

金属切削原理 机械制造工艺实验指导书

韩遂太 高瑞棉

焦作矿院机制实验室

目 录

实验一	切屑变形实验·····	1
实验二	车削力的测定及经验公式的建立·····	3
实验三	刀具磨损及“V-T”关系的确定·····	8
实验四	镗杆的自激振动及其消振·····	13
实验五	加工精度的统计分析·····	17
实验六	机床静刚度实验·····	21

实验一 切屑变形实验

一、目的与要求

- 1、了解切屑变形的测量方法。
- 2、研究几个主要因素 (v 、 f 、 γ_0) 对切削层变形的影响规律。

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,用切屑变形前后长度或厚度的变化测量变形系数是测试切削层变形的常用的方法之一。

(一)、变形系数 ξ 的长度测量法

测量变形系数 ξ 可以在车床、刨床或铣床上进行实验,如图 1-1 所示。

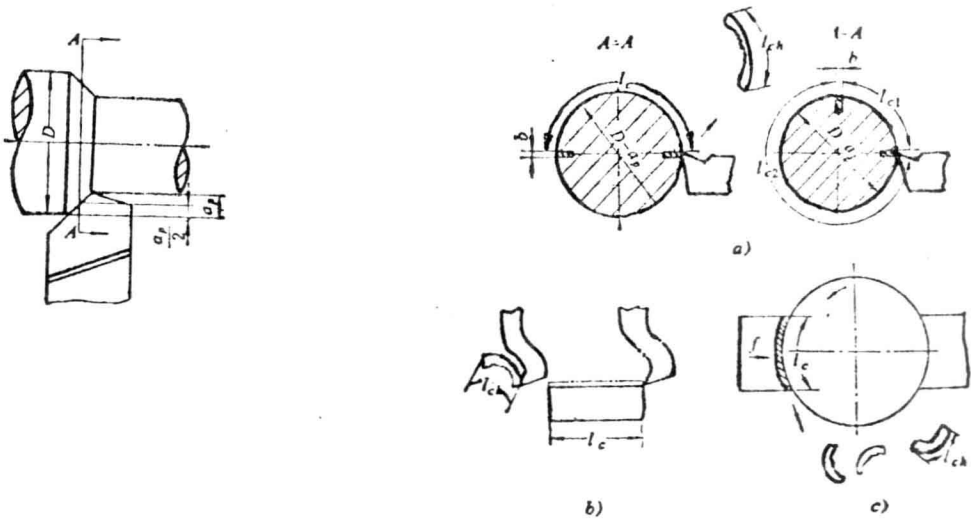


图 1-1 变形系数 ξ 实验示意图

a) 在车床上 b) 在刨床上 c) 在铣床上

在车床上进行切削实验时,为了获得形成切屑前的原始长度 L_c ,在试件上开有两个或一个窄槽(槽宽约为 $2 \sim 4 \text{ mm}$),槽内浇锡或紧紧嵌入铜片,见图 a)。切削时,试件每转一转,就从试件上切下两段或一段切屑。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_c 为

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

式中 b ——窄槽宽度。

若为不对称槽，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。

切下的切屑长度 L_{ch} 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_{ch} 。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_{ch} ，按公式

$$\xi = \frac{L_c}{L_{ch}}$$

计算出变形系数 ξ 。

（二）、研究各因素（ γ_0 、 f 、 v ）对变形系数的影响

（1）前角 γ_0 对变形系数 ξ 的影响

固定切削速度 $v = 15 \sim 40 \text{ m/min}$ （采用高速钢刀具）或 $v = 60 \sim 100 \text{ m/min}$ （采用硬质合金刀具）、切削深度 $a_p = 1 \sim 3 \text{ mm}$ ，进给量 $f = 0.2 \sim 0.4 \text{ mm/r}$ ，依次变更前角 $\gamma_0 = 0^\circ \sim 25^\circ$ ，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 $v = 15 \sim 40 \text{ m/min}$ （采用高速钢刀具）或 $v = 60 \sim 100 \text{ m/min}$ （采用硬质合金刀具），切削深度 $a_p = 1 \sim 3 \text{ mm}$ ，前角 $\gamma_0 = 10^\circ \sim 15^\circ$ 。

依次变更进给量 $f = 0.1 \sim 0.8 \text{ mm/r}$ ，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 $a_p = 1 \sim 3 \text{ mm}$ ，进给量 $f = 0.2 \sim 0.4 \text{ mm/r}$ ，前角 $\gamma_0 = 10^\circ \sim 15^\circ$ 。

依次变更切削速度 $v = 20 \sim 120 \text{ m/min}$ ，取4~6个速度值。

三、实验报告

1、列表填入实验记录，计算各种条件下的变形系数 ξ 。

2、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，绘出实验曲线，找出各因素对切削层变形的影响规律。

3、讨论：

①、为什么 γ_0 增大时，变形系数 ξ 会减小？

②、分析 $\xi - v$ 曲线，在切削碳钢时为什么会出现驼峰？

实验二 车削力的测定及经验公式的建立

一、目的与要求

- 1、了解车削测力仪的工作原理及测力方法。
- 2、掌握切削深度 a_p 、进给量 f 等对车削力的影响规律。
- 3、通过实验数据的处理，建立主车削力 F_z 的经验公式。

二、测量原理与实验方法

测量切削力的主要工具之一是测力仪。测力仪的种类很多，有机械式测力仪、油压式测力仪和电测力仪。目前使用较多的是电测力仪。电测力仪又有电阻应变式、电感式、电容式和压电式等，其中以电阻应变式及压电式使用的较多。

