

21世纪

金属切削原理

试题精选与答题技巧

(第3版)

● 机械工程系列

突出重点
明确思路
提高能力

JINSHU QIEXIAO YUANLI SHITI

JINGXUAN YU DATI JIQIAO

王娜君 高胜东 主编

哈尔滨工业大学出版社



内 容 提 要

本书依据“金属切削原理与刀具设计”、“机械制造技术基础”等同类课程教学要求,为高等院校机械类专业学生复习和备考研究生以及自学人员所编写的复习指导书。

全书共分八章,包括:基本定义、刀具材料、金属切削过程与物理现象、刀具磨损、破损和刀具使用寿命、切削条件的合理选用、磨削、切削与磨削已加工表面缺陷与控制、金属切削刀具设计基础各类考试试题选编。

图书在版编目(CIP)数据

金属切削原理试题精选与答题技巧/王娜君,高胜东
主编.—3版.—哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2019.2
ISBN 978-7-5603-7933-3

I. ①金… II. ①王… ②高… III. ①金属切削-理论-
高等学校-题解 IV. ①TG501-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 006470 号

责任编辑 王桂芝 黄菊英
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 黑龙江艺德印刷有限责任公司
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 6 字数 140 千字
版 次 2012 年 11 月第 2 版 2019 年 2 月第 3 版
2019 年 2 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-7933-3
定 价 25.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

第3版前言

“金属切削原理”是机械设计制造及其自动化专业本、专科学生的专业基础课。各院校机械类本、专科专业开设的“金属切削原理”或“金属切削原理与刀具设计”或“机械制造技术基础”课程中，“金属切削原理”仍是其中的重要内容。目前，虽有关“金属切削原理”的教材较多，但还没有一本与教材对应的复习应考指导书，给学生复习、总结和应试带来一定困难。

随着先进制造技术的发展和应用，对专业技术人员的知识需求有了更高、更广泛的要求，课程体系有了很大的改革，增加了新课程、新内容。对于专业课程的基础部分内容必须采取有效的课程和教材设计以及高效的教学方法，才能适应学时少、内容多的教学形势。

本书的编写旨在为学生在学习过程中能够更好地抓住重点、攻克难点，尽快掌握课程内容提供帮助。本次修订对内容做了一些补充、修改和完善，增加了鳞刺的概念等内容，各章典型范例和答题技巧中增加了近几年的考试试题。本书的特点是：

- (1) 内容全面。包括了金属切削原理基本内容所对应的试题。
- (2) 重点突出。紧紧围绕复习总结，结合典型范例进行了必要的分析和解答。
- (3) 指导性强。对各部分应掌握的内容和程度作了突出的说明。

本书由哈尔滨工业大学王娜君教授、高胜东副教授主编。各章内容的编写分工为：第1~8章由王娜君、高胜东编写；附录由高胜东、王鹏、吴春亚编写。全书由高胜东统稿。

由于编者水平所限，书中难免存在疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者
2019年1月

	1.1 必备知识和考试要点	(34)
	1.2 典型范例和答题技巧	(36)
第6章 磨削		
	6.1 必备知识和考试要点	(48)
	6.2 典型范例和答题技巧	(50)
第7章 切削与磨削已加工表面缺陷与控制		
	7.1 必备知识和考试要点	(53)
	7.2 典型范例和答题技巧	(55)

目 录

第 1 章 基本定义

1.1 必备知识和考试要求

(80)	第 1 章 基本定义	1.5
(08)	1.1 必备知识和考试要点	(1)
(88)	1.2 典型范例和答题技巧	(4)
(18)	第 2 章 刀具材料	11
(48)	2.1 必备知识和考试要点	(11)
(88)	2.2 典型范例和答题技巧	(11)
	第 3 章 金属切削过程与物理现象	16
	3.1 必备知识和考试要点	(16)
	3.2 典型范例和答题技巧	(18)
	第 4 章 刀具磨损、破损和刀具使用寿命	29
	4.1 必备知识和考试要点	(29)
	4.2 典型范例和答题技巧	(31)
	第 5 章 切削条件的合理选用	34
	5.1 必备知识和考试要点	(34)
	5.2 典型范例和答题技巧	(36)
	第 6 章 磨削	48
	6.1 必备知识和考试要点	(48)
	6.2 典型范例和答题技巧	(50)
	第 7 章 切削与磨削已加工表面缺陷与控制	53
	7.1 必备知识和考试要点	(53)
	7.2 典型范例和答题技巧	(55)

第8章 金属切削刀具设计基础

8.1	基本知识和考试要求	(59)
8.2	典型范例和答题技巧	(60)

附录

附录1	模拟试题(1)及参考答案	(68)
附录2	各类考试试题汇编	(80)
附2.1	金属切削原理课程考试试题	(80)
附2.2	金属切削原理与刀具设计课程考试试题	(81)
附2.3	机械制造技术基础课程考试试题	(84)
附2.4	研究生入学考试试题	(86)

