

上海市工业生产比先进比多快好省展览会
重工业技术交流参考资料

胜利滚刀和进步滚刀

上海礦山机器厂編



科学技術出版社

在祖國建設全面大躍進的形勢下，中共上海市委
和市人民政府為了更好地鼓舞全市職工開展比先進
比多快好省運動的積極性，交流想辦法、革新技術的
經驗，促進當前生產高潮及有力地貫徹鼓足幹勁、力
爭上游、多快好省地建設社會主義總路線，在1958年
4月至6月間舉辦了比先進比多快好省展覽會。

在這一個展覽會上充分反映了生產高潮的主要情
況以及技術革新的先進經驗，真可以說是豐富多采，
美不勝收。我們為了緊密配合生產，具體為生產服務
起見，在現場收集了很多資料以活頁或簡裝本形式出
版了大宗技術交流參考資料。茲為便利外地同志們參
考起見，特再分門別類編為匯編出版。

這些資料大體上歸納為1.重工業；2.輕工業；3.
化學工業；4.紡織工業；5.建築工業；6.交通運輸
業等幾個大門類。

上海市工業生產比先進比多快好省展覽會
重工業技術交流參考資料

勝利滾刀和進步滾刀

編者 上海礦山機器廠

科學技術出版社出版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可證出079號

上海市印刷四廠印刷 新華書店上海發行所總經售

書本 787×1092 1/32·印張 1 1/16·字數 23,000

1958年7月第1版

1958年7月第1次印刷·印數 1—10,500

統一書號：15119·735

定 價：(6) 0.10 元

胜利滚刀和进步滚刀

目 录

——上海矿山机器厂编——

胜利滚刀

1. 大走刀精加工的可能性	1
2. 小压力角滚刀的理論基础	4
3. 滚刀的主要計算公式	5
4. 优缺点	8
5. 本厂試驗过程	10
6. 結語	13

进步滚刀

1. 进步滚刀的理論基础	14
2. 进步滚刀的計算	17
3. 进步滚刀的磨制与使用	26
4. 小結	29

勝利滾刀

我厂以前曾試驗和推广过大走刀粗加工“进步滾刀”，效果良好。但其主要缺点是因走刀量大而引起的表面不平度很显著，精加工走刀量无法提高。后来学习了苏联先进經驗，根据齿輪加工原理，設計了大走刀精加工“小压力角胜利滾刀”，現已試驗成功，并正式应用于生产，提高效率一倍以上。

