

蘇聯機器製造百科全書

第七卷

第九章 齒輪刀具

第十章 磨削工具

蘇聯機器製造百科全書編輯委員會編



機械工業出版社

蘇聯機器製造百科全書

第七卷

第九章 齒輪刀具

第十章 磨削工具

李赫契爾、格魯賓、波洛茨基、謝明欽科、巴布青里契爾著



機械工業出版社

1955

出版者的話

蘇聯機器製造百科全書第七卷分爲十三章，專述機器零件的加工工藝。內容包括機器零件機械加工的基本工藝，切削用量，標準機器零件的生產工藝，機械加工的夾具，各種金屬加工的切削工具，金屬熱處理工藝，木材的機械加工工藝以及塑料製品的生產工藝。因爲篇幅較大暫先分章出版。

本書是其中的九、十兩章。九章是齒輪刀具，十章是磨削工具。九章中分別敘述成形齒輪銑刀，銑製圓柱齒輪及蝸輪用的滾刀，切製漸開線齒輪用的插齒刀、齒條刀、剃齒刀，製造直齒傘齒輪用的鉋刀，銑製曲線齒傘齒輪的銑刀盤，加工曲線齒輪的滾刀、按滾切法工作的刀具等等。十章敘述磨削工具的性質、標記、選擇、夾固、砂輪的平衡與強度試驗及砂輪的修整等。

齒輪製造，特別是精密齒輪製造是我國機械工業目前存在重要問題之一。齒輪刀具對齒輪產品的質量有很大的影響。本章所介紹的是蘇聯在這方面的總結性經驗，這對我們是很迫切需要的。本書後一部分所介紹的磨削工具可給磨具的使用者一個明確的概念。

本書的讀者對象是工程技術人員。

蘇聯 ‘Машиностроение энциклопедический справочник’ (Машгиз 1948 年第一版) 一書第七卷第九章 (М. В. Лихцнер, А. Н. Грубин, М. С. Полоцкий, И. И. Семенченко 著) 第十章 (М. И. Бабчинцер 著)

* * *

編者：蘇聯機器製造百科全書編輯委員會

譯者：陶 乾 校者：袁哲俊、傅佑同

書號 0850

1955 年 10 月第一版 1955 年 10 月第一版第一次印刷

787×1092¹/₁₆ 字數 156 千字 印張 5¹/₂ 0,001— 3,000 冊

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證出字第 008 號

定價(8) 0.90 元

目次

第九章 齒輪刀具

成形齒輪銑刀.....李赫契爾 М.Б.Лихциер	1	參考文獻.....	31
類型、用途和工作原理.....	1	剃齒刀.....謝明欽科 И.И.Семенченко	31
成形銑刀的外形求法.....	1	切削過程的原理.....	31
銑製直齒齒輪的銑刀.....	1	盤狀剃齒刀.....	31
銑製斜齒齒輪及人字齒輪的銑刀.....	3	齒條狀剃齒刀.....	35
盤狀銑刀的外形坐標.....	3	剃齒法校正齒輪的效能.....	36
指狀銑刀的外形坐標.....	4	剃齒刀齒形的改善.....	37
銑製內接齒輪之成形銑刀.....	4	參考文獻.....	38
銑製直齒齒輪的銑刀的計算法.....	4	製造直齒傘齒輪用的鉋刀.....謝明欽科	
銑製內接斜齒齒輪與人字齒輪的銑刀的計算法.....	5	И.И.Семенченко	38
成形銑刀組.....	5	切削方式.....	38
盤狀銑刀的設計.....	5	切削方式Ⅰ的鉋刀.....	39
指狀銑刀的設計.....	6	切削方式Ⅱ的鉋刀.....	42
指狀銑刀所允許的偏差.....	6	參考文獻.....	43
參考文獻.....	7	銑製曲線齒傘齒輪的銑刀盤.....謝明欽科	
銑製圓柱齒輪及蝸輪用的齒輪滾刀.....格魯賓		И.И.Семенченко	43
А.Н.Грубин	7	圓弧啮合原理.....	43
銑製圓柱齒輪用的齒輪滾刀.....	7	銑刀盤.....	36
銑製蝸輪的滾刀.....	12	銑刀盤結構上的要素.....	47
切削蝸輪的旋刀.....	14	小批生產中傘齒輪的銑製.....	52
參考文獻.....	15	銑刀盤各部分之公差.....	55
插製漸開線齒輪用的插齒刀.....波洛茨基		參考文獻.....	56
М.С.Полоцкий	15	加工曲線齒傘齒輪的滾刀.....謝明欽科	
插製直齒外齒輪的插齒刀.....	16	И.И.Семенченко	56
插製斜齒外齒輪的插齒刀.....	21	參考文獻.....	59
插製圓柱形直齒內接齒輪的直齒插齒刀.....	24	按滾切法工作的刀具.....謝明欽科	
插製圓柱形內接斜齒齒輪的斜齒插齒刀.....	26	И.И.Семенченко	59
修緣.....	26	概述.....	59
參考文獻.....	27	滾刀.....	60
齒條刀.....謝明欽科 И.И.Семенченко	27	插齒刀.....	66
齒條刀的種類及其應用範圍.....	27	參考文獻.....	68
直齒齒條刀.....	27	中俄名詞對照表.....	69
斜齒齒條刀.....	30		

第十章 磨削工具

(巴布青里契爾 М.И.Бабчиничер)

磨削工具的性質.....	1	砂輪的平衡與強度試驗.....	8
磨削工具的標記.....	5	砂輪的修整.....	9
磨削工具的選擇.....	5	參考文獻.....	11
夾固方法.....	7	中俄名詞對照表.....	12

第九章 齒輪刀具

成形齒輪銑刀

類型、用途和工作原理

成形齒輪銑刀按構造來分有圓盤銑刀和指狀銑刀,按用途分有直齒齒輪銑刀、斜齒齒輪及人字齒輪銑刀。這些銑刀本身又可按加工性質分為精銑刀和粗銑刀兩種,按原始設計資料分為標準銑刀(標準模數及 $\alpha_0=20^\circ$)和非標準銑刀(徑節銑刀也包括在內)兩種。

成形齒輪銑刀是用來製造圓柱齒輪(直齒的、斜齒的和人字齒輪)和齒條的。指狀銑刀主要用來製造人字齒輪和模數很大的齒輪。

成形齒輪銑刀的優點是:製造簡易、價格低廉、並且可以安裝在普通機床上來使用,它的缺點是製造出來的齒輪精確度不高(不超過四級精確度)。

這是因為用成形銑刀製造出的齒輪,它的精確度除了和用滾切法製造出的齒輪一樣,受某些因素影響外,同時在安裝上銑刀軸心對於工件的位置以及銑刀吃刀深度的安裝正確程度,對於齒輪的精確度也有很大的影響。

成形銑刀的外形求法

齒輪的齒形是由有效部分——漸開線部分(對於斜齒輪及人字輪而言這是在端截面上的)和齒根無效部分構成的。所謂有效部分係指兩齒輪嚙合過程中能夠接觸到的部分。

有效部分是由齒頂起一直到最終接觸點為止,該接觸點的半徑 r_a 可由相當的公式表示出來。與這一齒輪嚙合的另一齒輪齒數增多時,這一齒輪上的最終接觸點就降低(指外接齒輪而言),也就是說最終接觸點所在的圓的半徑縮小了。為了避免干涉現象,銑製未知齒數的外齒輪的銑刀,其漸開線部分應當延續到與齒條嚙合時的最終接觸點為止。假若已經知道將來與這個齒輪嚙合的齒輪(配偶齒輪)齒數,則可以將銑刀的漸開線延續到與後一齒輪嚙合時的最終接觸點與止。

銑製直齒齒輪的銑刀

銑製直齒齒輪的圓盤銑刀和指狀銑刀的外形輪廓是相同的。

設計銑刀的必要原始數據如下[2、4、5]:模數 m ,齒輪分度圓柱上的壓力角(亦即原始齒條的齒形角)

α_0 ,齒數 z ,原始齒形位移係數 ξ (對非修正齒輪 $\xi=0$),齒輪傳動之嚙合角 α ,頂圓與根圓半徑 R_2 及 R_1 ,齒輪分度圓上的齒間寬度 W_0 或是為了獲得齒側餘隙的齒輪齒厚的縮減量 $\Delta_B S$ (齒寬偏差的上限),齒輪傳動的中心距離 A 。

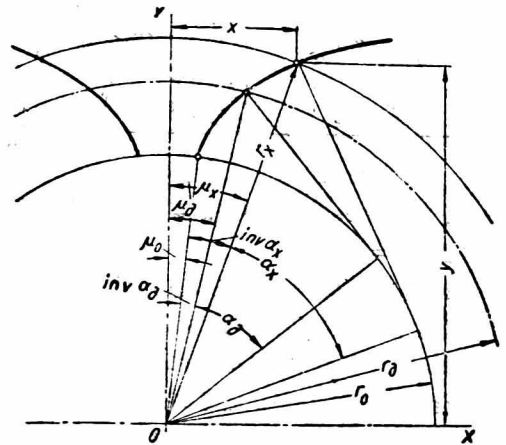


圖1 切直齒齒輪用成型銑刀外形坐標。

漸開線部分上各點的坐標(圖1)可按下列步驟決定之:

1)按下式求出基圓半徑:

$$r_0 = \frac{mz}{2} \cos \alpha_0;$$

2)定出一系列的半徑數值 r_x ,其最小值略小於 r_a 或等於 r_0 ,最大值較頂圓半徑大2至10公厘。代入下式求出各點處的壓力角 α_x

$$\cos \alpha_x = \frac{r_0}{r_x};$$

3)按下式求出基圓上齒間寬度的半角 μ_0 來(用弧度表示之)

$$\mu_0 = \frac{\pi}{2z} - \frac{2\xi \tan \alpha_0}{z} - \text{inv } \alpha_0 + \frac{\Delta_B S}{mz}$$

