



先進經驗叢刊

切爾諾夫著 孫靖民譯

用階梯銑刀的高速銑削

機械工業出版社

.1643
0

先進經驗叢刊

用階梯銑刀的高速銑削

切爾諾夫著

孫靖民譯

機械工業出版社

1953

出版者的話

這本小冊子是作者自述獨創的階梯盤銑刀、端銑刀和立銑刀等的構造。

由於階梯銑刀的採用，使一般中型機器廠所具有的中型銑床，可以不必經過重大的改裝就能夠應用高速銑削法來工作了。這樣，就節省了許多不必要的耗費並且大大地提高了工作效率。

我國的高速銑削法正在推廣。本書所述的材料對於技術員、技術工人和硬質合金銑刀的設計者都有幫助的。

本書根據蘇聯 Н. П. Чернов 著 'Скоростное Фрезерование Ступенчатыми Фрезами' (оборонизд, 1951 年初版) 一書譯出

著者 切爾諾夫 譯者 楊緒民

文字編輯：陳心鈔 責任校對：唐佩卿

1953 年 6 月發排 1953 年 10 月初版 00,001—7,500 冊
書號 0316-11-08 31×43¹/₃₂ 44 千字 26 印刷頁 定價 2,100 元(丙)

機械工業出版社(北京監製廠 17 號)出版

機械工業出版社印刷廠(北京泡子河甲 1 號)印刷

中國圖書發行公司發行

原 序

自從高速銑削推行以來，應用現有中型機床以進行高速銑削的問題受到很大的注意。這個問題對於中型機械製造廠來說，意義是很大的，因為這類企業中的銑床，大部分都是不超過 8 仟瓦的。問題主要是在於：當用硬質合金銑刀加工時，如何調整它所需用的動力，來適應機床的現有的動力。這個工作可由幾方面來着手。

技術文獻中，在動力不足的時候，常常推薦用減少銑刀齒數的方法^①；把銑刀齒數看作機床動力的函數，並用下式決定銑刀的齒數：

$$Z = f(CN)^{\text{②}}.$$

式中 C 是切削係數。文獻中關於齒數很少的，甚至單齒的銑刀的構造敘述很多^③。

在動力不足的情況下，有時採用小於 0.1~0.15 公厘的進刀量 S_z ，來進行未淬過火的鋼的加工；此時為了使銑刀齒容易於切入工件中，就把楔角 β 減小，就是使用大的後角 ($\alpha = 20^\circ$ 或更大^④) 而不用負前角。

切削速度常用下式決定：

$$v = \frac{C_v}{Z^{0.25}}$$

- ① Материалы Ленинградской конференции по скоростному резанию. Машгиз, 1948, т. 40, стр. 62. Щеголев, Скоростное фрезерование, Машгиз, 1949, стр. 129.
- ② М. И. Клушин, Скоростное резание металлов, Машгиз, 1947, стр. 67.
- ③ 同上書第 70 及 131 頁。
- ④ Материалы Московской конференции по скоростному резанию, Машгиз, 1949, стр. 331.
- ⑤ ЭНИМС. Модернизация и рациональное использование станков для работы твердыми сплавами, III 分册, Машгиз, 1949, стр. 13.

從公式中可以看出，在小型機床上，要用極低的切削速度加工。在這樣的情形下，銑削所需的動力，將因切削速度的不同而有所調整。

使用機床進行高速銑削的各種情形中，當其動力不足時，可以減低切削速度 v 、銑刀齒數 Z 和銑刀每齒的進刀量 S_z 。顯然，減低前兩種切削因素，對電動機工作情况改進的程度並不大，但却使機床各機構的工作情況變壞，因而降低了工件表面的品質，也縮短了工具的壽命。如果把切屑的厚度減到一定數值以下時，也會縮短銑刀的壽命，尤其是在使用盤銑刀進行反進刀（銑刀的迴轉方向和工件的推進方向相反——譯者）銑削時特別顯著。

