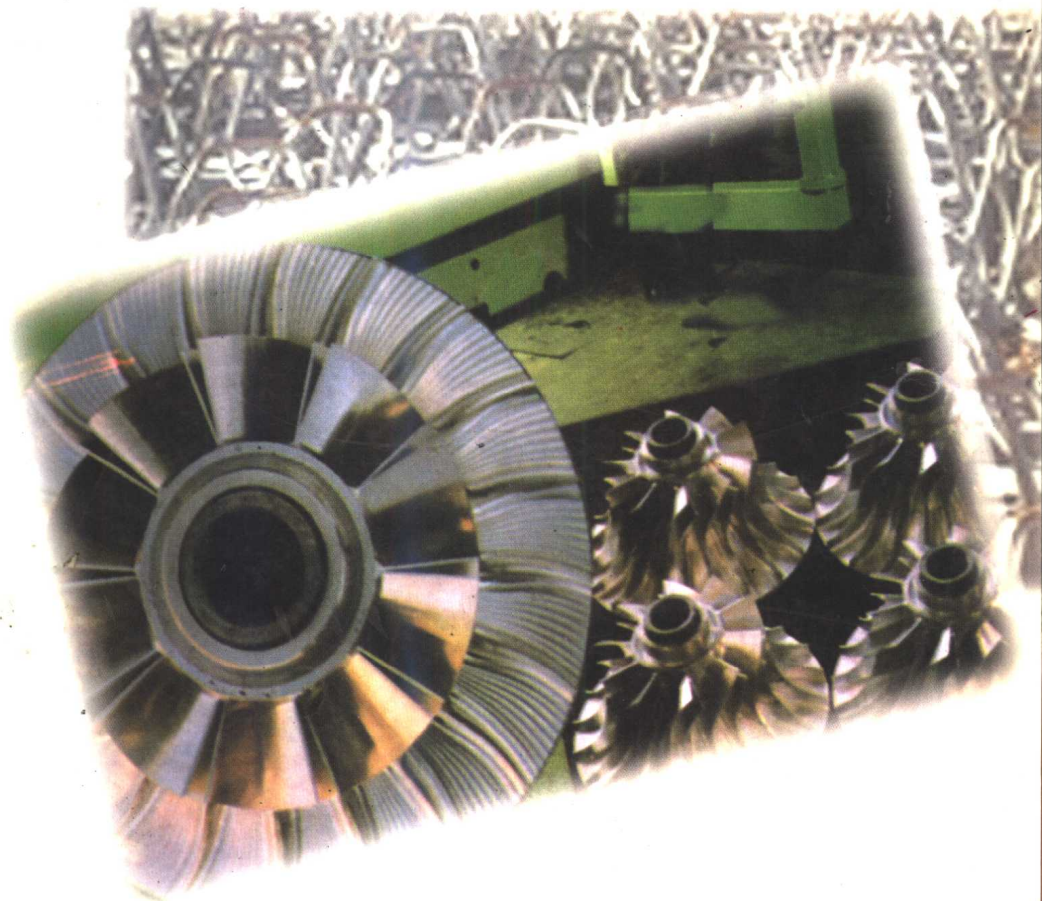


工程材料及机械制造基础 III

# 机械制造工艺基础

大连铁道学院 王延辉 主编  
范 英



中国铁道出版社

JIXIE  
ZHIZHAO  
GONGYI  
JICHU

工程材料及机械制造基础Ⅲ

# 机械制造工艺基础

大连铁道学院 王延辉 主编  
                  范英  
长沙铁道学院 余朋 主审

中国铁道出版社

1998年·北京

(京)新登字 063 号

### 内 容 简 介

本书是根据国家教委 1995 年颁布的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》编写的。

本书重点介绍了金属切削原理、机床和机械制造工艺中的基本概念、基本工艺和结构工艺性等内容,并且介绍了近年来机械制造的新工艺、新技术。

本书是高等工科院校机械类、近机类专业的教材,也可作为职工大学、电视大学、函授大学的教材及有关工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程材料及机械制造基础(Ⅲ):机械制造工艺基础/王延辉,范英主编. —北京:中国铁道出版社,1998.10

ISBN 7-113-02950-7

I. 工… II. ①王… ②范… III. ①工程材料 ②机械制造工艺 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 31861 号

书 名: 工程材料及机械制造基础Ⅲ  
机械制造工艺基础

著作责任者:大连铁道学院王延辉、范英主编,长沙铁道学院余朋主审

出版·发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

策划编辑:吴桂萍

责任编辑:吴桂萍

封面设计:马利

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:787×1092 1/16 印张:10.5 字数:266千

版 本:1998年11月第1版 1998年11月第1次印刷

印 数:1—5000册

书 号:ISBN7-113-02950-7/TH·69

定 价:12.70元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

# 工程材料及机械制造基础系列课程教材

## 编写委员会

主任	王良君		
副主任	何少平	吴庆记	
委员	尹志华	许晓嫦	刘天民
主编	王延辉	范英	
主审	余朋		

# 前 言

在机械制造中,材料、毛坯制造方法和切削加工方法的应用与选择,以及工艺路线的制定和零件结构的工艺性分析都是机械制造工程技术人员必须具备的基本素质,也是应该掌握的基本技能。培养这种素质和技能就是《工程材料及机械制造基础》课程的主要任务和目标。

