

出版者的話

蘇聯國立機器製造書籍出版社出版「機床工人科學普及叢書」的目的，是為了幫助機床工人提高他們的理論知識和實際知識。這套叢書有系統地講解了金屬切削加工的基本原理。每一小冊深入淺出地敘述一個問題，文字通俗易懂，插圖多用立體圖，很適合工人閱讀。我們認為這套叢書對我們機床工人有系統地提高理論水平有很大幫助，所以決定把它陸續翻譯出版。

這套叢書分成三組，共26冊。第一組敘述金屬切削的一般問題，共10冊(1~10)；第二組說明金屬加工的各种方法，共10冊(11~20)；最後一組介紹各种金屬切削機床，共6冊(21~26)。

本書根據這套叢書第二組第18冊擴孔和鉸孔一書譯出。作者用通俗的文字，從達到孔所需精度和表面光潔度的觀點，作了對孔加工過程中應用比較廣泛的擴孔和鉸孔工作的詳細分析。

本書可供車工、鑽工等同志作為學習材料。

蘇聯 А. Н. Работин 著 'Зенкерование и развертывание'
(Машгиз 1955 年第一版)

*

*

*

著者：賴鮑金 譯者：程大中 校訂者：陶乾

NO. 1096

1957 年 10 月 第一版 1957 年 10 月 第一版 第一次印刷

787×1092 $1/32$ 字數 25 千字 印張 1 $1/8$ 0.001

機械工業出版社(北京東交民巷 27 號)出版

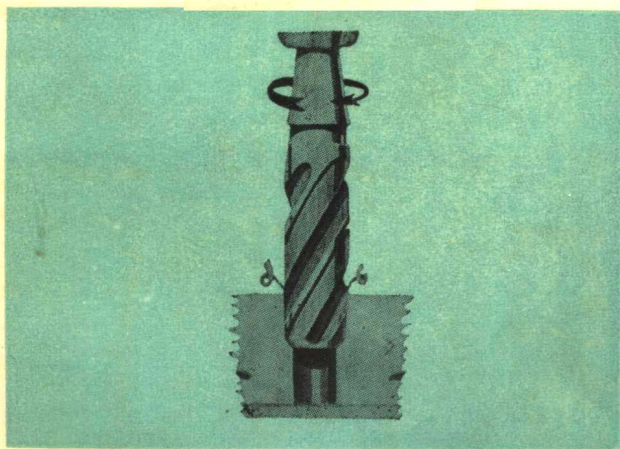
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 號 定價 (9) 0.15 元

机床工人科学普及丛书

賴 鮑 金 著

扩 孔 和 鉸 孔



机械工业出版社

目 次

一	前言	3
二	扩孔鑽校正孔的形狀	5
三	鉸刀修光和刮平孔的表面	8
四	鉸刀的切削部分	11
五	鉸刀的修光部分	14
六	光潔度和精確度	16
七	扩孔鑽和鉸刀的結構	19
八	切削用量	24
九	扩孔鑽和鉸刀的磨損	29
十	在鉸孔工作时的冷却和潤滑	33
十一	扩孔和鉸孔的新方法	34
十二	結論	36

一 前言

机器零件上所見到的各种类型的表面中,很大一部分是圓孔。机器上許多零件是依靠孔联結起来的:在孔中放入螺栓,可以將两个零件联結起来,活塞在蒸汽机的汽缸中运动而作功;齿輪、离合器和其他零件都由內孔压紧配合在軸上;軸在孔——軸承中旋轉。还可以举出很多类似的利用孔的实例。

装在圓孔中的机器零件是旋轉体,也就是說軸类的。它的工作表面(因为也是最精确的表面)是在外表面,所以加工和檢查起来都很容易进行。这种零件差不多都能在車床、磨床和类似的机床上加工出来。

这些机床帶动零件旋轉,使零件获得正确的圓柱形。这时所采用的刀具和各种夾具都裝卡在零件外部,因而它們并不受工件尺寸的限制,都能够有足够的剛度。在整个加工过程中,我們可以很容易的用同一把刀具調整到所需的尺寸,且没有什么特别的困难就能达到該机床的最高精度,而同样能保証零件所需的精度和被加工表面的光潔度。