銑削的需用動力，可以認為是 v 、 S_z 、 Z 和 B 四個變數的函數。

$$N = f(v, S_z, Z, B).$$

式中 B 是在軸線方向迴轉的銑削寬度。

作者所採用的配裝（сборный）式盤銑刀、端銑刀和立銑刀的構造，靠改變 B 的數值，就是改變銑齒刀刃的長度來調整動力。 B 值減少，就減少了需用的動力和振動。刀刃長度的減少常常使切屑的形成條件變好，使機床各機構的工作減輕。銑刀齒的階梯配置是應用靠改變刀刃的長度以調整切削力和動力的原理。

用這種構造的銑刀時，所採用的切削用量，適合於使用硬質合金的經濟原則。因為切削速度將不會受到機床動力的限制，就可能採用高的切削速度。由於磨嵌入刀片和裝配盤銑刀的方便，就可按其很低的壽命 T 使用，因而切削速度可以相對地提高。

因為階梯銑刀每一級中的齒數不多，所以可以用很大的進刀量 S_z 進行銑削，也就是更經濟地使用硬質合金。

在速度高而切削力小的工作情形下，可以應用順進刀（銑刀的迴轉方向和工件的推進方向相同——譯者）銑削法。這樣可以大大提高了銑刀的壽命、工件表面的光潔度和降低單位動力並使應用快速的空氣緊壓夾具有更大的可能。

在這本小冊子中所敘述的銑刀，都是利用順進刀銑削的。因此，也和一般所介紹的一樣，它的後角 α 是用 10° 來代替 20° 的。

由於階梯銑刀是用在高速切削中，所以它的負前角 γ 等於 $-5^{\circ} \sim -10^{\circ}$ 時更為經濟。當用負前角時，刀刃捲缺的危險性較小。我們的副偏角 φ_1 是用 $5^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 來代替通常用的 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 。在較大的副偏角 φ_1 情形下，盤銑刀就更精確地保持住壁厚或工件的槽寬。

最後必須提起注意的是這種銑刀構造的技術性。所有銑刀都是皆已標準化了的，並且已把配裝式銑刀的裝入零件的數目減到最少。任何型式的配裝式銑刀的嵌入刀片，都有同一形狀的支座。因此，安裝銑刀的刀體和裝壓楔的嵌入地方的尺寸都相同。

同樣的刀體可用於各型的盤銑刀，這樣在應用上就有很大的方便。

刀刃斜角 $\omega=0^{\circ}$ ，這樣對於盤銑刀和鏈槽銑刀的製造都很便利。當 $\omega=0^{\circ}$ 時，刀片可以在平面磨床上直磨到最後裝配的地步，並且在刀體上的槽可以採用拉削的加工方法。

在應用方面意義最大的是：可以沿刀體槽移動嵌入刀片，而不需要再進行研磨。用沿刀體槽移動嵌入刀片的方法，就可以把銑刀調整成另一種工作寬度 B 。

可以調整其工作寬度的組合式鏈槽銑刀，比普通的高速切削三面刃銑刀具有很大的優點。

以下所述的階梯銑刀的構造的技術性，和應用的優越性，對於在工廠中廣泛地推行高速銑削，是有幫助的。

切爾諾夫 1950年12月

目 次

原序

一	硬質合金銑刀構造的選擇.....	1
二	切削用量的選擇.....	2
三	配裝式盤銑刀.....	7
四	組合式鍵槽銑刀.....	18
五	開縫銑刀.....	22
六	端銑刀.....	28
七	立銑刀.....	37
八	高速銑削的效率.....	43

