

普通高等教育机电类规划教材

金属切削原理课程实验

(第2版)

东南大学 赵芝眉 主编
哈尔滨工业大学 丁儒林

机械工业出版社

011.1
7E2

普通高等教育机电类规划教材

金属切削原理课程实验

(第 2 版)

东南大学 赵芝眉 主编
哈尔滨工业大学 丁儒林



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书是根据全国高等工业学校机械制造工艺与设备专业教学指导委员会制定的教学大纲编写的。内容包括车刀角度的测量、切削层变形的观察与测量、车削力的测定及经验公式的建立、车削温度的测定及经验公式的建立、刀具磨损及 $v-T$ 关系的确定等五个主要实验。为了使学生会进一步学会实验数据的处理方法,在附录中介绍了金属切削原理中常用的试验设计及数据处理方法,并附有计算例题。

本书是高等学校机械制造工艺及设备专业的教材,也可作为有关工程技术人员的参考书。

金属切削原理课程实验

(第2版)

东南大学 赵芝眉 主编
哈尔滨工业大学 丁儒林

*

责任编辑:王世刚 版式设计:王颖
封面设计:姚毅 责任校对:姚培新
责任印制:王国光

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)
邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社京丰印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $3^{1/2}$ ·字数 80 千字
1986年6月北京第1版

1994年10月北京第2版·1994年10月北京第7次印刷

印数 42 801—48 150 定价:3.10元

*

ISBN 7-111-04189-5/TH·524(课)

TC
44

第 2 版 说 明

《金属切削原理实验指导书》自1986年出版后，共印6次。根据全国高等工业学校机械制造工艺与设备专业教学指导委员会“八五”教材规划，要求对本书进行修订，并更名为“金属切削原理课程实验”。

本书是按照《金属切削原理》课程教学大纲编写的，内容包括车刀角度的测量，切削层变形的观察与测量、车削力的测定及经验公式的建立、车削温度的测定及经验公式的建立、刀具磨损及 $v-T$ 关系的确定等五个主要实验。为了使学生进一步学会实验数据的处理方法，在附录中介绍了金属切削原理中常用的试验设计及数据处理方法，并附有计算例题。

为了加强对学生独立工作能力的培养，启发学生自己组织实验工作，在教材中重点介绍了每个实验的测量原理与实验方法，要求学生在实验时根据具体条件自拟实验参数，并在实验报告中写出主要实验步骤和仪器的调试方法，从而使学生掌握实验的主动权，以实现在教师指导下独立地完成实验。

在修订本书时，注意到了内容的更新，以及科学性、先进性和实用性的问题，力求作到将国内外一些较成熟的实验方法编写到本教材中。各院校根据不同的教学要求和具体的设备条件，可选作本教材中的部分实验，或某些实验的部分内容。

本书第1版作者是：哈尔滨工业大学丁儒林(实验一)，东北工学院石贻儒(实验二)，南京工学院谢锡俊(实验三)，南京航空学院童宪超(实验四)，西北工业大学蔡伟(实验五)，南京工学院万迪慧(附录)。全书由南京工学院赵芝眉、哈尔滨工业大学丁儒林主编，重庆大学肖诗纲、北京航空学院陈鼎昌主审，并经高等工业学校机械制造(冷加工)类教材编审委员会刀具组审查通过。

本书的作者是：哈尔滨工业大学丁儒林(实验一)，东北工学院石贻儒(实验二)，东南大学谢锡俊(实验三)，南京航空航天大学刘肇发(实验四)，南京航空航天大学潘良贤(实验五)，东南大学赵芝眉(附录)。全书由赵芝眉、丁儒林主编，重庆大学肖诗纲主审。

本书编写过程中，得到了全国各兄弟院校的大力支持，特此致以衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，诚恳地希望读者批评指正。

编者

1994年1月

64669/01

目 录

第2版 说明	
实验一 车刀角度的测量	1
实验二 切削层变形的观察与测量	7
实验三 车削力的测定及经验公式的建立	15
实验四 车削温度的测定及经验公式的建立	26
实验五 刀具磨损及 $v-T$ 关系的确定	33
附录 金属切削原理中常用的试验设计及数据处理方法	40
参考文献	51

实验一 车刀角度的测量

一、目的与要求

- 1) 熟悉车刀切削部分的构造要素，掌握车刀标注角度的参考平面、参考系及车刀标注角度的定义；
- 2) 了解车刀量角台的结构，学会使用车刀量角台测量车刀的标注角度；
- 3) 绘制车刀标注角度图，并标注出测量得到的车刀各标注角度数值。

二、测量原理与实验方法

车刀标注角度可以用角度样板、万能量角器、重力量角器以及各种车刀量角台等进行测量。其测量的基本原理是：按照车刀标注角度的定义，在被测量切削刃(刀刃)的选定点，用测量工具的尺面，如量角器的尺面或量角台的指针平面(或侧面、或底面)，与构成被测角度的面或线紧密贴合(或相平行、或相垂直)，把要测量的角度测量出来。由于所使用的测量工具(或量角器、或量角台)的结构不同，其测量方法也不同。

下面以使用车刀量角台来测量车刀标注角度为例，说明车刀量角台的结构及其测量方法。

(一) 车刀量角台的结构

车刀量角台是测量车刀标注角度的专用测量工具，它有很多种型式，其中既能测量车刀主剖面参考系的基本角度，又能测量车刀法剖面参考系的基本角度的一种车刀量角台，如图1-1所示。

