

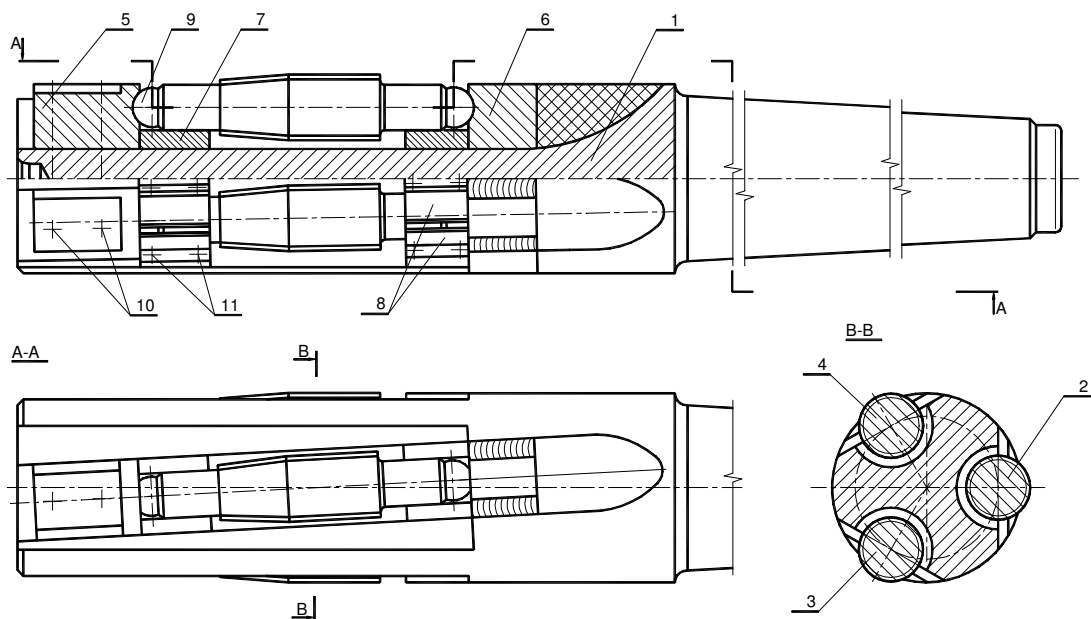
S. Okoński

Konstrukcja głowic do walcowania lub nagniatania gwintów wewnętrznych i technologia obróbki

1. Rozwiązanie konstrukcyjne głowic do walcowania lub nagniatania gwintów wewnętrznych

1.1. Schemat konstrukcyjny głowicy

Przedstawiona w dalszym ciągu konstrukcja głowic do walcowania lub nagniatania gwintów wewnętrznych jest wzorowana na rozwiązaniu będącym przedmiotem patentu [12]. Odpowiedni schemat konstrukcji głowicy (patent PRL nr 102594, 1979, autor: S. Okoński) pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Głowica do walcowania gwintów wewnętrznych: 1 - korpus, 2, 3, 4 - rolki, 5, 6 - wkładki oporowe, 7, 8 - półpanewki ślizgowe, 9 - kulka łożyskowa, 10, 11 - wkręty mocujące

W zależności od rodzaju materiału obrabianego oraz średnicy i skoku kształtowanego gwintu, głowice wg powyższego schematu konstrukcyjnego mogą być - ze względu na ograniczoną wytrzymałość lub trwałość ich elementów (rolek, łożysk i korpusu) - wykorzystywane do:

- walcowania gwintu o pełnym zarysie wprost w otworze półwyrobu,
- walcowania gwintu wstępnie wykonanego za pomocą obróbki skrawaniem i mającego średnice mniejsze od nominalnych,

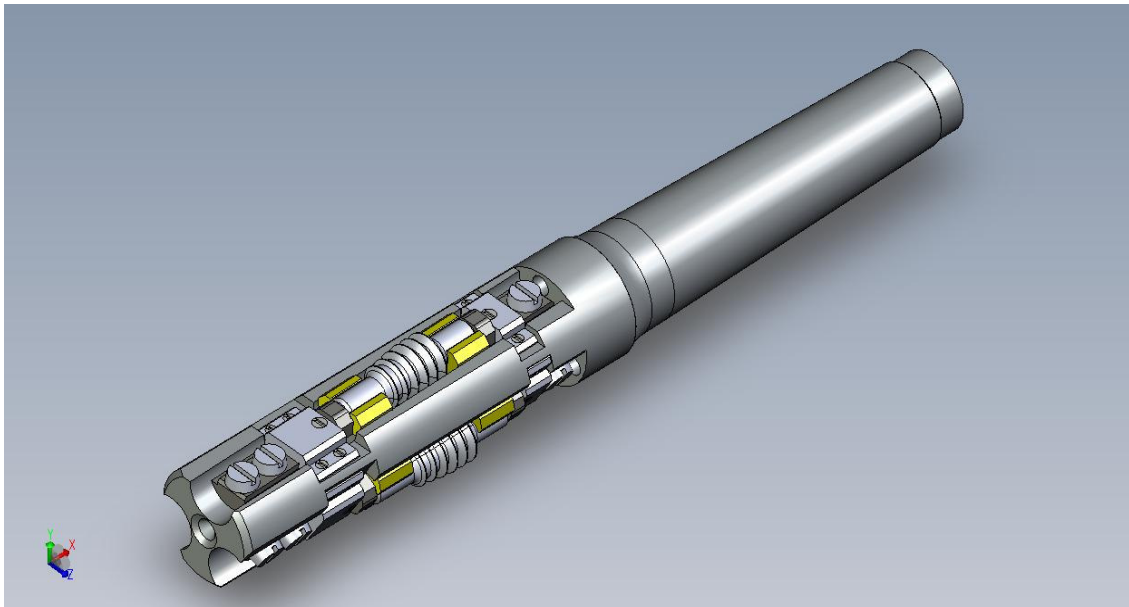
- nagniatania gwintu wstępnie wykonanego za pomocą obróbki skrawaniem, przy czym odkształceniu ulega tylko cienka warstwa materiału o grubości 0,01 – 0,1 [mm].

1.2. Modyfikacje wprowadzone do rozwiązania

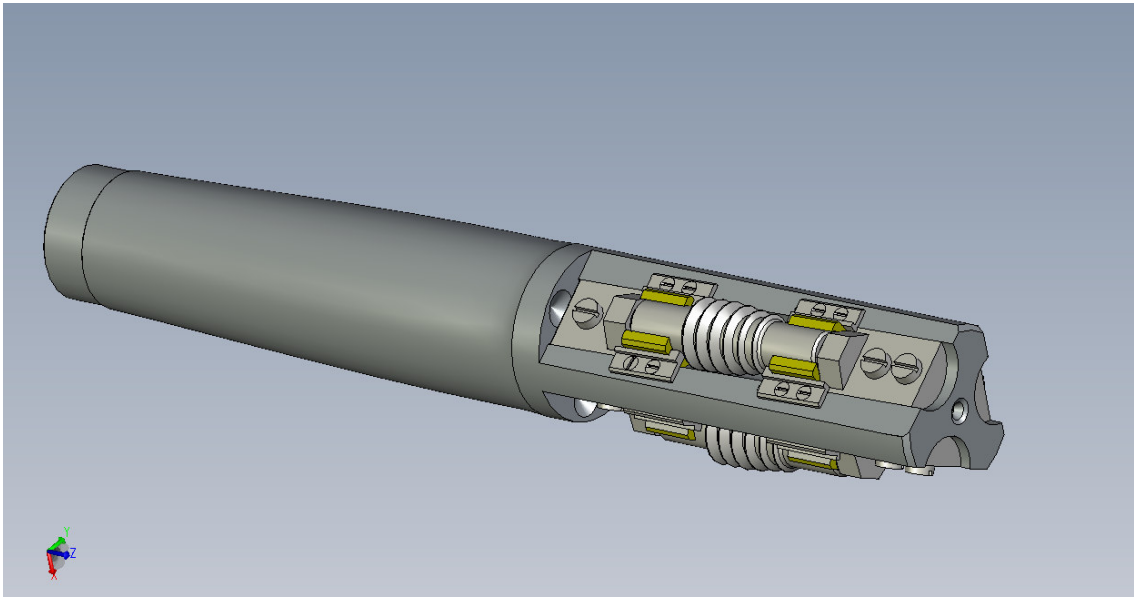
W opracowanym rozwiązaniu wprowadzono – względem opatentowanego – następujące modyfikacje:

- półpanewki dzielone zastąpiono panewkami jednolitymi otwartymi,
- panewki są ustalane i mocowane do korpusu za pośrednictwem specjalnych nakładek i wkrętów,
- wszystkie elementy łożyskowania (panewki, wkładki odporowe, nakładki) są mocowane do korpusu rozłącznie za pomocą wkrętów (nie stosuje się lutowania lub klejenia).

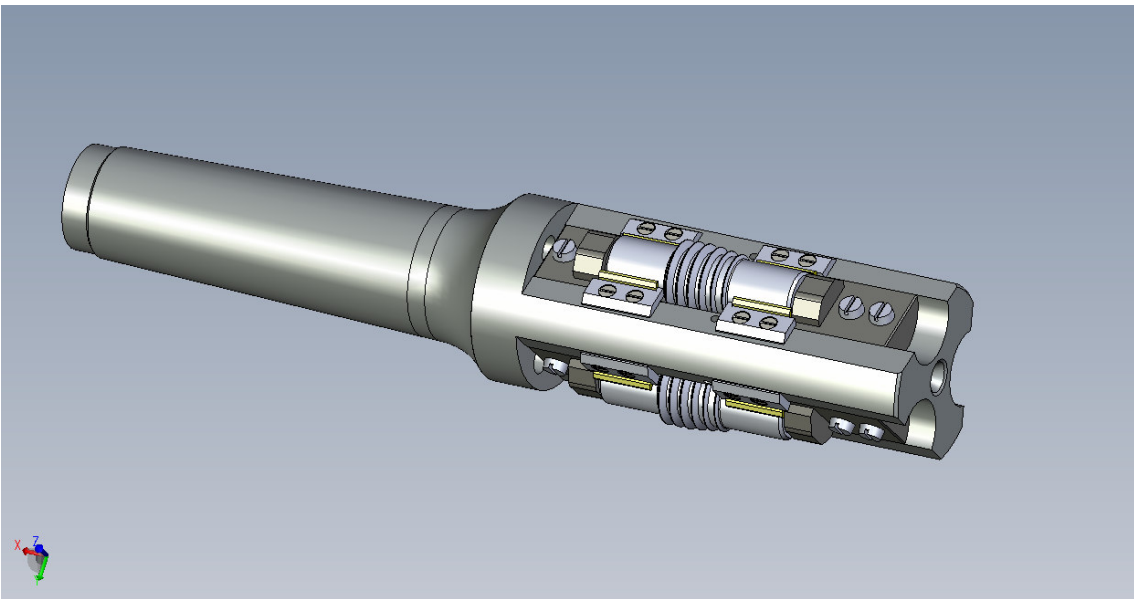
Modele przestrzenne głowic pokazano na rys. 2 – 4. Rys. 5 przedstawia głowicę wykonaną w Zakładzie Narzędziowym WSK „PZL – Rzeszów”.



Rys. 2. Model głowicy do gwintów M24 [6]



Rys. 3. Model głowicy do gwintów M36 [6]



Rys. 4. Model głowicy do gwintów M68 [6]



Rys. 5. Głowica wykonana w Zakładzie Narzędziowym WSK „PZL – Rzeszów”.