(一) 电阻应变式测力仪的工作原理

图 2—1 为几种不同结构形式的八角环形电阻应变式车削测力仪。

就电阻应变式测力仪而言，尽管种类繁多，结构各异，但其工作原理是一样的，即

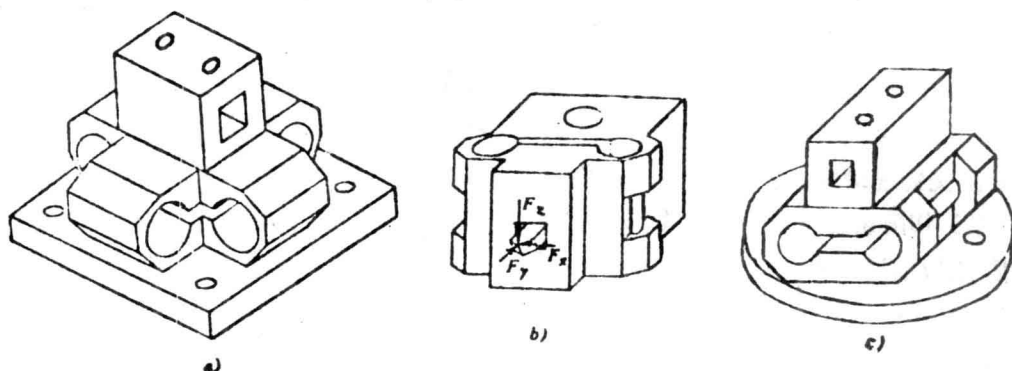


图 2—1 八角环形电阻应变式车削测力仪
a) 交叉式 b) 卧式双环 c) 立式双环

在测力仪弹性元件的适当位置粘贴着具有一定电阻值 R 的电阻应变片，并将其联成电桥，切削时，弹性元件受力变形，于是紧粘在其上的电阻应变片也随之变形，电阻值 R 发生了变化 ($R \pm \Delta R$)。当应变片受拉伸变形时，电阻丝直径变细，电阻增大 ($R + \Delta R$)，当应变片受压缩变形时，电阻丝直径变粗，电阻减小 ($R - \Delta R$)，从而电桥有电压（或电流）输出。但由于电阻应变片的电阻变化很小，所以一般还必须经过电阻应变仪放大，然后由记录仪器记录，再根据标定曲线的换算，就能求得切削力的数值。

图 2—2 为由电阻应变片所组成的电桥， R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 分别为四个电桥桥臂的电阻。当 A、C 端加以一定的桥压 U 时，则 B、D 端的输出电压 ΔU 由下式求得

$$\Delta U = U \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \quad (2-1)$$

由式(2-1)可知, 当 $R_1 R_3 = R_2 R_4$ 时, 电桥输出电压 $\Delta U = 0$, 即电桥处于平衡, 这就是在进行切削实验前必须进行的电桥平衡的调节工作。

在切削力作用下, 应变片的电阻发生变化, 破坏了电桥的平衡。若 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 分别产生 ΔR_1 、 ΔR_2 、 ΔR_3 、 ΔR_4 的电阻变化。则由式(2-1)电桥的输出电压为:

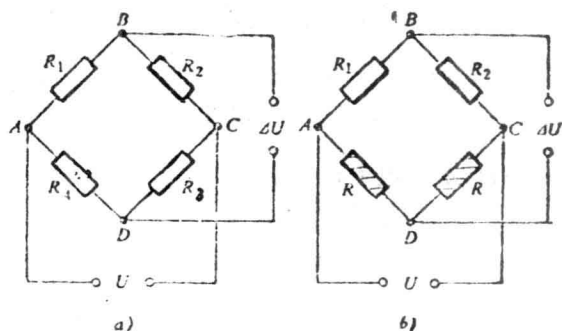


图 2-2 电阻应变片组成的电桥
a) 等臂全桥 b) 卧式半桥

$$\Delta U = U \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \quad (2-2)$$

由式(2-2)可以看到电桥的一个重要性质。当电桥相邻两臂有符号相同的电阻变化时, 电桥输出电压为两臂电阻变化相减的结果; 当电桥相对两臂有符号相同的电阻变化时, 电桥输出电压为两臂电阻变化相加的结果。因此, 在测力仪接桥时, 为使电桥有较大的输出, 则应使电桥相邻两臂有符号相反的电阻变化, 而相对两臂有符号相同的电阻变化。这就是测力仪的布片与接桥原则。

测力仪常用的电桥有等臂全桥(电桥由四个工作臂组成, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$)及半桥(电桥由两个工作臂加上两个固定电阻组成, $R_1 = R_2 = R$), 如图2-2所示。由式(2-2), 两种电桥的输出电压为:

$$\text{全桥:} \quad \Delta U = \frac{U}{4R} (\Delta R_1 - \Delta R_2 + \Delta R_3 - \Delta R_4) \quad (2-3)$$

$$\text{半桥:} \quad \Delta U = \frac{U}{4R} (\Delta R_1 - \Delta R_2) \quad (2-4)$$

比较式(2-3)与(2-4)可知, 当 $\Delta R_1 = \Delta R_3 = +\Delta R$, $\Delta R_2 = \Delta R_4 = -\Delta R$ 时, 全桥的输出为半桥的两倍, 也即全桥的灵敏度为半桥的两倍。

测力仪的布片与接桥, 还应考虑尽可能的消除三个分力间的相互干扰(相间干扰), 即每一个电桥的输出电压仅与被测的切削分力有关, 而其他两切削分力的作用不引起电桥输出电压的变化。为此, 在布片与接桥时, 还应使被测切削分力以外的其他两分力作用时, 对被测切削分力的电阻应变片所产生的电阻变化, 在电桥中相互抵消, 即所谓电补偿方法。

