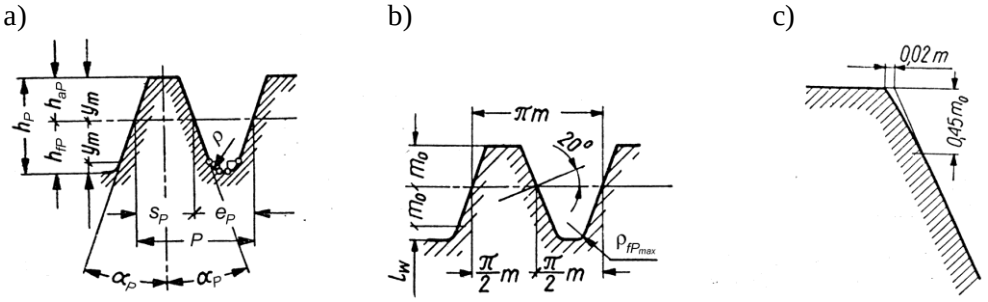
OBRÓBKA UZĘBIEŃ I UZWOJEŃ

4.1. Wielkości charakterystyczne ewolwentowych kół zębatych

4.1.1. Zarys odniesienia

Podstawą uzębienia ewolwentowego jest prostoliniowy zarys odniesienia (rys.1.1-1a). Jest to zarys zęba zębatki, tj. koła zębatego o nieskończenie wielkim promieniu podziałowym. Z zarysem odniesienia wiąże się szereg następujących wielkości, charakteryzujących uzębienie.



Rys.4.1-1 Zarys odniesienia: a) przypadek ogólny, b) znormalizowany wg PN-ISO 53: 2001, c) modyfikacja zarysu zęba w pobliżu wierzchołka [2]

- Podziałka, zwana również podziałką nominalną, p – będąca odległością dwóch sąsiednich zębów zębatki.
- Moduł nominalny m, wynikający ze związku:

$$p = \pi\, m \tag{4.1}$$

Wartości modułów są znormalizowane, ujmują je normy międzynarodowe i krajowe, w Polsce PN-ISO 54 : 2001.

- Grubość zęba (teoretyczna):

$$s_P = \frac{\pi m}{2} \tag{4.2}$$

- Szerokość wrębu (teoretyczna):

$$e_P = s_P = \frac{\pi m}{2} \tag{4.3}$$

– Wysokość głowy zęba:

$$h_{aP} = ym \tag{4.4}$$

Rozróżnia się przy tym zęby normalne (y = 1), zęby niskie (y < 1) i wysokie (y > 1).

– Wysokość stopy zęba:

$$h_{fP} = ym + c_P \tag{4.5}$$

gdzie c_P – luz wierzchołkowy, przyjmowany zazwyczaj w granicach:

$$c_P = (0{,}2 \div 0{,}3)\ m \tag{4.6}$$

– Wysokość zęba:

$$h_P = h_{aP} + h_{fP} = 2ym + c_P \tag{4.7}$$

– Kąt zarysu α_P, zwany nominalnym kątem zarysu lub przyporu; spotyka się wartości α_P=14º30´,15º, 17º30´, 20º, 22º30´, 25º, 30º.
– Promień zaokrąglenia stopy zęba ρ_{FP}, przyjmowany w granicach:

$$\rho_{FP} = (0{,}2 \div 0{,}45)m \tag{4.8}$$

Aby ograniczyć liczbę zmiennych wielkości ustalono w zaleceniu międzynarodowym ISO normalny zarys odniesienia. Aktualnie w Polsce zarys ten ujmuje, jak wspomniano, norma PN-ISO 53 : 2001 (rys. 1b).

Wielkości charakteryzujące zarys znormalizowany przedstawiają się następująco: współczynnik wysokości y = 1, kąt zarysu α_P = 20º, luz wierzchołkowy c_P = 0,25m (lub c_P = 0,4m w przypadku zarysu typu D), promień zaokrąglenia stopy zęba ρ_{FP} przyjmuje wartości 0,38m; 0,3m; 0,25m; oraz 0,39m odpowiednio dla czterech typów zarysu odniesienia : A,B,C.D. Maksymalna

wartość promienia krzywizny przejściowej zębatki odniesienia zależy od wartości luzu wierzchołkowego i wynosi dla $c_P \leq 0{,}295m$:

$$\rho_{fP\,max} = \frac{c_P}{1 - \sin\alpha_P} \tag{4.9}$$

natomiast dla $0{,}295m < c_P \leq 0{,}396m$ wynosi:

$$\rho_{fP\,max} = \frac{[(\pi m)/(4 - h_{fP}\tan\alpha_P)]}{\tan[0{,}5(90° - \alpha_P)]} \tag{4.10}$$

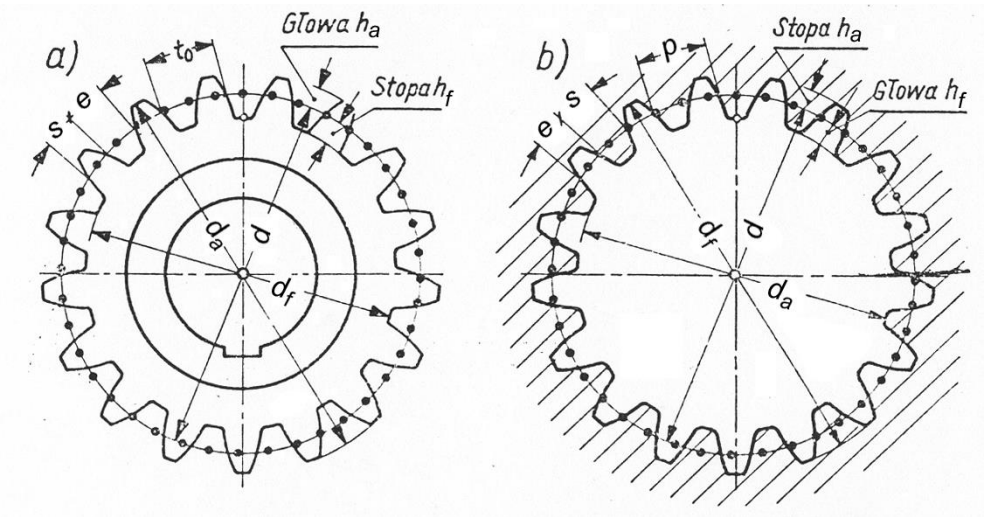
gdzie h_{fP} jest wysokością stopy zęba zębatki odniesienia. Punkt zaczepienia promienia ρ_{fPmax} leży na osi symetrii wrębu.

Rzeczywisty promień krzywizny krzywej przejściowej zarysu zęba leżącej poza obszarem zarysu czynnego może być różny w zależności od takich czynników, jak sposób obróbki, przesunięcie zarysu i liczba zębów.