1.3. Główne wymiary głowic oraz ich elementów

Średnice d , d_2 i d_1 głowicy oraz wymiary a_w i a_d zarysu (rys.6 i 7). Do obliczania średnic d (zewnętrznej), d_2 (podziałowej) i d_1 (wewnętrznej) proponuje się następujące zależności:

$$d = (D + 0,15P)_{-T_d} \quad (1)$$

$$d_2 = (D_2 + T_{D_2})_{-T_{d_2}} \quad (2)$$

$$d_1 = (D_1)_{-T_{d_1}} \quad (3)$$

Wymiary a_w i a_d określają wzory:

$$a_w = \frac{P}{2} - (d - d_2) \operatorname{tg} \alpha \quad (4)$$

$$a_d = \frac{P}{2} - (d_2 - d_1) \operatorname{tg} \alpha \quad (5)$$

gdzie: D , D_2 , D_1 – odpowiednie średnice gwintu walcowanego (nominalna, podziałowa i wewnętrzna), P – skok gwintu, T – odpowiednie tolerancje, α – połowa kąta wierzchołkowego. Wzajemne położenie pól tolerancji średnic d , d_2 i d_1 oraz D , D_2 i D_1 pokazano na rys. 7.

Średnice d_r , d_{2r} i d_{1r} oraz odległość c osi rolki od osi głowicy. Wymiary te oblicza się, przyjmując:

$$d_r \approx \beta d \quad (6)$$

(współczynnik $\beta \approx 0,35 \div 0,37$ – wg [10]).

$$c = \frac{d - d_r}{2} \quad (7)$$

$$d_{2r} = d_2 - 2c \quad (8)$$

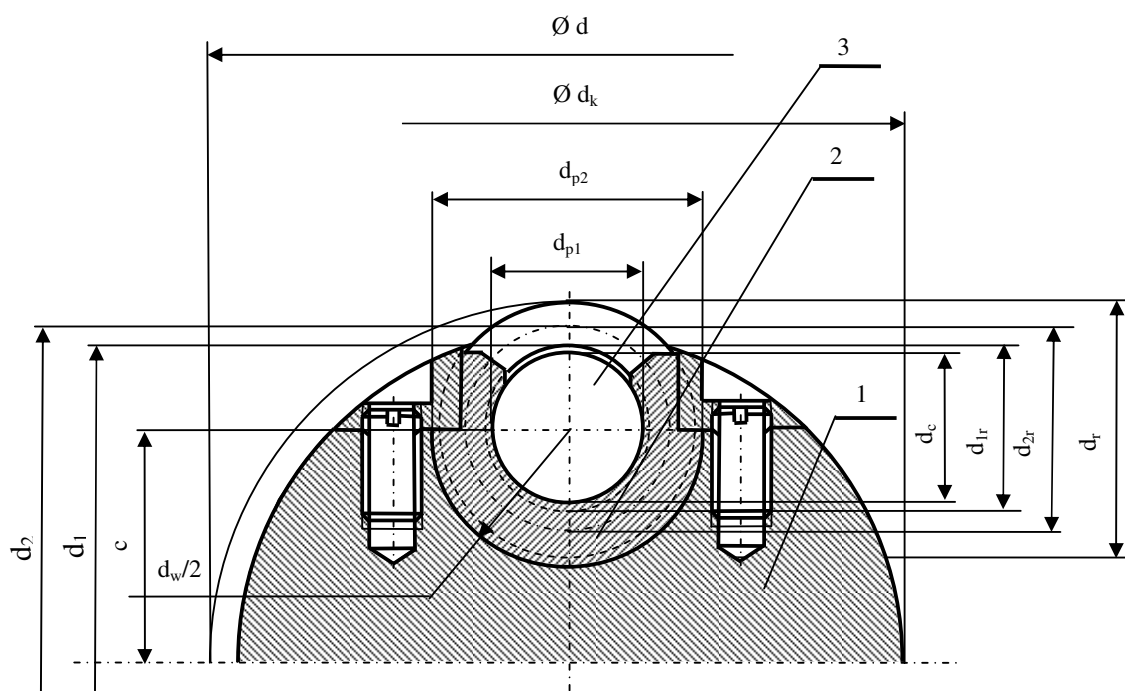
$$d_{1r} \leq d_r - d + d_1 \quad (9)$$

Analiza wymiarów elementów głowicy. Analizę w celu ustalenia tolerancji wymiarów rolki, wycięcia w korpusie oraz panewki przeprowadza się na podstawie zależności (rys. 6 i 8):

$$Ad_2 = 2Ac - Bd_w + Ad_{p2} - Bd_{p1} + Ad_c + Ad_{2r} \quad (10)$$

$$Bd_2 = 2Bc - Ad_w + Bd_{p2} - Ad_{p1} + Bd_c + Bd_{2r} \quad (11)$$

$$T_{d_2} = \sum T_i = 2T_c + T_{d_w} + T_{d_{p2}} + T_{d_{p1}} + T_{d_c} + T_{d_{2r}} \quad (12)$$



Rys. 6. Schemat łożyskowania promieniowego rolki głowicy: 1 – korpus, 2 – panewka ślizgowa, 3 – czop rolki

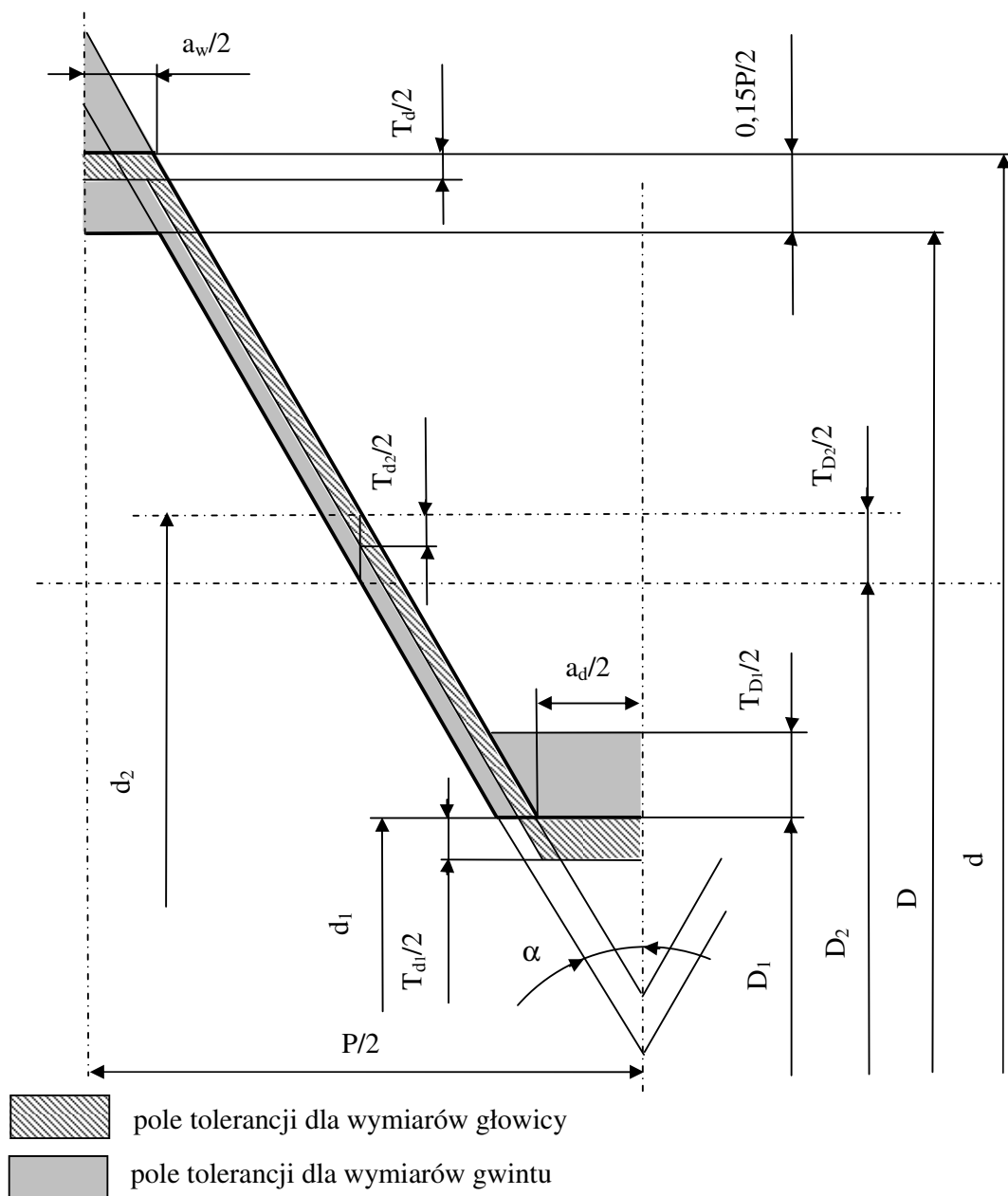
gdzie literami A i B oznaczono odpowiednio maksymalne i minimalne wartości poszczególnych wymiarów (rys. 6 i 8), a literą T – ich tolerancje. Tolerancja średnic dla głowicy jest równa sumie tolerancji sześciu wymiarów składowych. Oczywiście musi być spełniony warunek:

$$\sum T_i + \delta < T_{D_2} \quad (13)$$

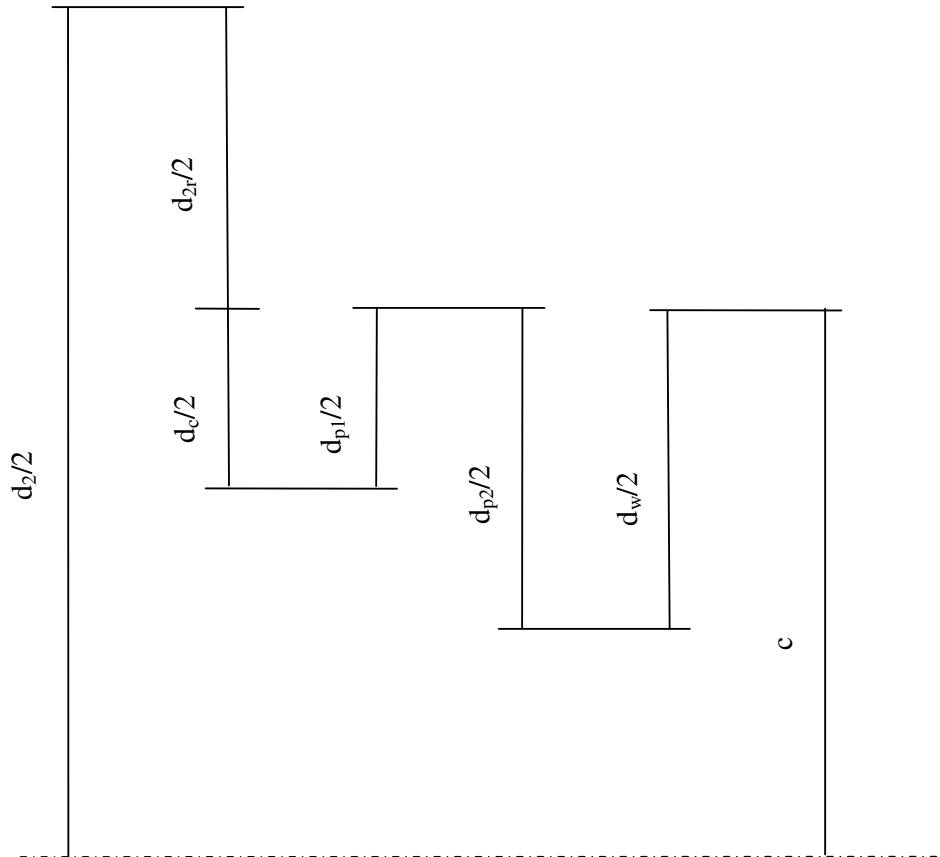
gdzie δ oznacza zmniejszenie średnicy D_2 po wyjściu narzędzia z otworu wskutek odkształceń sprężystych. Różnica:

$$Z = T_{D_2} - \sum T_i - \delta > 0 \quad (14)$$

stanowi zapas na zużycie (wymiary d , d_2 i d_1 głowicy w czasie pracy zmniejszają się, co jest wynikiem ścierania powierzchni roboczych i czopów rolek oraz panewek łożysk ślizgowych). Wartość δ należy wyznaczyć doświadczalnie. Przy dużych wartościach δ warunek (14) może nie być spełniony (Z może być mniejsze od zera). W takim przypadku konieczna staje się modyfikacja wzoru (2), polegająca na dodaniu do wyznaczonej średnicy podziałowej d_2 głowicy odpowiedniej poprawki.



