的相对运动。如图 1—3 所示,在车床上,工件的回转运动是主运动;钻床和铣床上,刀具的回转运动是主运动;在刨床上,刀具或工作台的往复直线运动是主运动。

2. 进给运动

不断地将多余金属投入切削,以保证切削连续或依次地进行的运动,称为进给运动。进给运动的速度较低,消耗的功率较小。进给运动可以是步进的,也可以是连续进行的。车削时车刀的纵向移动和横向移动都是进给运动。

二、切削用量

切削用量是指切削速度 v 、进给量 f (或进给速度 v_f) 和切削深度 a_p 的总称。切削用量的大小反映单位时间内金属的切除量,它是衡量生产率的重要参数之一。

1. 切削速度 v

切削速度即主运动的速度。大多数切削加工的主运动采用回转运动,车削时其切削速度为

$$v = \frac{\pi d n}{1000} \quad \text{m/s (m/min)} \quad (1-1)$$

式中 d ——工件或刀具上某一点的回转直径(mm);

n ——工件或刀具的转速(r/s 或 r/min)。

在当前生产中,磨削速度的单位用米/秒(m/s),其他加工的切削速度单位习惯用米/分(m/min)。

由于切削刃上各点相对于工件的旋转半径不同,因而刀刃上各点的切削速度也不同,在计算时应取最大的切削速度。外圆车削时计算待加工表面上的速度,内孔车削时计算已加工表面上的速度,钻削时计算钻头外径处的速度。

2. 进给量 f

进给量是工件或刀具每回转一周时两者沿进给运动方向的相对位移,单位是 mm/r (毫米/转)。进给速度 v_f 是单位时间内的进给量,单位是 mm/s (mm/min)。进给量的大小反映了进给速度的大小。车削时进给速度 v_f 为

$$v_f = n \cdot f \text{ mm/min} \quad (1-2)$$

对于刨削、插削等主运动为往复直线运动的加工,可以不规定进给速度,但要规定间歇进给的进给量,其单位为 mm/d · sth (毫米/双行程)。

对于铣刀、铰刀、拉刀、齿轮滚刀等多刀切削工具,在它们进行工作时还应规定每一个刀齿的进给量 a_f ,即后一个刀齿相对于前一个刀齿的进给量,单位是 mm/Z (毫米/齿),进给速度为

$$v_f = n f = a_f \cdot Z \text{ mm/s (mm/min)} \quad (1-3)$$

3. 切削深度 a_p

切削深度 a_p 为工件上已加工表面和待加工表面间的垂直距离,单位为 mm。

外圆柱表面车削的切削深度为

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad \text{mm} \quad (1-4)$$

对于钻孔加工

$$a_p = \frac{d_m}{2} \quad \text{mm} \quad (1-5)$$

式中 d_m ——已加工表面直径(mm);

d_w ——待加工表面直径(mm)。

三、切削层参数

各种切削加工的切削层参数,可用典型的外圆纵车来说明。如图 1—4 所示,车刀主切削刃上任意一点相对于工件的运动轨迹是一条空间螺旋线(当刃倾角 $\lambda_s=0$ 时,主切削刃所切出的加工表面为阿基米德螺旋面)。工件每转一转,车刀沿工件轴线移动一段距离,即进给量 $f(\text{mm/r})$ 。这时,切削刃从加工表面 II 的位置移至加工表面 I 的位置上,于是 I、II 之间的金属层转变为切屑。车刀正在切削的这层金属称为切削层。切削层的大小和形状直接决定了车刀切削部分所承受的负荷大小以及切下的切屑的形状和尺寸。不论何种切削加工,能够说明切削机理的,乃是切削层截面形状的机械性质所决定的真实厚度和宽度。

1. 切削层

在各种切削加工中,刀具同工件沿进给运动方向每移动进给量 $f(\text{mm/r})$ 或每齿进给量 $a_f(\text{mm/z})$ 之后,一个刀齿正在切削的金属层称为切削层。切削层横截面的尺寸称为切削层参数。

