

蘇聯機器製造百科全書

第七卷

第二章 機器零件機械加工的切削用量

蘇聯機器製造百科全書編輯委員會編

機械工業出版社

中俄名詞對照表

二 畫		通向行程	Ход против направления
刀具行程長度	Длина хода резца		позачи
四 畫		壟頭鑽孔	Зенкование
切槽刀	Прорезной резец	特形(成形)刀	Фасонный резец
切入距離(長度)	Длина врезания	十一畫	
弓形	Сегментный	混合油	Сдвоенное масло
五 畫		魚眼鑽孔	Цекование
平刀	Проходной резец	十二畫	
四合金	Стеллит	硬鋁	Дуралюмин
六 畫		超過空程	Перебег резца
自動機用鋼	Автоматная сталь	無心切入磨法	Бесцентровое врезное шлифование (бесцентровое шлифование по методу врезания)
自動張開螺絲切頭	Самооткрывающаяся резьбона- резная головка	十四畫	
行近及超過距離(長度)	Длина подхода и отхода резца	端面車刀	Торцовый резец
七 畫		十五畫	
沉割刀	Подрезной резец	膠木結合劑	Бакелитовая связка
八 畫		十七畫	
乳化液	Растеор эмульсола(эмульсия)	擴鑽	Трассверление
返回行程	Обратный ход	擴孔	Зенкерование
砂鋁合金	Силумин	螺紋滾刀	Групповая резьбовая фреза
九 畫		黏土結合劑	Керамическая связка
柱坑鑽孔	Зенкование	十九畫	
十 畫		鏡磨	Хонинг

蘇聯機器製造百科全書

第七卷

第二章 機器零件機械加工的切削用量

格魯陀夫、茲薇烈夫、季欣、拉林、芬凱里、
馬金、格蘭諾夫斯基、凱特羅夫著



機械工業出版社

1954

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。

本書是第二章。內容論述機器零件機械加工時所取的切削用量。舉凡車、鑽、銑、拉等等機械加工時的刀具磨損情況、切削深度、切削速度、進給量、加工時間、切削力及切削動力以及刀具耐用度等均有扼要的說明，並附有詳細表格、圖解及計算公式；高速切削用量也有論述。本書是高等學校學生及現場技術人員的一本良好參考資料。

本書根據蘇聯，‘Машиностроение Энциклопедический Справочник’
(Машигиз 1948 年第一版)一書第七卷第二章 (П. П. Глудов, Е. К.
Зверев, С. Д. Тишин, М. Н. Ларин, В. И. Финкель, А. Я. Малкин,
Г. И. Грановский, С. М. Кедров 著) 譯出

* * *

編者：蘇聯機器製造百科全書編輯委員會

著者：格魯陀夫、茲薇烈夫、季欣、拉林、芬凱里、馬金、格蘭諾夫斯基、凱特羅夫

譯者：范國寶 文字編輯：陳心鈔 責任校對：唐佩卿

1954 年 2 月發排 1954 年 6 月初版 0.001—6,300 冊

書號 0478-9-26 31×43¹/₁₆ 100 千字 27 印刷頁 定價 6,800 元(甲)

機械工業出版社(北京藍甲廠 17 號)出版

機械工業出版社印刷廠(北京泡子河甲 1 號)印刷

新華書店發行

446.04
4421

目 次

第二章 機器零件機械加工的切削用量

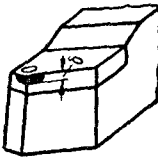
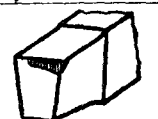
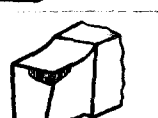
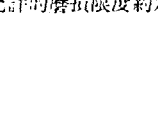
高速鋼切刀及鑲上硬質合金刀片切刀的切削用量 (格魯陀夫 [П.П.Глуцов] 和茲薇烈夫 [Е.К.Зверев])	5
硬質合金切刀對淬火鋼的切削用量 (格魯陀夫 [П.П.Глуцов])	18
鑽孔、擴孔、鉸孔、埋頭鑽孔及魚眼鑽孔所用的切削用量 (季欣 [С.Д.Тишин])	20
銑工切削用量 (拉林 [М.Н.Ларин] 和芬凱里 [В.И.Финкель])	25
硬質合金端銑刀銑鋼時的高速切削用量 (格魯陀夫 [П.П.Глуцов])	32
齒輪切削用量 (馬金 [А.Я.Малкин])	34
拉工切削用量 (馬金 [А.Я.Малкин])	39
螺紋切削用量 (格蘭諾夫斯基 [Г.И.Грановский])	42
磨工切削用量 (凱特羅夫 [С.М.Кедров])	47
磨削時工件迴轉速度及砂輪經濟耐用度	47
砂輪迴轉速度	49
切削用量	49
砂輪傳動動力	51
中俄名詞對照表	54

第二章 機器零件機械加工的切削用量

高速鋼切刀及鑲上硬質合金刀片切刀的切削用量

切刀磨損 切刀根據切削部分的材料及使用條件，具有各種不同的磨損。表 1 及表 2 分別列出了高速鋼切刀及鑲上硬質合金刀片切刀後面所允許的磨損限度 δ 。

表 1 高速鋼切刀的磨損限度

切 刀 型 式	使用條件	所允許的磨損限度 δ (公厘)	磨 損 形 狀	變 鈍 象 徵
鋼、鑄鋼，可鍛鑄鐵				
車刀(外圓車刀，沉割車刀及鏟刀)	用 冷 却 液	1.5~2.0		切削表面上發現光亮或黃色條紋
	不用冷却液	0.3~0.5		
鉋刀(平面鉋刀及沉割鉋刀)	不用冷却液	1.5~2.0		加工表面光潔度顯著惡化
插刀(平面插刀)		0.3~0.5		
車刀(切槽車刀及切斷車刀)	用 冷 却 液	0.8~1.0		加工表面發生波紋
	不用冷却液	0.3~0.5		
鉋刀(切槽鉋刀及切斷鉋刀)	不用冷却液	0.8~1.0		加工表面發生波紋
插刀(切槽插刀及切斷插刀)				
寬頭車刀及寬頭鉋刀	不用冷却液	—		切削刃上發現缺口及加工表面光潔度惡化
灰 鑄 鐵				
車刀(外圓車刀)	粗 車	3.0~4.0		在切削表面上發現黑色鱗片及加工表面光潔度顯著惡化
	半 精 車	1.5~2.5		工件直徑增大 0.1 公厘
鉋刀(平面鉋刀)	在龍門鉋床上使用	3.0~4.0		在切削表面上發現黑色鱗片及加工表面光潔度顯著惡化
	在牛頭鉋床上使用	1.5~2.0		在切削表面上發現黑色鱗片及加工表面光潔度顯著惡化
插刀(平面插刀)	在插床上使用	0.8~1.0		加工表面光潔度顯著惡化
車刀(外圓車刀)	在車床上使用	1.5~2.0		
鉋刀(沉割鉋刀)	在鉋床上使用	1.5~2.0		加工表面發生波紋
車刀(切槽車刀及切斷車刀)	在車床上使用			
鉋刀(切槽鉋刀及切斷鉋刀)	在鉋床上使用	1.5~2.0		加工表面發生波紋
插刀(切槽插刀及切斷插刀)	在插床上使用			
寬頭車刀及寬頭鉋刀	在車床及鉋床上精加工	—		切削刃上發現缺口及加工表面光潔度惡化

