

苏联机床制造部全苏工具科学研究所



〔苏联〕Г. И. 格拉诺夫斯基著

成形車刀

科技卫生出版社

目 录

成形車刀.....	1
§ 1. 成形車刀的类型及其工作原理.....	2
§ 2. 成形車刀修正計算的必要性	12
§ 3. 迴轉体成形表面的分析	17
§ 4. 修正計算成形車刀时对工件工作圖的准备	18
§ 5. 修正計算的目的和精度	20
§ 6. 修正計算的技术	21
§ 7. 徑向成形車刀修正計算的共同部分	25
§ 8. 成形車刀的計算	27
§ 9. 棱形成形車刀的修正計算	35
§ 10. 基綫在工件中心 O_u 上的車刀.....	37
§ 11. 成形工件端面外形部分和內凹外形部分的加工条件	50
§ 12. 螺旋后面的圓形成形車刀的修正計算	54
§ 13. 軸綫傾斜安裝的車刀之計算	58
§ 14. 切綫成形車刀的修正計算	73
§ 15. 成形車刀外形的形式	77
§ 16. 磨制車刀成形表面时在工艺上的可能性	79
§ 17. 棱形車刀和圓形車刀切削刃的形狀	88
§ 18. 圓形車刀切削刃的凸起值	90
§ 19. 被加工成形工件錐形部分上迴轉面母綫的形狀	97
§ 20. 錐形面母綫的凹值	98
§ 21. 分析和研究用成形車刀所加工的工件的加工精度.....	102
§ 22. 檢驗車刀成形外形的样板構造.....	105
§ 23. 成形車刀的工作圖.....	107
§ 24. 成形車刀的刃磨.....	110
§ 25. 在机床上裝夾成形車刀用的刀夾和刀座的基本类型.....	113
§ 26. 建議的成形車刀的前角和后角的角度表.....	115
§ 27. 成形車刀修正計算的例子.....	118
附录.....	119

成形車刀

車刀是一種萬能的刀具，熟練車工使用它，可以加工出任何外形並符合一定精度要求的工件。

從結構上看，車刀是一種很簡單而並不貴重的刀具，而且在使用時却又是生產率很低的工具。若用來加工成形工件，則加工的生產率和工件的精度，是由車工的熟練程度和手藝來決定的。由於上述原因，因此，用車刀來車削成形工件，僅適用於單件生產或小批生產中。若機械加工過程以部分或全部自動化為主的大批生產或大量生產的工藝，則最好是採用成形車刀作為加工成形工件的基本類型的刀具。

從結構上看，所有類型的成形車刀都是十分複雜的刀具，在應用它時，需要經過專門的、有時甚至是很費力的和令人厭煩的修正計算；此外在工具車間內，還需要技術熟練的工人和專門的設備。但是經精細計算和精確製造的成形車刀，在機床上合理的裝夾後，能夠保證在大批生產同類零件時的生產率很高，並能保證形狀一致和它們的尺寸精度。在必須保證零件的互換性和機器裝配過程的工藝連續性時，成形車刀的最後質量是具有特殊意義的。

使用成形車刀的另一優點，就是技術熟練程度低的工人也能看管轉塔車床、半自動車床和自動機床。至於保證成形車刀本身外形的精度，則決定於工具車間的工人技術熟練程度。

在金屬加工過程自動化程度占世界第一位的美國機器製造業，以及在一般生產的技術文獻中，都可以發現成形車刀的使用是很廣泛的。作者在這本書中，大量地利用了美國工業上在製造和使用成形車刀方面的多年經驗，其中尤其是利用了工程師約翰遜的一篇詳細的、並且是作了透徹論述的論文（發表於倫敦版的《American Machinist》上）。

§ 1. 成形車刀的类型及其工作原理

在現代的机械制造业中,加工成形表面主要是应用棱形成形車刀(圖 1),以及圓形成形車刀(圖 2)。至于切綫成形車刀(圖 3)和展切成形車刀(圖 4)則使用得并不广泛。