为落实国家教委 1995 年 11 月新颁布的“工程材料及机械制造基础课程”教学基本要求,我们“工程材料及机械制造基础系列课程教材编写委员会”组织有长期教学经验的教师编写了工程材料及机械制造基础系列课程教材,其中包括《机械工程材料》、《热加工工艺基础》、《机械制造工艺基础》。本书是工程材料及机械制造基础系列课程教材之Ⅲ。

在编写过程中,注意体现以下特点:

1. 力求体现铁路的特点,结合铁路生产实际讲授理论和应用。
2. 注意到系列教材的系统性与每种课程的特殊性,本书还介绍了机械加工车间的布局、设计以及机械加工中对材料的要求。
3. 为了满足铁路发展的需要,本书还介绍了机械加工的新工艺、新技术和新设备。
4. 每章后附有复习思考题。

全书一律采用国家最新的标准术语和计量单位。

参加本书编写的有:大连铁道学院王延辉(第一、二,三章中的一、二、三、四节)、范英(第四、六章)、程良龙(第七章)、兰州铁道学院吴庆记(第五章)、长沙铁道学院贺小涛(第三章中的五、六节)。全书由王延辉、范英主编,长沙铁道学院余朋主审。

本书不足之处,恳请批评指正。

工程材料及机械制造基础系列  
课程教材编写委员会

1998 年 11 月

# 目 录

<b>第一章 切削加工的基础知识</b> .....	1
第一节 概 述.....	1
第二节 切削运动和切削要素.....	1
第三节 刀具材料.....	5
第四节 刀具切削部分的基本定义 .....	13
第五节 金属切削过程 .....	18
第六节 机械加工中的质量、生产率与经济性分析.....	29
<b>第二章 金属切削机床的基础知识</b> .....	39
第一节 概 述 .....	39
第二节 机床的传动 .....	43
第三节 CA6140 型普通车床 .....	46
第四节 其它类型机床 .....	59
<b>第三章 通用加工方法综述</b> .....	64
第一节 车削的工艺特点及应用 .....	64
第二节 钻削和镗削的工艺特点及应用 .....	65
第三节 铣削的工艺特点及应用 .....	70
第四节 刨、插和拉削的工艺特点及应用.....	74
第五节 磨削的工艺特点及应用 .....	76
第六节 齿轮加工 .....	79
<b>第四章 机械加工工艺原理</b> .....	88
第一节 概 述 .....	88
第二节 工件的装夹和定位 .....	92
第三节 定位基准的选择 .....	98
第四节 典型表面加工分析.....	100
第五节 工艺路线的拟定.....	104
第六节 加工余量及工序尺寸的制定.....	107
第七节 典型零件的工艺流程.....	112
<b>第五章 零件的结构工艺性</b> .....	121
第一节 概 述.....	121

第二节 一般原则及实例分析.....	121
第六章 新工艺、新方法简介 .....	128
第一节 光整加工.....	128
第二节 特种加工.....	132
第三节 自动机床和数控机床简介.....	139
第四节 柔性制造系统和计算机集成制造系统.....	144
第七章 机械加工车间的布局.....	152
第一节 机械加工车间布局基础.....	152
第二节 机械加工车间布局.....	153
参考文献 .....	159

# 第一章 切削加工的基础知识

## 第一节 概 述

切削加工是机械加工的重要方法之一,是提高零件的尺寸精度和表面质量的主要手段。掌握切削加工的基本原理,采用性能优良的机床和刀具,可提高机械加工的生产率,降低成本。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、尺寸精度和表面质量等都符合要求的零件的加工过程。由于机器的类型和性能是多种多样的,因而对被切削零件的材料性质、形状、尺寸精度和表面粗糙度的要求就千差万别,这就使得切削加工方法的类型很多。在各种类型的切削加工方法中,不论是使用的机床和刀具的类型,还是工件和刀具的安装方法,以及切削时所需要的相对运动都是变化多端。为此,应掌握种种加工方法的共性,以便分析每种加工方法的特性。

一切在机床上的加工方法都是使刀具和工件产生所需的相对运动,以便切削出合乎要求的零件。具体完成的方法是首先把刀具和工件安装在机床上,由机床产生所需的相对运动。所以,在机床上都必须能够安装刀具和工件,并产生所需的相对运动。可以概括地讲,在一切机床上加工方法的共性就是把刀具和工件安装在机床上,由机床产生所需的相对运动,从而切削出合乎要求的零件。

各类机床上刀具和工件的安装方法及其使用的夹具和附件各有不同,能够使刀具和工件之间产生的相对运动也有差异,这是各类机床的特性。“共性寓于特性之中”,它们的共性则是各类机床都要解决刀具和工件的安装以及产生所需的相对运动等问题。