(一)大走刀精加工的可能性

由于走刀量的关系，沿齿长方向的表面上会产生走刀痕迹(毛刺)。走刀量愈大，走刀痕迹愈显著(毛刺高度越大)，对表面不平度的影响愈大，降低了齿輪的表面質量。

由图 1 可以看出，表面不平度 h 和滾刀半徑 r 及走刀量 S 間有如下关系：

$$h = r - \sqrt{r^2 - \frac{S^2}{4}}$$

式中 h ——齿底不平度； r ——滾刀半徑； S ——齿輪一轉刀具的走刀量。

如在滾刀节圓直徑处其不平度为：

$$h_0 = r_0 - \sqrt{r_0^2 - \frac{S^2}{4}} \quad (1)$$

式中 h_0 ——齿分度圓处不平度； r_0 ——滾刀节圓半徑。

而在齿分度圓处垂直于齿面的不平度为：

$$h H_0 = h_0 \sin \alpha, \quad (2)$$

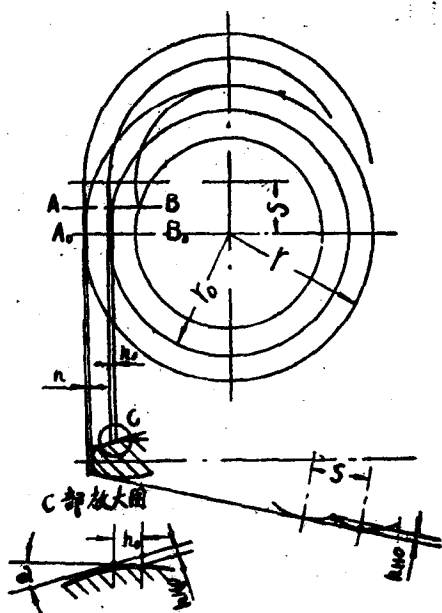


圖 1

α ——滾刀法向的齒形角。

从(1)得:
$$r_0 - h_0 = \sqrt{r_0^2 - \frac{S^2}{4}},$$

$$r_0^2 - 2r_0h_0 + h_0^2 = r_0^2 - \frac{S^2}{4};$$

$$S = 2\sqrt{h_0(2r_0 - h_0)} \approx 2\sqrt{2r_0h_0} = \sqrt{\frac{8hH_0r_0}{\sin \alpha}}$$

$$(\because 2r_0 - h_0 \approx 2r_0), \quad (3)$$

$$\text{或 } \sin \alpha = \frac{8hH_0r_0}{S^2}. \quad (4)$$

由公式(4)可以看出, 在給定的走刀量 S 及滾刀節圓半徑 r_0 , 減小齒形角 α , 直接減少了 hH_0 , 即提高了光潔度。

由公式(3)可以看出, 在給定的 r_0 , hH_0 下減小了齒

形角 α ，就可以提高走刀量 S 。这样就能达到大走刀精加工的要求。

在一定直径的滚刀 ($d=100$)，采取不同的走刀量， α 与 hH_0 的关系如表 1 (hH_0 的单位为公忽)。

表 1

α	S (公厘/轉)							
	1	1.5	2	2.5	4	5	6	8
0°	0	0	0	0	0	0	0	0
5°	0.218	0.490	0.872	1.362	3.486	5.447	7.844	13.944
8°	0.348	0.783	1.392	2.175	5.567	8.698	12.525	22.267
10°	0.434	0.977	1.737	2.713	6.946	10.853	15.628	27.784
15°	0.647	1.456	2.588	4.044	10.353	16.176	23.294	41.411
20°	0.855	1.924	3.420	5.344	13.681	21.376	30.782	54.723
25°	1.056	2.377	4.226	6.603	16.905	26.414	38.036	67.619
30°	1.250	2.813	5.000	7.813	20.000	31.250	45.000	80.000
35°	1.434	3.226	5.736	8.962	22.943	35.849	51.622	91.773

在一定直径的滚刀 ($d=100$) 采取不同的 hH_0 ， α 与 S 的关系如表 2 (S 的单位为公厘/轉)。

表 2

α	hH_0 (公忽)							
	2	4	6	8	10	12	16	20
0°	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
5°	3.03	4.29	5.25	6.06	6.77	7.42	8.57	9.58
8°	2.40	3.39	4.15	4.80	5.36	5.87	6.78	7.58
10°	2.15	3.04	3.72	4.29	4.80	5.26	6.07	6.79
15°	1.76	2.49	3.05	3.52	3.93	4.31	4.97	5.56
20°	1.53	2.16	2.65	3.06	3.42	3.75	4.33	4.84
25°	1.38	1.95	2.38	2.75	3.08	3.37	3.89	4.35
30°	1.27	1.79	2.19	2.53	2.83	3.10	3.58	4.00
35°	1.18	1.67	2.04	2.36	2.64	2.89	3.34	3.73

