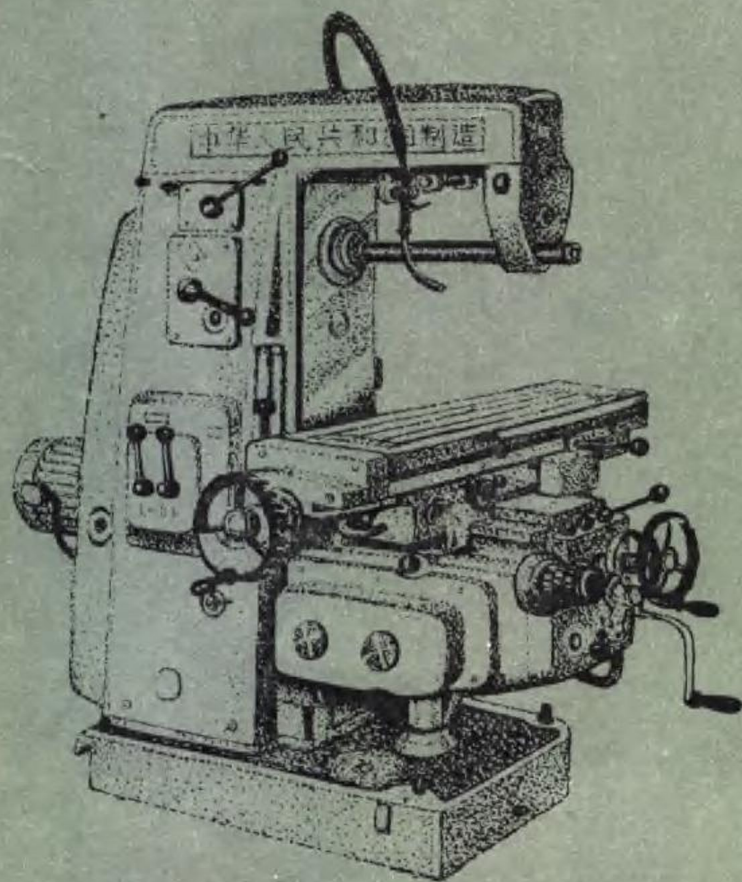


铣工复杂技术

谢鑫泉 编 著



黑龙江科学技术出版社

铣工复杂技术

谢鑫泉 编著

黑龙江科学技术出版社

一九八三年·哈尔滨

封面设计：范庆义

铣工复杂技术

谢鑫泉 编著

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区分部街28号)

佳木斯印刷厂印刷·黑龙江省新华书店发行

开本787×1092毫米 1/16 印张15 2/8 ·字数339千

1983年12月第一版

1983年12月第一次印刷

印数：1—5,500

书号：15217·065 定价：1.95元

内 容 简 介

本书是作者多年实践经验的小结。书中全面而深入地分析了复杂零件的铣削，并总结出了许多计算公式，其中不少内容是过去铣工书中所未曾介绍或未能全面介绍过的。这是一本供铣工提高技术的书籍。

本书内容包括：切割成形、特殊多面体、特形槽、长齿条、花键轴、离合器、链轮、镗孔、冲模、刀具开齿及各种修正凸轮的铣削与计算、还介绍了各种齿轮在现场进行的灵活计算及加工，对螺旋伞齿轮的铣削也作了较为详细的介绍。

本书可供四级以上铣工阅读。青年铣工、技工学校及中专学生也可参考学习。

前 言

铣削是机械加工中难度较高的一种技术,而且随着工业生产水平的日益提高,对铣削工作也提出越来越高的要求。为此,必须努力提高铣削技术水平,以适应四化的需要。

过去所出版的铣工书籍,基本上都是普及读本,而迫切需要的中、高级读本却很少。笔者根据铣削实践中所遇到的问题及其解决办法,经过具体分析之后写成了文字。同时,按多年积累的实践资料,绘制了数以百计的插图,列出了一系列计算公式。另外,考虑实际加工的需要,对凸轮等方面作了进一步分析探讨,以使这些零件能逐步得到一种较为完善的铣削方法。

本书曾反复征求了一些工厂的老师傅的意见,承蒙有关高等学校教授给予了指导。但笔者技术水平有限,实际经验又不够丰富,书中介绍的铣削方法和计算公式,并不一定是最理想和最简捷的,错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

目 录

第一章 铣平面的要领	
一、铣平直方面的要领	(1)
二、铣光的要领	(3)
三、保持相对位置精度	(6)
第二章 切割成形计算	(9)
一、径向切割成形计算	(9)
二、偏心切割成形计算	(10)
三、提高切割质量的注意点	(13)
第三章 特殊多面体的铣削与计算	(15)
一、等腰三角形的铣削计算	(15)
二、圆头菱形的铣削计算	(17)
三、提高铣正多面体的效率	(18)
第四章 特形槽的铣削	(21)
一、铣好直角槽的关键	(21)
二、各种 R 槽的铣削计算	(24)
三、特殊位置弧形槽的铣削	(28)
四、尖角槽的铣削	(33)
五、梯形槽的铣削	(35)
六、特殊燕尾槽的铣削	(36)
第五章 圆柱齿轮尺寸的灵活计算与铣削要点	(41)
一、齿轮上的一些基本概念	(41)
二、公制正齿轮尺寸的灵活计算	(44)
三、铣出正齿轮正确齿形的要点	(47)
四、正齿轮的公法线测量法及其原理	(47)
五、特殊正齿轮的铣削计算	(49)
六、螺旋齿轮尺寸的灵活计算及铣削要点	(52)
第六章 长齿条的铣削与计算	(62)
一、直齿长齿条的两种铣削方法	(62)
二、分齿装置与提高齿条精度的方法	(64)
三、提高铣削长齿条的效率	(67)
四、斜齿长齿条的铣削与计算	(68)
五、齿条的测量与铣削时的补充切深	(70)