一 硬質合金銑刀構造的選擇

高速切削的應用，大大地提高了工具刀刃單位長度的生產率。

在普通的銑削用量下，銑刀的生產率是和銑床的生產率相平衡的。可是自從採用硬質合金以後，銑刀的生產率約提高 8~10 倍，而銑床部分仍然照舊，於是破壞了銑刀生產率和銑床生產率間的平衡關係。至於改變銑床動力的結果，所提高的銑床生產率還不能超過兩倍。因此，爲了要恢復銑刀和銑床生產率間的平衡關係，就要同時減少刀刃的一般長度。因爲在刀刃長度減短的情形下，硬質合金的利用將更合理、銑刀壽命也會增長並且在刃磨時也簡便得多。

硬質合金在高速切削時工作得很好。所取的切削速度因所選的工具壽命而不同。大多數工廠中採用硬質合金銑刀的壽命是 5~8 小時，甚至 12 小時的機器工時。

銑刀壽命的長短，要看它的刃磨的複雜性和它裝在機床上的情況而決定。

硬質合金刀刃的後面容許磨耗值遠大於高速鋼刀刃。三面刃硬質合金盤銑刀，通常在第一次鈍了以後，就失去它的工作尺寸，所以，硬質合金盤銑刀，在每次鈍後要重行整理和沿端面研磨。由於這個原因，所以都不採用把刀頭鉗在刀體上的盤銑刀。如果銑刀的工作寬度，可以很快地得到調整的話，那麼硬質合金盤銑刀在槽的高速切削工作中，可以廣泛地被採用。

硬質合金的硬度大，所以在刃磨時很困難。同時，硬質合金銑刀齒的工作表面刃磨和精磨的質量，對工具的壽命影響很大。單個刀片的刃磨，易於機械化且質量好；因此，只要可能的話，都要採用個別刃磨和精磨的硬質合金配裝式銑刀刀片。

使用硬質合金銑刀加工時，產生振動的原因是：切削力大、銑刀的齒距大、銑刀齒對工件的週期性的衝擊、切屑的寬度大以及銑刀體的堅

固性不足。

當使用在銑削上的動力不變時，切削力和切削速度成反比，因此，爲了要減小切削力，就必須增大切削速度。

銑刀齒對工件的週期性的衝擊，會引起機床、工具和工件等系統的振動。爲了使銑刀齒衝擊的頻率，不和機床任何一個部分的振動頻率相重合，所以高速切削的銑刀齒，必須有不相等的齒距。

盤銑刀的刀刃長，在工作中抗振性很差，因此，高速切削所用盤銑刀，必須避免採用長的刀刃。銑刀齒刀刃的長度，必須是動力對機床堅固性的比的函數。爲了減少刀刃捲缺的情形，可以採用窄切屑的加工法。

傾斜的齒引起沿迴轉軸線的切削分力。薄的就是不够堅固的銑刀體，抵抗這種軸向分力的能力差，並且發生振動。

上面所說的各種因素，對硬質合金刀的構造都有影響，因而銑刀的構造不可看作和高速銑削無關。對於硬質合金銑刀的要求主要可概述如下：

1. 銑刀刀刃工作長度的選擇，必須適合於機床的堅固性和動力，同時還要由銑刀體的厚度來決定。

2. 三面刃盤銑刀的工作寬度要有調整的可能。

3. 配裝式硬質合金盤銑刀刀片的刃磨和精磨，必須分別進行。

4. 盤銑刀的齒距必須不等。

5. 盤銑刀的刀刃斜角要等於零。

我們在1947年的時候，已經製出了適合於這些條件的硬質合金銑刀，並且在工廠中已經成功地應用三年以上了。

下面所談的是跟普通硬質合金銑刀不同的銑刀，就是叫做階梯銑刀。

二 切削用量的選擇

在談到切削用量的選擇以前，首先要知道硬質合金銑刀磨耗的特性。

圖1是銑刀齒沿後面的磨耗圖解。從圖解中可以看出：PΦ-1 高速鋼製的齒刃，在工作過程中磨耗不大，只在工作壽命末尾的時候，它的磨耗才激烈地增大。而 T15K6 硬質合金製的齒刃，却剛好相反，它在開始的第一分鐘時就磨損了，在工作壽命末尾的時候，它的磨耗就會昇到極大。還有一點必須注意，就是高速鋼銑刀在刃磨以後，它的刀刃的圓角比硬質合金銑刀小。當確定進刀量 S_z 和進刀方向時，必須注意兩種情形：硬質合金刀刃的最初圓角很大和在切削過程中它的磨耗很快。

