

金属切削原理实验指示书

清华大学仪器系金属切削实验室

1981.5.

实 验 须 知

1. 切削实验是学习切削原理不可少的组成部分。对加深理解基本概念，巩固课堂上所学知识都很重要，每次实验必须认真对待。
2. 做实验前，必须认真预习有关课程内容和阅读实验指示书，熟悉实验内容和步骤。
3. 做实验时要严格按实验指示书的内容、步骤进行。认真操作，做好实验记录。实验中如发生事故及时向指导教师报告以便妥善处理。
4. 做完实验，请辅导教师看实验结果，教师确认实验通过后，应将实验台恢复原状，关好电源。经指导教师同意后方能离开实验室。
5. 每次实验后，按实验指示书的要求，写出实验报告，交给指导教师。

金属切削原理实验指示书

实验一 车刀几何角度的测量

一、实验目的和要求：

1. 掌握测量车刀几何角度的方法及所用仪器；
2. 弄清车刀各几何角度的定义及其在图纸上的标注方法。

二、仪器和工具：

1. 车刀角度量角台或重力量角器；
2. 弯头外圆车刀和切槽刀模型。

三、车刀量角台的使用方法：

本实验所用车刀量角台结构如图 1 所示。

松开锁紧螺钉 1，刻度板 2 不仅可绕立柱 5 旋转，而且可以由调节螺母 3 调节至适当高度。指度片 4 可在刻度板 2 上移动，当它的尖端对准 0° 时，A 面为平行于底盘 9、B 面垂直于底盘 9；即 A 面相当于基面，B 面相当于切削平面。

在底盘 9 上装有转盘 10 和靠板 11，二者可一起在底盘 9 上转动，当转盘上的 0° 与底盘上的零点对准时，靠板 11 垂直于标尺 8，当车刀靠紧靠板时，标尺 8 即可代表车刀纵向进给方向。

在标尺 8 上装有滑块 7，它的各面是互相垂直的，所以滑块 7 上与标尺垂直的平面就可以代表车刀横向进给方向。利用滑块测量切槽刀和弯头车刀的付偏角 κ_r' 是比较方便的。

