

高等學校交流講義

金屬切削及刀具

重慶大學許香穀、趙雲龍編譯

(內部交流 * 僅供參考)

中央人民政府高等教育部教材編審處

金屬切削及刀具

書號 (8022)

新華書店華東總分店總經售

商務印書館上海廠印刷

一九五四年八月上海第一次印刷
印數 1-1,790

字數 271,000
定價 羊 16,500

金屬切削及刀具

緒論

“金屬切削及刀具”課程的基本任務

在現代生產中，機器零件的最終形狀和尺寸主要是藉切削加工的方法得到的。

為了盡可能的減少零件的機械加工餘量曾經有過系統的研究，使零件在毛坯車間中即能得到最終的形狀，例如精密鑄造、精密衝壓等。然而，到目前為止，在機器製造廠中大部份的工作仍是按削除切屑的零件加工方式來進行的，因此提高金屬切削機床的生產率對國民經濟的發展是有巨大意義的。在金屬切削加工合理化的基礎上金屬切削機床的生產率的提高是完全可能的；而切削加工的改善，和其他的一些因素一樣，是與金屬切削刀具的品質有着不可分割的聯系。這樣，金屬的切削是與金屬切削刀具有機地聯系着的。如果沒有切削規律的知識要想合理地設計和使用切削刀具是不可能的。切削加工的生產率和經濟性以及零件製造的品質均有賴於切削刀具的合理形式、刀具的構造、幾何參數和材料均預先確定了切削的情況、條件和範圍。

由於金屬切削科學的發展，新型機床的熟練掌握和在生產中新工藝操作過程的應用將不斷的對切削刀具提出更加複雜的要求。

在本課程內將闡明金屬切削原理和金屬切削刀具學的基本知識。

以上所論及的問題在工程師的技術培養中佔着十分重要的地位。

我國古代勞動人民在金屬切削加工方面的成就

遠在紀元前一千多年在祖國的大地上就出現了鑄造的銅器。隨着銅器的廣泛使用人們除了在銅器上鑄印許多藝術的圖案以外還對銅器進行修整的切削加工工作，在春秋戰國時代就使用過鏡子。這種鏡子是用銅研磨出來的。鏡子表面的要求是高度的光滑和平整，這在當時的社會條件下，不是一件平常的事情。除了鑄造的銅器外（目前還經常在古墓發掘中發現），現在在北京故宮中陳列的中國古代天文儀器中還有直徑超過一公尺巨大的銅球、銅盤和銅環。這些儀器是明朝製

造的距今約三百多年，而在公元1700年以前在歐洲還未出現過切削金屬的車床。

蘇聯學者在金屬切削科學方面的貢獻

稱為蘇聯金屬切削科學的奠基者俄羅斯學者依凡A.基麥 (ТНМЕ) 教授在公元1870年首先在金屬切削方面細心研究過其中一個最重要和最複雜的問題——切削形成的過程。1870年出版過他的著作“金屬和木材對切削的抗力”其中總結了他的實驗研究結果。1877年這本著作翻譯成法文，到1892年翻成德文。在這部經典著作中基麥教授討論切削抗阻時特別指出是由於材料變形的抗力而這種變形過程是金屬屑片依次的削斷。他首先建立了各種切削角度的概念並對各種形式的切屑進行過分類。

由於俄國學者康斯坦丁A.茲瓦雷金 (ЗВОРЫКИН) 的研究，基麥的理論得到更進一步的發展。1892年茲瓦雷金教授首先計劃和應用液壓測力儀來作切削抗力的研究他用數學方法決定了切屑削斷面的位置並建立了作用在切削刀具上的力的平衡方程式。同時他還找出切削力與切屑尺寸之間的關係，並指出切屑的原度對切削力的影響是小於一次方的關係。

1915年雅果夫Г.烏沙契也夫 (Г.Г.Усачев) 發表過“在金屬切削進行中的現象”的著作；他首先應用金相的方法來研究切削的過程，並指出在切削過程中與削斷面並存的還有滑動面。他還研究過附屑的問題和切削時熱的現象。