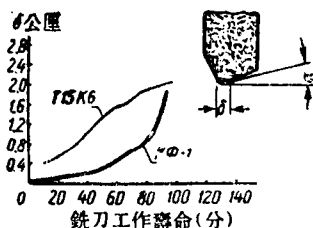


圖1 銑刀齒沿後面的磨耗圖解

圖2a是用盤銑刀進行反進刀法銑削的圖解。從圖中可以看出，銑刀齒是由最小的切屑厚度自下而上地開始切割金屬的。圖2b是接觸角 ψ 等於 3° 、 8° 、 12° 和 18° 時齒的四個工作瞬間圖解。

齒刃圓角的半徑是 0.03 公厘(圖2b已放大)。在切割過程的某些段落內(圖2b中當 ψ 值自 $0 \sim 18^\circ$ 時)，齒是沿着前齒已加工過的表

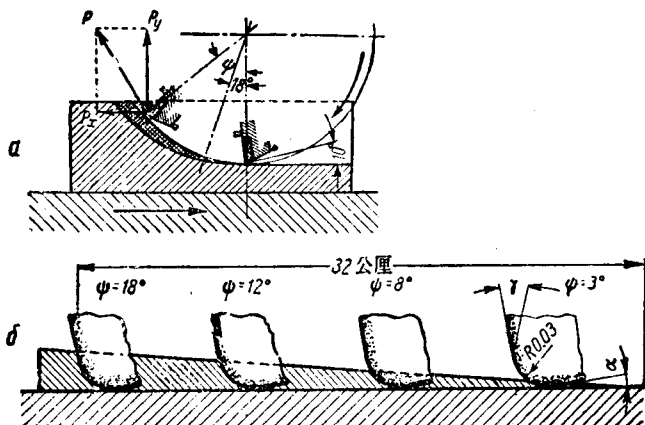


圖2 反進刀法銑削時銑刀的切入情形

面滑行着，而沒有切下切屑來，這樣就使表面層變形。

銑刀齒只在被切表層的厚度大於刀刃圓角半徑以後才開始切削金屬。

當銑刀直徑 $D=200$ 公厘和進刀量 $S_z=0.1$ 公厘時，齒沿 $\psi=18^\circ$ 角所對的長是 32 公厘的弧上滑行。銑刀齒沿工件的已加工面上的滑行是造成摩擦、工件發熱和銑刀齒後面的摩耗的基本原因。每齒上的進刀量 S_z 愈小，銑刀齒滑行的期間愈長。爲了要減小這種對銑刀壽命有不良影響的因素，必須避免採用小於 0.1 公厘的進刀量 S_z 。