2. 切削厚度

垂直于加工表面度量的切削层尺寸,称为切削厚度,以 a_c 表示。它是刀具或工件每移动一个进给量 f (或 a_f),刀具主切削刃相邻两个位置间的垂直距离。在外圆纵车($\lambda_s=0$)时

$$a_c = f \cdot \sin \kappa_r \quad (1-6)$$

式中 κ_r ——车刀主切削刃与工件轴线之间的夹角。

3. 切削宽度

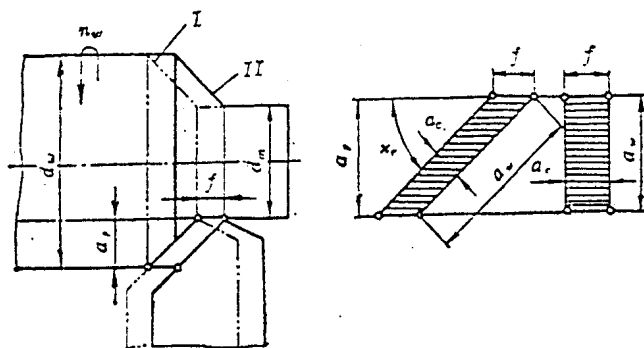


图 1—4 外圆纵车时切削层的参数

沿加工表面度量的切削层尺寸,称为切削宽度,以 a_w 表示。它是刀具主切削刃与工件实际接触的长度。在外圆纵车($\lambda_s=0$)时

$$a_w = a_f / \sin \kappa_r \quad (1-7)$$

可见,在 f 与 a_f 一定的条件下, κ_r 值越大,切削厚度 a_c 也越大,而切削宽度 a_w 则越小;反之, κ_r 越小时, a_c 也越小,而 a_w 则越大;当 $\kappa_r=90^\circ$ 时, $a_c=f$, $a_w=a_f$ 。

曲线形主切削刃,切削层各点的切削厚度相等,如图 1—5 所示。

4. 切削面积

工件被切下的金属层在垂直于主运动方向上的截面面积,称为切削面积,以 A_c 表示。

对于车削来说,它是切削深度和进给量的乘积或是切削宽度和切削厚度的乘积

$$A_c = a_p \cdot f = a_x \cdot a_c \quad (1-8)$$

以上计算的为理论切削面积(图 1—5 中的 ACDB)。由于车削时切削刀上任一点相对于工件运动的轨迹为阿基米德螺旋线,所以工件表面上总存在一小块残余面积 ΔA ,它是残留在已加工表面上的不平部分的剖面面积(图 1—5 中的 ABE)。实际切削面积 A_{cs} 等于理论切削面积 A_c 与残留面积 ΔA 之差,即

$$A_{cs} = A_c - \Delta A \quad (1-9)$$

可见,实际切削面积小于理论切削面积。'

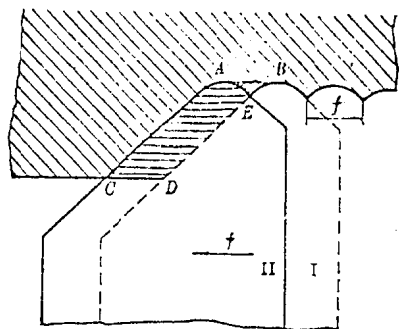


图 1—5 残留面积

第二节 刀具材料及刀具结构

一、刀具材料

在切削过程中,刀具直接完成切除余量和形成已加工表面的任务。刀具切削性能的优劣,取决于构成切削部分的材料、几何形状和刀具结构。一般情况下,刀具材料的重要性居于首位,它对刀具耐用度、加工效率、加工质量和加工成本影响极大。一旦新的刀具材料出现后,直接推动切削加工水平的进一步提高,甚至影响机械加工设备的设计和结构,因此,应当重视刀具材料的正确选择和合理使用,重视新型刀具材料的研制。

1. 刀具材料应具备的性能

金属切削过程中,刀具切削部分是在较大的切削压力、较高的切削温度以及剧烈摩擦条件下工作的。在切削余量不均匀或断续表面时,刀具受到很大的冲击与振动,切削温度也在不断的变化。因此,刀具材料应具备以下几方面性能:

(1)高硬度 刀具材料必须具有高于工件材料的硬度,至少比工件材料硬度大 1.3~1.5 倍以上,才能从工件上切下切屑。常温硬度应在 HRC60 以上,并要求保持较高的高温硬度。

(2)强度和韧性 刀具在切削过程中受到很大的压力、冲击和振动,因此刀具材料应具有足够的强度和韧性,以减少刀刃和刀齿的破损。一般用抗弯强度和冲击值来衡量材料的强度与韧性的高低,它们能反映刀具材料抗断裂、崩刃的能力。但是,强度与韧性高的材料必然引起其硬度与耐磨性下降。