或

$$\mu_0 = \frac{W_0}{m \cdot z} - \text{inv } \alpha_0$$

(齒數多時 μ_0 可能是負值);

4)用下式求出各個半徑 r_x 處的齒間半角 μ_x (以弧度計)來:

$$\mu_x = \mu_0 + \text{inv} \alpha_x$$

求出的角度是弧度，再將它化為度、分、秒；

5) 求出齒形上各點之坐標(X 和 Y):

$$X = r_x \sin \mu_x; \quad Y = r_x \cos \mu_x$$

所求得之銑刀外形的精確程度，是隨所取的 r_x 值的多少而定的。一般可按模數的大小和所要求達到的精確度求出 6 至 20 個點來。

繪製銑刀的外形時，必須使銑刀刀齒完全切入工件後，刀齒與齒輪根圓相接觸(圖 2)。

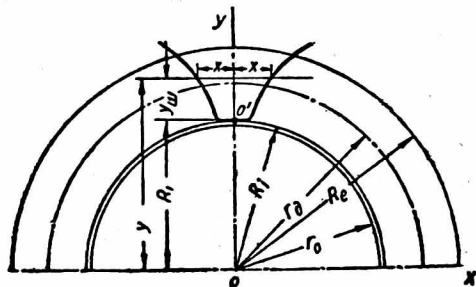


圖 2 切外齒輪時銑刀的定位。

繪製樣板的外形時，將坐標原點移至 O' ，樣板的縱坐標為 $Y_{uu} = Y - R_i$ 。

橫坐標 X 可以不管它的正負號，對稱地畫在縱坐標 Y 兩側。成形齒輪銑刀外形的另一部分——齒根處不工作的部分，作圖時可以用任意的過渡曲線畫出來，但須符合下列條件：1) 齒根處應當有足够的強度(齒數少時這點尤其重要)；2) 齒間不應形成凹進去的形狀。

齒輪嚙合時，配合齒輪齒頭上的任一點，在相對運動中都繪出延長外擺線。最深的一條外擺線是齒頂點繪出的。該點的坐標 X 和 Y 可由下式決定之：

$$X = A \sin \tau - R'_e \sin \left[\left(1 + \frac{z}{z'} \right) \tau + \mu'_e \right];$$

$$Y = A \cos \tau - R'_e \cos \left[\left(1 + \frac{z}{z'} \right) \tau + \mu'_e \right];$$

$$\mu'_e = \frac{2\xi' \text{tg} \alpha_\partial}{z'} + \frac{\pi}{2z'} + \text{inv} \alpha_\partial - \text{inv} \alpha'_e + \frac{\Delta s S}{m z'}.$$

α'_e 角可用下式決定：

$$\cos \alpha'_e = \frac{m z' \cos \alpha_\partial}{2 R'_e}.$$

要作出這條曲線，必須給出一系列的參變數 τ (自 τ_i 到 τ_a)，其中

$$\tau_i = \frac{z'}{z} \mu'_e; \quad \tau_a = (\eta - \mu'_e) \frac{z'}{z};$$

η 角可按下式求出：

$$\cos \eta = \frac{R_e'^2 + A^2 - r_0^2 - (A \sin \alpha - \sqrt{R_e'^2 - r_0^2})}{2 A R_e'}.$$

所有冠着符號' 的是表示屬於配偶齒輪的。

齒數愈多則外擺線愈深。當齒數為無窮大(齒條)時，這條曲線就變成延長漸開線，其方程式為：

$$X = \frac{m z}{2} (\sin \tau_p - \tau_p \cos \tau_p) - \frac{S_c p}{2} \cos \tau_p - h' \sin \tau_p;$$

$$Y = \frac{m z}{2} (\cos \tau_p + \tau_p \sin \tau_p) + \frac{S_c p}{2} \sin \tau_p - h' \cos \tau_p;$$

$$S_{ep} = m \left(\frac{\pi}{2} - 2 f_p \text{tg} \alpha_\partial \right) + \Delta s S;$$

$$h' = m(f_p - \xi),$$

式中 f_p ——為原始齒條的齒高。

非修正的齒輪 $\xi = 0$ 。

在繪製延長漸開線時，應在 τ_{pi} 及 τ_{pa} 範圍內取參變數 τ_p 之值，其中

$$\tau_{pi} = -\frac{S_{ep}}{m z};$$

$$\tau_{pa} = \frac{1}{r_\partial} \left[-\frac{S_{ep}}{2} + \sqrt{m z h' - h' + r_0^2 - r_\partial^2 + \left(\frac{m z}{2} \sin \alpha_\partial - \frac{h'}{\sin \alpha_\partial} \right)^2} \right].$$

繪作樣板時，採用坐標制度使：

$$Y_{uu} = Y - R_i$$

根據配合齒輪齒頂所繪出的延長外擺線來設計齒根的非工作部分，得到該齒輪與配偶齒輪嚙合時不發生干涉現象的極限情況；根據延長漸開線來設計齒根非工作部分，能使這一齒輪與任何齒數之齒輪甚至與齒條嚙合時也不發生干涉現象。

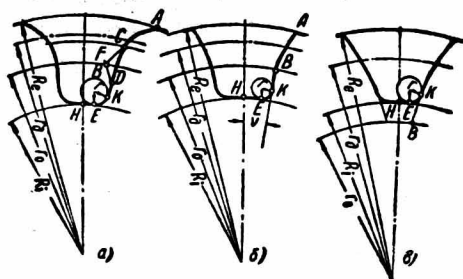


圖 3 齒根非工作部分的作法。

銑刀上用於銑製齒根非漸開線部分的一段切削刃，一般可用下面幾種方法作出，但此時必須根據延長外擺線(或延長漸開線)方程式來校驗一下，看看配偶齒輪(或齒條)的齒頂是否可以順利通過。

1. 齒根有根切現象時(圖 3, a)—— AB 為漸開線，根據根切的情況失去漸開線 BC 部分， KDF ——為延長漸開線， CD ——為接觸曲線， EK ——為圓弧其圓角半徑為 r ， HE ——為切於根圓的直線。

這種情況符合於 $\alpha_\partial = 20^\circ$ ， $f_p = 1.0$ 時，齒數在

12 至 16 之間的不修正齒輪。

2. 基圓以上完全用漸開線者(圖 3, 6) BK 部分為半徑方向的直線。

這種情況符合於 $\alpha_\theta = 20^\circ$, $f_p = 1.0$ 時齒數在 17 至 65 之間的非修正齒輪。

3. 基圓在齒輪體內時(圖 3, 8)此時銑刀的齒形由下列三部分構成: 漸開線 AK , 與根圓相切的直線 HE , 半徑為 r 的圓弧, 這種情況符合於 $\alpha_\theta = 20^\circ$, $f_p = 1.0$ 時齒數大於 66 的非修正齒輪。

齒數少時, 圖 3, 6 中的直線 BK 有時不用半徑方向的直線, 而成略大的角度(圖 4), 此線與漸開線的連接點落在基圓之外, 這使齒輪的嚙合情況變壞, 但是它使銑刀的側刃後角增大, 因此有利於切削。

在第一種情況下, 曲線 CD (圖 3, a)有時也可用一條與半徑成交角 ν' 的直線(圖 4)來代替。

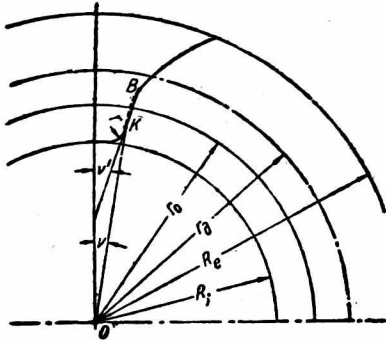


圖 4 銑製齒數不多的齒輪, 所用的銑刀外形的作法。

圓角半徑 r , 可按下列係數乘以模數求得之 [7]:

表1 圓弧半徑係數

齒 數	12~13	14~16	17~20	21~25	26~34	35~54	55~134	135~∞
決定圓弧半徑的係數	0.520	0.490	0.460	0.430	0.400	0.360	0.320	0.25

銑製斜齒齒輪及人字齒輪的銑刀

銑製斜齒齒輪和人字齒輪時, 有人認為可用銑直齒齒輪的銑刀來銑, 認為只要不按齒輪的實際齒數來選擇銑刀號數, 而按所謂折合齒數 z_{np} 來選擇銑刀就可以, 這是不正確的。其所用的 z_{np} 是按下式算出的。

$$z_{np} = \frac{z}{\cos^3 \beta_\theta}$$

式中 z ——所加工的斜齒齒輪或人字齒輪的實際齒數, β_θ ——分度圓柱上的齒傾角。

這種方法只能用來製造很粗糙的齒輪, 它之所以不準確的理由如下: 1) 斜齒齒輪(或人字齒輪)不是在

法截面上而應當在端截面上具有漸開線的齒形, 2) 齒輪法截面上的齒形並不符合銑刀的齒形, 因為工件兩側的齒形是銑刀與工件相對移動時, 銑刀在不同位置處逐漸切出的。因此即使在法截面中齒輪齒形也不是漸開線。工件分度圓上的齒傾角 β_θ 的數值愈大, 這種齒形的誤差也就愈大。