标尺 8 上还装有锁紧螺钉 6，在使用前，应先调节标尺座上的零点与底盘上的零点对准，以保证标尺与靠板侧面垂直。

四、实验步骤：

1. 熟悉所给的车刀结构；
2. 用量角台测量车刀各几何角度。

(1) 量前角 γ_0 ：

将车刀放在台面上，调整刻度板和指度片（见图 2）使指度片所在平面与主刀刃在基础上的投影垂直，并使指度片 A 面与前刀面贴合，即可测出前角 γ_0 的数值。

(2) 量后角 α_0 ：

基本如量前角，只是使指度片 B 面与后刀面贴合（见图 3），即可读出后角 α_0 的数值。

(3) 量刃倾角 λ_s ：

调整指度片位于切削平面内，使 A 面与刀刃贴合（见图 4），即可读出刃倾角 λ_s 的数值。

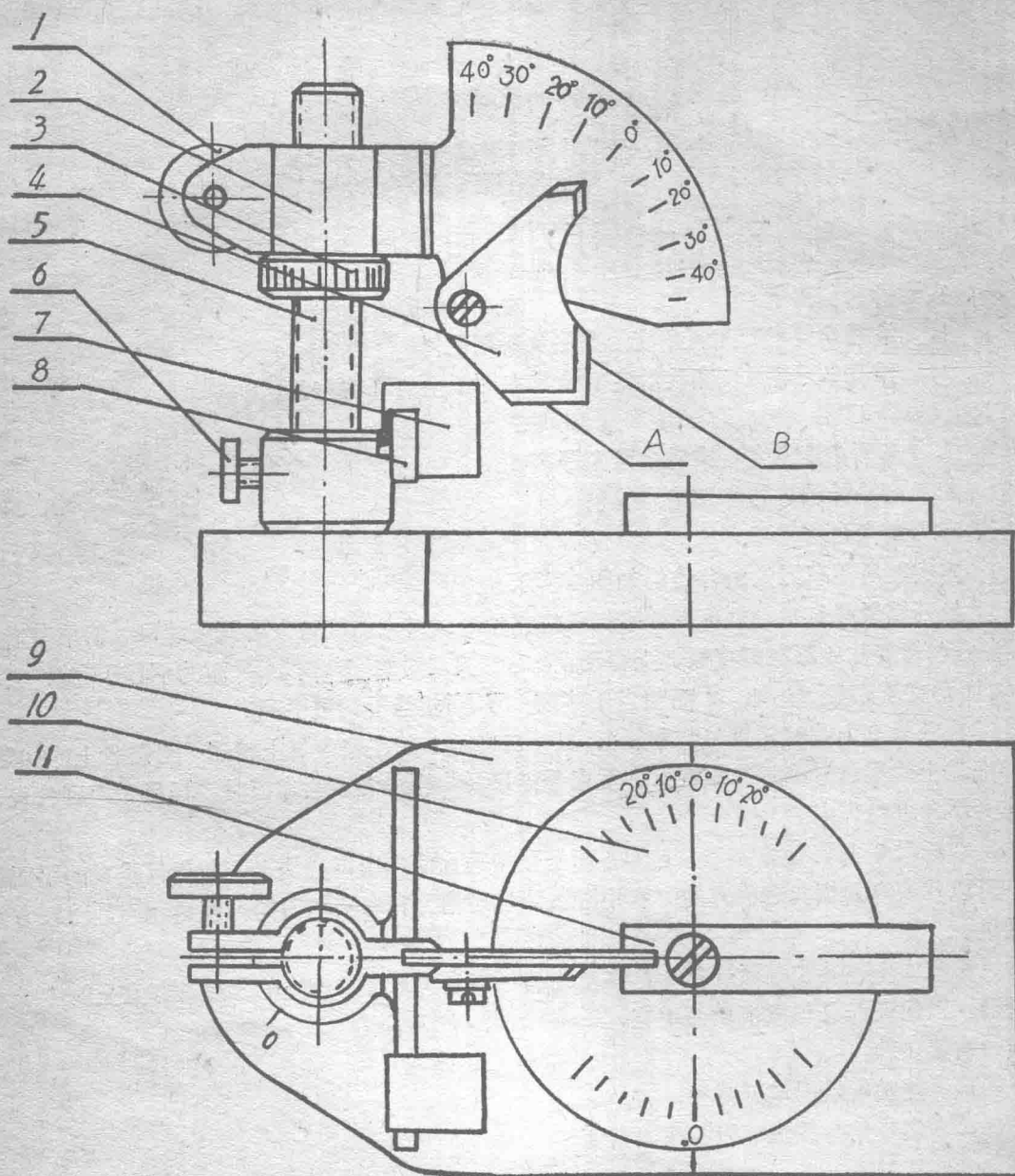


图 1 量角台结构示意图

1—锁紧螺钉

2—刻度板

3—调节螺母

4—指度板

5—立柱

6—锁紧螺钉

7—滑块

8—标尺

9—底盘

10—转盘

11—靠板

(4) 量副后角 α_0' :

调整指度片位于副截面内（即 垂直于副刀刃在基面上的投影，使 B 面与副后刀面贴合，即可读出副后角 α_0' 的读数值。

(5) 量主偏角 κ_r :

先调整标尺 8，使基零点与底盘上刻线对准，然后将车刀放在台面上，并与靠板 11 靠紧，旋转转盘 10，使主刀刃与标尺 8 贴合（见图 5），即可读出主偏角 κ_r 的数值。

(6) 量副偏角 κ_r' :

最后将这几个角度数值填入表中。

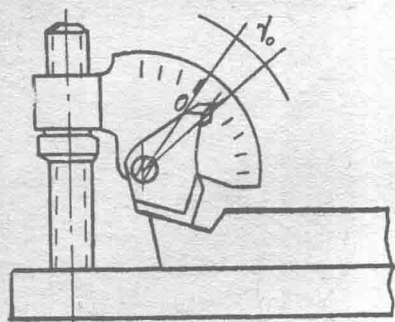


图 2 量前角 γ_0

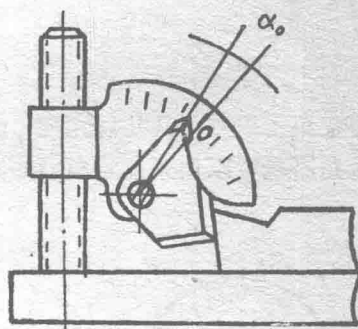


图 3 量后角 α_0

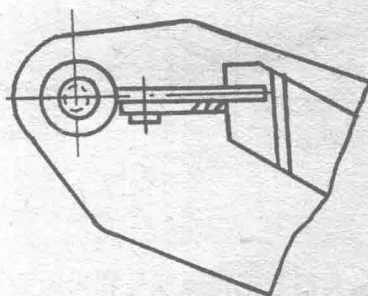
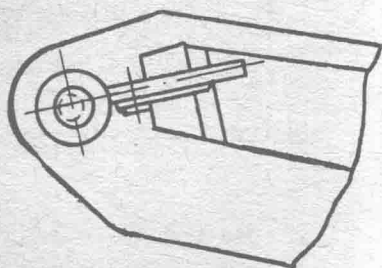


图 4 量刃倾角 λ_s

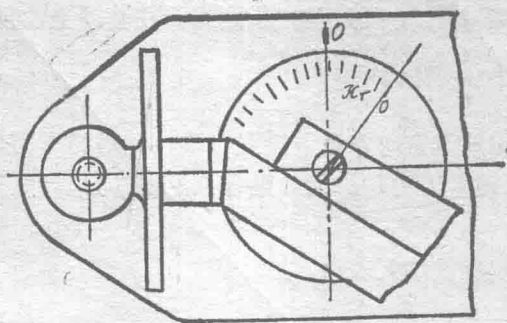


图 5 量主偏角 κ_r

五、用重力量角器测量刀具几何角度。

重力量角器也可以用来度量车刀的角度。

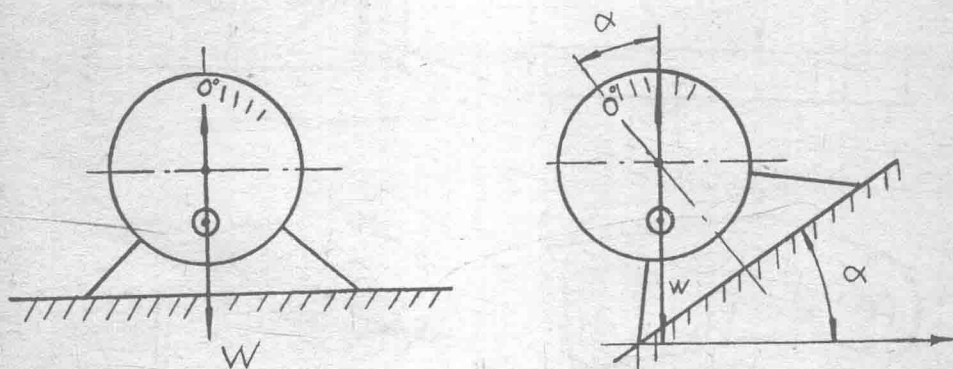


图 6 重力量角器原理图

重力量角器的工作原理是利用偏心重力 W 的作用，使指针始终保持与地心垂直的方向，而不受重力量角器外壳在铅垂面中转动角度的影响。所以当重力量角器的测角边转动角 α 度时，壳体上的零点也转动 α 角度，而指针不转动。使得我们很容易读出其数值。

