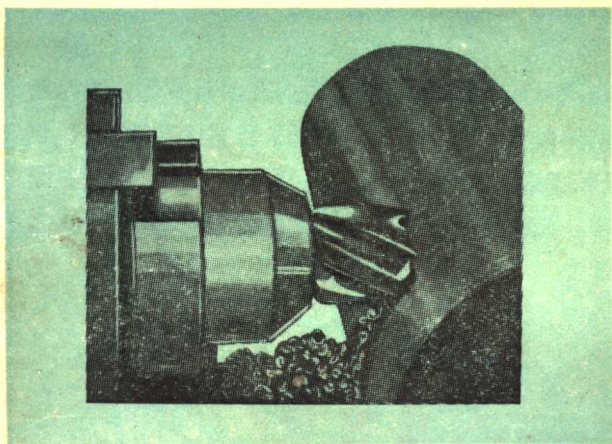


機床工人科學普及叢書

庫夫申斯基著

銑削



機械工業出版社



蘇聯 В. В. Кувшинский 著 'Фрезерование' (Машгиз 1953 年
第一版)

* * *

著者：庫夫申斯基 譯者：程少仁 書號 0705 (工業技術)

1955 年 1 月第一版 1955 年 1 月第一版第一次印刷

787×1092 $1\frac{1}{32}$ 41 千字 1 $\frac{13}{16}$ 印張 0,001—6,000 冊

機械工業出版社(北京盛甲廠 17 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證出字第 008 號

定價 2,200 元

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」的目的是爲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。我們認爲這套叢書對我國機床工人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 輯。第一組敘述有關金屬切削的一般問題，共 10 輯(1~10)；第二組說明金屬加工的各種方法，共 10 輯(11~20)；最後一組介紹各種金屬切削機床，共 6 輯(21~26)。

本書是從這套叢書第二組第 14 輯的銑削(Фрезерование)一書譯出。內容通俗地敘述了使用各種銑刀的工作情況，各種銑刀的構造，銑刀的幾何形狀，以及銑削時選擇合理的切削用量的必要知識。本書可供銑工同志作爲學習材料。

目 次

一	緒言	3
二	銑刀	5
三	銑削過程中的銑刀	8
四	均勻的銑削	12
五	切削抗力	16
六	力和功率	17
七	銑刀的壽命	22
八	銑刀的幾何形狀	29
九	小偏角的銑刀	33
十	還有一個偏角	37
十一	硬質合金裝製銑刀	39
十二	什麼樣的銑刀好些	46
十三	刀片的機械固定	50
十四	刀齒桿	54
十五	結論	57

一 緒 言

我們有誰不喜歡高爾基城莫洛托夫汽車工廠出品的漂亮的[吉姆]型小汽車呢？我們看到它的美麗的流綫型車身，看到它快速而輕便的行駛，就會驕傲地和尊敬地想到那些製造這種良好的機器的人們。蘇聯在汽車製造方面的多年勞動經驗，都投在它的構造上面。可是要經過多少工人的手操作，才能將圖樣變成汽車的零件和部件！

[吉姆]型汽車上有好幾千個零件，差不多每一個零件都要經過機械加工。請看一下，譬如說，車身上具有從一種表面轉變為另外一種表面的那麼複雜的曲面。不由地會想到，怎樣能够使普通的鋼板具有這樣的外形呢？這是用衝模——特種金屬模壓製成的。將鋼板放在裝於強力衝床上的兩半衝模當中，使它變形，它的個別部分被延長，因而獲得了將來零件的外形。但是，這樣複雜的零件，就像汽車的翼子板吧，只用一個衝模是製造不出來的。要將鋼板拉長，必須從一個衝模換到另一個衝模上逐步進行，否則鋼板就會發生斷裂。所以，複雜的車身部分的加工就要用好幾個衝模，但是衝模本身也首先需要製造。衝模的形狀是很複雜的，假使用手工來製造，那就要花費好幾百小時。