第七章 矩形花键轴的铣削	(76)
一、用单刀铣削.....	(76)
二、用双刀铣削.....	(82)
三、用成形铣刀铣削.....	(84)
第八章 齿形离合器开齿	(88)
一、方牙离合器的铣削计算.....	(88)
二、螺旋面离合器的铣削与计算.....	(92)
三、对称尖齿离合器的铣削与计算.....	(95)
四、锯齿形离合器的铣削与计算.....	(97)
五、梯形齿离合器的铣削与计算.....	(99)
第九章 蜗轮蜗杆的铣削与计算	(104)
一、蜗杆及其传动的灵活计算.....	(104)
二、蜗杆的铣削.....	(108)
三、用滚刀铣蜗轮.....	(109)
四、梯形铣刀展成法铣蜗轮.....	(109)
五、蜗轮蜗杆的测量.....	(112)
第十章 直齿伞齿轮的铣削与计算	(114)
一、伞齿轮尺寸的灵活计算.....	(114)
二、伞齿轮的铣削过程及其分析.....	(119)
三、铣好伞齿轮的关键.....	(124)
四、特殊形状伞齿轮的铣削.....	(126)
第十一章 凸轮的铣削与计算	(129)
一、等速平板凸轮的铣削.....	(130)
二、渐开线平板凸轮的铣削与计算.....	(144)
三、修正等速圆柱凸轮的铣削.....	(148)
四、圆弧凸轮的铣削.....	(160)
五、特殊凸轮的铣削与计算.....	(165)
第十二章 链轮的铣削与计算	(169)
一、筒形链轮的尺寸计算.....	(169)
二、凹形链轮的尺寸计算.....	(170)
三、链轮的成形铣削.....	(175)
四、无链轮铣刀时的铣削法.....	(177)
第十三章 铣床上座标镗孔	(179)
一、座标镗孔.....	(179)
二、利用镗模板镗孔.....	(183)
第十四章 冲模的铣削	(186)
第十五章 刀具的开齿与计算	(191)
一、槽铣刀的开齿与计算.....	(191)

二、三面刃铣刀的开齿与计算.....	(195)
三、角度铣刀的开齿与计算.....	(198)
四、丝锥开槽.....	(201)
五、铰刀开齿与计算.....	(204)
第十六章 螺旋伞齿轮的铣削与计算.....	(215)
一、几何尺寸的计算.....	(215)
二、螺旋伞齿轮的铣削原理.....	(220)
三、铣刀盘及其尺寸计算.....	(221)
四、铣削装置及其使用.....	(223)
五、在立铣上的加工方法.....	(225)
六、测量计算.....	(232)

第一章 铣平面的要领

平面是组成零件几何形状的一种主要表面，有些零件几乎全由各种保持相对位置精度的平面所组成。因此，在铣床上加工出的平面，一般都应符合下列技术要求。

(1) 平面本身平直；

(2) 表面光洁度合格；

(3) 铣削平面与相邻平面或其他表面保持一定的相对位置精度，如尺寸公差、平行度、垂直度、斜度等。

为此，在铣削过程中必须及时排除各种错误因素，掌握下述各项铣削要领，以铣好各种平面。

一、铣平直方面的要领

导致铣出平面不平的因素，既来自机床、刀具、夹具系统，也来自工件弹性变形等。

1. 避免平面成凹形

首先讨论机床和刀具系统的影响。

在立式或卧式铣床上加工平面，所用铣刀的各刀刃应位于正确位置，以使铣刀回转时各刀齿能保持在同一位置上进行切削。若铣刀的形状、位置均正确，但在刀杆上的位置不合要求，如发生偏摆或倾斜，则铣出的平面也不会平整。

在立式铣床上铣水平面时，如果立铣主轴与工作台面不垂直，则铣出的平面将如图 1—1 那样成凹弧形。因立铣头这样偏转 θ 角后，铣刀刀齿的运动轨迹在垂直于工作台的平面上的投影为一椭圆，其长轴等于 R ，短轴等于 $R\sin\theta$ ，所以加工出的平面就成凹形，其凹度将随着 θ 角的增加而加深，且加工平面越宽则误差越明显。如果铣刀中心向另一个方向偏斜，其结果相同。

在一般情况下，当主轴偏转之后，铣刀刀齿的最高与最低位置高度差若在 0.1 毫米以内，且工件宽度小于 $0.6D$ (D 为铣刀直径) 时通常是允许的。但当遇到所铣平面要求较高时，凹入量 h 就要根据立铣头偏转角 θ 进行计算，以明确其值是否已超出允许范围。