Modyfikacja zarysu odniesienia polega na odstępstwie od linii prostej, zwykle w pobliżu wierzchołka. Nie dotyczy to zarysu znormalizowanego.

4.1.2. Koła walcowe o zębach prostych niekorygowanych

Walcowe koła z zębami prostymi niekorygowanymi o uzębieniu zewnętrznym i wewnętrznym przedstawiono na rys.4.2.



Rys.4.2. Walcowe koła zębate z zębami prostymi: a) zewnętrzne, b) wewnętrzne [2]

– Średnica podziałowa określona jest ze związku:

$$d = zm \tag{4.11}$$

– Średnica koła wierzchołków:

$$d_a = d \pm 2h_a \tag{4.12}$$

Przy czym znak plus odnosi się do kół o uzębieniu zewnętrznym, znak minus – wewnętrznym.

– Średnica koła stóp:

$$d_f = d \mu 2h_f \tag{4.13}$$

przy czym wysokości głów h_g i stóp h_s określone są zależnościami (4) I (5).

– Rzeczywista grubość zęba (na kole podziałowym):

$$s = e - \frac{j_c}{2} = \frac{\pi m}{2} - \frac{j_c}{2} \tag{4.14}$$

gdzie l_0 – luz obwodowy.
Wartość luzu obwodowego zależy od klasy dokładności koła, wielkości modułu i innych czynników.

– Rzeczywista szerokość wrębu:

$$e = p - s = \frac{\pi m}{2} + \frac{j_c}{2} \tag{4.15}$$

– Średnica koła zasadniczego:

$$d_b = d \cos\alpha \tag{4.16}$$

Pozostałe parametry uzębienia i wzory opisujące je podaje literatura [2]. W literaturze [1÷6] znaleźć można również charakterystyki kół i przekładni walcowych o zębach śrubowych niekorygowanych i korygowanych, jak również charakterystyki kół i przekładni stożkowych.

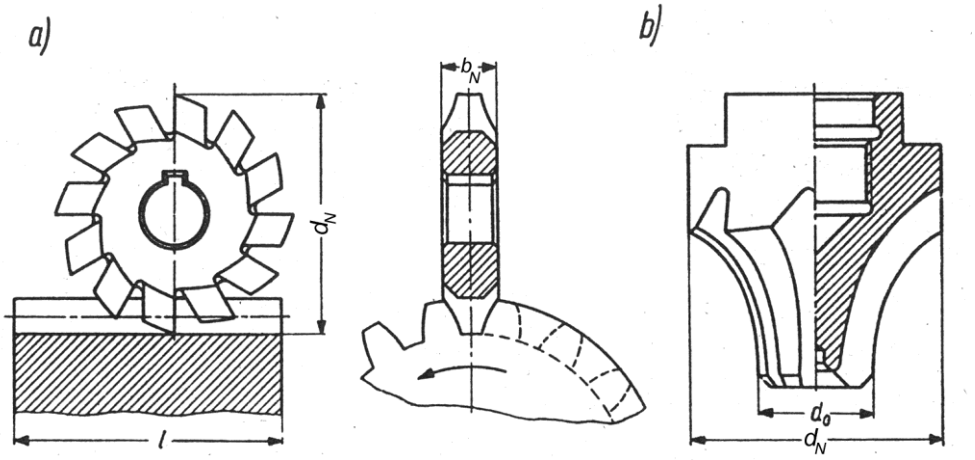
4.1.2. Frezowanie kształtowe uzębień walcowych

4.1.2.1. Narzędzie

Frezowanie kształtowe stosuje się do jednostkowego wykonywania kół walcowych z zębami prostymi lub śrubowymi. W metodzie tej kształt ostrza powinien ściśle odpowiadać kształtowi wrębu. Ponieważ ze względów ekonomicznych wymagane jest wielokrotne ostrzenie narzędzia, kształt ostrzy i sposób ostrzenia powinny być takie, aby po naostrzeniu zachowany został kształt wrębu. Osiąga się to poprzez takie ukształtowanie ostrza, aby na całej jego długości, przekrój w płaszczyźnie przez oś obrotu narzędzia miał zarys ewolwentowy. Zachowanie niezmienności profilu w kolejnych ostrzeniach zapewnia:

- nadanie zarysu powierzchni przyłożenia w kształcie spirali Archimedesa,
- szlifowanie ostrzy tylko od strony powierzchni natarcia,
- utrzymanie przy ostrzeniu kątów ostrza ściśle takich samych, jakie zakładał konstruktor narzędzia,
- utrzymanie dla wszystkich ostrzy narzędzia jednakowej warstwy zeszlifowanej i wysokości ostrzy.

Do frezowania kształtowego uzębień stosuje się frezy modułowe, krążkowe lub palcowe (rys.4.3); są one najczęściej frezami zataczanymi.



Rys. 4.3. Frez modułowy: a) krążkowy, b) palcowy [1]

Kąt natarcia w tych frezach przyjmowany jest $\gamma_f = 0^\circ$, a kąt zatoczenia mierzony na wierzchołku ostrza $\alpha_f = 10 \div 15^\circ$. Przy tej wartości kąta zatoczenia, kąt przyłożenia mierzony w płaszczyznach prostopadłych do krawędzi ostrza jest nie mniejszy od 3º.

Zarys ostrza freza kształtowego zależy od modułu, ilości zębów koła obrabianego oraz od kąta zarysu, zatem nawet przy danym kacie zarysu, dla uzyskania wysokiej dokładności obróbki każdej kombinacji modułu i liczby zębów koła obrabianego powinien odpowiadać odrębny frez. W praktyce, rezygnując nieco z dokładności, wykonuje się frezy dla określonego zakresu liczby zębów przy stałym module. Zakresy liczb zębów są tak dobrane, że na każdy moduł od 0,8 do 7 mm przypada komplet 8 frezów: pierwszy służy do obróbki kół o 12 ÷ 13 zębach, ostatni – do kół do kół o liczbie zębów 135 i większej. Dla modułów od 8 do 20 mm, na każdy moduł przypada komplet 15 frezów: pierwszy służy do obróbki kół o 12 zębach, ostatni, jak poprzednio do kół od 135 zębów w górę. Dobór freza modułowego do obróbki koła o określonej ilości zębów ilustruje tablica 4.1 [1,4].

