

DŁUTAK MODUŁOWY Z OSTRZAMI O BOCZNYCH POWIERZCHNIACH PRZYŁOŻENIA UKSZTAŁTOWANYCH PROMIENIEM

**Kazimierz WIECZOROWSKI¹
Roman SIECLA²**

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono koncepcję konstrukcji dłutaków z ostrzami ukształtowanymi promieniem na bocznych powierzchniach przyłożenia. Omówiono problem kształtowania zarysu krawędzi skrawającej ostrza dłutaka oraz wskazano na możliwości wykonawcze noży tego typu. Podano sposób ukształtowania powierzchni natarcia noży dłutaków z promieniem utworzonym na bocznej powierzchniach przyłożenia.

Słowa kluczowe: koła zębate, dłutak z powierzchnią przyłożenia ukształtowaną promieniem, konstrukcja dłutaka.

1. WSTĘP

W ostatnim czasie w rozwiązaniach konstrukcyjnych można zauważyć tendencje do występowania rozwiązań nietechnologicznych.. Efekt ten wynika niejako

¹ prof. dr inż. dr h.c. .Kazimierz Wieczorowski - Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej

² dr inż. Roman Siecla - Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej

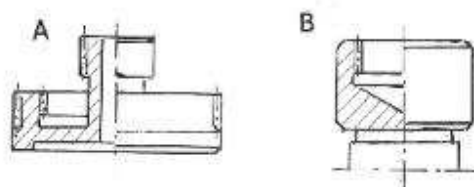
z ogólnego trendu związanego z miniaturyzacją i mikronizacją wyrobów, jak i stałego zmniejszania ich ciężaru. Analizując występujące ogólne trendy w procesach wytwarzania można je usystematyzować następująco:

- opracowanie nowych tworzyw konstrukcyjnych o nieznanych sposobach przetwarzania,
- dynamiczny wzrost ilościowy i asortymentowy wytwarzanych wyrobów,
- opracowanie i produkowanie całego szeregu nowych wyrobów o konstrukcjach często nietechnologicznych,
- rozwarstwienie programów produkcyjnych wytwarzanych wyrobów, na produkcję masową i produkcję jednostkową,
- zanik stosowania elementów znormalizowanych stypizowanych

Wynikiem przedstawionych najważniejszych trendów w procesach wytwarzania są niespotykane dotychczas kształty i wymiary części i zespołów urządzeń w artykule podane zostaną tylko wybrane przykłady związane z kołami zębatymi i przekładniami zębatymi.

Jednym z istotnie utrudniających wytwarzanie kół zębatych jest stosowanie bardzo różnych wartości modułów. Odnosi się wrażenie, że konstruktor najpierw rysuje koło zębate następnie określa liczbę zębów i dopiero następnie wylicza moduł koła, stąd takie przeróżne wartości spotykanych modułów. Oceniając występujące wartości modułów, można stwierdzić, że z najczęściej występujących modułów w latach 70 ubiegłego wieku to moduł $m = 3\text{mm}$, obecnie zaś występują moduły $m = 1,5 - 2,0\text{mm}$. W aktualnie występujących rozwiązaniach konstrukcyjnych przekładni zębatych trudno jest zrozumieć dlaczego, np. stosowane są moduły o wartościach $m = 0,73\text{mm}$, $0,94\text{mm}$, $1,04\text{mm}$, $1,24\text{mm}$, $1,73\text{mm}$ zamiast modułów znormalizowanych. Dla znormalizowanych modułów istnieją ogólnie dostępne handlowe narzędzia o różnych klasach dokładności, pokrywane twardymi warstewkami TiN oraz TiC, odpornymi na zużycie. Innym przykładem jest stosowanie nieewolwentowych zarysów na koła zębate. W grupie tych zarysów wymienić należy różne kształty zarysów dla obu stron zęba, i wreszcie kształty zębów wykorzystujące ewolwentę lecz o różnych kątach zarysu zęba dla każdego boku. Na uwagę zasługują także rozwiązania konstrukcyjne elementów uzębionych (rys.1.) dla, których konieczne jest konstruowanie i wykonywanie specjalnych dłutaków. Oceniając przedstawiony problem występowania różnych kształtów zębów kół zębatych zwrócono uwagę na licznosc ich występowania w produkcji. W tym aspekcie nasuwa się pytanie jakimi metodami wytwarzać tego typu uzębienie, a przede wszystkim jakie do wytwarzania tego rodzaju kół stosować narzędzia. Obserwując w zakładzie produkcyjnym wytwarzanie uzębienia o dziwnych zarysach stwierdzono odwołanie starej metody obróbki kształtowo-podziałowej pojedynczym narzędziem