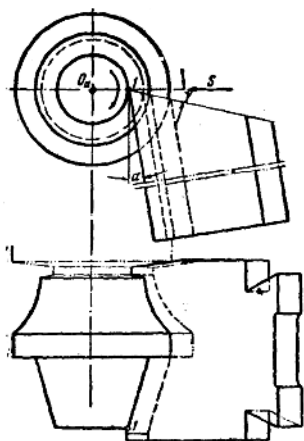


圖 1

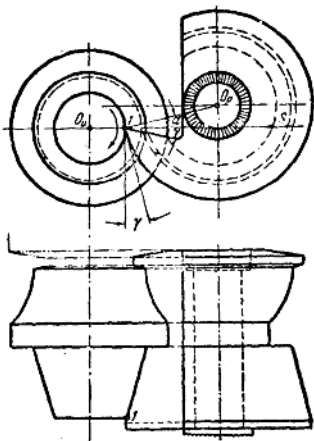


圖 2

棱形成形車刀和圓形成形車刀 根据使用条件,棱形成形車刀和圓形成形車刀可具有各种不同位置的表面:

a) 傾斜成 γ 的前面, 因此在工件中心 O_w 的高度上, 可以見到成形切削刀上的一个点或几个点。这些点, 如果是在棱形成形車刀上, 則它們和裝夾基面的距离是相等的; 如果是在圓形成形車刀上, 則它們的半徑都相同(圖 1 和圖 2)。

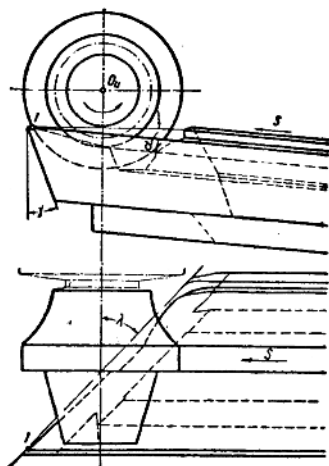


圖 3

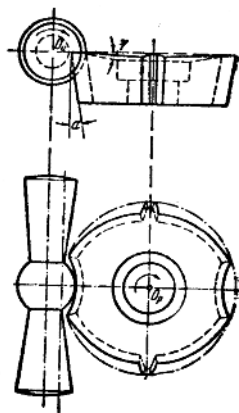


圖 4

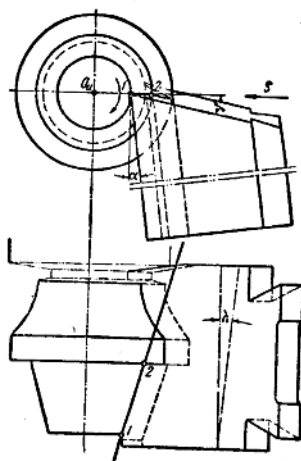


圖 5

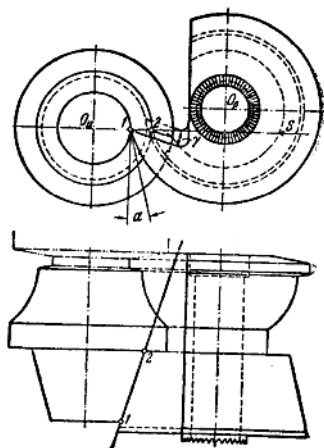


圖 6

6) 同时倾斜成两个角 γ 和 λ 的前面。这两个角应使通过車刀成形切削刀外形部分的一条基綫上的一切点,都位在工件中心 O_u 的高度上。至于成形切削刀不在基綫上的其他各点,它們可以高于工件的中心 O_u ,或是低于工件的中心 O_u (圖5和圖6)。