安得烈H.且抑斯金 (А.Н.ЧЕРТОКНН, 1891—1926) 在1925年出版過“切削尺寸對金屬切削抗力的影響”的單行本。在這書中總結了他一生在金屬切削方面的深入研究。根據一系列的實驗結果他因數學的公式準確地建立了切削力與切屑尺寸的關係，並成為今日金屬切削抗力公式的一般形式。

金屬切削對機器製造和機床及刀具設計的影響

金屬切削技術的進步使人們有可能全部使用金屬來構造機器，隨

着生產發展的過程實際需要對機器的能量、強度、工作速度和工作精度的要求也日益提高；因此必須使用更強有力的金屬（硬度很大）來製造機件，必須使機件的表面光潔尺寸精確以滿足高速度和高精度的要求。現代的金屬切削加工技術在事實上完全能達到這些要求，並且還在不斷地進展中。

為使金屬切削的速度增大以提高生產率時刀具的材料就要求在切削過程中所產生的高溫狀態下維持應有的硬度。刀具的硬度不僅決定於材料的本身，而且依靠於適當的熱處理。刀具在熱處理過程中由於內部金屬組織的變化和驟然的冷縮常常產生一些有害的翹曲和變形。這種不希望有的變形一方面決定於淬火的技術另一方面是而且是主要的決定於刀具形狀的設計。

由於高速切削方法的研究與實踐，在刀具材料方面採用了毋須熱處理的硬質合金，然而又產生了硬質合金刀片如何焊接或夾持在刀具本體上的問題。金屬的電火花加工方法的成功已經可以使硬質合金鍍在普通切削刀具的刀刃上因而可以提高切削速度增加生產率。切削條件的改變對刀具要求特殊的幾何形狀。在普通切削速度下刀具刀刃的前角一般是正值或等於零，然而在高速度的切削中負的前角顯示出更為良好的切削效果。金屬切削技術的發展將對刀具的設計和製造不斷地提出新的要求，因而需要用革新方法來滿足它們。

關於金屬切削規律性的理論上的探討以及特別是用實驗方法的研究已經使得對切削情況的決定可以達到十分精確的程度。特別是在切削抗力方面的研究使得在設計金屬切削機床時有可能作精確的力的分析。由於這種依據的可靠性機床的設計可以更加合理地進行，得到節省材料而又有最大的強度與剛性的機床結構。高速度的切削相應地要求大的切削力和耗費更多的能量，因此新型機床的構造是傾向於堅強的結構，快速的轉數，自動的大量的走刀機構，巨大功率的電動機等特徵。這樣，合理地設計和使用刀具會充分地使用現有機床並提高其生產率，反過來新型機床的出現也能使新的切削技術得到更高的發展。

製造工件時間的分析

製造一件工件所需要的時間叫做計件工時，它 指下列各部份：

$$T_{\text{全}} = T_o + T_B + T_{\text{obc}} + T_{\Phi}$$

式中 $T_{\text{全}}$ — 製造一件工件所需時間，分；

T_o — 主要的（工藝的）時間，分；

T_B — 輔助時間，分；

T_{obc} — 照顧整理工作地點的時間，分；

T_{Φ} — 滿足工人身體上需要的時間，分；

現在再詳細分別研究組成計件工時的各部份。

T_o — 主要的（工藝的）時間 — 為改變零件形狀和尺寸所需的時間，亦即是實現一定的工藝過程直接目的的時間。主要的（工藝的）時間本身又可能是機動的或是機動及手動的。機動時間可理解為在切削進行中工人沒有直接參加工作（當搭上自動走刀時）。機動及手動時間可理解為在切削時工人用手操動刀具或移動工件（手動走刀）。

T_B — 輔助時間 — 工人在耗費在各種輔助操作的時間以保證主要的（工藝的）工作能順利執行。輔助時間包括操動機床的時間（開車，停車，變速，改變走刀等），裝卸工件時間，裝卸刀具的時間，測量工件尺寸的時間等。

T_{obc} — 照顧工作地點的時間 — 工人在工作過程中看管工作地點所耗費的時間。這包括在工作過程中檢查和調整機床的時間，由於刀具用鈍後替換的時間，修磨刀具的時間，機床的打掃和加油時間，在上班時分配使用的工具和下班時收拾工具所需要的時間。