从图 1—1 的俯视图及 N—N 剖面中可见，铣刀在 C 点与 A、A' 点上的切深是不相等的，中间最深，两边最浅。将这种切成凹形的情况用几何关系来表示，即是图 1—1

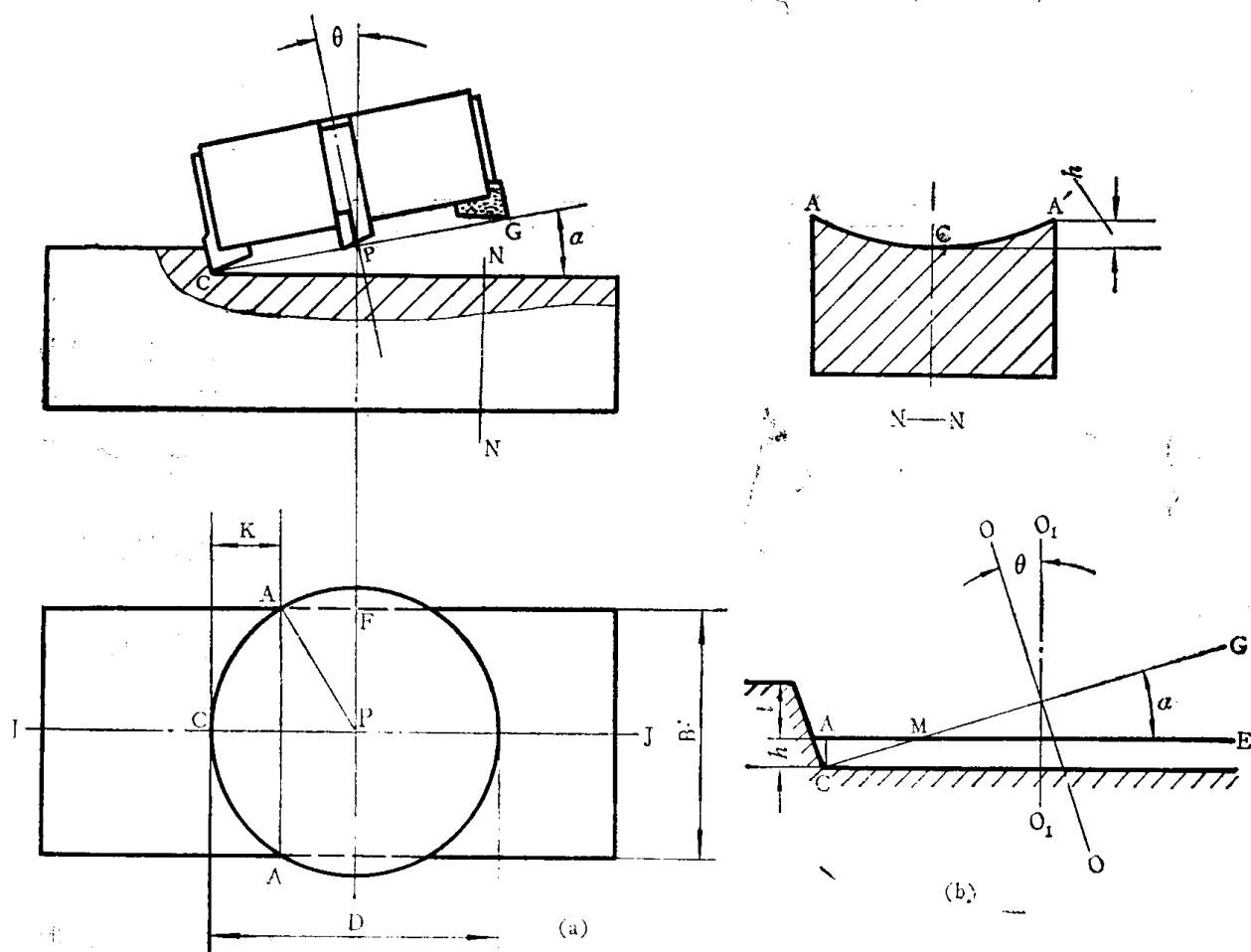


图 1—1 平面呈凹弧形分析

(b)。此图是通过工件宽度之半的J—J剖面示意图，图中 t 是切削深度， AE 是已加工表面， AC 是凹形的深度。由于铣刀轴心线 $O—O$ 与铣刀刀刃的旋转平面 CG 相垂直， $O_1—O_1$ 与 AE 相垂直，所以立铣头的偏转角 θ 等于 CG 与 AE 之间的夹角 α 。

在 $\triangle ACM$ 中： $AC = h$ ， $AM = k$ ，因此得到

$$h = k \tan \alpha = k \tan \theta$$

从图 1—1 (a) 的 $\triangle APF$ 中 知

$$AF = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}$$

而

$$K = \frac{D}{2} - AF$$

所以

$$K = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}$$

把它代入前式，就得到立铣头主轴偏转角 θ 后工件凹入量计算公式

$$h = \frac{1}{2} \left(D - \sqrt{D^2 - B^2} \right) \tan \theta \quad (1-1) \quad \text{※}$$