另一方面,孔,尤其是小孔,都是分布在各种不同形狀和尺寸的零件上的。在这里刀具就必須安放在孔的內部。可是被加工孔的直徑愈小,刀具的剛度也就愈差。

这就說明了为什么加工很高精度的孔,比加工同样精度的軸要更加困难。这种情况在研究公差制度时也是考虑到的;因此,对1級和2級精度的孔所規定的公差,要大于同样尺寸的軸的公差。

麻花鑽的采用来加工整体材料上的孔,但它在被加工的

孔中，並沒有為保證得到所需精度和表面光潔度所必需的剛度和好的導向。而在機器零件上遇到的却大多是這一類的孔。

金屬切削加工中應用最廣泛的麻花鑽（圖 1），有着用在金屬整體材料上加工孔時所必須的，與眾不同而最完善的刀具形狀，直到現在這種形狀還沒有改變。它的兩個完全相同的切削刃和聯接着的鈍橫刃一起組成 120° 的鑽頭切削錐。從切削刃起，沿着鑽頭刀體有深的螺旋槽，切屑就沿着槽子自由的從孔中排出。

鑽頭的兩個切削刃切削着同樣的切屑，而在兩個切削刃中間所形成的鈍橫刃就引起擠壓金屬，並保持切削刃在孔的中央。所

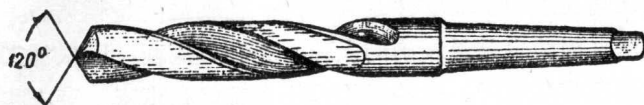


圖 1 麻花鑽（螺旋鑽）。

有提到的這些條件，應能保證在工作時刀具位置的穩定。但是由於被鑽孔金屬的不均勻，切削刃不同的尖銳程度和它們長度的不等，以及其他原因，就發生側向切削力大小的不同，使鑽頭偏向切削力小的一邊。由此就得到中心歪的非圓柱形的孔，並且常常大於鑽頭本身的尺寸。

用麻花鑽能很有效地得到 5 級精度以下的孔，但這僅限於用尺寸不大的鑽頭。而這時的表面光潔度通常不超過 4 級（ $\nabla\nabla 4$ ）。由於這些原因，就迫使在要求得到更精確和光潔的孔時，需要進行附加的加工。

在多年的實踐中，研究出許多種在鑽孔後使孔達到所需尺寸精度和表面光潔度的方法。例如，現在可以根據所要求的尺寸精度和孔的表面光潔度，採用下列各種孔的精加工方法，如：擴孔、鏜孔、磨孔、拉孔和其他的方法。

直到現在，這些方法中主要是應用的擴孔和鉸孔。在莫洛托夫汽車工廠中有 1000 多個以上的工序是用擴孔鑽和鉸刀進行的。它們應用在六角車床、普通車床、鏜床上，但主要是用在鑽床上。事實上，近年來它們的應用，由於利用了更高生產率的加工方法，如拉孔、精鏜和其他方法而已有一些減少。但允許採用這些高生產率工序的孔究竟還是不多的。

在這本書中，我們要討論的還是應用非常廣泛的擴孔和鉸孔過程的本質。

二 擴孔鑽校正孔的形狀

擴孔的工序和擴孔鑽刀具本身一樣，在孔加工的历史上是由於企圖用幾把鑽頭連續加工的方法來改善孔的質量而引起的。例如，在十七世紀初期，吐拉兵工廠在炮筒上鑽孔後，改用平鑽鑽到 23 倍，於是最後在炮筒上就得到所需尺寸的孔槽。但是只具有兩個切削刃的鑽頭，在擴孔時比在金屬整體材料上鑽孔時的穩定性還更小，因而不能保證所需孔的精度和光潔度。這時就出現了外表和鑽頭很相似，但有三個切削刃和三個螺旋槽的被叫做擴孔鑽的刀具（圖 2）。

· 用擴孔鑽進行切削金屬是和用鑽頭時相同的。擴孔鑽的切削刃口也是均勻分布着的。擴孔鑽經常像鑽頭上一樣做出主偏角 φ （圖 2 甲），鑽頭上的主偏角做成 60° ●，而擴孔鑽上則通常做成 45° 。