Rys. 7. Wzajemne położenie pól tolerancji średnic gwintu i głowicy (bez uwzględnienia odkształceń sprężystych)



Rys. 8. Rysunek pomocniczy do przeprowadzenia analizy wymiarów elementów głowicy

Konstrukcja części wejściowych rolek. Wysokości wierzchołków zarysu części wejściowych rolek zostały zaprojektowane z wykorzystaniem warunku jednakowej powierzchni materiału, odkształcanej przez te wierzchołki. Wobec tego kolejne powierzchnie przekrojów f_i ($i = 1 \div n$) ponad średnicą D_0 otworu pod gwint (rys. 9) spełniają związki:

$$f_n = n f_1 \quad (15)$$

$$f_i = (a_w + x_i) h_i \quad (16)$$

$$x_i = h_i \operatorname{tg} \alpha \quad (17)$$

$$h_n = \frac{d - D_0}{2} \quad (18)$$

Wykorzystując powyższe wzory otrzymujemy równania, z których wyznacza się kolejne wysokości h_i :

- dla $i = 1$:

$$n(a_w + h_1 \operatorname{tg} \alpha) h_1 = \left(a_w + \frac{d - D_0}{2} \operatorname{tg} \alpha \right) \frac{d - D_0}{2} \quad (19)$$

dla $i = 2, \dots, n$:

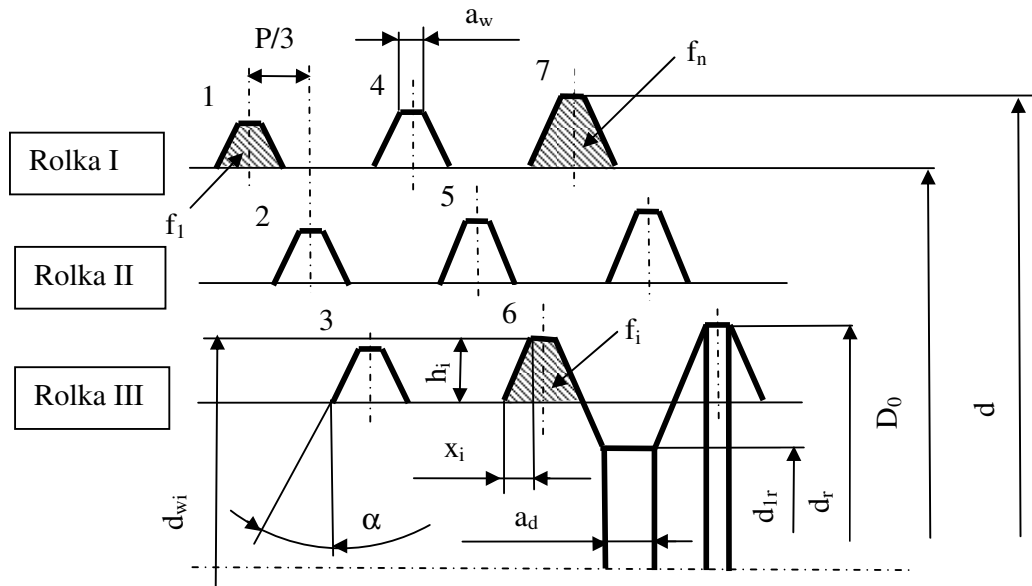
$$i(a_w + h_i \operatorname{tg} \alpha)h_i = h_i(a_w + h_i \operatorname{tg} \alpha) \quad (20)$$

przy czym a_w i a_d wyznacza się z (4) i (5). Średnice kolejnych wierzchołków części wejściowych zarysu rolek oblicza się ze wzoru:

$$d_{wi} = D_0 - 2(c - h_i) \quad (21)$$

Dodatkowo, aby uniknąć asymetrii obciążenia głowicy (zginania korpusu) podczas wejścia pierwszej rolki do otworu dodaje się na początku części roboczej każdej z rolek dodatkowy wierzchołek pilotujący o średnicy d_{w0} :

$$d_{w0} = D_0 - 2c \quad (22)$$



Rys. 9. Zarysy części wejściowych kolejnych rolek dla $n = 7$ (d , D_0 – średnice: nominalna głowicy i otworu pod gwint, d_r – średnica zewnętrzna rolki, d_{lr} – średnica rdzenia rolki, P – skok gwintu, α – połowa kąta wierzchołkowego gwintu)

Liczba wierzchołków zarysu części roboczej rolek. Po dodaniu wierzchołka pilotującego całkowita liczba wierzchołków wyraża się wzorem:

$$z = z_w + z_k + 1 \quad (23)$$

przy czym liczba wierzchołków części wejściowej z_w wynosi:

- dla $n = 4$: $z_w = 1$,
- dla $n = 7$: $z_w = 2$,
- dla $n = 10$: $z_w = 3$.

z_k oznacza liczbę wierzchołków części kalibrującej (o średnicy d_r); pomiędzy liczbą n a liczbą wierzchołków części wejściowej z_w istnieje związek:

$$n = 3z_w + 1 \quad (24)$$

Promień przejścia pomiędzy czopem i ostatnim lub pierwszym wierzchołkiem zarysu części roboczej rolki oraz jej długość całkowita. Promień przejścia R oraz odległości: x_1 , x_2 i x_2' (po drugiej stronie rolki) wyznacza się ze wzorów (rys. 10):

$$R \leq \frac{d_{1r} - d_c}{2(1 - \sin \alpha)} \quad (25)$$

lub, dla $\alpha = 30^\circ$:

$$R \leq d_{1r} - d_c \quad (26)$$

$$x_1 = R \cos \alpha \quad (27)$$

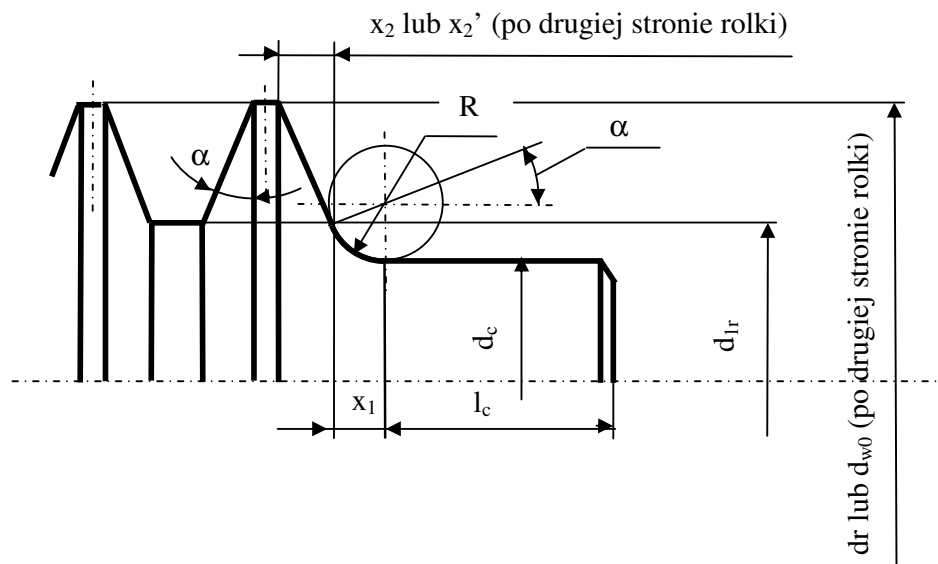
$$x_2 = \left[\frac{d_r - d_c}{2} - R(1 - \sin \alpha) \right] \operatorname{tg} \alpha \quad (28)$$

$$x_2' = \left[\frac{d_{w0} - d_c}{2} - R(1 - \sin \alpha) \right] \operatorname{tg} \alpha \quad (29)$$

Całkowita długość rolki wynosi:

$$L_r = 2(x_1 + l_c) + x_2 + x_2' + a_w + (z - 1)P \quad (30)$$

gdzie z jest liczbą wierzchołków zarysu części roboczej.



Rys. 10. Promień R przejścia pomiędzy czopem i pierwszym lub ostatnim zwojem części roboczej rolki

Średnica korpusu głowicy d_k . Ze względów wytrzymałościowych średnica korpusu głowicy winna być jak największa, jednak mniejsza od średnicy D_1 .

Kąty skrećenia osi rolek. Kąty skrećenia osi rolek w płaszczyźnie równoległej do osi głowicy względem rzutu osi obrotu głowicy na tę płaszczyznę winny być zbliżone do kąta τ wzniosu linii śrubowej gwintu:

$$\tau = \arctg \frac{P}{\pi D_2} \quad (31)$$

Przykładowe wyniki obliczeń dla głowic do walcowania gwintów. Średnice gwintów metrycznych M24 wraz z tolerancjami oraz odpowiednie średnice d (głowic) podano w tab. 1, główne wymiary głowic i rolek dla gwintów M24, M36 oraz M68 i wybranych skoków - w tab. 2 - 4. Tab. 5 zawiera wyniki analizy wymiarów dla głowicy M24x3 (przyjęto $d_w = 9,5$ [mm], $d_c = 5$ [mm]). Przykładowe wyniki obliczeń części wejściowych rolek do walcowania gwintów metrycznych M24, M36 i M68 (dla $n = 4, 7$ i 10 oraz wybranych skoków) zestawiono w tab. 6 - 14. Odpowiednie kąty wzniosu linii śrubowych gwintów M24, M36 i M68 podano w tab. 15.