在設計專門製造斜齒齒輪及人字齒輪的銑刀時, 必須具備下列數據: 端截面中的模數 m_s ; 端截面中分度圓上的壓力角 $\alpha_{\theta s}$; 原始齒形位移係數 ξ_s (以端面模數為基準); 在分度圓柱上斜齒齒輪的齒傾角 β_θ , 分度圓、頂圓、基圓之半徑 r_θ , R_θ , R_i ; 齒數 z ; 以及為了獲得齒側間隙的齒厚縮減值 Δs 。

若所給的數據是法截面中的模數 m_n , 法截面中分度圓柱上的壓力角 $\alpha_{\theta n}$, 以及以法模數為基準的齒形位移係數 ξ_n , 則端截面中的相對應數值為:

$$m_s = \frac{m_n}{\cos \beta_\theta}; \quad \text{tg} \alpha_{\theta s} = \frac{\text{tg} \alpha_{\theta n}}{\cos \beta_\theta};$$

$$\xi_s = \xi_n \cos \beta_\theta$$

基圓半徑 $r_0 = r_\theta \cos \alpha_{\theta s}$

基圓柱上的齒傾角為 $\text{tg} \beta_0 = \text{tg} \beta_\theta \cos \alpha_{\theta s}$

斜齒齒輪端截面中在基圓上齒間寬度所對的圓心角之半為:

$$\mu_{0s} = \frac{\pi}{2z} - \frac{2\xi_s \text{tg} \alpha_{\theta s}}{z} - \text{inv} \alpha_{\theta s} + \frac{\Delta s}{m_s z}$$

μ_{0s} 可能為負值(齒輪齒數很大時)。

盤狀銑刀的外形坐標

銑製同一斜齒齒輪或人字齒輪所用的盤狀銑刀與指狀銑刀的外形是不相同的。

盤狀銑刀上銑斜齒齒輪或人字齒輪的漸開線齒形部分的切削刃外形, 各點坐標 X 和 Y 可用下式求出:

$$Y = \frac{K_1 + K_2 \cos \Omega - K_3 (\theta \sin \Omega + \cos \Omega)}{\cos \psi};$$

$$X = (K_4 + K_5 \cos \Omega) \theta$$

$$+ \frac{1}{\sin \Omega} (K_6 \cos \Omega + K_7 \cos^2 \Omega - K_8);$$

$$\theta = \Omega - \mu_{0s};$$

$$\text{tg} \psi = \frac{(\cos \Omega - \cos \alpha_{\theta s}) \sin \beta_\theta}{\sin \Omega};$$

μ_{0s} 及 Ω 均以弧度表示, 並有正負號。 Ω 角為參變數, 其數值的選取是使所得出的 Y 值在略小於 r_a 或 r_o 至略大於 R_e 的範圍內。 Ω 值之一, 採取為 $\Omega = \alpha_{\theta s}$, 其餘各值則在此值上下選取之。

常數 K_1 至 K_8 可按下列公式求出:

$$K_1 = A_u \cos^2 \beta_0 - r_\theta \sin^2 \beta_0;$$

$$K_2 = \frac{A_u \sin^2 \beta_0}{\cos \alpha_{\theta s}};$$

$$K_3 = r_0 \cos^2 \beta_0;$$

$$K_4 = r_0 \cos \beta_0 \sin^2 \beta_0;$$

$$K_5 = K_3 \cos \beta_0;$$

$$K_6 = \left(2r_0 + A_u + \frac{A_u}{\cos^2 \alpha_{\theta s}} \right) \cos \beta_0 \cos^2 \beta_0;$$

$$K_7 = K_5 - K_2 \cos \beta_0;$$

$$K_8 = (A_u + r_0) \frac{\sin^2 \beta_0 \cos \beta_0}{\cos \alpha_{\theta s}} + r_0 \cos \beta_0.$$

此處 A_u ——為銑刀中心與齒輪中心之距離，其數值由下式決定之：

$$A_u = \frac{Deu}{2} + R_i$$

式中 Deu ——盤狀銑刀外徑，此值在未計算銑刀外形各點坐標之前，即應定出。

盤狀銑刀外形樣板的縱坐標為：

$$Y_{uw} = \frac{Deu}{2} - Y$$

X 值可不論正負號分別作在 Y_{uw} 軸之兩側。因為樣板的外形與盤狀銑刀外徑有關係，所以此樣板只能用來測量一定直徑（設計時所取的數值）的銑刀外形。

指狀銑刀的外形坐標

指狀銑刀上，用於銑出斜齒齒輪或人字齒輪上漸開線齒形部分的一段切削刀外形，各點坐標如下：

$$X = r_0 \cos \theta (\sin \Omega - \theta \cos \Omega);$$

$$Y = r_0 \frac{\cos \Omega - \theta \sin \Omega \cos^2 \beta_0}{1 - \sin^2 \beta_0 \sin^2 \Omega};$$

$$\operatorname{tg} \theta = \operatorname{tg} \beta_0 \cos \Omega.$$

計算 r_0, β_0 及 θ 的公式前面已經列出。

參變數 Ω 角的數值，須選擇得使所得出的 Y 值在略小於 r_a (或 r_0) 至略大於 R_e 的範圍中，故在法截面中也不是漸開線。

大多數情況下 $\Omega_{\min}$ 及 $\Omega_{\max}$ 可按下式決定之：

$$\cos \alpha_1 = \frac{r_0}{R_i + C}$$

式中 R_i ——根圓半徑， C ——徑向間隙，在 $r_0 > R_i + C\alpha$ 時可取零值；

$$\Omega_{\min} = \alpha_1 + \mu_{0s} - (1^\circ \sim 4^\circ);$$

$$\cos \alpha_e = \frac{r_0}{R_e};$$

$$\Omega_{\max} = \operatorname{tg} \alpha_e + \mu_{0s} + (1^\circ \sim 5^\circ).$$

指狀銑刀的樣板縱坐標為 $Y_{uw} = Y - R_i$ ， X 值可對稱地在 Y_{uw} 軸兩側作出。

其餘所有以前關於直齒的情況，都可以適用於斜

齒齒輪或人字齒輪上；在計算各部分時，必須以端截面為基準。

圓角半徑可以按折合齒數（根據法截面上的數值計算出的）來選取或計算。

銑製內接齒輪之成形銑刀

一對內接齒輪中，小齒輪是外面有齒的，而大齒輪的齒則是在裏邊的。

因此求銑製小齒輪的銑刀的外形與前面所講求銑製外齒輪的銑刀的外形的方法相同，只是過渡曲線與最終接觸點的半徑不同而已。在用銑類似的外齒輪的銑刀銑製內接齒輪中的小齒輪時，為避免齒形干涉，必須校驗與確定（許多情況下要增大）配偶齒輪（內齒輪）的頂圓半徑數值 R_{e2} 。大齒輪上非漸開線部分的齒形永遠由半徑構成，這段半徑等於或略大於徑向間隙。

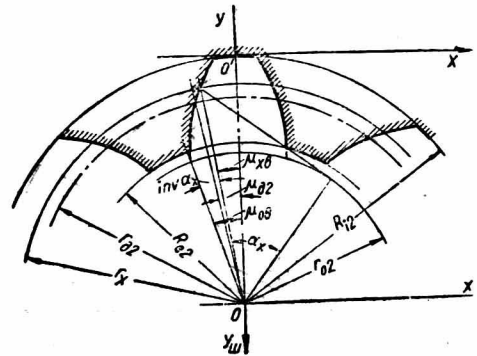


圖 5 銑製直齒內接齒輪的成形銑刀坐標作法。

圖 5 中為求銑製直齒內齒輪的成形銑刀外形的要素。

銑製直齒齒輪的銑刀的計算法

銑製直齒內齒輪的銑刀計算步驟及公式，與銑製外齒輪的一樣，只是須將 μ_0, μ_x, Y_{uw} 等數值各改為 μ_{0s}, μ_{xs} 及 Y'_{uw} ，這些數值可按下式求出：

$$\mu_{0s} = \frac{\pi}{2z} + \frac{2\xi \operatorname{tg} \alpha_0}{z} + \operatorname{inv} \alpha_0 + \frac{\Delta s S}{mz}$$

或

$$\mu_{0s} = \frac{W_\theta}{m \cdot z} + \operatorname{inv} \alpha_0;$$

$$\mu_{xs} = \mu_{0s} - \operatorname{inv} \alpha_x;$$

$$Y'_{uw} = R_{i2} - Y,$$

因為此時坐標原點已移至 O' ，且縱坐標 Y_{uw} 的方向也已改變。 r_x 的數值可在 $R_{i2} - C$ 到略小於 R_{e2} 的範圍選取之。

外形近似求法的原理與銑製外齒輪所用銑刀的外形近似求法一樣。

銑製內接斜齒齒輪與人字齒輪的

銑刀的計算方法

銑製內接斜齒齒輪的銑刀計算步驟，注意之點及所用公式都和計算外齒輪銑刀的情況一樣，只須將 μ_{os} 代以 μ_{osB} ， θ 及 A_u （對盤狀銑刀）其值可用下式求出：

$$\mu_{osB} = \frac{\pi}{2z} + \frac{2\zeta \operatorname{tg} \alpha_{\partial s}}{z} + \operatorname{inv} \alpha_{\partial s} + \frac{\Delta_B S}{m_s z};$$

$$\theta = \Omega + \mu_{osB}; \quad A_u = R_{i2} - \frac{Deu}{2}.$$

指狀銑刀的 μ_{os} 及 θ 之值可按上述計算盤狀銑刀之公式計算之，而 Y_u 則按公式 $Y_u = R_{i2} - Y$ 計算之。

盤狀銑刀與指狀銑刀 Ω 角之值必須選擇適宜，使所得出的 Y 值在 $(R_{i2} - C)$ 至略小於 R_{e2} 的範圍內。

成形銑刀組

理論上齒數不同的齒輪，每個都需要單獨的銑刀來銑製，但實際上齒數不同的非修正的齒輪共用一組盤狀銑刀，也就是由一把銑刀用來銑製齒數不等的若干個齒輪。最通用的是由8把銑刀組成的銑刀組來銑製模數6~10以下的齒輪，模數再大時，用15把銑刀的銑刀組。更精確的加工則用26把銑刀所構成的銑刀組。