在擴孔鑽上切削刃的大小，是接近於相應的被它所切下的留量數值。在擴孔時如果留量不大，則允許擴孔鑽做成不深的排屑槽，這樣能增加它的剛度。

● 當 $\varphi \cong 60^\circ$ ，鑽頭的 2φ 角就等於通常的 $118^\circ \sim 120^\circ$ 。——譯者

所有分布在圓錐表面[●]上的切削刃就組成擴孔鑽的前錐部分。它們是按圓錐刀磨的，應該很精確的磨出，使其中任何一個刀齒都不高於或低於這個圓錐。這個條件對於擴孔鑽的工作有很重要的作用。這種前錐部分在切入時立刻用全部切削刃接觸在孔壁上而定心，因而能加工出表面更光潔的正確圓周的孔。

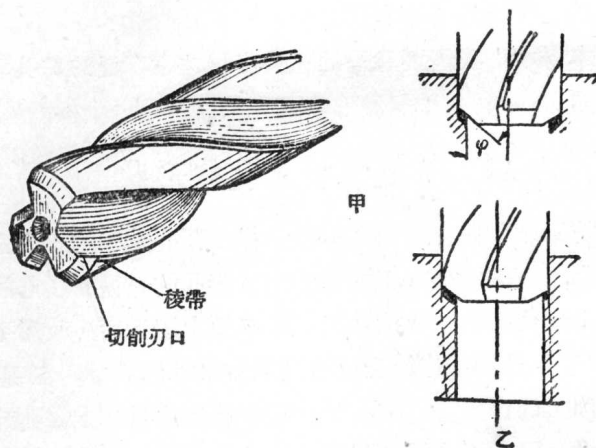


圖 2 擴孔鑽和它的工作：

甲—擴孔鑽的工作部分；乙—在擴孔鑽中心和預加工孔的中心不重合時，孔中心的偏歪情況。

比起鑽頭來，擴孔鑽的主要優點在於有較多的切削刃即刀齒和更大的剛度。現在擴孔鑽已做成 8 個或更多的齒。

擴孔鑽的刀齒可以保證它在孔中很好的定心，並且能大大地消除孔的被擴大，這是因為在個別刀齒上切削力偶然增大時，會有相對位置上的其他刀齒來吸收，因而使擴孔鑽幾乎不會偏向一邊。並由於它中心部分較強，因而它的剛度比鑽頭更大。

● 原文是「分布在圓周長的切削刃口」，意思不夠妥善，故改成「分布在圓錐表面上……」。——譯者和校者

然而，在不順利的工作条件时，扩孔鑽仍然会离开正确的方向而偏向一边，使得孔的中心不正确。这种情形在扩制長而直径不大的孔时，特别容易看到。

扩孔鑽偏斜最常遇到的原因是預先粗鑽孔的中心和扩孔鑽的中心不重合。在这种情形下，扩孔鑽切削着不均匀的留量（圖 2 乙）。后者引起單面的压力，把扩孔鑽压向留量小的一面，并强迫它接近于原来已鑽过孔的中心。

这样，扩孔鑽虽能按圓周校正孔的形狀，并保证了直径有更准确的尺寸，但不能經常校正已鑽好的孔的中心位置的誤差。

齿背上不大的棱边（圖 2）是用来当扩孔鑽切入后，支靠在已加工表面上作为附加的可靠的导向用的。但是扩孔鑽开始工作时，是用尖的切削刀切入的，这时并没有稳定的导向，因而可能將孔扩大。为了防止發生这种現象，开始切入时，可以人工地將扩孔鑽用棱帶按鑽模套导向，或用其他刚度更高的刀具——車刀、鏜刀片等按扩孔鑽的直径先鏜一个淺孔。在这种情形下，扩孔鑽的棱帶立刻就得到可靠的导向，以及孔的偏斜現象几乎就不会發生了。

如果需要完成更精确的孔，就要在不变换零件和机床主軸的位置时，把鑽头换成扩孔鑽来扩孔。这样就可以达到鑽头和扩孔鑽中心的高度重合。这时留量也是均匀的，使扩孔鑽可以加工出最准确和精确的孔。

关于表面光潔度，則扩孔比鑽孔时已有显著的提高。这方面可以这样來說明：扩孔鑽切下的是很薄的切屑，这是所有精加工的特性；小的切屑可以自由的容納在扩孔鑽的槽中而不划坏已加工表面；并且分布在扩孔鑽全圓周上的刀齿数比較多，这样防止了它的振动。通常用扩孔鑽加工的表面光潔度可以达到 $\nabla\nabla 5$ ，直径不大的孔有时还可以更高。