重力量角器的优点是结构简单，携带方便，可以在机床上现场使用。缺点是只能在铅垂面内度量，不能在水平面内度量。

金属切削原理实验指示书

实验二 车削时的切削力

一、实验的目的及要求：

1. 掌握电感式车削测力仪的工作原理、仪器的调整及标定方法。并掌握仪器的正确使用技术。
2. 利用电感式车削测力仪分析研究车削时走刀量 f ，切削深度 t 对切削力的影响。
3. 用实验方法求出切削力的公式：

$$F_z = C_{Fz} a_p^{x_{Fz}} f^{y_{Fz}}$$

$$F_y = C_{Fy} a_p^{x_{Fy}} f^{y_{Fy}}$$

$$F_x = C_{Fx} a_p^{x_{Fx}} f^{y_{Fx}}$$

并求出式中的系数和指数值。

二、实验的设备及工具：

1. 设备：C620 万能车床。
2. 仪器：三向电感式车削测力仪。
3. 刀具：外园车刀（专用）。
4. 工具：游标卡尺及自备对数坐标纸，计算尺，三角板。
5. 试件：45# 中碳钢。

三、实验的基本原理及方法：

测力仪是研究切削动力学的重要工具，切削力的测定是研究机床刚度、振动、机械加工精确度，表面质量和刀具切削性能等的重要实验技术。本实验的目的是掌握测力仪的调整，标定及正确使用技术，并利用测力仪研究车削过程中切削力的主要规律。

1. 三向电感式测力仪的工作原理：

电感式测力仪的基本原理是：利用切削力变化时测力仪的弹性原件与电感式传感器间的空气间隙发生改变，从而使感应电流发生变化，通过电流值的测定来确定切削力的大小。

电感式测力仪由机械、电感传感器及电路三个部分组成。

(1) 机械部分：是由梁 1 组成的弹性系统，梁 1 用对称支承板 2、3、4、5 与仪器钢质外套相连接（图 1）。传感器 D_z 、 D_y 、 D_x 分别用螺纹紧固在黄铜管子接头及黄铜夹板 10、11 内。在调整好梁 1 和各传感器的间隙以后，用防松螺帽将传感器的位置固定。车刀是用螺钉 8 紧固在梁 1 的刀夹内。

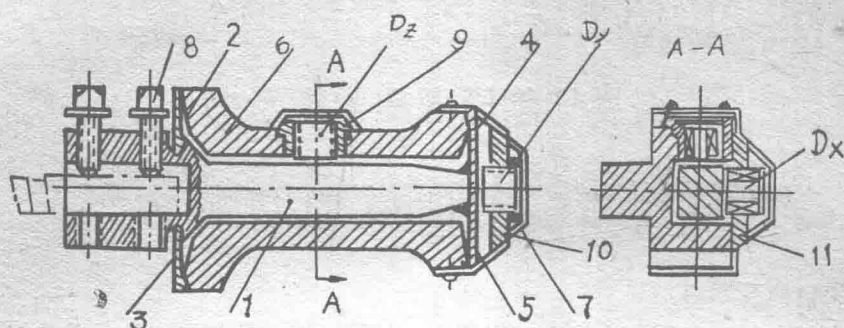


图 1 三向电感式测力仪的机械结构

在切削垂直分力 F_z 的作用下，梁 1 在垂直平面内发生弯曲（图 2a），其变形量 Δf_z 与 F_z 成正比，由电感式传感器 D_z 测量。

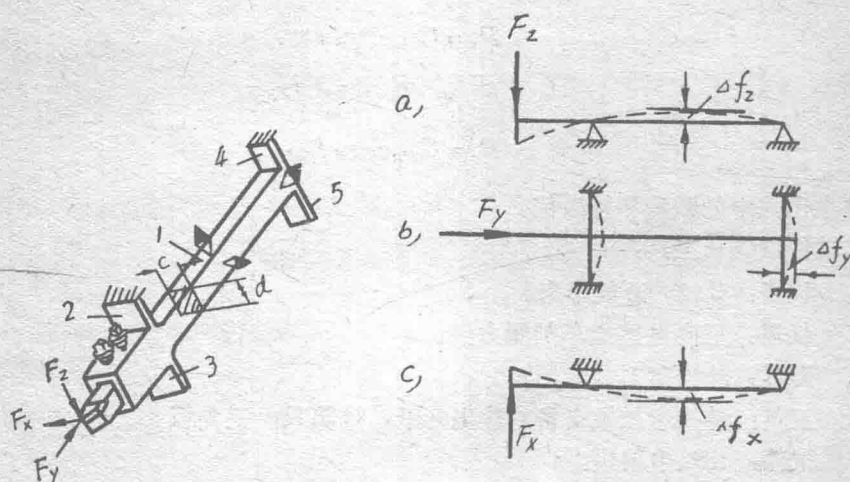


图 2 电感式测力仪受力变形情况

在切削径向分力 F_y 的作用下，支承板 2、3、4、5 象两端固定的梁一样发生弯曲（图 2b），其变形量 Δf_y 与 F_y 成正比，由传感器 D_y 测量。