(3)高耐磨性 刀具材料应具有较强的耐磨性,耐磨性表示抵抗磨损的能力,它是刀具材料机械性能、组织结构和化学性能的综合反映。材料硬度越高,耐磨性也越好;含有耐磨的合金碳化物越多、晶粒越细、分布越均匀则耐磨性也越好。

(4)耐热性与化学稳定性 耐热性是指在高温下保持材料硬度的性能,可用高温硬度表示,也可用红硬性(维持刀具材料切削性能的最高温度)表示。耐热性愈好,材料允许

的切削速度愈高,它是衡量刀具材料切削性能的主要标志。

化学稳定性是指材料在高温下不易与加工材料或周围介质发生化学反应的能力,包括抗氧化、抗粘结能力。化学稳定性愈高,刀具磨损愈慢,加工表面质量愈好。

(5)工艺性 为了便于制造,要求刀具材料有较好的可加工性,包括锻、轧、焊接、切削加工和可磨削性、热处理特性等。热轧成形刀具应具有较好的高温塑性。可磨削性可用磨削比——磨削量与砂轮磨损体积之比来表示。磨削比大,则可磨削性好。

选择刀具材料时,很难找到上述几方面性能都是最佳的,因为材料性能之间相互具有矛盾,如硬度高韧性就低,耐磨性好则可磨削性就差等等。

表 1—1 刀具材料的基本性能

种类	硬度	耐热性(℃)	抗弯强度 σ_b $\times 10^3$ (MPa)	工艺性能	应用范围
碳素工具钢	HRC60 ~ 64 (HV713~825)	200~250	2.5~2.8	可冷热加工成形,切削加工性较好,磨削工艺性好,需热处理	仅用于少数手动刀具,如锉刀、手用铰刀、丝锥、板牙等
合金工具钢	HRC60 ~ 65 (HV713~856)	300~350	2.5~2.8	同上	用于低速刀具,如手用铰刀、丝锥、板牙等
高速钢	HRC62 ~ 70 (HV766 ~ 1037)	600~700	2.5~4.5	可冷热加工成形,切削加工性较好,磨削工艺性好(高钒类差),需热处理	用于各种刀具,特别是复杂、精密、成形刀具,如钻头、铣刀、拉刀、螺纹刀具和齿轮刀具等
硬质合金	HRA89 ~ 94 (HV1300 ~ 1800)	800~1100	0.9~2.5	压制烧结后使用,只能磨削加工,不需热处理,一般作刀片使用	大部分车刀、刨刀和镗齿端铣刀的刀片
陶瓷	HRA92 ~ 95 (HV1500 ~ 2100)	1200~1300	0.45~1.1	同上	多用于车刀,适宜连续切削
立方氮化硼	HV3400~7000	1400~1500	0.57~0.81	经高温高压烧结而成,不能用刀具切削加工,可用金刚石砂轮磨削,使用复合刀片	用于高硬度、高强度材料(特别是铁族材料)的精加工
金刚石	人造 HV6000~8000	700~800	0.42~1.0	用天然金刚石砂轮磨削,刃磨很困难	用于有色金属的高精度低粗糙度切削,如镜面车削;也用于非铁族难加工材料的切削
	天然 HV10000		0.3	只能研磨后使用	

注:维氏硬度 HV 试验原理和 HB 基本相同。其压头用锥面夹角 136° 的金刚石四方角锥体,在载荷 F (一般选用 5~100kgf) 的作用下,将试样表面上压出一个正方形的压痕。先计算出压痕的面积 A_d ,再根据公式 $HV=F/A_d$,即可求出维氏硬度值 HV。

刀具材料的种类很多,有碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、硬质合金、陶瓷、金刚石

(天然和人造)和立方氮化硼等。各类刀具材料的基本性能见表 1—1。目前在切削加工中使用最多的刀具材料是高速钢和硬质合金。

2. 工具钢

工具钢有碳素工具钢、合金工具钢和高速钢三大类。它们淬火后的硬度差不多都在 HRC62 以上。

碳素工具钢是指含碳量 0.65%~1.35% 的优质高碳钢。常用的碳素工具钢的牌号为 T8A、T10A、T12A。用得最多的是 T12A。“T”表示碳素工具钢,其后数字表示平均含碳量,以百分数 $\times 10$ 表示。“A”表示优质钢。“T12A”表示优质碳素工具钢,平均含碳量 1.2%。