采用扩孔鑽显著地改善了孔加工的质量，然而它还不能很好的得到在机械制造工业中常见的大多数的更精确和光洁的孔。因此，在大多数的情况下，扩孔鑽只用来作为铰孔或拉孔前的粗加工，只当孔的精度不超过4级和所需表面光洁度不超过 $\nabla\nabla 5$ 的时候，扩孔才作为最后一道工序。在机器零件上这种孔也是经常可以遇到的。

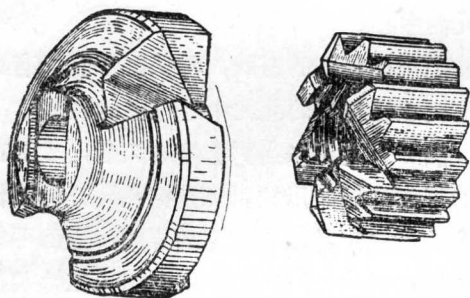


圖 3 加工鑿孔的扩孔鑽。

扩孔鑽还常常加工带有较大和不均匀留量的鑄出的孔。但是这种扩孔鑽已有另一种特别的結構形式（圖3）。在类似的工序中采用这种扩孔鑽比其他加工方法有更高的生产率。

三 铰刀修光和刮平孔的表面

很多现代机器的零件中，常有这样的圆孔，它的直径尺寸与图纸上所表明的公称尺寸，只允许有百分之几公厘的偏差。例如2级精度的孔，它公称直径的尺寸为20公厘，而公称尺寸的允许偏差全部只有0.045公厘。

这种孔的孔壁应该是非常光洁的，虽然在用任何加工方法时，刮坏和划痕的情况不能避免，但它们自己的深度不应该超过十分之几的公忽。

要用扩孔鑽来得到这样高的尺寸精度和孔的表面光洁度，当然是不可能的。因此，用扩孔鑽加工以后所得到的孔，还需要

用其他的刀具来加工，它只切去很薄的切屑，并修光和刮平孔的表面。

还在出现麻花钻以前，用扁钻来钻孔的时候，为了刮平孔的表面和使它达到所需的尺寸，曾利用圆的锉刀或者是带有金刚砂的圆形金属棒。以后为了这个目的就改用三棱或多棱的淬过火的金属棒，它具有所需的尺寸，它的前端为了便于进入孔中并有倾斜的锥部。这种刀具一般是压缩，或者在较好的情况下刮削孔的表面。但是直到现在为止，为了制造小直径的圆柱孔和锥形孔（通常小于3公厘的）仍采用无槽的多棱铰刀（图4）。

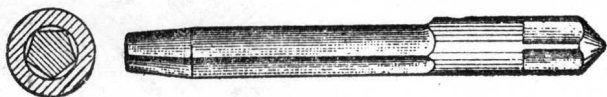


图4 无切削刃的铰刀。

此后，就给这种刀具的棱角有适当的为切削所需要的几何形状和角度，于是就创造了现在所广泛采用的铰刀。这种刀具在切削部分的前端仍有倾斜的锥部，这样工作时很容易的进入早先已经准备好的孔中，并逐渐的像楔一样的深入切下去，将这个孔铰到所需的尺寸。由此，这个工序就得到了它的名称——铰孔，而刀具就起名为铰刀。

现代的铰刀是带有很多数量刀齿的复杂的金属切削刀具（图5）。铰刀在工作过程中一方面旋转，一方面沿自己的轴线移动。在每转一转时，它就向前移动一个走刀量 s 公厘。这时，它的每一个刀齿的锥部切下的厚度为 a 公厘和宽度为 b 公厘的切屑（图6）。铰刀的这一部分称为切削部分。在铰孔前所留下的全部留量都是由它切下的。铰刀刀齿长度的其余部分，仅仅是清洁已加工表面和修正孔的，也即是使孔具有所需要的直径尺寸，与此相应的铰刀的这一部分就称为修光部分。修光部的切削刃必须严格地

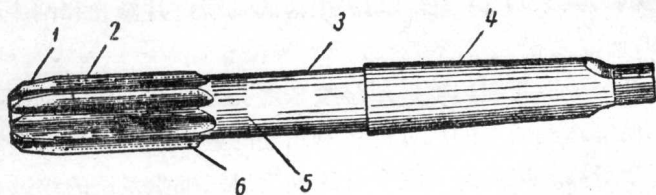


圖5 鉸刀和它的各个部分:

1—切削部分; 2—修光部分; 3—頸部; 4—尾部;
5—焊接的地方; 6—后錐部。

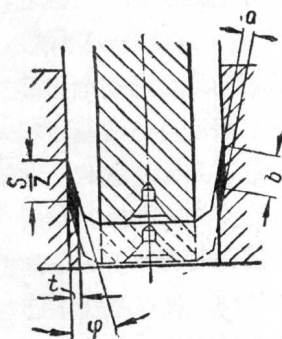
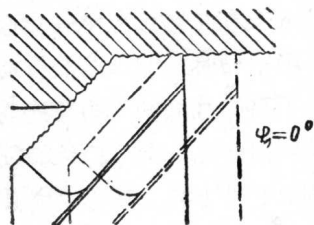
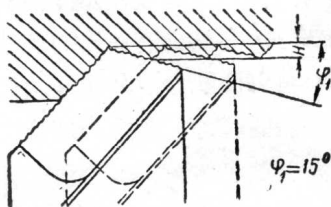
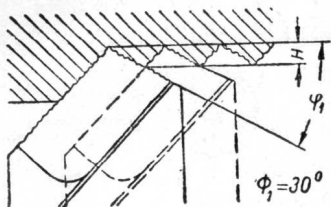


圖6 鉸刀的工作示意圖。

圖7 副偏角 φ_1 对已加工表面光潔度的影响。

平行于鉸刀的軸心綫，因此它能够清除鉸刀切削部分所殘留在孔表面的不平度。

鉸刀刀齒直綫段部分（在圓柱表面上的）的清潔修光作用，可以看作相同于帶有副偏角 $\varphi_1 = 0$ 的精車車刀的工作。我們都知道 φ_1 角愈小，則殘留面積的高度 H 也愈小（圖 7），并当它等于零时，殘留面積理論上是完全不應該存在的，但实际上，它們虽然很小，但还是有殘留面積的；当然，这已經是由于其他原因而造成的了。在車床上加工时，这种原因很多，如：車刀对于工件中心安裝得不准确，机床、刀具和工件剛度不足，在車刀上积屑瘤的形成，切削刀本身的凹凸不平等等；所有这些都会引起已加工表面粗糙不平的。

用鉸刀工作时，这些原因大都已不存在。例如：切削刀安裝得正确的分布在同一圓周上的問題，是可用机械的方法获得的；如下面將要講到的有害的側向力能够抵消，因而不会發生振动；由于切削速度低，切屑小，因而在刀刃上并不生成积屑瘤。切削刀上的凹凸不平，并不完全遺留印痕在已加工表面上，因为在这些刀后面的其他切削刀，会將切削刀上留在已加工表面上凸凹不平的殘痕大部分切除掉。所以鉸孔可以得到比精車还光潔的表面。

四 鉸刀的切削部分

鉸刀的特点就在于为了得到光潔的表面，在它的構造上充分的运用了最有利的主偏角 φ 。鉸刀上主偏角 φ 通常是由 $3^\circ \sim 15^\circ$ ，而手鉸刀甚至只有 $0.5^\circ \sim 1.5^\circ$ （見圖 6）。

用其他精加工方法切削金屬时，也希望用这样小的 φ 角，但很多时候都不能很好的应用它。事实上，如果像在車刀上做成这样类似的角度后，用它来进行加工时，也不能在有的时候都很

好的得到所需光潔的表面。問題在于当减小主偏角 φ 后（圖8），我們得到的是有害的作用在零件上的徑向力的急劇增加。它引起被加工零件和机床本身的变形和振动，由此就不能得到高的表面光潔度和尺寸精确度。仅仅是在剛性高的車床上，用帶有 φ 角接近 0° 的寬車刀，加工大型零件的表面时，才能达到 $\nabla\nabla\nabla 7$ 級光潔度和3級精确度。

这种現象在用鉸刀加工时也会發生，但这里所有切削刃上的徑向力都是朝向鉸刀中心的，并由于鉸刀刀齿是按圓周均匀的分布着，这样發生在它上面的側向力就压缩鉸刀，也就是互相平衡而不發生振动。甚至相反的，这些趋向于平衡的側向力在被加工孔中能稳定的引导着鉸刀。不錯，在这里可以推論出鉸刀的主要缺点——因为在这种情况下，它不能校正預先已鑽好的孔的中心，而总是趋向于跟随它的中心。当孔和鉸刀有很大的不同心时，甚至按鑽模的套筒来强迫的引导鉸刀时，往往也不能很好糾正孔的中心位置。