表2 齒輪銑刀組及所加工齒輪齒數

銑刀 號數	每組內銑刀數			銑刀 號數	每組內銑刀數		
	8	15	26		8	15	26
被切齒輪齒數				被切齒輪齒數			
1	12~13	12	12	5	26~34	26~29	26~27
1 ^{1/2}	—	13	13	5 ^{1/4}	—	—	28~29
2	14~16	14	14	5 ^{1/2}	—	30~34	30~31
2 ^{1/2}	—	15~16	15	5 ^{3/4}	—	—	32~34
2 ^{3/4}	—	—	16	6	35~54	35~41	35~37
3	17~20	17~18	17	6 ^{1/4}	—	—	38~41
3 ^{1/4}	—	—	18	6 ^{1/2}	—	42~54	42~46
3 ^{1/2}	—	19~20	19	6 ^{3/4}	—	—	47~54
3 ^{3/4}	—	—	20	7	55~134	55~79	55~65
4	21~25	21~22	21	7 ^{1/4}	—	—	66~79
4 ^{1/4}	—	—	22	7 ^{1/2}	—	80~134	80~102
4 ^{1/2}	—	23~25	23	7 ^{3/4}	—	—	103~134
4 ^{3/4}	—	—	24~25	8	≥135	≥135	≥135

銑刀號數及該銑刀用來加工齒輪的齒數列入表2。銑刀組內每把銑刀的漸開線外形，是根據規定齒數範圍內的最小齒輪齒數計算出來的。

增加每組銑刀數目（由8到15和26）的方法是在相隣的銑刀號數中插入中間（分數的）的號數。在使用銑刀組中的銑刀時，大半會發現製造銑刀時用的齒數

與所要求的齒數不相等。這樣所銑出的齒形誤差與銑刀銑削深度安裝得不正確所引起的誤差相類似。在切一對齒輪時這些誤差可以用改變銑刀安裝的深度〔1〕和選用適當號數的銑刀來抵消。

假定之變速係數 K_v 等於

$$K_v = \frac{z_2 - z_{\phi_2}}{z_2 z_{\phi_2}} + \frac{z_1 - z_{\phi_1}}{z_1 z_{\phi_1}},$$

式中 z_{ϕ_1} 及 z_{ϕ_2} ——為銑製主動齒輪及從動齒輪之銑刀設計時所用的齒數。最好的情況是 $K_v = 0$ ，可允許 K_v 為略大於零的正數， K_v 不許為負值，否則就發生邊稜嚙合現象（Кромочное зацепление）。

要減小 K_v 之值，有時就使式中第二項為負數，此時需要用銑製較多齒數齒輪的銑刀來銑主動輪。但這時必須將理論上的銑削深度增或減 ΔH_1 ，其數值可用下式求出：

$$\Delta H_1 = \frac{\pi m}{4} \operatorname{tg} \alpha_{\partial} z_{\phi_1} \left(\frac{z_2 - z_{\phi_2}}{z_2 z_{\phi_2}} - \frac{z_1 - z_{\phi_1}}{z_1 z_{\phi_1}} \right).$$

ΔH_1 為正值時，表示增加銑削深度，為負值時表示減少銑削深度。銑製配偶的從動齒輪時，銑削深度應增減的 ΔH_2 數值為

$$\Delta H_2 = -\Delta H_1.$$

此時小齒輪與大齒輪在分度圓上之齒厚發生了 ΔS_1 及 ΔS_2 的變化：

$$\Delta S_1 \approx \frac{2\Delta H_1(\mu_0 + \operatorname{tg} \alpha_{\partial})}{\cos \alpha_{\partial}};$$

$$\Delta S_2 \approx \frac{2\Delta H_2(\mu_0 + \operatorname{tg} \alpha_{\partial})}{\cos \alpha_{\partial}}.$$

ΔS_1 及 ΔS_2 為正值時，齒厚減小；為負值時，齒厚增大。 μ_0 之值用弧度表示，可按以前的公式計算求得。

使用銑刀組時，當工件齒數大於設計銑刀所根據的齒數時，邊稜嚙合很少會發生，但是工作可能不平滑。

若有發生邊稜嚙合的危險性時，必須選取大於理論上的銑削深度來銑製從動齒輪。

盤狀銑刀的設計〔3, 4〕

兩側切削刃的後角 δ ，應當不小於 2° 。銑製齒數很少的齒輪時，所用的盤狀銑刀， δ 之值應不小於 $1^\circ 30' \sim 1^\circ 20'$ 。

齒頂後角 δ_0 按下式計算之

$$\operatorname{tg} \delta_0 = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\sin \nu}.$$

ν 及 ν' 角（圖3, 4）應不小於 5° 。當 ν 及 ν' 等於 5° 時，所得出的 δ_0 為 15° 。銑削時所用的凸輪差落高度 K_1 （即銑削量）可用下式計算：

$$K_1 = \frac{\pi D_{eu}}{z_k} \lg \delta_e,$$

式中 z_k ——銑刀槽數(即銑刀齒數); D_{eu} ——盤狀銑刀外徑。

磨齒形時,應用的二次劃背的凸輪差落高度為

$$K_2 = (1.2 \sim 1.5) K_1.$$

且 K_2 及 K_1 之差應不少於 1 公厘。 K_1 與 K_2 均折合至 0.5 公厘以上。

為避免被切出的齒輪齒形改變,精銑刀的前角為零。

銑製 $\alpha_\theta = 20^\circ$ 非修正的直齒外齒輪的盤狀銑刀,各部分尺寸見 OCT 20181-40,其技術條件見 ГОСТ 1678-42。

這些數據,也可用作設計非標準銑刀時的參考。

粗銑刀用於按滾切法或分度法銑齒之前的預加工上的。

粗銑刀的構造形式相當多,常

見的粗銑刀有梯形齒的(圖 6, a),分級齒的(圖 6, б)和溝槽銑刀等(圖 6, в),有的粗銑刀上有斷屑槽,斷屑槽在相隣兩齒上交錯分佈着。

粗銑刀不是沿半徑方向來刃磨的,而是略略傾斜,帶有前角,前角 γ 等於 $8 \sim 10^\circ$ 。粗銑時銑刀切削全部銑削深度,而在齒兩側留下 $0.5 \sim 2$ 公厘(隨模數而定)的齒厚裕度。

指狀銑刀的設計

精加工的指狀銑刀如用徑向或軸向鏟齒時,在重磨後會產生很大的畸變。最好的方法是沿與銑刀軸成 15° 的方向來鏟齒[2]。圖 7 中的 A 和 B 箭頭指示鏟齒的方向。

後角可按下式計算之

$$\lg \delta_1 = \frac{z_k K_1 (\cos 15^\circ \lg \varphi_1 + \sin 15^\circ)}{\pi D_1};$$

$$\lg \delta_2 = \frac{z_k K_1 (\cos 15^\circ \lg \varphi_2 + \sin 15^\circ)}{\pi D_2};$$

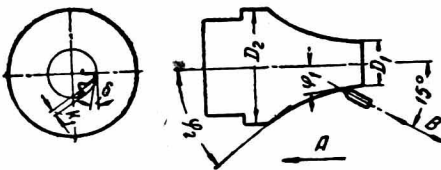


圖 7 指狀銑刀鏟齒背示意圖。

式中 φ_1 和 φ_2 角以及 D_1 和 D_2 均見圖 7。

頂端上的齒須採用軸向鏟齒。

最通用的銑刀是帶有內螺紋,以便安裝在刀桿上

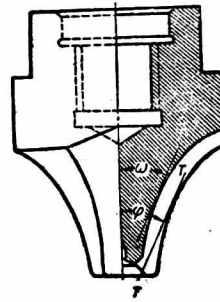


圖 8 精加工指狀銑刀。

導孔與端面是一次定位後磨出的,依靠它們可以使銑刀準確地裝在刀桿上。為了避免銑刀與刀桿不同心,螺紋之間留有一保險間隙。

銑刀槽的槽底角度 ω

比 φ 角小 $4 \sim 7^\circ$,此外切

線 T-T' 的作法是使曲線的两端與切線的距離儘可能相等;導孔與槽底必須有一定的距離(大於 $8 \sim 10$ 公厘)。

精銑刀的齒數應為偶數。

推薦下列的指狀銑刀齒數(圖 9):

銑刀直徑(公厘)	40~45	50~70	75~140	150~220
齒數	2 或 4	4	6	8

銑刀是沿前面刃磨的。

粗加工用的指狀銑刀切削刃上有斷屑槽,交錯分佈。粗銑刀不沿半徑方向刃磨,而略略傾斜,得出 $8 \sim 10^\circ$ 的前角。粗銑時也是銑出整個深度,而在兩側齒面按模數大小留有 $0.5 \sim 2$ 公厘的齒厚裕度。

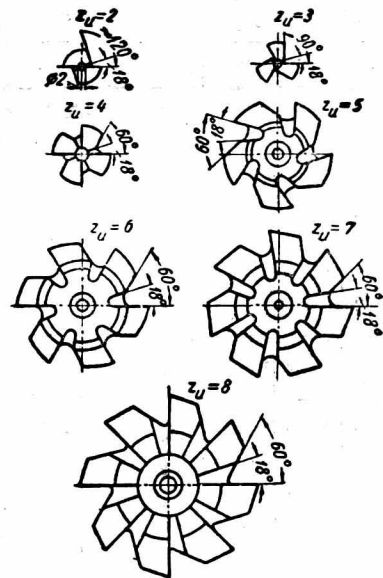


圖 9 指狀銑刀的切削齒數及其分佈。

指狀銑刀所允許的偏差

1. 銑刀總長及鑽孔長度應保持 7 級精度 (OCT 1010)。

2. 齒形是用樣板透光來檢驗,公差範圍如下:端面

上的齒及圓角—— $0.004m$;非工作部分的齒形(開始接觸點以下部分以及頂圓以上部分) $0.003m$,工作部分 $0.002m$ 。

粗銑刀的公差按此加倍。

3. 銑刀夾固在刀桿上並和主軸配合後（不用頂針頂緊），銑刀齒形和端面切削齒的脈動量，不應超過下

参考文献

1. Бакнягем Е., Цилиндрические зубчатые колёса. ОНТИ, 1935 и Машгиз, 1947.
2. Грубин А. Н., Лихциер М. Б. и Полоцкий М. С., Зуборезный инструмент, т. 2, Машгиз, 1946.
3. Лихциер М. Б., Теория модульных фасонных фрез для нарезания цилиндрических зубчатых колёс, изд. ЦБР ЦНИИТМАШ, 1935—1937.

