

# 刀具製造工藝學

(下 冊)

金 精 編 著

科學技術出版社

# 刀具製造工藝學

下 冊

金 精 編 著

科學技術出版社

## 內 容 提 要

本書係根據蘇聯技術科學候補博士、斯大林獎金獲得者羅日杰斯文斯基 (Л. А. Рождественский) 講授的“刀具製造”和作者自己的教學經驗編著而成。

本書分上下兩冊出版，上冊討論刀具製造的一般性問題，下冊討論刀具製造的各項特殊性問題。

本書供高等學校冷加工專業及中等技術學校本專業的教學之用，並可供機械製造廠工程技術人員的參考。

## 刀 具 製 造 工 藝 學

下 冊

編 著 者 金 精

\*

科學技術出版社出版

(上海建國西路 336 弄 1 號)

上海市書刊出版業營業許可證出 079 號

永祥印書館印刷 新華書店上海發行所總經售

\*

書號：68

開本 850×1168 紙 1/32·7 1/2 印張·180,000 字

一九五六年四月第一版

一九五六年四月第一次印刷·印數 1--5,935

定價：(10) 一元四角

## 参 考 文 献

1. Барсов А. И. "Технология режущего инструмента" машиз 1952.
2. Четвериков С. С. "Металлорежущие инструменты" машиз 1953.
3. Семенченко И. И. "Режущий инструмент" том I машиз 1936.
4. Семенченко И. И. "Режущий инструмент" том II машиз 1938.
5. Семенченко И. И. "Режущий инструмент" том III машиз 1944.
6. Семенченко И. И. "Режущий инструмент" том IV машиз 1944.
7. 薛秉源記錄: "刀具製造聽課筆記"傅佑同講授, 哈爾濱工業大學 1954 年。
8. 清華大學講義: "刀具製造工學" 1954 年。
9. 金精記錄: "刀具製造聽課筆記", 蘇聯金屬切削專家斯大林獎金獲得者羅日杰斯文斯基 (Л. А. Роденсвенский) 副教授講授, 哈爾濱工業大學 1954 年。
10. 金精著: "車刀的研究和新型車刀的建議", 哈爾濱工業大學學報第一期 1954 年 9 月。
11. Шалин В. П. Кузьмин В. В. "Восстановление режущего инструмента из Быстрорежущей стали", Всесоюзное кооперативное издательство 1952.
12. Болотин Х. Л., Косромкин Ф. П. "Основы конструирования приспособления" машиз 1951.
13. Иоффа Л. Г. "Восстановление инструмента" машиз 1953.
14. "Восстановление прожек" труд. 20 мая 1954.
15. 蘇聯機器製造百科全書, 第七卷, 第五章、第六章、第七章、第八章。
16. Белецкий Е. А., Харченко К. С. "Оптические профишлифовальные станки" машиз 1951.
17. Матюшин В. М. и др. "Конструирование изготовление режущего инструмента" дом инженера и техника им. Ф. З. Держинского, машиз 1954.
18. Алексеев Г. А. Арминов В. А. Смальников Е. А. "Расчет и конструирование режущего инструмента" машиз 1951.
19. 布門著, 志明譯 "砂質合金刀具的銲接", 機械工業出版社, 1953.
20. Имшенецкий К. Г., Бушман Н. А. "Технология пайки твердосплавного инструмента" машиз 1954.
21. Энциклопедический справочник машиностроения том 7, 1949.
22. 金精: "石頭刀" 哈爾濱工業大學科學研究工作報告, 1955 年
23. Режимы резания металлов инструментами из быстрорежущей стали 1955.
24. Шлеймович М. А.; Померанец З. С. "Производство зубчатого инструмента"

