

78395
LLD

刀具切削部分 最適宜的幾何參數

拉 林 著



机械工业出版社

621.9.02—010

机

刀具切削部分 最適宜的幾何參數

(基本條例)

拉 林 著

呂 維 雪 譯



機械工業出版社

出版者的話

刀具切削部分的幾何參數是切削部分上面的各種角度和形狀。如果把這些角度和形狀選得很適宜的話，那麼對於提高切削加工的勞動生產率，提高刀具的耐用度，提高加工面的質量都有很大的影響。可是，我們知道，到目前為止許多刀具的幾何參數還沒有具體地規定出來，或者雖然有些應用數據，但還不甚可靠。以致硬質合金刀具的採用和高速切削的推行都受到某些限制。本書的目的就是對在各種情況下怎樣求刀具切削部分最適宜的幾何參數提供一些公式和數據。我國現在正在進行金屬的高速切削，在高速切削的進行中選不好刀具的幾何參數是常常碰到的問題。我們出版這本書希望在解決這項問題方面給予具體的幫助。

本書的讀者對象是與金屬切削加工有關的工程師、技術員和工人。

蘇聯 M. Н. Ларин 著 'Оптимальные геометрические параметры режущей части инструментов' (Оборонгиз 1953 年第一版)

* * *

NO. 0965

1955 年 11 月第一版 1959 年 4 月第一版第三次印刷

850×1168¹/₃₂ 字數 106 千字 印張 4³/₁₆ 3,801—2,850 冊

機械工業出版社(北京阜成門外百子灣)

北京西四印刷廠印刷 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(11) 0.80 元

目 次

規定符號	5
緒論	7
決定最適宜的後角	11
最適宜後角的計算方法	11
車削時後角對加工精度的影響	20
在切削過程中後角對振動和冷硬的影响	20
不適用 α_{opt} 計算公式的某些刀具工作情形	22
決定副切削刀的合理後角	22
決定最適宜的前角	26
目的在於降低塑性變形功的高速鋼刀具最適宜前角計算法	26
當前面摩擦功是限制因素時, 決定高速鋼刀具的最適宜前角	30
金屬高速切削時, 決定硬質合金刀具最適宜的前角	35
加工鑄鐵零件時, 決定硬質合金刀具最適宜的前角	50
刀具前角對已加工表面光潔度的影響	52
刀具前角對切屑形成過程的影響	56
保證捲屑和斷屑的前面形狀	61
1 用切削切削部分的特殊幾何形狀來斷屑(62)——2 用前面作槽來 斷屑和捲屑(63)——3 用小坎斷屑(63)	
切削角可以調節的切刀	72
選擇合理的偏角 φ 和 φ_0	74
偏角對每分鐘走刀量的影響	75
偏角對刀具耐用度的影響	80
偏角對切削力的影響	88
偏角對殘餘應力和振動強度的影響	91
偏角對已加工表面光潔度的影響	93
以薄切屑工作時偏角的計算	95
決定過渡刃的偏角 φ_0	98
圓形切削刀的刀具	99
決定最有利的副偏角 φ_1	101

44124 107

φ_1 角對刀具耐用度的影響	101
副偏角 φ_1 和副切削刃形狀對已加工表面光潔度的影響	105
定碼刀具和柱桿形刀具的副偏角	107
決定合理的切削刃傾角 λ	109
角 λ 對切削力、變形功和摩擦功的影響	109
切入角和接觸形式對端面銑刀耐用度的影響	113
角 λ 對刀具耐用度的影響	116
角 λ 對切屑撤出方向和切屑遲滯的影響	123
傾角 λ 對已加工表面光潔度的影響	125
結論	128
附錄	131
參考文獻	136
中俄名詞對照表	138