附註：鑄件表皮、帶硬皮及夾砂者，加工深度達 3 公厘時，所允許的磨損限度約為表內所列數值的 1.5 倍。

表內所列切刀的磨損限度數值符合於黑色金屬加工的經濟及工藝條件。

假使切刀的磨損限度超過了表內所列數值，則會使加工品質劣化，切刀刃磨次數降低，以及引起崩刃現象。

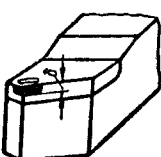
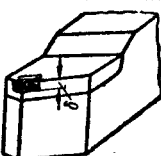
刃磨角度 切刀切削部分幾何參數的選擇必須根據ГОСТ 2320-43及高速切削所用的主要材料決

定，一般是 $\gamma = -5 \sim -10^\circ$ ； $\lambda = 5 \sim 15^\circ$ 及 $r = 0.5 \sim 1$ 公厘。

切削深度 在粗切時，切削深度 t 決定於加工餘量。假使機床動力及剛性不能一次切掉所有的加工餘量，則可以分幾次切掉。

在精切時，值得把加工餘量分幾次切掉。每次切削深度根據實際情況決定。

表 2 鑲上硬質合金刀片的切刀磨損限度

切刀型式及硬質合金牌號	使用條件	所允許的磨損限度 δ (公厘)	磨損形狀	變鈍象徵
鋼、鑄鋼、有色金屬及輕合金				
鑲上鈷鉍硬質合金的車刀(牌號 T5K10、T5K6 及 T21K8 等)	$s \geq 0.3$	1.5~2.0		切削表面上發現黑色或黃色條紋並且在加工表面上發現黑色切屑黏附
	$s \leq 0.3$	0.8~1.0		在加工表面上發現白色凸出帶及細小黑色切屑
鑲上鈷鉍硬質合金的車刀(牌號 BK8)	$s \geq 0.3$	0.4~0.6		切削表面上發現輝黃色條紋。切削刃局部崩掉(崩刃不嚴重)
	$s \leq 0.3$	0.5~0.7		
鑄鐵				
鑲上鈷鉍硬質合金的車刀(牌號 BK6 及 BK8)	$s \geq 0.3$	0.8~1.0		崩刃並在切削表面上發現輝黃色條紋(進給量大時)
	$s \leq 0.3$	1.4~1.7		加工表面不平整顯著增大
鑲上鈷鉍硬質合金的鉋刀(牌號 BK8)	$s \geq 0.4$	1.0~1.2		切削表面上發現黃色條紋
	$s \leq 0.4$	1.5~2.0		加工表面不平整顯著增大

進給量 加工時，必須用最少的機動時間和最大的進給量。同時，假使爲了要使加工表面達到所指定的光潔度，則進給量可從下式算出

$$s = \frac{C_H \cdot H_{\max}^{Y_H} \cdot r^{U_H}}{t^{X_H} \cdot \varphi^{Z_H} \cdot \varphi_1^{Z_H}} \text{ 公厘, } (1)$$

式中 $H_{\max}$ —表面不平整最大的數值(公忽)； r —相連後面半徑(公厘)； φ —主偏角(度)； φ_1 —副偏角(度)。

係數 C_H 及指數 X_H 、 Y_H 、 Z_H 及 U_H 的數值見表 3。

表 3

加工金屬	s (公厘)	C_H ①	X_H	Y_H	Z_H	U_H
鋼及鑄鋼	≤ 1.75	0.008	0.30	1.40	0.35	0.70
同上	≥ 1.75	0.17	0.12	0.60	0.15	0.30
鑄鐵	≤ 1.60	0.045	0.25	1.25	0.50	0.75
同上	≥ 1.60	0.290	0.12	0.60	0.25	0.35

① C_H 值僅當切刀磨損 $\delta = 2$ 公厘時適用；當 $\delta = 0.5$ 公厘時， C_H 必須增加 25~35%。

車削細長工件時，爲了要避免工件彎曲及變成桶形，而取得圓柱形起見，進給量的數值必須滿足下列不等式

$$s \leq \left(\frac{P_{\text{允許}}}{C_Z \cdot t^{X_{pz}} H_B^{n_{pz}}} \right)^{\frac{1}{Y_{pz}}} \text{ 公厘, } (2)$$

式中 $P_{\text{允許}}$ —所允許的切削力(公斤)(按表 4 所列公式計算)； H_B —布氏硬度。係數 C_Z 及指數 X_{pz} 、 Y_{pz} 及 n_{pz} 等的數值見表 35~37。

假使加工表面尺寸不受表面光潔度及精確度限制，則最大進給量根據承受最大載荷的機床斷面強度決定。

各種不同粗加工所用的進給量的平均數值見表 5~8。

各種不同半精加工(其中包括磨前加工)所用的進給量的平均數值見表 9。

當用刀頭寬度 $B = 0.6a^{0.5}$ 公厘的切刀切槽或切斷時，各種不同進給量的平均數值見表 10。

冷却 爲了有效地車削鋼、鑄鋼、可鍛鑄鐵、銅、鋁及鎂合金(指在車床、花盤車床、立式車床及鏜床

表 4

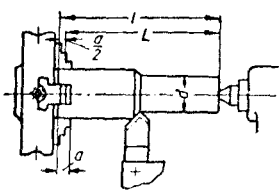
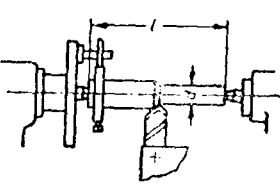
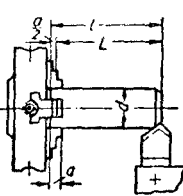
		