(二) 小压力角滚刀的理论基础

我們知道，漸开綫的形状，只决定于基圆半径 R_0 的大小，在一般公制压力角 20° 齿輪，一定的齿数，就有一定的 R_0 ，也就是漸开綫的形状一定了。

所謂漸开綫的压力角，就是它的余弦是基圆半径与該点处半径之比，公式为：

$$\cos \alpha_h = \frac{R_0}{R_x}$$

也就是說齿輪上半径不同，每点的压力角是不等的，在基圆处（即 $R_x = R_0$ ）压力角等于 0° ，而在齿顶圆的压力角最大。

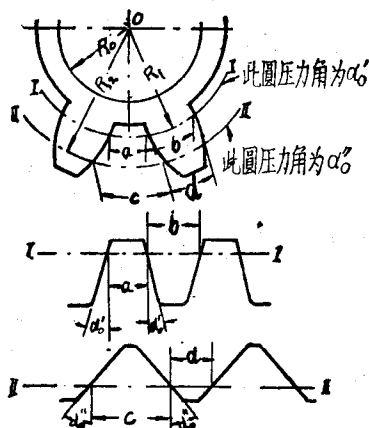


圖 2

如图 2a, R_1 处的压力角 α'_0 为: $\cos \alpha'_0 = \frac{R_0}{R_1}$

R_2 处的压力角 α''_0 为: $\cos \alpha''_0 = \frac{R_0}{R_2}$

通常我們所說的压力角，是齿輪分圆处的压力角（即当 $R_x = \frac{m \cdot Z}{2}$ 时的压力角）。

在一般公制压力角 20° 齒輪，一定的模數，基圓齒距是不變的，即， $t_0 = \pi m \cdot \cos 20^\circ$ 。兩齒輪正確嚙合的條件是基

圓齒距必須相等。齒輪上任意半徑 R_k 上的齒距 $t_k = \frac{t_0}{\cos \alpha_k}$ (α_k 為該點的壓力角)。

齒條與齒輪嚙合時，同樣適用上述原理，即基圓齒距相等，因此對於一定的齒輪，可能有很多齒條與它嚙合，只要它們的齒距 t_k 和齒形 α_k 各各相等即可。

如圖 2b、c，雖然兩種齒形角不一樣，都能和圖 2a 正確嚙合。即：

$$(a+b)\cos \alpha'_0 = (c+d)\cos \alpha''_0 = t_0。$$

所不同者只是改變了嚙合的節線和節圓。

根據以上原理，我們可以把滾刀齒形角改變，而仍滾出所需要壓力角的齒輪。

(三) 滾刀的主要計算公式

(1) 決定 S 或 α_k

如 hH_0 及 S 已定，可用公式 (4) $\sin \alpha_k = \frac{8hH_0r_0}{S^2}$ 通常可取 $\alpha_k = 10^\circ$ ，則可反過來求 S 用公式 (3)。

$$S = \sqrt{\frac{8hH_0r_0}{\sin \alpha_k}}$$

(r_0 為滾刀節圓半徑，根據構造形式選取，可盡量大些)

(2) 求齒輪接觸圓半徑 R_{HK} (圖 3)。

$$R_{HK} = \frac{R_0}{\cos \alpha_k} = \frac{MZ \cos \alpha}{2 \cos \alpha_k} (\alpha = 20^\circ)。 \quad (5)$$

(3) 求滾刀法向齒距 t_k (圖 3)。

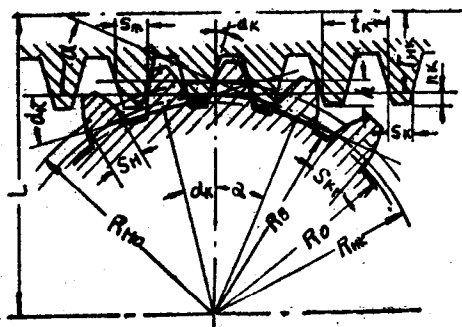


圖 3

应和齿輪接触圓周节相等故得。

$$t_k = \frac{2\pi R_{HK}}{Z} = \frac{\pi m \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha_k} \quad (6)$$

(4) 求齿輪接触圓处齿厚(图 3)。

$$S_{K1} = 2R_{HK} \left(\frac{S_H}{2R_{H0}} + \text{inv} \alpha - \text{inv} \alpha_k \right) \quad (7)$$