Tablica 4.1. Ilości zębów kół obrabianych przez poszczególne numery frezów modułowych krążkowych [4]

Nr freza NFMa	1	2	3	4	5	6	7	8
Ilość zębów koła	12 – 13	14 – 16	17 – 20	21 – 25	26 – 34	35 – 54	55–134	135–∞

B. Dla modułów 8 – 20 mm

Nr freza NFMb	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Ilość zębów koła	12	13	14	15 – 16	17 – 18	19 – 20	21 – 22	23 – 25
Nr freza NFMb	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	–
Ilość zębów koła	26 – 29	30 – 34	35 – 41	42 – 54	55 – 80	81–134	135–∞	–

4.1.2.2. Warunki obróbki

Prędkość skrawania, posuw na obrót freza oraz posuw na ostrze są zdefiniowane tak samo, jak w przypadku frezowania walcowego. Czas maszynowy frezowania kształtowego uzębień oblicza się ze wzoru:

$$t_m = z \frac{l_d + l + l_w}{f_z z_N n} \qquad \text{min} \tag{4.17}$$

przy czym

$$l_d = \sqrt{\frac{d_N - a}{a}} \qquad \text{mm} \tag{4.18}$$

gdzie: z – ilość zębów obrabianego koła zębatego, l_d – długość dobiegu w mm, l_w – długość wybiegu (przyjmuje się na ogół l_w = 5 mm), f_z – posuw na ostrze w mm, z_c – ilość ostrzy freza, n – prędkość obrotowa freza w obr/min, a – głębokość skrawania w mm, d_N – średnica freza w mm.

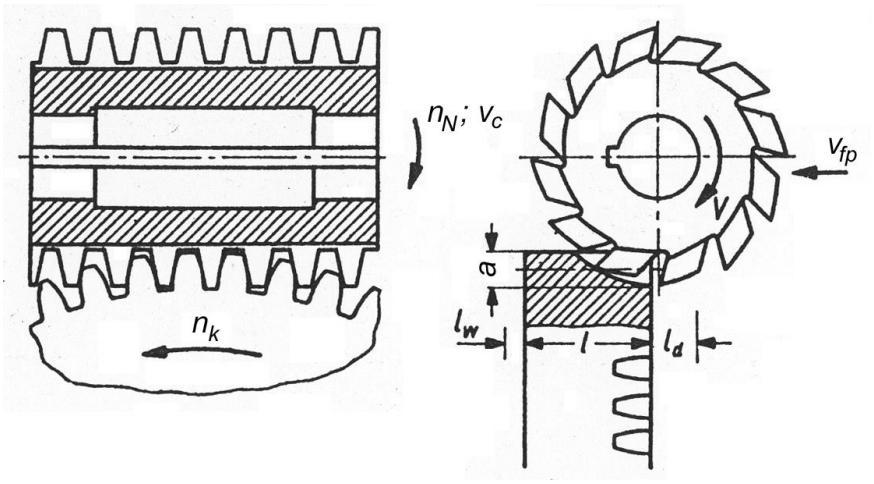
Dobór parametrów skrawania przeprowadza się analogicznie jak w przypadku frezowania walcowego, zwracając uwagę, aby dobrana prędkość skrawania zapewniała uzyskanie stosunkowo długiego okresu trwałości ostrza freza (obróbka jednostkowa) [1,3].

4.1.3. Frezowanie obwiedniowe uzębień walcowych

4.1.3.1. Odmiany frezowania obwiedniowego

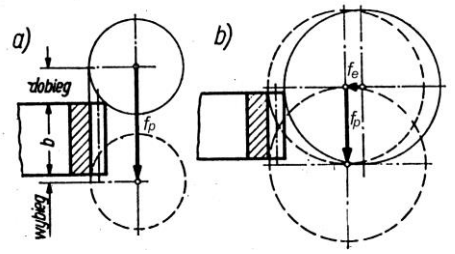
Frezowanie obwiedniowe uzębień polega na tym (rys.1.3-1), że narzędzie – frez modułowy ślimakowy, wykonuje ruch obrotowy, który jest głównym ruchem roboczym, a przedmiot obrabiany obraca się dookoła swej osi, wykonując jeden z ruchów pomocniczych, nazywany ruchem podziałowym (tocznym); para kinematyczna frez obwiedniowy – koło obrabiane tworzy przekładnię ślimakową. Po jednym obrocie freza ślimakowego koło nacinane musi się obrócić o kąt odpowiadający jednemu skokowi zwoju zębów freza ślimakowego. Gdy frez jest jednokrotny (jednozwojny) wówczas nacinane koło przekręci się o kąt odpowiadający jednej podziałce, gdy jest k-krotny – o kąt odpowiadający k podziałkom itd. Prędkość obrotową ruchu podziałowego (tocznego) względem prędkości obrotowej freza ślimakowego realizuje skrzynia przełożeń ruchu tocznego obrabiarki w zależności od rodzaju koła obrabianego: o zębach prostych, o zębach śrubowych zgodnie lub przeciwnie zwojnych w stosunku do zwojności freza.

Drugi ruch pomocniczy – posuwowy polega na przemieszczeniu względnym freza i przedmiotu obrabianego równolegle do osi obrotu przedmiotu obrabianego.

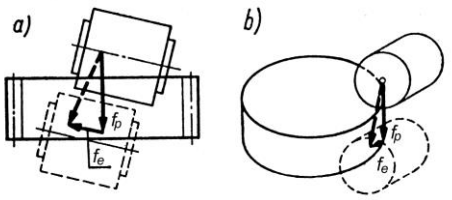


Rys. 4.4. Schemat obwiedniowego nacinania uzębień frezem ślimakowym [1]

Oś obrotu freza jest nachylona względem płaszczyzny czołowej koła obrabianego o kąt wzniosu linii śrubowej ostrzy freza ślimakowego, jeśli koło obrabiane posiada zęby proste. W przypadku obróbki kół o zębach śrubowych, kąt nachylenia osi freza powiększa się o kąt nachylenia linii śrubowej koła, jeśli zwojności freza i koła są przeciwne, zmniejsza się – gdy zgodne.



Rys. 4.5. Odmiany frezowania zębów: a) z dobiegiem wzdłużnym, b) z dobiegiem poprzecznym [1].



Rys. 4.6. Schemat frezowania diagonalnego [1]

Uwzględniając kinematykę ruchów roboczych rozróżnia się kilka odmian frezowania obwiedniowego:

– frezowanie z posuwem równoległym; dobieg jest tu analogiczny jak w przypadku frezowania walcowego(rys.1.3-2a),

- frezowanie z dobiegiem wcinającym (redukującym dobieg) i posuwem równoległym (rys.1.3-2b),
- frezowanie diagonalne (przekątne); w tym przypadku frez wykonuje dwa przesuwy – równolegle do osi koła obrabianego oraz wzdłuż własnej osi (rys. 1.3-3), dzięki czemu uzyskuje się zmianę położenia krawędzi skrawających, a przez to równomierne ich zużycie,
- frezowanie metodą Hydrax; dzięki specjalnie usytuowanej osi przedmiotu uzyskuje się tu skrócenie przesuwu narzędzia względem koła obrabianego [1,2].

1.3.2. Narzędzie i warunki skrawania

W zależności od przeznaczenia frezy modułowe ślimakowe dzielą się na zdzieraki, półwykańczaki i wykańczaki. Ostrza freza ślimakowego są ostrzami kształtowymi, zataczanymi według spirali Archimedesa. Frezy ślimakowe konstruuje się tak, aby dla obróbki wstępnej miały kąt natarcia

$\gamma = 8 \div 10^\circ$ i kąt przyłożenia – w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu freza – $\alpha = 10 \div 15^\circ$. Dla obróbki wykańczającej przyjmuje się $\gamma = 0^\circ$ i $\alpha = 10 \div 12^\circ$.