$P_{允許} = \frac{768EI f}{L^3}$	$P_{允許} = \frac{48EI f}{L^3}$	$P_{允許} = \frac{3EI f}{L^3}$

表 5 縱橫粗車及沉割時的進給量

工件直徑 (公厘)	切削深度 t (公厘)			
	≤ 5	5~8	8~12	12~30
	進給量 (公厘/轉)			
10~18	≤ 0.25	—	—	—
18~30	0.20~0.50	—	—	—
30~50	0.40~0.80	0.30~0.60	—	—
50~80	0.60~1.20	0.50~1.00	—	—
80~120	1.00~1.60	0.70~1.30	0.50~1.00	—
120~180	1.40~2.00	1.10~1.80	0.80~1.50	—
180~260	1.80~2.60	1.50~2.00	1.10~2.00	1.00~1.50
260~360	2.30~3.20	2.50~2.80	1.50~2.50	1.30~2.00
>360	—	2.80~3.50	2.00~3.00	1.50~2.50

附註：1. 當 $\frac{L}{D} < 6$ (使用頂尖) 及當 $\frac{L}{D} < 2$ (使用卡盤)

加工軟鋼時，進給量可取較大；而當加工硬鋼及鑄鐵時，可取較小。

2. 橫向車削及沉割時，表內所列進給量數值必須減少 30~50%。

3. 表內所列進給量數值只在粗車後，尚有一次或數次半精車的條件下適用。

上車削)，往往使用 3~5% 的乳化液作冷卻劑。在車削有色輕合金時，也可以使用石油及煤油的混合液或特殊乳化液作冷卻劑。灰鑄鐵加工時，則不用冷卻劑。

插削和鉋削時不用冷卻劑。

切刀耐用度 刀具的經濟耐用度 $T_{經濟}$ (使用集中刃磨時) 可按下式決定

$$T_{經濟} = \frac{1-m}{m} \cdot \frac{t_c u_c + t_s u_s + \frac{u_p}{n+1}}{u_c} \text{ 分。} \quad (3)$$

最大生產率的刀具壽命 $T_{最大生產率}$ 可按下式決定：

$$T_{最大生產率} = \frac{1-m}{m} t_c \text{ 分，} \quad (4)$$

式中 m —相對耐用度指數； t_c —更換刀具及調整尺寸所需時間(分)； u_c —機床工作者 1 分鐘的工資(戈比)，包括雜費在內； t_s —刃磨的時間定額(分)； u_s —刃磨工人 1 分鐘的工資(戈比)，包括雜費在內； u_p —刀具價格(戈比)； n —所允許的刃磨次數。

 表 6 鑲上硬質合金 T5K10 的切刀縱橫粗車及沉割時所用的進給量 s (公厘/轉)

加工金屬硬度 H_B	刀片厚度 (公厘)					
	1.5~3.0	3~4.5	4.5~6	6~8	8~10	10~12
115	0.2~0.45	0.45~0.7	0.7~1.2	1.2~1.8	1.8~2.7	2.7~3.6
115~170	0.15~0.4	0.4~0.6	0.6~0.95	1.95~1.5	1.5~2.2	2.2~2.8
170~230	0.1~0.3	0.3~0.5	0.5~0.8	0.8~1.25	1.25~1.8	1.8~2.3
230~285	0.1~0.26	0.25~0.45	0.45~0.7	0.7~1.1	1.1~1.6	1.6~2.1
285~340	0.08~0.23	0.23~0.4	0.4~0.60	0.60~1.0	1.0~1.4	1.4~1.8
340~400	0.08~0.2	0.2~0.35	0.35~0.55	0.55~0.9	0.9~1.3	1.3~1.7

附註：1. 使用牌號 T15K6 及 T21K8 的硬質合金時，進給量必須減少 10~20%，並且最大進給量不許超過 1.5 公厘/轉。

2. 若使用牌號 BK8 的硬質合金，進給量當加工鑄鐵及有色金屬時，可提高 50%。

表 7 用圓形截面的切刀粗鏜時的進給量 s (公厘/轉) (切刀伸出長度 $l=5d$)

加工材料	切削深度 (公厘)	切刀 截 面 直 徑 d (公厘)						
		10	12	16	20	25	30	40
鋼及 鎢鋼	2	<0.08	≤ 0.10	$0.08 \sim 0.20$	$0.15 \sim 0.40$	$0.25 \sim 0.70$	$0.50 \sim 1.00$	—
	3	—	<0.08	≤ 0.12	$0.10 \sim 0.25$	$0.15 \sim 0.40$	$0.20 \sim 0.50$	$0.25 \sim 0.60$
	5	—	—	≤ 0.08	≤ 0.10	$0.08 \sim 0.20$	$0.12 \sim 0.30$	$0.13 \sim 0.40$
鑄鐵	2	$0.08 \sim 0.12$	$0.12 \sim 0.20$	$0.25 \sim 0.40$	$0.50 \sim 0.80$	$0.90 \sim 1.50$	—	—
	3	≤ 0.08	$0.08 \sim 0.12$	$0.15 \sim 0.25$	$0.30 \sim 0.50$	$0.50 \sim 0.80$	$0.90 \sim 1.20$	—
	5	—	≤ 0.08	$0.08 \sim 0.12$	$0.15 \sim 0.25$	$0.25 \sim 0.50$	$0.50 \sim 0.70$	—