爲了加工迅速，就需要用特種的靠模銑床了。

還在十八世紀初期，俄國的工匠們對於製造精密的工具和鐘錶，以及金、銀、銅和骨骼製品的裝飾物，已經有了高度的技能。

當時，已經應用靠模機床來加工複雜的零件。俄國在十八世紀裏，就製造出了第一台靠模機床。這時傑出的俄國機械師阿·克·納爾多夫發明了機械的刀架。

從阿·克·納爾多夫製造第一台機床以來的兩百年間，俄國機械師查魯賓、迪姆凱維奇、李蒙紐克、羅查諾夫、華西里葉夫、克利莫夫等先後製造出用來加工螺旋槳，汽輪的輪葉和其他一些複雜製品的現代化靠模機床。

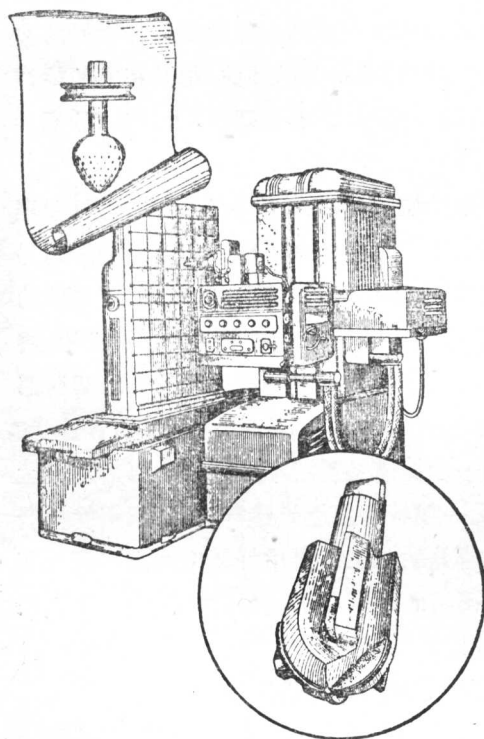


圖1 靠模銑床：
上一最初的一種銑刀；
下一硬質合金特形銑刀。

蘇聯機器製造業的建立和迅速發展，因而能够出產技術史上不曾有過的那種機床。近幾年來，蘇聯的科學研究院和工廠設計和製造了可以加工最複雜的零件的萬能靠模機床。

在圖1裏，我們看見的是靠模銑床。這種機床的設計師們：索科洛夫、德魯仁斯基、魏凌、拉瑞格拉也夫以及納查羅夫都榮獲了斯大林獎金。

在這種機床上，可以製造出衝模、壓模以及表面複雜的機器零件。衝模的加工

是自動的，而衝模尺寸和原定尺寸的偏差不超過0.02公厘，從這幾點看來，就可以斷定斯維爾德洛夫工廠出品的靠模銑床是完善

的了。

在靠模銑床上工作時，是用專門的刀具——特形銑刀進行的。裝有硬質合金刀片的這種銑刀，如圖 1 下方所示。

爲比較起見，最初的一種銑刀也畫在圖上（圖 1 上方），這種銑刀出現在十八世紀的初期。它具有像銼刀一樣的鑿出來的齒，並且是用手搖鑽或者拉弓帶動的。這一切說明，從用手拉動的原始銑刀到用硬質合金銑刀工作的自動靠模機床，是走過了一段多麼長的路程，蘇聯人民的技術所獲得的進步是多麼大啊！

靠模加工只是應用銑削的許多實例之一。加工平面、槽、鍵槽以及齒輪時，都可以利用銑削的方法。銑刀也是各種各樣的。我們知道，用來加工平面的有圓柱銑刀和端銑刀，用來切槽的有尾銑刀、盤形銑刀和角銑刀，有用來切製手錶齒輪的銑刀，有加工直徑達幾公尺的齒輪的銑刀等。幾乎沒有一種現代機器製造業的製品，在製造時是不應用銑削的。

銑工，是機床工人的主要部分，是具有高度生產率和精確性的工匠。銑工革新者們的勞動，在蘇聯得到了應有的評價。蘇聯人民很熱習斯大林獎金獲得者銑工波西伊、西蒙諾夫斯基、切貝雪夫、科米亞京以及薩維奇的名字。