T_{Φ} — 身體上需要的時間 — 由於工人疲勞需要休息和滿足天然需要所規定的時間。

由於上計件工時的分析我們知道其中最重要的部份也是佔時間最多的部份是主要的（工藝的）時間為了提高勞動生產率，減低成本，

而達到增產節約超額完成生產計劃就必須解決主要的（工藝的）時間這一關鍵問題要減少工藝時間，就切削加工而就需要提高切削的速度，因此高速切削的技術對於縮短計件工時和提高勞動生產率是起着決定性的作用。

金屬的高速切削

1952年10月中國機器製造業工會第二次生產工作會議繼第一次生產工作會議作出“關於推廣高速切削法的決議”後又作“關於進一步推廣高速切削與多刀多刃切削法的決議”。該會議認為在增產節約競賽運動中必須進一步推廣高速切削與多刀多刃切削法，以充分發揮現有設備的潛在能力和提高勞動生產率，自從這些工夫議是出後，相繼在東北，北京，重慶及全國各大工業都市都舉辦過高速切削法訓練班培養推廣高速切削法的工人幹部。繼此以後高速切削法這一蘇聯先進生產經驗就普遍的被許多廠礦熱烈地學習和應用，使國家的經濟建設加速向前推進。

雞西礦務局總機廠青年車工周松林曾用T80K4硬質合金刀具車製鑄鐵皮帶輪創造了切削速度每分鐘1705公尺的新紀錄。

除採用硬質合金刀具進行高速切削外在武漢上海等地工廠中曾試用白磁刀進行高速切削，白磁刀不僅可以作為粗車刀具並且可以用以車削螺紋切削速度達每分鐘118公尺。南京電瓷廠曾研究試製過磁刀片，經過實驗磁刀的脆性並不嚴重，只要研磨得當，承托及夾持牢固是可以獲得良好效果的。

自蘇聯中伏爾加田機製造廠斯達哈諾夫工作者科列索夫創造了加大走刀量的新型車刀和車削技術以後，在我國各地工廠均在熱烈的學習這一先進經驗。東北機械十廠舉辦業餘訓練班積極推廣科列索夫工作法。旅大機械二十廠車工陶永財更將這種工作法應用在鉋床上并獲得成功，工作效率提高了六倍。東北機械二廠銑工張旭金把這方法運用在銑床上，結果使走刀量在精銑時由75公厘/分加大到300公厘/分，生產效率提高了四倍，並且使刀具耐磨時間由180分鐘延長到250

分鐘。

金屬高速切削今後的發展方向應該是創造性的總結和綜合運用所有先進工作者及革新家們的成就。這樣，生產效率就比單獨應用一種先進方法提得更高。總結和推廣先進工作者及革新家的經驗是新型的技術人員和進步的學者們應盡的偉大職責。他們應該和斯達哈諾夫式工作者們一同來加速完成祖國的經濟建設。

第一章 切削刀具刀具的幾何參數

刀具的基本組成部份

雖然車刀、鉋刀、插刀，在工作性質上有些區別，但是基本組成部份有很多共同的地方。每個刀具都是由兩個基本部份組成：刀頭就是產生切削的部份，和刀體或刀桿，是用以裝夾在機床的刀架上（圖1）

圖2—4表示車刀、鉋刀和插刀刀頭的組成部份，刀頭的組成部份有下列幾項。

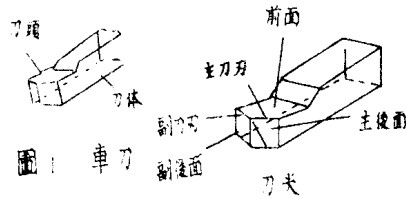


圖1 車刀

圖2 車刀刀頭的組成部份

1. 前面，在工作過程中切削屑滑過從而離開的表面。
2. 後面，即在刀頭上，面對工件的表面，又可分為主後面，即緊接主刀刃的那個後面，和副後面，即緊接着副刀刃的那個後面。副後面可能是一個或者兩個。