※ 公式中的直径及长度单位均为毫米，下同。

式中 D—铣刀直径；

B—工件宽度；

θ —立铣头偏转角。

例 用直径为110毫米的端铣刀铣削宽度为100毫米的工件时，如果立铣头分别偏转了30′及1°，则在工件宽度中点的下凹量分别为多少？

解
$$h = \frac{1}{2} \left(110 - \sqrt{110^2 - 100^2} \right) \text{tg} 30' = 32.09 \times 0.00873 = 0.280 \text{毫米}$$

$$h = \frac{1}{2} \left(110 - \sqrt{110^2 - 100^2} \right) \text{tg} 1^\circ = 32.09 \times 0.01745 = 0.560 \text{毫米}$$

可见，立铣头偏斜角度较多时，对工件质量带来的影响是比较大的，因此，必要时要找正其垂直度。

同样，当用端铣刀在万能铣床上加工垂直平面时，若机床回转台0位未调整好，或铣刀轴心线不垂直于工作台的纵向运动方向时，则铣出的平面也必成凹形。

2. 防止弹性变形使平面失平

在夹紧或压紧工件时，一旦破坏了其自由状态，则工件就会产生弹性变形，而当平面铣好、紧固力除去，内应力将促使工件恢复到铣削前的自由状态，这样，铣好的平面就会不平。

破坏工件自由状态最常出现的因素是，使用的夹具基准面或工件上光基准面不平；压紧的部位或方法不正确。因此，铣平面时不但要找正夹具基准面上四个角，而且工件放入夹具后，还应检查其光基准是否与夹具紧密接触，一般习惯上都是敲工件四角，以听声音的方法来判断，在有空隙处垫薄纸后再夹紧或压牢。否则，铣出的平面会出现四角不平，即对角翘起的现象。当加工大型板件上的平面，或连杆二头的四个端平面等一类零件时，压紧或夹紧的方法就成了铣好这些平面的关键。这时，一般总要找二、三个点压紧，为使着力点与工作台或夹具基准面不离空，一般均放入塞铁后压紧，以使工件仍保持自由状态。在试压后还要回松一次，以观察回松过程中待铣平面高低有否发生位移。为减少工件弹性变形的影响，有时应改制专用夹具。比如连杆可从两头外圆方向用两个V形块夹紧，这样，不但一次装夹可铣出两个平面，而且平面的平整度又较好。

二、铣光的要领

影响表面光洁度的因素很多。因此，要把一个平面铣得很光滑，除了必须使铣刀具有各种正确的角度及光滑锋利的刃口外，必要时还得在部分刀刃上磨出修光刃、采用高速切削等等。下面仅从铣削中必然要遇到的四个方面进行分析。

1. 铣床加工效果分析比较

在立式铣床上加工平面时，其光洁度一般比卧式铣床上所铣出的要好，这是因为：端铣刀的刀齿常在整個加工宽度为 B 的范围内进行切削，可是圆柱铣刀刀齿仅在切削深度为 t 的范围内工作，而 B 一般要比 t 大好几倍，因此，端铣刀同时参加切削的刀齿必然比圆柱铣刀多得多。且端铣刀切削时切屑厚度的变化又较小，在铣削过程中切削力的变化也就减小，再是刀杆伸出长度较短，刚性好，振动小，所以铣削过程就比较平稳。而且，端铣刀是主切削刃切去大部分余量，用副切削刃去修光表面，当用负前角硬质合金端铣刀进行高速切削时，光洁度可进一步提高到 $\nabla 7$ 以上。

在卧式铣床上用圆柱(圆盘)铣刀加工平面时，一般只有二、三个齿同时参加切削，且刀齿在切入和切出时切屑厚度和切削力变化很大，振动增加，虽然螺旋齿圆柱铣刀在这方面可稍弥补一些缺点，但加工所得平面实际上仍由许许多多切点之间的一个个小圆弧所组成。而且刀杆较长及铣刀径向跳动等也会直接反映到工件表面上去，影响其光洁度的提高，所以当平面需达到较高的光洁度时，应在立铣上进行加工。

2. 1:2 铣削法

在卧铣上采用顺铣方法加工时，所得表面光洁度比逆铣好。但这时工作台丝杆副需具有间隙调整机构。

而用端铣刀在立铣上加工平面时，虽然同样有顺铣和逆铣之分，但情况却与上述不同。图1—2是用端铣刀切削的简图。从其中可看出，铣刀上每个刀齿的切削力方向均不相同，A点的刀齿完全顺向，B点的刀齿完全逆向，而C点的刀齿，其切削力方向刚好与工作台运动方向成直角，所以，在立铣上用端铣刀切削时所产生的切削力不但有顺向及逆向，而且还有横向，即数力共存。即使所铣宽度小于铣刀半径，出现的也不完全是顺向或逆向。