消除分力间相互干扰的方法, 也可以使用补偿器或通过标定公式消除。

使用电阻应变式测力仪测力时, 测量系统框图如图2-3所示。

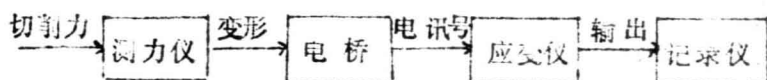


图 2-3 切削力的测量系统框图

(三) 压电式测力仪

压电式测力仪的工作原理是基于石英晶体的正压电效应。当晶体受力作用时，产生变形，从而在晶体表面上产生电荷，所产生的电荷量与外力大小成正比，这种现象称为压电效应。由于石英晶体在切片时的方位不同，有纵向效应与切向效应之分。纵向效应的石英晶片，只有当力垂直作用于石英晶片的表面时，才有电荷产生。而切向效应的石英晶片，只有当力沿着灵敏轴方向切于石英晶片的表面时，才有电荷产生。

单向压电晶体传感器（图 2-4 a）是由两片纵向效应的石英晶片组成，只能测量垂直于传感器表面的作用力。三向压电晶体传感器（图 2-4 b）是由三组石英晶片组成，其中测量 F_z 力的一组是由二片纵向效应的石英晶片组成，而测量 F_y 及 F_x 力的二组都是由二片切向效应的石英晶片组成，但两组石英晶片的灵敏轴方向互成 90° ，因此，当空间任意方向的力作用于传感器上时，就能自动的将作用力分解为三个相互垂直的分力。

压电式测力仪由于刚性好、灵敏度高，且可以测量动态切削力，因此应用逐渐增多。

使用压电式测力仪测力时，测量系统框图如图 2-5 所示。

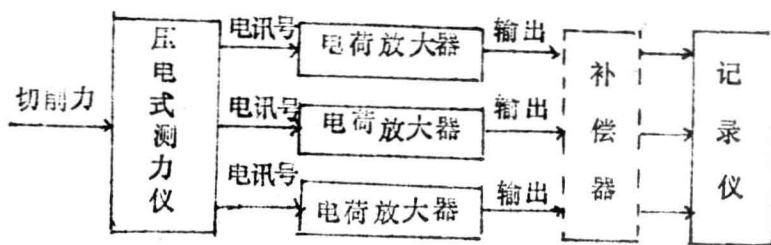


图 2-5 压电式测力仪测力系统框图

(三) 测力仪的静态标定原理

测力仪的标定，本实验可以不做，但标定常数或标定公式应事先做好给出。标定原理如下：

电阻应变仪是用于测量弹性元件受力后所产生的应变，单位为微应变（ $\mu\epsilon$ ）（如

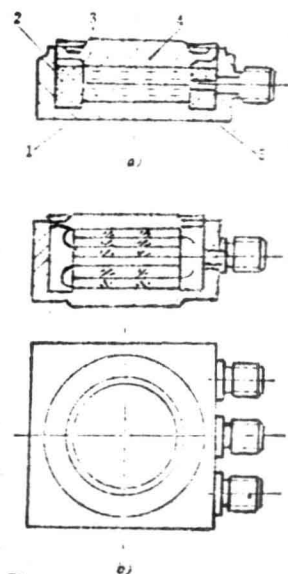


图 2-4 压电式传感器

a) 单向 b) 三向
1—电极 2—绝缘件 3—晶片
4—上盖 5—基座

YJD-1 型应变仪可以直接读得)。当配用示波器进行记录时, 读数为光点的位移距离, 单位为毫米 (mm), 可以通过应变仪的电标定, 将其换算成 $\mu\epsilon$ 单位。但 $\mu\epsilon$ 仍不是切削力的单位, 所以标定的目的就是要画出 N (或 kgf) - $\mu\epsilon$ 关系曲线, 即标定曲线。根据此标定曲线, 就可以将实验所得数据换算成力的单位 N (或 kgf)。

标定时, 将测力仪安装在专用的标定装置上或者安装在可以实现三个相互垂直方向加载的机床上。标定时所使用的仪器和状态应保持同切削实验时相同, 只是将车刀换为标定刀杆, 以便加载。首先进行电标定, 求出记录仪读数与应变量的关系, 即由应变仪给出某一标准应变变量, 记下记录仪的读数, 从而可求得单位读数所代表的应变变量, 也即求出电标定常数 k_z 、 k_y 、 k_x (单位为 $\mu\epsilon/mm$ 或 $\mu\epsilon/mv$)。然后进行加载标定, 把应变变量换算成力的大小。即用测力环 (或压力机或法码等) 分别对 F_z 向、 F_y 向、和 F_x 向逐渐加载, 记下加载值与相应的读数, 将该数乘以电标定常数 k 化成 $\mu\epsilon$ 单位, 就可绘出 N (或 kgf) - $\mu\epsilon$ 标定曲线, 如图 2-6 所示。

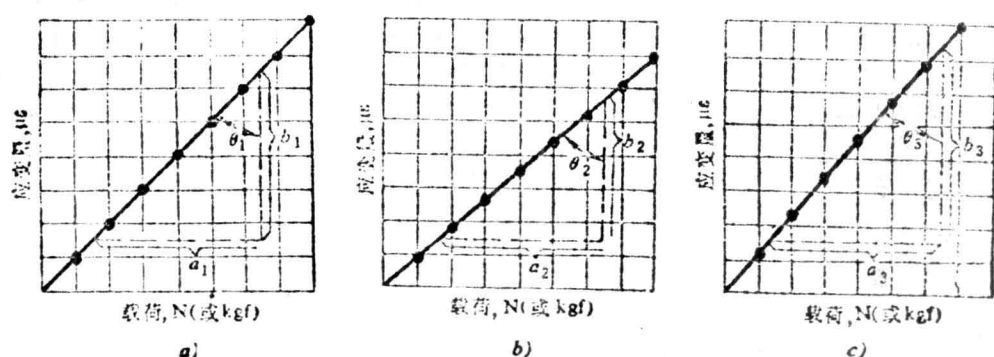


图 2-6 标定曲线

a) F_z 向标定曲线 b) F_y 向标定曲线 c) F_x 向标定曲线

性能较好的测力仪, 载荷与应变之间呈线性关系, 且力间相互干扰很小, 可以忽略不计。这时可由标定曲线求得标定常数 K_z 、 K_y 、 K_x (即标定曲线的斜率), 单位为 $N/\mu\epsilon$ (或 $kgf/\mu\epsilon$)。

$$\left. \begin{aligned} K_z &= \operatorname{tg} \theta_1 = \frac{a_1}{b_1} \\ K_y &= \operatorname{tg} \theta_2 = \frac{a_2}{b_2} \\ K_x &= \operatorname{tg} \theta_3 = \frac{a_3}{b_3} \end{aligned} \right\} \quad (2-5)$$