ента машиз” 1948。

25. Трубин “зуборезные инструменты” машиз。
26. матюшин В. М. и др. “Пути повышения производительности точности при нарезании зубчатых колес” машиз, 1954。
27. Левцкий М. Я. “Резьбофрезерование” машиз 1950。
28. Алексеев Б. А. Гозин А. И. “Инструментальное дело” машиз 1952。
29. Панфиленок П. Я. “Стахановское зубошлифование” Свердловск 1953。
30. 達爾曼乞夫: “樣板刀”機械工業出版社 1953 年。
31. 樂兌謙: “鉛括法”機械製造。
32. Каширн “Технологии машиностроения”。
33. Ермаков В. В. “Штап рубки прямоугольных пластинок быстрорежущей стали для резцов” Опыт заводов транспортного машиностроения 1954。
34. Карамыгин “Заточка твердосплавных инструментов”。
35. 李家寶: “介紹王崇倫的萬能工具胎” 1954 年, 哈爾濱。
36. Ernest H. Romine “Leag screw pilot for Acme fapping” The Tool Engineer march 1955。
37. Рюкин В. Н. “Изготовление твердосплавных накатных роликов электрическим способом” Станки и инструмент №. 2, 1955。
38. 謝明欽柯編李德度譯“製造硬質合金刀具的標準工藝規程”機械工業出版社。
39. 工業技術通訊 1952 年 7 期。
40. Тв. ASME 第 551 頁圖 2。
41. Вестник машиностроения №. 4, 1954。
42. Производство и Эксплуатация инструмента опыт уральских заводов выпуск 1, машиз 1949。
43. “Многочетное восстановление протолжек” Труд. 20 мая 1954。
44. “機械工人” 1954 年 1 月。
45. 洛克捷夫: “工具製造專用機床” 1955 機械工業出版社。
46. 金精: “齒輪刀”上海交通大學科學研究工作報告, 1955 年。