在切削轴向分力 F_x 的作用下，使梁 1 在水平面内弯曲（图 2c），其变形量 Δf_x 与 F_x 成正比，由传感器 D_x 测得。

(2) 传感器部分：电感式传感器是由 III 型园环铁芯上绕有电感线圈组成（图 3）。

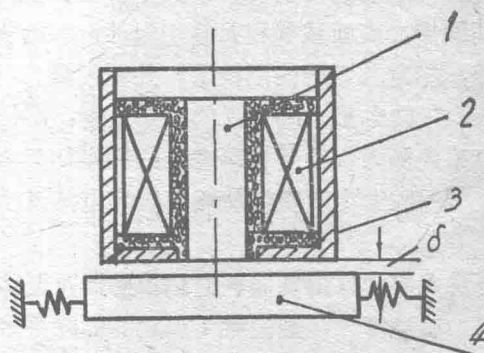


图 3 传感器示意图

1—铁芯 2—线圈 3—胶木架 4—弹性原件

电感线圈 L ，通以交流电使铁芯与弹性原件构成磁回路。在切削力作用下弹性原件变形后，间隙 δ 发生变化，引起线圈电感量的变化，其关系如下：

$$\text{电感量} \quad L = \frac{\psi}{I} = \frac{N\phi}{I} \quad (1)$$

式中： N ——线圈匝数， ϕ ——磁通量， I ——通过线圈电流。

$$\text{磁通量} \quad \phi = \frac{e_m}{R_m} = \frac{4\pi N I}{R_t + R_\delta} = \frac{4\pi N I}{R_t + \frac{\delta}{\mu_0 S_\delta}} \quad (2)$$

式中： e_m ——磁动势， R_t ——铁芯磁阻， R_δ ——气隙磁阻， μ_0 ——空气导磁率， S_δ ——气隙面积， δ ——气隙。

将 (2) 代入 (1) 式，则

$$\text{电感量} \quad L = \frac{4\pi N^2 I}{R_t + \frac{\delta}{\mu_0 S_\delta}} \quad (3)$$

由 (3) 式知：电感量随空气间隙 δ 的减小而增大，当切削力增大时，弹性原件发生变形，使传感器与弹性原件间的气隙 δ 减小，因而电感量 L 增加。

(3) 电路部分：

图 4 中，测力仪的电路包括三个分别测定 F_x ， F_y ， F_z 用的独立电桥。

每一电桥具有两个带感抗的桥臂，它们是绕在 III 形园环铁芯上的传感线圈。传感线圈 L_1 ， L_3 ， L_5 装在测力仪上完成传感器的作用；平衡线圈 L_2 ， L_4 ， L_6 装在测力仪的电测箱内，用作调整电桥平衡。

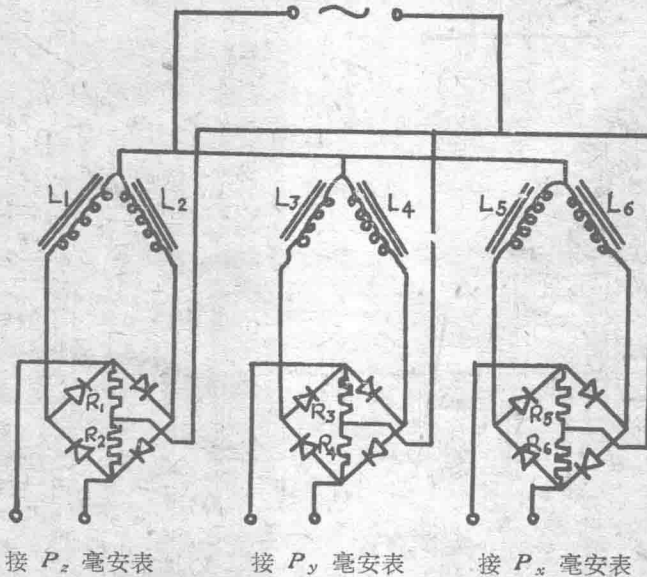


图 4 测力仪电路图

对测力仪的一个单向来说（以 P_z 向为例）， L_1 、 L_2 两个线圈与电阻 R_1 、 R_2 组成电桥系统。在测量前调整仪器时，调整平衡线圈间隙使 L_2 等于 L_1 ，电桥此时平衡，微安表读数为零。当切削时，切削力使弹性原件产生变形，改变了弹性原件与传感器 L_1 间的空气间隙，引起磁阻变化，使线圈电感量 L_1 发生变化，破坏了电桥的平衡，因此毫安表上就有输出电流通过。由于切削力的大小与空气间隙变化成正比，所以该电流值的大小，即反映了切削力的大小。由“切削力——毫安值”的关系曲线即可查出切削力的公斤数。