($\text{inv} \alpha$ 及 $\text{inv} \alpha_k$ 为 α 及 α_k 的渐开线函数, 可由渐开线函数表中查出)。

S_H 按图纸规定选取, $R_{H0} = \frac{MZ}{2}$,

如 S_H 按标准选取 $S_H = \frac{\pi M}{2}$ 則

$$S_{K1} = 2R_{HK} \left(\frac{\pi}{2Z} + \text{inv} \alpha - \text{inv} \alpha_k \right) \quad (8)$$

(5) 求齿輪接触圓处齿槽寬 SK (也是滾刀在与齿輪接触圓相当处的法向齿厚)(图 3)。

$$SK = t_k - S_{K1} \quad (9)$$

(6) 求滾刀自接触綫至刀頂的工作高度 h_k (图 3)

$$h_k = R_{HK} - R_B \quad (10)$$

$$\left(R_B = \frac{MZ}{2} - f'M \quad f' \text{ 可取 } 1.2 \text{ 或 } 1.25 \right)$$

(7) 求滾刀中徑齒厚(圖3)。

$$S_m = S_h + 2(h - h_h) \operatorname{tg} \alpha_h. \quad (11)$$

此外 $h = f'M$ (應注意 h_h 的正負, 代入須注意)。

(8) 求滾刀工作部分長度 $2L$ (圖4)。

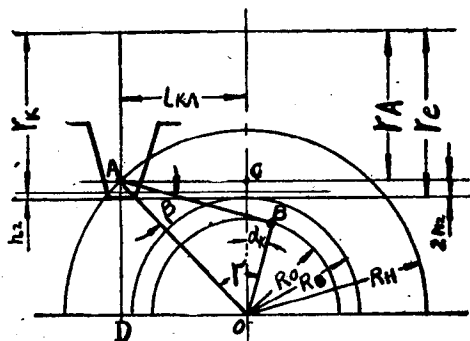


圖 4

$$2L = 2R_H \sin(r - \alpha_h). \quad (12)$$

$r =$ 齒輪頂圓壓力角 $\cos r = \frac{R_0}{R_H}$ ($R_H =$ 齒輪外圓半徑)。

(9) 求滾刀的理論半徑 r_h (圖4)。

先求 h_2 (滾刀刃齒高度之半)。

$$2h_2 = R_H \cos(r - \alpha_h) - R_B$$

$$\therefore h_2 = \frac{R_H \cos(r - \alpha_h) - R_B}{2}. \quad (13)$$

再求 r_h , $r_h = r_c - h_2$. (14)

$r_c =$ 滾刀外徑, 是已給定的。

(10) 求滾刀平均理論半徑 r_{hcp} (考慮到滾刀的刃磨)

$$r_{h\text{cp}} = r_h - \frac{K}{4} \quad (15)$$

K = 滾刀鏟背量。

(11) 求滾刀螺旋沟傾斜角 ω :

$$\sin \omega = \frac{M}{2r_{h\text{cp}}} \quad (16)$$

(12) 求滾刀螺旋沟导程 T

$$T = 2\pi r_{h\text{cp}} \cdot \text{ctg} \omega \quad (17)$$

(四) 优缺点

优点为:

- (1) 提高齿輪表面光洁度;
- (2) 提高齿輪精加工的生产率, 为滾齿加工技术革新中新的一頁;
- (3) 加工出之齿輪, 比标准滾刀更接近漸开綫;
- (4) 减少滾刀制造允差对工件精度的影响, 使滾刀制造容易;
- (5) 减少刀具振动对齿輪加工精度的影响, 因此提供的机床条件要求不高。