(四) 实验方法

1、将测力仪安装在专用的标定装置上或者安装在可以实现三个相互垂直方向加载的机床上 (如万能铣床), 进行测力仪的静态标定, 绘出标定曲线, 并由标定曲线求得标定常数。

2、在普通车床上安装工件、测力仪及车刀。注意刀尖伸出长度应与标定时一致。熟悉机床操作手柄及操作方法。注意安全事项。

3、按测量系统框图连线。

4、熟悉电阻应变仪和光线示波器的使用方法，并进行电桥平衡调节和记录仪使用前的调整。

5、用单因素法进行切削实验，将实验数据记入下表。

机 床		测 力 仪	
应变仪		测 力 仪 的	$K_x = \quad \text{kg f} / \mu\text{E}$
		标 定 常 数	$K_y = \quad \text{kg f} / \mu\text{E}$
记录仪			$K_z = \quad \text{kg f} / \mu\text{E}$
$D =$	$n =$	$v =$	刀尖伸出长度 =
切削深度 (mm)	进 给 量 (mm)	记录仪读数 (mm)	主切削力 F_z (kg f)
2.5			
2			
1.5			
1			
0.5			
	0.1		
	0.15		
	0.2		
	0.25		
	0.3		

三、实验数据的处理与经验公式的建立

1、将表中实验数据分别点在双对数坐标纸上，并用直线连接之（使各实验点大约均布在该直线上下），得出 $F_z - a_p$ 和 $F_z - f$ 线图。

2、分别求出两直线的斜率和截距。

3、建立切削力经验公式。

4、讨论以下问题：

①由实验结果，分析切削用量 a_p 、 f 等对主车削力的影响规律，并解释其原因。

②欲使单位时间金属切除量增加一倍（其它条件保持不变），从有利于切削力的观点出发，将 a_p 或 f 增大一倍，何者恰当？为什么？

③有哪些因素会导致本实验的误差？你对本实验有何改进意见。

实验三 刀具磨损及“ $v - T$ ”关系的确定

一、目的与要求

- 1、通过实验加深对于正常磨损形态及磨损规律的认识。
- 2、掌握测量刀具磨损的基本方法，绘制刀具磨损样品的磨损形态图。
- 3、作出1~2条磨损曲线，建立“ $v - T$ ”关系公式。

二、测量原理与实验方法

刀具磨损是金属切削过程中一种不可避免的现象。随着切削的进行，刀具将发生磨损并不断扩展，而且刀具的前刀面和后刀面都会产生磨损。

(一) 刀具磨损的测量方法

1、前刀面磨损(月牙洼)的测量

通常以月牙洼深度KT表示前刀面磨损程度，月牙洼深度可用光切法、轮廓仪和千分表等测量。

(1) 用光切法测月牙洼深度KT

图3-1为用光切法测量月牙洼深度的原理示意图。测量时，将刀具垫至前刀面平行于载物台面，然后调整显微镜至目镜中月牙洼图象清晰，便可测读KT值。

(2) 用轮廓仪测月牙洼深度KT

图3-2为轮廓仪工作原理图。测量时先将刀具垫至前刀面平行于载物台面，然后移动测量头，金刚石触头将沿月牙洼底部上下运动，使差动变压器输出信号，此信号经过放大，带动显示仪表或记录仪，便可将月牙洼深度值KT显示出来。如果把测量头的移动也输至记录仪，则可将月牙洼的断面形状在记录纸上绘出来。

(3) 用千分表测月牙洼深度KT

测量前，应将刀具垫至前刀面与千分表测量杆轴线相垂直。测量时，先将测量头与前刀面未磨损部位接触，将表调零，再移动刀具使千分表测量头对在月牙洼底部最深处，此时表针指示的数值即月牙洼深度KT(图3-3a)。通常月牙洼宽度不大，且表面常有金属粘附，为保证测量的精确性，千分表测量头直径应不大于0.2mm。普通千分表测量头直径太大(大于1mm)，不宜直接使用。在无小直径测量头千分表时，可在普通千分表测量杆上加一外套，外套触头直径做成0.2mm(如图3-3b)。