这种车刀量角台在其圆形底盘2的周边，刻有从 0° 起向顺、逆时针两个方向各 100° 的刻度，底盘2上的工作台5可以绕小轴7转动，转动的角度，由固连于工作台5上的工作台指针6指示出来。工作台5上的定位块4和导条3固定在一起，能在工作台5的滑槽内平行移动。工作台5的上平面和定位块4的侧平面，是安放车刀的定位平面。

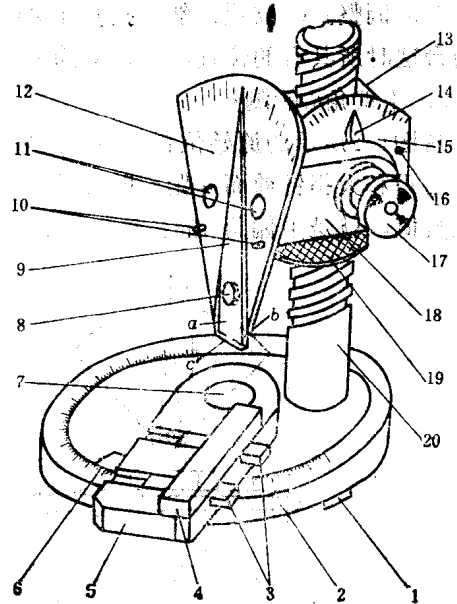


图1-1 车刀量角台

- 1—支脚 2—底盘 3—导条 4—定位块 5—工作台
6—工作台指针 7—小轴 8—螺钉轴 9—大指针 10—销轴
11—螺钉 12—大刻度盘 13—滑体 14—小指针
15—小刻度盘 16—小螺钉 17—旋钮 18—弯板
19—大螺母 20—立柱

立柱20固定安装在底盘2上，它是一根矩形螺纹丝杠，旋转套装在此丝杠上的大螺母19，可以使滑体13沿立柱(丝杠)20的键槽上、下滑动。滑体13上用小螺钉16固定安装一个小刻度盘15，在小刻度盘15的外面，用旋钮17将弯板18的一端锁紧在滑体13上。当松开旋钮17时，弯板18以旋钮17为轴，可以向顺、逆时针两个方向转动，其转动的角度数值用固连于弯板18上的小指针14，在小刻度盘15上指示出来。在弯板18的另一端，用两个螺钉11固定安装上一个扇形大刻度盘12，其上用特制的螺钉轴8装上一个大指针9。大指针9可以绕螺钉轴8向顺、逆时针两个方向转动，并在大刻度盘12上指示出转动的角度数值。两个销轴10可以限制大指针的极限位置。

当工作台指针6、大指针9和小指针14都处在 0° 时，大指针9的前面a和侧面b，垂直于工作台5的平面，而大指针9的底面c，平行于工作台5的平面。测量车刀角度时，就是根据被测量角度的需要，转动工作台5，同时调整安放在工作台5上的车刀位置，再旋转大螺母19，使滑体13带动大指针9，上升(或下降)而使之处于适当的位置，然后用大指针9的前面a(或侧面b、或底面c)，与构成被测量角度的面或线紧密贴合，从大刻度盘12上读出大指针9所指示的被测量角度的数值。

(二) 测量车刀标注角度的方法

下边以高速钢外圆车刀为例，说明用车刀量角台测量车刀标注角度的方法。

1. 校准车刀量角台的原始位置

用车刀量角台测量车刀标注角度之前，必须先把车刀量角台的大指针、小指针和工作台指针全部调整到 0° 位置，然后把被测量的车刀按图1-2所示的位置，平放在工作台上。车刀量角台这时所具有的位置，被定义为车刀量角台的原始位置。

2. 主偏角 κ_r 的测量

从图1-2所示的原始位置，按顺时针方向转动工作台(此时工作台平面相当于基面P)，让主刀刃和大指针前面a紧密贴合(图1-1)，如图1-3所示，则工作台指针在底盘上所指示的刻度数值，就是主偏角 κ_r 的角度数值。

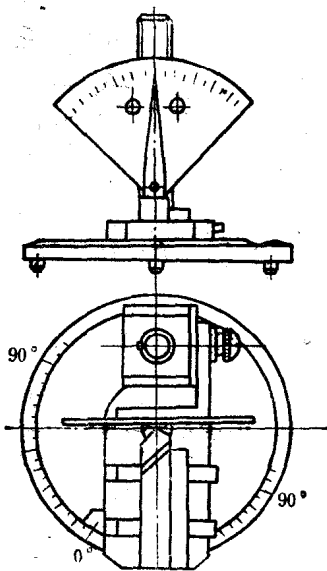


图1-2 用车刀量角台测量车刀标注角度的原始位置

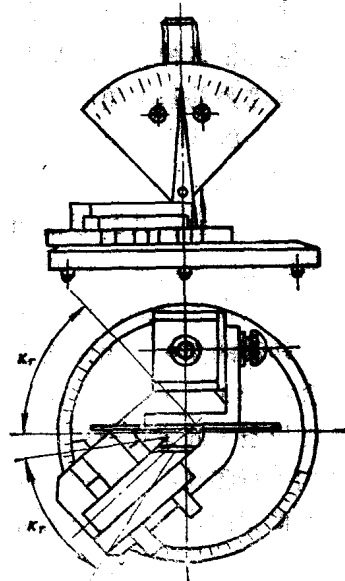


图1-3 用车刀量角台测量车刀主偏角

3. 刃倾角 λ_s 的测量

测完主偏角 κ_r 之后,使大指针底面 c 和主刀刃紧密贴合(此时大指针前面 a 相当于切削平面 P_s),如图1-4所示,则大指针在大刻度盘上所指示的刻度数值,就是刃倾角 λ_s 的角度数值。指针在 0° 左边时为 $+\lambda_s$,指针在 0° 右边时为 $-\lambda_s$ 。