Zarys ostrza w przekroju prostopadłym do linii śrubowej rowka jest zbliżony do trapezu o kątach pochylenia jego boków równych kątowi zarysu koła obrabianego. W czasie skrawania nie wszystkie ostrza równocześnie skrawające są równomiernie obciążone, a często nawet nie wszystkie ostrza freza biorą udział w skrawaniu. Powoduje to nierównomierne zużywanie się ostrzy. W celu zwiększenia równomierności zużycia należy co pewien czas przestawiać frez wzdłuż swojej osi, względem kół obrabianych, lub dążyć do stosowania frezowania diagonalnego.

Czas maszynowy przy frezowaniu obwiedniowym oblicza się według wzoru:

$$t_m = \frac{z}{k} \frac{l_d + l + l_w}{f_{nk} n_N} \tag{4.19}$$

gdzie: l_d – długość dobiegu w mm, l – długość frezowania równa szerokości wieńca koła obrabianego w mm, l_w – długość wybiegu w mm, k – krotność zwojów freza, f_{nk} – posuw wzdłużny freza w mm/obr. koła obrabianego, n_N – prędkość obrotowa freza w obr/min [1,2,3].

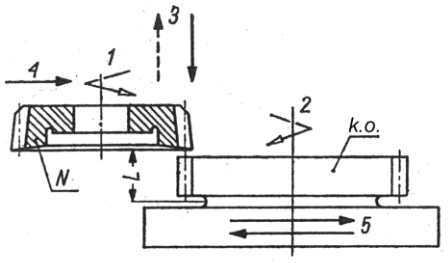
4.1.4. Dłutowanie obwiedniowe uzębień walcowych

4.1.4.1. Odmiany dłutowania obwiedniowego

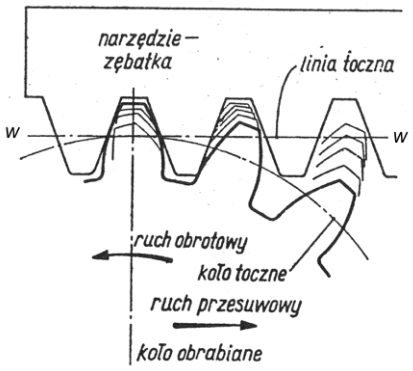
Dłutowanie obwiedniowe uzębień walcowych polega na tym, że narzędzie (nóż dłutowniczy) o specjalnie ukształtowanym ostrzu oprócz prostoliniowego, posuwisto-zwrotnego ruchu roboczego, wykonuje dodatkowy ruch (odtaczania) względem przedmiotu obrabianego; w wyniku złożenia tych ruchów powstaje odpowiedni zarys wrębów międzyzębnych koła obrabianego, który jest obwiednią kolejnych położeń ostrzy skrawających.

Rozróżnia się następujące trzy metody dłutowania obwiedniowego uzębień walcowych:

- Metoda Maaga polega na nacinaniu uzębienia narzędziem zębatkowym ustawianym ukośnie względem powierzchni czołowej koła obrabianego – tzw. zębatką Maaga (rys. 1.4-1).
- Metoda Sunderlanda polega na nacinaniu uzębienia narzędziem zębatkowym ustawianym równolegle do powierzchni czołowej koła obrabianego (przy obróbce zębów prostych) – tzw. zębatką Sunderlanda.
- Metoda Fellowsa polega na nacinaniu uzębienia nożem dłutowniczym w postaci koła zębatego – tzw. dłutakiem Fellowsa.



Rys. 4.7. Kolejne położenia narzędzia względem koła obrabianego przy nacinaniu uzębienia metodą dłutowania obwiedniowego zębatką Maaga. [1].



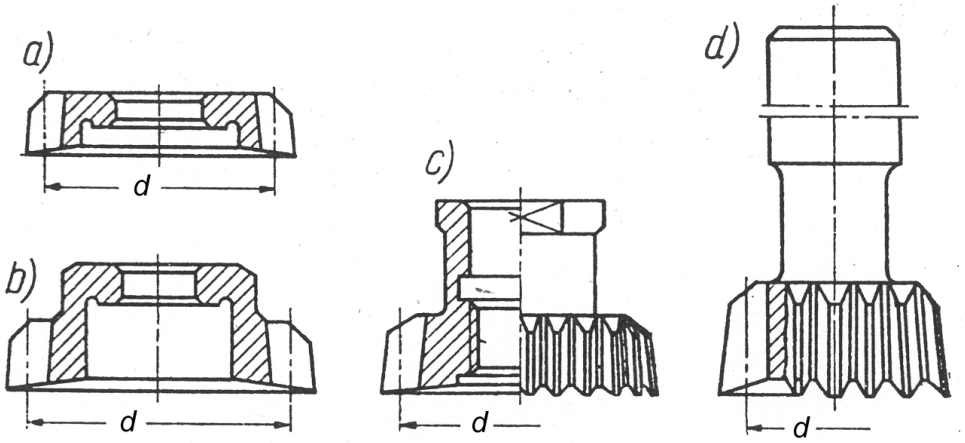
Rys. 4.8. Schemat nacinania uzębienia zewnętrznego prostego metodą Fellowsa [1].

Ruchy narzędzia i przedmiotu obrabianego w metodzie Fellowsa przedstawiono na rys. 1.4-2. Narzędzie N i koło obrabiane k.o., wykonują ruch obrotowy 1 i 2 jak współpracujące koła zębate o ilości zębów odpowiednio z_N i z_k, (z jednakową prędkością obwodową na kołach podziałowych). Równocześnie narzędzie wykonuje ruch prostoliniowo-zwrotny (ruch roboczy)-3. W początkowym okresie obróbki, czyli w okresie wcinania, występuje także posuw poprzeczny 3, aż do wcięcia narzędzia na ustaloną głębokość wrębu międzyzębnego. Dodatkowo występuje jeszcze ruch prostoliniowo-zwrotny 5, którego zadaniem jest odsuwanie przedmiotu obrabianego od narzędzia w czasie jego ruchu jałowego, aby uniknąć tarcia ostrza o powierzchnię obrobioną.

Wymienione trzy metody dłutowania obwiedniowego służą głównie do wykonywania uzębień prostych, możliwa jest również obróbka kół o uzębieniu śrubowym, jednakże narzędzie musi wtedy wykonywać ruchy dłutownicze w kierunku stycznym do linii śrubowej zęba. W metodzie Fellowsa wymaga to stosowania specjalnie skonstruowanych narzędzi. Zaletami metod Maaga i Sunderlanda jest prosta budowa narzędzia i możliwość uzyskania wysokiej dokładności nacinanego uzębienia, natomiast metoda Fellowsa góruje pod względem wydajności.