- 列數值:

$m=10\sim 16$ 時 脈動量應小於 0.04 公厘

$m=18\sim 30$ 時 脈動量應小於 0.05 公厘

$m=36\sim 50$ 時 脈動量應小於 0.07 公厘

粗銑刀的公差等於上述數值的一倍半。

銑製圓柱齒輪及蝸輪用的齒輪滾刀

銑製圓柱齒輪用的齒輪滾刀

工作原理及應用範圍 齒輪滾刀的原理就是基本
 齒桿，齒桿可以很正確地和規定原始齒形的齒條相嚙
 合。若在基本齒桿上銑出螺旋槽並鑄出齒來，齒桿就變
 成了齒輪滾刀。

比起成形齒輪刀具來，齒輪滾刀的優點是：同一模數的圓柱齒輪不論齒的多少都可以用一把齒輪滾刀來銑製，其次是生產率高，並且相當精確。

任何外接齒輪，不論是直齒的，斜齒的，修正的，不修正的，模數小的或模數大的（模數在36以下）都可以用齒輪滾刀來銑製。

螺旋槽通常是垂直於基本蝸桿的螺紋而銑出的，螺旋槽與滾刀軸的傾斜角 β_k 等於基本蝸桿螺紋在分度圓上的螺旋升角 λ_0 。銑製齒輪時，滾刀的軸傾斜一角度，使滾刀刀齒螺紋與齒輪牙齒在分度圓柱上相切時，兩者的方向能重合相同。滾刀法截面上的齒形（齒形角，齒距，齒高與齒厚等）就是理論上的原始齒條的齒形。

滾刀生產率所以能够很高的緣故，是因為它的切削過程是連續的。但是由於通用的滾刀構造中，滾刀齒形作法不够精確，因此它銑出齒輪的齒形以及基圓齒距的精確度都低於齒條刀等切出的齒輪精確度。

滾刀齒形的誤差是隨滾刀螺紋在分度圓柱上螺旋升角的增大而增加的。因此精銑滾刀永遠是單頭螺紋的。用單頭螺紋的滾刀所銑出的工件，齒距精確度也比較高，這是因為工件上每個齒都是由滾刀上同一刀齒銑出的，所以滾刀齒距的誤差不影響工件的精度。

通用的滾刀連同所謂精銑滾刀在內，主要用於銑製精確度不超過 3 級的齒輪，只有在模數不大時 ($m <$

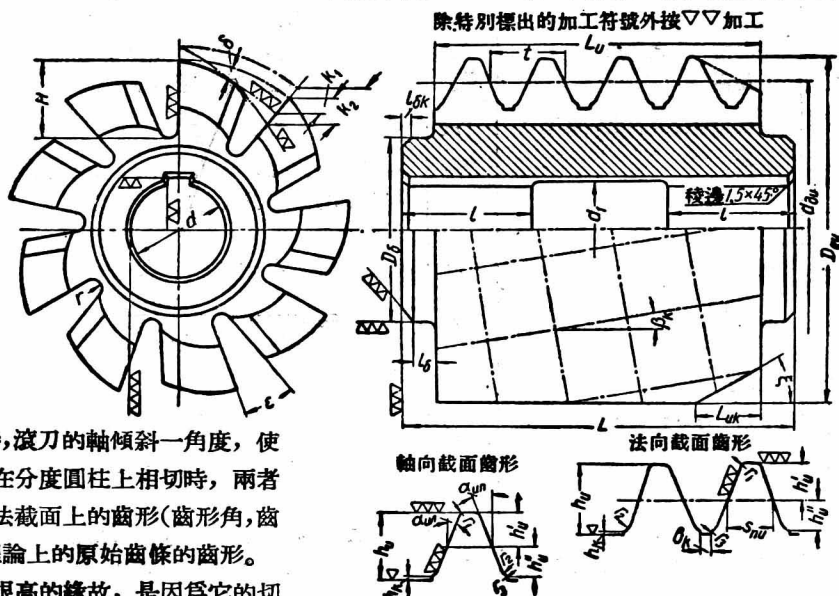


圖10 銑製齒輪用阿基米德精銑滾刀。

4) 才可以銑製精確度為 2 級的齒輪。模數大的 (m 在 14 以下) 2 級精確度齒輪必須用特製滾刀來銑製, 這種滾

刀直徑增大，公差也較嚴格。由於新的齒輪精加工方法（剃齒、磨齒、研齒）已被採用使得齒輪滾刀益形重要，因為用它銑製工件可以獲得較精確之齒距和良好之過渡曲線，對以後的工序如剃齒和研齒，比用插齒刀製造的更適合些。

滾刀的類型 齒輪滾刀主要是用來銑製漸開線齒輪的。

滾刀分類如下：1)按加工種類分有：粗銑（單頭螺紋的、多頭螺紋的、特種的滾刀）及精銑（普通滾刀及精密滾刀）兩種；2)按原始齒形分，則根據設計時的數據（齒形角 $\alpha_o = 14\frac{1}{2}^\circ$, 15° , 20° 等；齒高係數 $f_p =$

1, 0.8等；徑向餘隙 $c = 0.2m$, $0.25m$ 等等）來分類；3)按齒輪制度分有模數制與齒節制；4)按構造分有：帶切削錐度的與不帶切削錐度的，整體的與鑲齒的等等。

精銑滾刀的計算與設計 設計滾刀（圖10）的原始數據為 m_n ——法截面中的模數（直齒齒輪的滾刀則為 m ）； α_{on} ——法截面中原始齒形的齒形角（直齒齒輪的則為 α_o ）； f_{pn} ——原始齒形的齒高係數，以法模數表示之（直齒齒輪的為 f_p ）； c'_{pn} ——徑向餘隙係數，以法模數表示之（直齒齒輪的為 c'_p ）。

計算滾刀時可使用表3中之數據。

表3 齒輪滾刀之數據

公式號數	要求的未知數名稱	符號	公 式	備 註
1	齒頭高度	h'_u	$h'_u = (f_{pn} + c'_{pn})m_n$	
2	不修緣的牙齒齒根高度	h''_u	$h''_u = (f_{pn} + 0.2)m_n$	
2a	修緣的牙齒齒根高度	h'''_u	$h'''_u = (f_{pn} + 0.1)m_n$	
3	$c'_{pn} < 0.3$ 時齒頂圓角半徑	r_1	$r_1 = \frac{c'_{pn}}{1 - \sin \alpha_{on}} m_n$	
3a	$c'_{pn} \geq 0.3$ 時齒頂圓角半徑	r_1	$r_1 = \frac{\frac{\pi}{4} \cos \alpha_{on} - (f_{pn} + c'_{pn}) \sin \alpha_{on}}{1 - \sin \alpha_{on}} m_n$	
4	不修緣的牙齒齒根圓角半徑	r_2	$r_2 = 0.3m_n$	
4a	修緣的牙齒齒根圓角半徑	r_2	$r_2 = 0.2m_n$	
5	砂輪退刀槽的深度	h_{uk}	$h_{uk} = 1 + 2MM$	在 $m_n \geq 4$ 的滾刀上才有
	退刀槽的寬度	b_k	按結構條件而定	在 $m_n \geq 4$ 的滾刀上才有
6	退刀槽的圓角半徑	r_3	$r_3 = 0.5 + 1.2MM$	在 $m_n \geq 4$ 的滾刀上才有
7	全齒高	h_u	$h_u = h'_u + h''_u + h_k$	
8	法截面中分度圓上的齒厚	s_{nu}	$s_{nu} = \frac{\pi m_n}{2}$	計算到精確到0.01公厘
9	外徑	D_{eu}	按結構上的要求而定。A、B、C級滾刀之外徑 D_{eu} 可按ГОСТ 3346-46來選取	選取精密滾刀的外徑時，必須注意到滾刀螺旋槽之數目不應少於10
9a	內徑	D_{iu}	$D_{iu} = d_{ou} - 2h''_u$	
10	螺旋槽數目	z_k	$z_k = \frac{2\pi}{\arccos \left(1 - 4.4 \frac{m_n}{D_{eu}} \right)}$	
11	齒頂圓角半徑	δ	$\delta = 11 + 12^\circ$	模數小時取小值
12	第一凸輪之縫削量	k_1	$k_1 = \frac{\pi D_{eu}}{z_k} \operatorname{tg} \delta$	k_1 之值須整至0.5公厘
13	第二凸輪之縫削量	k_2	$k_2 = (1.2 + 1.35)k_1$	在大模數時 k_2 取小值。 k_2 值整至0.5公厘
14	磨齒形滾刀的螺旋槽高度	H	$H = h_u + 0.5(k_1 + k_2) + 1.5MM$	
14a	不磨齒形的滾刀的螺旋槽高度	H	$H = h_u + k_1 + 0.5MM$	
15	螺旋槽圓角半徑	r	$r = \frac{\pi(D_{eu} - 2H)}{10z_k}$	
16	銑製螺旋槽的角度的銑刀角度	ϵ	$\epsilon = 18, 22, 25 \text{ 和 } 30$	須用作圖法核定
17	分度圓直徑	d_{ou}	$d_{ou} = D_{eu} - 2h'_u - 0.5k_1$	