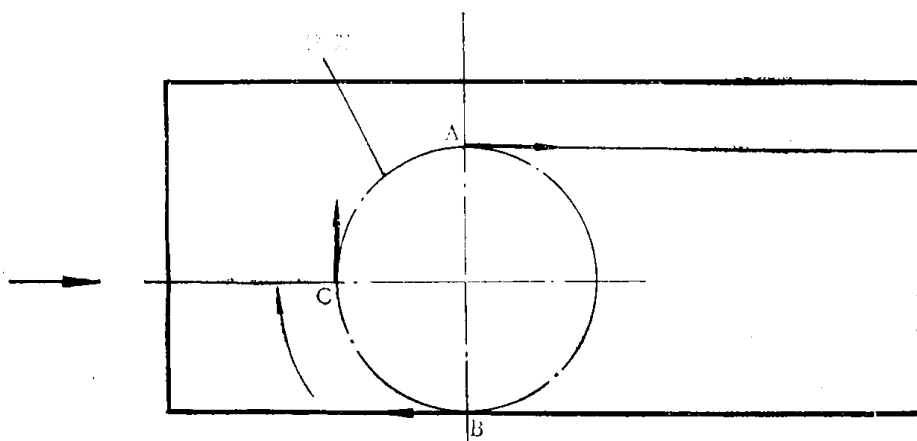


图 1—2 端铣刀刀齿的切削力方向

如采用图 1—3 所示使铣刀中心与工件两边的距离为 1:2 左右,即采用 1:2 铣削法铣平面,则切削过程将显得平稳、轻快,不但铣刀磨损慢,进刀量可加大(大于其他位置铣削),而且表面光洁度又好。这是因为,在这种位置铣削,既有逆向又有顺向力存在,而且顺向力大于逆向力,所以振动小。又因为有一部分逆向力存在,即使机床没有间隙调整机构,只要将横向拖板固定即可切削。所以采用 1:2 铣削法,不但受铣床结构等条件限制,更不受工件宽度的限制。无论工件多宽或多窄,只要保持宽度在 1:2 左右不变即可。且其生产率或光洁度均比逆铣或所谓对称铣削法好。

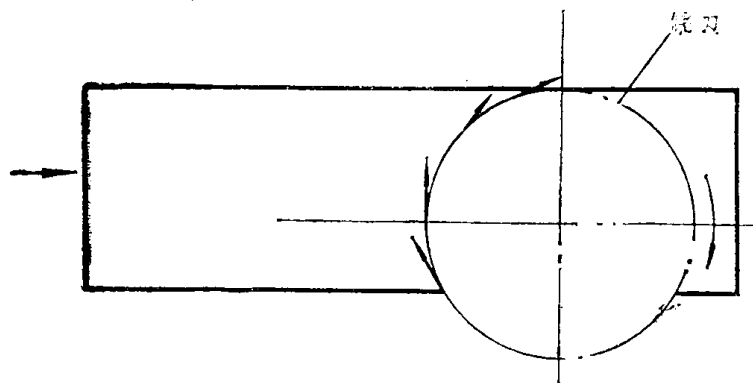


图 1—3 端铣刀中心相对于工件 1:2 位置铣削

置铣削),而且表面光洁度又好。这是因为,在这种位置铣削,既有逆向又有顺向力存在,而且顺向力大于逆向力,所以振动小。又因为有一部分逆向力存在,即使机床没有间隙调整机构,只要将横向拖板固定即可切削。所以采用 1:2 铣削法,不但受铣床结构等条件限制,

更不受工件宽度的限制。无论工件多宽或多窄,只要保持宽度在 1:2 左右不变即可。且其生产率或光洁度均比逆铣或所谓对称铣削法好。

3. 消除跟刀

在铣削过程中,有时铣刀齿会在已加工过的面上再刮一刀,这种俗称跟刀的产生,严重地影响了表面光洁度,同时还降低生产率,所以必须设法消除。

在立铣上用端铣刀加工平面时所以会产生跟刀,主要是立铣头向图 1—1 所示的相反方向倾斜了一个很小角度所造成。这时铣刀上的 C 点比 G 点高,当刀齿在 C 点切削过之后,转过去又在 G 点刮一刀,从而使铣出的表面出现图 1—4 所示的交叉刀纹。

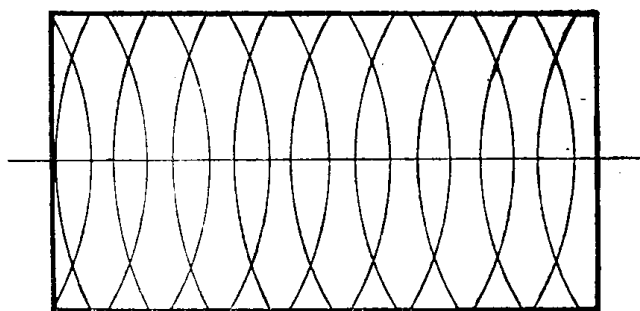


图 1—4 产生跟刀时的交叉刀纹

如将立铣头转到完全垂直位置后会不会消除跟刀呢?这时,由于铣刀的弹性退让、振动及铣刀某一刀刃刃磨和安装方面等多种原因,还有可能产生跟刀。所以只有将立铣头反一个方向转动一个很小角度,即将立铣头转向图 1—1 所示方向,这时跟刀就消失。当然,这种倾斜角度应是微量的,以免平面出现下凹。