4.1.4.2. Charakterystyka dłutaków Fellowsa

Dłutowanie obwiedniowe metodą Fellowsa odbywa się przy pomocy narzędzi, których odmiany pokazano na rys. 1.4.-3 – dłutaków Fellowsa. Ponieważ dłutaki posiadają uzębienie jak koło zębate, charakteryzują się średnicą podziałową d.



Rys. 4.9. Znormalizowane odmiany dłutaków Fellowsa: a) płaski, b) garnkowy, c) z gwintem, d) trzpieniowy [1]

Kąt natarcia na ostrzach jest zmienny wzdłuż krawędzi skrawających, ponieważ utworzony jest przez stożkowe lub czaszowe wgłębienie w czołowej powierzchni narzędzia. Wartość kąta natarcia, mierzona w płaszczyźnie przechodzącej przez oś dłutaka wynosi na ogół 5˚, a w przekrojach prostopadłych do krawędzi bocznych – jest bliski 0˚. Odpowiednio kąty przyłożenia wynoszą: 6˚ w przekroju osiowym i od 1˚30´ do 2˚ na bocznych powierzchniach przyłożenia. Wartości te zależą od nominalnego kąta zarysu uzębienia narzędzia. Ostrzenie dłutaków Fellowsa przeprowadza się tylko od strony powierzchni natarcia.

1.4.3. Warunki obróbki

Prędkością skrawania przy dłutowaniu obwiedniowym uzębień nazywamy prędkość narzędzia podczas suwu roboczego. Jej wartość średnią oblicza się wg wzoru:

$$V_{cśr} = \frac{nL_N}{500} \quad \text{m/min} \tag{4.20}$$

gdzie

$$L_N = l_d + l + l_w \quad \text{mm} \tag{4.21}$$

n – ilość skoków narzędzia w minucie – skok/min, L_N – długość skoku roboczego narzędzia w mm, l_d – długość dobiegu w mm, l – długość skrawania w mm, l_w – długość wybiegu w mm; zazwyczaj l_d = 3÷5 mm, l_w = 2÷3 mm.

Prędkością posuwu (prędkością odtaczania) nazywamy prędkość obwodową narzędzia, lub koła obrabianego (prędkości te są równe).

Posuw na skok f_n – jest to długość drogi mierzonej po okęgu koła podziałowego podczas jednego skoku narzędzia. Posuw ten nazywa się obwodowym – mm/skok. Posuw ten często wyrażony bywa w ilości skoków na pełny obrót narzędzia: n_n – w skok/obr.

Posuw poprzeczny (wcinający) f_e, powodujący wcinanie ostrzy dłutaka w materiał obrabiany na głębokość wrębu międzyzębnego – w mm/skok narzędzia. Głębokość skrawania przy dłutowaniu obwiedniowym jest to głębokość części wrębu wykonanej podczas jednego obrotu przedmiotu.

Czas maszynowy dłutowania metodą Fellowsa oblicza się według wzoru:

$$t_m = \frac{a}{f_w n} + \frac{\pi m z}{f_n n} \quad \text{min} \tag{4.22}$$

gdzie: a – zagłębienie ostrza przy obróbce zgrubnej lub wysokość zęba, f_e – posuw poprzeczny w mm/skok narzędzia, n – ilość skoków narzędzia w minucie, m – moduł uzębienia w mm, z – ilość zębów koła obrabianego, f_n – posuw obwodowy w mm/skok narzędzia [1,2].

Jeżeli posuw obwodowy wyrażony jest w ilości skoków na pełny obrót narzędzia (n_n), wartość jego przelicza się na f_n według następującego wzoru:

$$f_n = \frac{\pi m z_N}{n_n} \quad \text{mm/skok} \tag{4.23}$$

gdzie: z_N – ilość zębów dłutaka.

Im mniejsza wartość posuwu obwodowego (większa liczba skoków na obrót), tym dokładniejsze przybliżenie zarysu nacinanego uzębienia do ewolwentowej obwiedni i mniejsza chropowatość powierzchni obrobionej [1,3].

Tablica 4.2. Wartości pomiarowe zęba normalnego-zerowego (y=1, x=0) dla suwmiarki modułowej, przy m = 1 mm. Dla innego modułu $h_p = h_p'm$ oraz $s_p = s_p'm$ [6]

z	h_p'	s_p'	z	h_p'	s_p'	z	h_p'	s_p'
5	1,12236	1,54508	56	1,01101	1,57059	107	1,00576	1,57074
6	1,10222	1,55291	57	1,01082	1,57060	108	1,00571	1,57074
7	1,08775	1,55765	58	1,01063	1,57060	109	1,00566	1,57074
8	1,07686	1,56072	59	1,01045	1,57061	110	1,00561	1,57074
9	1,06837	1,56283	60	1,01028	1,57062	111	1,00556	1,57074
10	1,06156	1,56434	61	1,01011	1,57062	112	1,00551	1,57074
11	1,05598	1,56546	62	1,00995	1,57063	113	1,00546	1,57075
12	1,05133	1,56631	63	1,00979	1,57063	114	1,00541	1,57075
13	1,04739	1,56698	64	1,00964	1,57064	115	1,00535	1,57075
14	1,04401	1,56750	65	1,00949	1,57064	116	1,00532	1,57075
15	1,04109	1,56793	66	1,00935	1,57065	117	1,00527	1,57075
16	1,03852	1,56827	67	1,00921	1,57065	118	1,00523	1,57075
17	1,03626	1,56856	68	1,00907	1,57066	119	1,00518	1,57075
18	1,03425	1,56880	69	1,00894	1,57066	120	1,00514	1,57075
19	1,03245	1,56901	70	1,00881	1,57066	121	1,00510	1,57075
20	1,03083	1,56918	71	1,00869	1,57067	122	1,00506	1,57075
21	1,02936	1,56933	72	1,00857	1,57067	123	1,00501	1,57075
22	1,02803	1,56946	73	1,00845	1,57068	124	1,00497	1,57075
23	1,02681	1,56958	74	1,00834	1,57068	125	1,00493	1,57075
24	1,02569	1,56968	75	1,00822	1,57068	126	1,00490	1,57076
25	1,02467	1,56976	76	1,00812	1,57068	127	1,00486	1,57076
26	1,02372	1,56984	77	1,00801	1,57069	128	1,00482	1,57076
27	1,02284	1,56991	78	1,00791	1,57069	129	1,00478	1,57076
28	1,02202	1,56997	79	1,00781	1,57069	130	1,00474	1,57076
29	1,02127	1,57003	80	1,00771	1,57070	131	1,00471	1,57076
30	1,02056	1,57008	81	1,00762	1,57070	132	1,00467	1,57076
31	1,01989	1,57012	82	1,00752	1,57070	133	1,00464	1,57076
32	1,01927	1,57017	83	1,00743	1,57070	134	1,00460	1,57076
33	1,01869	1,57020	84	1,00734	1,57070	135	1,00457	1,57076
34	1,01814	1,57024	85	1,00726	1,57071	136	1,00454	1,57076
35	1,01762	1,57027	86	1,00717	1,57071	137	1,00450	1,57076
36	1,01713	1,57030	87	1,00709	1,57071	138	1,00447	1,57076
37	1,01667	1,57032	88	1,00701	1,57071	139	1,00444	1,57076
38	1,01623	1,57035	89	1,00693	1,57071	140	1,00441	1,57076
39	1,01581	1,57037	90	1,00685	1,57072	141	1,00437	1,57076
40	1,01542	1,57039	91	1,00678	1,07072	142	1,00434	1,57076
41	1,01504	1,57041	92	1,00670	1,07072	143	1,00431	1,57076
42	1,01469	1,57043	93	1,00663	1,07072	144	1,00428	1,57077
43	1,01434	1,57045	94	1,00656	1,57072	145	1,00425	1,57077
44	1,01402	1,57046	95	1,00649	1,57072	146	1,00422	1,57077
45	1,01371	1,57048	96	1,00643	1,57073	147	1,00420	1,57077
46	1,01341	1,57049	97	1,00636	1,57073	148	1,00417	1,57077
47	1,01312	1,57050	98	1,00629	1,57073	149	1,00414	1,57077
48	1,01285	1,57052	99	1,00623	1,57073	150	1,00411	1,57077
49	1,01259	1,57053	100	1,00617	1,57073	151	1,00409	1,57077
50	1,01234	1,57054	101	1,00611	1,57073	152	1,00406	1,57077
51	1,01209	1,57055	102	1,00605	1,57073	153	1,00403	1,57077
52	1,01186	1,57056	103	1,00599	1,57074	154	1,00401	1,57077
53	1,01164	1,57057	104	1,00593	1,57074	155	1,00398	1,57077
54	1,01142	1,57057	105	1,00587	1,57074	156	1,00395	1,57077
55	1,01121	1,57058	106	1,00582	1,57074	zębatka	1,00000	1,57079