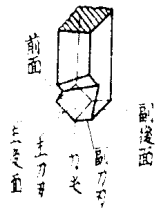


圖3 鉋刀刀頭的組成部份

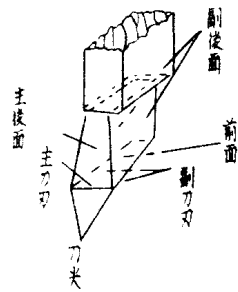
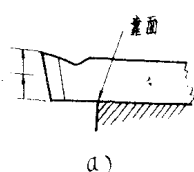
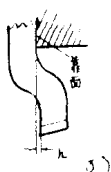


圖4 插刀刀頭的組成部份

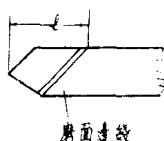
3. 切削刀具前面和後面的交線又分為主刀刃，即擔任主要切削工作的刃口，和副刀刃，副刀刃可能是一個或者兩個。
4. 刀尖是主刀刃和副刀刃相交的地方，刀尖可能是尖銳的尖端或者是成圓弧形的。
5. 刀頭高度 h 是刀尖到靠面的垂直距離，以公厘為單位，它可能是正值（圖5，a）或者是負值（圖5b）。
6. 刀頭長度是 l ，從刀尖平行於刀體量去直到磨面邊緣的最大距離，以公厘為單位。



a)



b)



磨面建設

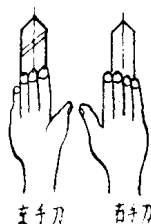
圖 5 刀尖與靠面的相關位置

圖 6 刀頭的磨面

圖 5. 刀尖與靠面的相關位置

根據走刀的方向刀具分為右手刀 (圖 7)

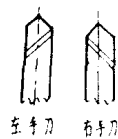
1. 把右手掌放在刀子的頂面上，指尖與刀尖的指向相同，如主刀刃在大指所指的一側，此刀具叫右手刀。
2. 把左手掌放在刀子的頂面上，如主刀刃在大指所指的一側，叫此刀為左手刀。



左手刀

右手刀

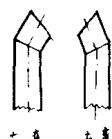
圖 7 右手刀和左手刀



左手刀



右手刀



左手刀



右手刀



向前彎曲

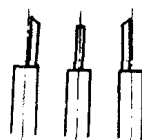


向後彎曲

圖 8 直形刀

圖 9 彎頭刀

圖 10 曲頭刀



左偏

對稱

右偏

圖 11 窄頭刀 (切刀)

按照刀頭的形式和刀頭對於刀體的相關位置。刀具可分為直形刀、彎頭刀、曲頭刀、和窄頭刀、(切刀)

1. 直形刀 (圖 8) 其軸線是直的。
2. 彎頭刀 (圖 9) 其刀頭向左或向右彎曲，故又分為左彎刀和右彎刀
3. 曲頭刀 (圖 10) 在側視圖上看出其軸線向前或向後彎曲。
4. 窄頭刀 (切刀) 其刀頭較刀體窄狹，刀頭對於刀體的軸線可能是對稱的，或者是左偏的，或右偏的、(圖 11) 同時刀頭也可能向任何一邊彎，或者是向前彎曲。

基本表面和坐標平面

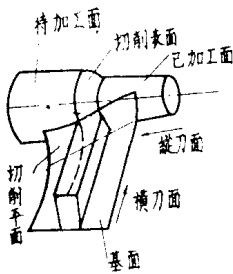


圖 12 車刀切削的表面和坐標平面

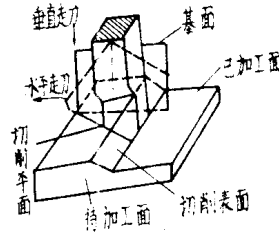


圖 13 鉋刀切削時的表面和坐標平面

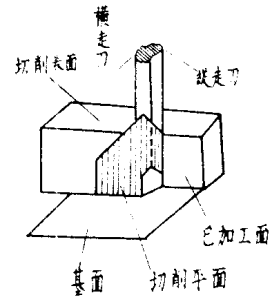


圖 14 插刀切削時的表面和坐標平面

在圖12—14中表示用車刀，鉋刀和插刀切削時的基本表面和坐標平面。當切削時工件上的表面分為下列幾種。

1. 待加工表面，即將從它上面切下切屑來的表面；
2. 已加工面，切下切屑後得出的表面；
3. 切削表面，即切削及切屑時在工件上即刻形成的表面，也就是介乎待加工面和已加工面之間的過渡表面。