附录1 模拟试题(1)及参考答案

(1)	.....	1.1
(1)	.....	1.2

附录2 各类考试试题汇编

(2)	.....	2.1
(18)	.....	2.2

附录3 机械制造技术基础课程考试试题

(29)	.....	3.1
(31)	.....	3.2

附录4 研究生入学考试试题

(34)	.....	4.1
(36)	.....	4.2

附录5 刀具设计基础

(4)	.....	5.1
(20)	.....	5.2

附录6 金属切削原理与刀具设计课程考试试题

(23)	.....	6.1
(22)	.....	6.2

第1章 基本定义

1.1 必备知识和考试要求

1.1.1 切削运动与切削用量

1. 表面的成形方法

任何一个表面都可看作是一条直(曲)线沿另一条直(曲)线运动的轨迹所形成,其中的一条发生线称母线,另一条发生线称导线。根据表面发生线的概念,切削刃与工件之间的相对运动所形成的工件表面有四种方法:轨迹(描述)法、成型(仿形)法、相切(旋切)法、范成(展成)法。

2. 切削运动

形成工件表面的基本条件就是刀具与工件间必须有相对运动,即成形运动,称作切削运动。它包括:主运动、进给运动和其他辅助运动。

(1) 主运动。主运动是切除多余金属层以满足工件要求最基本的运动,是速度最高、消耗功率最大的运动。在切削加工中主运动只能有一个。

(2) 进给运动。进给运动是指使新的金属层不断投入切削并使其在所需方向上继续下去的运动。

(3) 其他辅助运动。当刀具不能一次走刀就能达到工件尺寸要求时,还需由操作者沿工件的半径方向完成吃(进)刀运动,由于这种吃刀运动为间歇进行,故可不看成是运动。但当这种吃刀运动由机床的进刀机构自动完成时,就应看成是一种辅助运动了(如:外圆磨削、平面磨削、滚齿及插齿等)。

3. 切削过程中工件上的表面

在形成要求的工件表面的切削过程中,工件上有着三个变化的表面:待加工表面(工件上等待切削加工的表面)、已加工表面(工件上经刀具切削后形成的表面)、加工(过渡)表面(刀具正在切削的表面,或待加工与已加工表面之间的表面)。

4. 切削用量

切削用量含有三个要素(切削用量三要素):切削速度 v_c 、进给量 f 、背吃刀量 a_p 。

(1) 切削速度 v_c 是指主运动的线速度,用符号 v_c 表示。

$$v_c = \frac{n\pi d}{1\,000} \text{ m/s}$$

式中 n ——主轴转速, r/s 或 r/min;

d ——车削时,是指工件加工表面的最大直径;钻削或铣削时,是指刀具最大直径(mm)。

(2) 进给量 f 是用来表示进给运动的参数,有三种表示方法:

进给速度 v_f (mm/min), 即在单位时间内, 刀具相对于工件在进给方向上的位移量;

每转进给量 f (mm/r), 即工件每转一转, 刀具相对于工件在进给方向上的位移量, 车削常用。

每齿进给量 f_z (mm/z), 即工件每转一转, 刀具上每个刀齿相对工件在进给方向上的位移量。多齿刀具铣刀多用于每齿进给量。

上述三种表示方法有如下关系式

$$v_f = f \cdot n = f_z \cdot z \cdot n$$

(3) 背吃刀量(切削深度) a_p 是表示切削层尺寸的一种方法, 指待加工表面与已加工表面间的垂直距离(mm)。

车削时

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

式中 d_w ——待加工外圆直径;