4. 前角 γ_o 的测量

前角 γ_o 的测量,必测在测量完主偏角 κ_r 的角度数值之后才能进行。

从图1-2所示的原始位置起,按逆时针方向转动工作台,使工作台指针指到底盘上 $\psi=90^\circ-\kappa_r$ 的刻度数值处(或者从图1-3所示测完主偏角 κ_r 的位置起,按逆时针方向使工作台转动 90°),这时,主刀刃在基面 P_r 上的投影恰好垂直于大指针前面 a (相当于主剖面 P_o),然后让大指针底面 c 落在通过主刀刃上选定点的前刀面上(要紧密贴合),如图1-5所示,则大指针在大刻度盘上所指示的刻度数值,就是主剖面前角 γ_o 的角度数值。指针在 0° 右边时为 $+\gamma_o$,指针在 0° 左边时为 $-\gamma_o$ 。

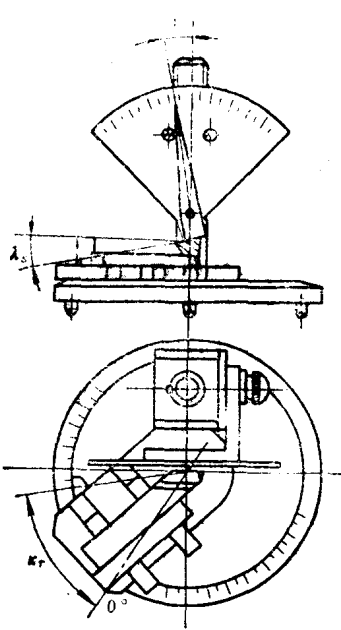


图1-4 用车刀量角台测量车刀刃倾角

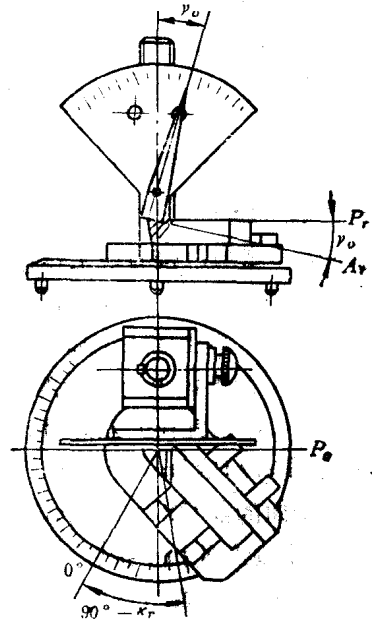


图1-5 用车刀量角台测量车刀前角

5. 后角 α_o 的测量

在测完前角 γ_o 之后,将车刀向右平行移动(这时定位块可能要移到车刀的左边,但仍要保证车刀侧面与定位块侧面靠紧),使大指针侧面 b 和通过主刀刃上选定点的后刀面紧密贴合,如图1-6所示,则大指针在大刻度盘上所指示的刻度数值,就是主剖面后角 α_o 的角度数值。指针在 0° 左边时为 $+\alpha_o$,指针在 0° 右边时为 $-\alpha_o$ 。

6. 副偏角 κ'_r 的测量

参照测量主偏角 κ_r 的方法,从原始位置,按逆时针方向转动工作台,使副刀刃和大指针前面 a 紧密贴合,如图1-7所示,则工作台指针在底盘上所指示的刻度数值,就是副偏角 κ'_r 的角度数值。

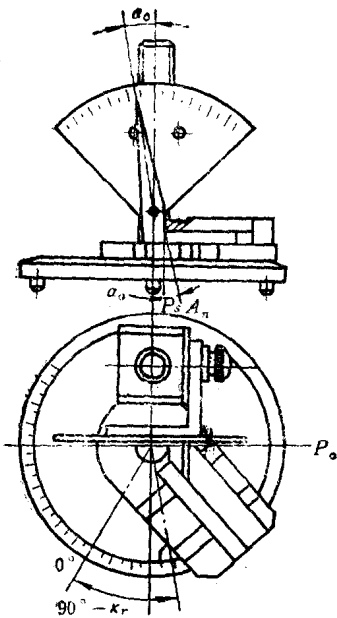


图1-6 用车刀量角台测量车刀后角

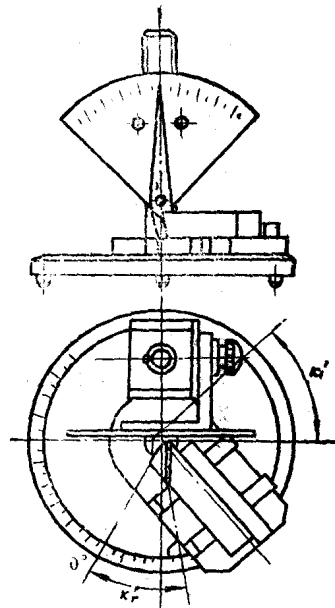


图1-7 用车刀量角台测量车刀副偏角

7. 副后角 α_0' 的测量

在测完副偏角 κ_r' 之后,接着使工作台顺时针方向转动 90° (或从原始位置起,让工作台顺时针方向转动 $\psi_r = 90^\circ - \kappa_r'$),这时,副刀刃在基面上的投影恰好与大指针前面 a 垂直(即大指针前面 a 相当于副刀刃上的主剖面 P_0'),令大指针侧面 b 与副刀刃选定点的副后刀面紧密贴合,则大指针在大刻度盘上所指示的刻度数值,就是副刀刃上的副后角 α_0' 的角度数值。指针在 0° 右边时为 $+\alpha_0'$,指针在 0° 左边时为 $-\alpha_0'$ (参照后角 α_0 的测量和图1-6)。