除了测量月牙洼深度KT外，有时还需要测量月牙洼宽度及月牙洼位置。月牙洼宽

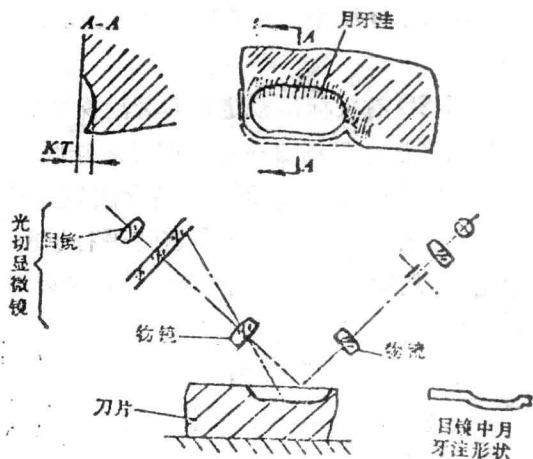


图3-1 用光切法测月牙洼深度

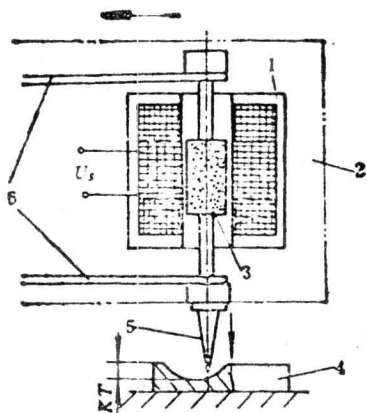


图 3-2 轮廓仪工作原理示意图

1—差动变压器 2—测量头 3—可动芯部
4—刀片 5—金刚石测头 6—板簧

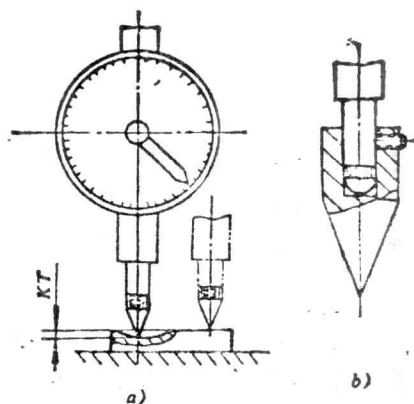


图 3-3 用千分表测量月牙洼深度

度KB和月牙洼中心距KM可用显微镜测量。测量方法可参看后面介绍的后刀面磨损测量方法。

I SO 有关标准规定，月牙洼深度 K_T 应测成 B 区（见图 3—4）中月牙洼底部和原始前刀面间的最大距离；月牙洼宽度 K_B 和月牙洼中心距 K_M 应沿 B 区内平行于前刀面的平面中主刀刃的法向测量，均以原始刀刃位置作为测量基线。

2、后刀面磨损的测量

图 3-4 是刀具磨损形态图。整个后刀面磨损带根据特点可分为如图所示的三个区域，C 区是刀尖附近曲线部分；N 区为

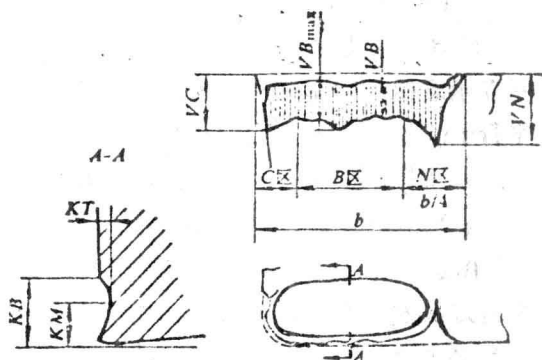


图 3-4 车刀磨损形态

边界磨损区,其范围为磨损带长度 b 的 $1/4$; 中间部分 B 区,在多数情况下磨损带宽度比较均匀。根据 ISO 标准规定,后刀面磨损带宽度 VB 应在 B 区部分的切削平面中刀刃的法向测量。

后刀面磨损可以用刻度值为0.01mm或0.02mm的显微镜测量,测量方法如图3-5所示。

测量时,将被测刀具置于适当位置(使显微镜物镜轴线与刀具切削平面垂直),调节物距,使成象清晰,转动载物台,使主刀刃与目镜中十字线的一条线相重合,然后移动载物台,使磨损带的另一边与十字线重合,载物台移动的距离就是磨损带宽度 VB 。

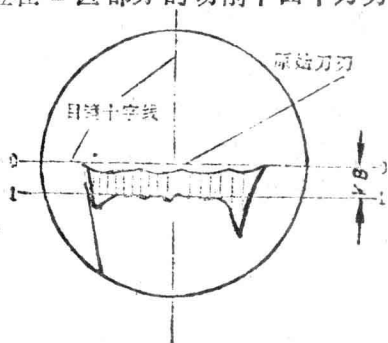


图 3-5 后刀面磨损的测量

置已发生变化(见图3—5)。因此,在调节显微镜时,应以未参加切削的那部分刀刃作为基线。

磨损带的另一边并非一条整齐的直线,存在许多高低不同的“峰”与“谷”,测量时,十字线应对在平均高度上。由于这种读数的主观影响较明显,故在多点读数时(如作磨损曲线时),应由同一人完成,以减少误差。

(二) 绘制磨损形态图

通过显微镜观察并测量2~3把刀具磨损样品的磨损形态及磨损量,把观察的磨损形态绘制出来,并标出有关尺寸,前刀面应标出月牙洼宽度 KB ,月牙洼中心距 KM 和月牙洼深度 KT ;后刀面应标出磨损带宽度 VB ,边界磨损 VN 和刀尖磨损 VC 。各种形态图均应标明切削条件(刀具材料与几何参数,工件材料及硬度以及切削用量等)。

(三) 绘制磨损曲线

表示刀具磨损量与切削时间(或切削路程)之间关系的曲线称作磨损曲线。图3—6为车刀的典型磨损曲线。磨损曲线是实验曲线,它是在一定条件下进行切削,把切削时间与相应的刀具磨损量画在直角坐标上,连接各测量点而得到的。

磨损量可以用月牙洼深度 KT 表示,也可以用后刀面磨损宽度 VB 表示,它们表现出的磨损规律是相同的。由于测量后刀面磨损比较容易,故磨损曲线常用后刀面磨损带宽度 VB 作为一个参数。

由于目前尚无较完善的办法在连续切削状态下测定刀具的磨损量,一般都用逐点停车测量的办法来作磨损曲线实验,即切削一定时间(以秒表计时),测量一个刀具磨损值,再切一段时间,再测一个刀具磨损值,直至刀具磨损值达到预定大小为止。