碳素工具钢的红硬性较低,约为 250~300℃,切削速度不高(10m/min 左右),淬透性差,热处理变形大,容易产生热处理裂纹,因此碳素工具钢宜用于制造截面面积较小的手动工具。

合金工具钢是为了改善碳素工具钢的性能加入一些合金元素而得到的钢。常用的合金元素有 W、Mo、Cr、V、Si、Mn、Ti、Al 等。合金工具钢中合金元素总量一般不超过 3%~5%。含碳在 0.75%~1.50% 之间。加入合金元素后,可提高钢的红硬性到 325~400℃,因而可使切削速度略有提高,耐磨性能亦有提高。合金工具钢的最大优点在于优良的工艺性能,在油中淬火,变形较小。常用的合金工具钢牌号有 9SiCr、CrVMn、9Mn2V、GCr9、GCr15 等。

合金工具钢可用于制造截面积较大,要求热处理变形较小,对耐磨性及韧性有一定要求的低速刀具,如板牙、丝锥、铰刀、齿轮铣刀、滚丝模、搓丝板等。用合金工具钢制造刀具,因其切削速度低,不能满足生产发展的需要。经过不断研究,在 19 世纪末出现了新型刀具材料——高速钢。高速钢和硬质合金是目前应用最广泛的刀具材料。

3. 高速钢

高速钢的发明主要是采用两种措施的结果:

(1)增加合金工具钢中的合金元素 将 W 和 Mo 的含量提高到 10%~20%,Cr 含量提高到 3%~5%,V 含量增大到 1% 以上。

(2)提高淬火温度到 1200~1300℃(接近钢的熔点),使碳化物溶解到基体中去,提高淬火马氏体的合金化程度,以提高马氏体的回火温度(即红硬性)。

高速钢可在油中淬火,并经二次以上回火后(540~560℃),使淬火后的残余奥氏体转化为马氏体,以获得 HRC62~65 的硬度。小型刀具甚至可以在空气中淬硬,故高速钢在工厂亦被称为“风钢”或“锋钢”。磨光的高速钢亦称“白钢”。

高速钢具有较高的强度,在所有刀具材料中,高速钢材料的抗弯强度和冲击韧性最高。耐磨性高于合金工具钢。高速钢的红硬性为 550~650℃,高速钢在 600℃ 时仍保持切削加工所要求的硬度,切削中碳钢时,切削速度可达 0.5m/s(30m/min)左右。

高速钢是综合性能较好,应用范围最广的一种刀具材料。约占刀具材料总量 60%~70%。各种刀具和小型刀具,均大量使用高速钢。

按基本化学成分,高速钢可粗分为钨系和钼系(含 Mo2% 以上)两大类。按切削性能则大致可归结为普通高速钢和高性能高速钢两个系列。

几种常用高速钢的化学成份和性能见表 1—2 和表 1—3。

表 1—2

高速钢的化学成分

钢种		化学成分(重量%)									
		C	W	Mo	Cr	V	Co	Mn	Si	Al	其他
普通高速钢	W18Cr4V	0.7~0.8	17.5~19.0	≤0.3	3.80~4.40	1.00~1.40	—	—	—	—	—
	W6Mo5Cr4V2	0.80~0.90	5.50~6.75	4.50~5.50	3.80~4.40	1.75~2.20	—	—	—	—	—
	W14Cr4VMnRe	0.85~0.95	13.50~15.00	—	3.50~4.00	1.40~1.70	—	0.35~0.55	≤0.50	—	Re=0.07
高性能高速钢	110W1.5Mo9.5Co8(M42)	1.10	1.50	9.50	3.75	1.15	8.00	≤0.40	—	—	—
	W6Mo5CrV2Al(501)	1.05~1.20	5.50~6.75	4.50~5.50	3.80~4.4	—	≤0.40	≤0.60	0.80~1.20	—	—
	W10Mo4Cr4V3Al(5F6)	1.30~1.45	9.00~10.50	3.80~4.50	2.70~3.20	—	≤0.50	≤0.50	0.70~1.20	—	—
	W12Mo3Cr4V3Co5Si(Co5Si)	1.20~1.35	11.5~13.0	2.80~3.40	3.80~3.40	4.70~5.10	≤0.40	0.80~1.20	—	—	—
	W6Mo5Cr4V5SiNbAl(B201)	1.55~1.65	5.00~6.00	3.80~4.40	4.20~5.20	—	≤0.40	1.00~1.40	0.30~1.40	0.30~0.70	Nb0.20~0.50