# 目 錄

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第九章 鏟齒 .....       | 161 |
| 一、概說 .....         | 161 |
| 二、鏟齒的三種鏟法 .....    | 162 |
| 三、鏟銑刀 .....        | 163 |
| 四、直線鏟齒 .....       | 165 |
| 1. 直線鏟齒的特點 .....   | 165 |
| 2. 凸輪 .....        | 168 |
| 3. 凸輪的數目 .....     | 169 |
| 五、鏟齒輪滾刀 .....      | 172 |
| 1. 鏟齒 .....        | 172 |
| 2. 鏟磨 .....        | 173 |
| 六、螺絲刀具的鏟製 .....    | 174 |
| 1. 絲錐 .....        | 174 |
| (1) 切削部 .....      | 175 |
| (2) 齒背 .....       | 176 |
| (3) 括光部 .....      | 178 |
| 2. 絲錐的鏟磨夾具 .....   | 178 |
| (1) 夾具上帶徑向凸輪 ..... | 179 |
| (2) 夾具上帶軸向凸輪 ..... | 179 |
| (3) 夾具上不用凸輪 .....  | 180 |
| 3. 檢驗絲錐的三種方法 ..... | 181 |
| 七、鏟板牙 .....        | 182 |
| 第十章 尾方和扁尾的加工 ..... | 184 |
| 一、扁尾和尾方 .....      | 184 |
| 二、製造方法 .....       | 185 |
| 1. 小批生產 .....      | 185 |
| (1) 扁尾 .....       | 183 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| (2) 銑尾方 .....        | 185 |
| 2. 大批生產 .....        | 187 |
| (1) 扁尾 .....         | 187 |
| (2) 尾方 .....         | 188 |
| 第十一章 刀槽及細齒面的加工 ..... | 190 |
| 一、刀槽和細齒面 .....       | 190 |
| 二、刀槽的加工 .....        | 191 |
| 三、細齒面的加工 .....       | 194 |
| 1. 加工徑向細齒面 .....     | 194 |
| 2. 加工軸向細齒面 .....     | 196 |
| 3. 加工細齒面的其他問題 .....  | 197 |
| 第十二章 刀具上螺紋的加工 .....  | 199 |
| 一、概說 .....           | 199 |
| 1. 刀具上螺紋的分類 .....    | 199 |
| 2. 絲錐切削部上的引導螺紋 ..... | 199 |
| 3. 製造螺紋的方法 .....     | 200 |
| 二、滾螺紋 .....          | 201 |
| 1. 滾螺紋的方法 .....      | 201 |
| (1) 徑向滾軋法 .....      | 201 |
| (2) 自動引入滾軋法 .....    | 201 |
| (3) 切向滾軋法 .....      | 202 |
| 2. 滾螺紋的刀具 .....      | 202 |
| (1) 滾絲板 .....        | 202 |
| (2) 扇形滾絲板 .....      | 204 |
| (3) 圓滾板 .....        | 205 |
| (4) 滾柱 .....         | 205 |
| 3. 滾螺紋的其他問題 .....    | 206 |
| 三、切製螺紋 .....         | 208 |
| 1. 螺絲車刀 .....        | 208 |
| 2. 螺絲排刀 .....        | 209 |
| 3. 螺絲銑刀 .....        | 211 |
| (1) 銑自動板牙的徑向梳刀 ..... | 212 |
| (2) 銑切向自動板牙的梳刀 ..... | 214 |
| (3) 加工錐形螺紋銑刀 .....   | 217 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 四、磨螺紋·····           | 218 |
| 五、製造板牙的螺紋·····       | 227 |
| 六、螺絲銑刀的螺紋·····       | 229 |
| 第十三章 刀具上成形表面的加工····· | 236 |
| 一、成形車刀的成形表面·····     | 236 |
| 1. 平面成形車刀·····       | 236 |
| 2. 稜體和圓盤成形車刀·····    | 237 |
| (1) 稜體成形車刀的粗加工·····  | 237 |
| (2) 圓盤成形車刀的粗加工·····  | 238 |
| (3) 反形法·····         | 238 |
| 3. 成形車刀的精加工·····     | 240 |
| (1) 成形砂輪·····        |     |
| (2) 移動的砂輪·····       | 242 |
| (I) 仿形磨床·····        | 242 |
| (II) 光學曲線磨床·····     | 244 |
| I. 機床的各部分·····       | 246 |
| II. 圖形放大·····        | 248 |
| III. 磨後檢驗·····       | 255 |
| 二、成形銑刀的成形表面·····     | 255 |
| 1. 砂輪沿工件表面移動·····    | 255 |
| 2. 用樣板·····          | 255 |
| 第十四章 刀具上齒輪的加工·····   | 259 |
| 一、粗加工·····           | 259 |
| 1. 用齒輪滾刀加工插齒刀·····   | 259 |
| (1) 改裝機床·····        | 259 |
| (2) 利用球形芯棒·····      | 264 |
| (3) 在 534 滾齒機上·····  | 265 |
| (4) 在普通的滾齒機上手進刀····· | 265 |
| (5) 製造插齒刀的齒輪滾刀·····  | 266 |
| 2. 用插齒刀加工插齒刀·····    | 270 |
| 3. 用“齒輪刀”加工插齒刀·····  | 271 |
| 二、精加工·····           | 272 |
| 1. 用樣板·····          | 272 |
| 2. 利用標準齒輪和齒條·····    | 279 |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 3. 利用蝸桿 .....             | 279        |
| 4. 利用鋼帶 .....             | 280        |
| <b>第十五章 輔助面的加工</b> .....  | <b>282</b> |
| 1. 圓板牙圓周上的定位孔與出屑孔 .....   | 282        |
| 2. 加工絲錐的彎柄 .....          | 286        |
| 3. 加工自動板牙中梳刀的曲線後端面 .....  | 286        |
| 4. 加工切刀的後面及刀片槽 .....      | 288        |
| 5. 銑齒輪滾刀的邊齒 .....         | 290        |
| 6. 加工剃齒刀的小孔及小槽 .....      | 291        |
| 7. 加工拉刀齒後的圓柱面 .....       | 294        |
| 8. 加工花鍵拉刀齒 .....          | 294        |
| 9. 加工鍵槽拉刀 .....           | 295        |
| <b>第十六章 刀具的強化</b> .....   | <b>296</b> |
| 一、氰化法 .....               | 296        |
| 1. 液體氰化法 .....            | 296        |
| 2. 氣體氰化法 .....            | 300        |
| 3. 固體氰化法 .....            | 300        |
| 二、電火花強化 .....             | 302        |
| 三、鍍鉻 .....                | 308        |
| 四、小結 .....                | 310        |
| <b>第十七章 工藝規程</b> .....    | <b>312</b> |
| 一、一般概念 .....              | 312        |
| 1. 刀具分三類 .....            | 312        |
| 2. 帶柄及帶孔刀具的施工步驟 .....     | 313        |
| 3. 平面刀具的施工步驟 .....        | 314        |
| 二、工藝規程的特點 .....           | 315        |
| 三、典型刀具的工藝規程 .....         | 321        |
| <b>第十八章 刀具的廢品處理</b> ..... | <b>349</b> |
| 一、概論 .....                | 349        |
| 1. 處理方法 .....             | 349        |
| 2. 處理的原則 .....            | 350        |
| 3. 各種高速鋼刀具的處理辦法 .....     | 350        |
| 二、處理廢刀具 .....             | 353        |
| 1. 復原 .....               | 353        |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| (1) 尺寸不對 .....         | 353 |
| (一) 用擠壓的方法把小直徑增大 ..... | 353 |
| (二) 鍍鉻 .....           | 355 |
| (三) 熱處理 .....          | 355 |
| (2) 刀齒崩壞 .....         | 355 |
| (一) 堆焊 .....           | 355 |
| (二) 磨去刀齒 .....         | 356 |
| (3) 折斷 .....           | 357 |
| (一) 銲接 .....           | 357 |
| (二) 連接 .....           | 358 |
| 2. 改規格與種類 .....        | 360 |
| (1) 磨去刀齒 .....         | 360 |
| (2) 磨深齒溝 .....         | 362 |
| (3) 改成他種刀具 .....       | 362 |
| 3. 利用廢料作毛坯 .....       | 363 |
| 第十九章 鑄鍛刀具及放射性刀具 .....  | 365 |
| 一、鑄造刀具 .....           | 365 |
| 二、鍛造刀具 .....           | 367 |
| 三、放射性刀具 .....          | 367 |
| 1. 示蹤原子 .....          | 368 |
| 2. 製造放射性刀具 .....       | 386 |
| 附 錄 .....              |     |
| 一、刀具的表面光潔度 .....       | 370 |
| 二、刀具製造工藝學習題舉例 .....    | 387 |
| 參考文獻 .....             |     |