在本書裏，我們將要講到各種銑刀的工作情況，說明它們的構造以及幾何形狀，提供出有關用各種銑刀工作時的力量分佈情況，以及銑削時選擇合理的切削用量的必要知識。

二 銑 刀

各種銑刀通常在外形上彼此都有顯著的不同。但是，如果細心地觀察銑刀的構造，就可以很容易地看出，在它們的切削部分上具有相同的因素。因此，爲了對各種銑削方法有一個明確的概念，必

須對兩種主要類型的銑刀（圓柱銑刀和端銑刀）的切削部分的因素，以及這兩種銑刀的切削過程，加以相當詳盡的研究。至於其他各種類型的銑刀，實質上僅僅只是構造上的不同而已。

圖 2 所示，是在切削過程中的圓柱銑刀和端銑刀。圓柱銑刀是用配置在刀具圓柱形部分上的切削刀齒來進行零件表面的加工的，而端銑刀則使用配置在端部上的刀齒。

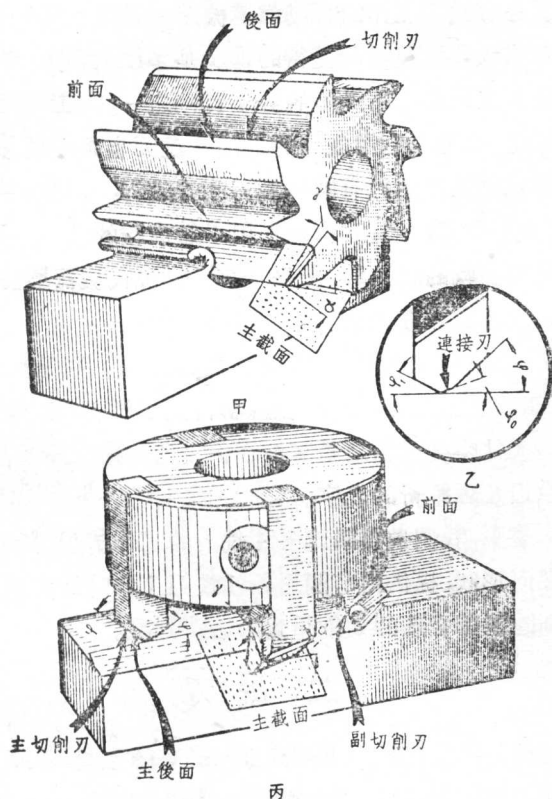


圖 2 銑刀的因素：

甲—圓柱銑刀；乙—端銑刀的刀齒；丙—端銑刀。

圓柱銑刀的刀齒實際上是一把具有一個（主）切削刃的車刀。刀齒上具有前面（用以導出切屑），和朝向已加工面的後面以及切削刃。假使我們用一個垂直於主切削刃的平面將銑刀的刀齒切開，就可以看到前角 γ 和後角 α 。

端銑刀的刀齒，就它的形狀來說，是一把普通的外圓車刀，它具有兩個切削刃。這就是我們可以看到的，在銑刀圓柱形部分上的主切削刃，和在端面部分上的副切削刃。

因此，在端銑刀的刀齒上，我們可以找到主後面和副後面，以及主後角 α 和副後角 α_1 。

主切削刃和進刀方向成一個角度，這個角也像車刀上的一樣，叫做主偏角 φ ；而副切削刃和進刀方向之間的角度，叫做副偏角 φ_1 。

為了增加端銑刀刀齒的強度，通常把刀齒的齒尖做成圓角，或者做有和車刀上一樣的過渡刀刃（圖 2 乙）。過渡刀刃和進刀方向成 φ_0 角。

用來加工平面的另外一些銑刀和圓柱銑刀相似，不過還具有所謂的端齒。有柄銑刀具有端齒，是要使銑刀能夠進行互成直角的平面的加工，也就是說有柄銑刀的端齒到底還是副刀刃。配置在銑刀圓柱形部分上的切削刃是主切削刃，因此，這種銑刀的主偏角等於 90° 。

我們在用來銑製 T 形槽的銑刀上，也可以看到同樣的情形，並且這種銑刀的兩個端面都具有副切削刃，因為刀齒的兩個齒尖都是參加工作的。因此，只有刀齒齒尖不參加工作的那些銑刀（圓柱銑刀）才沒有副切削刃。差不多所有銑刀的主切削刃，都是配置在圓柱形表面上的，但是可以和進刀方向具有斜度，而且在特形銑刀上，這種切削刃是曲線形的。在很少的情況下，只有在特種的銑刀