表 1—3

几种高速钢性能比较^①

钢种	常温硬度 HRC	高温硬度 HV 600℃	抗弯强度 GPa (kg/mm ²)	冲击韧性 MJ/m ² (kg·m/cm ²)
W18Cr4V	62~65	~520	~3.43 (~350)	0.294 (3.0)
110W1.5Mo9.5Cr4VCo8(M42) ^②	67~69	~602	2.65~3.73 (270~380)	0.226~0.294 (2.3~3.0)
W6Mo5Cr4V2Al(501 钢)	68~69	~602	3.43~3.73 (350~380)	0.196 (2.0)
W10Mo3Cr4V3Al(5F6)	68~69	~583	~3.01 (~3.7)	0.196 (2.0)
W12Mo3Cr4V3Co5Si(B201)	69~70	~608	2.35~2.65 (240~270)	0.108 (1.1)
W6Mo5Cr4V5SiNbAl(B201)	66~68	~526	~3.53 (~360)	0.266 (2.70)

①除 W18Cr4V 和 M42 外,均系引用冶金工业部钢铁研究总院的试验数据。

②M42、M2、T15 均为 AISI(American Iron and Steel Institute)牌号。

(1)普通高速钢 普通高速钢的特点是工艺性好,切削性能可满足一般工程材料的常规加工,常用品种有:

1)W18Cr4V 属钨系高速钢,这一钢种在国内使用最为普遍。可以制造各种刀具。

2)W6Mo5Cr4V2 属钨系高速钢,钨钢最初是为解决钨的缺乏而研制的,使用结果表明 1% 的钼可代替 2% 的钨。其碳化物分布均匀性、韧性和高温塑性均超过 W18Cr4V,但是,可磨性比 W18Cr4V 略差,切削性能二者大致相同。国外由于资源关系,已淘汰所谓经典高速钢的 W18Cr4V 而以 W6Mo5Cr4V2 代替。这一钢种目前我国主要用于热轧刀具(如麻花钻)。

(2)高性能高速钢

高性能高速钢是指在普通高速钢中再加入一些合金,使其耐热性、耐磨性又进一步提高。这种高速钢可使用 50~100m/min 的切削速度,具有比普通高速钢更高的生产率与刀具耐用度,同时能适用于高强度钢、高温合金、钛合金等难加工材料的切削加工。高性能高速钢中常温硬度在 HRC67~70 者又称超硬高速钢。高性能高速钢主要有以下几种:

1)高碳高速钢 高碳高速钢含碳量从 0.7%~0.8%提高到 0.9%~1.05%,使钢中合金元素形成碳化物,

2)高钒高速钢 高钒高速钢含钒量提高到 3%~5%。由于碳化钒量增加而提高钢的耐磨性。一般用于制造加工高强度钢的车刀、铣刀等。但是随着含 V 量的增加,可磨削性变差,此种钢刃磨比普通高速钢困难。

4. 硬质合金

硬质合金是高硬度、难熔的金属化合物(主要是 WC、Ti、Mo、Ni 等)作粘结剂烧结而成的粉末冶金制品。其中高温碳化物含量超过高速钢,允许切削温度高达 800~1000℃,切削中碳钢的切削速度可达 1.67m/s(100m/min)以上。

硬质合金发展很快,现在已成为主要的刀具材料之一。大部分车削刀具已采用硬质合金,其他切削刀具采用硬质合金也日益增多,如硬质合金端铣刀已取代了高速钢铣刀而占主要地位。

(1)高温碳化物 硬质合金的性能主要取决于金属碳化物的种类、性能、数量、粒度和粘结剂的份量。

1)碳化物的种类和性能 见表 1—4 所列为几种碳化物的性能。由表可见,其硬度比 Co、Mo、Ni 等粘结剂高得多,熔点也高。与高速钢相比,它们和铁族金属亲和性也较低。在硬质合金中,碳化物所占的比例大则硬度高;反之,粘结剂多则硬度低,抗弯强度高。