附註：1. 較大值用於軟質金屬；小值用於硬質金屬。

2. 加工有色金屬時，表內所列數值應提高 20~30%。

表 8 用懸樑式鏜桿粗鏜時的進給量 s

加工材料	鏜桿伸出長度 (公厘)	切削深度 (公厘)	鏜桿 直 徑 (公 厘)				
			50	60	70	80	100
鋼 及 鎢 鋼	300	3	$0.30 \sim 0.70$	$0.60 \sim 1.20$	—	—	—
		5	$0.15 \sim 0.30$	$0.30 \sim 0.70$	—	—	—
		8	$0.10 \sim 0.20$	$0.15 \sim 0.40$	—	—	—
	400	3	$0.10 \sim 0.20$	$0.25 \sim 0.60$	$0.60 \sim 1.20$	—	—
		5	<0.10	$0.15 \sim 0.30$	$0.30 \sim 0.70$	—	—
		8	—	$0.10 \sim 0.15$	$0.15 \sim 0.40$	$0.30 \sim 0.60$	—
	500	3	—	$0.10 \sim 0.20$	$0.25 \sim 0.60$	$0.40 \sim 1.00$	—
		5	—	<0.10	$0.15 \sim 0.30$	$0.25 \sim 0.50$	$0.70 \sim 1.50$
		8	—	—	$0.10 \sim 0.15$	$0.15 \sim 0.25$	$0.50 \sim 1.00$
	750	3	—	—	—	$0.10 \sim 0.20$	$0.30 \sim 0.70$
		5	—	—	—	<0.10	$0.15 \sim 0.70$
		8	—	—	—	—	$0.10 \sim 0.20$
鑄 鐵	300	3	$0.80 \sim 1.20$	—	—	—	—
		5	$0.40 \sim 0.70$	$0.90 \sim 1.20$	—	—	—
		8	$0.20 \sim 0.30$	$0.60 \sim 0.80$	—	—	—
	400	3	$0.30 \sim 0.40$	$0.70 \sim 1.00$	—	—	—
		5	$0.15 \sim 0.25$	$0.35 \sim 0.50$	$0.80 \sim 1.20$	—	—
		8	≤ 0.10	$0.20 \sim 0.30$	$0.50 \sim 0.70$	$1.00 \sim 1.50$	—
	500	3	—	$0.50 \sim 0.80$	$0.70 \sim 1.00$	—	—
		5	—	$0.30 \sim 0.40$	$0.40 \sim 0.50$	$0.70 \sim 1.00$	—
		8	—	$0.15 \sim 0.25$	$0.20 \sim 0.30$	$0.40 \sim 0.60$	$1.00 \sim 1.50$
	750	3	—	—	$0.12 \sim 0.20$	$0.25 \sim 0.40$	$0.80 \sim 1.20$
		5	—	—	≤ 0.10	$0.12 \sim 0.20$	$0.50 \sim 0.80$
		8	—	—	—	≤ 0.10	$0.25 \sim 0.35$

附註：1. 較大值用於軟質金屬；小值用於硬質金屬。

2. 加工有色金屬時，以及用鏜桿前後加工時，表內所列數值應提高 20~30%。

3. 表 8 內所列進給量的數值，用於粗加工後，半精加工時。

表9 各種不同加工方法所用的進給量 s

工件直徑 d (公厘)	用一般切刀縱橫車削及沉割		用寬頭刀縱車	用一般切刀鏜削		用刀頭鏜削
	粗	精	半精	粗	半精	半精
	加工光潔度					
	$\nabla_2-\nabla_3$	$\nabla\nabla_4$	$\nabla\nabla_4$	$\nabla_2-\nabla_3$	$\nabla\nabla_4-\nabla\nabla_5$	$\nabla\nabla_4-\nabla\nabla_5$
	切削深度 t (公厘)					
	>2	≤ 2	$0.2\sim 0.5$	>2	≤ 2	$0.3\sim 1.0$
進給量 s (公厘/轉)						
≤ 30	0.15~0.25	0.08~0.13	0.30~0.80	0.10~0.15	0.04~0.08	0.15~0.25
30~50	0.25~0.35	0.10~0.15	0.70~1.50	0.15~0.25	0.06~0.10	0.20~0.40
50~80	0.30~0.45	0.13~0.20	1.20~2.00	0.25~0.35	0.08~0.13	0.30~0.50
80~120	0.40~0.60	0.18~0.25	1.80~2.50	0.30~0.45	0.10~0.15	0.40~0.60
120~180	0.50~0.70	0.20~0.30	2.0~3.0	0.40~0.60	0.12~0.18	0.50~0.80
180~260	0.60~0.80	0.25~0.35	2.5~3.5	0.50~0.70	0.15~0.20	0.70~1.0
260~360	0.70~1.00	0.30~0.45	3.0~4.0	0.60~0.75	0.18~0.25	0.90~1.2
>360	0.90~1.20	0.35~0.55	3.5~5.0	0.70~1.00	0.20~0.30	1.0~1.5
插削和鉋削						
切刀型式	加工方式		光潔度符號	切削深度 (公厘)	走刀量 s (公厘/行程)	
普通刀	粗		∇_3	≤ 0.3	0.20~0.60	
	半精		$\nabla\nabla_4$		0.10~0.30	
寬頭刀	磨前		$\nabla\nabla_4$	0.2~0.5	(0.3~0.5) B	
	最後一次		$\nabla\nabla_5$		(0.2~0.3) B	

附註：1. 在牛頭鉋床及在插床上用較大切削深度加工鋼及鑄鋼時，進給量較小；在龍門鉋床上用較小切削深度加工鑄鐵時，進給量較大。

2. 寬頭刀的進給量不許超過刀寬 B 的 0.3~0.4 倍

 表10 用切槽刀及切斷刀加工時的進給量 s (公厘/轉)

工件直徑 d (公厘)	刀寬 B (公厘)	加工金屬				
		鋼、鑄鋼、鋁及鎂合金布氏硬度			鑄鐵及有色金屬布氏硬度	
		≤ 150	150~230	230~340	≤ 180	180~260
10~18	2	0.07~0.09	0.05~0.07	0.04~0.06	0.09~0.12	0.07~0.10
18~30	3	0.09~0.11	0.07~0.09	0.06~0.07	0.12~0.15	0.10~0.12
30~50	3~4	0.11~0.13	0.09~0.11	0.07~0.09	0.15~0.18	0.12~0.15
50~80	4~5	0.13~0.15	0.11~0.13	0.09~0.11	0.18~0.22	0.15~0.18
80~120	5~7	0.15~0.18	0.13~0.15	0.11~0.13	0.22~0.25	0.18~0.20
120~180	7~8	0.18~0.22	0.15~0.18	0.13~0.15	0.25~0.30	0.20~0.25
180~260	8~10	0.22~0.25	0.18~0.20	0.15~0.17	0.30~0.35	0.25~0.28
260~360	10~12	0.25~0.30	0.20~0.25	0.17~0.20	0.35~0.40	0.28~0.32
>360	12~15	0.30~0.35	0.25~0.28	0.20~0.22	0.40~0.45	0.32~0.38