銑刀齒沿工件加過的工面上，所滑行路程的長短，主要是決定在進刀的方向。早在衛國戰爭以前，除普通的反進刀銑削法外，都已經知道了順進刀銑削法。

圖 3 a 是反進刀銑削法的圖解，在用高速鋼齒體合一的銑刀銑削時，通常採用此法。圖 3 b 是用硬質合金的嵌入齒銑刀，在加工時採用順進刀銑削法的圖解。

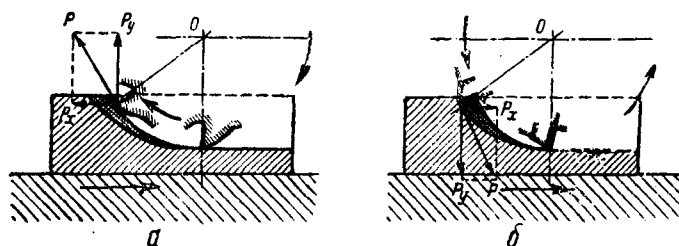


圖 3 銑削圖解

a 用齒體合一的高速鋼的反進刀銑削

b 用硬質合金銑刀的順進刀銑削

順進刀銑削時，銑刀齒運動的方向，在切削的瞬間是和工作台的運動方向一致的。銑刀齒以最小的切屑厚度自上而下地開始切入。當用這一種銑削法時，齒沿着工件的已加工面的滑行，比普通所採用的反進刀法銑削的滑行小得多，這是因爲當切入的時候，齒就切取切屑的全厚，只在離開工件時發生一點點的滑行。因此，改變進刀的方向以後，不但增加了進刀量 S_z 直到一定的限度，並且減小了已加工面沿齒後面的摩

擦也增長了銑刀的壽命。

此外，順進刀銑削比反進刀銑削還有另一個優點。圖 3 a 和 3 б 上所表示的，是在最大負荷的瞬間，作用在銑刀齒上的切削力的方向。在反進刀銑削的情形下，切削分力 P_y 垂直向上。這分力會把工件從夾具中拉出並抬起機床的工作台。這個分力的存在，就是在銑削時發生振動的原因。在順進刀銑削的情形下，分力 P_y 向下，它把工件緊壓在工作台上，使工作台壓靠在它的導軌上。因此，機床、工具、工件系統的穩固性提高了並且振動減少了。順進刀銑削法加工出來的工件，它的表面光潔度高，不會有普通銑削中所常見的斑點。

上面談的順進刀銑削法的許多優點，給予我們一個基本的認識，就是使用銑刀進行高速加工時，必須避免應用普通的反進刀銑削法，而應當完全改用順進刀銑削法。

爲了要實現上述的要求，必須改裝工作台螺旋導軸的機構（螺母、螺旋），就是裝上特別的雙重螺母，這種螺母在螺旋和螺母的聯動上可有週期性的空行程①。

當用普通構造的硬質合金銑刀加工時，切削用量的選擇是包括解決下列的問題：

1. 決定切削速度 v 。
2. 決定每齒的進刀量 S_z 。
3. 決定走刀的次數。

最初，切削速度是用下面的普通公式決定的

$$v = \frac{C}{T^m},$$

但是由於機床動力在經濟的切削速度的工作下，常常是不足的。所以推薦用下列公式決定切削速度

$$v = \frac{C_v N D^2}{S_z^x (Bt)^{y/z}}.$$

假如按照機床動力所計算出的切削速度，低於高速切削所容許的

① 參閱 ЭНИМС. Модернизация и рациональное использование станков для работы твердыми сплавами, 第 III 分冊. Фрезерные станки, Машгиз, 1949.