由图3—6可以看出,磨损过程各阶段的磨损速率不一样,因而各测量点的时间间隔应取不同大小。在初磨阶段,磨损发展较快,时间间隔应取得小些,具体大小应视刀具、试件的材料性质及切削用量而定,用YT5刀具切削45号钢时,初磨阶段时间间隔以5~15s为宜;正常磨损阶段磨损速率较低,时间间隔应取大些,这不仅可以减少实验点数,而且测读的精度也高些,一般可取1~6min;急剧磨损阶段磨损增长很快,要注意异常现象,时间间隔应取小些,具体可参考初磨阶段所取大小。由于此阶段磨损量增长很快,总磨损量也较大,刀具材料的消耗和刀具重磨时间增加很多,因此实验时,只要能看出急剧磨损阶段的趋势即可。

在作一条磨损曲线的全部实验过程中,应该保持实验状态不变。实验时,在试件上切除一层金属往往不能完成整条曲线,而需要切除两层甚至更多层金属才能完成实验。因此车床必须采用无级变速装置,以保证整个实验中切削速度恒定。

在没有无级变速车床的情况下,可在铣床上以蜗轮方式作此实验,可以满足实验中切削速度不变的要求。

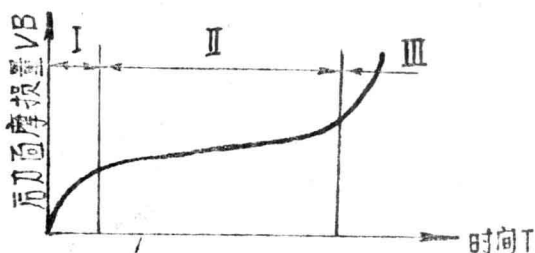


图3—6 车刀的典型磨损曲线

如在铣床上作此实验, 改变切削速度时, 应注意保证各挡速度下的每齿进给量一致。实验时, 磨损测量最好在机床上进行, 这样可以减少实验对刀的辅助时间以及多次装刀带来的实验误差。图 3-7 为在铣床上测量刀具磨损装置的示意图。

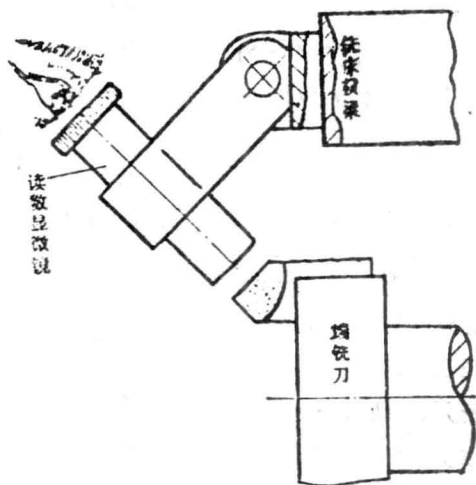


图 3-7 铣床刀具磨损测量装置示意图

利用磨损曲线, 可以确定一定切削条件下的刀具耐用度 (见图 3-8)。其方法是, 作出磨损曲线后, 在纵坐标轴上量取规定的磨钝标准, 过此点作横坐标轴的平行线, 此平行线交磨损曲线于 M 点, 交点 M 的横坐标值就是所求的刀具耐用度。为保证一定的精度, 按规定, 曲线在达到磨钝标准前, 至少有五个实验点。

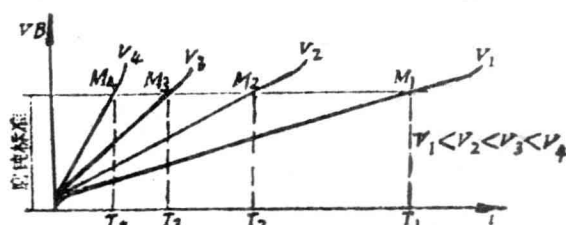


图 3-8 不同切削速度下的磨损曲线

按 ISO 标准规定, 如后刀面磨损带比较均匀, 磨钝标准取 $VB = 0.3\text{mm}$; 若磨损带极不均匀, 则磨钝标准取最大磨损宽度 $VB_{max} = 0.6\text{mm}$ 。

若以月牙洼深度 KT 作为磨损参数, 则磨钝标准取 $KT = 0.06 + 0.3 f\text{mm}$ 。

关于刀具耐用度试验的切削条件, 应按 ISO 标准中的有关规定。本实验由于教学时数限制, 为保证在规定时间内完成实验任务, 选择的切削条件与 ISO 标准的规定有所不同。推荐选用以下切削条件。

刀具材料: YT5, 工件材料: 45 钢

工件直径: 不小于 100mm ,

切削速度: 车削 $v_{max} < 150\text{m/min}$

端铣 $v_{max} \approx 350\text{m/min}$

进给量: $f = 0.1\text{mm/r}$, $a_f = 0.1\text{mm/z}$

切削深度: 车削 $a_p \geq 1\text{mm}$

端铣 $a_p \geq 2\text{mm}$

三、实验数据处理与 $v - T$ 关系的确定

切削用量诸参数中以切削速度对刀具磨损的影响最大, 因而确定切削速度与刀具耐用度之间的关系具有实用意义。

以不同的切削速度 (其它切削条件保持不变) 进行切削, 可以得到一组磨损曲线 (图 3-8)。根据规定的磨钝标准可以求出相应于每一切削速度 v_i 下的刀具耐用度 T_i 。这样便可得到几组数据 $T_1 v_1, T_2 v_2, \dots, T_n v_n$ 。将这些数据标在双对数坐标纸上,