8. 法剖面前角 γ_n 和后角 α_n 的测量

测量车刀法剖面的前角 γ_n 和后角 α_n ,必须在测量完主偏角 κ_r 和刃倾角 λ_s 之后才能进行。

将滑体(连同小刻度盘和小指针)和弯板(连同大刻度盘和大指针)上升到适当的位置(通过旋转大螺母19实现),使弯板18转动一个刃倾角 λ_s 的数值,这个 λ_s 数值,由固连于弯板上的小指针在小刻度盘15上指示出来(逆时针方向转动时为 $+\lambda_s$,顺时针方向转动时为 $-\lambda_s$),如图1-8所示,然后再按如前所述测量主剖面前角 γ_0 和后角 α_0 的方法(参照图1-5和图1-6),便可测量出车刀法剖面前角 γ_n 和后角 α_n 的角度数值。

9. 切削深度(进给)方向剖面前角 γ_f 和后角 α_f 的测量

利用大指针前面 a 代替切削深度(进给)方向剖面 $P_f(P_f)$,参照主剖面前角 γ_0 和后角 α_0 的测量方法,即可测量出切削深度(进给)方向剖面前角 γ_f 和后角

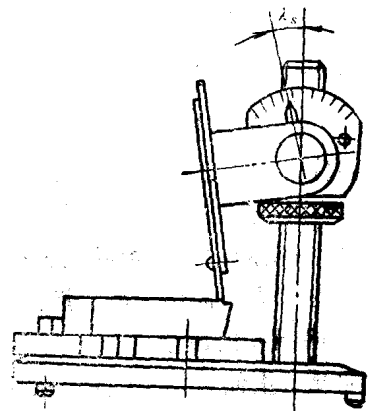


图1-8 用车刀量角台测量车刀法剖面前角和后角

$2\phi_0$)的角度数值。

三、实验报告内容

(1) 实验用量仪和工具。

(2) 实验记录。

1) 主剖面参考系的基本角度

(°)

车刀编号	车刀名称	刀杆尺寸 $B \times H$ (mm × mm)	前角 γ_0	后角 α_0	主偏角 κ_r	副偏角 κ'_r	刃倾角 λ_s	副后角 α'_0
	外圆车刀							

2) 法剖面和切削深度(进给)方向剖面的前角和后角

(°)

车刀编号	车刀名称	法 剖 面		切削深度方向剖面		进给方向剖面	
		前角 γ_n	后角 α_n	前角 γ_p	后角 α_p	前角 γ_f	后角 α_f
	外圆车刀						

3) 派生角度

(°)

车刀编号	车刀名称	刀尖角 ϵ_r	余偏角 ψ_r	副前角 γ'_0	楔 角			
					β_c	β_n	β_p	β_f
	外圆车刀							

(3) 绘制车刀标注角度图。

(4) 实验结果分析和讨论。

思 考 题

1-1 用车刀量角台测量车刀主剖面前角 γ_0 和后角 α_0 时,为什么要让工作台从原始位置起,逆时针方向转动 $\psi_r = 90^\circ - \kappa_r$ 的角度?

1-2 在什么情况下需要测量车刀法剖面前角 γ_n 和后角 α_n ?为什么用车刀量角台测量车刀法剖面前角 γ_n 和后角 α_n 时,小指针(连同弯板)要旋转一个刃倾角 λ_s 的数值?

1-3 参照测量车刀主剖面前角 γ_0 的方法,怎样利用车刀量角台测量出车刀副刀刃上的主剖面前角 γ'_0 ?为什么在车刀工作图上一概不标注副前角 γ'_0 ?

1-4 测量和标注出车刀的切削深度(进给)方向剖面的前角 γ_p (γ_f)和后角 α_p (α_f)有什么用处?

- 1-5 切断车刀有几条刀刃？哪条是主刀刃？哪条是副刀刃？如何利用车刀量角台测量切断车刀的前角 γ_o 、后角 α_o 、主偏角 κ_r 和副偏角 κ'_r ？
- 1-6 切断车刀的副前角 γ'_o 是“+”还是“-”？画图说明为什么？
- 1-7 如何利用车刀量角台测量端面车刀的标注角度？
- 1-8 用 45° 弯头车刀车外圆和车端面时，其主、副刀刃和主、副偏角是否发生变化？为什么？
- 1-9 用车刀角度换算公式

$$\operatorname{tg}\gamma_n = \operatorname{tg}\gamma_o \cos\lambda_s$$

$$\operatorname{tg}a_n = \operatorname{tg}a_o / \cos\lambda_s$$

$$\operatorname{tg}\gamma'_o = \operatorname{tg}\gamma_o \cos(\kappa_r + \kappa'_r) + \operatorname{tg}\lambda_s \sin(\kappa_r + \kappa'_r)$$

$$\operatorname{tg}\lambda'_s = \operatorname{tg}\gamma_o \sin(\kappa_r + \kappa'_r) - \operatorname{tg}\lambda_s \cos(\kappa_r + \kappa'_r)$$