為了給刀具的各種角度下定義，根據全蘇標準規定兩個基本平面：基面和切削平面。

基面是平行於縱走刀方向和橫走刀方向的平面，在帶方刀桿的車刀和鉋刀裏這平面可能是刀手的底靠面，但是對插刀來說基面是垂直於靠面的。

切削平面是通過主刀刃而與切削表面相切的平面，這個定義僅在主刀刃是直線時才適合，在那些主刀刃是曲線的刀具裏，切削平面則由主刀刃向切於切削表面的方向上作直線運動所成的那個表面所代替了。

在作直線運動的鉋刀和插刀來說，切削平面與切削表面是相連合的。

刀具的各種角度

在討論刀具的角度的時候，是把刀具當作幾何體看待的。刀具的角度與在切削過程中的角度不同，由全蘇標準所定角度的定義將合於刀具的角度。

在標準情況下，各種角度的定義是為直形刀而下的。刀軸裝成與走刀方向垂直（外圓車刀，鉋刀，插刀）或者與走刀的方向平行（切斷刀，板刀），刀尖（在車床上位置與機床中心綫一樣高）。

按全蘇標準刀具的所有角度分為兩類即主的和副的。

多種主角度在主斷面上即是在垂直於主刀及在基面上的投影的平面上量取的。（圖15）

主後角 α 是主後面與切削平面之間的夾角。

楔角 β 是主后面與前面之間的夾角。

前角 γ 是前面與通過主刀及垂直於切削平面的平面之間的夾角
切削角 δ 是前面與切削平面間的夾角。

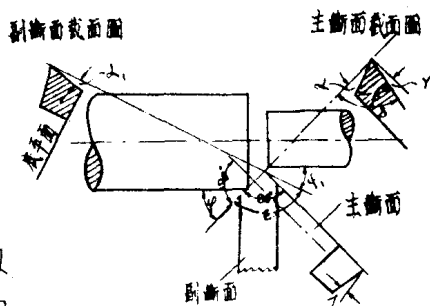


圖15. 刀具的各種角度

當以切削平面來確定刀具的各種主角的時候，切削平面是通過主刀及而垂直於基面的平面。

顯然地 $\delta = \alpha + \beta$ ，和 $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$

刀具的幾種副角是在副斷面上即是垂直於副刀及在基面上的投影的平面上量取的。

副後角 α_1 ，是副后面與通過到刀及面垂直於基面的平面之間的夾角
主偏角 φ 是主刀及在基面上的投影與走刀方向間所成的角。

副偏角 φ_1 ，是副刀及在基面上的投影與走刀方向間所成的角。

刀尖角 ε ，是主副兩刀及在基面上的投影之間的夾角。

顯然地 $\varphi + \varepsilon + \varphi_1 = 180^\circ$

主刀刃斜角 λ (圖16)
是主刀刃與通過刀尖而平行
於基面的直線之間所成的角

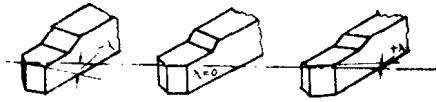


圖16. 主刀刃斜角

此角是在通過主刀刃而垂
直於基面的平面上量取的，當刀尖 (圖16中A點) 是主刀刃的最高點
時叫負主刀刃斜角，當刀尖是主刀刃的最低點時，叫正主刀刃斜角。
當主刀刃與基面平行時主刀刃斜角等於零。

除以上的角度以外，有時必
須也要用到一些在縱向和橫向的
截面上量取的角度，可分為前面
的橫向傾角 γ_x 和前面的縱向傾
角 γ_y (圖17)。

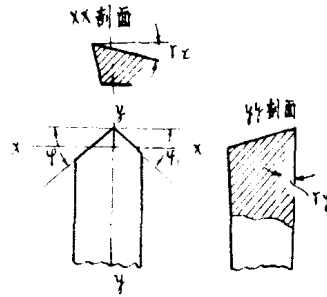


圖17 刀具前面的縱向傾角

與橫向傾角

γ_x 角是在垂直於刀軸的垂直
平面上量取的。(圖17.xx剖面)
 γ_y 角是在平行於刀軸而垂直於基
面的平面上量取的。(圖17.yy剖

面)，縱向與橫向傾角是副角。在特殊的磨床上磨刀具前面時這兩個
角度是必須知道的。 γ_x 和 γ_y 的值隨 γ 、 φ 和 λ 的值而定，可用下列公式決
定之：