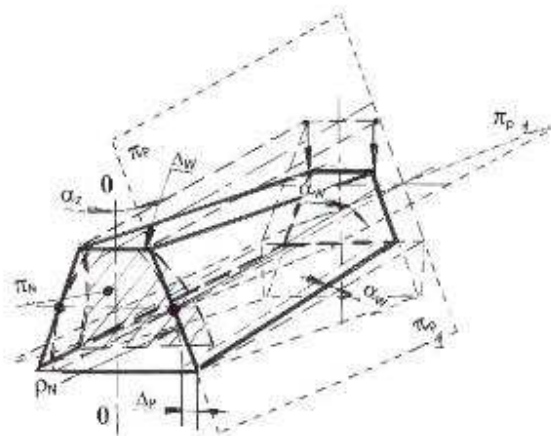
ostrzem o zarysie odpowiadający w „przybliżeniu” zarysowi wrębu koła. Metoda taka jest mało dokładna, nie tylko ze względu na „przybliżony” kształt narzędzia lecz także na konieczność dokonywania podziału po wykonaniu każdego wrębu, Metoda ta jest bardzo czasochłonna i kosztowna. Autorzy niniejszego opracowania zasugerowali zastosowanie do obróbki tego typu uzębień metody obwiedniowej, a jako narzędzie zastosowano nóż dłutak modułowy o specjalnie ukształtowanych bocznych powierzchniach przyłożenia z korygowaną powierzchnią natarcia [3,4,5,10].



Rys.1. Przykładowe konstrukcje kół zębatach dla wykonania, których wymagany jest specjalny dłutak. A - koło wielowiencowe moduł koła małego o uzębieniu zewnętrznym $m = 1,24$ mm koła dużego $m = 1,35$ mm oraz uzębieniu wewnętrznym $m = 1,15$ mm, B - uzębienie wewnętrzne $z = 15$, $m = 1,0$ mm

2. KSZTAŁTOWANIE ZARYSU OSTRZA DŁUTAKA

Ostrza dłutaków modułowych ukształtowane są przez stożkową powierzchnię natarcia i ewolwentowo - śrubowe powierzchnie przyłożenia. Wytwarzanie tak ukształtowanych narzędzi nastrocza wiele trudności. Szczególnie kłopotliwe jest wykonanie ewolwentowo - śrubowej powierzchni przyłożenia [3,4]. Autorzy niniejszego opracowania podjęli próbę, aby dla narzędzi które mają wykonywać nieznaną liczbę części uzębionych odwrócić sytuację, mianowicie. powierzchnie przyłożenia ukształtować jako powierzchnię ukształtowana promieniem ustawioną pod kątem przyłożenia, a powierzchnia natarcia uformować w postaci zapewniającej ukształtowanie ewolwentowego zarysu zęba koła obrabianego. Na rys. 2 przedstawiono jeden ząb w postaci fragmentu zębatki z promieniowo ukształtowaną powierzchnią przyłożenia i powierzchnią natarcia ukształtowaną jako powierzchnia stożkową również z promieniem.