н) 成形車刀的裝夾基面或几何軸綫,可以和工件軸綫相平行,也可以和它相傾斜成 ζ 角(圖7、8、9和10)。

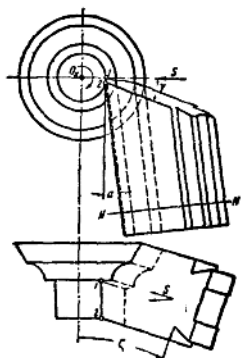


圖 7

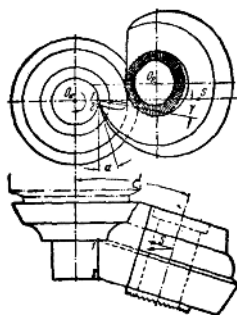


圖 8

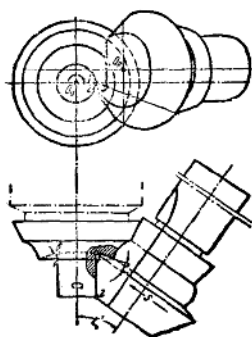


圖 9

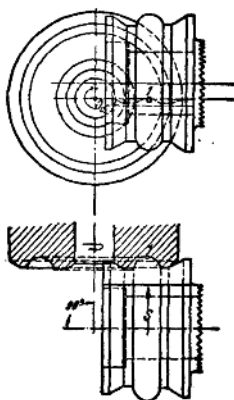


圖 10

r) 圓形成形車刀的成形面可以是環狀的,也可以是螺旋狀的(圖 11)。

上述一切類型的棱形車刀和圓形車刀,都由機床走刀機構得到走刀方向 S , 這樣即使在極端的情形下,其成形切削刃上的一個點,在它的運動過程中,是和被加工工件的迴轉軸綫相交。這一特征就作為把所有棱形成形車刀和圓形成形車刀劃入徑向成形車刀類的根據。不過,這個名稱是有條件的。

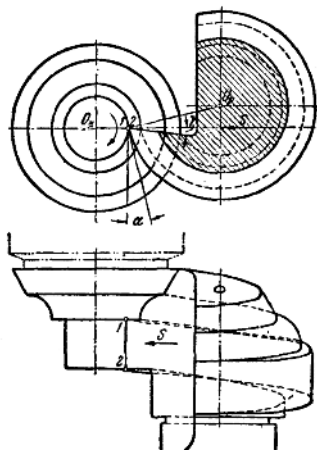


圖 11

徑向成形車刀的工作原理,就是用一个唯一的切削刃,把所有應該去掉的金屬層,逐漸地切成連續切屑。隨着車刀切入工件的金屬中,切削部分的周邊長度就逐漸地增加着,並在工作終了時,車刀切削刃的全部長度都進入了工件。因而切削刃上的每一點,都有它自己的、並且也是該點所僅有的工作延續時間。

徑向成形車刀的走刀運動,可以和被加工成形工件的迴轉軸綫相垂直(圖 1~6),也可和它傾斜成 ζ 角(圖 7~9),或者和它相平行(圖 10)。

工件的迴轉運動,和相當於上述三種走刀方向的車刀走刀運動的合成,就是徑向成形車刀切削刃上各點的工作運動軌迹。在第一種情形中,其軌迹是平面形的阿基米德螺旋綫,在第二種情形中是空間的錐形螺旋螺旋綫,而在第三種情形中是螺旋綫。

形成成形切削表面的特征,隨着走刀方向的不同而改變着。當走刀方向垂直於被加工工件的迴轉軸綫時,切削表面乃是許多

平面形的阿基米德螺旋綫的总和，并且是成形的蜗狀面。当走刀方向与迴轉軸綫傾斜成 $\angle$ 角时，切削表面乃是許多錐形螺旋綫的总和，并且是成形的蜗狀螺旋面。当走刀方向平行于迴轉軸綫时，切削表面乃是許多螺旋綫的总和，并且是成形的螺旋面。