上，主切削刀才和銑刀的端面作平行配置，關於這一點，我們在下面還要談到。

因此我們明確了，銑刀的切削刀齒具有和車刀一樣的幾何因素。

三 銑削過程中的銑刀

圖 3 所示，是兩種主要類型的銑刀（圓柱銑刀和端銑刀）的工作簡圖。當銑刀轉動和工件移動時，切削刀齒就輪流地切入工件，切下切屑，形成已加工面。當銑刀以一定的切削速度轉動時，以及銑刀和工件以一定的進刀量相對移動時，就發生了銑削過程。

銑刀齒的切削刃每分鐘所走過路程的長度（公尺），叫做銑削的切削速度 v 。

如果知道銑刀的直徑和它每分鐘的轉數，就能很容易地求出切削速度。銑刀每旋轉一轉，刀齒的切削刃所走過的路程，等於直徑為 D （ D ——銑刀的直徑）的圓周的周長。大家知道，圓周周長約為直徑的 3.14 倍，即：

$$l = \pi D。$$

式中 $\pi=3.14$ 。

為了要求出當銑刀旋轉若干轉時，刀齒的切削刃所走過路程的長度 L ，只要將圓周周長 l 乘銑刀的轉數 n 就可以得到：

$$L = ln = \pi Dn。$$

因為銑刀直徑是用公厘表示的，而銑刀轉數是用轉/分（每分鐘的轉數）表示的，那末我們從這個公式所得出的切削速度是公厘/分。實際上，切削速度通常是用公尺/分計算的，所以從公式中求出的切削速度的數值必須除以 1000：

$$v = \frac{\pi Dn}{1000} \text{ 公尺/分。}$$

在生產條件下調整機床時，通常需要計算所需的轉數，以獲得規定的切削速度。在這種情況下，可以利用下式：

$$n = \frac{1000v}{3.14D} \text{ 轉/分, 或 } n = \frac{318v}{D} \text{ 轉/分。}$$

銑削時的進刀量可以分爲三種：每齒進刀量、每轉進刀量和每分鐘進刀量。

銑刀每旋轉一個齒距，也就是每轉過相鄰兩個刀齒之間的角度時，被加工工件所移動的距離（公厘）叫做每齒進刀量 s_z （參閱圖3）。

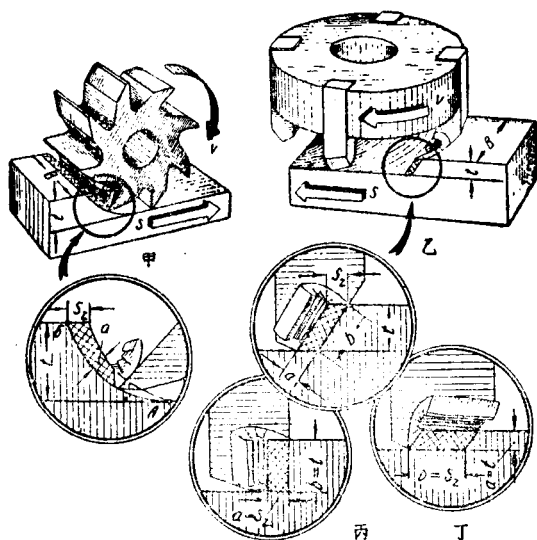


圖3 銑削時切削層的因素：

甲—用圓柱銑刀；乙—用主偏角 φ 小於 90° 的端銑刀；丙—用主偏角 $\varphi = 90^\circ$ 的端銑刀；丁—用端銑刀以超過切削深度的進刀量進行工作時的情況。