上面已經看过的鉸刀各个部分的構造，并不是在所有情况下对于工作都适合的。随着被加工孔的形狀和尺寸的不同，必須改

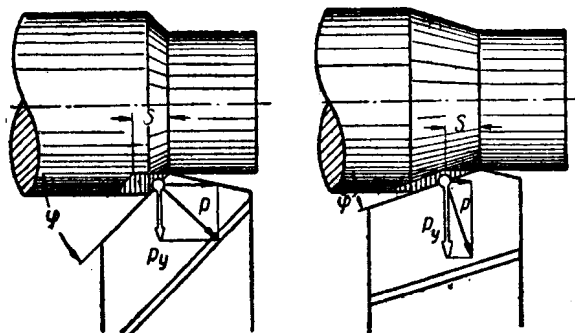


圖8 减小 φ 角就引起徑向力 P_y 的增加。

变个别的部分。例如对于必須加工到底部的不通孔，鉸刀應該有短的切削刃。为此可將鉸刀切削部分磨得更斜一些，使 φ 角为 45° ，甚至 60° ，或者沿半徑方向磨礪（圖 16 丁）。

这样，切削部分長度就在 1.5~2 公厘以下，而实际上孔也是在全部長度上加工的。

很明显，这种鉸刀工作时稳定性比較差，加工精密孔时，在一开始进行切入时要强迫的导向。况且用它加工出的表面，比用切削部分較長的鉸刀加工出来的表面光潔度也比較差。

当然，鉸刀工作的成功与否，不只是和主偏角 φ 的数值有关。其他的角度对于切削工作也有很大的作用，属于这类的有后角 α

和前角 γ 。这些角度在如图 9 甲上所示垂直于鉸刀切削刃的剖面中能够看出来。

大家都知道，前角的目的是为了使得切削过程易于进行。但是任何刀具（其中也包括鉸刀）的切削刃都不能是絕對尖銳的；它总有一个圓弧半徑，鉸刀上这个圓

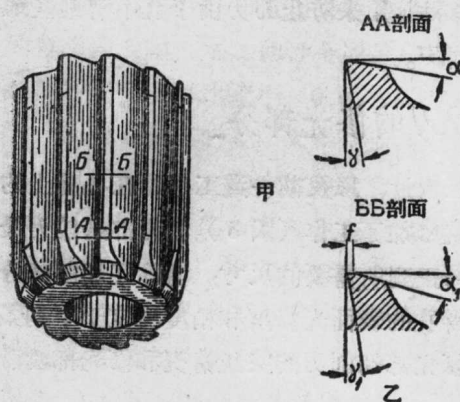


圖 9 鉸刀刀齒的要素：

甲—切削部分的角度；乙—修光部分的角度。

弧半徑的数值是大于鉸削时被切削層厚度的，因为鉸刀只切下很薄的切屑（0.02~0.03 公厘）。由于形成的切屑主要是抵靠在切削刃圓角的表面上，几乎不和鉸刀刀齿前傾面相接触（圖 10）。所以鉸刀上的前角較小；通常不大于 $5^\circ \sim 7^\circ$ ，而在加工脆性金屬时甚至是 0° 。

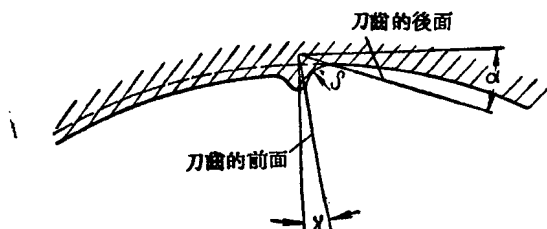


圖10 鉸刀切削刃口切下切屑的情況。

后角 α 有减少鉸刀刀齒後面與零件被加工表面間摩擦的作用。像經驗所指出的，當用后角 α 的數值為 $7^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 的鉸刀工作時，可以得到最好的表面光潔度。

在切削部分的前端做成 45° 的倒棱。它的作用是為了能使鉸刀自由地進入已有的孔中，並且用來防止刀刃由於孔中有某些地方留量較大或其他缺陷而崩刃。

五 鉸刀的修光部分

當鉸刀切削部分把加工留量、以及前一道工序留在孔壁上的不平度切去以後，修光部就參加了工作（圖5）。修光部是鉸刀最重要的部分，因為它將孔修正到所需要的尺寸，清除了切削部分所留下的不平度。因此所得孔的表面光潔度和精度決定於下列條件：修光部的製造精度；修光部切削刃的尖銳情況和修光部設計的合理程度。