在工作完畢脫开走刀机构时，一切相对工作运动合成的軌迹，就失去了它本身的意义。在我們面前的，只是环狀已加工的成形表面。

徑向成形車刀的工作特性如下：

a) 切削周長上每点的工作运动的軌迹，根据走刀方向的不同，可以是平面形的阿基米德螺旋綫、錐形螺旋綫，或者是柱形螺旋綫。

b) 在切削一个工件的全部工作時間中，工件每轉的切屑厚度 a （公厘）是一定的；但是在切削刀周長上各点的切屑厚度是不相等的。

b) 一切影响切削要素破坏的切削力和切削热，是繼續不断有害地作用着，并且在加工工件的全部時間中，沿着切削刀全部周長上傳布着。这种影响使得外形的不同点上，它們的延續時間也不相同。

r) 在切削完畢时，工件表面的加工，因为是切削刀全部外形同时参加切削的。故从理論的观点上看来，工件表面應該是十分平坦和光滑的。

切綫成形車刀 切綫車刀的成形刀口，是由車刀的成形后面和傾斜成 γ 及 λ 兩角度的前面交綫形成的。

切綫成形車刀与徑向成形車刀不同，它被安裝在机床上时，离开工件迴轉綫 O_n 間有一定的距离，其走刀方向是直綫的且垂直于工件軸綫，同时与已加工的成形表面相切。

过分地加大双重傾斜前面的 λ 角，就会引起切綫成形車刀成形切削刀的長度过分加長，因而与被加工工件軸綫交叉。

由于工件的成形表面,不是一下子在全部外形上切削出来的,而是逐渐地加工出来的。車刀的这种性质,使它容许用来加工相当长的成形工件,可以不必顾虑到由于切削力的作用,而使車刀及工件发生过载以及振动的现象。这些现象在径向車刀加工长的成形表面时是不可避免的。

切綫車刀在外观上与棱形径向車刀是相类似的。它们之间区别是:前者的加工精度,系决定于切削刃在离开被加工工件迴轉軸綫 O_u 間所规定距离的装夹,并且車刀的走刀方向与待加工成形表面是相切的。

切綫車刀的工作原理,就是把所有应该从被加工工件表面上去掉的金属层逐渐地切成連續的切屑。在开始切削时,切綫成形車刀的切削刃上每一点,都与此車刀和坯件待加工表面的接触点重合于起点 H 。切削刃上各点的相对工作运动轨迹,决定于被加工工件的迴轉运动与車刀的直綫等速走刀运动(在迴轉工件相应圆周的切綫方向上)的合成。并且这轨迹乃是一以不等的减速趋近于最后加工过的工件迴轉母綫的平面形蜗綫,并且在切削完畢时到达 K 点。

切綫車刀在与已加工工件圓形母綫相切的走刀方向上,允许依靠車刀前面傾斜一个刀磨角 φ 或角 λ , 来增长切削刃的长度,并且使同时参加切削程的切削刃,不是全部长度,而只是其中有限的一部分。

切綫車刀开始切削过程是在平面 R_1R_1 中的刃口与工件表面接触点 A 点。随着車刀在走刀方向的运动, A 点在它运动的路程中,就切掉所应去掉的金属层(圖 12)。以后,由車刀成形刃口的切削周長所形成的切削刃上的其他各点,也就順序地参加到切削过程中去。

当切削周長上的 A 点达到 K 点位置上时,在平面 R_1R_1 上的工件,将是半径为 r 的最后加工过的迴轉母綫(圖 13)。在此同时,

成形切削刃上另外一点 B ，在平面 R_2R_2 内运动着，并且正在 H 点的位置上与坯件表面相接触。因此在观察的位置上见到成形切削刃周長 AB 段上的各点都与工件直接接触着；但是它們的切削阶段是各不相同的，并且工件不是被車刀切削刃的全部長度加工着，而只是在平面 R_1R_1 和 R_2R_2 之間的一段切削刃長度 l_p 在加工着。