2. 测力仪的标定：

由电感式测力仪测得的读数为毫安值。为了将毫安值换算为切削力的公斤值，必须事先对测力仪进行标定，求出“切削力（公斤值）——毫安值”的关系曲线（即标定曲线）。

测力仪的标定工具是利用弹簧弓进行的。弹簧弓事先在压力机上进行标定，找出弹簧弓加载时的“加载——位移”曲线（图 5b），其标定装置如（图 5a）。

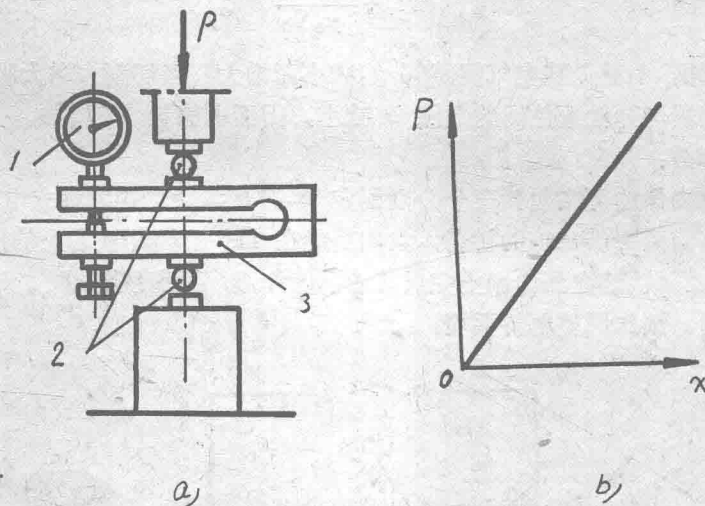


图 5 弹簧弓的标定

1. 百分表 2. 钢球 3. 弹簧弓

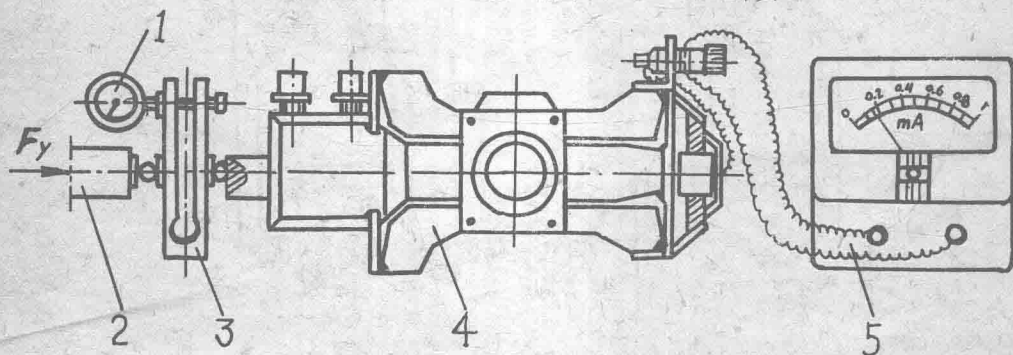


图 6 测力仪 P_y 项标定装置示意图

1. 百分表 2. 加载装置 3. 弹簧弓 4. 测力仪 5. 毫伏表

测力仪的标定采用单向加载进行，以 F_y 向标定为例，其装置如图 6 所示，当加载时，由弹簧弓的百分表上可以利用前述“加载——位移”曲线读出加载的公斤数，同时在毫安表上读出相应的毫安值。以加载公斤数为纵座标，以相应的毫安值为横座标，画出标定曲线。此标定曲线即为该测力使 F_y 向使用时的标定曲线。

同法可以作出 F_z 及 F_x 向的标定曲线。（如图 7）

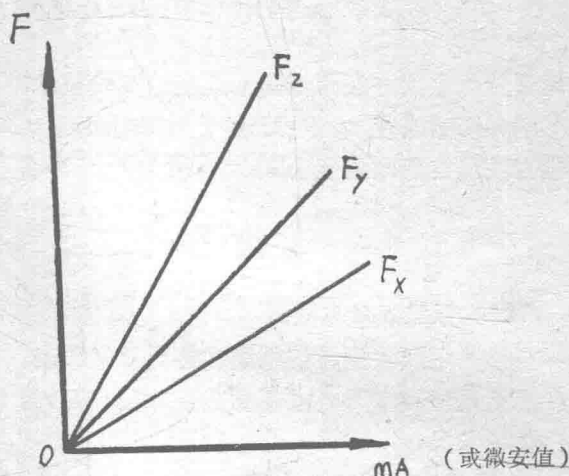


图 7 测力仪的标定曲线

四、实验进行的方法及步骤：

1. 熟悉三向电感式测力仪的结构原理，在标定装置上进行测力仪的标定，作出标定曲线。

2. 将试件、刀具、测量仪按要求安装妥善，接好线路，并经辅导教师检查。熟悉机床的各操纵手柄，注意有关保安事项。

3. 试验切深 a_p 对切削力的影响；

固定走刀量 f 及切削速度 v ，而依次改变切削深度 a_p 进行切削，记下所得之数据。

4. 试验走刀量 f 对切削力的影响：

固定切削深度 a_p 及切削速度 v ，而依次改变走刀量 f 进行切削，记下所得之数据。

五、实验数据整理：

在对数座标纸上作出 $\log F_z$ 、 $\log F_y$ 、 $\log F_x$ 与 $\log a_p$ 及 $\log f$ 的关系曲线（近似为一直线）。其斜率即为相应的切削力公式

$$F_z = C_{F_z} \cdot a_p^{x_{F_z}} \cdot f^{y_{F_z}}, \quad F_y = C_{F_y} \cdot a_p^{x_{F_y}} \cdot f^{y_{F_y}}, \quad F_x = C_{F_x} \cdot a_p^{x_{F_x}} \cdot f^{y_{F_x}}$$