连接各点便可得到一条表示切削速度与刀具耐用度之间关系的 $v - T$ 曲线。这是一条直线（图 3-9），由此直线可以得到下列方程式：

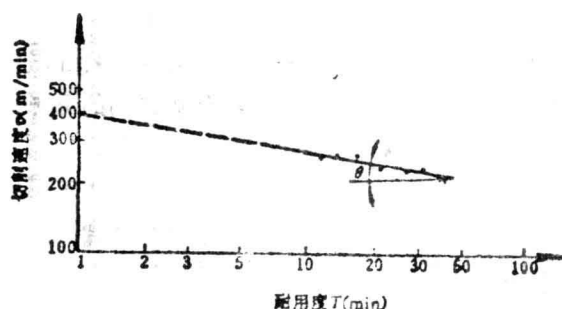


图 3-9 $v - T$ 曲线

$$\lg v = -m \lg T + \lg C_v \quad (3-1)$$

式中， m 为斜率 $m = \operatorname{tg} \theta$ ， C_v 为 $T = 1$ 时的切削速度 v 值。

θ 与 C_v 均可按图实测得出。

对式 (3-1) 等号两边取反对数，便可得到反映 $v - T$ 关系的泰勒公式：

$$v = C_v / T^m \quad (3-2)$$

为了保证 $v - T$ 曲线有必要的准确性，要作 4~6 条磨损曲线。由于作磨损曲线实验很费时间，每组同学可根据课时情况作 1~2 条磨损曲线，再利用其他组同学做的 4~5 条实验曲线（各组实验曲线的切削条件只能切削速度不同，其它条件均应一样）便可作出 $v - T$ 曲线。

四、实验报告内容

- 1、绘制所观察刀具的磨损形态（应标明每种形态的切削条件）。
- 2、列表记录磨损曲线的实验数据，经处理建立“ $v - T$ ”公式。
- 3、分析讨论实验结果。

实验四 镗杆的自激振动及其消振

一、实验目的与要求

- 1、通过实验，进一步加深理解机械加工过程中产生自激振动的“模态耦合”机理。
- 2、比较镗刀杆加消振块与不加消振块对自激振动的影响以及消振块与镗杆孔不同间隙的消振效果。

二、实验主要设备和仪器

- | | |
|---------------------------------|-----|
| 1、C620-1B 普通车床 | 1 台 |
| 2、圆截面镗杆，消振镗杆，削扁镗杆（可改变削扁方位）各 1 根 | |
| 安装镗杆的专用刀架 | 1 个 |
| 3、Y6D-3A 型动态电阻应变仪 | 1 台 |
| 4、SC16A 型光线示波器 | 1 台 |
| 5、电子示波器 | 1 台 |

三、实验原理

1、“模态耦合”原理

该理论认为，车刀与工件的相对运动，是以质量耦合的形式，在两个方向上，相互关联的振动的组合（二个自由度的振动）。振动时，刀具与工件相对运动的轨迹，是按顺时针方向的椭圆形。维持振动的能量，仅取决于切削截面的大小变化，而与振动速度无关。如图 4-1 所示，刀尖由 A 点经 C 点到 B 点，再由 B 点经 D 点到 A 点，切入时 $A \rightarrow C \rightarrow B$ ，

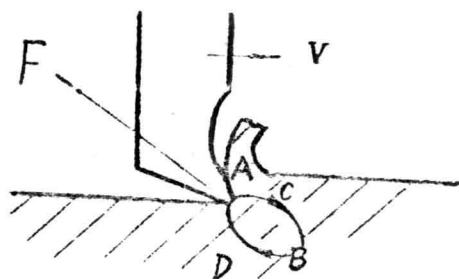


图 4-1 刀尖振动的轨迹

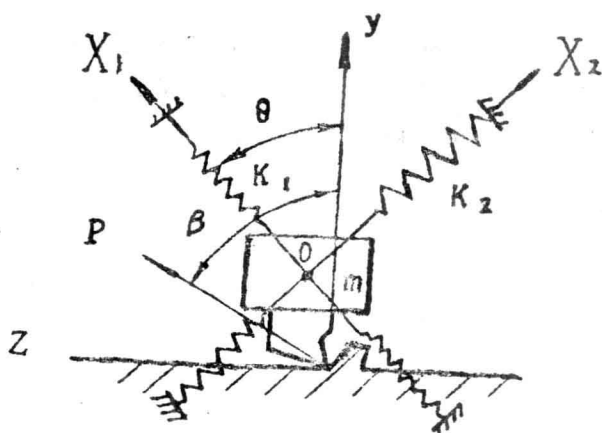


图 4-2 二自由度振动力学模型

切深较小，切出时 $B \rightarrow C \rightarrow A$ ，切深较大，由于切深的变化，引起了切削力的变化。当刀尖沿切削力 F 同方向（ $B \rightarrow D \rightarrow A$ ）移动时，比刀尖沿与切削力 F 相反方向（ $A \rightarrow C$

→ B) 移动时的切削力来得大。这样，在每一循环内，切削力 F 对刀具部件作的正功大于负功，振动便会加强，直到每一循环获得的能量，与消耗在阻尼的能量平衡为止。此时，振动便以一定的振幅持续下去。

图 4—2 所示，为二自由度振动的力学模型。设工件为绝对刚性，刀具部件同时在 x_1 与 x_2 两个互相垂直的方向上振动，在 x_1 方向上系统的刚度为 k_1 ，在 x_2 方向上系统的刚度为 k_2 (令 $k_1 < k_2$)， x_1 与 y 轴 (通过切削刃作加工平面的法线，刀具离开工件的方向为正) 的夹角为 θ ，切削力 F 方向与 y 轴夹角为 β ($\beta = \tan^{-1} F_x / F_y$)。经计算，可求出振动的边界条件，即 $0 < \theta < \beta$ 为不稳定区，也就是说，当振动系统的小刚性轴，位于 F 力与 y 轴夹角范围内为不稳定区，系统易产生振动。应用这个理论，只要使切削杆的小刚性轴方位，在 F 力与 y 轴夹角范围以外，就不易产生振动了。这就是主振“模态组合”原理。

2、冲击块消振原理

利用两物体相互碰撞后，动能损失的原理，在振动体上安装一个起冲击作用的自由质量，当系统振动时，自由质量将反复冲击振动体，消耗能量，达到减振的目的，这就是冲击消振器的工作原理。