銑刀每旋轉一整轉時，被加工工件所移動的距離叫做每轉進刀量 s_0 。每轉進刀量是以公厘/轉來計算的，它等於每齒進刀量乘以

銑刀齒數 z ：

$$s_0 = s_z \cdot z \text{ 公厘/轉。}$$

被加工工件每分鐘所移動的距離叫做每分進刀量 s_n 。

爲了計算每分鐘進刀量，必須將進刀量 s_0 （每轉進刀量）乘以銑刀的每分鐘轉數 n ：

$$s_n = s_0 \cdot n = s_z \cdot z \cdot n \text{ 公厘/分。}$$

每分鐘進刀量用公厘/分來計算。如果知道每分鐘進刀量，就可以很容易地算出銑削工件時所需要的時間。爲了算出這個時間，就要將加工長度（就是工件相對銑刀所必須經過的路程的長度）除以每分鐘的進刀量。這樣，只要根據每分鐘進刀量的大小，就能很方便地判斷出加工的生產率。

在切削過程中，每一個銑刀齒從被加工工件上切下一層厚度爲 a 和寬度爲 b 的金屬（參閱圖 3）。平銑時，切削層的厚度從刀齒切入金屬到離開金屬時，有着很大的變化。切削層厚度這樣的改變，對切削過程的影響很大，因此需要對圓柱銑刀刀齒的工作情況加以詳細地討論。

在逆着進刀方向進行銑削時（參閱圖 3 甲），銑刀齒應在 A 點切入被加工金屬，在這個地方，切削層的厚度等於零，並且向 B 點的方向逐漸增加。

從「切削刀具的磨損」^①這一書中，我們知道，刀具的切削刃，甚至是經過仔細研磨，都仍有很小的缺口和圓角半徑。切削刃的圓角半徑隨刀具的磨損程度而增大。蘇聯科學家維·德·莫羅索夫指出，當圓柱銑刀經過正常的刃磨時，切削刃的圓角半徑約爲 30 公忽；在銑刀工作 100 分鐘以後，加大到 40 公忽；而在銑刀工作 300 分鐘以後，達到 60 公忽。

① 這書是本叢書第一組的第四冊已由本社出版。

實際上這就是說，銑刀齒經過刃磨以後，還不能馬上切下厚度小於 30 公忽的金屬層，因為當切削層厚度較小時，刀齒要在工件表面上打滑，不能切下切屑，而只是擠壞金屬的表層。所以圓柱銑刀的刀齒在「逆銑」時，是在不利的條件下進入工作的。刀齒從 A 點移向 B 點（參閱圖 3 甲），只有當切削層的厚度變得比切削刀的圓角半徑大時，它才開始切削金屬。只從這一瞬間起，才開始形成切屑。

刀齒切入時所發生的滑動，使作用在銑刀上的力量加大，使刀齒後面的磨損加快以及把心軸弄彎，並且還時常引起振動的發生。工件和機床零件的振動都使機床的工作發生困難。已加工面的光潔度也因振動而變壞，銑刀的磨損也加快。

在「順銑」時，銑刀齒是在更有利的條件下切入的，它沿着從 B 點（這裏的切削層厚度最大）到 A 點的方向運動。在這種情況下，刀齒就不會發生滑動。從刀齒和加工面接觸時起，就開始形成了切屑。切削過程的進行比較平穩，因而改善了已加工面的光潔度，使刀具的壽命增加。所以在一切可能的情況下，都力求應用「順銑」的方法。

但是，如果在移動銑床工作台的機構中有間隙時，就不能利用「順銑」的方法。這是因為作用在切削過程中力的方向的關係。這些力量的作用情況，我們在下面再加以研究。銑削有硬皮的工件時（鑄件或鍛件的粗銑），也不應該用「順銑」的方法。因為在這種情況下，刀齒從硬皮方面切入工件，所以刀齒很快地就變鈍了。

端銑刀通常是在比較有利的條件下進行工作的。如果銑削是對稱的話，也就是說，銑刀的中心綫沿着加工面的中心移動，而且銑刀的直徑比加工面的寬度大得多時，端銑刀的刀齒在切削行程的全長上所切下的切屑，都幾乎具有相同的厚度。因此端銑時比平