中的指数值。在已画出的曲线上分别任取一组数值代入各自的公式，即可得出系数 C_{F_z} 、 C_{F_y} 和 C_{F_x} 的数值。

实验三 车削时的切削热

§ 1 实验的目的及要求:

1. 掌握用自然热电偶方法测量切削温度的实验技术。
2. 研究车削时切削速度 v , 走刀量 f , 切削深度 a_p 对切削温度的影响。
3. 用实验方法确定切削温度公式 $\sigma = C v^{\lambda} f^{\gamma} a_p^z$ 中各项系数及指数值。

§ 2 实验设备及工具

1. 设备: C620 万能螺丝车床。
2. 仪器: 自然热电偶法测量切削温度装置及毫伏表。
3. 刀具: 高速钢外圆车刀 (或硬质合金外圆车刀)。
4. 工具: 游标卡尺。
5. 试件: 45 号钢或铬钨锰合金钢。

§ 3 实验的基本原理和方法

切削热是切削过程的重要现象之一, 因而切削热的测量也是研究金属切削机理的一项重要实验技术。

热电偶法测量温度的基本原理是利用两种不同金属材料组成闭合电路, 如果在这两种金属的两个接点上温度有差异时 (通常温度高的接点端称为热端, 温度低的一端称为冷端), 在电路中将产生热电动势, 实验证明, 在一定温度范围内, 该热电势与温度具有某种线性关系。

用自然热电偶法测量切削温度时, 是利用刀具与工件作为热电偶的两极 (但刀具和被加工工件材料必须是不相同的, 且刀具和工件均与机床绝缘以消除寄生热电偶的影响), 当切削过程中产生高温时, 刀具刃口与工件表面接触处即形成热电偶的热端, 如在冷端处接入毫伏表或电位差计时, 即可测得该热电势的大小, 从而反映出刀具与工件接触处的平均温度, 整个测量装置如图 1 所示。

为了将测得的切削温度毫伏值换算成温度值, 必须事先对实验用的自然热电偶进行标定找出“毫伏值——温度”的关系曲线, 标定装置如图 2 所示。标定时取二根与刀具及工件材料完全相同的金属丝, 在其一端进行焊接后便组成一对被校热电偶, 然后将该被校热电偶与铂—铂铑丝组成标准热电偶放入管式炉内同一位置处, 以保证两个热电偶的热端温度相同, 与此同时将两个热电偶的冷端插入恒温的水槽内, 用导线把两个热电偶的冷端分别接到被校毫伏表及经过校准的标定电位计上, 升高炉温, 至某一定值, 在炉

温恒定后,记下被校毫伏表及标准电位计读数,由于标准电位计的“温度——毫伏值”的关系曲线是事先经过标定的,这样就可以获得被校热电偶及毫伏表的“温度——毫伏值”标定曲线(图3)。