(續)

公式 號數	要求的未知數名稱	符號	公 式	備 註
18	分度圓柱上刀齒螺旋之螺旋升角	λ_{θ}	$\sin \lambda_{\theta} = \frac{m_n}{d_{\theta u}}$	計算到1'
19	軸向齒距	t	$t = \frac{\pi m_n}{\cos \lambda_{\theta}}$	計算到0.001公厘
20	螺旋槽斜角	β_{κ}	$\beta_{\kappa} = \lambda_{\theta}$	
21	螺旋槽之螺距	S_{κ}	$S_{\kappa} = \frac{\pi d_{\theta u}}{\operatorname{tg} \beta_{\kappa}}$	按工具磨床上現有配換齒輪的條件折為整數
22	A、B、C級滾刀具有刀齒部分的長度	L_u	$L_u = t + (10+15) \text{ mm}$	
22a	精密滾刀具有刀齒部分的長度	L_u	$L_u = t + (10+15) \text{ mm}$	
23	銑製斜齒齒輪的滾刀圓錐部分之長度	L_{uk}	$L_{uk} = (5+7)m_n$	
24	圓錐部分之錐角	ξ	$\xi = 18+30^{\circ}$	L_{uk} 愈長則 ξ 之值愈小
25	穀台上圓柱部分之長	l_{θ}	$l_{\theta} = 4+5 \text{ mm}$	
26	穀台上圓錐倒稜之長度	$l_{\theta \kappa}$	$l_{\theta \kappa} = 1+1.5 \text{ mm}$	
27	滾刀全長	L	$L = L_u + L_{uk} + 2(l_{\theta} + l_{\theta \kappa})$	
28	內孔磨製部分的長度	l	$l = (0.22+0.26)L$	
29	刀桿直徑(鏈槽不計在內)	d	$d \leq 0.625(D_{eu} - 2H)$	
29a	計算鏈槽在內時刀桿直徑	d	$d \leq 3.3 \left[D_{eu} - H - \left(t'_1 - \frac{d}{2} \right) \right]$	t'_1 —是相當於 OCT 1489 的夾固尺寸
30	內孔退刀槽直徑	d_1	$d_1 = d + 2 \text{ mm}$	
31	穀台直徑	D_{θ}	$D_{\theta} = D_{eu} - 2H - (3+5) \text{ mm}$	
32	基圓柱上原始漸開線蝸桿的螺旋升角	λ_0	$\cos \lambda_0 = \cos \lambda_{\theta} \cdot \cos \alpha_{\theta n}$	(32)~(34)公式是輔助公式, 是用來按公式(35)計算 α 角的
33	輔助角	α_{x1}	$\cos \alpha_{x1} = \frac{d_0}{2(r_{\theta u} + f_{pn} m_n)}$	
34	輔助角	α_{x2}	$\cos \alpha_{x2} = \frac{d_0}{2(r_{\theta u} - 0.6 m_n + 0.5 k_1)}$	
35	阿基米德基本蝸桿之齒形角	α	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{inv} \alpha_{x1} - \operatorname{inv} \alpha_{x2}}{2 \cos \lambda_{\theta} \left(f_{pn} + 0.6 + 0.5 \frac{k_1}{m_n} \right)}$	
36	滾刀之原始蝸桿為阿基米德型時, 軸向截面中滾刀齒形右側之齒形角	α_{un}	$\operatorname{ctg} \alpha_{un} = \operatorname{ctg} \alpha \mp \frac{k_1 \cdot z_{\kappa}}{S_{\kappa}}$	右旋滾刀取負號; 左旋滾刀取正號, α_{un} 及 α_{ul} 角計算到1'
36a	同上, 齒形左側的齒形角	α_{ul}	$\operatorname{ctg} \alpha_{ul} = \operatorname{ctg} \alpha \pm \frac{k_1 \cdot z_{\kappa}}{S_{\kappa}}$	
37	按法截面求齒形時, 滾刀齒谷在法截面中的齒形角	α_{nu}	$\alpha_{nu} = \alpha_{\theta n} - \Delta \alpha_{\theta n}$	

[外徑] 外徑增大時, 分度圓柱上螺旋線升角隨之減小, 因而滾刀齒形精確度就提高了, 滾刀就更近似於齒條, 並且用普通方法求出的齒形誤差就減小了。

此外, 增大外徑後還可以採用直徑較大的刀桿(增加了剛度), 同時可以增加螺旋槽的數目, 使工件上每

個齒被切削的次數增加, 因而提高了加工表面的光潔度和刀齒的耐用度。

螺旋槽數目若保持不變, 就可以增大鏈削量, 使滾刀側後角增大, 並增大刀齒強度。

增大外徑後若外徑與孔徑的比例減低, 則生產率

可以提高。

爲了節省稀有的鋼料，直徑大的滾刀都是組合的，也就是說銑刀是鑲刀齒或鑲齒條的。

銑製 3 級精確度齒輪的 A 級(按 ГOCT 2973-45)滾刀，銑製 4 級精確度齒輪的 B 級滾刀，銑製精確度更低的齒輪和預加工用的 C 級滾刀，其外徑的選擇數據可查 ГOCT 3346-46。

爲了滿足工件齒形更高的精確度要求(2 級精確度)可用外徑如下的精密滾刀：

模數 m_n	外徑 D_{eu} 公厘	模數 m_n	外徑 D_{eu} 公厘
4.00	85	8.00	155
4.25	90	9.00	170
4.50	95	10.00	190
5.00	105	11.00	210
5.50	115	12.00	230
6.00	125	13.00	250
6.50	135	14.00	260
7.00	145		

〔滾刀刀齒尺寸〕 爲了能有徑向餘隙，滾刀齒頂高度(圖 10)應當比原始齒條的齒頂高度大一徑向餘隙的數值[表 3 中的公式(1)]。滾刀齒根高度比原始齒條的齒根高度大 $0.2m_n$ [公式(2)]。

滾刀齒頂之圓角半徑應當儘量取得大些，但是過渡圓弧之高度不能超過徑向餘隙。 $c'_{pn} < 0.3$ 時，上述條件由公式(3)表示出來， $c'_{pn} \geq 0.3$ 時，上述條件由公式(3a)表示出來，後一種情況下，滾刀齒頂已成為一完整之圓弧。

〔螺旋槽之數目及要素〕 螺旋槽必須有足夠之寬度，以便容納切屑和容納銑齒時所用的刀具(銑刀或砂輪)。滾刀刀齒必須有足夠的寬度，以保證強度及刃磨次數。滾刀外徑增大時，螺旋槽的數目減少。螺旋槽的數目可按公式(10)大致算出，再用作圖法核定。齒根之厚度應不少於槽深的 0.75 倍。磨滾刀齒背時，只磨齒長的 $2/3$ (按外圓圓弧計算)，因為這樣砂輪就不致於碰傷次一齒。A、B 和 C 級滾刀螺旋槽數目可參考 ГOCT 3346-46 所列的數據來選擇。

精密滾刀最好取 $\varepsilon_n \geq 10$ 。滾刀螺旋槽的 ε 角(圖 10)按結構上與加工上的要求，採取 18、22、25 及 30°。

磨齒形的滾刀的螺旋槽的 ε 角應大些(以便砂輪不碰到次一刀齒)。槽底應做成圓角，以減少熱處理時發生裂紋的可能性。螺旋槽的深度 H 及其圓角半徑 r 按公式(14)、(14a)及(15)計算之。

〔銑削量 k_1 及 k_2 〕 齒頂後角 δ (圖 10)是沿外圓銑出的，其值在 11~12° 之間，模數小時取小值。

銑削量 k_1 按公式(12)計算之。A、B 和 C 級滾刀的銑背量 k_1 可由 ГOCT 3346-46 中查出。

滾刀還要受到第二次較大銑背量 k_2 的銑削，以便滾刀經過幾次重磨後，它齒形上的未磨部分不致參加切削， k_2 之值可按公式(13)計算之。模數大時 k_2 取小值，模數小時取大值。

刀桿直徑 d 可按公式(29)及(29a)計算出初步的數值，式中 t'_1 相當於夾固尺寸(OCT 1489)，然後再查 OCT 1489，決定出 d 的最後數值。滾刀刀體的厚度在最薄弱的地方應不少於 $0.3d$ 。

A、B 和 C 級滾刀的 d 值可由 ГOCT 3346-46 查出，銑槽尺寸查 OCT 1489。最好採用錐形內孔及錐形刀桿，這可使安裝銑刀時徑向與端面的偏擺量減至最低限度，這些偏擺量對於工件的齒形會產生極壞的影響的。

〔構造上的其他因素〕 爲了在製造過程中便於檢驗，以及在安裝滾刀時便於校驗偏擺量起見，滾刀兩端具有磨過的轂台，轂台上有 4 至 5 公厘長的圓柱部分和 1 至 1.5 公厘長 30° 角度的錐形後邊。