附註：1. 當工件及刀具緊固不牢時，當需要表面光潔度及用手進給時，進給量必須降低 30~40%，而在特殊切斷機床上加工時，可提高 30~40%。

2. 為了要取得一光潔的表面，並且要防止刀具向工件中心陷落 $1/2$ 的工件半徑，而使工件表面材料擠出，進給量必須比最初所用的減少一半。

表11 耐用度指數 m

切刀型式	加工方法	切刀耐用度指數 m		
		高速鋼	鈦鈷硬質合金	鈦鈷硬質合金
加工材料—鋼, 鑄鋼, 可鍛鑄鐵				
平刀、沉割刀及鏟刀	粗加工及半精加工			
	用 冷 却 液	0.125	0.125	0.15
	不用冷却液	0.100	0.125	0.15
切槽刀及切斷刀	用 冷 却 液	0.250	—	0.15
	不用冷却液	0.200	—	0.15
加工材料—灰鑄鐵				
平刀、沉割刀及鏟刀	粗加工及半精加工	0.100	0.125	0.20
	同 上	0.150	—	0.20
切槽刀及切斷刀	同 上	0.150	—	0.20
	同 上	0.150	—	0.20
加工材料—銅合金				
各種刀	粗加工及半精加工			
	用 冷 却 液	0.150	—	0.20
	不用冷却液			
加工材料—鋁及鎂合金				
各種刀	粗加工及半精加工			
	用 冷 却 液	0.300	—	0.30
	不用冷却液	0.300	—	0.30

指數 m 的數值見表 11。

根據切刀尺寸而定的切刀耐用度的平均數值見表 12。

表12 切刀耐用度及其尺寸的關係

切刀材料	切刀截面 q (公厘)				
	16×25	20×30	25×40	40×60	60×90
	切刀耐用度 $T_{耐用}$ (分)				
高速鋼	60	60	90	120	150
硬質合金	90	90	120	150	180

切削速度 車削外圓及用龍門鉋床鉋削時，切削速度可按下式決定

$$v_T = \frac{C_{vT}}{X_v Y_v \left(\frac{H_B}{200} \right)^{n_v}} \quad (5)$$

$$C_{vT} = C \cdot K_{r_v} \cdot K_{M_v} \cdot K_{C_v} \cdot K_{C_{lv}} \cdot K_{q_v} \cdot K_{H_v} \cdot K_{\varphi_v} \cdot K_{\gamma_v} \cdot K_{\rho_v}$$

式中 C_{vT} —表示工作條件的係數； C —表示後角、前角及其他因素影響的係數，在本公式內並不是互不相關的； K_{T_v} —表示切刀耐用度影響的係數； K_{M_v} —表示金屬材料影響的係數； K_{C_v} —表示金屬條件的係數； $K_{C_{lv}}$ —表示毛坯表面條件影響的係數； K_{q_v}

表13 指數 C_{vT} 、 X_v 、 Y_v 的數值

切刀材料	加工材料	加工方法	工作條件					
			用冷却液			不用冷却液		
			C_{vT}	X_v	Y_v	C_{vT}	X_v	Y_v
PΦ1 高速鋼	鋼、鑄鋼、鋁及鎂合金	$s \leq 0.25$ 公厘/轉	57.20	0.25	0.33	34.80	0.25	0.50
		$s > 0.25$ 公厘/轉	36.20	0.25	0.66	27.80	0.25	0.66
	可鍛鑄鐵	$s \leq 0.25$ 公厘/轉	39.90	0.20	0.25	28.20	0.20	0.40
		$s \geq 0.25$ 公厘/轉	28.20	0.20	0.50	24.50	0.20	0.50
	灰鑄鐵及銅合金	半精加工	—	—	—	22.60	0.15	0.30
		$\delta = 2$ 公厘 $\delta = 4$ 公厘	—	—	—	21.60	0.15	0.40
T15K6 硬質合金	鋼、鑄鋼、鋁及鎂合金	$s \leq 0.3$ 公厘/轉	146.3	0.18	0.20	138	0.18	0.20
		$s = 0.3 \sim 0.75$ 公厘/轉	167.2	0.18	0.35	152	0.18	0.35
		$s > 0.75$ 公厘/轉	162.5	0.18	0.45	147.7	0.18	0.45
BK8 硬質合金	鋼、鑄鋼、鋁及鎂合金	$s \leq 0.3$ 公厘/轉	67.8	0.22	0.40	64	0.22	0.40
		$s \geq 0.3$ 公厘/轉	62.7	0.22	0.50	57	0.22	0.50
	鑄鐵及銅合金	$s \leq 0.4$ 公厘/轉	—	—	—	67.3	0.13	0.20
		$s \geq 0.4$ 公厘/轉	—	—	—	59.5	0.20	0.40

附註：1. 係數 C_{vT} 的數值常用截面面積為 20 公厘 × 30 公厘， α, γ, λ 按 ГОСТ 2320-43, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 10^\circ$ (高速鋼) 及 15° (硬質合金)，刀尖半徑 $r = 2$ 公厘具有平前面的切刀來加工硬度 $H_B = 190 \sim 210$ 無表皮的金屬時適用。其磨損量及耐用度可按表 1、2 及 12 決定。
2. 常用高速鋼配用冷却液來加工合金鋼及鑄鋼時，按公式 (5) 計算所得之切削速度數值必須減少 10%。
3. 常用硬質合金刀來加工鋼、鑄鐵及其他金屬時，建議不用冷却液。
4. 使用寬頭刀切削時，切削速度必須在 12~24 公尺/分的限度內。

一表示切刀截面影響的係數； K_{H_v} —表示切刀材料影響的係數； K_{φ_v} —表示主偏角影響的係數； $K_{\varphi_{1v}}$ —表示副偏角影響的係數； K_{r_v} —表示切刀幾何參數影響的係數； $K_{r_{1v}}$ —表示刀尖半徑影響的係數。

係數 C_{vT} 及指數 X_v 及 Y_v 等的數值見表13。
指數 n_v 及表示切刀布氏硬度對其切削速度影響的係數 $K_{H_0} = \frac{1}{(\frac{H_B}{200})^{n_v}}$ 的數值見表14。

表14 指數 n_v 及係數 K_{H_0} 的數值

加工金屬	指數 n_v	硬度 H_B									
		90~110	111~130	131~150	151~170	171~190	191~210	211~230	231~250	251~270	271~290
		校正係數 K_{H_0}									
碳鋼	當 $H_B < 130$ 時為1.0 當 $H_B \geq 130$ 時為1.75	1.62	1.96	1.82	1.45	1.20	1.00	0.85	0.73	0.63	0.55
合金鋼	1.5	—	—	1.70	1.38	1.18	1.00	0.88	0.77	0.67	0.60
鑄鐵及鋼合金	1.75	3.30	2.40	1.82	1.45	1.20	1.00	0.85	0.73	0.63	0.55

附註：假使金屬的機械性質用其抗拉強度 σ_b 以公斤/公厘²來表示時，則 H_B 需重算（見第三卷，第一章）。

校正係數 K_{T_v} 、 K_{M_v} 、 K_{C_v} 、 $K_{C_{1v}}$ 、 K_{q_v} 、 K_{H_v} 、 K_{T_v} 、 K_{φ_v} 、 $K_{\varphi_{1v}}$ 及 K_{r_v} 的數值見表15~24。