Tablica 4.3. Wartości pomiarowe grubości zęba przez k zębów, α = 20°, m = 1 mm, x = 0.Dla modułu innego niż 1 mm, W = W´m [6]

z	k	W′	z	k	W′	z	k	W′	z	k	W′
6		4,5122	26		10,6966	46		16,8810	66		23,0653
7		5262	27		7106	47		8950	67	8	0793
8		5402	28		7246	48	6	9090	68		0933
9		5542	29	4	7386	49		9230	69		26,0595
10	2	5682	30		7526	50		9370	70		0735
11		5823	31		7666	51		19,9031	71		0875
12		5963	32		7806	52		9171	72		1015
13		6103	33		7946	53		9311	73	9	1155
14		6243	34		13,7608	54		9451	74		1295
15		6383	35		7748	55	7	9592	75		1435
16		7,6044	36		7888	56		9732	76		1575
17		6184	37		8028	57		9872	77		1715
18		6324	38	5	8168	58		20,0012	78		29,1377
19		6464	39		8308	59		0152	79		1517
20	3	6604	40		8448	60		22,9813	80		1657
21		6744	41		8588	61		9953	81	10	1797
22		6884	42		8728	62	8	23,0093	82		1937
23		7025	43		16,8390	63		0233	83		2077
24		7165	44	6	8530	64		0373	84		2217
25	4	10,6826	45		8670	65		0513	85		2357

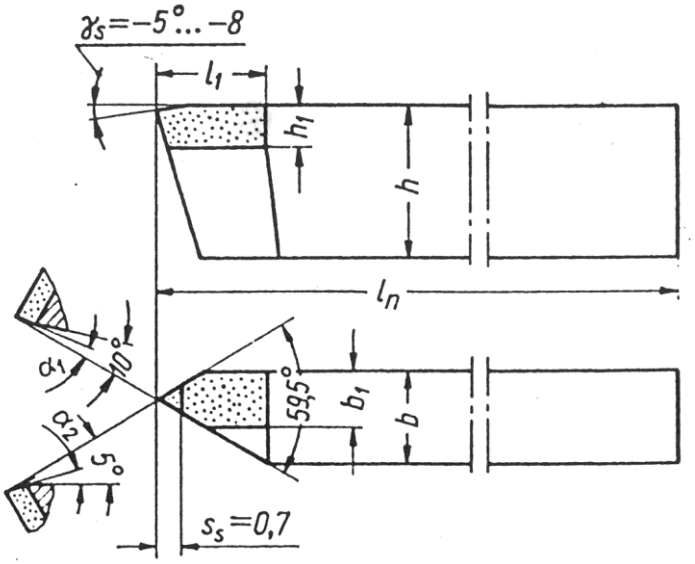
4.2. Obróbka gwintów

4.2.1. Toczenie gwintów

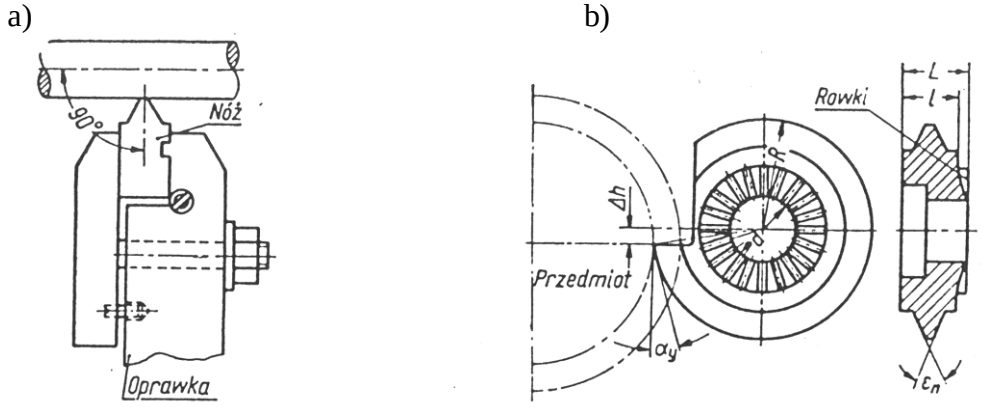
4.2.1.1. Noże do gwintów

Wykonywanie gwintu na tokarce zalicza się do toczenia kształtowego, narzędzia więc są nożami kształtowymi (zarys powstającego gwintu jest odwzorowaniem zarysu ostrza) – rozróżnia się noże pojedyncze i wielokrotne (grzebieniowe).

Noże pojedyncze występują jako imakowe (rys. 2.1-1, 2.1-3) lub oprawkowe – krążkowe i słupkowe (rys. 2.1-2).