当我们分析在一台具体的机床上能够切削出哪些类型的零件(如轴、箱体),以及哪些类型的表面(如外圆、平面)时,就可以利用上述“共性”,一方面考虑这台机床上能够安装哪些类型零件和刀具,这就需要熟悉机床的有关结构(如主轴轴端及工作台)和标准夹具及附件的功用;另一方面要考虑机床能够使工件和刀具产生哪些相对运动,这就需要熟悉各类机床的组成部分及其各部件之间的相对运动关系。最后即可综合分析出该机床的加工范围。

确定加工机床类型(加工工艺)后,应根据工件、刀具、夹具和机床构成的工艺系统,合理地确定切削用量要素,以保证加工质量,降低成本,提高生产率。

## 第二节 切削运动和切削要素

### 一、切削运动分析

切削加工可分为机械加工和钳工两部分。机械加工是通过操纵机床来完成切削加工的,如车、钻、刨、铣、磨等切削加工。钳工是通过工人手持工具来完成切削加工的,如锉、研、刮削等加工。

机器零件的形状虽很多,但可归结为下列几种表面组成,即外圆柱面(轴)、内圆面(孔)、平面、圆锥面及成形面等。加工零件就是要求对具体的零件加工出所需要的表面。



图 1-1 所示为利用不同的加工方法来获得不同的零件表面。由图可知,要完成零件表面的切削加工,刀具与工件之间必须有一定的相对运动,即切削运动。

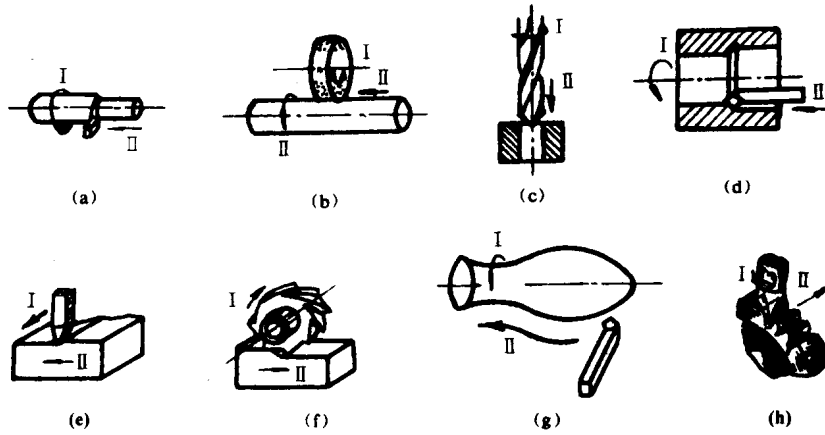


图 1-1 零件不同表面加工时的切削运动

(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。

切削运动包括主运动和进给运动。主运动是切下零件多余材料的最基本的运动,进给运动是使切削层金属不断投入切削,从而加工出完整表面所需的运动。切削运动有旋转的、直线的、连续的和间歇的等。

车削加工是一种最常见的、最典型的切削加工方法。如图 1-2 所示,普通外圆车削加工中的切削运动是由两种运动单元组合而成的:一是工件的回转运动,它是切除多余材料以形成工件新表面的基本运动,即主运动;其二是车刀的纵向进给运动,它保证了切削工作的连续进行,即进给运动。

在这两个运动合成的切削运动作用下,工件表面的一层材料不断地被车刀切下来并转变为切屑,从而加工出所需的工件新表面,在新表面的形成过程中,工件上有三个依次变化的表面:待加工表面、过渡表面和已加工表面。它们的涵义是:

待加工表面 加工时即将被切除的工件表面。

已加工表面 已被切去多余材料而形成符合要求的工件新表面。

过渡表面(或称切削表面) 加工时由切削刃在工件上正在形成的那个表面,它是待加工表面和已加工表面之间的表面。

对上述车削运动和加工表面的分析认识,也适用于其他切削加工。

金属切削加工的种类很多(如图 1-1)。各种切削加工的目的都是为了形成合乎要求的工件表面,因此,表面形成问题是切削加工的基本问题。从这个意义来说,切削刃相对于工件的运动过程,就是表面形成过程。在这个过程中,切削刃相对于工件运动的轨迹面,就是工件上的过渡表面。这里有两个要素:一是切削刃,二是切削运动。不同形状的切削刃加上不同切削运动的组合,即可形成各种工件表面。

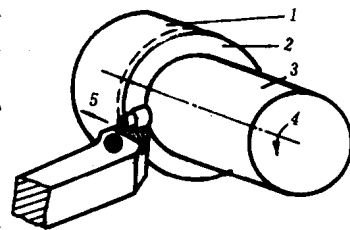


图 1-2 外圆车削运动和加工表面

- 1—待加工表面;
- 2—过渡表面;
- 3—已加工表面;
- 4—主运动;
- 5—进给运动。

## 二、切削用量三要素

在切削加工过程中,需要针对不同的工件材料、刀具材料和其他技术经济要求来选定适宜的切削速度  $v_c$ 、进给量  $f$  或进给速度  $v_f$  值,还要选定适宜的切削深度  $a_p$  值。 $v_c$ 、 $f$ 、 $a_p$  称之为切削用量三要素。