# 第九章 鏟 齒

## 一 概 說

1. 鏟齒是刀具製造中獨有的工序，一般機械製造中沒有的。製造成形銑刀常需鏟齒，而成形銑刀又常用來加工各種齒溝，所以在刀具製造中，自用刀具的生產過程裏常有鏟齒工序。除了刀具廠中的工具車間之外，製造齒輪刀具時也常需鏟齒，例如齒輪滾刀。

鏟齒時被加工刀具旋轉，鏟刀前後跳動。鏟刀跳動時要按鏟齒和退刀決定其走刀量，退刀時的走刀量要比鏟齒時的走刀量大得多，由於旋

轉和移動的結果，產生阿基米得螺旋線（見圖 220），其方程式為。

$$\rho = a\theta,$$

式中  $\rho$ ——任一點的半徑；  
 $\theta$ ——半徑與原始位置所成的角；  
 $a$ ——常數。

如果每齒的鏟削量為

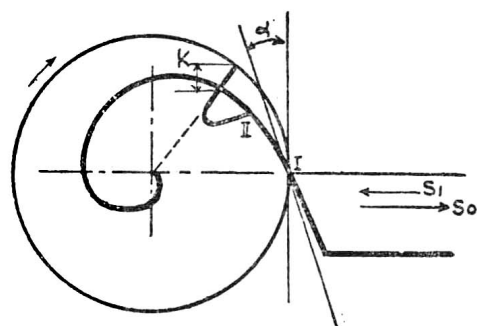


圖 [ 220 ]