數值，那可用降低所選擇的進刀量 S_z 或增加行程數 i (減小 B 的值) 的方法把它提高。

當用作者所採用的高速切削配裝式盤銑刀工作時，應當用下列次序確定切削用量：

1. 決定經濟的(標準的)切削速度 v 。
2. 決定每齒的進刀量 S_z 。
3. 決定銑刀齒刃的長度。
4. 決定銑刀階梯的級數。

切削速度用上面的普通公式 $v = \frac{C}{T^m}$ 決定，式中 T 是銑刀壽命，等於 120~240 分鐘(機械工時)。

進刀量 S_z 由切削深度 t ，和最合理的切屑厚度 a_{cp} ，用下面的公式來決定

$$S_z = \frac{a_{cp}}{\sqrt{\frac{t}{D}}}。$$

刀刃的工作長度 b ，是由所選的合理的 v 、 S_z 值和現有動力用下式來決定

$$B = \frac{CN}{S_z v z}。$$

當銑刀刀刃工作長度 b 決定後，就可以制定銑刀齒構造的圖解了。

階梯銑刀級的數目，用公式 $i = \frac{B}{b}$ 決定 (B 是突緣 [устуи] 或槽的寬度)。

假若在此級的數目的計算時得 $i \leq 1$ ，則在此情況下，用一個階梯的

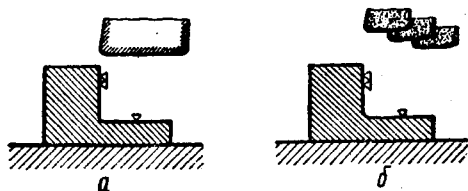


圖 4 銑削突緣的圖解

a 正常的齒的配置 b 階梯的齒的配置

銑齒正常配置的銑刀。反之，則選用銑齒階梯配置的銑刀。

圖 4 是銑突緣的銑刀齒配置的兩種圖解。就是正常的 (a) 和階梯的 (b)。

公稱 尺寸 D	D_1	B	B_1	α	φ	$\pm 30'$ α_1	± 0.1 α	± 0.1 α_1	$L_{-0.2}$	n	m	e	e_1	e_2	z
150	136	24	26	82°30'	5°	170°	13.5	—	39	1825	20	12	—	—	4
175	161	24 28	26 30	55°	2°	171°	4.8	—	51.5			12	—	—	6
												14	—	—	
												12	—	—	
200	186	24 28 35	26 30 37				2.5	—	64			14	—	—	
				40°	1°20'	168°						17.5	—	—	8
												12	—	—	
												14	—	—	
												17.5	—	—	
												—	12	24	
210	196	24 28 35 48	26 30 37 50				1.8	—	69		1825	14	—	—	
												17.5	—	—	10
												—	12	24	
												14	—	—	
												17.5	—	—	
225	211	28 35 48	30 37 50	32°30'	45°	170°	—	—	76.5	1825		14	—	—	12
												17.5	—	—	
												—	12	24	10
250	236	28 35	30 37	26°	45°	167°	—	—	89			14	—	—	
												17.5	—	—	
												14	—	—	12
300	286	28 35	30 37				—	4.6	114			17.5	—	—	