计算出 γ_n 、 a_n 、 γ'_o 和 λ'_s 的角度数值，并比较一下与所测得的这些角度数值是否相同？

实验二 切削层变形的观察与测量

一、目的与要求

- 1) 掌握切削层变形的测量方法;
- 2) 研究几个主要因素(v 、 f 、 γ_0)对切削层变形的影响规律;
- 3) 观察切屑形成过程。

二、测量原理与实验方法

切屑形成过程及切削层变形规律是研究切削加工中各种物理现象(切削力、切削温度、刀具磨损、加工表面质量等)的基础,因而研究切削层变形有着十分重要的意义。目前所用的研究方法有很多。如高速摄影法;侧面方格变形观察法;快速落刀法;光弹性、光塑性试验法;用显微硬度计测量切屑根部各变形区的显微硬度、用切屑变形前后长度或厚度的变化测量变形系数、用X射线法研究加工表面层的塑性变形等,这些都是常用的测试切削层变形的方

法。

本实验所采用的试验方法是这些方法中的一部分。下面将进一步说明。

(一) 变形系数 ξ 和剪切角 ϕ 的测量

切削层变形就是指被切金属层在刀具的切削刃和前刀面的作用下,经受挤压而产生的剪切滑移变形。衡量这个变形程度的大小,通常采用变形系数 ξ 、剪切角 ϕ 和相对滑移 e ,但变形系数 ξ 和剪切角 ϕ 比较直观,尤其 ξ 的测量也比较方便。因此下面就介绍这两个参数(ξ 和 ϕ)的测量方法。

1. 变形系数 ξ 的测量

方法一:长度法

测量变形系数 ξ 可以在车床、刨床或铣床上进行实验,见图2-1。下面着重介绍在车床上进行三维切削的实验方法。

按长度法,变形系数为

$$\xi = \frac{l_0}{l_{0s}} \quad (2-1)$$

式中 l_0 为切削层长度; l_{0s} 为切屑长度。一般 l_{0s} 小于 l_0 。

l_0 的求法:实验时为了获得形成切屑前的原始长度 l_0 ,在试件上开有两个或一个窄槽(槽宽约为2~4mm),槽内浇锡(或紧紧嵌入铜片),见图2-1a。切削时,试件每转一周,就从试件上切下两段切屑。这样,切屑的原始长度可按下述方法求出。

设测得试件的外径为 D ,切削深度为 a_p ,若开两个对称槽时,则切削深度中点处的切削层长度 l_0 为

$$i_c = \frac{1}{2} \pi (D - a_p) - b \quad (2-2)$$

式中 b 为窄槽宽度。

若不开对称槽，可根据槽的具体位置计算 l_c ，也可不计算而从试件上直接测量出来。

l_{cs} 的求法：切下的切屑长度 l_{cs} 是通过实测得到的。选取数段完整、比较直的切屑，沿切屑背面（光面）在切屑宽度的中央处用细铅丝（或细铜丝）量出它的长度 l_{cs} 。为提高测量准确性，同样切削条件至少要测三段切屑，取其平均值。

根据计算和测得的 l_c 与 l_{cs} ，可按式(2-1)计算出变形系数 ξ 。

方法二：质量法

在上述车床实验中，如果试件不开窄槽，切削层长度预先不知道，则变形系数 ξ 可按质量法求出。

l_c 的求法：选取数段较平直的切屑，在天平上称量其质量 m_o ，则切削层长度 l_c 为

$$l_c = \frac{1000m_o}{fa_p\rho} \quad (2-3)$$

式中 m_o 为切屑质量，单位为 g ； ρ 为工件材料密度，单位为 g/cm^3 ； a_p 为切削深度，单位为 mm ； f 为进给量，单位为 mm/r 。

l_{cs} 的求法同方法一的测量方法。

根据计算和测得的 l_c 和 l_{cs} ，按下式求出变形系数 ξ

$$\xi = \frac{l_c}{l_{cs}} = \frac{1000m_o}{l_{cs}fa_p\rho} \quad (2-4)$$

为了研究各因素对变形系数的影响，长度法或质量法的实验如下：

(1) 前角 γ_o 对变形系数 ξ 的影响 固定切削速度 $v = 15 \sim 40m/min$ (采用高速钢刀具) 或 $v = 60 \sim 100m/min$ (采用硬质合金刀具)、切削深度 $a_p = 1 \sim 3mm$ 、进给量 $f = 0.2 \sim 0.4 mm/r$ 。

依次变更前角 $\gamma_o = 0^\circ \sim 25^\circ$ ，取 4 ~ 6 个角度值。

(2) 进给量 f 对变形系数 ξ 的影响 固定切削速度 $v = 15 \sim 40m/min$ (采用高速钢刀具) 或 $v = 60 \sim 100m/min$ (采用硬质合金刀具)、切削深度 $a_p = 1 \sim 3mm$ 、前角 $\gamma_o = 10^\circ \sim 15^\circ$ 。

依次变更进给量 $f = 0.1 \sim 0.8mm/r$ ，取 4 ~ 6 个进给量值。

(3) 切削速度 v 对变形系数 ξ 的影响 固定切削深度 $a_p = 1 \sim 3mm$ 、进给量 $f = 0.2 \sim 0.4mm/r$ 、前角 $\gamma_o = 10^\circ \sim 15^\circ$ 。