銑時更為均勻，並且很少發生振動。

在精銑時，副偏角磨成很小的角度，或者使它等於零。這時，副切削刃修整去主切削刃切過後所留下來的不平度，因而改善了已加工面的光潔度。所以在精銑平面時，要盡量應用端銑刀，它上面有一個或幾個刀齒是修整刀齒，在這種刀齒上沒有副偏角（ $\varphi_1 = 0$ ）。但是在切下較小的加工餘量時，所切下的金屬層可能是沿着與工件平面平行的切削刃導出的（圖3丁）。在這種情況下，主切削刃是配置在銑刀的端面上。用切下較小的加工餘量的這種方法能得到高度的銑削生產率，因為進刀量所決定的不是厚度，而是所切削的金屬層的寬度，所以可以使生產率達到很大的數值。

銑削時也正像車削時一樣，從未加工面到已加工面之間的最短距離叫做切削深度（參閱圖3）。切削深度用字母 t 表示，用公厘計算。

銑削時未加工面的寬度（公厘）叫做銑削寬度，並以字母 B 來表示。平銑時的銑削寬度通常是在與銑刀中心綫平行的方向上測量的，而立銑時是在與中心綫垂直的方向測量的。

四 均勻的銑削

圓柱銑刀可以製成直齒的和螺旋齒的。製造直齒銑刀比較簡單，刃磨也容易。可是直齒銑刀在機器製造方面應用得很少，而螺旋齒銑刀却應用得很廣，這是什麼原因呢？這是因為直齒銑刀有一個重要的缺點——工作的不均勻性。圖4所示是直齒銑刀的工作簡圖。為了明顯起見，銑刀上只表示出一個刀齒，並把銑刀每旋轉一轉時，這個刀齒所切削的金屬層上畫出剖面綫。從圖上可以看出，銑刀的刀齒一下子在全部長度上切入被加工的金屬裏。在這一瞬間，銑刀受到衝擊。當銑刀繼續轉動時，切屑的厚度逐漸增加（參

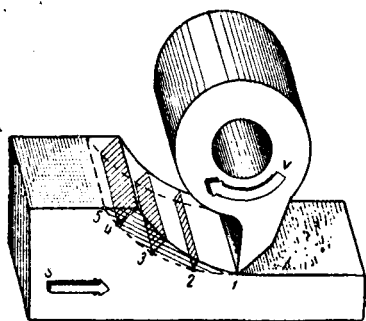


圖 4 直齒銑刀的工作簡圖。

閱圖 4 的 2、3、4 截面)，因此金屬的切削抗力——切削力，也將增大。在 4—5 一段上，切削力逐漸降到零，因為銑刀刀齒的全部都離開了所加工的金屬。這樣，銑刀齒的負荷在切削過程中有着很大的變化。

假使將銑刀齒在各個位置時的切削力的變化情況畫成圖表，那就會得到駝峯形的曲綫（圖 5 甲）。我們注意看一下 4—5 這段曲綫。在刀齒的這段行程上，切削力驟然降低。很明顯，這種現象將使切削很困難，並且還會引起銑刀的振動。

現在我們想一下，如果銑刀的兩個刀齒同時加入工作，切削力的變化又是怎樣的。假如當第一個刀齒在位置 3 的時候，銑刀的第二個刀齒加入工作。看一看圖 5 乙。在這個圖上畫出兩個刀齒同時進行切削，切削力應等於作用在每一刀齒上的力的總和，這是不難理解的。把這兩個力加起來，就可以得出當兩個刀齒工作時，切削力變化的曲綫。在圖 5 乙上，這條曲綫畫成粗綫。我們比較一下圖 5 甲和圖 5 乙的曲綫。當兩個刀齒同時工作時，切削力的變化較小。如果三個刀齒同時工作，那末切削力的變化還會更小些（圖 5 丙）。