1.材料：遵照 ст. 30ХГСА. МПТУ 2333—49。

2.燒藍 (воронить)。

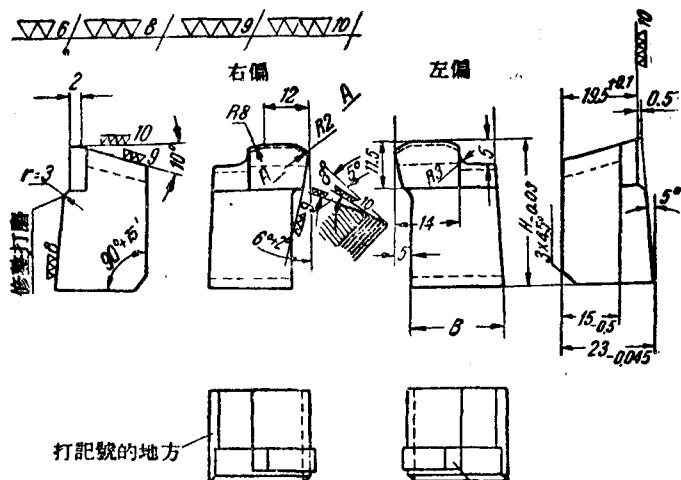
3.銑刀上的 H 尺寸差不超過 0.02 公厘。

4.記號：號碼，直徑 D ，槽的順序號， H 的尺寸。

圖 6 不等齒距盤銑刀的標準刀體

自輕合金到淬火鋼的材料，都可以用此種刀體的盤銑刀來加工。刀體上槽的光壁彼此平行且和其基面垂直。槽對於銑刀迴轉軸線的平行性，使同一的刀體可用做兩面刃銑刀的銑刀體，也可能做三面刃銑刀的銑刀體。槽的基面和銑刀中心間的距離保持 0.02 公厘的公差。槽的寬是 38A 公厘。刀體槽對銑刀軸線的位置如下：當後角 α 等於 10° 時，銑刀齒的後面平行於槽的基面。槽對於銑刀的銑軸孔軸線的中心性由在拉床的特別夾具中進行拉削加工而求得。除圖 6 的刀體外，在輕合金加工的輕工作中，可應用槽距相等的和寬 20~48 公厘的刀體。

銑刀刀片(圖 7)不是正四邊形的。



刀頭按 ГОСТ 2209-49
0223

B	H			
18				
24	36.5-0.03	36-0.03	35.5-0.03	35-0.03
30				

刀片可製成四種高度 H : 36.5, 36, 35.5, 35。公差 0.03 公厘。

支座材料: 按 МПТУ 2333—49 ст.45 (45 號鋼)。

刀頭材料: Т15К6。

記號: 號碼、 H 的尺寸, 刀頭的材料。

圖 7. 加工鋼料用的配裝式銑刀的標準刀片

硬質合金刀頭鉗在刀片的支座上。支座的兩個平面彼此垂直而形成支架。第三個平面傾成 5° 角, 此平面是專為用楔將刀片壓入刀體槽中而預備的。

在鋼的加工時，刀片上鉚 T15K6 硬質合金刀頭，刀頭必須在刀片裝入刀體中，其前角等於 -10° 以後再鉚到支座上。在鑄鐵和軟鋼的加工中，鉚上前角 $+5^\circ$ 的 T5K10 硬質合金刀頭。在輕合金的加工中，鉚上前角 $+10^\circ$ 的 BK8 硬質合金，或鉚上前角 $+20^\circ$ 的 ЭИ262 號高速鋼刀頭。在加工所有金屬時，刀片上的後面（有 2 公厘的窄面）都平行於基面，所以後角 α 經常等於 10° 。

12 仟瓦的機床，刀刃的工作長度可採用 8~12 公厘。

由於刀片的基面相當闊，所以容易裝在磨床的電磁工作台的刀片裝置中（每次裝 100~150 個刀片），以進行刀片後面的刃磨。圖 8 是刃磨刀片，圖 9 是用指示計檢驗刀片的高度。因重磨次數的增加，刀片的高度每次要減低 0.5 公厘，而自 36 公厘減低到 32 公厘。在每一尺寸的限度下，高度的精確度要保持 0.03 公厘。刀片的過度面或圓角可在磨石上手磨並在鑄鐵盤上塗以碳化硼軟膏精磨。

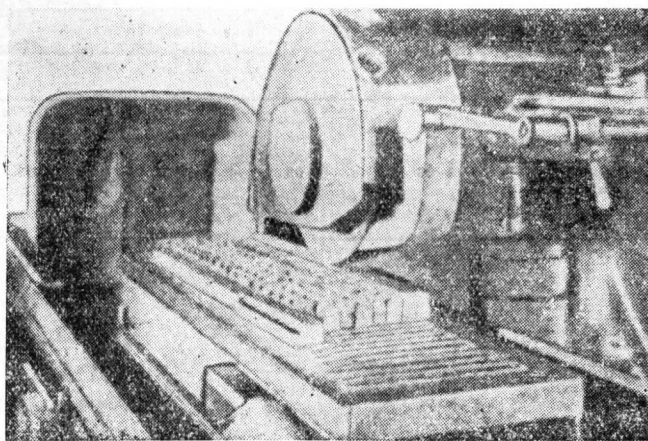


圖 8 在磨床上磨刀片

圖 10 是兩面刃銑刀構造的兩個圖解，一個是只在端面上成階梯排列，而另一個是在端面上和半徑上都成階梯排列。第一類銑刀是用於突