Tabela 1

Wymiary i tolerancje gwintów M24 oraz średnice nominalne d głowic						
Oznaczenie gwintu	Szereg tolerancji	D_1 [mm]	T_{D_1} [mm]	D_2 [mm]	T_{D_2} [mm]	d [mm]
M24x3	-	20,752	-	22,051	-	24,45
	4H		0,315		0,170	
	6H		0,500		0,265	
	8H		0,800		0,425	
M24x2	-	21,835	-	22,701	-	24,3
	4H		0,236		0,140	
	6H		0,375		0,224	
	8H		0,600		0,355	
M24x1,5	-	22,376	-	23,026	-	24,225
	4H		0,190		0,125	
	6H		0,300		0,200	
	8H		0,475		0,315	
M24x1	-	22,917	-	23,350	-	24,15
	4H		0,150		0,106	
	6H		0,236		0,170	
	8H		0,375		-	
M24x0,75	-	23,188	-	23,513	-	24,113
	4H		0,118		0,095	
	6H		0,190		0,150	

Tabela 2

Główne wymiary rolek i głowic M24x3, M24x2 oraz M24x1				
Lp	Wymiar	M24x3	M24x2	M24x1
		Wartość nominalna [mm]		
1	d	24,45	24,30	24,15
2	d ₂	22,221	22,841	23,456
3	d ₁	20,752	21,835	22,917
4	d _r	8,95	8,80	8,65
5	c	7,75	7,75	7,75
6	d _w , d _{p2}	9,5	9,5	9,5
7	d _{2r}	6,721	7,341	7,956
8	d _{1r}	5,252	6,335	7,417
9	d _c , d _{p1}	5	5	5
10	d _k	22	22	22
11	a _w	0,213	0,158	0,099
12	a _d	0,652	0,419	0,188
13	d _r /d	0,366	0,362	0,358

Tabela 3

Główne wymiary rolek i głowic M36x3, M36x2 oraz M36x1				
Lp	Wymiar	M36x3	M36x2	M36x1
		Wartość nominalna [mm]		
1	d	36,45	36,30	36,15
2	d ₂	34,221	34,841	35,456
3	d ₁	32,752	33,835	34,917
4	d _r	13,45	13,30	13,15
5	c	11,5	11,5	11,5
6	d _w , d _{p2}	14	14	14
7	d _{2r}	11,221	11,841	12,456
8	d _{1r}	9,752	10,835	11,917
9	d _c , d _{p1}	9	9	9
10	d _k	32	32	32
11	a _w	0,213	0,158	0,099
12	a _d	0,652	0,419	0,188
13	d _r /d	0,369	0,366	0,364

Tabela 4

Główne wymiary rolek i głowic M68x4, M68x3 oraz M68x2				
Lp	Wymiar	M68x4	M68x3	M68x2
		Wartość nominalna [mm]		
1	d	68,6	68,45	68,3
2	d ₂	65,602	66,231	66,852
3	d ₁	63,67	64,752	65,835
4	d _r	25,2	25,05	24,9
5	c	21,7	21,7	21,7
6	d _w , d _{p2}	26	26	26
7	d _{2r}	22,202	22,831	23,452
8	d _{1r}	20,27	21,352	22,435
9	d _c , d _{p1}	20	20	20
10	d _k	32	32	32
11	a _w	0,269	0,219	0,164
12	a _d	0,885	0,646	0,413
13	d _r /d	0,367	0,366	0,365

Tabela 5

Wymiary i tolerancje elementów głowicy M24x3			
Wymiar		Odchyłki [mm]	Tolerancje [mm]
c	7,75 h7	0 -0,015	0,015
d _w	Ø 9,5 H7	+0,015 0	0,015
d _{p2}	Ø 9,5 j6	+0,007 -0,002	0,009
d _{p1}	Ø 5 H7	+0,012 0	0,012
d _c	Ø 5 f7	-0,010 -0,022	0,012
d _{2r}	Ø 7,341h7	0 -0,015	0,015
Suma tolerancji: $2T_c + T_{d_w} + T_{d_{p2}} + T_{d_{p1}} + T_{d_c} + T_{d_{2r}}$			0,093
Średnica podziałowa gwintu M24x3 (szereg tolerancji: 4H)			
D ₂	Ø 22,051	+0,140 0	0,140

Tabela 6

Wysokości h_i wierzchołków ponad średnicą otworu pod gwint, odpowiednie pola przekrojów f_i oraz średnice d_{wi} kolejnych wierzchołków zarysu części wejściowych rolek			
$n = 4, z_w = 1$			
i	h_i [mm]	f_i [mm ²]	d_{wi} [mm]
1	0,451	0,213	7,761
2	0,695	0,427	8,249
3	0,885	0,640	8,628
4	1,046	0,854	8,950
$n = 7, z_w = 2$			
1	0,311	0,122	7,481
2	0,491	0,244	7,841
3	0,633	0,366	8,124
4	0,753	0,488	8,365
5	0,860	0,610	8,578
6	0,956	0,732	8,772
7	1,046	0,854	8,950
$n = 10, z_w = 3$			
1	0,242	0,085	7,343
2	0,390	0,171	7,639
3	0,507	0,256	7,872
4	0,606	0,342	8,072
5	0,695	0,427	8,249
6	0,775	0,512	8,410
7	0,850	0,598	8,558
8	0,919	0,683	8,696
9	0,984	0,768	8,827
10	1,046	0,854	8,950
Gwint: M24x3, P = 3 [mm], $\alpha = 30$ [°] Wymiary głowicy: $d = 24,45$ [mm], $d_2 = 22,251$ [mm], $d_1 = 20,752$ [mm], $c = 7,75$ [mm], średnica pod gwint: $D_0 = 22,359$ [mm] (tab. 2, 16)			

Tabela 7

Wysokości h_i wierzchołków ponad średnicą otworu pod gwint, odpowiednie pola przekrojów f_i oraz średnice d_{wi} kolejnych wierzchołków zarysu części wejściowych rolek			
$n = 4, z_w = 1$			
i	h_i [mm]	f_i [mm ²]	d_{wi} [mm]
1	0,294	0,096	8,006
2	0,456	0,192	8,331
3	0,583	0,288	8,585
4	0,691	0,384	8,800
$n = 7, z_w = 2$			
1	0,201	0,055	7,820
2	0,320	0,110	8,060
3	0,415	0,164	8,248
4	0,495	0,220	8,409
5	0,566	0,274	8,551
6	0,631	0,329	8,681
7	0,691	0,384	8,800
$n = 10, z_w = 3$			
1	0,155	0,038	7,730
2	0,253	0,077	7,925
3	0,331	0,115	8,080
4	0,397	0,154	8,213
5	0,456	0,192	8,331
6	0,510	0,230	8,439
7	0,559	0,269	8,538
8	0,606	0,307	8,630
9	0,649	0,346	8,717
10	0,691	0,384	8,800
Gwint: M24x2, P = 2 [mm], $\alpha = 30$ [°] Wymiary głowicy: $d = 24,30$ [mm], $d_2 = 22,841$ [mm], $d_1 = 21,835$ [mm], $c = 7,75$ [mm], średnica pod gwint: $D_0 = 22,919$ [mm] (tab. 2, 16)			

Tabela 8

Wysokości h_i wierzchołków ponad średnicą otworu pod gwint, odpowiednie pola przekrojów f_i oraz średnice d_{wi} kolejnych wierzchołków zarysu części wejściowych rolek			
$n = 4, z_w = 1$			
i	h_i [mm]	f_i [mm ²]	d_{wi} [mm]
1	0,101	0,066	8,183
2	0,187	0,132	8,356
3	0,264	0,199	8,510
4	0,334	0,265	8,650
$n = 7, z_w = 2$			
1	0,060	0,038	8,100
2	0,114	0,076	8,209
3	0,164	0,114	8,308
4	0,210	0,151	8,401
5	0,254	0,189	8,489
6	0,295	0,227	8,571
7	0,334	0,265	8,650
$n = 10, z_w = 3$			
1	0,070	0,010	8,121
2	0,117	0,020	8,215
3	0,155	0,029	8,292
4	0,188	0,039	8,357
5	0,217	0,049	8,416
6	0,244	0,059	8,469
7	0,269	0,068	8,519
8	0,292	0,078	8,565
9	0,314	0,088	8,609
10	0,335	0,098	8,650
Gwint: M24x1, P = 1 [mm], $\alpha = 30$ [°] Wymiary głowicy: $d = 24,15$ [mm], $d_2 = 23,456$ [mm], $d_1 = 22,917$ [mm], $c = 7,75$ [mm], średnica pod gwint: $D_0 = 23,481$ [mm] (tab. 2, 16)			

Tabela 9

Wysokości h_i wierzchołków ponad średnicą otworu pod gwint, odpowiednie pola przekrojów f_i oraz średnice d_{wi} kolejnych wierzchołków zarysu części wejściowych rolek			
$n = 4, z_w = 1$			
i	h_i [mm]	f_i [mm ²]	d_{wi} [mm]
1	0,453	0,215	12,256
2	0,698	0,430	12,746
3	0,889	0,646	13,127
4	1,051	0,861	13,450
$n = 7, z_w = 2$			
1	0,313	0,123	11,974
2	0,494	0,246	12,337
3	0,636	0,369	12,621
4	0,757	0,492	12,863
5	0,864	0,615	13,077
6	0,961	0,738	13,271
7	1,051	0,861	13,450
$n = 10, z_w = 3$			
1	0,243	0,086	11,836
2	0,392	0,172	12,133
3	0,509	0,258	12,368
4	0,610	0,344	12,568
5	0,698	0,430	12,746
6	0,779	0,517	12,907
7	0,854	0,603	13,056
8	0,932	0,698	13,195
9	0,989	0,775	13,326
10	1,051	0,861	13,450
Gwint: M36x3, P = 3 [mm], $\alpha = 30$ [°] Wymiary głowicy: $d = 36,45$ [mm], $d_2 = 34,221$ [mm], $d_1 = 32,752$ [mm], $c = 11,5$ [mm], średnica pod gwint: $D_0 = 34,349$ [mm] (tab. 3, 17)			

Tabela 10

Wysokości h_i wierzchołków ponad średnicą otworu pod gwint, odpowiednie pola przekrojów f_i oraz średnice d_{wi} kolejnych wierzchołków zarysu części wejściowych rolek			
$n = 4, z_w = 1$			
i	h_i [mm]	f_i [mm ²]	d_{wi} [mm]
1	0,295	0,097	12,504
2	0,458	0,193	12,830
3	0,585	0,290	13,084
4	0,693	0,386	13,300
$n = 7, z_w = 2$			
1	0,210	0,055	12,318
2	0,321	0,110	12,558
3	0,416	0,165	12,747
4	0,497	0,221	12,908
5	0,568	0,276	13,051
6	0,633	0,331	13,181
7	0,639	0,386	13,300
$n = 10, z_w = 3$			
1	0,156	0,039	12,227
2	0,254	0,077	12,423
3	0,332	0,116	12,578
4	0,398	0,154	12,712
5	0,458	0,193	12,830
6	0,511	0,232	12,938
7	0,561	0,270	13,037
8	0,607	0,309	13,130
9	0,651	0,347	13,217
10	0,693	0,386	13,300
Gwint: M36x2, P = 2 [mm], $\alpha = 30$ [°] Wymiary głowicy: $d = 36,30$ [mm], $d_2 = 34,841$ [mm], $d_1 = 33,835$ [mm], $c = 11,5$ [mm], średnica pod gwint: $D_0 = 34,915$ [mm] (tab. 3, 17)			