### 1. 切削速度 $v_c$

在单位时间内,工件和刀具沿主运动方向的相对位移,称之为切削速度。若主运动采用回转运动,则回转体(刀具或工件)上外圆或内孔某一点的切削速度计算公式如下:

$$v_c = \frac{\pi dn}{1000} \quad (\text{m/s 或 m/min})$$

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,除磨削速度单位用 m/s(米/秒)外,其他加工的切削速度单位均尚习惯用 m/min(米/分)。

即使转速一定,而切削刃上各点由于工件直径不同,切削速度也就不相同。考虑到切削速度对刀具磨损和已加工质量有影响,在计算时,应取最大的切削速度。如外圆车削时计算待加工表面上的速度(用  $d_w$  代入公式),内孔车削时计算已加工表面上的速度(用  $d_m$  代入公式),钻削时计算钻头外径处的速度。

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

$$v_c = \frac{2Ln_r}{1000 \times 60} \quad (\text{m/s}) \text{ 或 } v_c = \frac{2Ln_r}{1000} \quad (\text{m/min})$$

式中  $L$ ——往复运动行程长度(mm);

$n_r$ ——主运动每分钟的往复次数(str/min)。

### 2. 进给速度 $v_f$ 、进给量 $f$ 和每齿进给量 $f_z$

进给速度  $v_f$  是单位时间的进给量,单位是 mm/s(或 mm/min)。

进给量  $f$  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)。

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

在铣刀、铰刀、拉刀、齿轮滚刀等多刃切削工具进行切削时,还应规定每一个刀齿的进给量  $f_z$ ,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)。显而易见

$$v_f = fn = f_z zn \quad (\text{mm/s 或 mm/min})$$

### 3. 切削深度 $a_p$

对于图 1-3 所示的车削加工来说,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。

外圆柱表面车削时的切削深度可用下式计算:

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

对于钻削

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

上两式中  $d_m$ ——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 1-3 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  $\lambda_s=0$  时,主切削刃所切出的过渡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(mm/r)。这时,切削刃从过渡表面 I 的位置移至相邻的过渡表面 II 的位置上。于是 I、II 之间的金属层转变为切屑。由车刀正在切削着的这一层金属,叫切削层。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及切下切屑的形状和尺寸。当  $\kappa_r'=0, \lambda_s=0$  时,切削层的剖面形状为一平行四边形;在特殊情况下( $\kappa_r=90^\circ$ )为矩形,其底边尺寸是  $f$ ,高为  $a_p$ 。因此,切削用量的两个要素  $f$  和  $a_p$  又称为切削层的工艺尺寸。

#### 1. 切削层

在各种切削加工中,刀具相对于工件沿进给运动方向每移动  $f$ (mm/r) 或  $f_z$ (mm/z) 之后,一个刀齿正在切削的材料层称为切削层。切削层的尺寸称为切削参数。

为了简化计算,切削层的剖面形状和尺寸,通常都在垂直于主运动方向的  $p_r$  内观察和量度。

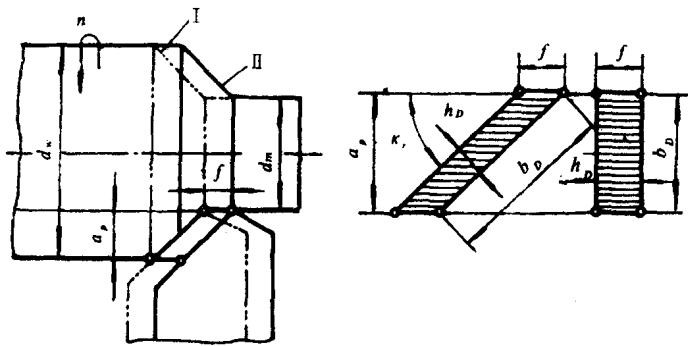


图 1-3 外圆纵车时切削层的参数

#### 2. 切削厚度 $h_D$

垂直于过渡表面来度量的切削层尺寸(图 1-3),称为切削厚度,以  $h_D$  表示。在外圆纵车( $\lambda_s=0$ )时

$$h_D = f \cdot \sin \kappa_r$$

#### 3. 切削宽度 $b_D$

沿过渡表面度量的切削层尺寸(图 1-3),称为切削宽度,以  $b_D$  表示。

外圆纵车( $\lambda_s=0$ )时

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r$$

可见,在  $f$  与  $a_p$  一定的条件下,切削层面积一定, $\kappa_r$  越大,切削厚度  $h_D$  也越大(图 1-4),但切削宽度  $b_D$  越小; $\kappa_r$  越小时, $h_D$  越小, $b_D$  越大;当  $\kappa_r=90^\circ$  时, $h_D=f, b_D=a_p$ 。