總之，當直齒圓柱銑刀工作時，切削力不能保持不變，所以銑刀的負荷改變，銑刀的工作也就不會均勻。但是同時參加工作的銑刀刀齒越多，那末銑削就越均勻。

事實證明，如果同時工作的刀齒不少於兩個，銑削的進行或多或少是要平穩些。

螺旋齒圓柱銑刀的工作情況就不同了。這種銑刀的刀齒不

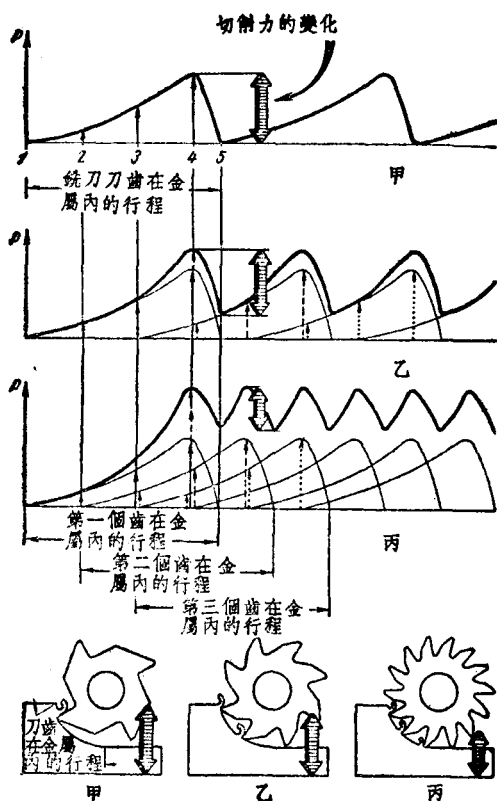


圖5 用直齒圓柱銑刀工作時的切削力的變化情況：
甲—只有一個刀齒工作；乙—有兩個刀齒同時工作；
丙—有三個刀齒同時工作。

力的變化比較均勻，而切削力在好幾段上都是不變的。刀齒離開工件的時候，螺旋齒的工作情況要比直齒的更為均勻。但是不可以使螺旋齒銑刀工作時的切削力完全不改變嗎？我們知道，這是可能的。爲了這個緣故，應該使銑刀的刀齒所切削的金屬層的截面面積在任何切削瞬時內都保持不變。但這要怎麼辦呢？

是在全部長度上一下子就切入工件，而是逐漸切入的（圖6）。假使看一看刀齒在金屬裏的運動（圖6的1、2、3、4、5、6），就可以看出一些令人注意的現象。在1—3段上，切削層的截面面積增大，也就是說，切削力也在增大。而在3—4段上，切削層的截面面積和切削力是不變的。當刀齒繼續運動時（4—6段），切削層的截面面積和切削力都逐漸減少。這樣一來，在螺旋齒工作時，切削

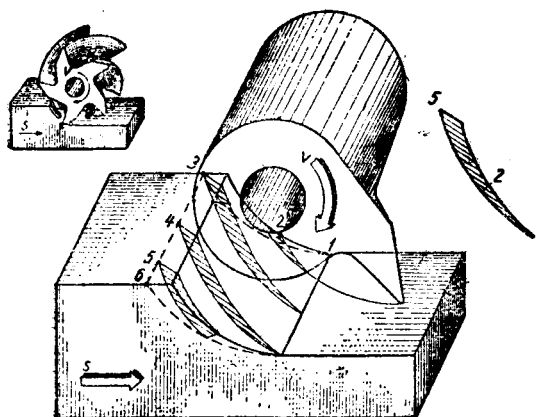


圖 6 螺旋齒銑刀的工作簡圖。

讓銑刀的第一個刀齒位於位置 4 (參閱圖 6)，而第二個刀齒位於位置 1。當銑刀繼續轉動時，第一個刀齒離開被加工的金屬，而第二齒逐漸切入金屬。第一個刀齒所切削的金屬層的截面將縮小，但是因為第二個刀齒所切削的截面同時增大，而使截面的總面積不改變。

爲了更能明瞭起見，我們想像第一個刀齒位於位置 5，而第二個刀齒位於位置 2。將截面 2 附接到截面 5 上 (圖 6 右方)。這些截面的總面積却等於截面 4 的面積。結果是怎樣呢？原來在一定的條件下，切削層截面的總面積不改變，也就是說，切削力也不改變。

這些條件又是怎樣的呢？就是同時加入工作的刀齒應該不少於兩個——這是第一個條件。每一後面的刀齒應在前面刀齒開始離開金屬的時候就加入工作——這是第二個條件。不難明白，第二個條件是主要的條件，滿足了第二個條件，同時也就會滿足第一個條件。這要怎麼辦呢？那就必須當一個刀齒進到位置 6 的瞬間，