當仔細的觀察時，不難看到鉸刀切削部分和修光部分的結構方面有一定的不同。這種差異主要是在修光部刀齒的後面上，沿切削刃可以隱約看到窄的棱帶。切削部分的刀齒上就沒有這種棱帶。如果用垂直於鉸刀中心的平面切開修光部，則鉸刀修光部刀齒的形狀將如圖9乙上所示。

儘管棱帶的寬度很小（最大為0.3公厘），但在鉸刀加工孔的

过程中它却起着很大的作用。在铰刀工作时它是随着切削部分的后面进入孔中的，并由它来引导方向，防止切削部分由于侧向力而向一边偏斜。铰刀修光部分就是这样用棱带沿着被加工出的孔来引导铰刀的。

棱带也有其他的作用。利用棱带可以使铰刀比较容易地达到所需精度的尺寸，并且检查起来比较简单。

棱带能帮助修平已加工的表面和得到精确的尺寸，并耐久地防止铰刀直径的磨损。

棱带的宽度不应做得太大。太宽的棱带会产生较大的摩擦，使铰刀的工作困难并可能将已加工表面磨得粗糙。通常它的宽度是根据铰刀的直径和被加工金属的机械性质而在 $0.05 \sim 0.3$ 公厘的范围内变动。加工韧性金属时，为了不致粘焊上被加工材料，棱带的宽度做得比较小 ($0.05 \sim 0.08$ 公厘)。

用铰刀加工的孔，大多是通孔，或者是长度大于铰刀圆柱形修光部长度的孔。在这两种情形中，工作时铰刀都是全部进入孔中的，如果修光部一直按圆柱形做到刀齿的末端，则它尖锐的后端往往要刮坏孔，尤其是由孔中倒退出铰刀时更为严重。为了避免发生这种情况，修光部刀齿的后半部在直径方面磨成向刀齿末端逐渐减小的锥形（图 5），这就组成所谓的后锥部。这个减小值很小：手动铰刀在 0.005 公厘以内；机动铰刀为 $0.04 \sim 0.06$ 公厘；活动铰刀为 $0.06 \sim 0.1$ 公厘。后锥部沿刀齿长度上也有像修光部一样的棱带。

铰刀圆柱形修光部的长度，常取其直径的 $0.25 \sim 0.3$ 倍。长度太大会增加摩擦或使铰刀卡在孔中。

六 光潔度和精確度

通常用鉸刀加工3級和2級精度的孔。連續用兩把或三把鉸刀加工可以得到1級的精度。

加工4級和5級精度的孔時，如用鑽頭或擴孔鑽不能得到應有的表面光潔度時，也可以採用鉸刀。

鉸孔以後，表面光潔度平均為▽▽6和▽▽▽7級。在極順利的情形（材料、冷卻液和切削用量）下，正確的使用好的鉸刀，能夠獲得更光潔的表面，而達到▽▽▽8級甚至▽▽▽9級。

加工直徑為10~12公厘以下的小孔時，鉸孔是在鑽孔後立即進行的。中等直徑的孔是在擴孔後鉸孔的，而大直徑的孔通常是用車刀或刀片在同一機床上鏜孔後，不拆卸零件就進行鉸孔的。

為了得到很精確的孔，通常是在預先擴孔或鏜孔後，採用兩把或三把鉸刀進行鉸孔。

在鉸刀工作時，有一系列降低加工光潔度和精確度的原因。例如，切削刀的尖銳情況對被加工孔的精度有很大的影響。由於鉸削的留量很小，只有尖銳的刀才能切掉它。隨著切削刀的磨損程度，當刀具鈍化時，切削刀就開始只切削下留量的一部分，剩下的部分（用已磨鈍的刀切削時所剩下的）就被壓縮到零件體內，俟刀齒經過後又彈性恢復回來。結果就使孔的尺寸小於鉸刀的直徑。

有時與此相反，甚至反而鈍的鉸刀可能得到孔的尺寸大於鉸刀本身尺寸。但只是當鉸刀開始使孔擴大的時候，才有這種現象。

使孔擴大的主要原因是由於鉸刀旋轉軸心和預先已加工好的