如图 5, 当刀具徑向振摆 Δf 一定时, 垂直于齿形的誤差 Δf_n 为:

$$\Delta f_n = \Delta f \sin \alpha \quad (18)$$

α 愈小, Δf_n 也愈小, 則齿輪的齿形誤差也愈小。

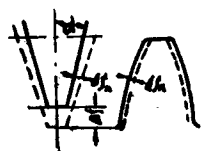


圖 5

(6) 由于压力角减小, 滾刀与齿輪嚙合率增加, 切削刃数增多, 每个刃的負荷減輕, 因而提高滾刀的耐用度。

缺点为:

(1) 由图 6 可知 $\operatorname{tg} \alpha_B = \operatorname{tg} \alpha_3 \cdot \sin \alpha$ 。

α 愈小, α_B 亦愈小, ($\alpha_B =$ 侧后角, $\alpha_3 =$ 主后角)

侧后角减小, 影响耐用度。

(2) 因为齿形角小, 刀齿较弱, 粗加工切削较差, 但在齿数小于 56 时, 可将滚刀一端磨成进步滚刀曲线, 这样尚可大走刀粗加工(如图 7)。

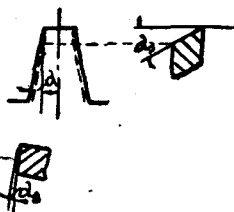


图 6

(3) 将(7)(9)式变化, 并设 $S_H = \frac{\pi M}{2}$ 。

$$\text{则 } S_K = \frac{M \cos \alpha}{\cos \alpha_K} [0.5\pi - Z(\operatorname{in} V\alpha - \operatorname{in} V\alpha_K)] \quad (19)$$

从(19)中可以看出, 当齿数增加, S_K 将减少, 这样一把滚刀只能加工一定范围的齿数。为了克服这个缺点, 当 $Z < 56$ 时, 仍可做成整体式(如图 7)但当 $M > 10$, $Z = 56 \sim 65$ 时(或 M 在 $5 \sim 10$ 之间 $Z = 56 \sim 80$)采用可分式滚刀(如图 8), 当 $M > 10$, $Z > 65$, 或 $5 < M < 10$, $Z > 80$ 时, 可中间加垫圈(如图 9)。这样就可改为通用了。

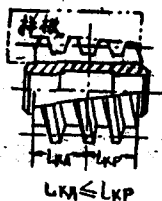


图 7

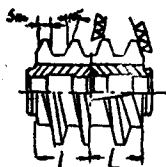


图 8

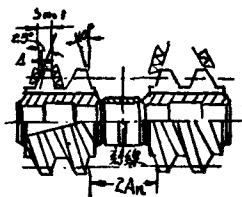


图 9

(五) 本厂試驗过程

設計情况(图 10):

已知 $M=8$, $Z=55$, 滾刀外徑 $\alpha_0=125$

$Z_\phi=10$, $\alpha=20^\circ$, $\alpha_K=10^\circ$, 齒輪Ⅲ級精度 hH_0 取 0.0065, r_0 估为 53。

$$(1) S = \sqrt{\frac{8 h H_0 r_0}{\sin \alpha_h}} \approx 4 \text{ 公厘/工件每轉。}$$

$$(2) R_{HK} = \frac{8 \times 55 \times \cos 20^\circ}{\cos 10^\circ} = 209.92。$$

$$(3) t_K = \frac{\pi M \cdot \cos 20^\circ}{\cos 10^\circ} = 23.981。$$

$$(4) S_{K1} = 2R_{HK} \left(\frac{S_H}{2R_{HO}} + \ln V20^\circ - \ln V10^\circ \right) \\ = 17.385 (S_H \text{ 取 } 12.46)。$$

$$(5) S_K = t_K - S_{K1} = 6.596。$$

$$(6) h_K = R_{HK} - R_B = -0.4785。$$

$$(7) Sm = S_K + 2(h - h_K) \operatorname{tg} \alpha_K = 10.151 (h = 1.2M = 9.6)。$$