Tabela 11

Wysokości h_i wierzchołków ponad średnicą otworu pod gwint, odpowiednie pola przekrojów f_i oraz średnice d_{wi} kolejnych wierzchołków zarysu części wejściowych rolek			
$n = 4, z_w = 1$			
i	h_i [mm]	f_i [mm ²]	d_{wi} [mm]
1	0,137	0,025	12,755
2	0,218	0,049	12,912
3	0,281	0,074	13,042
4	0,335	0,098	13,150
$n = 7, z_w = 2$			
1	0,092	0,014	12,664
2	0,150	0,028	12,781
3	0,197	0,042	12,874
4	0,237	0,056	12,954
5	0,273	0,070	13,026
6	0,305	0,084	13,090
7	0,335	0,098	13,150
$n = 10, z_w = 3$			
1	0,070	0,010	12,620
2	0,117	0,020	12,715
3	0,156	0,029	12,791
4	0,188	0,039	12,857
5	0,218	0,049	12,916
6	0,245	0,059	12,969
7	0,269	0,068	13,019
8	0,293	0,078	13,065
9	0,314	0,088	13,109
10	0,335	0,098	13,150
Gwint: M36x1, P = 1 [mm], $\alpha = 30$ [°] Wymiary głowicy: $d = 36,15$ [mm], $d_2 = 35,456$ [mm], $d_1 = 34,917$ [mm], $c = 11,5$ [mm], średnica pod gwint: $D_0 = 35,350$ [mm] (tab. 3, 17)			

Tabela 12

Wysokości h_i wierzchołków ponad średnicą otworu pod gwint, odpowiednie pola przekrojów f_i oraz średnice d_{wi} kolejnych wierzchołków zarysu części wejściowych rolek			
$n = 4, z_w = 1$			
i	h_i [mm]	f_i [mm ²]	d_{wi} [mm]
1	0,615	0,383	23,602
2	0,943	0,767	24,259
3	1,198	1,150	24,768
4	1,414	1,534	25,200
$n = 7, z_w = 2$			
1	0,426	0,219	23,224
2	0,669	0,438	23,711
3	0,859	0,657	24,091
4	1,021	0,877	24,415
5	1,164	1,096	24,701
6	1,294	1,315	24,961
7	1,414	1,534	25,200
$n = 10, z_w = 3$			
1	0,333	0,153	23,038
2	0,532	0,307	23,438
3	0,690	0,460	23,752
4	0,824	0,614	24,021
5	0,943	0,767	24,259
6	1,051	0,920	24,475
7	1,150	1,074	24,674
8	1,243	1,227	24,860
9	1,331	1,381	25,035
10	1,414	1,534	25,200
Gwint: M68x4, P = 4 [mm], $\alpha = 30$ [°] Wymiary głowicy: $d = 68,60$ [mm], $d_2 = 65,602$ [mm], $d_1 = 63,670$ [mm], $c = 21,7$ [mm], średnica pod gwint: $D_0 = 65,773$ [mm] (tab. 4, 18)			

Tabela 13

Wysokości h_i wierzchołków ponad średnicą otworu pod gwint, odpowiednie pola przekrojów f_i oraz średnice d_{wi} kolejnych wierzchołków zarysu części wejściowych rolek			
$n = 4, z_w = 1$			
i	h_i [mm]	f_i [mm ²]	d_{wi} [mm]
1	0,452	0,217	23,602
2	0,698	0,434	24,259
3	0,889	0,651	24,768
4	1,052	0,868	25,200
$n = 7, z_w = 2$			
1	0,311	0,124	23,570
2	0,493	0,248	23,933
3	0,635	0,372	24,218
4	0,757	0,496	24,461
5	0,864	0,620	24,675
6	0,917	0,744	24,870
7	1,052	0,868	25,050
$n = 10, z_w = 3$			
1	0,242	0,087	23,431
2	0,391	0,174	23,729
3	0,508	0,261	23,964
4	0,609	0,347	24,165
5	0,698	0,434	24,343
6	0,779	0,521	24,505
7	0,854	0,608	24,655
8	0,924	0,695	24,794
9	0,989	0,782	24,926
10	1,052	0,868	25,050
Gwint: M68x3, P = 3 [mm], $\alpha = 30$ [°] Wymiary głowicy: $d = 68,45$ [mm], $d_2 = 66,231$ [mm], $d_1 = 64,752$ [mm], $c = 21,7$ [mm], średnica pod gwint: $D_0 = 66,347$ [mm] (tab. 4, 18)			

Tabela 14

Wysokości h_i wierzchołków ponad średnicą otworu pod gwint, odpowiednie pola przekrojów f_i oraz średnice d_{wi} kolejnych wierzchołków zarysu części wejściowych rolek			
n = 4, $z_w = 1$			
i	h_i [mm]	f_i [mm ²]	d_{wi} [mm]
1	0,292	0,097	24,103
2	0,456	0,194	24,429
3	0,583	0,292	24,684
4	0,691	0,389	24,900
n = 7, $z_w = 2$			
1	0,199	0,056	23,916
2	0,319	0,111	24,156
3	0,414	0,167	24,346
4	0,495	0,222	24,507
5	0,566	0,278	24,650
6	0,631	0,333	24,780
7	0,691	0,389	24,900
n = 10, $z_w = 3$			
1	0,154	0,039	23,826
2	0,252	0,078	24,021
3	0,329	0,117	24,177
4	0,396	0,156	24,310
5	0,456	0,194	24,429
6	0,509	0,233	24,537
7	0,559	0,272	24,637
8	0,606	0,311	24,730
9	0,650	0,350	24,817
10	0,691	0,389	24,900
Gwint: M68x2, P = 2 [mm], $\alpha = 30$ [°] Wymiary głowicy: d = 68,30 [mm], $d_2 = 66,852$ [mm], $d_1 = 65,835$ [mm], c = 21,7 [mm], średnica pod gwint: $D_0 = 66,918$ [mm] (tab. 4, 18)			

Tabela 15

Kąty τ wzniosu linii śrubowej gwintów M24, M36 i M68			
Gwint	P [mm]	D_2 [mm]	τ [°]
M24x3	3	22,051	2°29'
M24x2	2	22,701	1°36'
M24x1,5	1,5	23,026	1°11'
M24x1	1	23,350	0°47'
M24x0,75	0,75	23,513	0°34'
M36x3	3	34,051	1°36'
M36x2	2	34,701	1°3'
M36x1	1	35,350	0°31'
M68x4	4	65,402	1°7'
M68x3	3	66,051	0°50'
M68x2	2	66,701	0°33'

2. Technologia walcowania i nagniatania

Średnica otworu półwyrobu do walcowania gwintu wewnętrznego. Średnicę otworu D_0 można wyznaczyć z warunku stałej objętości. Objętość materiału wyciśniętego przez wierzchołek zarysu narzędzia jest równa objętości utworzonego wierzchołka gwintu (rys. 11):

$$V_1 = V_2 \quad (32)$$

Objętości V_1 i V_2 pierścieni o powierzchniach przekrojów F_1 i F_2 (rys. 11) wynoszą odpowiednio:

$$V_1 = \pi(D_0 + 2s_1)F_1 \quad (33)$$

$$V_2 = \pi(D_0 - 2s_2)F_2 \quad (34)$$

Odległości s_1 i s_2 wyznaczają położenie środków ciężkości odpowiednich przekrojów. Dla gwintów metrycznych:

$$V_1 = \frac{\pi}{4}(D_0 + 2s_1)(a_w + a)(D - D_0) \quad (35)$$

$$V_2 = \frac{\pi}{4}(D_0 - 2s_2)(a_d + b)(D_0 - D_1) \quad (36)$$

Zastępując w (34) i (35) średnice gwintu (D i D_1) rzeczywistymi wymiarami głowicy (d i d_1) otrzymujemy:

$$(D_0 + 2s_1)(a_w + a)(d - D_0) = (D_0 - 2s_2)(a_d + b)(D_0 - d_1) \quad (37)$$

gdzie:

$$a = a_w + (d - D_0) \operatorname{tg}\alpha \quad (38)$$

$$b = a_d + (D_0 - d_1) \operatorname{tg}\alpha \quad (39)$$

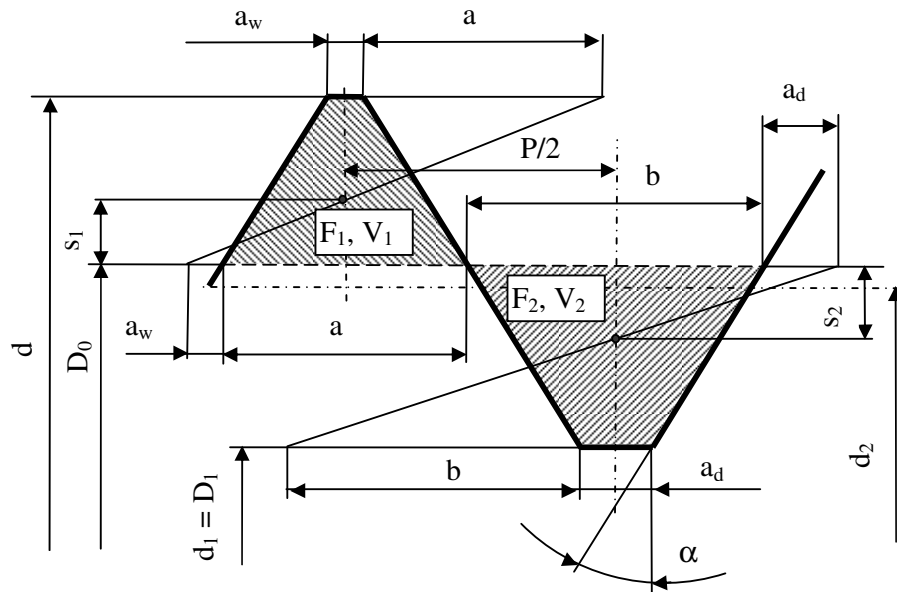
$$s_1 = \frac{(d - D_0)(a + 2a_w)}{12(a + a_w)} \quad (40)$$

$$s_2 = \frac{(D_0 - d_1)(b + 2a_d)}{6(b + a_d)} \quad (41)$$

gdzie d i d_1 są np. określone z (1) i (3). Związek (37) po uwzględnieniu (38) – (41) pozwala na wyznaczenie poszukiwanej średnicy otworu pod gwint (D_0). Jeżeli przyjmiemy, że wymiary głowicy odpowiadają dokładnie wymiarom nominalnym gwintu ($d = D$, $d_1 = D_1$, $a_w = P/8$, $a_d = P/4$), to:

$$D_0 = \sqrt{\frac{3P(D^2 + 2D_1^2) + 8\text{tg}\alpha(D^3 - D_1^3)}{3[3P + 8\text{tg}\alpha(D - D_1)]}} \quad (42)$$

Wzór (42) jest przybliżony, gdyż nie uwzględnia odkształcenia materiału w kierunku osiowym oraz odkształceń sprężystych i obowiązuje tylko dla zarysu rolek zgodnych z teoretycznym zarysem gwintu. Przykładowe wartości średnic D_0 obliczone z (37) dla rzeczywistych wymiarów głowic do gwintów metrycznych M24, M36 i M68 o różnych skokach oraz średnicach D_1 , nominalnych oraz maksymalnych dopuszczalnych ($D_{1\text{max}}$) dla szeregów tolerancji 4, 6 i 8 zestawiono w tab. 16 – 18. Odpowiednie odchyłki zawierają tab. 19 - 21.