依次变更切削速度 $v = 20 \sim 120m/min$ ，取 5 ~ 10 个切削速度值(可根据各校情况自定，

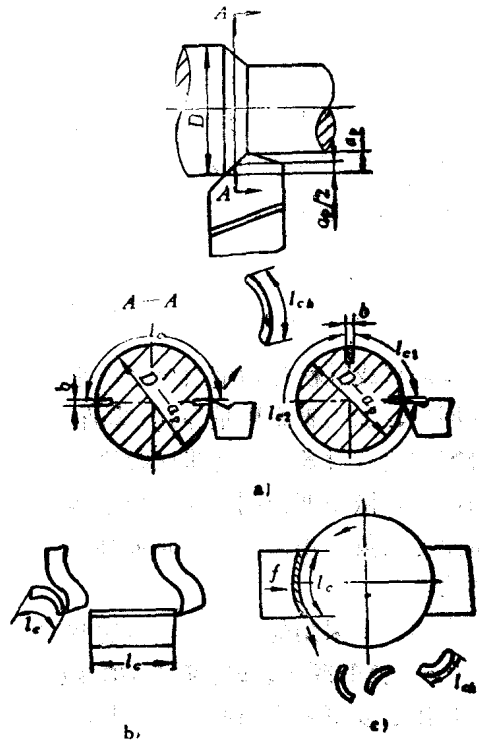


图2-1 变形系数 ξ 实验示意图

a) 在车床上 b) 在刨床上 c) 在铣床上

也可只观察切屑的形态，而不测变形系数)。

把各种条件下所测得的变形系数 ξ 分别画在 $\xi - \gamma_0$ 、 $\xi - f$ 、 $\xi - v$ 的坐标里，便得到了几个主要因素对切削层变形的影响规律。

方法三：显微镜测厚法

这种方法是把二维切削所获得的切屑根部磨片，放在显微镜下，测量其切屑厚度，从而计算出各种条件下的变形系数 ξ 。

根据厚度法变形系数 ξ 为

$$\xi = \frac{a_{ch}}{a_c} \quad (2-5)$$

式中 a_{ch} 为切屑厚度； a_c 为切削层厚度，一般 a_{ch} 大于 a_c 。

a_{ch} 的测量：预先用快速落刀法制好一套切屑根部磨片。有变更前角 γ_0 的磨片；变更进给量 f 的磨片；变更切削速度 v 的磨片。实验时，利用显微镜目镜中的刻线尺测量各种条件下的切屑厚度 a_{ch} ，见图2-2，其中图a为一般带状切屑的切屑厚度测量简图；图b为带有积屑瘤的带状切屑厚度的测量简图。为了提高测量的准确性，每个切屑的切屑厚度要多测几点，取其平均值，尤其是锯齿状较严重的切屑更应注意。

a_c 是切削层厚度，可由落刀时的切削条件给定(也可由显微镜内测出)。

根据测得的 a_{ch} 和已知的 a_c ，按式(2-5)即可算出各种条件下的变形系数 ξ 。

除测量切屑厚度求变形系数外，还可利用带积屑瘤的根部磨片测出不同切削速度下的积屑瘤高度 H_b ，其测量方法见图2-3。从而得出积屑瘤的变化规律。

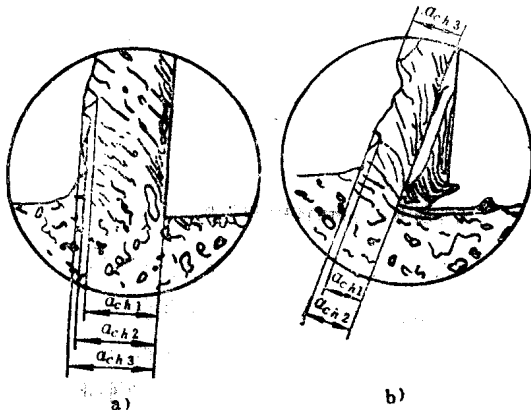


图2-2 在显微镜里测量切屑厚度示意图
a) 带状切屑的切屑厚度测量 b) 带有积屑瘤的带状切屑的切屑厚度测量

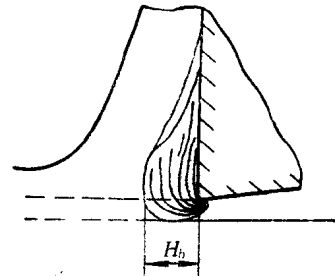


图2-3 积屑瘤高度测量简图

利用显微镜测厚法实验时，可参考下述条件制作切屑根部磨片。

工件材料：中碳钢；

刀具材料：YT类硬质合金；

切削方式：采用纵向直角自由车削。工件制成圆筒状，筒壁厚度(即切削深度)取3mm。其它条件(f 、 v 、 γ_0)参照前述长度法和质量法的实验。

把对各组磨片求得的变形系数 ξ ，分别画在 $\xi-\gamma_0$ 、 $\xi-f$ 和 $\xi-v$ 坐标里，把积屑瘤高度画在 H_0-v 坐标里。于是得到了相应的关系曲线。

这种方法的优点是：在测量 ξ 的同时，还可观察切屑根部的三个变形区情况；测得的切削层变形规律较完整，如切削速度从低到高变化时，变形系数曲线将出现驼峰形，与积屑瘤的高度变化相对应。

2. 剪切角 ϕ 的测量

切削层变形也可用剪切角 ϕ 来表示。同显微镜测厚法一样，实验前利用快速落刀法预先制好一整套切屑根部磨片，或用由这些磨片拍摄的照片。实验时，直接在显微镜或照片上测量剪切角 ϕ ，见图2-4。图a是较高切削速度下的切屑根部图，切屑的顶面与待加工表面的交点为M点，连接刀刃O和M点，即为简化计算的剪切面。它与切削速度方向的夹角即为剪切角 ϕ 。图b是较低切削速度下切屑根部图，第一变形区加宽，需把待加工表面和切屑的顶面顺势延长(如图2-4中双点划线所示)，交于M点，然后连接刀刃O和M点，便可确定 ϕ 角。