Rys. 4.10. Nóż imakowy do toczenia gwintu metrycznego (60˚) w wykonaniu tradycyjnym z nalutowana płytką z węglików spiekanych [1]

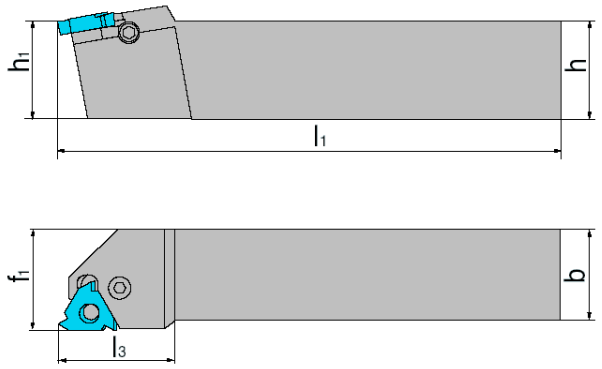


Rys. 4.11. Noże oprawkowe dotoczenia gwintu; a) nóż słupkowy, b) nóż krążkowy [1]

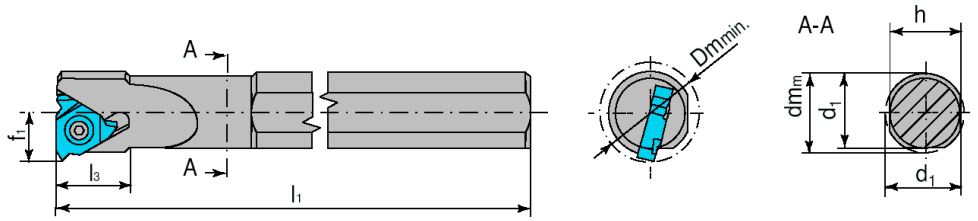
Ze względu na występujące zjawisko rozbicia wrębów gwintu, kąt wierzchołkowy ostrza noża bywa nieco zmniejszony (ok.30´) w stosunku do kąta zarysu gwintu. Kąty natarcia ostrzy wykonuje się dodatnie (do 25˚), w zależności od materiału obrabianego – dla wykańczaków γ = 0˚; kąty przyłożenia stosuje się inne od strony nabiegania ostrza na materiał (α_1 = 8÷10˚), inne od strony przeciwnej (α_2 = 3÷5˚). Wynika to ze znacznej zmiany kąta przyłożenia na skutek dużej wartości posuwu gwintowego.

Na rys. 2.1-3 przedstawiono nowoczesne rozwiązanie noży do toczenia gwintu wyposażonych w płytki skrawające wieloostrzowe z węglików spiekanych powlekanych (firma Baildonit). Szeroka gama elementów katalogowych daje możliwość doboru gatunku płytki skrawającej, geometrii ostrza, warunków skrawania dla większości przypadków wykonywanych gwintów i materiałów obrabianych.

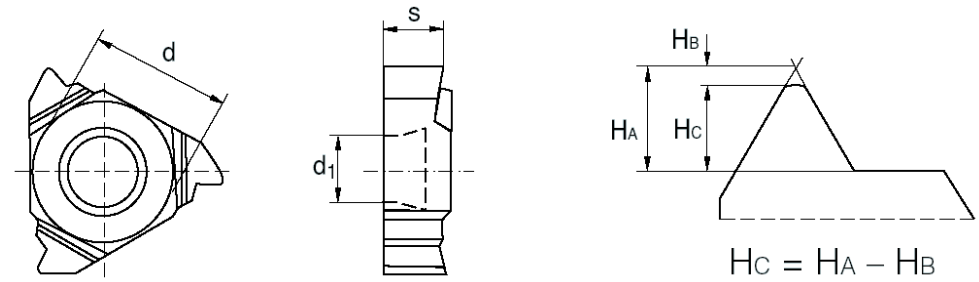
a)



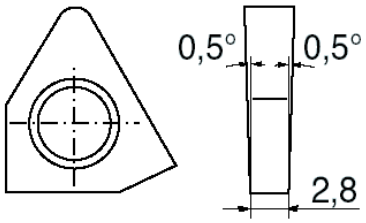
b)



c)



d)



Rys. 4.12. Noże do gwintowania Baildonit: a) zewnętrzny, b) wewnętrzny, c) płytka skrawająca wieloostrzowa, d) płytka podporowa ostrza (o zmiennej geometrii) [7]

4.2.1.2. Warunki obróbki

Prędkością skrawania przy toczeniu gwintu nazywamy prędkość obwodową przedmiotu obrabianego, posuw na obrót przedmiotu jest jednocześnie skokiem nacinanego gwintu.

Głębokość skrawania stanowi część wysokości gwintu, gdyż zazwyczaj – ze względu na wymaganą dokładność – naddatek jest zbierany w kilku, a nawet kilkunastu przejściach. Stosuje się trzy odmiany podziału naddatku: dosuw wgłębny promieniowy, zmodyfikowany dosuw wgłębny, dosuw wgłębny naprzemienny; zastosowanie konkretnej odmiany zależy od rodzaju materiału obrabianego, skoku gwintu, wymagań co do trwałości ostrza – w przypadku płytek wieloostrzowych należy się kierować danymi katalogowymi wytwórcy.

Czas maszynowy toczenia gwintu oblicza się z wzoru:

$$t_m = \frac{l_d + l + l_w}{Pn} i \quad \text{min} \tag{4.24}$$

gdzie: l_d – dobieg wynoszący (2÷3) P w mm, l – długość gwintu w mm, l_w – wybieg ($l_w = l_d$), P – skok gwintu w mm, n – prędkość obrotowa w obr/min, i – ilość przejść [1,3,4]

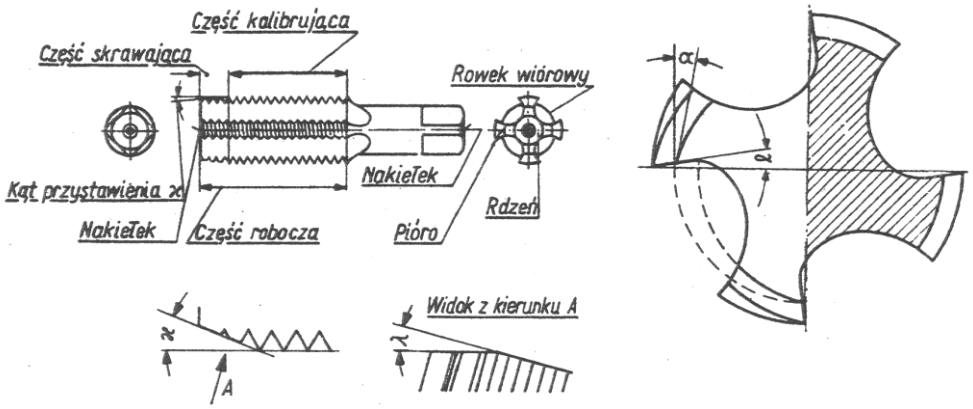
4.2.2. Gwintowanie gwintownikiem i narzynką

4.2.2.1. Charakterystyka narzędzi

Gwintownik jest to narzędzie kształtowe, wieloostrzowe przeznaczone do ręcznego lub maszynowego nacinania gwintów wewnętrznych. Najbardziej rozpowszechnione są gwintowniki do wykonywania gwintów metrycznych – zwykłych i drobnozwojnych oraz do gwintu calowego (głównie w krajach anglosaskich), w następnej kolejności gwintowniki do gwintu rurowego i trapezowego symetrycznego.