图 4—3 所示为冲击式消振镗杆结构。图 4—4 所示为冲击块消振原理。振动体 (镗杆) 内部的冲击块 m ，能在间隙为 Δ 的空隙里运动。当镗刀受到瞬时激振力激发振动后，从平衡位置 O 产生位移 A_1 ，镗杆获得了位能。瞬时激振力消失后，镗杆要回复到平衡位置，这时释放出能量，镗杆具有了速度，从 a 到 b 位置，速度从 $0 \rightarrow V_{max}$ ，在这过程中，镗杆和质量 m 都具有了 V_{max} 。镗杆继续离开平衡位置运动，由于镗杆的弹性反抗力，速度由 $V_{max} \rightarrow 0$ ，但质量 m 由于存在惯性，在位置 C 时仍具有 V_{max} ，这时质量 m 与镗杆

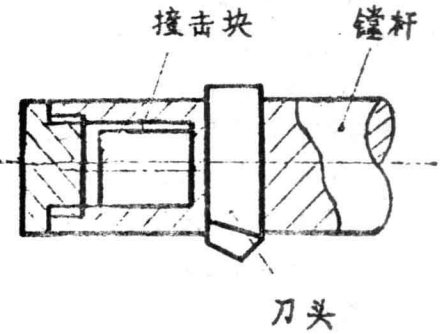


图 4—3 冲击式消振镗杆结构

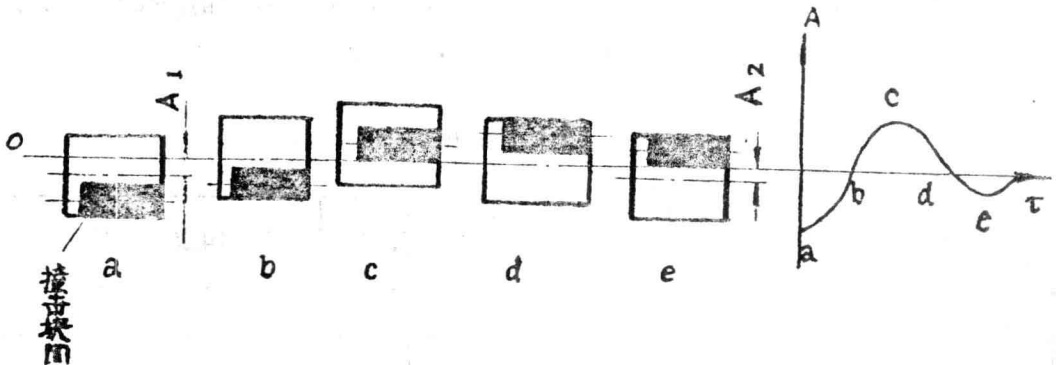
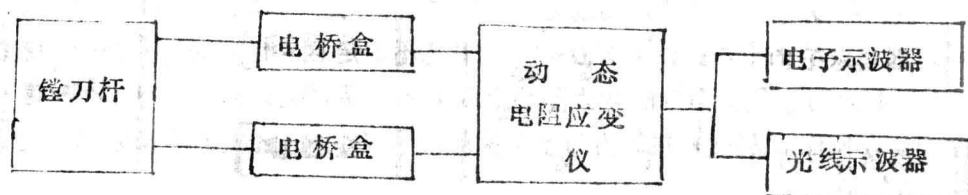


图 4—4 冲击块消振原理

离开。设在位置 d 时，质量 m 和镗杆发生碰撞，即吸收了镗杆的动能，使镗杆在 $3/4$ 周期（由 $d \rightarrow e$ ）过程中，振幅由 A_1 减小至 A_2 。若此过程继续下去，则使镗杆振动幅度逐渐减小。

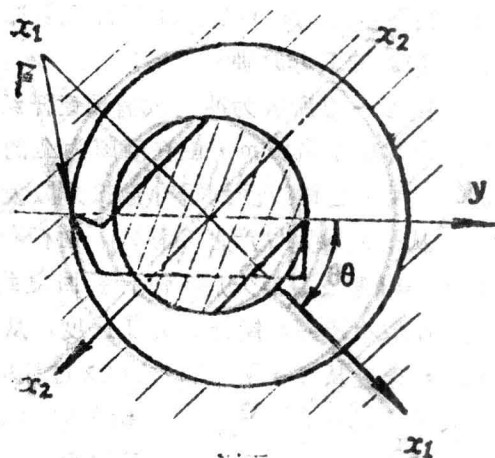
四、实验内容与方法

1、按实验框图，用半桥双臂联接方式，将实验仪器连接起来。



2、用削扁镗杆镗孔（如图4—5所示），改变其刚性主轴坐标位置，即改变 θ 角，使 θ 角从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 变化，每隔 30° 镗孔一次，观察和记录振动情况。

3、比较三种不同结构镗杆（ $\theta = 135^\circ$ 削扁镗杆， $\theta = 45^\circ$ 削扁镗杆，圆截面镗杆）的动态稳定性。试验时，用上述三种镗杆在同一试件上各镗一段孔，比较三段加工表面振纹，观察和记录振动情况。



4、试验冲击消振镗杆的消振效果。先在消振块的消振镗杆镗一段孔，然后分不同间隙的消振块，再各镗一段孔，比较孔表面的振纹，并记录振动情况。

以上试验，切削条件如下：

工件材料：45号钢

孔径 $\varnothing$ 毫米

切削用量：进给量 $f = 0.1 \text{ mm/r}$ ， $n =$ r/min ，切削深度 $a_p = 0.2 \text{ mm}$ 。

刀具角度： $\gamma_0 = 5^\circ$ ， $\alpha_0 = 15^\circ$ ， $k_r = 30^\circ$ ， $k_f = 15^\circ$ 。

附：

实验记录表

表 1

镗杆结构变化抗振性比较

θ	15°	45°	75°	105°	135°	135°	圆截面镗杆
振动情况							
振幅 A							
频率 f							