表15 係數 K_{T_v} 的數值

耐用度指數 m	耐用度 T' (分)					
	30	60	90	120	150	180
0.10	1.07	1.00	0.96	0.93	0.91	0.90
0.125	1.09	1.00	0.95	0.92	0.90	0.88
	1.15	1.05	1.00	0.97	0.95	0.93
0.15	1.11	1.00	0.94	0.90	0.87	0.85
	1.18	1.06	1.00	0.96	0.93	0.90
0.20	1.15	1.00	0.92	0.86	0.82	0.80
	1.24	1.08	1.00	0.94	0.90	0.87
0.25	1.19	1.00	0.90	0.83	0.79	0.75
0.30	1.23	1.00	0.88	0.81	0.76	0.72
	1.40	1.14	1.00	0.92	0.86	0.82

附註：此係數按下列公式計算

$$K_{T_v} = \left(\frac{T'}{T_{\text{經濟}}} \right)^m, \quad (6)$$

式中 T' —耐用度，分（對高速鋼而言， $T'=60$ 分；對硬質合金而言， $T'=90$ 分）。

表16 係數 K_{C_v} 的數值

金屬條件	K_{C_v}
冷加工	1.10
熱軋，正火及熱處理 淬火而用高溫回火	1.0
退火	0.90

表17 係數 K_{q_v} 的數值

切刀截面(公厘)	K_{q_v}	
	鋼及鑄鋼	鑄鐵及鋼合金
6×6.....	0.70	0.89
10×10; $\phi 10$; $\phi 12$	0.87	0.93
12×12; 10×16.....	0.90	0.95
16×16; 12×12; $\phi 16$	0.93	0.97
20×20; 16×25; $\phi 20$; $\phi 25$	0.97	0.98
20×30; 25×25; $\phi 30$	1.08	1.0
30×30; 25×40; $\phi 40$	1.04	1.02
30×45; 40×40.....	1.08	1.04
40×60.....	1.12	1.06
60×90.....	1.19	1.09

附註：此係數數值可按下式計算

$$K_{q_v} = \left(\frac{q}{20 \times 30} \right)^{P_v}, \quad (7)$$

式中 當加工鋼及鑄鋼時， $P_v=0.08$ ；當加工鑄鐵時， $P_v=0.04$ 。

表18 係數 K_{M_v} 的數值

加工金屬	K_{M_v}
自動變用鋼.....	1.20
碳鋼 $C \leq 0.6\%$	1.00
碳鋼 $C > 0.6\%$	0.85
鉻鋼、鎳鉻鋼、鉻鉬鋼、鉻鎳鉬鋼、鎳鋼、鎳鉬鋼、鎳鉻鉬鋼、鉻鉬鉬鋼、鉬鋼、鉻鉬鋼、及鉻鎳鉬鋼.....	1.10

(表18續)

加工金屬	K_{Mv}
錳鋼、鉻錳鋼、鉻鉬鋼、鉻錳鉍鋼、矽鉻鋼、 矽鉻錳鋼、矽錳鋼、矽鉻鉬鋼、鉻錳鉬鋼、鉻 鉬鉻鋼及鉻鉻鋼.....	0.90
鉻及鉬工具鋼.....	0.75
低及高合金、高速鋼、高鉻工具鋼、不銹鋼 及氣門鋼.....	0.65
甘非里特鋼.....	0.50
可鍛鑄鐵.....	1.00
灰鑄鐵及銅合金.....	1.00
鋁及矽鋁合金.....	5.00
硬鋁 $\sigma_b=25$ 公斤/公厘 ²	6.00
$\sigma_b=35$ 公斤/公厘 ²	5.00
$\sigma_b=35$ 公斤/公厘 ²	4.00
電爐鋼 $\sigma_b=16$ 公斤/公厘 ²	6.50

附註：加工鋁及鎂合金時，切削速度可按公式(5)計算，如計算硬度 $H_B=200$ 的碳鋼 ($C \leq 0.6\%$) 一樣，但係數 K_{Mv} 的數值仍須相稱。

表19 係數 K_{cA_v} 的數值

加工金屬	毛坯表面條件	K_{cA_v}
鋼及鑄鋼	酸洗後表皮無浮渣.....	1.0
	表皮帶浮渣.....	0.90
鑄鐵	無硬度.....	1.0
	有硬度，硬度布氏 $H_B=160$	0.70
	$H_B=160 \sim 200$	0.80
	$H_B > 200$	0.90

表20 係數 K_{Hv} 的應用範圍及數值

切 刀		加工材料	應用範圍	K_{Hv}
材料	牌 號			
高速鋼	PΦ1	各種金屬	各種的金屬切削	1.00
	P			0.95
	PO			0.90
	ЭН-262			1.00
	ЭН-184	硬度 $H_B \leq 200$ 的各種金屬	用低速切削或用 圓角刀切削	0.80

(表20續)

切 刀		加工材料	應用範圍	K_{Hv}
材料	牌 號			
硬質合金	T5K10	鋼及鑄鋼	用不定切削深度 粗切，間斷切削	0.75
	T5K6	同上	用一定切削深度 切削，切斷及特 形車削	0.85
	T15K6	同上	半精車	1.00
	T15K6y	同上	同上	1.10
	T15K6c	同上	同上	1.15
	BK8	鑄鐵及青銅	用不定切削深度 粗切，間斷切削， 切斷及特形車削	1.00
	BK6	鑄鐵、青銅 及塑料	用一定切削深度 粗切及半精加工	1.1

表21 係數 $K_{\varphi_{1v}}$ 的數值

切 刀 材 料	副偏角 φ_1 (度)				
	10	5	20	30	45
高 速 鋼.....	1.00	0.97	0.94	0.91	0.87
硬質合金.....	1.03	1.00	0.97	0.94	0.90

附註：此係數數值可按下式計算

$$K_{\varphi_{1v}} = \left(\frac{10}{\varphi_1} \right)^{0.09} \quad (\text{用於高速鋼}), \quad (9)$$

$$\text{及 } K_{\varphi_{1v}} = \left(\frac{15}{\varphi_1} \right)^{0.09} \quad (\text{用於硬質合金}). \quad (10)$$