規 定 符 號

- α ——後角，在切削刃上各點的運動軌跡所形成的平面或表面中度量(度)。
- α_n ——在法向剖面中的後角(度)。
- α_1 ——副切削刃的後角(度)。
- α_{opt} ——最適宜的後角(度)。
- γ ——法向剖面中的前角(度)。
- γ_ϕ ——倒稜(過渡前面)上的前角(度)。
- f ——倒稜(過渡前面)的寬度(公厘)。
- γ_{opt} ——最適宜的前角(度)。
- γ_1 ——橫向前角(度)。
- γ_2 ——縱向前角(度)。
- φ_0 ——過渡切削刃的偏角。
- φ_1 ——副切削刃的偏角。
- φ ——主切削刃的偏角(度)。
- λ ——主切削刃傾角(度)。
- r ——刀尖圓角半徑(公厘)。
- δ ——後面磨耗(公厘)。
- δ_1 ——前面磨耗(公厘)。
- δ_2 ——月牙坑深度(公厘)。
- x ——徑向磨耗(公厘)。
- t ——切削深度(公厘)。
- s ——每轉走刀量(公厘/轉)。
- s_z ——每齒走刀量(公厘/齒)。
- v ——切削速度(公尺/分)。
- a_{max} ——最大切削層厚度(公厘)。
- a ——切削層厚度(公厘)。
- D ——銑刀直徑(公厘)。
- K_0 ——切屑收縮係數。
- K_1 ——縱向切屑收縮。
- σ_b ——抗拉極限強度(公斤/公厘²)。

σ_{bd} ——抗壓極限強度(公斤/公厘²)。

ψ ——橫向壓縮(%)。

δ_5 —— $\phi 5$ 公厘試件的引長(%)。

H_B ——布氏硬度。

R_C ——洛氏硬度。

H_m ——顯微硬度。

F_0 ——前面的摩擦力(公斤)。

P_z ——圓周力(公斤)。

P_p ——徑向力(公斤)。

P_a ——軸向力(公斤)。

P_s ——沿切削刃的力(公斤)。

P_N ——切削刃的法向力(公斤)。

H_{ch} ——不平度的均方根值(公忽)。

H_{max} ——最大不平高度(公忽)。

ω_k ——切屑容積係數(公厘³)。

ω_0 ——斷屑小坎的傾角(度)。

ω ——銑刀螺旋齒的傾角(度)。

τ ——小坎與切削刃之間的傾角(度)。

h_{π} ——刀尖到小坎的距離(公厘)。

h ——斷屑器工作表面的底部到切削刃中央的距離(公厘)。

Δ ——比磨耗(公忽)。

ρ ——摩擦角(度)。

ρ_0 ——刀刃圓角半徑(公忽)。

μ ——摩擦係數。

ϵ ——切入角(度)。

H ——振動強度(公忽)。

緒 論

刀具切削部分最適宜的幾何參數，對於提高切削加工的勞動生產率、增加刀具的耐用度、改進已加工表面的光潔度以及提高刀具——工件——機床系統的抗振性都有重大的意義。

美國的研究家泰勒在提出曲線切削刀荒車刀的構造以後，就自稱繼續進行改進刀具切削部分的構造和幾何形狀方面的工作已不再能提高切削速度和勞動生產率了。這一反動的觀點，在很多年代中阻礙了切削學中研究刀具切削部分幾何參數方面的發展。在1935年到1940年之間，蘇聯生產中的斯達哈諾夫革新者[里霍拉陀夫(Лихорадов)，阿利斯塔爾霍夫(Аристархов)]，以及工廠實驗室(斯大林汽車廠，高爾基城莫洛托夫汽車廠，烏拉爾重型機器製造廠等)，科學研究所和專科學院中的科學工作者對刀具的新型先進構造方面的創造和發展起了很大的推動作用。

在這些工作的基礎上，蘇聯在世界上第一個訂出了銑刀、切刀及鑽頭幾何參數的全蘇標準。

在金屬高速切削的刀具設計方面的優先地位也是屬於蘇聯的。1936年在基輔紅旗工廠中有一些工程師建議並試驗了具有負前角的新型切刀，這些切刀是用來加工淬硬鋼的，由此奠定了金屬高速切削的基礎。由於斯達哈諾夫高速工人、工程師和科學工作者們的勞動，在蘇聯高速切削已達到了資本主義生產所不能達到的高度。從1943~1944年起，蘇聯在金屬高速切削刀具的新型形狀方面進行了許多的工作。我國(蘇聯)生產中的高速革新者及先進工人們對這方面有很大的貢獻。大家都很熟悉斯大林獎金獲得者波爾特闊維契(Борткевич)、貝科夫(Быков)、比留可夫(Бирюков)和沙文(Савин)等人的車刀。