$K$ ，其值由銑刀後角等決定。

$$K = \frac{\pi D}{Z} \operatorname{tg} \alpha \dots\dots\dots (70)$$

式中  $K$ ——鏟削量；  
 $D$ ——銑刀直徑；  
 $Z$ ——為銑刀齒數；  
 $\alpha$ ——銑刀的後角。

銑刀的後角對銑刀的耐用度有很大的影響，由於銑工件時切屑非

常薄，因此銑刀後角應很大。但是鏟削量愈小，鏟齒愈易，愈大則因走刀量  $S_1$  很小，所需工時非常多。所以鏟齒銑刀的後角多是在  $10 \sim 12^\circ$  之間。由於檢驗銑刀後角須用坐標法（見本章第六節），且需要相當長的時間，故多不在刀具車間中進行檢驗。所以車間中只按銑刀選擇凸輪。

鏟刀的刃形按所製銑刀的副樣板製造，即樣板形狀與所要作的銑刀相同。

## 2. 鏟外表面所用的機床

鏟外表面所用的機床可分為兩類，即：

(1) 銑刀鏟床——機床只有使銑刀旋轉和鏟刀移動的傳動機構，在工具車間中如果所製的銑刀甚多，可用這種剛度較好的專為鏟銑刀的鏟床。

(2) 萬能鏟床——在這種機床上可以鏟滾刀。機床上不但有使滾刀旋轉和鏟刀移動的傳動機構，且有使鏟刀沿滾刀軸心方向運動的傳動機構（見圖221）。在萬能鏟床上當然也可以鏟銑刀，但是銑刀鏟床上不能鏟滾刀。

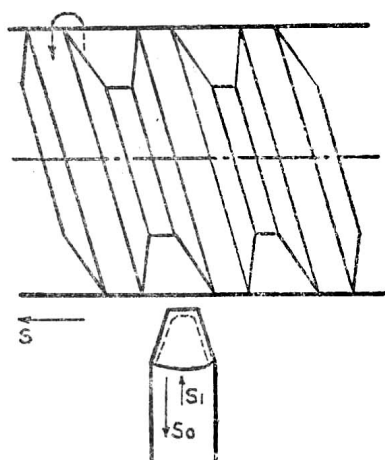


圖 [ 221 ]

## 二 鏟齒的三種鏟法

鏟齒可有三種鏟法：即  
1. 徑向鏟齒；2. 側鏟齒；3. 軸向鏟齒。茲分述如下：

(1) 徑向鏟齒（見圖222）將銑刀用鋼圈夾在刀桿上以後，刀桿一端直接放在鏟床的錐孔中，另端用特殊的頂針頂住。不用普通頂針的原

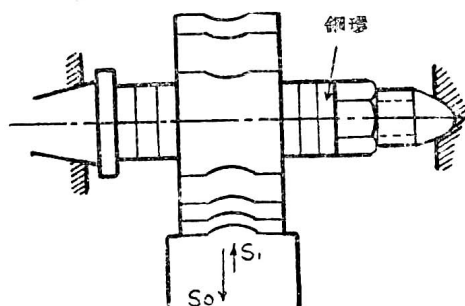


圖 [ 222 ]

因是它不能保證剛度。鏟齒時鏟刀沿直徑方向移動。

(2) 側鏟齒 (見圖 223) 常用於有側刃的刀具上。傾斜角  $\tau$  的大小由側刃的後角決定。鏟刀寬  $B_1$  不超過 60~80 公厘, 超過了便不適用; 否則只有走刀量  $S_1$  非常小才能鏟齒, 故只有在精鏟時才允許採用。

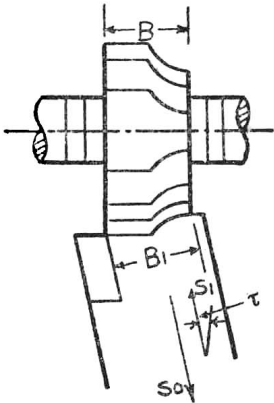


圖 [ 223 ]

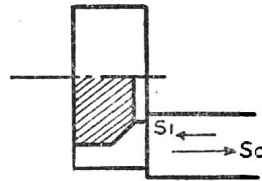


圖 [ 224 ]