$$(8) L = R_H \sin(r - \alpha_K) = 58.8 \approx 60。$$

$$(9) r_K = r_0 - h_2 = 57.56$$

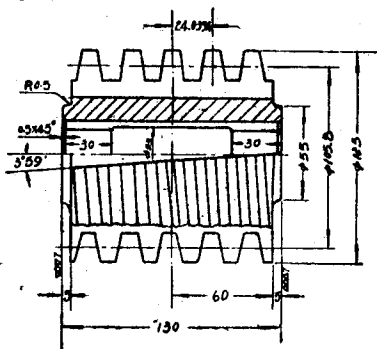
$$(h_2 = \frac{R_H \cos(\alpha_0 - \alpha_K) - R_B}{2} = 4.94)。$$

$$(10) \sin \omega = \frac{M}{2 \times r_K} = 0.06949 \quad \omega = 3^\circ 59' \quad (r_{hp} \text{ 未考}$$

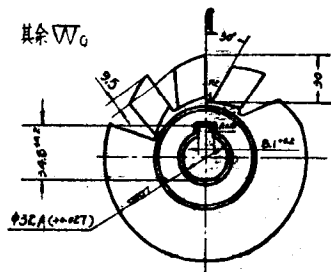
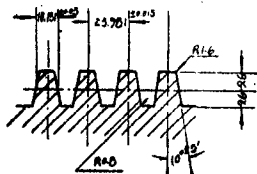
慮)。

$$(11) T = 2\pi r_K \cdot \operatorname{ctg} \omega = 5193.7。$$

$$(12) t_{\text{軸}} = \frac{t_K}{\cos \omega} = 24.0394.$$



法向截面图形



技术条件 1. 刃数; 2. 热处理 Rc 61~64; 3. 扣長 5194; 4. 計算滾切齿数55, 走刀 4 公厘 $hH_0=0.0065$; 5. 裝刀时, 須將刀齿与牙坯 对准, 切削前精加工留量为每齿側 0.3.

圖 10

試驗过程:

实滾齿輪齿数 $Z=50$, 因此与設計要求有些出入, 重新計算 Sm

$$Sm=10.331 \quad \text{故需吃深 } X.$$

$$\text{按 } \frac{10.331-10.151}{2x} = \tan 10^\circ \quad \text{得 } x=0.45$$

$$\text{故全深应为 } 2.2M+0.45=18.05.$$

第一次試驗:

一只齿輪粗加工用普通滾刀, 精加工用胜利滾刀, 精加工余量为每齿側 0.3 公厘, 另一只齿輪全部用普通滾刀, 其

結果如表 3. 所列。

表 3 精加工時走刀及切削時間(轉速一樣均為 63 轉/分)

	走刀公厘/工件每轉				光 潔 度				基圓節距誤差	齒形誤差	切削時間	注
	第一段	第二段	第三段	最后	第一段	第二段	第三段	最后				
勝利滾刀	2	3	4.8	3.4	▽▽5	▽▽5	▽▽4	▽▽5	±0.07	-0.083 +0.096	30分	
普通液刀	1.2	1.2	1.2	1.2	▽▽5	▽▽5	▽▽5	▽▽5	+0.02	-0.104 +0.004	90分	

根據上面結果分析，在不減低質量的基礎上，精加工切削效率可以提高 2 倍(在 4.8 公厘/工件每轉走刀時，有顫動現象，後改為 3.4 公厘即良好)。

基圓節距誤差加大，我們重新檢查了一下滾刀，實測滾刀法向螺距為 24.037~24.061，壓力角左為 10°30'40"~10°34'40"，右 10°12'20"~10°16'。

按計算螺距增大，被加工齒輪之 α 變小應為 19°29'， α_K 增大， α 變大增大 9'，兩者相加應為 19°39'。現基距 +0.07，折算壓力角為 19°31'，這樣按此滾刀論，加工之工件是合格的，產生誤差在於滾刀製造的不準確。

齒形誤差檢查，我們沒有這樣大的漸開綫檢查儀，用逐點檢查法，即按

$$S_1 = 2R_1 \left(\frac{S_2}{2R_2} + \text{in } V\alpha_2 - \text{in } V\alpha_K \right) \text{ 公式每隔 1 公厘算}$$