表22 係數 K_{φ_v} 的數值

加工材料	切 刀 材 料	主偏角 φ (度)			
		30	45	60	90
		係數 K_{φ_v}			
鋼、鑄鋼、鋁 及鎂合金	高速鋼.....	1.26	1.00	0.84	0.66
	硬質合金(鈦鉍類)	1.13	1.00	0.92	0.81
鑄鐵及 銅合金	高速鋼及 BK8 硬質合金.....	1.20	1.00	0.88	0.73

附註：1. 此係數數值可按下式計算

$$K_{\varphi_v} = \left(\frac{45}{\varphi} \right)^{Z_v} \quad (8)$$

在此情形下，指數 Z_v 具有下列數值：

a. 用高速鋼切刀加工鋼、鑄鋼、鋁及鎂合金時， $Z_v = 0.60$ ；用鈦鉍硬質合金切刀時， $Z_v = 0.30$ ，用 BK8 硬質合金切刀時， $Z_v = 0.45$ ；

6. 用高速鋼及 BK8 硬質合金切刀加工鑄鐵時 $Z_v = 0.45$ 。

2. 係數 K_{φ_v} 的數值適用於 $s \geq 0.25$ 公厘時，而用硬質合金切刀加工鑄鐵時，進給量 $s \geq 0.3$ 公厘。

表23 係數 K_{r_v} 的數值

後面半徑 r (公厘)	加工金屬			
	鋼、鑄鋼、鋁及鎂合金		鑄鐵及銅合金	
	粗加工	半精加工	粗加工	半精加工
1	0.94	0.86	0.90	0.94
2	1.00	1.00	1.00	1.0
3	1.03	1.09	1.06	1.03
5	—	1.21	—	1.07

附註：1. 此係數數值按下式計算

$$K_{r_v} = \left(\frac{r}{2} \right)^{U_v} \quad (11)$$

 在此情況下 U_v 指數如下：

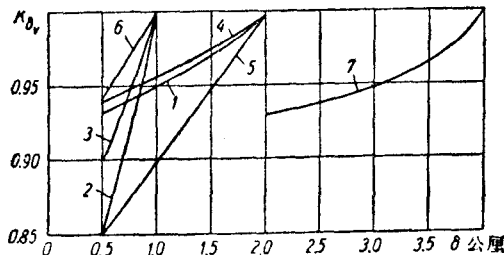
加工金屬			
鋼、鑄鋼、鋁及鎂合金		鑄鐵及銅合金	
粗加工	半精加工	粗加工	半精加工
0.10	0.20	0.1	0.08

2. 當加工鋼及鑄鋼時，此種關係可用到 $r=4$ 公厘。若再增大半徑，則會使速度降低，並且只有等到 $r=10$ 公厘時，切削速度才又開始上昇。

 表24 係數 K_{r_v} 的數值

按ГОСТ 2320-43 所得的前面形狀	K_{r_v}
平面.....	1.00
弧面.....	1.05
平面或弧面，但具有倒稜.....	1.15
平面但具有前角 $\gamma = -5 \sim -10^\circ$; $\lambda = 5 \sim 12^\circ$	1.20

根據磨損限度 δ 所定的高速鋼切刀切削速度的校正係數見圖 1。


 圖1 根據磨損限度 δ 所定的高速鋼切刀切削速度的校正係數 K_{δ_v} 。

鋼、鑄鋼、及可鍛鑄鐵：1—車削，使用冷卻液，鉋削不用冷卻液；2—切斷或切槽，使用冷卻液；3—切斷或切槽，不用冷卻液；4—車削或鉋削，不用冷卻液。

灰鑄鐵：5—切斷或切槽，不用冷卻液；6—插削，不用冷卻液；7—車削或鉋削，不用冷卻液。

假使在機床上不可能採用獲得經濟切削速度 $V_{經濟}$ 的轉數 $n_{經濟}$ ，則轉數必須如下決定：

a) 根據兩相鄰轉數比

$$\varphi_n = \frac{n_x + 1}{n_x} \quad (12)$$

及機床主軸經濟轉數 $n_{經濟}$ 對較小近似轉數 n_x 之比例 a 來考慮：

$$a = \frac{n_{經濟}}{n_x} \quad (13)$$

6) 主軸所允許減少的最大經濟轉數 a_k 根據下式決定

$$a_k = \left(\frac{m}{1-m} \cdot \frac{m\varphi}{m-1} - m \right) \quad (14)$$

或按表 25 決定。

假使計算後 a 較 a_k 為小，則必須取主軸近似較大轉數，而當 $a > a_k$ 時，取近似較大轉數。

表25 主軸所允許減少的最大經濟轉數

兩相鄰轉數比	耐用度指數 m			
	0.25	0.15	0.125	0.08
1.12	1.06	1.06	1.06	1.06
1.26	1.13	1.13	1.14	1.14
1.33	1.16	1.17	1.18	1.19
1.41	1.20	1.21	1.22	1.24
1.58	1.28	1.30	1.33	1.36

銼削時的切削速度 v_p 或橫向車削時的切削速度 v_n 可按 (5) 式再乘以校正係數：

$$v_p = v_m \cdot K_{p_v} \text{ 公尺/分}; \quad (15)$$

$$v_n = v_m \cdot K_{n_v} \text{ 公尺/分}; \quad (16)$$

式中 v_m —外圓車削時的切削速度； K_{p_v} —表示被銼圓孔直徑大小所產生影響的係數； K_{n_v} —表示橫向車削時工作條件所產生影響的係數。

橫向車削時，切削速度必須按加工外徑決定。

係數 K_{p_v} 及 K_{n_v} 的數值見表 26 及 27。

 表26 係數 K_{p_v} 的數值

加工方式	K_{p_v}
外圓車削.....	1.00
銼削：	
$\leq \phi 75$ 公厘.....	0.80
$\phi 76 \sim 150$ 公厘.....	0.90
$\phi 151 \sim 250$ 公厘.....	0.95
$\phi > 250$ 公厘.....	1.00

表27 係數 K_{n_v} 的數值

切削方向及切刀型式		$\frac{d_2 - d_1}{d_2}$			
		0.20	0.60	0.80	1.0
		係數 K_{n_v}			
用端面車刀正車		0.65	0.68	0.71	0.92
用右切彎頭刀正車		0.78	0.80	0.84	1.04
外圓車削		1.00	1.00	1.00	1.00
用左切直頭刀正車		1.03	1.05	1.08	1.29
用右切直頭刀反車		1.16	1.18	1.22	1.43
用沉割刀反車		1.47	1.49	1.53	1.74