$m_n \geq 4$ 的磨齒形的滾刀上，爲了磨製方便起見，齒根處銑出一槽來。

滾刀兩邊的殘齒必須銑去或銑短些，使其殘齒上部之寬度大約都等於 $0.7m_n$ 。

〔滾刀的齒形〕 滾刀軸與被銑削之齒輪軸是二根既不相交又不平行的空間直線。它們之間的嚙合和螺旋齒輪的傳動是一樣的。既然齒輪應具有漸開線的齒形，則基本齒桿以及滾刀本身應當是漸開線的齒形。

因爲這種滾刀在求齒形上、在製造上和檢驗上，都很複雜，因而採用許多近似方法來求齒形。最常用的方法是使滾刀在齒間法向截面中具有原始齒條的齒形。然而這種滾刀的齒形在專用的測量儀器上來測量所得出的結果，也不穩定可靠。此外在 $\lambda_\theta > 3^\circ$ 時，用這種方法所求出齒形與原始齒條的齒形相比，誤差是很大的。

另有一種齒形求法，誤差較少，測量起來也大爲方便。這種方法中齒輪滾刀的基本齒桿是阿基米德齒桿，其齒形角 α 按公式(32)~(35)計算之。此時軸向截面中的齒形角 α_{un} (齒右側的)及 α_{uA} (齒左側的)是不相等的，可按公式(36)和(36a)計算之。

第三種方法是滾刀在齒谷法截面中具有原始齒條之齒形，但此原始齒條的齒形角是經過修正的。齒形角修正量 $\Delta\alpha_{\theta n}$ 按滾刀分度圓柱上的螺旋升角 λ_θ 的大小而定。 $\alpha_{\theta n} = 20^\circ$ 時， $\Delta\alpha_n$ 之值如下：

λ_θ	$\Delta\alpha_{\theta n}$	λ_θ	$\Delta\alpha_{\theta n}$
2°	0'	5°30'	3.5'
3°	1'	6°	4'
4°	1.5'	6°30'	5'
4°30'	2'	7°	6'
5°	2.5'		

第三種方法的準確程度與第二種方法一樣。但是用測量儀器來檢驗齒形時，第三種方法遠不如第二種方法準確。圖 11 中的曲線是用來決定 λ_θ 不同時各種齒形近似求法的誤差。圖中數值是按 $\alpha_{\theta n}=20^\circ$, $m_n=1$ 作出的。 $m_n \neq 1$ 時則 Δf 應乘以 m_n 。

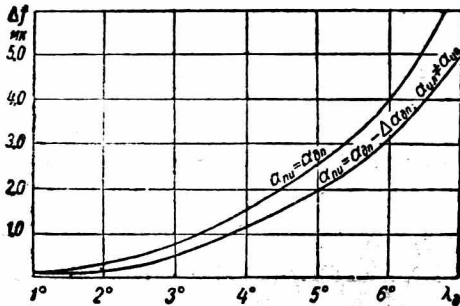


圖 11 當 $\alpha_{\theta n}=20^\circ$, $m_n=1$ 時不同的近似方法求滾刀齒形根據 λ_θ 求齒形誤差的圖表。

〔用滾刀來修齒輪緣〕 齒輪的修緣工作通常是用齒根外形略加修改了的滾刀來進行的。最通用的修緣法有兩種：(圖 12)。第一種修緣法(圖 12, a)是將齒根部分改為具有齒形角 α_{uf} 的直線， α_{uf} 角較原始齒條之齒形角 $\alpha_{\theta n}(\alpha_\theta)$ 略大一些。齒根被修改部分的尺寸是由 h_{uf} 及修緣角 α_{uf} 表示出來的， h_{uf} 是修正部分的始點至中線的距離。第二種修緣方法(圖 12, б)是

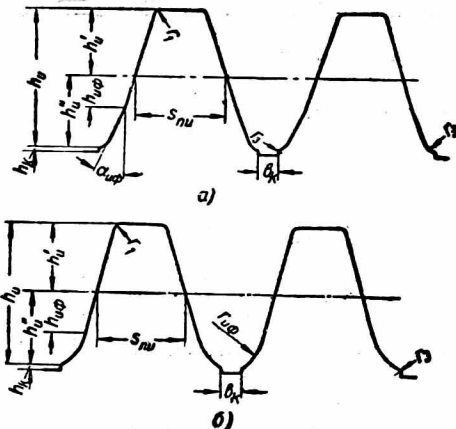


圖 12 齒輪採用修緣時，滾刀法向截面中的齒形。

將齒根部分改為一段半徑為 r_{uf} 的圓弧，圓弧一段與理論的齒形廓線相切，這時修緣部分的尺寸是由距離

h_{uf} 及半徑 r_{uf} 決定的。究竟應選擇那一種修緣方法，則是要根據所給的原始齒條齒形來決定的●。

〔切斜齒齒輪用滾刀構造上的特點〕 爲了避免推壓齒輪滾床上的分度蝸桿，同時也爲了避免切削過程中的振動，右旋的斜齒齒輪最好用右旋滾刀來銑製，左旋斜齒齒輪最好用左旋滾刀來銑製。

銑製齒斜角 $\beta_\theta > 20^\circ$ 的斜齒齒輪與人字齒輪的滾刀，應具有切削錐部(圖 10)，以減輕切入時的工作。既用於銑製左旋又用於銑製右旋齒輪的滾刀，應當在兩端都具備切削錐部。銑製齒斜角小於 20° 的斜齒齒輪滾刀，最好也具備切削圓錐部。

粗銑滾刀的計算與設計 爲了改善切削條件，粗銑滾刀通常都有 $5 \sim 10^\circ$ 的前角 γ 。

粗銑滾刀常常是雙頭螺紋或多頭螺紋的，以便提高生產率，但螺旋升角 λ_θ 最好不超過 10° 。

B 級滾刀的外徑及螺旋槽數目可按 ГОСТ 3346-46 來選取，但 λ_θ 角大於 10° 的例外。有時爲了提高生產率及刀具耐用度起見，而增多螺旋槽的數目及增大外徑。

滾刀 λ_θ 角、螺距 S 及法向截面中的齒厚可按下式計算之：

$$\sin \lambda_\theta = \frac{m_n \cdot z_1}{d_{au}}; \quad S = t \cdot z_1; \quad s_{nu} = \frac{\pi \cdot m_n}{2} - \Delta s_{nu};$$

式中 Δs_{nu} ——精加工時之裕度。

粗銑滾刀齒形的高度尺寸(h'_u, h''_u, h_u)比精銑滾刀的大 $\frac{1}{\cos \gamma}$ 倍。

沿前傾面的截面上齒形角 α_γ 可按下式計算之：

$$\operatorname{tg} \alpha_\gamma = \operatorname{tg} \alpha_{\theta n} \cdot \cos \gamma.$$

滾刀公差 滾刀的結構尺寸以及各部分尺寸的公差可查 ГОСТ 2973-45 (滾刀的技術條件)。

與剃齒刀一同工作的粗銑滾刀公差與 B 級滾刀的公差一樣。

鑲齒齒輪滾刀 爲了節省高速鋼起見有時就採用鑲齒齒輪滾刀，圖 13 爲鑲高速鋼刀齒的滾刀，刀體爲低碳鋼或合金鋼，圖 14 爲鑲齒條的滾刀。

$m_n > 15$, $D_{eu} \geq 200$ 公厘時，最好用鑲齒的滾刀， $m_n > 5$, $D_{eu} \geq 120$ 公厘時最好用鑲齒條的滾刀。

蘇聯汽車工業中模數 m_n 不大於 6 的齒輪廣泛地採用了鑲齒條的滾刀，這種滾刀與圖 14 中所給的那種構造不相同。

● ГОСТ 3058-45 “Исходный и рабочий контуры зубчатой рейки” 中有第一種修緣方法。

其主要的差別如下：1) 新結構滾刀刀體上鑲齒條的槽是與滾刀軸心線平行的；2) 齒條上刀齒的前面是通過滾刀軸心線的平面；3) 這種滾刀的齒條是裝在另一刀體上(輔助刀體)製造出來的，那末製造時，把前面錯動一下，就可以得出需要的切削角度，而不需要再到銼床上去銼製了。這種製造方法用輔助刀體和組合滾刀本身，使粗銼滾刀有了完全互換性，至於精銼滾刀，則目前還不能達到完全互換(因為鑲齒滾刀需要在銼床上再次加工)。

上述新結構滾刀的特性大大降低了製造成本，比起舊結構滾刀來，也就提高了滾刀的經濟價值。這種結構也可以用在分度圓柱上有小螺旋升角的(對精滾刀而言，不大於 4°)滾刀上。

銑製蝸輪的滾刀

工作原理與應用範圍

蝸桿可以和蝸輪準確地嚙合，銑製蝸輪的滾刀的基礎就是這基本蝸桿。在切削蝸輪的最後一個階段中，滾刀應當像基本蝸桿一樣與蝸輪嚙合着。要能達到這樣的目的必須：1) 使滾刀的基本尺寸與基本蝸桿的尺寸一樣(如模數，分度圓半徑，螺旋頭數以及原始齒形角等)；2) 滾刀的齒形求法必須選擇適宜，使銼製出的兩側齒面能達到理論上的準確形狀；3) 滾刀與蝸輪的中心距離必須等於蝸桿與蝸輪嚙合時的中心距離。