表 1—4

金属碳化物的某些性质

性质 碳化物	熔点 ℃	硬度 HV	弹性模数 GPa (kg/mm ²)	导热系数 W/m·℃ (cal/cm·s·℃)	比重	对钢的粘 附温度
WC	2900	1780	706(72000)	29.3(0.07)	15.6	较低
TiC	3200~3250	3000~3200	315(32100)	24.3(0.058)	4.93	较高
TaC	3730~4030	1599	285(29100)	22.2(0.053)	14.3	—
TiN	2930~2950	1800~2100	604(61600)	16.8~29.3 (0.04~0.07)	5.44	—

2)碳化物粒度 在硬质合金中,当粘结剂含量一定时,碳化物粒度越小,则碳化物颗粒的总表面积越大,而粘结层的厚度越小,因而使合金的硬度提高,抗弯强度降低。相反,粒度增大就相当于粘结层金属相对增厚,使合金的抗弯强度提高,而硬度降低。

碳化物粒度的均一性也影响硬质合金的性能。粒度均匀的碳化物可形成均匀的粘结层,有利于防止由于热应力和机械冲击而产生裂纹。在合金中添加 TaC 能使碳化物粒度均一化和细化。

(2)硬质合金的种类牌号与使用性能 目前绝大部分硬质合金是以 WC 为基体。国产

表 1-5

硬质合金成分和性能

合金牌号	化 学 成 分				物 理 机 械 性 能								相近 ISO 牌号
	WC	TiC	TaC (NbC)	Co	硬 度		抗弯强度 σ_b GPa (kg/mm ²)	冲击韧性 a_k kJ/m ² (kg·m/cm ²)	导热系数 k W/m·°C (cal/cm·s·°C)	线膨胀系数 α ×10 ⁻⁶ (1/°C)	比重		
					HRA	HRC							
WC 基 合 金													
WC + Co	YG3	97	—	—	3	91	78	1.08 (110)	—	87.9 (0.21)	—	14.9 ~ 15.3	K01, K05
	YG6	94	—	—	6	89.5	75	1.37 (140)	25.5 (0.26)	79.6 (0.19)	4.5	14.6 ~ 15.0	K15, K20
	YG8	92	—	—	8	89	74	1.47 (150)	—	75.4 (0.18)	4.5	14.4 ~ 14.8	K30
	YG3X	97	—	—	3	92	80	0.931 (100)	—	—	4.1	15.0 ~ 15.3	K01
	YG6X	94	—	—	6	91	78	1.32 (135)	—	79.6 (0.19)	4.4	14.6 ~ 15.0	K10
WC+ TaC (NbC) +Co	YG6A (YA6)	91 ~ 93	—	1~3	6	92	80	1.32 (135)	—	—	—	14.4 ~ 15.0	K10
WC + TiC + Co	YT30	63	30	—	4	92.5	80.5	0.883 (90)	2.94 (0.03)	20.9 (0.05)	7.00	9.35 ~ 9.7	P01.2
	YT15	79	15	—	6	91	78	1.13 (115)	—	33.5 (0.08)	6.51	11 ~ 11.7	P10
	YT14	78	14	—	8	90.5	77	1.18 (120)	6.87 (0.07)	33.5 (0.08)	6.21	11.2 ~ 12.7	P20
	YT5	85	5	—	10	89.5	75	1.28 (130)	—	62.8 (0.15)	6.06	12.5 ~ 13.2	P30
WC+ TiC+ TaC (NbC) +Co	YW1	84	6	4	6	92	80	1.23 (125)				13.0 ~ 13.5	M10
	YW2	82	6	4	8	91	78	1.47 (150)				12.7 ~ 13.3	M20
TiC 基 合 金													
TiC+ WC+ Ni-Mo	YN10	15	62	1	Ni-12 Mo-10	92.5	80.5	1.08 (110)				6.3	P01.4
	YN05	8	71		Ni-7 Mo-14	93	82	0.883 (90)				5.9	P01.1

表中 Y—硬质合金；G—钴，其后数字表示含钴量；X—细晶粒合金；T—碳化钛，其后数字表示 TiC 含量；A—含 TaC(NbC) 的铌钴类合金；W—通用合金；N—以镍、钼作粘结剂的合金。