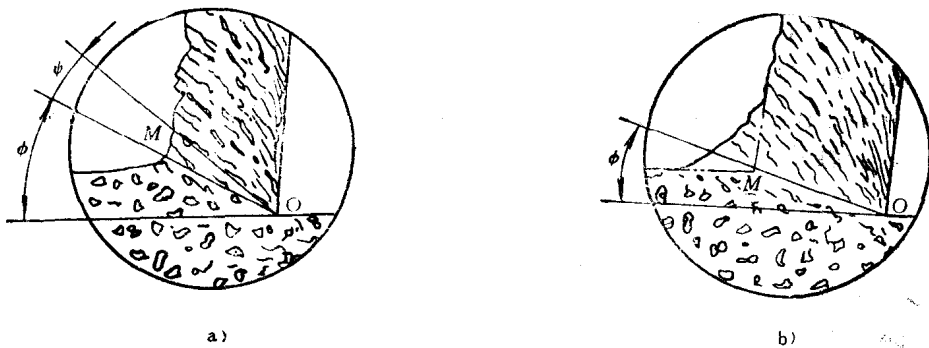


图2-4 剪切角 ϕ 测量示意图

a) 较高切削速度时的切屑根部剪切角的测量方法 b) 较低切削速度时的切屑根部剪切角的测量方法

对于具有积屑瘤的情况，剪切角 ϕ 的测量较为复杂些。下面根据星光一的理论，介绍一下剪切角 ϕ 的确定方法。图2-5是具有“鼻形”积屑瘤的切屑根部图(切削碳钢时积屑瘤多为此种形状)。首先根据切削层中开始产生塑性变形的晶粒所处的位置，判断出塑性变形的初始边界MHIG(其中G点是该边界的起点，它既在积屑瘤的轮廓上，又在刚刚形成的已加工表面上，也在过切的切削线上。H点位于G点的前方，也在过切的切削线上)。再把边界MHIG曲线中的MH段，近似地简化为直线，则MH曲线与切削速度方向间的夹角即为剪切角 ϕ 。

把各种条件下所测量出的剪切角 ϕ 分别画在 $\phi-\gamma_0$ 、 $\phi-f$ 、 $\phi-v$ 坐标里，便得出 ϕ 角随各因素变化的关系曲线，从而反应出切屑变形的规律。此外，从磨片上还可测出晶粒伸长方向与剪切面间的夹角 ψ ，见图2-4。

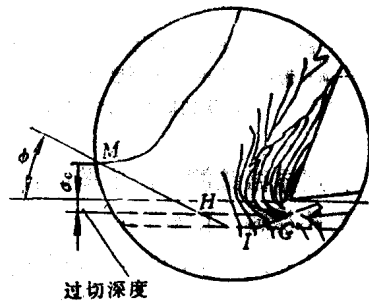


图2-5 带积屑瘤的切屑剪切角 ϕ 的测量方法

(二) 切屑根部磨片的制作及观察

1. 切屑根部磨片的制作

(1) 快速落刀装置 制作切屑根部磨片，第一步要对切屑根部取样。取样的主要手段是“快速落刀装置”。这种装置能使正在切削的刀具在某一瞬间以很大的加速度脱离工件，保留了某瞬间的真实切削层变形情况，获得了一定切削条件下的切屑根部标本。

快速落刀装置的结构有多种，有利用锤击或弹簧的能量使销子剪断，实现快速落刀的；也有利用炸药爆炸的能量使销子剪断，进行快速落刀的。

图2-6是最简单的一种冲击式快速落刀刀夹示意图。车刀2借螺栓3和铸铁销5固定在刀夹1上。铸铁销5在刀夹和车刀的配合面处车出V形槽，使其受冲击时易于剪断。落刀时，用手锤打击刀夹里的车刀，使铸铁销5剪断，车刀2绕螺栓3轴线旋转，迅速脱离工件，得到切屑根部标本。这种落刀装置在中低速度切削时，能获得较满意结果。

当切削速度较高时，上述结构满足不了要求。为获得准确的标本，可采用“爆炸型快速落刀装置”。图2-7就是这种爆炸型快速落刀装置的结构示意图。车刀3夹在刀座2内，刀座2由铸铁剪切销1支承。活塞4在刀座上面，与燃烧室体5构成燃烧室6。在燃烧室内装有火药(约0.4~0.5g)，在其中埋入引信头7，引信头及导线与外面电源相联，用螺塞8将燃烧室塞紧。当切削需要落刀时，把导线的电源接通，引信头迅速点火，火药爆炸，产生很大气体压力作用在活塞上，推动刀座，使铸铁剪切销1剪断。刀具以很大的初始加速度脱离工件，使切屑根部留在工件上。这种爆炸型快速落刀装置，其落刀加速度可达 $10^7 \sim 10^8 \text{mm/s}^2$ 。在切削速度为300m/min时，能获得满意的结果。也有的爆炸型快速落刀装置，采用弹壳(内装火药)代替药室及引信，击发弹壳，便可以使弹壳内的火药爆炸，实现落刀。这种结构使用时较方便。