曲线形主切削刃,切削层各点的切削厚度互不相等(图 1-5)。

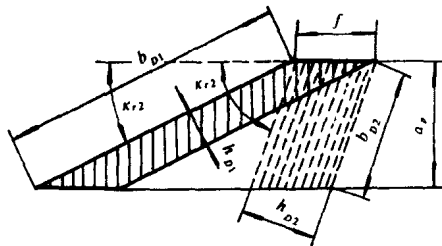


图 1-4  $\kappa_r$  不同时  $h_D, b_D$  的变化

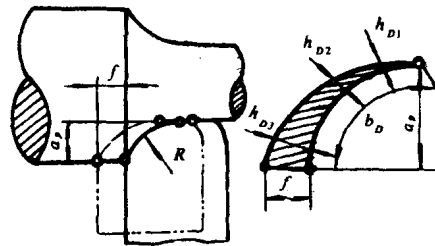


图 1-5 曲线形切削刃工作时的  $h_D$  及  $b_D$

#### 4. 切削面积 $A_D$

切削层在  $p_r$  内的面积称为切削面积,以  $A_D$  表示。其计算公式为

$$A_D = h_D b_D \quad (\text{mm}^2)$$

对于车削来说,不论切削刃的形状如何,切削面积均为

$$A_D = h_D b_D = f a_p$$

上面所计算的均为名义切削面积(图 1-6 中的  $ACDB$ )。实际切削面积  $A_{Dc}$  等于名义切削面积  $A_D$  减去残留面积  $\Delta A_D$  所得之差,即

$$A_{Dc} = A_D - \Delta A_D$$

残留面积  $\Delta A_D$  是指刀具  $\kappa_r' \neq 0$  时,切削刃从 I 位置移至 II 位置后,残留在已加工表面上的不平部分的剖面面积(图 1-6 中的  $ABE$ )。

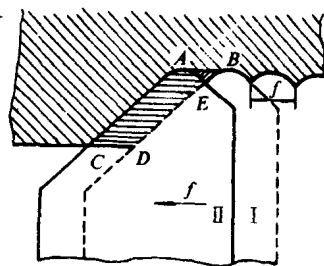


图 1-6 切削面积和残留面积

### 第三节 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。由此可见刀具材料的重要性,它对刀具使用寿命、加工效率、加工质量和加工成本影响极大。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。

#### 一、刀具材料应当具备的性能

在切削时,刀具切削部分与切屑、工件相互接触的表面承受很大的压力和强烈的摩擦,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,因此刀具材料应具备以下基本要求。

##### 1. 硬度

刀具材料必须具有高于工件材料的硬度,常温硬度必须在 HRC62 以上,并保持较高的高温硬度。

##### 2. 耐磨性

耐磨性表示刀具抵抗磨损的能力,它是刀具材料机械性能(力学性能)、组织结构和化学性能的综合反映。例如,组织中的硬质点的硬度、数量、大小和分布对抗磨料磨损的能力有很大影响,而抗冷焊磨损、抗扩散磨损和抗氧化磨损的能力还与刀具材料的化学稳定性有关。

##### 3. 强度和韧性

为了承受切削力、冲击和振动,刀具材料应具有足够的强度和韧性。一般强度用抗弯强度表示,韧性用冲击值表示。刀具材料中强度高者,韧性也较好,但硬度和耐磨性常因此而下降,这两个方面的性能是互相矛盾的。一种好的刀具材料,应当根据它的使用要求,兼顾以上两方面的性能,而有所侧重。

##### 4. 耐热性

刀具材料应在高温下保持较高的硬度、耐磨性、强度和韧性,并具有良好的抗扩散、抗氧化的能力。这就是刀具材料的耐磨性。

##### 5. 导热性和膨胀系数

在其他条件相同的情况下,刀具材料的导热系数越大,则由刀具传出的热量越多,有利于降低切削温度和提高刀具使用寿命。线膨胀系数小,则可减少刀具的热变形。对于焊接刀具和涂层刀具,还应考虑刀片刀杆材料、涂层与基体材料线膨胀系数的匹配。

## 6. 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。材料的高温塑性对热轧刀具十分重要。可磨削性可用磨削比,即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。

此外,在选用刀具材料时,还应考虑经济性。性能良好的刀具材料,如成本和价格较低,且立足于国内资源,则有利于推广应用。

刀具材料种类很多,常用的有工具钢(包括碳素工具钢、合金工具钢和高速钢)、硬质合金、陶瓷、金刚石(天然和人造)和立方氮化硼等。碳素工具钢(如 T10A、T12A)和合金工具钢(如 9CrSi、CrWMn),因其耐热性很差,仅用于手工工具。陶瓷、金刚石和立方氮化硼则由于性质脆、工艺性差及价格昂贵等原因,目前尚只在较小的范围内使用。当今,用得最多的刀具材料为高速钢和硬质合金。