在卧铣上用镶片铣刀等铣垂直平面时(图 1—5),也会产生跟刀,其道理与上述相似。从图中切削方向分析,若因刀杆弯曲、垫圈端面不平或铣刀侧刀齿偏摆过大,而使刀刃上 A 点比 B 点离机床垂直导轨近,或万能铣上回转台“0”位未调整好(工作台反时针方向偏转),从而使铣刀旋转平面与工作台纵向运动方向不平行时,就产生跟刀。消除方法是,使铣刀向相反方向倾斜或工作台向顺时针方向偏转,当然,这种倾斜或转动量同样

应该甚为微小。

4. 注意弹性变形与减小振动

铣削中途不能停车，否则会因刀杆或铣刀产生弹性变形等原因而在工件表面铣出凹坑，使表面光洁度产生严重缺陷。

铣削过程中所产生的振动，同样会严重影响工件表面光洁度。其原因往往是铣刀径向跳动、轴向摆动过大，切削速度过高，圆盘铣刀的切削宽度过大等。这时，被加工平面会出现波浪形。为改善此种情况，可降低一挡车速、或减小切削宽度。其次，装刀时还应注意铣刀旋转方向，使刀杆固定螺帽在铣削过程中保持在毫无松动的状态。

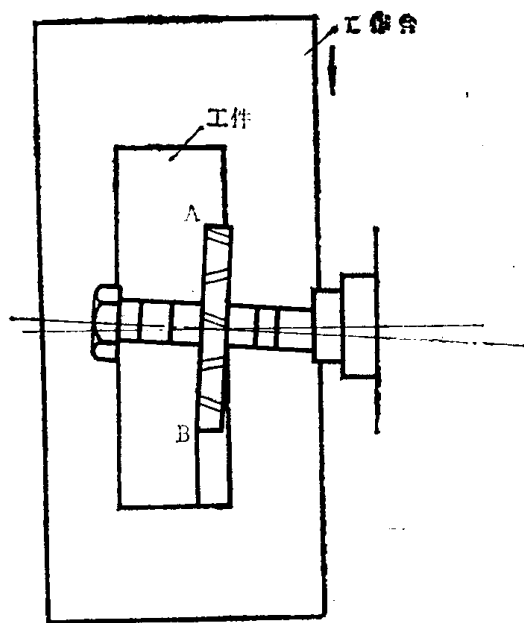


图 1—5 卧铣上铣削产生跟刀情形

三、保持相对位置精度

影响相对位置正确性的因素也来自各个方面，如工作台面、夹具和工件基准面等略有倾斜，则铣出的平面，其相对位置亦必然发生变化。比如铣一个正方形的四面时，若按相邻面依次铣削，那末当第二个面一旦发生倾斜，则其他各面均随着相继发生倾斜，而且与基准面相邻的两个面，如一个斜 $+2^\circ$ ，则另一个必然斜 -2° 。又如使用外圆刃口产生锥度的圆柱形铣刀或外刀刃与侧刀刃不成直角的圆盘铣刀铣平面时，铣出的面也必成倾斜面。除此之外，刀杆轴心线与工作台面不平行，装夹好的工件不规则地往上移动等，也是平面产生相对位置误差的因素。

在加工某些相邻平面时，为了保持其相对位置精度，有时必须进行计算。如要铣削与圆弧连接的斜面，关键是铣好圆弧与斜面的接点，使圆弧部分与斜面达到光滑连接，这时必须经过计算来确定其关连尺寸，以铣出正确斜面。

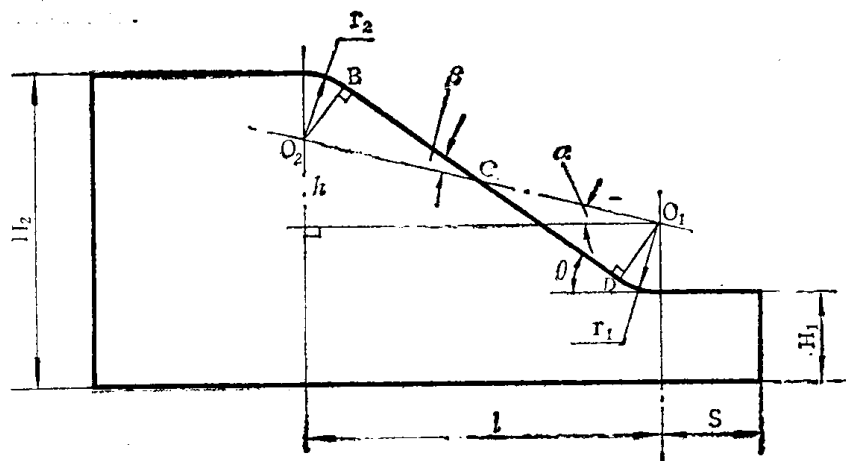


图 1—6 铣削连接平面计算示例

图 1—6 就是这类工件的示例。一般在图纸上只给出四个直线尺寸 H_1 、 H_2 、 S 、 l

及两个 r ，但不知道铣削时必须明确的斜平面的倾斜角，所以应精确计算后才能开始加工。

作辅助线 O_1O_2 即确定

$$h = H_2 - r_1 - r_2 - H_1 \quad (1-2)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l} \quad (1-3)$$