$$\tan \gamma_x = \sin \varphi \tan \gamma \pm \cos \varphi \tan \lambda \quad \text{--- (1)}$$

$$\tan \gamma_y = \cos \varphi \tan \gamma \mp \sin \varphi \tan \lambda \quad \text{--- (2)}$$

正角用上面的符號，負角用下面的符號。

切削過程中的刀頭角度

以上所述的刀頭角度的定義是根據切削平面是垂直的，在有些場
合切削平面的方向可能有改變，顯然實際的角度對切削的過程是有影
響的。這些角度是與以上所述的各種刀頭角度是有區別的。

我們已曾指出，在靜止狀態下作為幾何物體的刀頭角度是與在切
削過程中的刀頭角度是不同的。

變化的切削平面 $A_1 - A_1$ 的跡。由於這樣前角就增大了，而實際的前角在切削過程中將為

$$\gamma_0 = \gamma + \mu$$

在縱向車削時切削運動也同樣影響刀頭角度（圖 19），在這種場合下由於工件的旋轉和刀頭的直線移動即形成一種以螺距為 $s \text{ mm}$ 的螺旋線的相對運動的軌跡。這樣切削平面的方向不再是垂直的，而由於切除切屑是沿着螺線進行的所以切削平面

$A - A$ 的跡切螺線於 O 點， $A_1 - A_1$ 的方向隨着走刀量增大也愈離開 $A - A$ 的垂直位置（垂直於工件的軸線）。 $b - b$ 的位置（平行於基準平面）也有改變，在切削過程中為 $b_1 - b_1$ （垂直於 $A_1 - A_1$ ）。在切削過程中在主斷面內的實際角度將為：

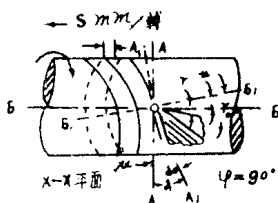


圖 19

$$\alpha_0 = \alpha - \mu, \text{ 和 } \gamma_0 = \gamma + \mu$$

為了確定 μ 的值假定是使用切削刀及斜角 $\lambda = 0$ 的外圓車刀車削，同時刀尖安得與工件中心一樣高。

α 和 γ 角的改變隨着 μ 角的大小在各平面內是變化的，這些平面垂直於基準平面。

在主斷面 $N - N$ 內存在這種關係。

$$\operatorname{tg} \mu_N = \operatorname{tg} \mu_x \sin \gamma;$$

$$\text{或 } \mu_N = \arctg (\operatorname{tg} \mu_x \sin \gamma).$$

$$\text{因為 } \operatorname{tg} \mu_x = \frac{s}{\pi D}.$$

則可以寫為

$$\mu_N = \arctg \left(\frac{s}{\pi D} \cdot \sin \gamma \right) \quad (3)$$

由這公式可知， μ 的值，因而 α 和 γ 的大小也同樣，不僅與走刀量有關係，並且與工件的直徑也有關係。 μ 值隨工件直徑減小而增大。

這種情況說明，當工件直徑愈小，走刀量愈大時，刀具在靜止狀態的后角應愈取得大。

應當指出，在普通情況下由於走刀量 s 比較工件直徑是小得多因而 μ 的值也不大（約 $30-40'$ ），因此可略而不計並且認定

$$\alpha_s = \alpha_x \text{ 和 } \gamma_s = \gamma.$$

然而在某些場合，例如在車螺絲時而螺距甚大， μ 的值將會相當的大。在車床上車蝸桿或其他類似工件的也是這樣。在這些場合下必須放慮由於 μ 增大而產生的 α 和 γ 的改變。