## 二、高速钢

高速钢是加入了钨(W)、钼(Mo)、铬(Cr)、钒(V)等合金元素的高合金工具钢。按重量计,钨和钼占 10%~20%,铬约占 4%,钒占 1%以上,它们都是强烈的碳化物形成元素,在熔炼与热处理过程中与碳形成了高硬度的碳化物,从而提高了钢的耐磨性。另外,高速钢采用了接近熔点的淬火温度,得到细晶粒的合金化的马氏体组织,它在低温回火(约 560℃)时又使合金碳化物析出,从而进一步提高了硬度与耐磨性。在高速钢中,钼和钨的作用基本相同,1%的钼可代替 2%的钨。钼并能减少钢中碳化物的不均匀性,细化碳化物晶粒,提高韧性。另外,在某些高速钢中为了提高高温硬度,添加钴、铝、硅、铌等元素;为了提高耐磨性,可适当增加含钒量。但是,随着含钒量的增加,可磨削性变差,因此钒的含量不宜超过 3%。表 1-1、1-2 分别列出了主要高速钢的成分和性能。从表中可见,高速钢在 600℃时,仍能保持切削加工所要求的硬度,切削中碳钢时,切削速度可达 0.5 m/s(30 m/min)左右。

高速钢的强度、韧性和工艺性能均较好,能进行锻造,磨出的切削刃比较锋利,熔炼质量稳定,使用比较可靠。各种刀具都可用高速钢制造;尤其是形状复杂的刀具和小型刀具,均大量使用着高速钢。目前,高速钢占刀具材料总使用量的 60%以上。

按基本化学成分,高速钢可分为钨系、钨钼系和钨钼系。按切削性能分,则有普通高速钢和高性能高速钢。按制造方法分,则有熔炼高速钢和粉末冶金高速钢。

### 1. 普通高速钢

普通高速钢的特点是工艺性能好,切削性能可满足一般工程材料的常规加工,常用品种有如下几种。

#### (1) W18Cr4V

属钨系高速钢。它历史悠久,至今尚在普遍使用。其综合机械(力学)性能和可磨削性好,可用以制造包括复杂刀具在内的各类刀具。

#### (2) W6Mo5Cr4V2

属钨钼系高速钢,其碳化物分布的均匀性、韧性和高温塑性均超过 W18Cr4V,但是可磨性比 W18Cr4V 略差,切削性能则大致相同。国外由于资源关系,已淘汰所谓传统高速钢的

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),也可用于制作大尺寸刀具。

表 1-1 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	≤0.2	3.80 ~ 4.40	1.00 ~ 1.40	—	—	—	—	—
	W6Mo5Cr4V2 (M2)	0.80 ~ 0.90	5.50 ~ 6.75	4.50 ~ 5.50	3.80 ~ 4.40	1.75 ~ 2.20	—	—	—	—	—
	W14Cr4VMn-RE	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	110W1.5Mo9.5Cr4VCo8 (M42)	1.10	1.50	9.50	3.75	1.15	8.00	≤0.40	—	—	—
	W6Mo5Cr4V2Al (501)	1.05 ~ 1.20	5.50 ~ 6.75	4.50 ~ 5.50	3.80 ~ 4.40	1.75 ~ 2.20	—	≤0.40	≤0.60	0.80 ~ 1.20	—
	W10Mo4Cr4V3Al (5F6)	1.30 ~ 1.45	9.00 ~ 10.50	3.50 ~ 4.50	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 ~ 4.40	2.80 ~ 3.40	4.70 ~ 5.10	≤0.40	0.80 ~ 1.20	—	—
	W6Mo5Cr4V5SiNbAl (B201)	1.55 ~ 1.65	5.00 ~ 6.00	5.00 ~ 6.00	3.80 ~ 4.40	4.20 ~ 5.20	—	≤0.40	1.00 ~ 1.40	0.30 ~ 0.70	Nb0.20 ~ 0.50

注: M42、M2 为 AISI(American Iron and Steel Institute) 牌号。

表 1-2 几种高速钢性能比较

钢 种	常温硬度 HRC	高温硬度 HV 600 C	抗弯强度 GPa (kgf/mm <sup>2</sup> )	冲击韧性 MJ/m <sup>2</sup> (kgf·m/cm <sup>2</sup> )
W18Cr4V	62~65	~520	~3.50 (~350)	0.30 (3.0)
110W1.5Mo9.5Cr4VCo8 (M42)	67~69	~602	2.70~3.80 (270~380)	0.23~0.30 (2.3~3.0)
W6Mo5Cr4V2Al(501)	68~69	~602	3.50~3.80 (350~380)	0.20 (2.0)
W10Mo4Cr4V3Al (5F6)	68~69	~583	~3.07 (~307)	0.20 (2.0)
W12Mo3Cr4V3Co5Si (Co5Si)	69~70	~608	2.40~2.70 (240~270)	0.11 (1.1)
W6Mo5Cr4V5SiNbAl (B201)	66~68	~526	~3.60 (~360)	0.27 (2.7)