試驗和經驗是獲得一個被研究過程的概念的基礎，但是不可

忘記實驗的結果只是反映進行此實驗時所存在的具體工作條件，或者是與它們相近的一些條件；把這種實驗的結果機械地應用到工作條件截然不同的其他地方，就不可能得到有效的應用。因此就提出研究和建立指導現象的規律的重要任務。馬克思列寧的哲學教導我們，既然規律只是包括了各現象中的共同之處，那它總是或多或少的把現象簡略化和使它貧乏化了。實際上對此共同之處在每一現象中都包含了很多的各個獨立的方面。正如列寧說的：「現象較規律更為豐富。規律不可能包括現象的特性中所有各方面的內容，就這方面來說，規律，任何的規律，是狹窄的，不完全的，近似的。」^①

但是另一方面由於規律的普遍性，它反映了許多現象的聯系，因此規律比單一的現象更深刻地反映出客觀的真理。隨着我們知識的發展，使規律也豐富起來，包括了新的現象，得到了修正，並獲得了新的內容[1]。

因此爲了要最適宜地來解決實際問題，就必須科學地綜合蘇聯研究者（科學工作者以及斯達哈諾夫生產革新者們）在大量工作中所累積起來的豐富的經驗資料。不進行這樣的綜合，則有價值的研究結果和經驗就不能有效地用來解決各種極不同的實際問題。

在研究現象和各種因素之間的關係時，一般是採用這樣的方法論，即在研究某一個因素的影響時，把其他的因素都嚴格地保持不變。這時往往假設所得到的局部的關係對於其他因素的數值不相同時也不改變，而這樣是會得到相當大的誤差的。

因此這樣的方法論是不適宜於進行範圍很廣的綜合的，例如：要決定任何硬質合金刀具在加工鋼或鑄鐵時的最適宜前角或後角。

因爲自然界中每一個現象是和大量變化的因素有關，所以必須在試驗的基礎上來估計每一個因素對我們要研究的問題的影響；並且爲了便於綜合起見，應找出對所研究現象影響最強烈的主

① 見列寧：「哲學筆記」127頁。

要因素。

最好能找出最主要的因素，靠此因素能作出解決所提出各問題的共同的關係。

運用馬克思主義的辯證方法，可以在很多單獨的現象中找出共同的特性；建立各現象之間有規律的聯繫，把主要的和次要的，原因和後果區別開來〔1〕。

科學的任務在於從現象的無數相互影響中找出它們共同服從的內在規律。因之，為要建立規律，必須在一般的關係中區別出基本的、重要的和次要的關係；發現出各現象之間的有機聯繫。

對於概括的重要性，偉大的俄國學者門德雷也夫（Д.И. Менделеев）曾經說過：「概括在這裏是佔第一位的，要知道科學的特性主要是在概括」。理論本身就是反映實際，概括人們實際經驗的學說。

約·維·斯大林在講到理論的重大意義時曾教導我們：「……理論若不和革命實踐聯繫起來，就會變成無對象的理論；同樣，實踐若不以革命理論為指南就會變成盲目的實踐。」^①

科學工作者的任務是創造理論的基礎使它獲得最廣泛的應用。因為「當理論一旦為羣衆所掌握的時候它就成為物質的力量；」（卡·馬克思）：「馬克思主義的哲學認為最重要的問題，並不在於懂得了客觀世界的規律性因而能解釋客觀世界；而在於拿了這種對於客觀規律性的認識去主動地改造世界」，「……馬克思主義看重理論，正是，也僅僅是，因為它能夠指導行動。」^②

從這樣的觀點上看來，以利用起主要作用的因素作為概括經驗的基礎來獲得刀具切削部分最適宜幾何參數的計算方法是有特殊意義的。因為這樣就可以在加工任何牌號鋼和鑄鐵以及塑料時根據實際的生產條件得到各種刀具最適宜的切削角度，而不需再

① 見斯大林：「列寧主義問題」，國家政治出版社（Госполитиздат），1946年第11版第14頁。譯文見人民出版社出版「列寧主義問題」，1953年第1版第21頁。