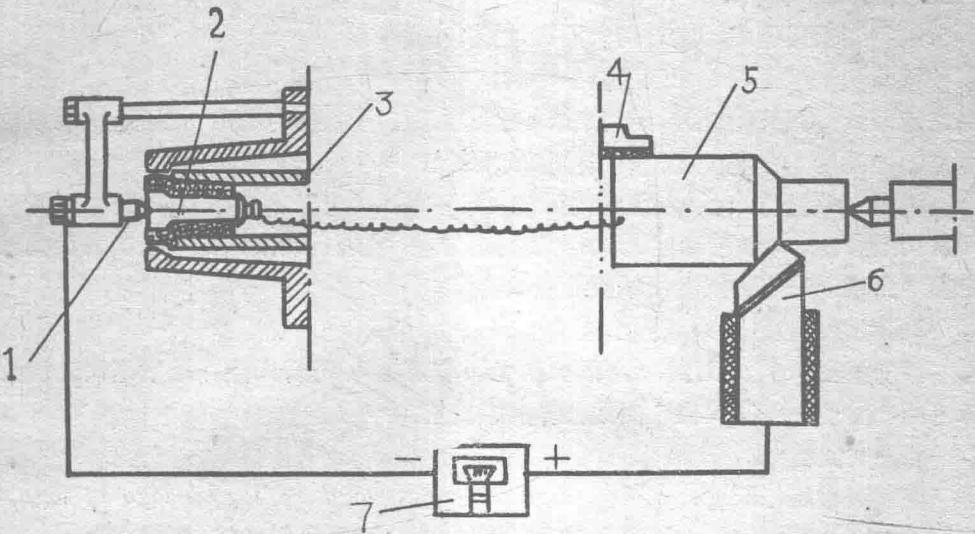


图 1 切削热测量装置

- 1.2 铜质导体 3. 主轴尾端 4. 三爪卡盘 5. 工件

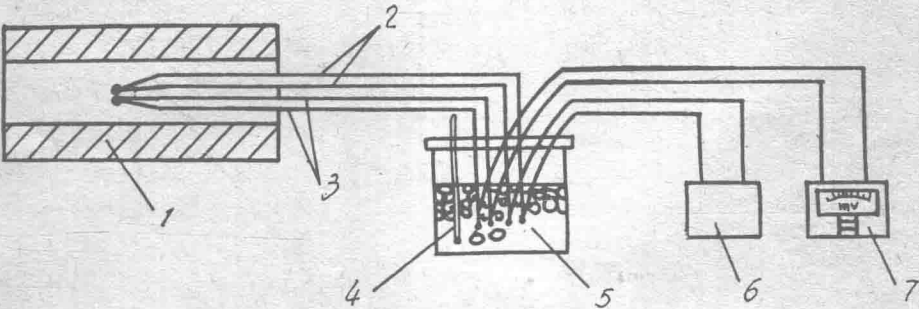


图 2 热电偶的标定

1. 管式炉 2. 标准热电偶 3. 被校热电偶 4. 温度计
5. 冰槽 6. 标准电位计 7. 被校毫伏表

§ 4 实验进行方法及步骤

1. 安装试件、刀具、接好线路并经辅导教师检查，熟悉机床的操作程度及有关保安事项。

2. 进行切削用量各要素对切削温度的影响试验：

① 试验切削深度对 t 切削温度的影响。

固定走刀量 f ，切削速度 v ，依次改变切削深度 a_p 进行切削，记下毫伏表读数并用已标定的“温度——毫伏值”曲线换算成温度值。

② 试验走刀量 f 对切削温度的影响。

固定切削深度 a_p ，切削速度 v 依次改变走刀量 S 进行切削，记下毫伏表读数并用标定的“温度——毫伏值”曲线换算成温度值。

③ 试验切削速度 v 对切削温度的影响。

固定切削深度 a_p ，走刀量 f ，依次改变切削速度 v 进行切削，记下毫伏表读数并用已标定的“温度——毫伏值”曲线换算成温度值。

3. 整理实验数据：

① 在双对数坐标纸上分别画出 $\log \theta$ 与 $\log v$ ， $\log \theta$ 与 $\log f$ ， $\log \theta$ 与 $\log a_p$ 的关系曲线。曲线的斜率即为切削温度 $\theta = C v^x f^y a_p^z$ 公式中的指数值 x ， y ， z 。

② 在已画出的曲线上任取三组实测温度值的数据，将实测时的 v ， S ， t 值代入下列公式：

$$C_1 = \frac{\theta_1}{v_1^x f_1^y a_{p1}^z},$$

$$C_2 = \frac{\theta_2}{v_2^x f_2^y a_{p2}^z},$$

$$C_3 = \frac{\theta_3}{v_3^x f_3^y a_{p3}^z},$$

中分别求得 C_1 ， C_2 ， C_3 值。三组的平均值 $\frac{C_1 + C_2 + C_3}{3}$ 即为公式 $\theta = C v^x f^y a_p^z$ 中的系数 C 值。

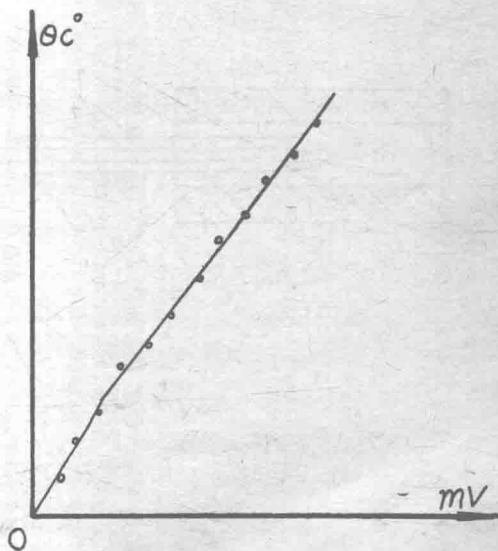


图 3 温度—毫伏值标定曲线

实验四 车刀的磨损及测定

§ 1 实验的目的及要求

1. 了解在正常切削条件下，车刀的磨损形态及磨损过程的特点。
2. 掌握检测车刀磨损的基本方法。
3. 确定刀具耐用度——切削速度 (v - V 曲线) 公式，并确定公式中的指数和常数。

§ 2 实验的设备及工具

1. 设备：装有无级变速系统的 C620 车床。
2. 仪器：刻度为 0.01 或 0.02 毫米的读数放大镜。
3. 刀具：高速钢（或硬质合金及氮化硅）外圆车刀。
4. 工具：游标卡尺。
5. 试件：45号钢、铬钨锰钢及经淬火的 T10A 钢。

§ 3 实验的基本原理及方法

刃磨良好的刀具，其切削部分应具有符合要求的各项几何参数以及表面光洁度。当进行切削时，由于切削产生的高温和压力以及其他各种物理、化学因素的作用，将使刀具逐渐丧失其合理的几何参数，这个过程即称为刀具的磨损过程。磨损趋于严重后会导致切削温度和切削力的急剧增加，从而使机床所消耗的功率增加、产生振动及噪音、加工表面质量及精度均随之下降，最终被迫使切削工作无法进行。因此必须对刀具的磨损情况进行严格控制。

测量刀具磨损的方法是多种多样的，在本实验中采用的是通过测量车刀主后面处磨损高度 VB 的大小，来达到控制车刀磨损程度的（见图 1 所示），随着切削工作的连续进行，车刀主后面上这一磨损高度 VB 将不断增加，通过用带有刻度的读数放大镜不断地观察并记录这一磨损高度递增的全部数据，并用直角坐标系来描绘这一磨损的全过程，可以获得如图 2 所示的刀具磨损曲线。

在典型的磨损曲线上，可以把整个磨损过程分成三个阶段：（1）初磨阶段；（2）正常磨损阶段；（3）骤磨阶段，由于刀具材料、切削条件等等的不同，具体的磨损曲线可能会有所差异。