d_m ——已加工外圆直径。

钻削时, 背吃刀量

$$a_p = \frac{d_0}{2} \text{ mm}$$

式中 d_0 ——钻头直径。

铣削时, 称作铣削深度 a_p , 是沿铣刀轴线测得的切削层尺寸。铣削时的切削用量还有铣削宽度 a_e , 是指垂直于铣刀轴线测得的切削层尺寸。

1.1.2 刀具的几何参数

1. 刀具构成

刀具切削部分的构成有: 前刀面、(主)后刀面及副后刀面, 主切削刃、副切削刃, 刀尖。

前刀面: 切屑流经的表面, 记作 A_γ 。

(主)后刀面: 与工件上加工(过渡)表面相对的表面, 记作 A_α 。

副后刀面: 与工件上已加工表面相对的表面, 记作 A'_α 。

切削刃: 前刀面与(主)后刀面的交线, 用以完成主要切除工作, 记作 S 。

副切削刃: 前刀面与副后刀面的交线, 辅助参与已加工表面的形成, 记作 S' 。

刀尖: 主切削刃 S 与副切削刃 S' 之间的过渡切削刃。

2. 刀具角度的参考平面与参考系

(1) 参考平面。

切削刃上选定点的基面: 过该点且与该点切削速度方向垂直的平面, 记作 p_r 。

切削刃上选定点的切削平面: 过该点, 并包含切削速度方向, 且与加工(过渡)表面相切的平面, 记作 p_s 。

基面和切削平面合称参考坐标平面, 简称参考平面。切削刃上不同点的基面和切削平面不一定相同。

(2) 测量平面。

正交平面(主剖面):切削刃上选定点的正交平面是过该点并垂直于切削平面与基面的平面,或过该点且垂直于切削刃在基面上投影的平面,记为 P_0 。

法平(剖)面:切削刃上选定点的法平面是过该点并与切削刃垂直的平面,记为 P_n 。

假定工作平面(进给剖面):切削刃上选定点的假定工作平面是过该点、垂直于基面并与进给方向平行的平面,记为 P_f 。

背平面(切深剖面):切削刃上选定点的背平面是过该点且垂直于基面与假定工作平面的平面,或垂直于进给方向的平面,记为 P_p 。

(3) 参考系。

正交平面参考系:由 P_r 、 P_s 、 P_0 三个互相垂直的平面组成的参考系。

法平面参考系:由 P_r 、 P_s 、 P_n 组成的参考系, P_n 与 P_r 、 P_s 无垂直关系。

假定工作平面与背平面参考系:由 P_r 、 P_f 、 P_p 三个互相垂直平面组成的参考系。

3. 刀具标注角度

(1) 正交参考系中的刀具标注角度。

主偏角 k_r :在基面 P_r 内测量的、切削平面 P_s 与假定工作平面 P_f 间的夹角,或主切削刃在基面上的投影与进给方向间的夹角。

副偏角 k'_r :在基面 P_r 内测量的、副切削平面 p'_s 与假定工作平面 P_f 间的夹角,或副切削刃在基面上的投影与进给方向间的夹角。

前角 γ_0 :在正交平面 P_0 内测量的、前刀面 A_γ 与基面 P_r 间的夹角。

后角 α_0 :在正交平面 P_0 内测量的、后刀面 A_α 与切削平面 P_s 间的夹角。

副刃后角 α'_0 :在副刃正交平面 P'_0 内测量的、副后刀面 A'_α 与副切削平面 P'_s 间的夹角。

刃倾角 λ_s :在切削平面 p_s 内测量的,主切削刃 S 与基面 p_r 间的夹角。

(在正交参考系中有如下的派生角度:

刀尖角 ε_r :在基面内 p_r 测量的切削平面 p_s 与副切削平面 p'_s 间的夹角,或主切削刃 S 与副切削刃 S' 在基面上投影的夹角, $\varepsilon_r = 180^\circ - (k_r + k'_r)$ 。

余偏角 φ_r :在基面内 p_r 测量的切削平面 p_s 与背平面 P_p 间的夹角,或主切削刃 S 在基面 P_r 上投影与吃刀方向间的夹角, $\varphi_r = 90^\circ - k_r$ 。

楔角 β_0 :在正交平面 P_0 内测量的前刀面 A_γ 与后刀面 A_α 间夹角, $\beta_0 = 90^\circ - (\gamma_0 + \alpha_0)$ 。

(2) 法平(剖)面参考系中的刀具标注角度。

前角、后角的测量平面由正交平面改成法平面就构成了法平面参考系中的标注角度:

κ_r 、 κ'_r 、 λ_s 、 α'_0 、 γ_n 、 α_n 。

(3) 假定工作平面与背平面参考系中的刀具标注角度。

将测量平面中的切削平面和正交平面替换成假定工作平面与背平面,标注角度有:

κ_r 、 κ'_r 、 γ_p 、 α_p 、 γ_f 、 α_f 。

4. 刀具工作角度

考虑刀具切削刃上选定点的合成运动速度 v_c 、刀尖安装不一定对准机床中心高度、背平面不一定平行于侧安装面等因素。重新构成的坐标平面参考系称工作坐标参考系,在

其内的刀具角度称刀具工作角度。

(1) 车削时考虑横向进给运动的工作角度。

式中 $\gamma_{oe} = \gamma_o + \mu; \alpha_{oe} = \alpha_o - \mu$ $\mu = \arctan f/(\pi d_w)$;
 μ ——横向进给运动对工作角度的影响;
 f ——刀具相对于工件的横向进给量;
 d_w ——切削刃上选定点 A 处的工件直径。

(2) 车削时考虑刀尖位置安装高于机床主轴中心线的工作角度。在背平面中测量工作前、后角计算公式为

$$\gamma_{pe} = \gamma_p + \theta_p \quad \alpha_{pe} = \alpha_p - \theta_p \quad \theta_p = \arctan \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{d_w}{2}\right)^2 - h^2}}$$

在正交平面中测量工作前、后角计算公式为

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \theta_o \quad \alpha_{oe} = \alpha_o - \theta_o \quad \theta_o = \arctan \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{d_w}{2}\right)^2 - h^2}} \cos \kappa_r$$

式中 θ ——刀尖位置变化引起前后角的变化值;
 h ——刀尖高于机床中心的数值;
 d_w ——工件直径。

1.1.3 切削层参数及切削方式

1. 切削层参数及与切削用量间的关系

切削层:刀具切削刃在一次进给(走刀)中,从工件待加工表面上切下来的金属层。

切削层公称厚度 h_D :在基面内测量的切削刃两瞬时位置加工面间的距离,即

$$h_D = f \sin \kappa_r \text{ mm}$$

切削层公称宽度 b_D :在基面内沿过渡表面测量的切削层尺寸,即

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r \text{ mm}$$

切削层公称横截面积 A_D :简称切削面积,在基面内测量的切削层面积,即

$$A_D = h_D b_D = f a_p$$

2. 切削方式

直角切削与斜角切削:切削刃上选定点的切线垂直于该点切削速度的切削称直角切削或正交切削,否则称斜角切削或斜切削。

自由切削与非自由切削:只有一条直线切削刃参加的切削称自由切削,反之,副切削刃也参加已加工表面形成过程的切削称非自由切削。

1.2 典型范例和答题技巧

【例 1.1】例图 1.1 为端面车刀切削工件端面。已知端面车刀的几何角度: $\kappa_r = 75^\circ$ 、 $\kappa'_r = 15^\circ$ 、 $\gamma'_o = 10^\circ$ 、 $\alpha_o = 5^\circ$ 、 $\lambda_s = 10^\circ$ 。求:

(1) 画图标出正交参考系中端面车刀的标注角度。

(2) 画图标出切削层参数： h_D 、 b_D 、 f 、 a_p 。

【分析】 (1) 判定刀具切削时的进给方向。端面车刀的进给方向与外圆车刀的进给方向不同。外圆车刀的进给方向平行于工件的轴线，而端面车刀的进给方向则垂直于工件轴线。

刀具标注角度中的主偏角 κ_r 、副偏角 κ_r' 的定义分别是主、副切削刃在基面中的投影与进给方向的夹角。所以只有正确地确定进给方向，才能正确地标出主、副偏角。

(2) 端面切削、切削用量的概念。

进给量 f ：主轴转一转时，车刀相对工件径向移动的距离。

背吃刀量 a_p ：沿着工件轴线测量的待加工表面与已加工表面的距离。

【答案】 见例图 1.2。

【例 1.2】 已知外圆车刀 $\kappa_r = 75^\circ$ 、 $\kappa_r' = 15^\circ$ 、 $\gamma_o = 15^\circ$ 、 $\alpha_o = 5^\circ$ 、 $\lambda_s = -5^\circ$ 。试画图标出主、副切削刃上的几何角度，并说明以上各角度的定义，当车削 $\varphi = 60\text{mm}$ 的工件时，刀尖装高 $h = 3\text{mm}$ 后，工作前、后角是多少？

【分析】 (1) 刃倾角的正、负在外圆车刀标注角度时，易出现错误。标注时，S 向视图中刀尖向下为正刃倾角，刀尖向上为负刃倾角。

(2) 在回答各角度的定义时，一定要严格。如前角：在主切削刃选定点的正交平面内测量，前刀面与基面之间的夹角。

由于基面的定义是基于“选定点”，所以前角的定义中也一定强调“过选定点”。正交平面是 γ_o 的测量平面，不同的测量平面中所得 γ 是不同的，一般说的前角均是指正交平面内测量的前角，所以定义中一定要交待测量平面。

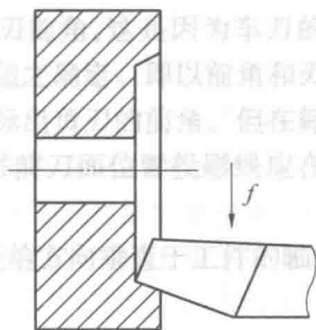
(3) 标注角度时，选定点不要变。作为参考平面的基面、切削平面均是基于切削刃上的选定点，所以标注主偏角时的选定点亦应和标注前、后角及刃倾角的选定点一致。

(4) 图中相应符号要注全，包括进给方向 f 、基面 P_r 、切削平面 P_s 、正交平面 P_o 、 $O-O$ 、 $O'-O'$ 、S 向。

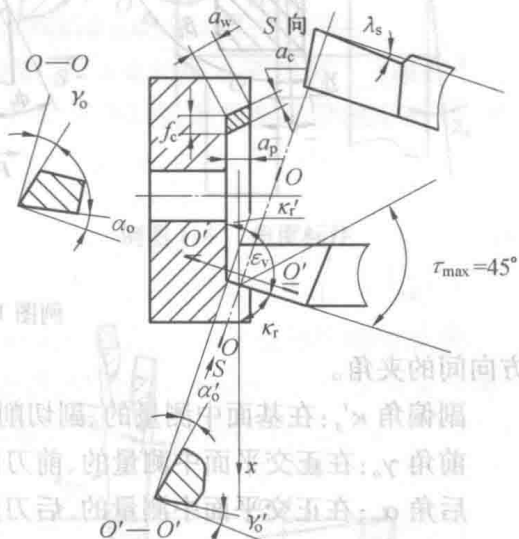
(5) 由于刀尖安装时，刀尖高出工件中心线 h 值，使实际切削速度方向发生变化，这样基面、切削平面的位置也就发生变化，从而使工作前、后角与标注前后角不再相同。