——譯者

② 見毛澤東：「實踐論」。毛澤東選集第一卷291頁第7行，1951年北京版。

進行新的、長期的、耗費很大的試驗。

在這本書中作者蒐集和綜合了作者所知道的，在決定刀具切削部分最適宜幾何參數方面的科學研究資料。

但是根據這些數據，還只能作出決定最適宜前角及後角的計算（主要根據切刀及銑刀的工作經驗）。目前的任務是根據刀具的實際工作條件得出偏角 φ 及 φ_1 以及切削刃傾角 λ 的最適宜數值的計算數據。在這本書中還只能根據所進行的研究以及先進工廠的經驗得出合理規定這些角度的某些基本規則。指定切齒刀具切削部分最適宜幾何參數的問題是特別有價值的，因為一般切齒刀具所用的前角和後角是不利的，特別是它的側面成形切削刃（為了避免所切齒輪齒形的變形）。因此切齒刀具的前角往往做成 $0^\circ \sim 5^\circ$ 而邊刀口的後角在 2° 以下。必須完全同意科學技術博士謝明欽科（И.И.Семенченко）教授所說的：「這些數值（切削角），無疑地是完全不能令人滿意的，因為它的數值太小了；同時切齒刀具是在不利的條件下工作的，設計者應向設法改進切削刃的（切削）角度方向努力。」

在這方面蘇聯機床工業部全蘇工具學院、斯大林機床製造學院、金屬切削機床科學實驗研究所以及蘇聯的先進工廠作了很多有價值的工作，這些工作應該用來得出概括的關係。只有科學工作者和生產工作者的緊密合作，才可能在最短期內創造出具有適宜切削角度的、經過改善的、新型切齒刀具，以提高它們的耐用度和生產率。

廣泛地運用合理的刀具切削部分幾何參數會使金屬切削機床上的勞動生產率進一步提高，進一步的節約刀具及降低機械車間的產品成本。

這本書是作者根據 1950~1951 年在蘇聯機械科學技術工程學會莫斯科分會刀具及切削委員會所組織的研究會上的講稿寫成的。此研究會的目的是在提高設計生產用刀具方面的工程技術人員的技術水平。

決定最適宜的後角

最適宜後角的計算方法

不論在高速鋼刀具中或是在鑲硬質合金或陶瓷燒結刀片的刀具中，後角都是刀具結構的一個重要因素。這一角度的作用是：

- 1) 減少沿後面的摩擦功及其磨耗；
- 2) 減小摩擦的接觸面積；
- 3) 減小切削刃圓角半徑，這樣可以得到最小滑動角的正確切入（如銑刀刀齒切入時）；
- 4) 減少由刀具自然振動所產生的振動。

另一方面，後角的增加使楔角減小，結果削弱了切削刃的強度，所以最適宜後角的問題是有重要的實際意義的。

從很多刀具工作的觀察中表明：最適宜的後角是隨着刀具的磨耗特性而變的；而磨耗特性本身又依據於刀具的特定工作條件而變：切削用量（主要是切削層厚度及切削速度）、被加工金屬和刀具材料的品質等。

如果在切削層厚度 $a < 0.08$ 公厘的薄切層範圍中進行切削時，則壓力集中在切削刃的圓角表面上；這時主要的摩擦功及磨耗集中在後面上。

磨耗的結果形成一塊沒有後角的面積。在圖 1a 上的箭頭是表示集中在接觸表面上的假想熱流的方向及其相對的大小。爲了減小熱流，以及減少摩擦功，必須盡量增加後角（在刀具切削部分的強度許可範圍內）。

當切削層厚度 $a > 0.08$ 公厘並在使用冷卻液時，切削刃被已變形的金屬所包圍，這時壓力分佈在後面和前面上，並造成相應的磨耗。

在變形和摩擦的作用下，熱流傳入刀具的深處，其方向是從後

面向前面(圖 16), 因此, 爲了增多在熱流方向的金屬, 所選擇的後角數值應比圖 1a 所示的那種磨耗時的後角要小些。

圖 1e 的磨耗以及與其相連的摩擦功基本上是發生在前面上, 在這種情形中, 後角的增加減少了熱流運動方向的金屬, 因此使熱量導出條件變壞, 並降低刀具耐用度。所以在這種形式的磨耗時, 後角應最小。對高速鋼的荒加工通切刀後角 $\alpha = 6^\circ \sim 8^\circ$ 。