(3) 軸向鏟齒 (見圖 224) 常用於有端刃的刀具。

### 三 鏟銑刀

鏟很寬的銑刀用兩把鏟刀分別鏟齒, 每把鏟刀皆比銑刀的一半大些 (見圖 225), 以保證兩把鏟刀能在連接處重疊, 否則會剩下毛刺。

鏟齒又分粗鏟和精鏟。粗鏟時走刀量可以大些, 精鏟時走刀量要很小, 但表面的質量要好。普通精鏟時走刀量不大於 0.05 公厘。精鏟時要用非常鋒利的刀刃, 因為切這樣薄的切屑, 不鋒利就不行。精鏟以後被加工的銑刀不再加工了, 所以要注意選擇滑潤油。油用植物油。使用油時銑刀後而要加油, 鏟刀也要加油, 加油的目的不是為了增加鏟刀的耐用度, 而是要改進被加工表

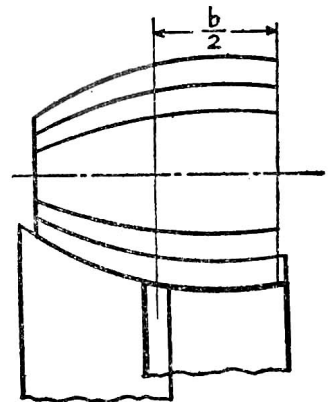


圖 [ 225 ]

面的光潔度。精銼速度也不應高，一般是小於 10 公尺/分。最常用的是 2~3 公尺/分。

精銼不應佔很長的時間，精銼前可用粗銼或預銼的辦法以減少精銼的餘量。在製造玉蜀黍銼刀和滾刀時常用預銼的方法。玉蜀黍銼刀（圖 226a）是能切去很多金屬的刀具，其上有螺旋溝，刀齒成圓環形，兩齒間的凹溝應當銼出（圖 226 b）。如果玉蜀黍銼刀先用成形銼刀預銼出齒背（圖 226 c），即可減少銼溝的工時，且可以銼溝與銼齒同時進行（見圖 226 d），這樣生產率就提高多了。此預銼法在加工滾刀時亦可以用。

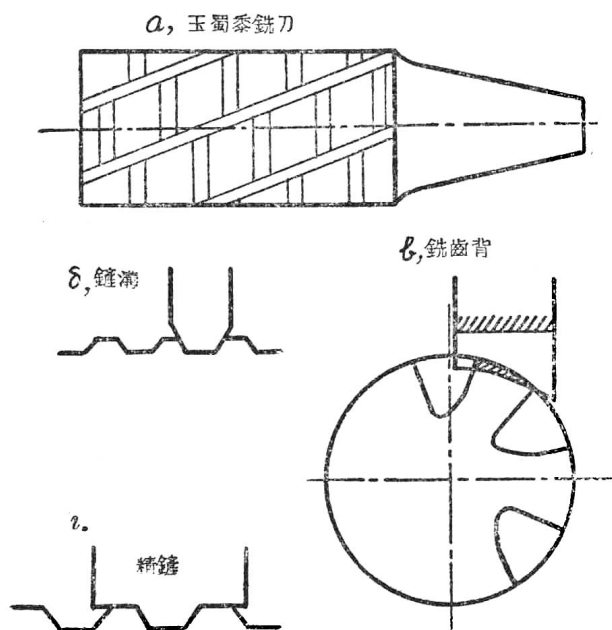


圖 [ 226 ]

對刀時要注意銼齒開始的時候要比 A 點還早些（圖 227）。銼削時間的長短還受齒高  $h$  的影響，齒高  $h$  愈大，銼削時間愈長。因銼刀至 II 的位置時，刀齒上 B 點已銼完了，因此還須按銼刀溝形校正凸輪，即銼齒退刀時會不會碰到相鄰的齒。如果銼床有間隙（活動餘地），當銼刀將要開始銼工件時，銼刀稍落後了些，這就容易銼出如圖 228 a 的齒形，其值  $F$  的大小最好比 0.1 公厘小，最大也不能超過 0.2 公厘；因為有此刃帶