注: 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。

### (3) W14Cr4VMn-RE

这种高速钢有较大的塑性, 可作热轧刀具用。此钢种中含钨量较 W18Cr4V 少, 而含有少量的锰及稀土元素 RE, 其切削性能相当于 W18Cr4V。

### (4) W9Mo3Cr4V

它是近年来我国研制出的一种钨钼系高速钢,其性能接近于 W6Mo5Cr4V2。

## 2. 高性能高速钢

调整普通高速钢的基本化学成分和添加其他合金元素,使其机械(力学)性能和切削性能有显著提高,这就是高性能高速钢。高性能高速钢的常温硬度可达 HRC67~70,高温硬度也相应提高,可用于高强度钢、钛合金等难以加工材料的切削加工,并可提高刀具的使用寿命。高性能高速钢主要有以下几种。

### (1) 钴高速钢

典型钢种是 AISI 的 M42,它的特点是综合性能好,硬度高(接近 HRC70),高温硬度在同类钢中居于前列(见表 1-2),可磨削性也好。

用 M42 制作的刀具用于加工高温合金和不锈钢等效果很好。然而,这一钢种含有较多的钴元素,价格较贵。针对国内资源情况,我国应发展低钴或无钴的高性能高速钢。

### (2) 低钴高速钢

低钴高速钢(W12Mo3Cr4V3Co5Si)是用减少钴增加硅的方法以获得高性能。其耐磨性比 M42 好,但韧性比 M42 差。缺点是仍然含有一定的钴,而且由于增加了含钒量,使可磨性变差,因而不宜用于制造复杂刀具。

### (3) 铝高速钢

铝高速钢(W6Mo5Cr4V2Al)是我国独创的无钴高速钢,它在 W6Mo5Cr4V2 的基础上加铝增碳,其高温硬度在 600℃ 时约为 HV602,抗弯强度为 3.50~3.80 GPa,冲击韧性为 0.20 MJ/m<sup>2</sup>,均与 M42 相当,抗弯强度及冲击韧性则高于 W12Mo3Cr4V3Co5Si 钢。缺点是可磨削性略低于 M42。此钢种不含钴,性能好,生产成本较低。其缺点是热处理温度较难控制,钢材成材率较低。

此外,我国研制的无钴高速钢还有加铝强化的 5F6 钢和加铝、硅、铌强化的 B201 钢等,性能达到钴高速钢的水平,但也存在着含钒多而可磨性差的问题。它们在生产中用得不多。

## 3. 粉末冶金高速钢

高速钢的制造质量受多方面因素的影响,其中,对性能影响较大而又难以改善的因素,是对碳化物分布的均匀性及其粒度粗细的控制。熔炼高速钢中碳化物偏析比较严重。

完全消除碳化物偏析的方法是粉末冶金法。其基本原理是将高频感应炉熔炼的钢液用高压惰性气体(如氩气)雾化成粉末,再经过热压(同时进行烧结)制成刀坯,或制成钢坯再经轧制或锻造成材。

粉末高速钢与熔炼高速钢相比,有很多优点:如韧性和硬度较高,可磨削性能显著改善(例如含钒 5% 的粉末冶金高速钢的可磨削性相当于含钒 2% 的普通高速钢),材质均匀,热处理变形小,质量稳定可靠,故刀具使用寿命较长。粉末冶金高速钢可以切削各种难加工材料,特别适合于制造各种精密刀具和形状复杂的刀具。

## 三、硬质合金

硬质合金是高硬度、难熔的金属化合物(主要是 WC、TiC 等,又称高温碳化物)微米级的粉末,用钴或镍等金属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℃。切削中碳钢时,切削速度可达 1.67~3.34 m/s(100~200 m/min)以上。

硬质合金是当今最主要的刀具材料之一。绝大多数车刀、端铣刀和部分立铣刀、深孔钻、浅

孔钻、铰刀等均已采用硬质合金制造。由于硬质合金的工艺性较差,它用于复杂刀具尚受到很大限制。目前,硬质合金占刀具材料总使用量的 30%~40%。

### 1. 硬质合金的性能

硬质合金的性能,主要取决于金属碳化物的种类、性能、数量、粒度和粘结剂的分量。

表 1-3 所列为几种碳化物的性能。由表可见,这几种碳化物的硬度和熔点都很高。在硬质合金中碳化物所占的比例大,则硬度高;反之,碳化物减少,粘结剂增多,则硬度低,但抗弯强度提高。

碳化物的粒度越细,则有利于提高硬质合金的硬度与耐磨性。但当粘结剂含量一定时,如碳化物粒度减小,则碳化物颗粒的总表面积加大,使粘结层厚度减薄,从而降低了合金的抗弯强度,提高了合金的硬度。反之,则使合金的抗弯强度提高,硬度降低。欲使细晶粒硬质合金具有较高的抗弯强度,就必须增加粘结剂含量,并在制造工艺上加以控制。