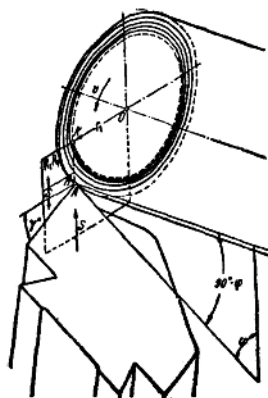


圖 12

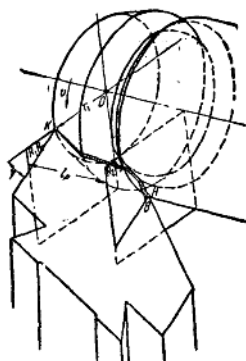


圖 13

在繼續加工的过程中，由于車刀走刀是等速的和連續不断的走刀运动，就使得車刀刀口上的 A 点与工件已加工的表面（就是平面 R_1R_1 上的环形母綫）在 K 点的接触受到破坏。按照与此相同的順序，傾斜的成形切削刃上的每一点，在它运动的路程中，当到达某点 H 位置时，就参加到切削的过程中去了，而到达某点 K 的位置时，这些点就退出切削过程，而不再与工件已加工表面部分發生接触。因此，切削周長 AB 和限制切削長度的平面 R_1R_1 和 R_2R_2 是在移动着，好象是沿着成形切削刃在滑动着，一直到切削刃上最后一点 E ，与坯件表面在 H 点的位置上發生接触时为止（圖 14 和 15）。从这时候起，由于以前的点从切削过程中繼續不断地退出，切削刃的長度就逐漸地減短，直到最后一点 E 到达

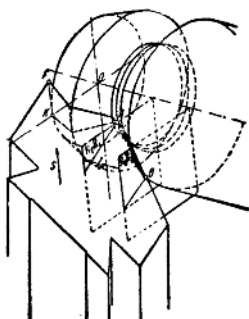


圖 14

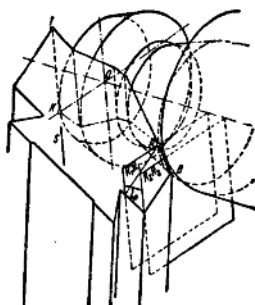


圖 15

K 点(圖 16), 并結束工件的成形表面加工时为止。

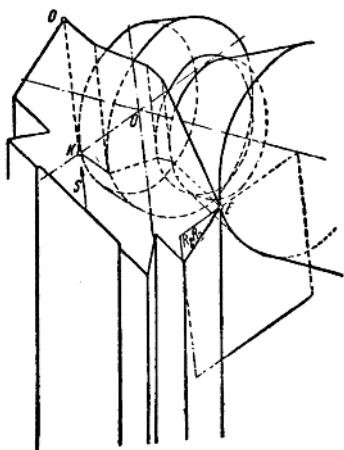


圖 16

由于加工的是特形的外形,故切綫車刀切削刃上各点應該从坯件表面上切去和排除的金屬層厚度是不同的。这就相当于改变了点 H 和 K 之間的距离,因而切綫車刀切削刃上的每一点与待加工表面直接接触時間也不相同。

在加工过程中,所形成的成形切削表面,乃是切削周長上各点的工作运动所形成的平面蝸狀軌迹。因此,

工件每轉一轉,切削周長 l , 与平面 R_1R_1 及 R_2R_2 沿着切削刃移動的值为

$$\Delta l = \frac{S}{\cos \varphi}$$

沿着工件軸綫沿动的值为

$$S_0 = S \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

在这長度 Δl 上的各点,不是同时到达 H 点的位置,而是順序地到达該点的位置,各点是沿着被加工工件的外圓,挨次地分布在螺距为 S_0 的螺旋綫上。所以用切綫車刀加工出来的工件,不能像用徑向成形車刀加工时或在一般車削时一样,得到十分平坦和光滑的成形表面。已加工表面是由分布在外圓上的連續螺旋綫段相連而成的,同时还包括蝸狀切削表面的殘余部分。这个部分是由車刀刀口的切削周長 l_0 在工件每轉后所造成。由于上述原因,因此,工件的成形外形乃是不完整的綫条,而是由双曲綫綫段相連而成的。这个双曲綫是在軸向截面內在被加工工件每轉后所形成的蝸狀切削表面的殘留部分綫段。这些綫段彼此間相連,且成螺旋狀的分布。