第一類的磨耗(圖 1a)包括許多加工鑄鐵, 青銅, 輕合金以及

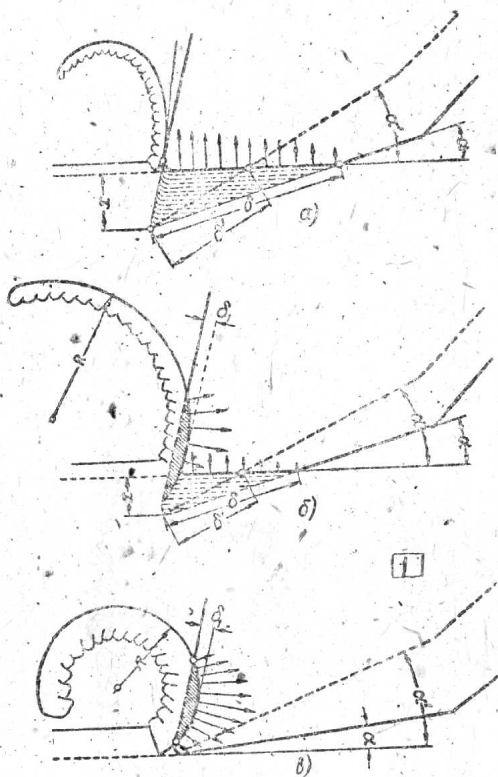


圖 1 刀具的幾種基本磨耗形式:

- a—當 $a_{\max} \leq 0.08$ 公厘時, 主要的磨耗在後面上; b—當 $a_{\max} = 0.08 \sim 0.35$ 公厘時, 磨耗沿前面和後面進行; c—當 $a_{\max} \geq 0.35$ 公厘的高速切削時, 主要的磨耗在前面上。

在薄切屑($a < 0.03$ 公厘)範圍中加工鋼的高速鋼和鑲硬質合金刀具。各種形狀的銑刀、螺紋刀具、拉刀、鉸刀等都發生這類磨耗。

第二類磨耗(圖 16)是以高速鋼切刀用冷卻液作光加工時的特徵,也是所有鑲硬質合金切刀、端面銑刀、圓片銑刀、鑽、擴孔鑽等的特徵。

第三類的磨耗祇有高速鋼荒切刀當不用冷卻液工作時才發生(圖 16)。

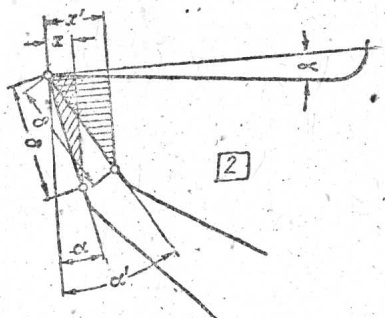


圖 2 後面磨耗不變時($\delta = \text{常數}$),徑向磨耗隨後角增加的變化。

為了導出最適宜後角的綜合公式〔2〕,讓我們來研究,當

主要磨耗是沿刀具後面進行,並且在一定的磨鈍標準 δ 公厘時徑向磨耗 x 的改變(圖 2)。

首先必須找出在 $\delta = \text{常數}$ 時後角與徑向磨耗之間的關係。由磨耗三角形我們可以找到

$$\sin \alpha = \frac{x}{\delta}; \sin \alpha' = \frac{x'}{\delta}。$$

當 $\delta = \text{常數}$ 時, $\sin \alpha = k_1 x$ 和 $\sin \alpha' = k_1 x'$, 式中 $k_1 = \frac{1}{\delta}$, 因之, $\sin \alpha = \text{常數} \times x$ 。

徑向磨耗 x 的數值與切削用量和在切削過程中形成的摩擦力有關。研究表明,隨切削層厚度的增加,主要磨耗部分地由後面轉移到前面。另一方面,隨着作用在切削刃有效部分單位長度上的摩擦力的增加,徑向磨耗量增加了。這些情況假設可用下列關係來表示:

$$x = k_2 \frac{F_b}{a}, \quad (1)$$

式中 k_2 ——係數,當 α_{opt} 時其值最小;