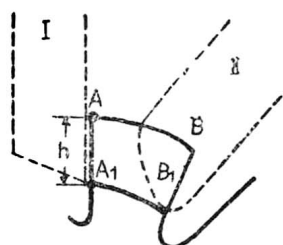


圖 [ 227 ]

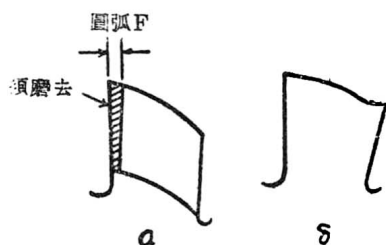


圖 [ 228 ]

就一定要把前面磨去很厚的一層，所以不允許。如果銼床上有間隙，則

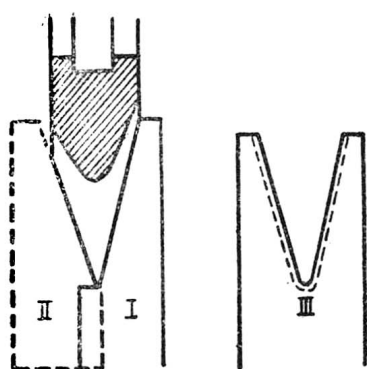


圖 [ 229 ]

因銼刀移動得慢而銼刀轉得快， $F$  可能很大，故銼床與刀架的情況必須注意。如果銼出的齒形如圖 228  $\delta$  的形狀，這也是廢品，這是銼削量（即凸輪）不對的緣故。

銼很深的齒溝時須考慮刀齒的剛度，普通須進行粗銼和精銼，粗銼時兩側面分別進行（見圖 229）。

## 四 直線銼齒

### 1. 直線銼齒的特點：

銼齒成形銼刀多用於半精加工和精加工，每齒所分的走刀量約在

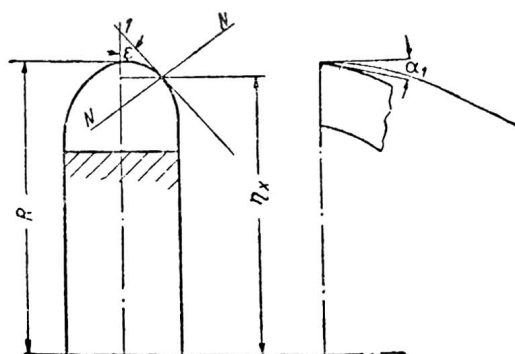


圖 [ 230 ]

0.015~0.12公厘。但是按阿基米得曲線鏜齒時一般的後角在 $10^\circ \sim 12^\circ$ ，這對刀具的耐用度有很壞的影響，尤其當刃形角 $\varepsilon$ （見圖 230）太小時（ $\varepsilon < 20^\circ$ ），不能保證側刃上的後角為 $3^\circ \sim 5^\circ$ 。爲了增大後角，可用直線鏜齒的辦法，這時後角可以增到 $20^\circ$ ，耐用度可提高30%以上。

沿直線鏜齒時，爲了保證齒高相等，刀齒上除了直線以外還有直線的等距線。由圖 231 a 可知，比生成直線半徑大的等距線爲凸線，比其半徑小的等距線爲凹線；凹線上的後角比直線上的後角還大，凸線上的後角則相反。等距線上的後角 $\alpha_1'$ 由下式計算：

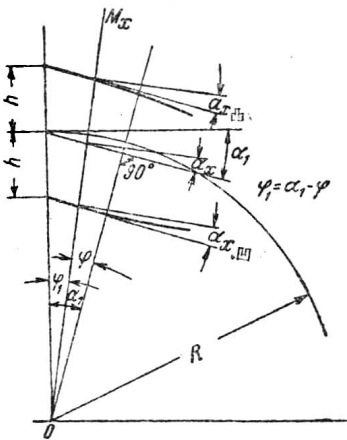


圖 [ 231a ]