切綫成形車刀的工作特性如下:

a) 切削周長上每一点的相对工作运动的軌迹是一平面形的蝸綫,它是以不等的減速接近于已加工工件的环形母綫。

b) 由于切削刃上各点的相对工作运动的軌迹,是以不等的減速接近于工件的环形母綫,因此切下的切削厚度或切屑厚度 a 公厘/轉是从 $a_{\text{最大}}$ 減小到零。对于成形切削刃上个别几点而言,当开始切削时的 H 点和結束切削时的 K 点間的距离愈大时, $a_{\text{最大}}$ 也就愈大。

b) 一切对切削要素起有害影响的切削力和切削热,在車刀傾斜的成形切削刃的全長上作用着。成形切削刃上各点的切削延續時間是不相同的,而对于每一点而言,仅是組成整个車刀工作总延續時間中的一部分。

r) 当車刀从工件的一端开始工作的时候起,到另外一端結束最后工作的时候止,是逐漸地形成工件表面必需的外形。

д) 已加工的成形表面是由螺旋狀分布的切削表面殘留部分

的綫段相联而形成的。因此从理論的观点看来,已加工成形表面并不是十分平坦与光滑的,而是由双曲綫的相联綫段所組成。并可由这双曲綫的曲率半徑,預先估計出已加工成形表面的粗糙度的程度。

展切成形車刀 按展切法工作的車刀之成形外形,在与車刀軸綫相垂直的平面 RR 上观察时,乃是被加工成形工件外形的包絡綫。由于必須保証封閉切削刃上各点都有正前角 γ ,故把車刀的前面刀磨成錐面。

成形的后面与錐形前面的交綫,就是成形切削刃。此切削刃上只有个别几点,是位于工件中心 O_w 高度的平面 RR 上,而其他各点,或是高出或是低于此平面。

展切成形車刀的工作原理,基本上就是齒輪的嚙合原理。被加工工件好像齒条,它和齒輪般的車刀嚙合着。車刀沿着工件所作的滾动,相当于車刀上运动的节圓沿着相当于被加工工件的齒条的靜止节綫作無滑动地滾动着。由此可見,在滾动的过程中,展切車刀切削刃上每点是沿着循环曲綫运动着,而在工件与車刀的相对运动中,切削刃上每点的工作运动軌迹是一循环螺旋綫。由于車刀和工件不断地迴轉运动着,因此所有應該切去的金屬層都被切成了連續切屑,而已加工的成形面,也和用切綫成形車刀車削时一样,是逐漸地形成的,并且是由殘留切削表面的螺旋狀的綫段相联而組成。正由于这原因,故从理論的观点上看来,工件的已加工成形表面也不是十分平坦与光滑的。

展切成形車刀的主要缺点,就是当車刀沿前面重磨时,車刀的成形外形發生了改变,因而使工件的尺寸也就發生了改变。这种情形可以从嚙合原理中看到,它是和車刀上存在着后角 α 而使車刀的外尺寸减小时,为保持运动和靜止的节圓尺寸有关。