刀頭對於機床中心的安裝對刀頭角度改變的影響

為使問題簡化，開始假定在切削過程中僅有主要的旋轉運動。

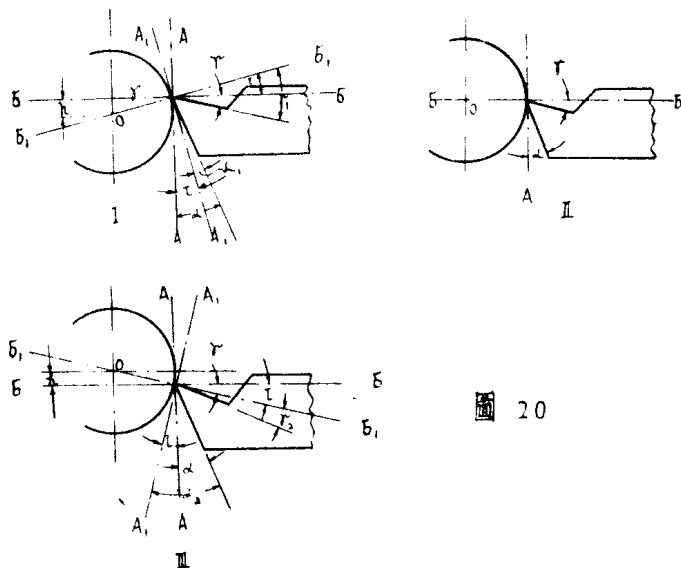


圖 20

當刀尖位置在機床中心線上時（圖20 II）切削平面 $A-A$ 的跡的方向與垂綫相重合，基準平面 $B-B$ 的跡垂直於切削平面的跡。並與半徑的方向相重合，這於平面的跡都通過刀尖與工件的接觸點。

如果刀頭的安裝其刀尖高於或低於機床中心綫 h 的距離，則由圖20，I和II可知切削平面的跡取 A_1-A_1 的位置而基準平面的跡 $B-B$ 取 B_1-B_1 的位置，二者仍互相垂直，由於這種原因 α 和 γ 角的大小就有了改變。

由圖20可知，當車外圓時：

1. 當刀頭安置得比中心綫高 h 時前角增大而后角減小。

顯然，前角和后角隨着坐標平面的跡的傾角 τ 而改變，亦即

$$\alpha_1 = \alpha - \tau \quad \text{和} \quad \gamma_1 = \gamma + \tau;$$

2. 當刀頭安裝得低於中心綫 h 時則前角減小，而后角相應的加大，這時在切削過程中實際的角度將為

$$\alpha_2 = \alpha + \tau \quad \text{和} \quad \gamma_2 = \gamma - \tau.$$

τ 角在 $Y-Y$ 平面內改變（紙面），這平面垂直於工件中心綫和基準平面。

因此

$$\sin \tau_Y = \frac{h}{r},$$

由此

$$\tau_Y = \arcsin \frac{2h}{D}.$$

在主斷面 $N-N$ 上存在這樣的關係

$$\tan \tau_N = \tan \tau_Y \cos \varphi$$

同時

$$\tan \tau_Y = \frac{\sin \tau_Y}{\cos \tau_Y} = \frac{h}{\sqrt{(\frac{D}{2})^2 - h^2}}$$

代入以上 τ_Y 之值則得

$$\tau_N = \arctan \left(\frac{h}{\sqrt{(\frac{D}{2})^2 - h^2}} \cos \varphi \right) \quad (4)$$

在車內孔的情況下 F 和 γ 角的改變恰好與車外圓的改變相反，即是刀尖升高時前角減小而後角增大。

以上所得結論是假定在切削過程中僅有主要的旋轉運動，而事實上除此而外還有刀具的走刀運動。在刀頭安裝得高於中心綫 h 時而同時有走刀運動時，坐標平面的跡在 $N-N$ 斷面內將傾斜 $\mu + \tau$ 角即是真實的刀頭角度將為下列各值：

$$\gamma_0 = \alpha - \mu - \tau, \quad \text{和} \quad \gamma_0 = \gamma + \mu + \tau.$$

代入 μ 和 τ 的值則得

$$\alpha = \gamma_0 + \arctan \left(\frac{f}{\pi D} \sin \varphi \right) + \arctan \left(\frac{h}{\sqrt{(\frac{D}{2})^2 - h^2}} \cos \varphi \right) \quad (5)$$