F_b ——作用在切削刃有效部分單位長度上的摩擦力。

$$\text{摩擦力} \quad F_b = \frac{PN}{b} \mu (1 + SP_0), \quad (2)$$

式中 P_N ——作用於後面的法向力(公斤);

μ ——摩擦係數;

S ——真正接觸面積;

P_0 ——要使表面脫離開所必須克服的力,其數值與單位(在單位面積上的)黏附(附着)或噴合(吸附)力相接近。

法向力可以近似地以圓周力來表示:

$$P_N = k_3 \times P = k_3 \times \sigma \times b \times a \text{ (公斤)},$$

式中 σ ——金屬切削時的應力(單位切削力)(公斤/公厘²)。

根據實驗數據應力按下式決定:

$$\sigma = \frac{\lambda}{a_{\max}^k}, \quad (3)$$

式中 λ ——與前角和被加工材料品質有關的係數;

k ——與刀具型式和被加工材料品質有關的幕指數。

以由(2)和(3)式所得的數值代入(1)式,得到

$$x = k_2 k_3 \frac{\lambda}{a_{\max}^k} \mu (1 + SP_0), \quad (4)$$

由此

$$\sin \alpha_{\text{opt}} = k_4 \frac{\lambda}{a_{\max}^k} \mu (1 + SP_0), \quad (5)$$

式中 k_4 ——在最適宜後角值時的比例係數。

考慮到對於不同牌號的鋼,摩擦係數大致相同,同時對一定類別的材料,係數 λ 的平均值可以取作常數(鋼、鑄鐵、塑料),可以認為

$$k_4 \times \lambda \times \mu (1 + S \times P_0) \approx \text{常數};$$

這時計算式就簡化了,並成為下列形式

$$\sin \alpha_{\text{opt}} \approx \frac{\text{常數}}{a_{\max}^k}. \quad (6)$$

常數的數值和幕指數 k 根據經驗數據的處理來決定。

在以下的討論基礎上也可以得出同樣的結論。如所週知,隨切削層厚度的減小切削刃附近的應力集中增高了,這導致後面磨耗的比值上升。另一方面,只有靠增加後角才能做到減少因後面磨耗

而形成的摩擦接觸面積。如果假定 $\sin \alpha_{\text{opt}}$ 值與應力成正比，即 $\sin \alpha_{\text{opt}} \approx k \times \sigma$ ，同時以(3)式的 σ 值代入此關係，則我們就得到(6)式。

在表1和2中列有用高速鋼及鑲硬質合金刀具加工不同牌號的鋼及鑄鐵時的最適宜後角值，這些數值是蘇聯的研究者在決定最適宜後角大小時的試驗結果。

表1 用高速鋼刀具工作時最適宜後角的數值

(根據蘇聯研究者的數據)

刀 具 名 稱	被 加 工 材 料	進刀量 s (公厘)	α_{max} (公厘)	α_{opt} (度)	圖3上 的點號
鏜槽銑刀	40XH號鋼	0.01	0.0045	40	1
		0.014	0.00624	40	2
端銑刀	OXM(淬硬)	0.105	0.063	20	3
圓柱銑刀	OXM(淬硬)	0.106	0.0453	19	4
圓柱銑刀	鑄鐵	0.117	0.0485	15	5
麻花鑽	鑄鐵	0.74	0.315	9	6
端面銑刀	OXM(退火)	0.312	0.27	15	7
三面刃圓片銑刀	40號鋼	0.07	0.035	18	8
端銑刀	45號鋼	0.057	0.0342	14	9
通切刀	鎢鎢鋼(退火)	0.095	0.067	15	10
通切刀	OXM(淬硬)	0.095	0.067	16	11
鏜槽銑刀	鑄鐵	0.065	0.0328	23	12
單齒鉋刀	45號鋼	—	0.05	20	13
鑽($\alpha = \text{常數}$)	45號鋼	0.275	0.11	18	14
端面銑刀($\varphi = 60^\circ$)	鋼 $\sigma_s = 80 \sim 100$ 公斤/公厘 ²	0.08	0.069	18	15
端面銑刀($\varphi = 60^\circ$)	鋼 $\sigma_s = 80 \sim 100$ 公斤/公厘 ²	0.16	0.138	16	16
切刀($\varphi = 45^\circ$)	鋼 $\sigma_s = 95 \sim 100$ 公斤/公厘 ²	0.2	0.141	13	17
端面銑刀	夾布膠木	0.108	0.087	25	18
端面銑刀	粉質電膠木	0.106	0.085	20	19