因此,必須严格地限制展切成形車刀容許的重磨次数。但这就使得应用这种車刀好处很少了。

用來說明展切成形車刀工作原理的典型例子，是用于車削圓形漸開綫齒條的費多(Федотов)插齒刀。

§ 2. 成形車刀修正計算的必要性

當成形車刀成形切削刃上所有的點，在工作迴轉中心的高度上工作時，這些點都位於工件的直徑平面內，因此刃口外形就和工件的樣板外形完全一樣。

上述車刀的成形切削刃的位置，只有在前角 $\gamma=0^\circ$ 時，以及車刀前面的刃磨平面與工件徑向截面相一致時，才可能產生。

如果車刀前面的刃磨平面，還同時垂直於它的成形表面，則工件就和車刀外形重合在一起，因而修正計算也就變成是多餘了。此時車刀的樣板可用作工件的檢驗樣板。然而這只是在前角 $\gamma=0^\circ$ 及後角 $\alpha=0^\circ$ 的條件下才有可能(圖 17)。

用前角 $\gamma=0^\circ$ 的車刀來切削金屬是可能的；但是在加工韌性金屬時，這種車刀的切削性能就顯得很差了。

用後角 $\alpha=0^\circ$ 的車刀來切削金屬是不可能的，這是由於兩個同時作用的運動——工件的迴轉運動和車刀的走刀運動合成後，使得成形切削刃上各點的相對工作運動的平面蝸綫或空間蝸綫的軌跡，在工件上形成了合成的切削表面，與刀體發生相交^①。

因而，所研究的個別情況是沒有實際價值的，而且在實際生產上是無法應用的。

要使車刀能夠進行有效的切削過程，首先必須避免車刀的後面壓入工件的切削表面以及它們間的摩擦。大家都知道，要達到這一點，可以把車刀磨成或把它安裝成足夠的後角 $\alpha>0^\circ$ 。

根據以上所述，再來研究一下當 $\gamma=0^\circ$ 而 $\alpha>0^\circ$ 時的第二種個別情況(圖 18)。

① 此時有負後角產生——校者

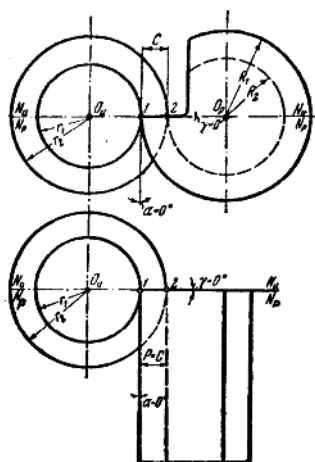


圖 17

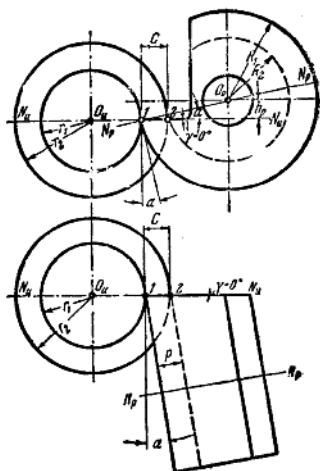


圖 18

在所研究的情形中，可以取半徑為 r_1 的圓周，作為點 1 上的切削表面，則在這點上的切削平面的軌迹，將是鉛垂的切綫。

圓形車刀的后面，是它的圓周。在點 1 處切于車刀后面圓周的切綫與切削平面形成了後角 α 。

由於車刀成形外形點 1 處的半徑 R_1 ，是垂直於車刀圓周的刀綫，故它與車刀的水平中心綫組成角 α 。車刀中心 O_p 裝得比工件中心 O_u 高，其高出的值為

$$h_p = R_1 \cdot \sin \alpha$$

由於車刀中心 O_p 要比工件中心高出 h_p 值，因此就使得工件與車刀的直徑截面不相重合在一起。

在工件的徑向截面內，若已知工件外形上兩點的半徑為 r_1 及 r_2 ，則其外形深度為

$$C = r_2 - r_1$$

當前角 $\gamma = 0^\circ$ 時，這外形的深度以及工件的整個法向成形外

形,都应该和車刀的前面与后面相交形成的成形切削刀的外形精确地重合在一起。

当 $\gamma=0^\circ$ 时,車刀的前面重合于工件的直径截面上,因而工件要比車刀的中心 O_p 低一个 h_p 的距离。

前述指出,要在平行于車刀轴綫 O_p 以及比它低 h_p 距离的車刀前面上,得到工件的法向外形,則在車刀法向(直径方向)截面上制成的外形,就必须不同于工件的外形。車刀外形深度与工件外形深度之差别的一般規律,可写成下列不等式:

$$r_2 - r = c > R_1 - R_2 \quad (1)$$

距离 h_p 愈大,車刀和工件外形深度的差别就愈大。若要完全避免这种差别并得到完全一致的外形深度,則只有在 $h_p=0$ 时,也

即在 $\alpha=0^\circ$ 的条件下才有可能。

因此,引起修正計算必要性的主要原因,是由于后角 $\alpha > 0^\circ$ 正值的关系。

由于把車刀前面的平面刃磨成 $\gamma=0^\circ$, 而使其切削性能受到损坏的規定,并不能去除修正計算的必要性,也不能减少計算工作的劳动量,以及修正成形車刀在制造工艺上的复杂性。由此可见,没有必要来保持这种規定,而可以像刃磨普通車刀

一样,根据被加工材料的机械和物理性質,把車刀的前角磨成 $\gamma > 0^\circ$ 的任何角度。

现在来研究一下如圖 19 中所示,当后角 $\alpha > 0^\circ$ 及前角 $\gamma > 0^\circ$

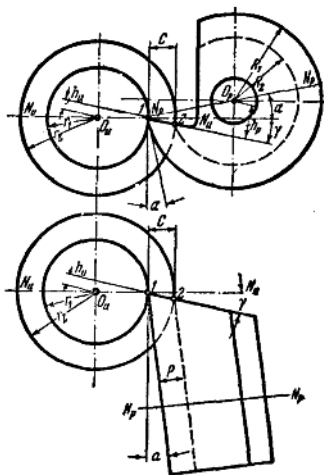


圖 19

时的一般情形。

此时車刀前面和第二种个别情况不同，是与工件的直径截面不符合，因而車刀的成形切削刃不是并也不应该是与成形工件的法向外形相符合。

車刀前面与工件的成形表面，相交于离开工件軸綫某个距离为

$$h_u = r_1 \cdot \sin \gamma \quad (2)$$

此时，所得到的工件截面外形：

1) 当 h_u 愈大时，也即前角 γ 愈大时，与工件法向截面外形的差别就愈大；

2) 其上所有的点都应和車刀切削刃外形相符合。

由于又加进了 $\gamma > 0^\circ$ 的条件，使車刀前面平面到車刀軸綫间的距离 h_p ，根据 $\alpha + \gamma$ 的总和而加大了，其值为

$$h_p = R_1 \cdot \cos(\alpha + \gamma) \quad (3)$$

从方程式 (3) 可以看出，随着 α 和 γ 角的加大， h_u 和 h_p 就加大了，因此車刀和工件法向外形之间的差别也加大了。

用于第二种个别情况中，当 $\alpha > 0^\circ$ 及 $\gamma = 0^\circ$ 的方程式 (1) 所表示的工件和車刀外形深度之间差别的一般规律，也适用于 $\alpha > 0^\circ$ 及 $\gamma > 0^\circ$ 时，所不同的只是这两个外形间的绝对差别加大了。

从一般情况的研究中指出，引起必须修正计算車刀成形外形的原因，是由于存在畸变角 ε 的关系，它等于前角和后角的和：

$$\varepsilon = \alpha + \gamma$$

不论畸变角 ε 的绝对值是否等于一项 α 或等于两项 $\alpha + \gamma$ 的和，对于修正计算的要求以及在计算技巧的复杂性上，都是完全一样的，并且，修正成形外形的加工工艺的复杂性也完全相同。

设计的后角 α 和前角 γ 是对于成形外形上的点 I 而言的，或者是对于离开車刀中心 O_p 的距离相同的、并且安装在工件迴轉中心 O_u 高度上的成形外形的一些点而言的。