出 S 弧寬再折算弦長。用齒輪卡尺測量，因此也難免有誤差。(从上表看普通滾刀也有 -0.104 之多。)

經過這樣試驗，尚存在唯一的缺點，那就是粗加工用普通滾刀，工人嫌換刀麻煩，為了克服這個缺點，進一步提高

粗加工生产率，将此滚刀右端磨成进步滚刀曲线。直接用此滚刀进行粗精加工再作试验(图 11)。

第二次试验：

粗加工采用 1.2, 1.5, 2.0 公厘/工件每转走刀，因进步曲线未磨得正确，有一齿突出，影响走刀量，

当 2 公厘走刀时，

机床刀架有些颤动，马上回到 1.5 公厘走刀，情况正常，(普通滚刀粗加工为 1.2 公厘/工件每转)，如果曲线磨得对，估计可提高到 2.5 公厘/工件每转以上。

精加工采用 2, 3, 3.6 公厘/工件每转，情况正常，齿形公差 ± 0.05 ，比上次较好，光洁度 $\nabla \nabla 5$ ，全部粗精加工时间共为 2 小时(用普通滚刀 4 小时)提高效率 1 倍。

根据试验结果经过技术鉴定认为合格，可以直接投入生产。

耐用程度：切削 5 只齿轮进行刃磨，(一般滚刀也只切削 3~4 齿轮)不过钝的程度较大，切削 4 只齿轮较为合适。

(六) 结论

根据我厂试验结果，证实用“小压力角胜利滚刀”大走刀来精加工齿轮完全有可能，这样就为提高滚齿生产率打开一条新的道路，虽然有以上的缺点，但仍值得推广，尤其是在齿数范围变动较少、批量较多的生产单位。

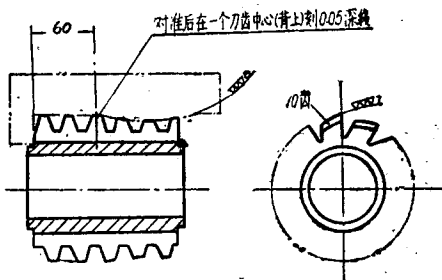


图 11

進 步 滾 刀

我厂产品中的齒輪大都系模數較大，齒數較多，每只齒輪需經過粗、精兩次加工。加工每只齒輪所耗費的工時往往達數十小時，非但效率低、成本高，並且影響生產計劃的均衡性。

因此，我廠在蘇聯先進經驗的啟發下，設計成功了進步滾刀。試驗證明，這種滾刀效果良好（提高效率5倍以上），確可廣泛地應用於生產上。

（一）進步滾刀的理論基礎

一般滾刀的每個刀齒有它的頂刀和側刀兩部分，在切削刃長度方面來看頂刀占的比例不大，但切削負荷却很重，這我們可從圖1中看出，頂刀B部分是切削負荷最重的地方，因此在我們設計新的高生產率齒輪滾刀時，允許只考慮頂刀部分的負荷，而忽略刀口長度很大，負荷較小的側刀工作情況。

基於這個基礎，下面我們來看一下一般滾刀逆銑齒輪時的工作接觸情況，如圖2所示。

我們知道一個圓柱體齒輪和一個圓柱體滾刀斜一個螺旋角相交，它的接觸帶一定是一個曲線（即圖上的陰影部分）。

如果變更進刀量，它的接觸帶長短也有所變動，在圖2中所示逆銑時接觸帶部分 TT_1 的長度為 L ，此時進刀量為 S ，如果把進刀量降低為 $S_1 = \frac{S}{2}$ 時，這時接觸帶長度成了 L_1 ，它比 L 要小，但並沒有減少一半，這就意味着如果我們把走刀量加大一倍，毛坯每轉所切下的金屬體積也增加，