Cecha charakterystyczną gwintownika jest ułożenie ostrzy na obwodzie narzędzia wzdłuż linii śrubowej o ustalonym dla danego przypadku skoku. Każde ostrze oddziela od sąsiedniego wrąb – powstały na skutek wykonania na części roboczej rowków wiórowych (rys.2.2-1). W części roboczej gwintownika wyróżnia się część skrawającą i część wykańczająca. Część skrawająca wykonuje główną pracę skrawania, część wykańczająca przeznaczona jest do nadawania ostatecznego wymiaru gwintu, a także zapewnia prowadzenie gwintownika w

obrabianym otworze. Część chwytowa gwintownika wyróżnia się posiadaniem zabieraka (czworokątnego).



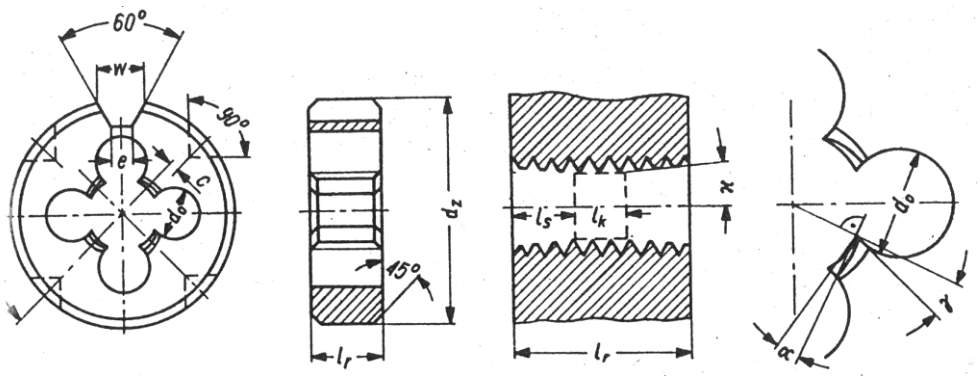
Rys. 4.13. Części składowe i parametry stereometryczne ostrzy gwintownika; rowki wiórowe proste

Stereometrię gwintownika określają kąty: Kąt natarcia ostrza – γ, kąt przyłożenia ostrza – α, kąt wierzchołkowy ostrza – ε, kąt pochylenia krawędzi skrawającej λ, kąt nachylenia linii śrubowej ostrzy – ω oraz kąt przystawienia części skrawającej – κ.

Wartości tych kątów sa zróżnicowane w zależności od materiału obrabianego, rodzaju wykonywanego gwintu (kąt ω), odmiany konstrukcyjnej gwintownika. Kąty natarcia γ wynoszą 5÷30˚ - im bardziej plastyczny materiał obrabiany, tym większy kąt natarcia. Kąty przyłożenia są zróżnicowane w części skrawającej i wykańczającej. W części skrawającej α wynosi 6÷12˚, w części wykańczającej najczęściej α = 0˚. Kąt pochylenia głównej krawędzi skrawającej λ na ogół jest równy zero, dla bardzo plastycznych materiałów – wynosi 5÷10˚. Rowki wiórowe gwintowników na ogół wykonywane są jako proste, rzadziej wzdłuż linii śrubowej, jako prawo lub lewozwojne. Kąty przystawienia części skrawającej κ mają różne wartości w gwintownikach ręcznych i maszynowych. Gwintowniki ręczne wykonywane są w kompletach – 2 lub 3 sztuk, a kąt κ i długość części skrawającej zmieniają się tak, że pierwszy gwintownik z kompletu zbiera 50÷60% naddatku obróbkowego, drugi - 25÷30%, trzeci - 10÷20%. Trzeci gwintownik z kompletu posiada też najdłuższą część kalibrującą. Gwintowniki maszynowe wykonywane są jako pojedyncze, kąt κ (dla gwintowania przelotowego) wynosi ok. 3˚.

Narzynki – narzędzia do nacinania gwintów zewnętrznych mają parametry stereometryczne analogiczne jak gwintowniki, przy czym kąty κ dla narzynek gwintujących przelotowo wynoszą 20÷30˚, dla gwintujących nieprzelotowo -

45÷50˚. Długość części wykańczającej l_k wynosi (3÷5)P, gdzie P jest skokiem nacinanego gwintu (rys.2.2-2).



Rys. 4.14. Narzynka; części składowe i stereometria ostrzy

4.2.2.2. Warunki obróbki

Prędkością skrawania przy gwintowaniu nazywamy prędkość obwodową gwintownika mierzoną na średnicy nominalnej gwintu. Prędkością posuwu V_f – prędkość ruchu poosiowego narzędzia względem przedmiotu obrabianego. Posuw na obrót f_n = P (skokowi gwintu), zatem:

$$V_f = Pn \text{ [mm/min]} \tag{4.25}$$

gdzie n – prędkość obrotowa w obr/min.

Czas maszynowy gwintowania oblicza się analogicznie, jak w innych przypadkach obróbki. Należy jednak uwzględnić dodatkowy czas na wycofanie narzędzia z otworu [1,2,4].

Ze względu na stosunkowo niskie wartości prędkości skrawana przy gwintowaniu, istnieje niebezpieczeństwo tworzenia narostu, zwiększania chropowatości wykonywanego gwintu, zakleszczanie narzędzia w otworze. Istotne znaczenia ma stosowanie odpowiednich cieczy obróbkowych, a także używanie nowoczesnych narzędzi o ostrzach powlekanych warstwami przeciwzużyciowymi, które przyczyniają się również do poprawy jakości nacinanego gwintu.

Literatura:

[1] Kaczmarek J. : *Podstawy obróbki wiórowej, ściernej i erozyjnej,* WNT, Warszawa1971.
[2] Kunstetter St. : *Narzędzia skrawajace do metali,* WNT, Warszawa 1970.
[3] Dmochowski J. : *Podstawy obróbki skrawaniem,* PWN, Warszawa 1978.
[4] Górski E. : *Poradnik narzędziowca,* WNT, Warszawa 1980.
[5] Praca zbiorowa : *Poradnik metrologa warsztatowego*, WNT, Warszawa 1973.
[6] Ochęduszko K. : *Koła zębate - tom I-III*, WNT, Warszawa 1971.
[7] Katalog narzędzi firmy Baildonit.