表 1-3 金属碳化物的某些性质

碳化物	熔点 C	硬度 HV	弹性模量 GPa (kgf/mm <sup>2</sup> )	导热系数 W · m <sup>-1</sup> · °C <sup>-1</sup> (cal · cm <sup>-1</sup> · s <sup>-1</sup> · °C <sup>-1</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	对钢的粘 附温度
WC	2900	1780	720 (72000)	29.3 (0.07)	15.6	较低
TiC	3200~3250	3000~3200	321 (32100)	24.3 (0.058)	4.93	较高
TaC	3730~4030	1599	291 (29100)	22.2 (0.053)	14.3	—
TiN	2930~2950	1800~2100	616 (61600)	16.8~29.3 (0.04~0.07)	5.44	—

碳化物粒度的均匀性,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 能使碳化物粒度均匀和细化。

碳化物中,WC、TiC 等的硬度很高,所以合金整体也就具有高硬度;一般在 HRA89~93 之间。硬质合金的硬度值随碳化物的性质、数量和粒度而变化,又随粘结剂含量的增多而降低。

硬质合金的硬度又随温度升高而降低。在 700~800 °C 时,部分合金保持着相当于高速钢在常温时的硬度,另一部分合金则低些。合金的高温硬度仍取决于碳化物在高温下的硬度,故添加 TaC(或 NbC)能提高高温硬度。

常用牌号中,硬质合金的抗弯强度在 0.90~1.50 GPa(90~150 kgf/mm<sup>2</sup>) 范围内。粘结剂含量越高,则抗弯强度也就越高。抗弯强度随着 TiC 含量的增加而下降。

硬质合金是脆性材料,常温下其冲击韧性仅为高速钢的 1/8~1/30。韧性不足是硬质合金的弱点。故硬质合金刀具一般是将合金刀片焊接或夹固在刀柄(刀体)上使用,有的小模数齿轮滚刀或小的硬质合金钻头和立铣刀等才做成整体的。

### 2. 硬质合金的种类、牌号和应用

目前绝大部分硬质合金是以 WC 为基体,共分为 WC-Co、WC-TiC-Co、WC-TaC(NbC)-Co 以及 WC-TiC-TaC(NbC)-Co 等四类。表 1-4 列出了国内常用各类合金的牌号、成分和性能。YT 类合金,ISO(国际标准化组织)称为 P 类,主要用于加工长切屑的黑色金属;YG 类合金 ISO 称为 K 类,主要用于加工短切屑的黑色金属、有色金属和非金属材料;YW 类合金,ISO 称为 M 类,可覆盖 P 类、K 类合金的应用范围。



表 1-4 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 $\sigma_{bb}$ GPa (kgf/ mm <sup>2</sup> )	冲击韧性 $a_k$ kJ/m <sup>2</sup> (kgf·m /cm <sup>2</sup> )	导热系数 $k$ kW·m <sup>-1</sup> ·°C <sup>-1</sup> (cal·cm <sup>-1</sup> · s <sup>-1</sup> ·°C <sup>-1</sup> )	线膨胀系数 $\alpha$ ×10 <sup>-6</sup> (1/°C)	密度 (g/ cm <sup>3</sup> )		
					HRA	HRC							
WC 基 合 金													
WC + Co	YG3	97	—	—	3	91	78	1.10 (110)	—	87.9 (0.21)	—	14.9 ~ 15.3	K01, K05
	YG6	94	—	—	6	89.5	75	1.40 (140)	26.0 (0.26)	79.6 (0.19)	4.5	14.6 ~ 15.0	K15, K20
	YG8	92	—	—	8	89	74	1.50 (150)	—	75.4 (0.18)	4.5	14.4 ~ 14.8	K30
	YG3X	97	—	—	3	92	80	1.00 (100)	—	—	4.1	15.0 ~ 15.3	K01
	YG6X	94	—	—	6	91	78	1.35 (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	1.35 (135)	—	—	—	14.4 ~ 15.0	K10
WC + TiC + Co	YT30	66	30	—	4	92.5	80.5	0.90 (90)	3.00 (0.03)	20.9 (0.05)	7.00	9.35 ~ 9.7	P01
	YT15	79	15	—	6	91	78	1.15 (115)	—	33.5 (0.08)	6.51	11.0 ~ 11.7	P10
	YT5	85	5	—	10	89.5	75	1.30 (130)	—	62.8 (0.15)	6.06	12.5 ~ 13.2	P30
WC+ TiC+ TaC (NbC) +Co	YW1	84	6	4	6	92	80	1.25 (125)	—	—	—	13.0 ~ 13.5	M10
	YW2	82	6	4	8	91	78	1.50 (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	1.10 (110)	—	—	—	6.3	P05
	YN05	8	71	—	Ni-7 Mo-14	93	82	0.90 (90)	—	—	—	5.9	P01

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—TiC，其后数字表示 TiC 含量；A—含 TaC(NbC) 的钨钴类合金；W—通用合金；N—以镍、钼作粘结剂的 TiC 基合金。

正确选用适当牌号的硬质合金对于发挥其效能具有重要意义(见表 1-5)。WC-Co 硬质合金一般用于加工铸铁、有色金属及其合金；WC-TiC-Co 硬质合金则用于高速切削钢料。