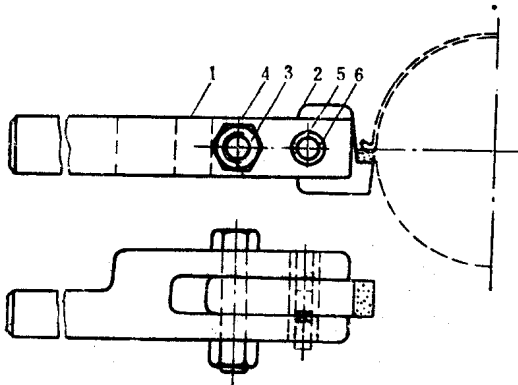


图2-6 冲击式快速落刀刀夹简图

1—刀夹 2—车刀 3—螺栓 4—螺母
5—铸铁销 6—销套

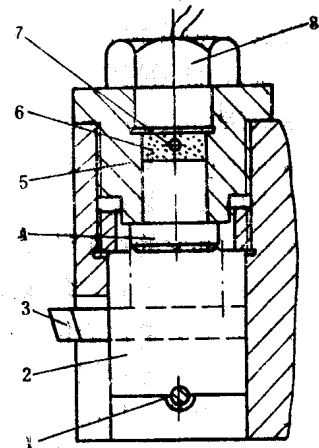


图2-7 爆炸型快速落刀装置结构示意图

1—剪切销 2—刀座 3—车刀 4—活塞 5—燃烧室体 6—燃烧室 7—引信头 8—螺塞

(2) 磨片制作过程 把获得的切屑根部从试件上切下，并把它和电木粉一起放入镶样机进行压模，于是制成圆柱形镶样试件，如图2-8所示。然后要进行粗磨，一直磨到切屑的中央剖面处为止。因为切削时切屑的两侧面有侧向变形，而在中央剖面处无侧向变形，可认

为是二维切削(平面应变状态)。粗磨后还要研磨、抛光和酸腐蚀，以制成切屑根部磨片。

2. 利用金相显微镜观察切屑根部磨片

从切屑根部的磨片上可看到各变形区的情况。

观察某一切削条件下的磨片，可找出第一变形区、剪切面，并观察晶粒变形前后的形状，晶粒的伸长方向。找出第二变形区，可观察切屑底层晶粒形状、纤维方向，以及滞流层。找出第三变形区，可观察已加工表面晶粒的变形情况。

观察带有积屑瘤的磨片时，可看到积屑瘤形状、纤维方向、前端分裂后留在切屑和已加工表面上的分裂片，进而分析它的生长、分裂过程。

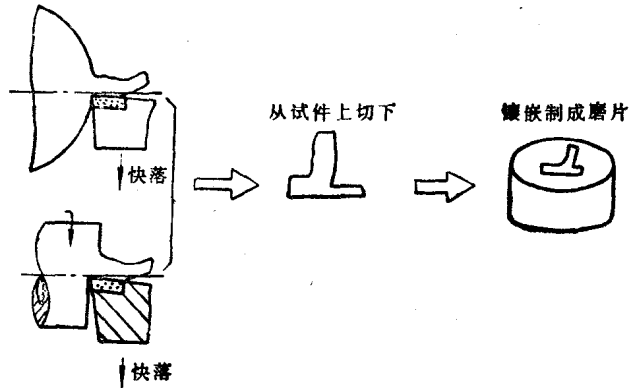


图2-x 切屑根部磨片制作示意图

(三) 利用闭路电视系统动态观察切屑形成过程

用闭路电视系统观察切屑形成过程是通过“显微镜——工业电视”装置完成的。图2-9是该装置的示意简图。它是由金相显微镜1、摄像机2和监视器(电视)3等三部分组成。摄像机和金相显微镜按下面的办法连结起来，把摄像机原来的光学镜头拿掉，把金相显微镜的目镜也拿掉(保留物镜、镜筒和光学系统)，然后把拿掉光学镜头的摄像机接到拿掉目镜的金相显微镜的镜筒上，即组成了“显微镜——工业电视”装置。它可装在铣床、车床或其它的切削装置上。

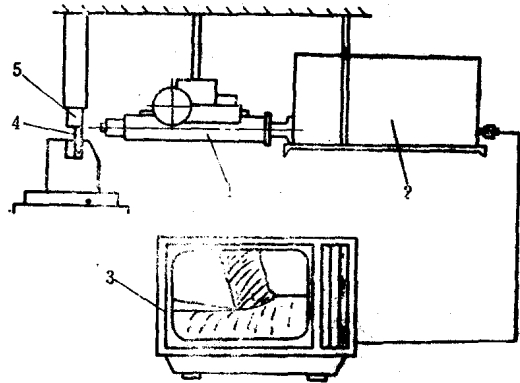


图2-9 “显微镜——工业电视”装置示意图
1—金相显微镜 2—摄像机 3—监视器(电视) 4—试件 5—刀具

让它位于试件4和刀具5的侧面，它相对试件及刀具侧面的位置可沿三个相互垂直方向进行调节。切削时刀具与显微镜和摄像机之间无相对运动。

其放大原理是：显微镜的物镜把试件上的变形区进行放大(第一次放大)，放大的图像经摄像机转为电信号，输出给监视器，监视器再把电信号转为图像在荧光屏上映出。由摄像机到监视器又进行了一次放大(第二次放大)。于是可以在电视屏幕上直接观察到放大的连续的切屑形成过程。

为使图像清晰和完整地观察到三个变形区，该装置的物镜应选择为5~15倍镜头为宜。因为倍率过小时，分辨能力低，看不清细微结构；而倍率过大时，视场缩小，三个变形区和切屑形态看不全，另外景深(垂直鉴别能力)很小，导致图像有的地方模糊不清。当物镜为5~15倍时，在14英寸电视屏幕上、图像放大125~375倍左右。