【答案】 (1) 角度标注见例图 1.3。

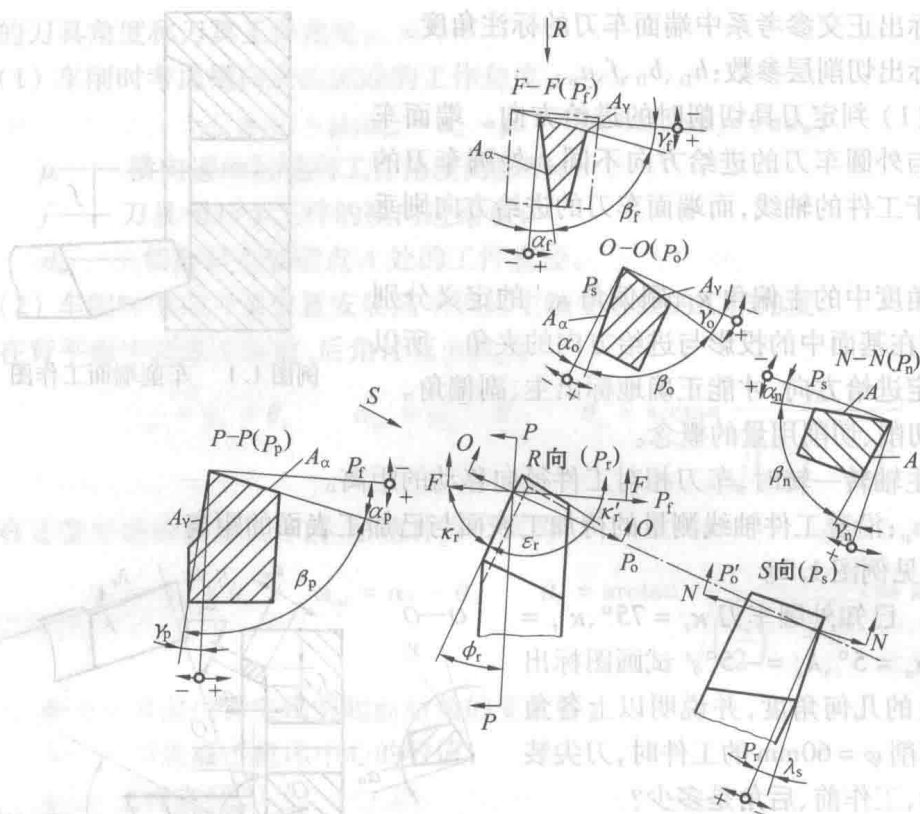
(2) 角度定义。
主偏角 κ_r ：在基面中测量的、过切削刃上的选定点、主切削刃在基面中的投影与进给



例图 1.1 车削端面工作图



例图 1.2 端面车刀角度标注



例图 1.3 标注角度

方向间的夹角。

副偏角 κ'_r : 在基面中测量的、副切削刃在基面中的投影进给方向间的夹角。

前角 γ_o : 在正交平面中测量的、前刀面与基面间的夹角。

后角 α_o : 在正交平面中测量的、后刀面与切削平面间的夹角。

刃倾角 λ_s : 在切削平面 P_s 内刀具的主切削刃与基面之间的夹角, 刀尖高者为正, 刀尖低者为负。

副后角 α'_r : 在副刃正交平面中测量的、副后刀面与负切削面间的夹角。

(3) 刀尖装高 3 mm 后, 在正交平面内的工作前、后角计算公式为

$$\theta = \arctan \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{d_w}{2}\right)^2 - h^2}} \cos \kappa_r = 1.5^\circ$$

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \theta = 16.5^\circ$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o - \theta = 3.5^\circ$$

【例 1.3】已知 $\kappa'_r = 15^\circ$ 、 $\gamma_o = 15^\circ$ 、 $\alpha_o = 10^\circ$ 、 $\lambda_s = -5^\circ$ 、 $\alpha'_o = 5^\circ$ 为加工阶梯轴外圆的车刀角度。画图标出该车刀的标注角度, 并计算刀尖角 ϵ_r 、楔角 β_o 。

【分析】(1) 确定主偏角。该题没有给出主偏角的数值, 学生在答题时往往一看是外圆车刀, 就按普通外圆车刀的主偏角 ($< 90^\circ$) 绘图。而该题给出的加工对象为阶梯轴, 就相当于给出 90° 主偏角。

(2) 注意副刃前角。在车刀标注角度图中不要求标出副刃前角,这是因为车刀的前刀面基本上都是平面,当前角和刃倾角确定后,副刃的前角也随之确定。即以前角和刃倾角为加工参数,就完全可以加工出平面型的前刀面,所以不需标出副刃的前角。但在标副切削刃的后角时,体现前刀面位置的副刃前角 $\gamma'_o < 0$,画图时前刀面位置投影线应在基面上。

又如切断刀主切削刃在基面中的投影平行工件轴线,其进给方向垂直于工件的轴线,所以切断刀的主偏角 $\kappa_r = 90^\circ, \gamma'_o < 0$ 。

(3) 派生角度计算。车刀的刀尖角 ε_r 、楔角 β_o 均为派生角度,可通过公式计算得出。

【答案】 角度标注见例图 1.4

角度计算:

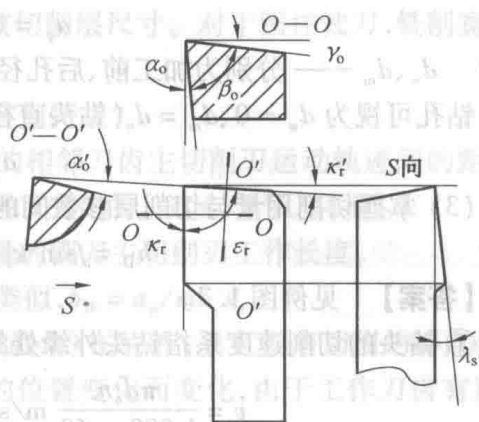
$$\varepsilon_r = \pi - (\kappa_r + \kappa'_r) = 180^\circ - 90^\circ - 15^\circ =$$

75° (加工阶梯轴的主偏角 $\kappa_r = 90^\circ$)