以 L 代表 O_1O_2 长度，则

$$L = \frac{h}{\sin \alpha} \quad (1-4)$$

当 $r_1 = r_2$ 时， $\triangle CO_2B \cong \triangle CO_1D$

但当 $r_1 \neq r_2$ 时， C 点就不是 O_1O_2 的中点，而因 $\triangle CO_2B \sim \triangle CO_1D$ 。设 $CO_1 = X$ ，则 $CO_2 = L - X$ ，

所以
$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{X}{L - X}$$

即
$$r_1(L - X) = r_2X$$

所以
$$X = \frac{r_1L}{r_2 + r_1} \quad (1-5)$$

$$\sin \beta = \frac{r_1}{X} \quad (1-6)$$

$$\theta = \alpha + \beta \quad (1-7)$$

例 被加工零件的尺寸： $H_1 = 30$ 毫米， $H_2 = 122$ 毫米， $l = 150$ 毫米， $S = 40$ 毫米， $r_1 = 25$ 毫米， $r_2 = 30$ 毫米，试确定倾斜角 θ 。

解 $h = 122 - 25 - 30 - 30 = 37$ 毫米，

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l} = \frac{37}{150} = 0.2466, \alpha = 13^\circ 51'$$

$$L = \frac{h}{\sin \alpha} = \frac{37}{\sin 13^\circ 51'} = \frac{37}{0.2393} = 154.61 \text{ 毫米}$$

$$X = \frac{r_1L}{r_1 + r_2} = \frac{25 \times 154.61}{25 + 30} = 70.27 \text{ 毫米}$$

$$\sin \beta = \frac{r_1}{X} = \frac{25}{70.27} = 0.3557, \beta = 20^\circ 50'$$

所以
$$\theta = \alpha + \beta = 13^\circ 51' + 20^\circ 50' = 34^\circ 41'$$

图 1—7 所示之零件，虽线条不多，但这种有几个相对位置要求的工件，在铣削时却要仔细进行分析。

这样的零件，可在立铣头能转动的铣床上，将工件装夹在分度头三爪卡盘中如图 1—8 那样进行铣削。

铣削时，先找正工件的平面 A (图 1—7)，使其垂直于工作台面。划出工件中心线 E ，使之与 A 面相垂直。并划出中心线 F 及 4 毫米尺寸线。再划出斜面与圆弧面的接线

B、C，使C线位于与工作台面相平行位置，并将立铣头反时针方向转过 60° 后开始铣第一个斜面。然后将分度头转过 $180^\circ - 6^\circ 6' = 173^\circ 54'$ ，即使B线位于水平位置后铣第二个斜面。圆弧r由钳工修整成形。

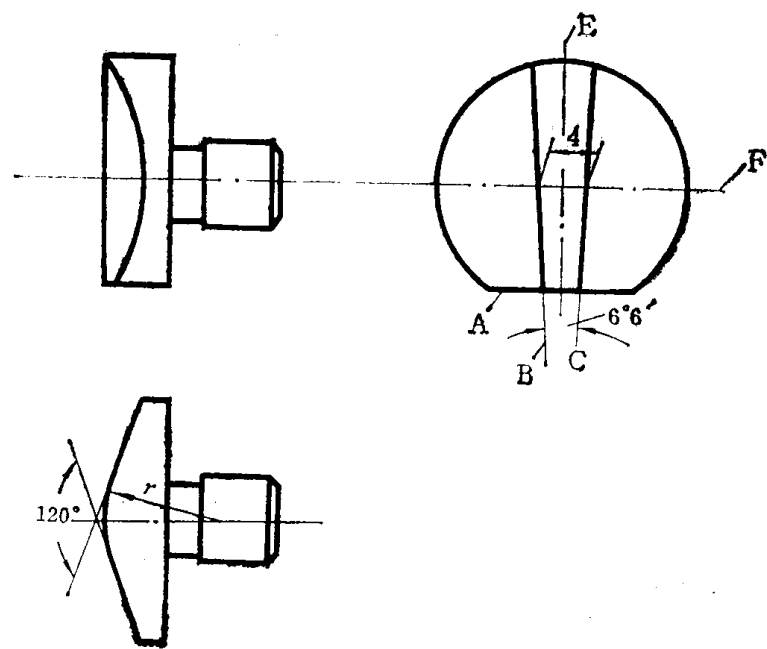


图 1—7 平面有位置要求的零件

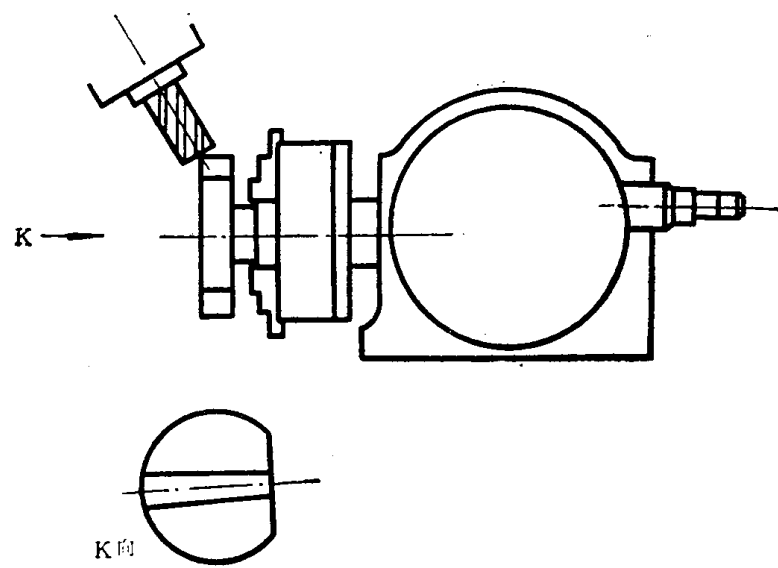


图 1—8 铣削方法示例

第二章 切割成形计算

有些工件要在铣床上通过切断或割开才能形成需要的形状，其中分为按直线尺寸切断及按一定角度割开两类。由于后者一般都有公差，而且有时还是偏心割开，所以铣削前必须精确计算，现分别讨论如下。