用切斷及切槽刀切削時的切削速度可按下式決定

$$v_1 = \frac{C'_{v_f}}{s^{y_v} \left(\frac{H_B}{200} \right)^{n_v}} \text{ m/s}; \quad (17)$$

$$C'_{v_f} = C \cdot K_{T_v} \cdot K_{M_v} \cdot K_{C_v} \cdot K_{CA_v} \\ \times K_{H_v} \cdot K_{d_v} \cdot K_{h_v} \cdot K_{cm_v}$$

式中 K_{d_v} —表示外徑 d_2 及切到底之直徑 d_1 間的差數對外徑之比所發生影響的係數； K_{v_v} —表示槽深所發生影響的係數； K_{cm_v} —表示機床型式所發生影響的係數。

其他係數所代表的意義見公式 5。

公式 17 中各係數及指數的數值見表 14~18、20、28~31。

表28 係數 C'_{v_T} 及指數 Y_v 的數值

切刀材料	加工材料	工作條件			
		用冷却液		不用冷却液	
		係數及指數			
		C'_{vT}	Y_v	C'_{vT}	Y_v
高速鋼PΦ1	鋼、鑄鋼、鋁及鎂合金	7.60	0.66	—	—
	可鍛鑄鐵	8.10	0.50	—	—
	灰鑄鐵及銅合金	—	—	8.94	0.40
硬質合金T15K6	鋼、鑄鋼、鋁及鎂合金	41.40	0.35	37.60	0.35
硬質合金BK8	鋁及鎂合金	17.10	0.5	15.50	0.50
	鑄鐵及銅合金	—	—	15.00	0.40

附註：1. 各係數的數值適用於用平前面切刀加工硬度為 $H_B=190\sim 210$ 的金屬。切刀角度 α, γ 及 φ_1 按 ГОСТ 2323-43 制定。所允許的磨損限度見表 1 及表 2。耐用度見表 12。

2. 用高速鋼切刀加以冷却液車削合金鋼及鑄鋼時，切削速度按公式 17 減少 10% 計算。

表29 係數 K_{d_v} 的數值

機床型式	$\frac{d_2 - d_1}{d_2}$	K_{d_v}
主要運動係迴轉式	1.00	1.00
	0.50	0.97
	0.25	0.93
	0.10	0.89
	≤ 0.05	0.86
主要運動係往復式	—	1.00

 表30 係數 K_{h_v} 的數值

機床型式	槽深(公厘)	K_{h_v}
主要運動係往復式	2~8	1.46~1.05
	10	1.00
	15	0.92
	20	0.87
	40	0.76
主要運動係迴轉式	—	1.00

附註：係數數值按下式計算

$$K_{h_v} = \left(\frac{10}{h} \right)^{0.20} \quad (18)$$

 表31 係數 K_{cm_v} 的數值

機床型式	K_{cm_v}
主要運動係迴轉式	1.00
主要運動係往復式，刀具夾頭可放下	0.60
同上，但刀具夾頭不可放下	0.50

牛頭鉋床及插床加工時所用的切削速度可按下式計算：

$$v_{60} = \frac{C_{v_{60}}}{t^{X_v} s^{Y_v} \left(\frac{H_B}{200} \right)^{n_v}} \quad \text{公尺/分} \quad (19)$$

$$C_{v_{60}} = C \cdot K_{T_v} \cdot K_{M_v} \cdot K_{C_v} \cdot K_{r_v} \cdot K_{c_{A_v}} \cdot K_{H_v} \cdot K_{\varphi_v} \cdot K_{\varphi_{1v}} \cdot K_{q_v} \cdot K_{l_v} \cdot K'_{cm_v}$$

 式中 K_{l_v} 表示切刀行程及超過空程所產生影響的係數[其他係數所指意義見公式(5)及公式(17)]。

公式19內所指係數及指數數值見表14~24及32~34。

 表32 係數 K_{l_v} 的數值

切刀行程 l_d (公厘)	超過空程 l_n (公厘)	K_{l_v}
50	35	1.18
75	35	1.09
100	50	1.11
150	50	1.02
200	60	1.00
300	60	0.96
300	75	0.96
500	75	0.87

附註：此係數數值按下式計算

$$K_{l_v} = \left(\frac{200 l_n}{60 l_d} \right)^{0.2} \quad (20)$$

 表33 係數 $C'_{v_{60}}$ 及指數 X'_v 及 Y'_v 的數值

加工材料	$C'_{v_{60}}$	X'_v	Y'_v
鋼、鑄鋼、鋁及鎂合金	28.60	0.25	0.50
可鍛鑄鐵	23.00	0.20	0.40
灰鑄鐵及銅合金	21.00	0.15	0.40

附註：1. 係數 $C'_{v_{60}}$ 的數值是在加工硬度 $H_B = 190 \sim 210$ 的金屬時決定，所用切刀為高速鋼 $P\Phi 1$ ，帶平前面，截面 20 公厘 $\times$ 30 公厘，角 α, γ ，及 λ 按 $\Gamma O C T \ 2320-43$ 決定， $\varphi = 45^\circ$ ， $\varphi_1 = 10^\circ$ （鉋刀）及 45° （插刀），半徑 $r = 2$ 公厘，允許磨損限度 δ 按表1，耐用度按表12決定。加工時不用冷卻液，並不沿表皮切削。超過空程為 60 公厘而切刀行程為 200 公厘。

2. 硬質合金切刀的切削速度可按公式5計算，而乘一係數 0.85。

 表34 係數 K'_{cm_v} 的數值

機床型式	K'_{cm_v}
牛頭鉋床	1.0
插床(刀夾可放下)	0.75
同上(刀夾不可放下)	0.60

切削力 各切削力可按下列式計算：

$$P_z = C_r t^{X_{pz}} s^{Y_{pz}} H_B^{n_{pz}} \text{ 公斤} \quad (21)$$

$$C_z = C_1 \cdot K_M \cdot K_{\varphi_{pz}} \cdot K_{r_{pz}} \cdot K_{l_{pz}} \cdot K_{\delta_{pz}}$$

$$P_y = C_y t^{X_{py}} s^{Y_{py}} H_B^{n_{py}} \text{ 公斤} \quad (22)$$

$$C_y = C_2 K_M \cdot K_{\varphi_{py}} \cdot K_{r_{py}} \cdot K_{l_{py}} \cdot K_{\delta_{py}}$$

$$P_x = C_x t^{X_{px}} s^{Y_{px}} H_B^{n_{px}} \text{ 公斤} \quad (23)$$

$$C_x = C_3 K_M \cdot K_{\varphi_{px}} \cdot K_{r_{px}} \cdot K_{\delta_{px}}$$