Rys. 11. Schemat pomocniczy do obliczania średnicy półwyrobu do walcowania gwintu wewnętrznego

Tabela 16

Średnice D ₀ otworów półwyrobów pod gwinty M24							
Oznaczenie gwintu	Szereg tolerancji	D ₁ [mm]	T _{D₁} [mm]	D _{1max} [mm]	d [mm]	d ₂ ¹⁾ [mm]	D ₀ [mm]
M24x3	-	20,752	-	-	24,45	22,221	22,359
	4H		0,315	21,067			22,433
	6H		0,500	21,252			22,485
	8H		0,800	21,552			22,584
M24x2	-	21,835	-	-	24,3	22,841	22,919
	4H		0,236	22,071			22,974
	6H		0,375	22,210			23,014
	8H		0,600	22,435			23,091
M24x1,5	-	22,376	-	-	24,225	23,151	23,201
	4H		0,190	22,566			23,245
	6H		0,300	22,676			23,277
	8H		0,475	22,851			23,337
M24x1	-	22,917	-	-	24,15	23,456	23,481
	4H		0,150	23,067			23,516
	6H		0,236	23,153			23,541
	8H		0,375	23,292			23,591
M24x0,75	-	23,188	-	-	24,113	23,608	23,622
	4H		0,118	23,306			23,648
	6H		0,190	23,378			23,669

1) obliczona z (2) dla szeregu tolerancji 4H

Tabela 17

Średnice D ₀ otworów półwyrobów pod gwinty M36							
Oznaczenie gwintu	Szereg tolerancji	D ₁ [mm]	T _{D₁} [mm]	D _{1max} [mm]	d [mm]	d ₂ ¹⁾ [mm]	D ₀ [mm]
M36x3	-	32,752	-	-	36,45	34,221	34,349
	4H		0,315	33,067			34,424
	6H		0,500	33,252			34,477
	8H		0,800	33,552			34,578
M36x2	-	33,835	-	-	36,30	34,841	34,915
	4H		0,236	34,071			34,971
	6H		0,375	34,210			35,011
	8H		0,600	34,435			35,089
M36x1	-	34,917	-	-	36,15	35,456	34,480
	4H		0,150	35,630			35,515
	6H		0,236	35,716			35,540
	8H		0,375	35,855			35,591

1) obliczona z (2) dla szeregu tolerancji 4H

Tabela 18

Średnice D ₀ otworów półwyrobów pod gwinty M68							
Oznaczenie gwintu	Szereg tolerancji	D ₁ [mm]	T _{D₁} [mm]	D _{1max} [mm]	d [mm]	d ₂ ¹⁾ [mm]	D ₀ [mm]
M68x4	-	63,670	-	-	68,60	65,602	65,773
	4H		0,375	64,045			65,864
	6H		0,600	64,270			65,928
	8H		0,950	64,620			66,042
M68x3	-	64,752	-	-	68,45	66,231	66,347
	4H		0,315	65,067			66,423
	6H		0,500	65,252			66,477
	8H		0,800	65,552			66,578
M68x2	-	65,835	-	-	68,30	66,851	66,918
	4H		0,236	66,071			66,974
	6H		0,375	66,210			67,014
	8H		0,600	66,435			67,092

1) obliczona z (2) dla szeregu tolerancji 4H

Tabela 19

Odchyłki średnic półwyrobów			
Oznaczenie gwintu	Szereg tolerancji	D ₀ [mm]	Odchyłka średnicy D ₀ [mm]
M24x3	-	22,919	-
	4H		+0,074
	6H		+0,126
	8H		+0,225
M24x2	-	22,797	-
	4H		+0,057
	6H		+0,095
	8H		+0,172
M24x1,5	-	23,201	-
	4H		0,044
	6H		0,076
	8H		0,136
M24x1	-	23,481	-
	4H		+0,035
	6H		+0,060
	8H		+0,110
M24x0,75	-	23,622	-
	4H		+0,026
	6H		+0,047

Tabela 20

Odchyłki średnic półwyrobów			
Oznaczenie gwintu	Szereg tolerancji	D ₀ [mm]	Odchyłka średnicy D ₀ [mm]
M36x3	-	34,349	-
	4H		+0,076
	6H		+0,128
	8H		+0,229
M36x2	-	34,915	-
	4H		+0,056
	6H		+0,096
	8H		+0,174
M36x1	-	35,480	-
	4H		+0,035
	6H		+0,060
	8H		+0,111

Tabela 21

Odchyłki średnic półwyrobów			
Oznaczenie gwintu	Szereg tolerancji	D ₀ [mm]	Odchyłka średnicy D ₀ [mm]
M68x4	-	65,773	-
	4H		+0,091
	6H		+0,155
	8H		+0,269
M68x3	-	66,347	-
	4H		+0,076
	6H		+0,130
	8H		+0,231
M68x2	-	66,918	-
	4H		+0,056
	6H		+0,096
	8H		+0,174

Fazy w otworach. W celu łatwego wprowadzenia głowicy do otworu oraz zabezpieczenia pierwszego zwoju gwintu przed oderwaniem, a także uniknięcia wypukłości na powierzchniach czołowych krawędzie otworów winny być odpowiednio sfazowane. Zewnętrzną średnicę fazy otworu (kąt sfazowania: 45 [°]) wyznacza się ze wzoru:

$$D_f \geq D_0 + P \operatorname{tg} \alpha \quad (43)$$

Wg [7] należy przyjmować (dla stali i stopów aluminium,):

$$D_f = D_0 + 1,4 P \quad (44)$$

Minimalna grubość ścianki tulei, w której walcowany jest gwint wewnętrzny. Aby uniknąć trwałych zmian średnicy zewnętrznej tulei, w której walcowany jest gwint należy przyjmować grubości ścianek większe od wartości granicznych (g_{\min}). Wg [17]:

$$g_{\min} = 2 P \quad (45)$$

W [10] przedstawiono wyniki obliczeń, z których wynika, że dla gwintu metrycznego:

$$g_{\min} = 1,59 P \quad (46)$$

Minimalną wartość średnicy zewnętrznej tulei oblicza się ze wzoru:

$$D_{z \min} = D_0 + 2 g_{\min} \quad (47)$$

Warunki obróbki. Posuw jest równy skokowi gwintu walcowanego lub nagniatanego. Prędkość obróbki można przyjmować jak dla głowic do gwintów zewnętrznych [19]. W szczególnie trudnych warunkach pracy (przy walcowaniu gwintów o małych średnicach i dużych skokach) należy się liczyć z koniecznością zmniejszenia prędkości ze względu na trwałość łożysk ślizgowych. Ośrodek chłodząco – smarujący winien zapewnić głównie właściwe smarowanie tych łożysk. Przyjmując (średnio), że stosowana prędkość obróbki wynosi ok. 40 - 50 [m/min]¹ obliczono – dla znormalizowanych prędkości obrotowych (n) wrzecion obrabiarek – rzeczywiste prędkości obwodowe (v_g) i kątowe głowic (ω_g) oraz rolek (ω_r) oraz prędkości obwodowe na średnicach czopów rolek (v_c) (tab. 22). Parametry te mogą być przydatne przy analizie pracy i zużycia elementów głowic². Stosowano następujące wzory:

$$v_g = \frac{\pi d_2 n}{1000} \text{ [m / min]} \quad (48)$$

gdzie n – w [obr/min], d_2 – w [mm],

$$\omega_g = \frac{2v_g}{d_2} \quad (49)$$

$$\omega_r = \omega_g \frac{d_2}{d_{2r}} = \frac{2v_g}{d_{2r}} \quad (50)$$

$$v_c = v_g \frac{d_c}{d_{2r}} \quad (51)$$

¹ Prędkość obwodowa na średnicy podziałowej głowicy

² Trwałość panewek łożyskowych jest uzależniona od wartości $Pv_c/(d_c l_c)$, gdzie P jest całkowitą siłą obciążającą czop rolki o średnicy d_c i długości l_c .

Tabela 22

Prędkości kątowe i obwodowe na odpowiednich średnicach głowic i rolek ($v_g = 40 - 50$ [m/min])									
Lp	Rodzaj gwintu	d_2 [mm]	d_{2r} [mm]	d_c [mm]	n [obr/min]	v_g [m/min]	ω_g [s ⁻¹]	ω_r [s ⁻¹]	v_c [m/s]
1	M24x3	22,221	6,721	5	710	50	74,4	246	0,615
2	M24x2	22,841	7,341			51		241	0,578
3	M24x1	23,456	7,956			52		219	0,548
4	M24x3	22,221	6,721	5	560	39	58,6	194	0,485
5	M24x2	22,841	7,341			40		182	0,456
6	M24x1	23,456	7,956			41		172	0,432
7	M36x3	34,221	11,221	9	450	48	47,1	144	0,647
8	M36x2	34,841	11,841			49		139	0,624
9	M36x1	35,456	12,456			50		134	0,604
10	M36x3	34,221	11,221	9	400	43	41,9	128	0,575
11	M36x2	34,841	11,841			44		123	0,555
12	M36x1	35,456	12,456			45		119	0,537
13	M68x4	65,602	22,202	20	200	41	20,9	61,9	0,619
14	M68x3	66,231	22,831			42		60,8	0,608
15	M68x2	66,851	23,456			42		59,7	0,597

Gniot przy nagniataniu. Nagniatanie gwintów przeprowadza się po uprzednim wykonaniu (najczęściej za pomocą obróbki wiórowej) gwintu o zarysie różniącym się od ostatecznego. Gniot bezwzględny (zwany w dalszym ciągu gniotem) zdefiniujemy jako grubość warstwy g odkształcanej na bocznej powierzchni zarysu (rys. 12). Przyjmujemy, że dla skoków 1 – 3 [mm] wartości g przy nagniataniu winny zawierać się w granicach 0,01 – 0,10 [mm]. Przy wartościach większych mamy (umownie) do czynienia z walcowaniem gwintu, którego niepełny zarys został wstępnie wykonany inną metodą. Zarys gwintu przeznaczonego do nagniatania winien spełniać określone warunki. Średnica D' winna być zmniejszona względem średnicy głowicy d o wartość:

$$\Delta D = d - D' = \frac{2g}{\sin \alpha} \quad (52)$$

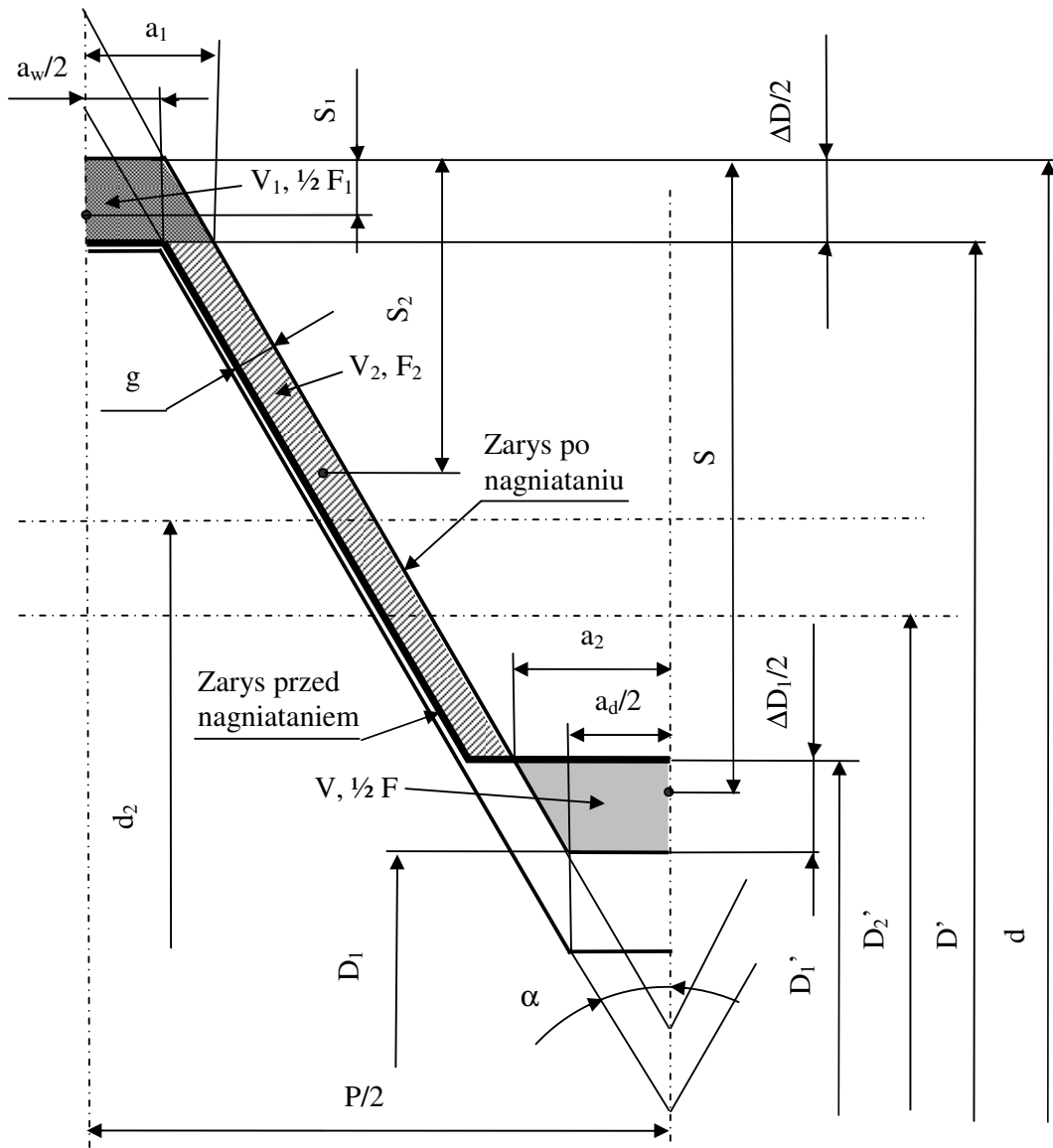
Natomiast średnicę wierzchołków D_1' należy zwiększyć względem wartości nominalnej D_1 , przy czym:

$$\Delta D_1 = D_1' - D_1 \geq \Delta D_{1 \min} \quad (53)$$

Wartość $\Delta D_{1 \min}$ wynika z warunku (rys. 12):

$$V \geq V_1 + V_2 \quad (54)$$

(objętość materiału $V_1 + V_2$ wyciśniętego przez wierzchołek zarysu narzędzia musi się zmieścić w objętości V).



Rys. 12. Zarysy gwintu wewnętrznego przed i po nagniataniu

Objętości V , V_1 i V_2 wyrażają się wzorami:

$$V = \frac{1}{2} \pi F (d - 2S) \quad (55)$$

$$V_1 = \frac{1}{2} \pi F_1 (d - 2S_1) \quad (56)$$

$$V_2 = \pi F_2 (d - 2S_2) \quad (57)$$

gdzie S , S_1 i S_2 określają położenia środków ciężkości przekrojów F , F_1 i F_2 :

$$F = \frac{1}{4} \Delta D_1 (2a_2 + a_d) \quad (58)$$

$$F_1 = \frac{1}{4} \Delta D (2a_1 + a_w) = \frac{g}{2 \sin \alpha} (2a_1 + a_w) \quad (59)$$

$$F_2 = \frac{\Delta D}{4} \operatorname{tg} \alpha (d - D_1 - \Delta D - \Delta D_1) = \frac{g}{2 \cos \alpha} \left(d - D_1 - \frac{2g}{\sin \alpha} - \Delta D_1 \right) \quad (60)$$

przy czym:

$$a_1 = \frac{1}{2} (a_w + \Delta D \operatorname{tg} \alpha) = \frac{1}{2} \left(a_w + \frac{2g}{\cos \alpha} \right) \quad (61)$$

$$a_2 = \frac{1}{2} (a_d + \Delta D_1 \operatorname{tg} \alpha) \quad (62)$$

oraz:

$$S = \frac{d - D_1}{2} - \frac{\Delta D_1 (a_d + 4a_2)}{6(a_d + 2a_2)} \quad (63)$$

$$S_1 = \frac{\Delta D (a_w + 4a_1)}{6(a_w + 2a_1)} = \frac{g (a_w + 4a_1)}{3 \sin \alpha (a_w + 2a_1)} \quad (64)$$

$$S_2 = \frac{1}{4} (d - D_1 + \Delta D - \Delta D_1) = \frac{1}{4} \left(d - D_1 + \frac{2g}{\sin \alpha} - \Delta D_1 \right) \quad (65)$$

Wykorzystując powyższe równania i przyjmując znak równości w (54), otrzymujemy:

$$\begin{aligned} f(g, \Delta D_1) = & \Delta D_1 \left[d_1 (2a_2 + a_d) + \frac{\Delta D_1}{3} (4a_2 + a_d) \right] - \\ & - \frac{2g}{\sin \alpha} \left[d (2a_1 + a_w) - \frac{2g}{3 \sin \alpha} (4a_1 + a_w) \right] - \frac{2g}{\cos \alpha} \left[\left(d - \frac{2g}{\sin \alpha} \right)^2 - (D_1 + \Delta D_1)^2 \right] = 0 \end{aligned} \quad (66)$$

Ostatecznie z (52) i (66) można określić wartości ΔD i ΔD_1 w funkcji gniotu g , a tym samym również wymiary D' i D_1' zarysu gwintu przed nagniataniem. Średnicę D_2' wyznacza się z równania:

$$D_2' = d_2 - \frac{2g}{\sin \alpha} \quad (67)$$

Przykładowe wyniki obliczeń podano w tab. 23a, 23b i 23c.

Tabela 23a

Średnice gwintu M24x3 przed nagniataniem w funkcji gniotu g					
g [mm]	ΔD_1 [mm]	ΔD [mm]	D_1 [mm]	D [mm]	D_2 [mm]
0,01	0,143	0,040	20,895	24,410	22,181
0,02	0,262	0,080	21,014	24,370	22,141
0,03	0,365	0,120	21,117	24,330	22,101
0,04	0,455	0,160	21,207	24,290	22,061
0,05	0,536	0,200	21,289	24,250	22,021
0,06	0,610	0,240	21,362	24,210	21,981
0,07	0,677	0,280	21,429	24,170	21,941
0,08	0,738	0,320	21,490	24,130	21,901
0,09	0,794	0,360	21,547	24,090	21,861
0,10	0,847	0,400	21,599	24,050	21,821
d = 24,45 [mm], $d_2 = 22,221$ [mm], $D_1 = 20,752$ [mm]					

Tabela 23b

Średnice gwintu M36x3 przed nagniataniem w funkcji gniotu g					
g [mm]	ΔD_1 [mm]	ΔD [mm]	D_1 [mm]	D [mm]	D_2 [mm]
0,01	0,138	0,040	32,890	36,410	34,181
0,02	0,255	0,080	33,007	36,370	34,141
0,03	0,355	0,120	33,107	36,330	34,101
0,04	0,444	0,160	33,196	36,290	34,061
0,05	0,524	0,200	33,276	36,250	34,021
0,06	0,596	0,240	33,348	36,210	33,981
0,07	0,662	0,280	33,414	36,170	33,941
0,08	0,723	0,320	33,475	36,130	33,901
0,09	0,779	0,360	33,531	36,090	33,861
0,10	0,831	0,400	33,583	36,050	33,821
d = 36,45 [mm], $d_2 = 34,221$ [mm], $D_1 = 32,752$ [mm]					

Tabela 23c

Średnice gwintu M68x3 przed nagniataniem w funkcji gniotu g					
g [mm]	ΔD_1 [mm]	ΔD [mm]	D_1 [mm]	D [mm]	D_2 [mm]
0,01	0,136	0,040	64,888	68,410	66,191
0,02	0,251	0,080	65,003	68,370	66,151
0,03	0,350	0,120	65,102	68,330	66,111
0,04	0,438	0,160	65,190	68,290	66,071
0,05	0,517	0,200	65,269	68,250	66,031
0,06	0,589	0,240	65,341	68,210	65,991
0,07	0,654	0,280	65,406	68,170	65,951
0,08	0,715	0,320	65,467	68,130	65,911
0,09	0,770	0,360	65,522	68,090	65,871
0,10	0,822	0,400	65,574	68,050	65,831
d = 68,45 [mm], $d_2 = 66,231$ [mm], $D_1 = 64,752$ [mm]					

Konstrukcja rolek do nagniatania lub walcowania gwintu wstępnie wykonanego (o średnicach mniejszych od nominalnych). W zasadzie operacje te można przeprowadzić rolkami, które były zaprojektowane i użyte do walcowania gwintu wprost w otworze półwyrobu. Jednak przy dużym programie produkcyjnym opłacalne jest wykonanie specjalnych (krótkich) rolek do nagniatania. We wzorze (23) przyjmuje się $n = 4$ ($z_w = 1$) oraz $z_k \leq 3$, a więc całkowita liczba wierzchołków $z \leq 5$. Średnice wierzchołków pilotujących wyznacza się ze wzoru:

$$d_{w0} = D' - 2c = d - \frac{2g}{\sin \alpha} - 2c \quad (68)$$

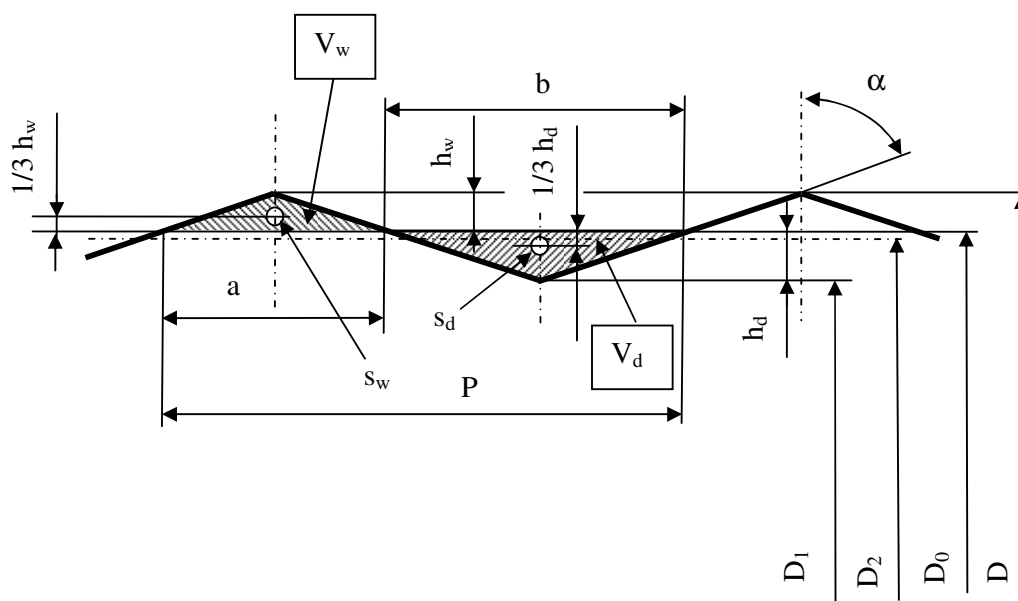
stosowanego w miejsce (22). Obliczenia średnic wierzchołków części wejściowych kolejnych rolek proponuje się przeprowadzić w oparciu o zasadę stałych objętości przemieszczonych, względnie równego podziału gniotu na poszczególne wierzchołki:

$$d_{wi} = d - \frac{2g(n-i)}{n \sin \alpha} - 2c \quad (69)$$

gdzie $i = 1, 2, \dots, n$. Analogicznie postępuje się, projektując rolki specjalne do walcowania gwintu wstępnie wykonanego o średnicach mniejszych od nominalnych, dla których wartości gniotu są większe niż przyjęta umownie wartość 0,10 [mm]. Należy dodać, że operacje nagniatania lub walcowania gwintu wstępnie wykonanego wymagają wprowadzenia głowicy do otworu za pomocą posuwu ręcznego (przed włączeniem posuwu gwintowego równego skokowi gwintu).