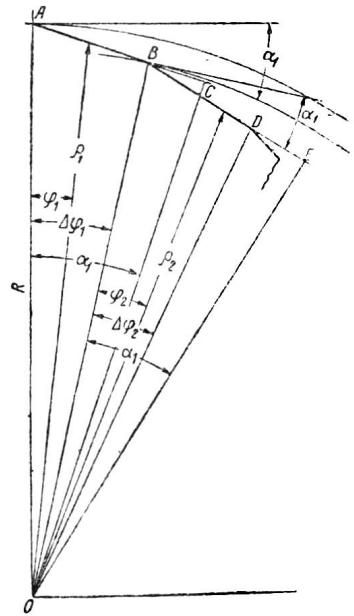


圖 [ 231b ]

$$\operatorname{tg} \alpha_1' = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{1 \pm \frac{h}{R} \cdot \frac{\cos \varphi}{\cos \alpha_1}} \dots \dots \dots (71)$$

式中 + 號爲凸線上的後角；

- 號爲凹線上的後角。

直線鏜齒的鏜削量由圖 231 b 可知：

$$\Delta K_X = R - \rho_X \dots \dots \dots (72)$$

式中  $R$ ——銼刀半徑；

$\rho_X$ ——銼削直線上任意點半徑，當  $\varphi_1=0$  時  $\rho_X=R$ 。

將銼齒的直線方程式代入(72)式，可知：

$$\Delta K_X = R \left[ 1 - \frac{\cos \alpha_1}{\cos(\alpha_1 - \varphi_{1X})} \right] \dots\dots\dots(73)$$

折線銼齒時第二段的開始點  $B$  的半徑為：

$$\rho_{1B} = \frac{R \cos \alpha_1}{\cos(\alpha_1 - \Delta \varphi_1)} \dots\dots\dots(74)$$

如  $\alpha_1 = \alpha_2$ ，則第二段的銼削量  $\Delta K_{2X} = R - \rho_{2X}$

$$\text{或 } \Delta K_{2X} = R \left[ 1 - \frac{\cos^2 \alpha_1}{\cos(\alpha_1 - \Delta \varphi_1) \cos(\alpha_1 - \varphi_{2X})} \right]$$

如  $\Delta \varphi_1 = \Delta \varphi_2$ ，同理第三段銼削量為：

$$\Delta K_{3X} = R \left[ 1 - \frac{\cos^3 \alpha_1}{\cos^2(\alpha_1 - \Delta \varphi_1) \cos(\alpha_1 - \varphi_{3X})} \right]$$

如果折線銼一齒共需  $n$  次，則  $\Delta \varphi_{nx} = \frac{360}{Z} - (n-1)\Delta \varphi$ ，故銼削量為：

$$K = R \left\{ 1 - \frac{\cos^n \alpha_1}{\cos^{n-1}(\alpha_1 - \Delta \varphi_1) \cos \left[ \frac{360}{Z} - \alpha_1 - (n-1)\Delta \varphi \right]} \right\} \dots\dots(75)$$

取直線銼齒後角  $\alpha_1 = 20^\circ$ ，曲線銼齒的  $\alpha_1 = 12^\circ$ ，其銼削量見表 29。

〔表 29〕

| 銼刀直徑<br>(公 厘) | 齒 數<br>$z$ | 折線數<br>$n$ | 直 線 銼 |      | 曲 線 銼 |      |
|---------------|------------|------------|-------|------|-------|------|
|               |            |            | 每 齒   | 有 效  | 每 齒   | 有 效  |
| 45            | 16         | 2          | 2.23  | 1.29 | 1.88  | 0.94 |
| 50            | 14         | 2          | 2.41  | 1.66 | 2.48  | 1.24 |
| 60            | 12         | 2          | 2.90  | 2.20 | 2.34  | 1.67 |
| 70            | 10         | 2          | 3.09  | 2.91 | 4.57  | 2.29 |
| 90            | 9          | 3          | 5.88  | 4.40 | 6.67  | 3.34 |
| 120           | 8          | 3          | 7.32  | 6.48 | 10.00 | 5.00 |

註：直線銼齒後角(20°)近乎曲線的2倍，有效齒中心角  $\frac{360}{2z}$