按照滾刀的走刀方向，蝸輪的銑製方法有三種：1) 徑向走刀法；2) 切線方向走刀法及3) 徑向與切線方向同時走刀法。

徑向走刀時，滾刀與蝸輪的中心距逐漸不斷縮短直到等於蝸輪組配合後的中心距離為止。

切線方向走刀時，每次走刀時滾刀(或旋刀)都在

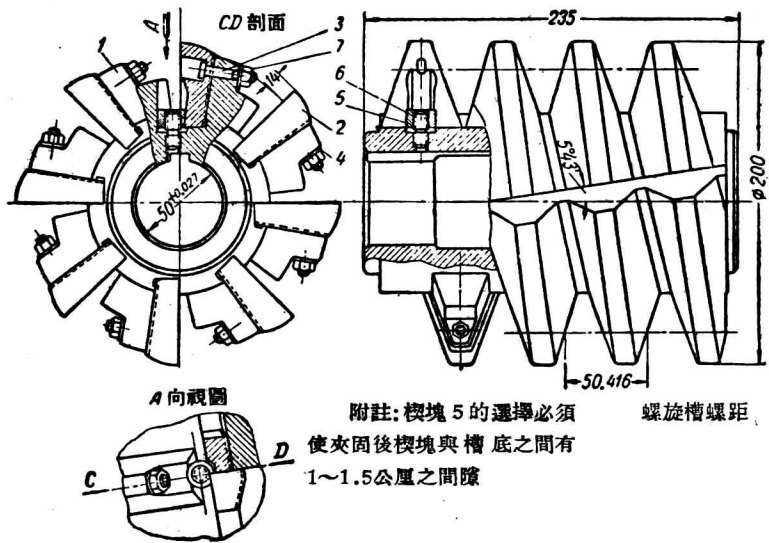


圖13 鑲齒的齒輪滾刀($m_n=16, \alpha_{dn}=20^\circ$): 1—刀體；2—刀齒；3—螺絲；4—M8螺絲墊圈；5—楔塊；6—螺絲；7—M8螺帽。

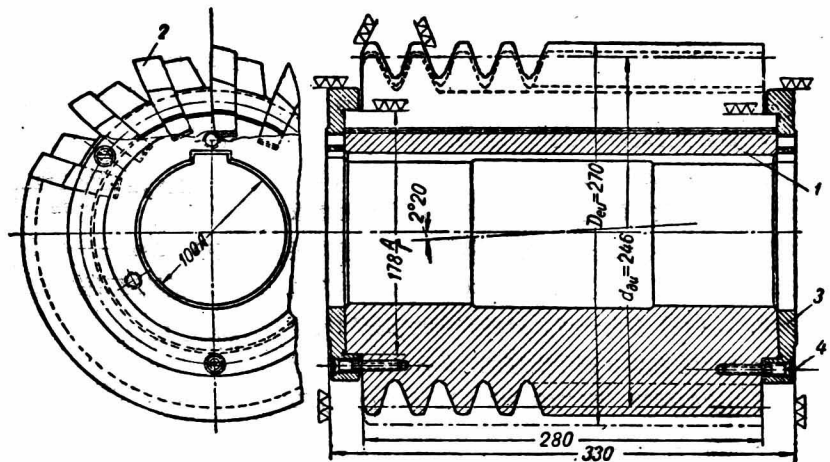


圖14 鑲齒條的齒輪滾刀($m_n=10, \alpha_{dn}=20^\circ$): 1—刀體；2—鑲入的齒條；3—圓環；4—M8×40螺絲。

一定的中心距離上。除了轉動外，滾刀只沿它的軸線方向前進。

普通構造的蝸輪精銼滾刀是用來銼製3級和4級精確度的蝸輪的，銼製2級精度蝸輪的比較少，1級與2級精度的蝸輪是要用剃齒刀精加工的，這種剃齒刀呈蝸桿狀，其螺旋兩側及頂部具有很細的溝紋。

基本蝸桿的尺寸可以按ГОСТ 2144-43‘蝸輪減速器’選取之。

滾刀類型 銑製蝸輪的滾刀可按基本蝸桿的形狀分為三種：1) 阿基米德的；2) 漸開線的；3) 在齒間法截面上是直線形的。

因為漸開的精滾刀在求齒形上，製造上，及檢驗上

都很複雜，所以我們不用它。齒間法截面是直線形的滾刀也因為同樣的理由只在 $\lambda_\theta \leq 10^\circ$ 時才用，因為這時可以用比較簡單的方法來求它的齒形。

應用最廣的是阿基米德滾刀，它的齒形求法簡便。齒形兩側鏟成阿基米德螺旋面，具有與基本蝸桿略不相同的齒形角。

滾刀還可以：1)按加工種類分為粗銑的，精銑的與精密加工的（剃齒刀）三種；2)按走刀方向分為軸向走刀的與切線方向走刀的二種。

為了便於切入工件起見，後一種滾刀一端具有切削錐部

（圖15）；3)按齒輪制度分為模數的，徑節的與英吋齒距的；4)按構造分為帶孔的與整體的（刀與刀桿由一塊材料做成的）。

滾刀的計算與設計 計算與設計蝸輪滾刀基本上與設計齒輪滾刀一樣。

設計蝸輪滾刀的原始根據為：蝸桿類型、蝸桿螺旋線的方向、蝸桿在軸向截面中的模數 m 、螺紋頭數 z_1 、分度圓直徑 d_θ 、阿基米德蝸桿的齒形角 α_1 或者是在齒間法截面中為直線形的蝸桿的齒形角 α_n 、外徑 D_{e1} 、內徑 D_{i1} 、徑向餘隙 C 或徑向餘隙係數 c' 、蝸桿有齒部分的長度 L_u 、蝸輪齒數 z_2 。

滾刀的類型、螺旋線方向、 m 、 z_1 、 d_θ 、 α 、 (α_n) 、 t （軸向齒距）、 S （螺距）、 λ_θ （節圓錐上的螺旋升角）等均應當和基本蝸桿上的相等。

〔走刀方法〕被銑製的蝸輪每一個齒上都必須經過相當密的切削次數，這就限制了徑向走刀的應用範圍。通常情況下，只有單頭螺紋的滾刀才能應用徑向走刀，多頭螺紋的滾刀只有在以下個別情況中才能用徑向走刀：1)當齒輪齒數與滾刀螺紋頭數沒有公因數時；2)當滾刀螺紋頭數 $z_1=2$ 、蝸輪齒數為偶數，並且齒數不少於60時。

假如用切線方向走刀法銑出的蝸輪不能將蝸桿沿蝸輪徑向送進去裝配時，則不能採用切線方向走刀。這種條件可以用下列不等式校驗之（對阿基米德蝸桿而言）。

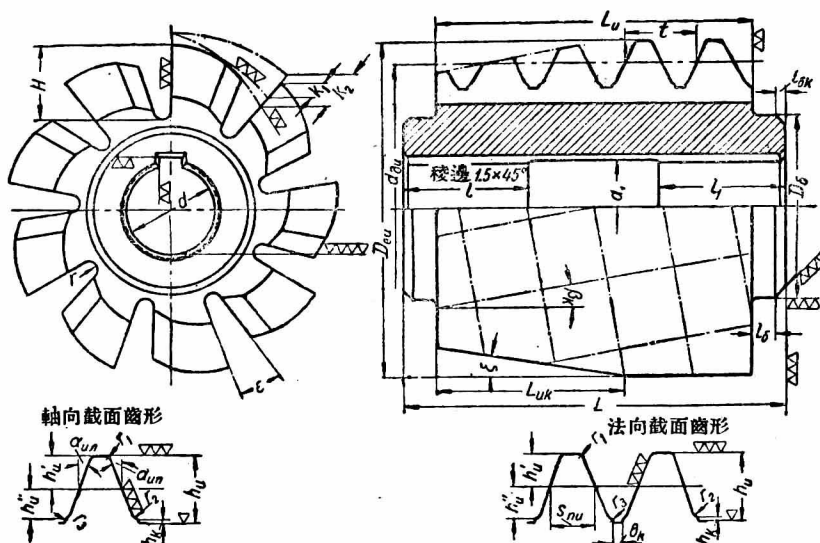


圖15 銑製蝸輪用的鏟背阿基米德精銑滾刀。

$$\operatorname{tg} \alpha > \operatorname{tg} \lambda_1 \frac{\sqrt{D_{e1}^2 - d_1^2}}{D_{e1}},$$

式中 d_1 ——基本蝸桿的有效圓柱直徑； λ_1 ——有效圓柱上螺旋升角。

〔外徑〕滾刀（圖15）外徑 D_{eu} 的計算數值可以由下式得出：

$$D_{eu} = D_{e1} + 2(c' + 0.1)m_o$$

式中 $0.1m$ ——是重磨滾刀後，要保持切削時的中心距離所留下的裕度。有了這個裕度就可以使重磨後所切出的蝸輪的徑向餘隙不致變小。

滾刀徑向經過多次重磨，最後所能容許的最小外徑 D_{eu} 為：

$$(D_{eu})_{\min} = D_{e1} + C_o$$

滾刀內徑 D_{iu} 部分不應參加切削，其值應等於蝸桿之內徑，若滾刀刀體太細，則滾刀內徑可以比蝸桿內徑略大一些，亦即：

$$D_{iu} = D_{i1} + C_o$$

〔螺旋槽數目 z_k 〕徑向走刀時，要能使齒輪上每一個齒都經過足夠的切削次數，精銑滾刀的螺旋槽數目必須如下：銑製二級精度的精銑滾刀 $z_k=10$ ，銑製三級的： $z_k=8$ ，銑製四級的： $z_k=6$ ，多頭螺紋的精銑滾刀 z_k 及 z_1 之間不應有公因數。

刀桿直徑 刀桿直徑的選擇方法，與銑製直齒齒輪的滾刀桿直徑的選擇方法是一樣的，但 α 的數值應不小於下列數值：