表2 用鑲硬質合金刀具工作時最適宜後角的數值
(根據各研究者的數據)

刀 具	被加工材料	v (公尺/分)	s (公厘)	α_{max} (公厘)	α_{opt} (度)	圖 3 上的 點數
端面銑刀 ($z=1$; TM-15)	50號鋼	314	0.158	0.136	15°	1
端面銑刀 ($z=1$; TM-15)	40號鋼	200	0.216	0.2	16°	2
端面銑刀 ($z=1$; T15K6-Y)	40號鋼	236	0.147	0.14	16°30'	3
端面銑刀 ($z=1$; T15K6-Y)	鋼 $\sigma_b=120$ 公斤/公厘 ²	—	0.12	0.104	15°	4
端面銑刀 ($z=1$; TM-15)	40號鋼	—	0.095	0.091	20°	5
端面銑刀 ($z=1$; T15K6-Y)	鋼 $\sigma_b=113$ 公斤/公厘 ²	216	0.043	0.0372	22°30'	6
端面銑刀 ($z=1$; T15K6-Y)	53A1號鋼	—	0.085	0.082	16°	7
端面銑刀 ($z=1$; T15K6-Y)	53A1號鋼	—	0.183	0.176	16°	8
鋸齒圓片銑刀 ($z=2$; T15K6-C)	鋼 $\sigma_b=92$ 公斤/公厘 ²	—	0.14	0.0684	17°	9
單齒端面銑刀 (T15K6)	鋼 $\sigma_b=92$ 公斤/公厘 ²	113.5	0.105	0.1	20°50'	10
切刀 ($\varphi=45^\circ$; T15K6)	鋼 $\sigma_b=95\sim100$ 公斤/公厘 ²	175	0.2	0.141	13°	11
切刀 ($\varphi=55^\circ$; T5K10)	3XK1號鋼 $\sigma_b=68\sim78$ 公斤/公厘 ²	—	0.12	0.1	15~20°	12
端面銑刀(BK8)	3M-69號鋼 $\sigma_b=70$ 公斤/公厘 ²	63	0.11	0.055	12°	13
圓片銑刀($\gamma=-5^\circ$; $t=10$ 公厘; $D=212$ 公厘; T15K6-Y)	合金鋼 $\sigma_b=80$ 公斤/公厘 ²	157	0.1	0.0425	27°	14
雙齒端面銑刀 (T15K6; $\varphi=45^\circ$)	鋁矽合金	150	0.1	0.07	16~20°	15
切刀 ($\varphi=45^\circ$; T15K6)	淬硬鋼 $R_C=65$	—	0.14	0.1	16°	16
端面銑刀(BK8)	灰鑄鐵 $H_B=182\sim192$	—	0.12	0.103	15°	17
端面銑刀(BK8)	鑄鐵 $H_B=192$	—	0.2	0.174	14°	18
切刀(BK8)	鑄鐵	—	0.15	0.107	15°	19
切刀(BK8)	鑄鐵 $H_B=170$	—	0.1	0.07	16°	20
端面銑刀(T15K6)	鋼	—	0.1	0.0865	16°	21
端面銑刀 (BK8; $\varphi=45^\circ$)	鑄鐵	—	0.4	0.28	12°	22
圓柱銑刀(T15K6)	5號鋼	346	0.09	0.035	25°	23
圓柱銑刀(T15K6)	18海MA 號鋼	278	0.112	0.056	20°	24
鑽(BK8)	奧氏體不銹鋼	24.5	0.045	0.04	20°	25
端面銑刀(T15K6)	5號鋼 $\sigma_b=54$ 公斤/公厘 ²	179	0.176	0.17	15°	—