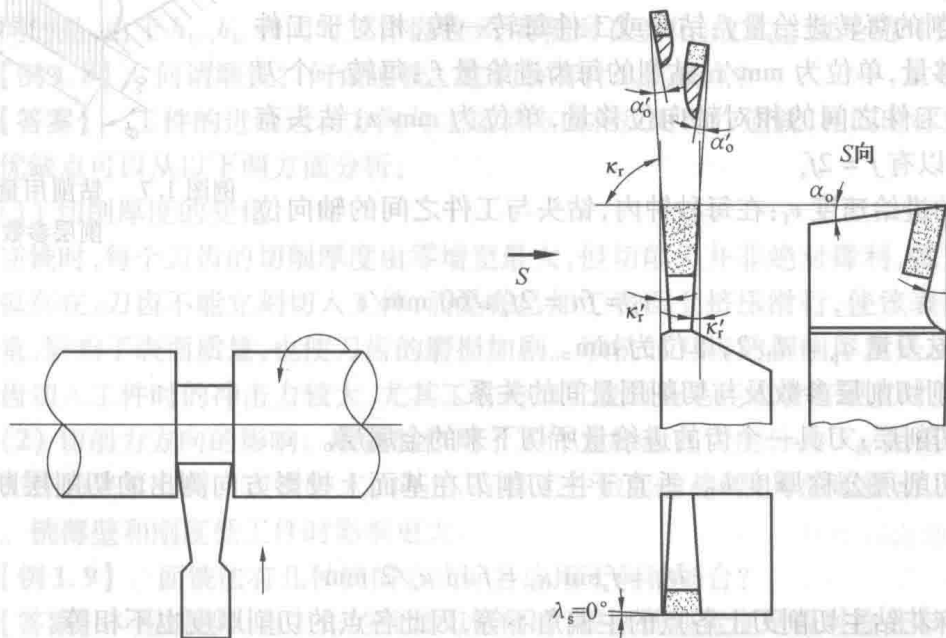
$$\beta_o = \frac{\pi}{2} - (\gamma_o + \alpha_o) = 90^\circ - 15^\circ = 65^\circ$$

【例 1.4】 画图表示出例图 1.5 所示切断车刀的标注角度。

【答案】 角度标注见例图 1.6。



例图 1.4 角度标注



例图 1.5

例图 1.6 角度标注

【例 1.5】 画图说明麻花钻钻孔时切削用量的概念、切削层参数的概念以及二者之间的换算关系。

【分析】 (1) 区分每齿进给量和每转进给量的概念。对于麻花钻,转头转一转,沿其

轴线移动的距离为每转进给量 $f \text{ mm/r}$ 。钻头转过一个齿,沿轴线移动的距离为每齿进给量 $f_z / (\text{mm} \cdot z^{-1})$ 。钻头具有两条主切削刃,即有两个刀齿。所以每齿进给量和每转进给量成 2 倍关系。

(2) 确定待加工表面位置。钻孔是在实体上加工孔,所以只能出现已加工表面。而背吃刀量的概念是已加工表面和待加工表面的垂直距离。为了求得背吃刀量,可以先从扩孔加工来考虑。在扩孔加工时,待加工表面为加工前底孔表面,所以背吃刀量 a_p 可由下式计算

$$a_p = (d_m - d_w) / 2$$

式中 d_w, d_m —— 分别为加工前、后孔径。
 钻孔可视为 $d_w = 0, d_m = d_0$ (钻头直径) 的情况。所以

$$a_p = d_0 / 2$$

(3) 掌握切削用量与切削层参数间的关系公式

$$h_D = f \sin \kappa_r \quad b_D = a_p / \sin \kappa_r$$

【答案】 见例图 1.7。

① 钻头的切削速度系指钻头外缘处的线速度

$$v = \frac{\pi d_0 n}{1000 \times 60} \text{ m/s}$$

式中 d_0 —— 钻头直径 (mm);
 n —— 钻头转速 (r/min)。

② 钻削的每转进给量 f : 钻头或工件每转一转,相对于工件的轴向位移量,单位为 mm/r ; 钻削的每齿进给量 f_z : 每转一个刀齿,钻头与工件之间的相对轴向位移量,单位为 mm/z ; 钻头有 2 个齿,所以有 $f = 2f_z$

钻削的进给速度 v_f : 在每秒钟内,钻头与工件之间的轴向位移量,有

$$v_f = fn = 2f_z n / 60 \text{ mm/s}$$

③ 背吃刀量 $a_p = d_0 / 2$, 单位为 mm。

④ 钻削切削层参数及与切削用量间的关系。

钻削切削层: 刀具一个齿的进给量所切下来的金属层。

钻削切削层公称厚度 h_D : 垂直于主切削刃在基面上投影方向测出的切削层断面尺寸,即

$$h_D = f_z \sin \kappa_r = f \sin \kappa_r / 2 \text{ mm}$$

由于麻花钻主切削刃上各点的主偏角不等,因此各点的切削厚度也不相等。

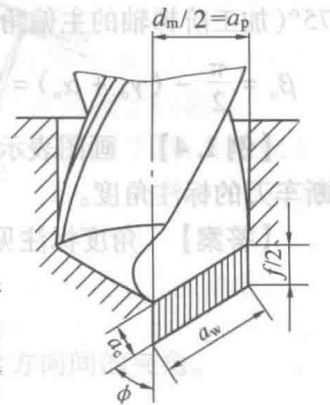
钻削切削层公称宽度 b_D : 在基面内沿加工表面测量的切削层尺寸,即

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r = d / 2 \sin \kappa_r \text{ mm}$$

对麻花钻来讲,切削层公称横截面积 A_D 实际上系指每个刀齿的切削面积,有

$$A_D = h_D b_D = f_z a_p = f a_p / 4$$

【例 1.6】 何谓铣削用量四要素?