3. Konstrukcja głowic i technologia walcowania dla gwintów specjalnych

Jako przykład przedstawimy obliczenia dla gwintu specjalnego o zarysie trójkątnym i kącie wierzchołkowym $150 [^\circ]$ (odkuwka zwrotnicy samochodu). Zarys gwintu pokazano na rys. 13.



Rys. 13. Zarys gwintu specjalnego (s_w i s_d – środki ciężkości przekrojów zakreskowanych)

Średnicę otworu półwyrobu D_0 wyznacza się analogicznie jak dla gwintów normalnych z warunku stałej objętości (rys. 13):

$$V_w = V_d \quad (70)$$

przy czym:

$$V_w = \frac{\pi}{2} \left(D_0 + \frac{2}{3} h_w \right) a h_w^2 \quad (71)$$

$$V_d = \frac{\pi}{2} \left(D_0 - \frac{2}{3} h_d \right) b h_d^2 \quad (72)$$

gdzie:

$$h_w = \frac{D - D_0}{2} \quad (73)$$

$$h_d = \frac{D_0 - D_1}{2} \quad (74)$$

$$a = 2h_w \operatorname{tg} \alpha \quad (75)$$

$$b = 2h_d \operatorname{tg} \alpha \quad (76)$$

Wykorzystując (70) – (76) i zamieniając średnice nominalne D i D_1 na odpowiednie średnice głowicy (d i d_1) otrzymuje się:

$$D_0 = \sqrt{\frac{d^3 - d_1^3}{3(d - d_1)}} \quad (77)$$

gdzie:

$$d = D^{+T_D} \quad (78)$$

$$d_1 = D_1^{+T_{D1}} \quad (79)$$

Kąt wzniosu linii śrubowej gwintu wyznacza się z (31). Konkretnie obliczone wartości (bez tolerancji i uwzględnienia odkształceń sprężystych) dla głowicy o średnicy zewnętrznej 25,12 [mm] i skoku 2,5 [mm] podano w tab. 24.

Tabela 24

Wymiary głowicy do walcowania gwintu specjalnego i średnica otworu półwyrobu		
Lp	Wymiar	Wartość
1	d [mm]	25,12
2	d ₁ [mm]	24,45
3	d ₂ [mm]	24,785
4	D ₀ [mm]	24,786
5	τ	1°50'
6	2α	150°
7	P [mm]	2,5
8	d _r [mm]	8,12
9	c [mm]	8,5
10	d _w , d _{p2} [mm]	10
11	d _{2r} [mm]	7,785
12	d _{1r} [mm]	7,45
13	d _c , d _{p1} [mm]	6
14	d _k [mm]	24
15	d _r /d	0,323

Przy konstruowaniu rolek wysokości h_i wierzchołków zarysu części wejściowej ponad średnicą otworu pod gwint oblicza się tak, jak dla gwintów normalnych, przy czym – w omawianym przypadku – odpowiednie zależności otrzymuje się, podstawiając w (16), (19) i (20) a_w = 0:

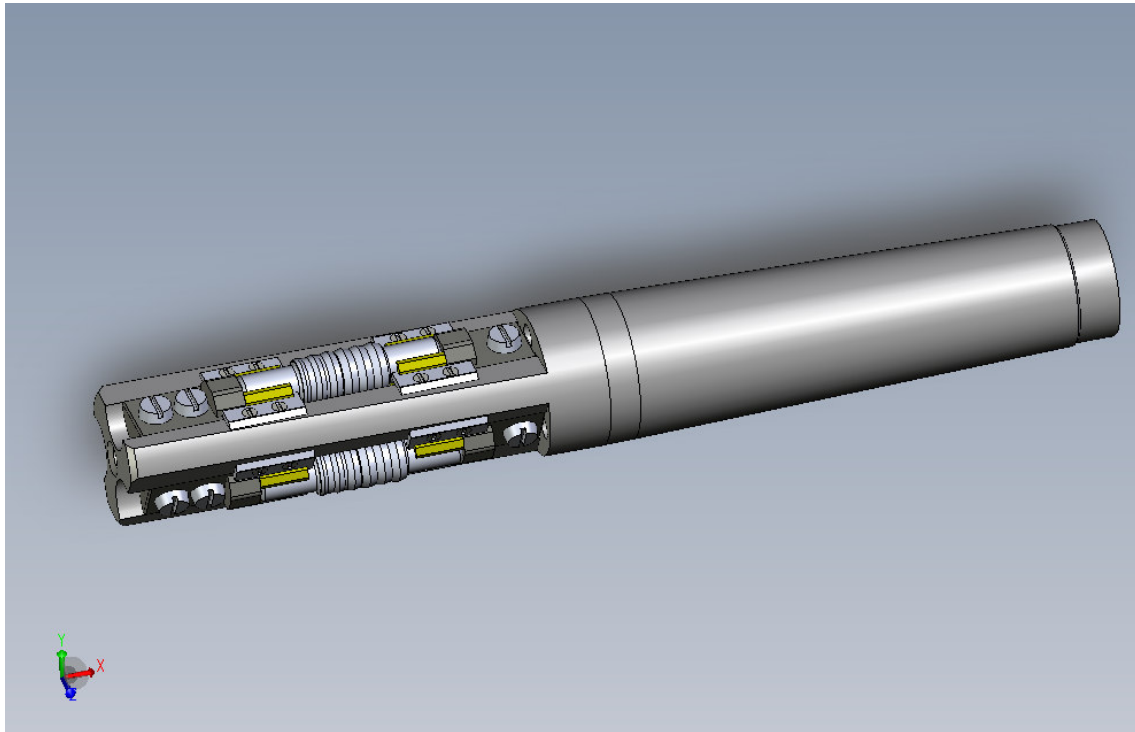
$$h_1 = \frac{d - D_0}{2\sqrt{n} \operatorname{tg}\alpha} \quad (80)$$

$$h_i = h_1 \sqrt{i} \quad (81)$$

Bez zmian pozostają wzory (15), (18), (21) i (22). Wyniki obliczeń podano w tab. 25. Model głowicy pokazano na rys. 14.

Tabela 25

Wysokości h_i wierzchołków ponad średnicą otworu pod gwint, odpowiednie pola przekrojów f_i oraz średnice d_{wi} kolejnych wierzchołków zarysu części wejściowych rolek			
$n = 4, z_w = 1$			
i	h_i [mm]	f_i [mm ²]	d_{wi} [mm]
1	0,084	0,026	7,953
2	0,118	0,052	8,022
3	0,145	0,078	8,075
4	0,167	0,104	8,120
$n = 7, z_w = 2$			
1	0,063	0,015	7,912
2	0,089	0,030	7,965
3	0,109	0,045	8,005
4	0,126	0,059	8,038
5	0,141	0,074	8,068
6	0,155	0,089	8,095
7	0,167	0,104	8,120
$n = 10, z_w = 3$			
1	0,053	0,010	7,891
2	0,075	0,021	7,935
3	0,091	0,031	7,969
4	0,106	0,042	7,997
5	0,118	0,052	8,022
6	0,129	0,062	8,045
7	0,140	0,073	8,065
8	0,149	0,083	8,085
9	0,158	0,094	8,103
10	0,167	0,104	8,120
Gwint: specjalny P = 2,5 [mm], $\alpha = 75$ [°] Wymiary głowicy: $d = 25,12$ [mm], $d_2 = 24,785$ [mm], $d_1 = 24,45$ [mm], $c = 8,5$ [mm], średnica pod gwint: $D_0 = 24,786$ [mm] (tab. 24)			



Rys. 14. Model głowicy do gwintu specjalnego: $2\alpha = 150^\circ$, $P = 2,5$ [mm], $D = 25,12$ [mm] (oprac. W. Kuma, M. Wołowicz)

Literatura

1. M. Dąbrowski, J. Gawlik, S. Okoński: Die Prüfungen Auserwählter technologischer Prozesse mittels Ausnutzung des kompletten, orthogonalen und rothathabilen Programmierens. Materiały I. Polsko - Węgierskiego Seminarium Metaloznawstwa i Technologii Maszyn. Politechnika Krakowska, 1978
2. Domblesky J. P.: Computer simulation of thread rolling processes. Fastener Technology International, 8, 1999
3. Domblesky J. P.: Computer simulation of thread rolling processes. Part 2: Study results. Fastener Technology International, 12, 2000
4. Ivanov V., Kirov V.: Rolling of internal threads. Part 1. Journal of Material Processing Technology, vol. 72, 1997
5. Ivanov V., Kirov V.: Rolling of internal threads. Part 2. Journal of Material Processing Technology, vol. 72, 1997
6. Kuma W., Wołowicz M.: Konstrukcja głowic rolkowych do walcowania lub nagniatania gwintów wewnętrznych. Praca dyplomowa (magisterska), Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Kraków 2007
7. Łyczko K.: Technologia narzędzi i wygniatania gwintów wewnętrznych. Politechnika Częstochowska, Częstochowa 1999
8. Makówka F., Olszak W.: Głowica do plastycznego kształtowania gwintów wewnętrznych. www.uprp.pl, 1996
9. Makówka F., Olszak W.: Głowica do walcowania gwintów wewnętrznych. www.uprp.pl, 1996
10. Okoński S.: Badania procesu plastycznego kształtowania gwintów wewnętrznych. Praca doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 1977

11. S. Okoński: Belső menetek hengerlésére és rotációs simító megmunkálására szolgáló görgös fejek szerkezeti kialakítása. IV. Szerszam és Szerszamananyag Szimposium, Miskolc (Węgry), 1985
12. Okoński S.: Głowica do walcowania lub dogniatania gwintów wewnętrznych. Patent UP PRL nr 102591, 1979
13. Okoński S., Polański Z., Sołkowski T.: Dokładna obróbka plastyczna. Czasopismo Techniczne, z. 4 i 6 M, 1970
14. S. Okoński: Walcowanie gwintów wewnętrznych. Obróbka Plastyczna, t. XVIII, z. 4, 1979
15. S. Okoński: Wgłębianie narzędzia z periodycznym zarysem klinowym w ośrodek plastyczny. Mechanika Teoretyczna i Stosowana, nr 2, 1980
16. Poradnik warsztatowca mechanika. Praca zbiorowa pod red. J. Korzemskiego. WNT, Warszawa 1975
17. Рыжов Е. В., Андрейчиков О. С., Стешков А. Е.: Раскатывание внутренних резб. Изд. Машиностроение, Moskwa 1974
18. Султанов Т. А.: Резбонакатные головки. Изд. Машиностроение, Moskwa 1966
19. Żurawski Z., Sikora J., Płużek J.: Walcowanie gwintów. WNT, Warszawa 1962