一、径向切割成形计算

图 2—1 所示为在卧铣上沿半径方向切割的工件示例。从图中可以看出，切成三个工件时，铣刀总切口宽度最多只能占60°中心角面积，所以必须考虑选取多少厚度的锯片铣刀。由图 2—2 可知，铣刀宽度不得超过EF，而

$$EF = \frac{d_{\text{孔}}}{2} \sin 20^\circ = 15 \times 0.342 = 5.13 \text{ 毫米}$$

考虑到每条槽中要铣两刀及锯片刀的使用特点，所以刀厚以选用 2~2.5 毫米为宜。

图 2—1 径向切割零件

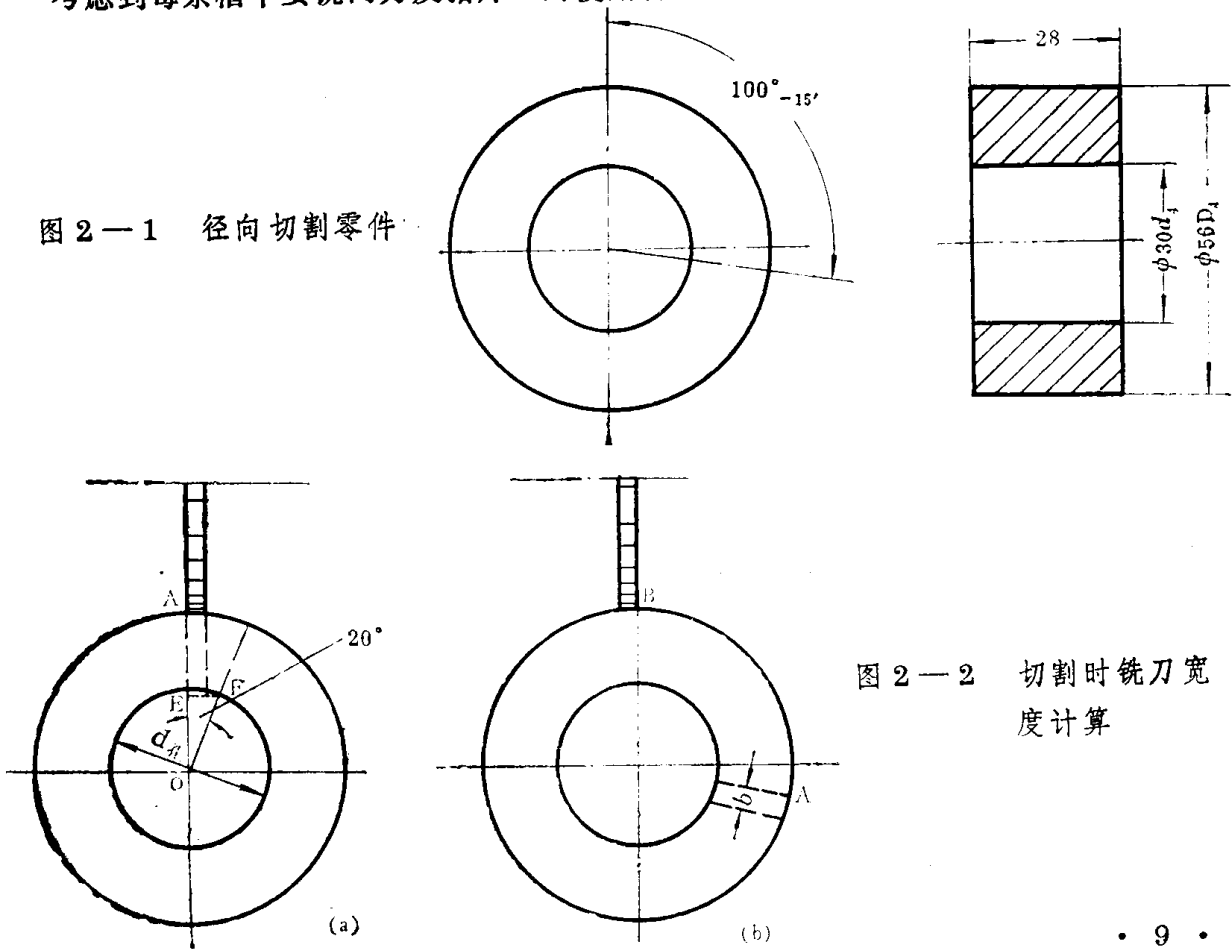


图 2—2 切割时铣刀宽度计算