例图 1.7 钻削用量与切削层参数

【答案】 (1) 铣削速度 v_c : 铣削速度是铣刀外缘处的线速度。
 (2) 进给量 f_z 、 f 、 v_f : 每齿进给量 f_z 是铣刀转一个齿间角时, 工件与铣刀的相对位移量, 单位为 mm/z , 是衡量铣削效率和铣刀性能的重要指标; 每转进给量 f 是铣刀转一转时, 工件与铣刀的相对位移量, 单位为 mm/r ; 进给速度 v_f 是每分钟铣刀相对工件的移动距离, 单位为 mm/min 。

(3) 铣削深度(背吃刀量) a_p : 平行于铣刀轴线测量的被切削层尺寸。对于圆柱铣刀, 铣削深度即为被加工表面的宽度。

(4) 铣削宽度 a_e : 垂直于铣刀轴线测量的被切削层尺寸。对于圆柱铣刀, 铣削宽度则是被加工的深度。

【例 1.7】 与车削相比, 铣削切削层参数有何特点?

【答案】 (1) 切削厚度 h_D : 在基面中测量的相邻刀齿主切削刃运动轨迹间的距离。无论是周铣还是端铣, 铣削时的切削厚度都是随时变化的。这点与车刀不同。

(2) 切削宽度 b_D : 切削宽度是在基面中测量的铣刀主切削刃工作长度。

① 面铣刀每齿的切削宽度 b_D 与车刀情况类似, $b_D = a_p / \sin \kappa_r$

② 螺旋齿圆柱铣刀加工时, 由于刃倾角(螺旋角)的存在, 具有斜角切削的特点, 从切入到切出, 各刀齿的主切削刃工作长度随刀齿的位置变化而变化, 由于工作刀齿有重叠, 故切削过程比较平稳。

(3) 切削面积: 每个刀齿切削面积为 $A_D = h_D b_D$, 铣刀总切削面积 $A_{D\text{tot}} = \sum_1^{Z_e} A_D$ 。与车刀不同的是, 由于 h_D 、 b_D 和同时工作齿数 Z_e 都随时在变化, 故 $A_{D\text{tot}}$ 也是随时变化的。

【例 1.8】 何谓顺铣? 何谓逆铣? 它们各有什么优缺点?

【答案】 工件的进给运动方向与主运动方向相反时称作逆铣, 相同时称作顺铣。它们的优缺点可以从以下两方面分析:

(1) 切削厚度的变化。

逆铣时, 每个刀齿的切削厚度由零增至最大, 但切削刃并非绝对锋利, 铣刀刃口处总有圆弧存在, 刀齿不能立刻切入工件, 而是在已加工表面上挤压滑行, 使该表面的硬化现象严重, 影响了表面质量, 也使刀齿的磨损加剧。顺铣时刀齿的切削厚度是从最大到零, 但刀齿切入工件时的冲击力较大, 尤其工件待加工表面是毛坯或者有硬皮时。

(2) 切削力方向的影响。顺铣时作用于工件上的垂直切削分力 $F_{N\text{顺}}$ 始终压下工件, 这对工件的夹紧有利。逆铣时 $F_{N\text{逆}}$ 向上, 有将工件抬起的趋势, 易引起振动, 影响工件的夹紧。铣薄壁和刚度低工件时影响更大。

【例 1.9】 面铣法有几种铣削方式? 各应用于何种场合?

【答案】 用端部刀齿工作的面铣刀铣削时, 根据铣削宽度是否对称分布称作对称铣削与不对称铣削, 不对称铣削又可分为不对称逆铣和不对称顺铣。

不对称逆铣时, 刀齿由最小的切削厚度切入工件, 由较大的切削厚度切出, 所以切入时振动小, 工作平衡而且没有用圆柱铣刀进行逆铣时, 由于切入时切削厚度为零而引起的滑擦现象, 当加工碳钢及高强度低合金钢时, 采用这样铣削方式较好。

不对称顺铣时, 刀齿由较大的切削厚度切入工件, 而以较小的切削厚度切出。在加工

不锈钢等变形系数较大、冷作硬化现象较严重的材料时,宜选用这种铣削方式。不对称顺铣时,刀齿切入工件时的振动要比不对称逆铣大,而且工作台进给丝杠与螺母间的间隙应予以消除,以免由于水平铣削分力(它与工作台的进给方向相同)过大,引起工作台窜动。

对称铣削的平均切削厚度较大,铣削淬硬钢及机床导轨时,宜采用这种铣削方式。对称铣削时的振动较大,要求机床及工艺刚性要强。铣削较窄的工作时,不宜采用。

由下式计算:
$$a_p = \frac{v_f}{z \cdot n} \quad (1)$$
 式中: a_p —— 平均切削厚度; v_f —— 进给速度; z —— 铣刀齿数; n —— 铣刀转速。