为了合理地使用刀具，要严格控制刀具的最终磨损高度 VB 不超出规定的磨损限度。该磨损限度的具体数据将视实际情况而定，当发现刀具磨损已达到该值时即应停车换刀，当然在实际生产中很少有可能随时去观察刀具主后面处的磨损高度。因为这样做

是非常繁琐的，通用的方法是通过控制与上述磨损限度相应的切削总路程 Σl 或与之相当的切削总时间 t_m ，后者称为该刀具的耐用度。

刀具的磨损曲线可用来评比不同刀具材料切削性能的优劣以及被加工材料的可切削加工性，例如：在相同的切削条件下（即同样的切削用量，加工同样的材料），二种不同的刀具材料获得各自的磨损曲线如图 3 所示，则显然表明 B 类刀具材料其切削性能优于 A 类。

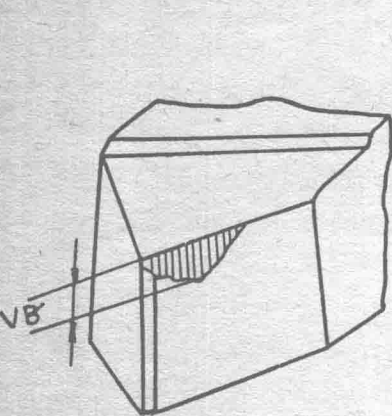


图 1 主后面处磨损高度 VB (毫米)

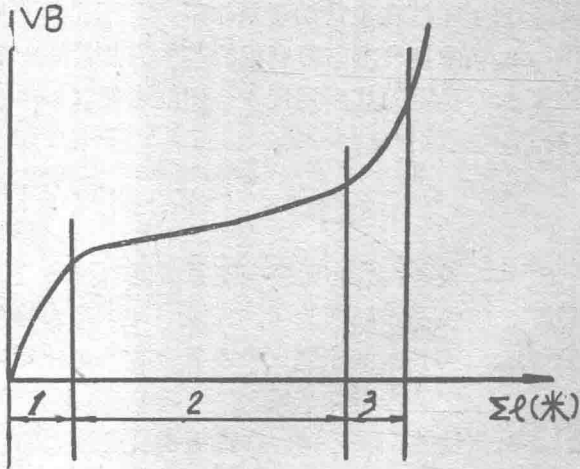


图 2 刀具的磨损曲线

1. 初磨阶段 2. 正常磨损阶段
3. 磨损阶段

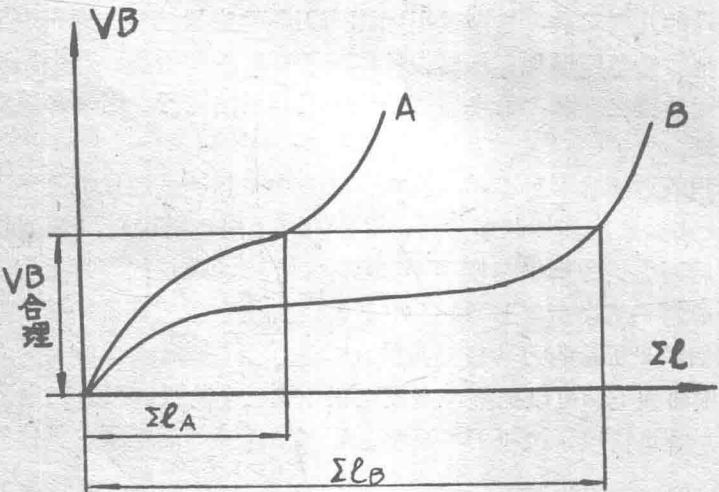


图 3 两种不同刀具材料的磨损曲线比较

更确切的评比方法是求得每种刀具材料在一定切削条件下的耐用度——切削速度 ($t-v$) 曲线并加以对比, 有关 $t-v$ 曲线的求法及其特征分析可参考有关教材, 此处从略, 仅将该 $t-v$ 曲线的数学表达式推荐如下供参考。

$$t = \frac{C}{v^x} \quad \text{或} \quad v = \frac{C^v}{t^y}$$

式中 t ——耐用度 (分) Cv : C ——常数项, x, y ——指数项,

§ 4 实验进行方法及步骤

1. 安装试件, 刀具并熟悉机床的操作程序。
2. 测出试件直径, 并根据给定的切削速度标出轴转速 (转/分) n , 按机床的主轴转速系列选与一计算的 n 值最接近的实际转速值, 然后再反算出实际的切削速度 v (米/分) 将此值填入报告书上, 在切削过程中应保持速度不变。
3. 按给定的数据调正走刀量 f (毫米/转) 及切深 a_p (毫米), 在整个试验过程中, 该两项数值始终固定不变。
4. 用带有刻度的读数放大镜仔细观察被试车刀其前、后面的形态及表面状况并加以记录。
5. 开动机床进行切削试验, 每切削一段长度 (毫米) 即停车卸刀观察其主后面的磨损高度 VB (毫米), 并将上述数据一一对应填入报告书的有关表格内, 直至车刀磨损至规定的磨损限度, 方停止试验。
6. 整理全部数据并在座标纸上画出磨损曲线。
7. 更换另一种刀具材料并重复上述试验过程, 确定另一组相应的数据及磨损曲线。
8. 对比这两种刀具材料的磨损曲线并作出相应的结论。
- 9* 综合 3—4 组不同切削速度下的磨损曲线数据, 求得二种刀具材料的 $t-v$ 曲线。

*注: 步骤 9 的内容可灵活安排, 不是必做内容。