铣削时,铣刀切削刃的切削速度为:
$$v_c = \pi \cdot d \cdot n \quad (2)$$
 式中: v_c —— 切削速度; d —— 铣刀直径; n —— 铣刀转速。

铣削时,铣刀切削刃的切削力为:
$$F_c = K_f \cdot a_p \cdot b \cdot v_c \quad (3)$$
 式中: F_c —— 切削力; K_f —— 切削力系数; a_p —— 平均切削厚度; b —— 铣刀切削刃的切削刃长度; v_c —— 切削速度。

由式(3)可知,切削力与平均切削厚度成正比,与切削速度成正比。因此,在切削时,应尽量减小平均切削厚度,并提高切削速度,以减小切削力。

由式(3)可知,切削力与切削刃长度成正比。因此,在切削时,应尽量减小切削刃长度,以减小切削力。

由式(3)可知,切削力与切削速度成正比。因此,在切削时,应尽量提高切削速度,以减小切削力。

由式(3)可知,切削力与切削力系数成正比。因此,在切削时,应尽量减小切削力系数,以减小切削力。

由式(3)可知,切削力与切削力系数的平方成正比。因此,在切削时,应尽量减小切削力系数的平方,以减小切削力。

由式(3)可知,切削力与切削力系数的立方成正比。因此,在切削时,应尽量减小切削力系数的立方,以减小切削力。

由式(3)可知,切削力与切削力系数的四次方成正比。因此,在切削时,应尽量减小切削力系数的四次方,以减小切削力。

由式(3)可知,切削力与切削力系数的五次方成正比。因此,在切削时,应尽量减小切削力系数的五次方,以减小切削力。

由式(3)可知,切削力与切削力系数的六次方成正比。因此,在切削时,应尽量减小切削力系数的六次方,以减小切削力。

由式(3)可知,切削力与切削力系数的七次方成正比。因此,在切削时,应尽量减小切削力系数的七次方,以减小切削力。

由式(3)可知,切削力与切削力系数的八次方成正比。因此,在切削时,应尽量减小切削力系数的八次方,以减小切削力。

由式(3)可知,切削力与切削力系数的九次方成正比。因此,在切削时,应尽量减小切削力系数的九次方,以减小切削力。

由式(3)可知,切削力与切削力系数的十次方成正比。因此,在切削时,应尽量减小切削力系数的十次方,以减小切削力。

第2章 刀具材料

2.1 必备知识和考试要点

刀具材料是指刀具切削部分的材料。刀具材料性能的优劣对切削加工过程、加工精度、表面质量及生产效率有着直接的影响。

(1) 刀具材料应具备的性能:高硬度、足够的强度和韧性、高耐磨性、高耐热性、良好的工艺性和经济性。

(2) 刀具材料的种类:根据刀具材料的发展历程,现有的刀具材料种类有:工具钢(包括碳素工具钢和合金工具钢)、高速钢、硬质合金、陶瓷、超硬材料(包括金刚石和立方氮化硼)。其中高速钢与硬质合金是目前用得最为广泛的刀具材料。

(3) 刀具材料的选择:刀具材料的合理选用主要是根据工件材料的性质、加工条件和刀具形状等。

2.2 典型范例和答题技巧

【例 2.1】 根据刀具的工作条件,说明刀具材料应具备的性能。

【答案】 刀具在切削时,要承受很大的压力和很高的切削温度,有时还要承受冲击、振动。所以刀具材料应满足以下要求:

(1) 高的硬度。硬度是刀具材料应具备的基本特性。刀具要从工件上切下切屑,其硬度必须比工件材料的硬度高。切削金属所用刀具的切削刃的硬度,应是工件材料硬度的 1.3 ~ 1.5 倍以上,一般都在 60 HRC 以上。

(2) 足够的抗弯强度和韧性。要使刀具在承受很大压力和切削过程中通常出现的冲击和振动的条件下正常工作,而不产生崩刃和折断,刀具材料就必须具有足够的强度和韧性。刀具材料必须具备足够的抗弯强度 σ_{bb} 和冲击韧性 α_k 。

(3) 高的耐磨性。耐磨性是材料抵抗磨损的能力,是刀具材料应具备的最基本性能。在切削过程中刀具要经受剧烈的摩擦,要保证刀具具有足够的使用寿命,作为刀具材料必须具备良好的耐磨性。耐磨性不仅与硬度有关,往往还与强度、韧度和金相组织结构等因素有关。一般认为,刀具材料的硬度越高,耐磨性就越好。

(4) 高的耐热性(红硬性)。耐热性是衡量刀具材料切削性能的主要标志。它是指刀具材料在高温下保持或基本保持其硬度、耐磨性、强度和韧性的能力。刀具材料的高温硬度愈高,则刀具的切削性能愈好,允许的切削速度也愈高。

除高温硬度外,刀具材料还应具有在高温下抗氧化的能力以及良好的抗黏结和抗扩散的能力,即刀具材料应具有良好的化学稳定性。一般在室温下,各种刀具材料的硬度相差不大,但由于耐热性不同,高温下的切削性能会有很大差异。