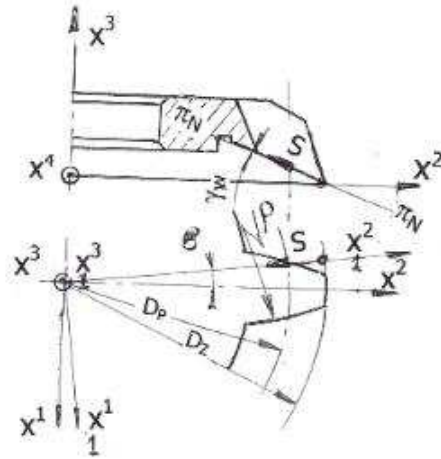


Rys.2. Ostrze noża dłutaka ukształtowane jako ząb zębatki – z promieniowo ukształtowaną powierzchnią przyłożenia i stożkową powierzchnią natarcia też z promieniem.

W celu otrzymania możliwie dokładnego zarysu ewolwentowego zęba koła obrabianego niezbędne jest aby rzut bocznej krawędzi skrawającej ostrza noża na płaszczyznę prostopadłą do jego osi był również ewolwentą. Boczne powierzchnie ostrza noża są powierzchniami pochylonymi pod kątem przyłożenia, a powierzchnia natarcia w naszym przypadku ukształtowana jest w postaci powierzchni stożkowej z określonymi zmianami (promieniami) wynikającymi z powstałej odchyłki od ewolwenty na płaszczyźnie prostopadłej do osi. Odchyłki wykonanego koła zębatego tak ukształtowanym ostrzem noża wynikają z przecięcia promieniowych powierzchni przyłożenia z stożkową „zmodyfikowaną promieniem” powierzchnią natarcia [7,8].

Przyjęcie takiego rozwiązania, w postaci promieniem ukształtowanych powierzchni przyłożenia, jest najprostsze, z punktu widzenia możliwości wykonawczych. Na drodze analizy matematycznej można określić zarys kształtowanego koła zębatego nożem o opisanej zmodyfikowanej konstrukcji [1,9].

Promieniowo ukształtowaną powierzchnią przyłożenia ostrza noża dłutaka można opisać równaniem wg rys.3.



Rys 3. Rysunek pomocniczy do określenia kąta przyłożenia dla promieniowo ukształtowanej powierzchni ostrza noża

$$\bar{\gamma}^p = -\frac{D_p}{2} \sin \varphi_0 + \rho(1 - \cos \psi) \cos \alpha_b \cos(d_3 - \varphi_0) + t \sin \alpha_b \cos(\alpha_3 - \varphi_0) + \rho \sin \psi \sin(\alpha_3 - \varphi_0)$$

$$\bar{\gamma}^p = \frac{D_p}{2} \cos \varphi_0 - \rho(1 - \cos \psi) \cos \alpha_b \sin(d_3 - \varphi_0) - t \sin \alpha_b \sin(\alpha_3 - \varphi_0) + \rho \sin \psi \cos(\alpha_3 - \varphi_0)$$

$$\bar{\gamma}^p = -\rho(1 - \cos \psi) \sin \alpha_b + t \cos \alpha_b \quad (1)$$

gdzie: D_p - obliczeniowa średnica podziałowa dłutaka

t, v - parametry bocznej powierzchni promieniowej przyłożenia

α_b - boczny kąt przyłożenia ostrza - kąt nachylenia bocznej powierzchni przyłożenia ostrza wyznaczany w płaszczyźnie prostopadłej do zarysu w punkcie na średnicy podziałowej narzędzia

φ_b - kąt pomiędzy promieniem wodzącym punktu zarysu ostrza na średnicy podziałowej a osią symetrii zarysu ostrza

α_3 - kąt pomiędzy powierzchnią boczną ostrza, a promieniem wodzącym punktu zarysu ostrza na średnicy podziałowej określany w płaszczyźnie prostopadłej do narzędzia

ρ - promień zarysu bocznej powierzchni przyłożenia ostrza narzędzia

Powierzchnie natarcia, która ukształtowana jest w postaci powierzchni stożkowej można opisać równanie wg rys.4.:

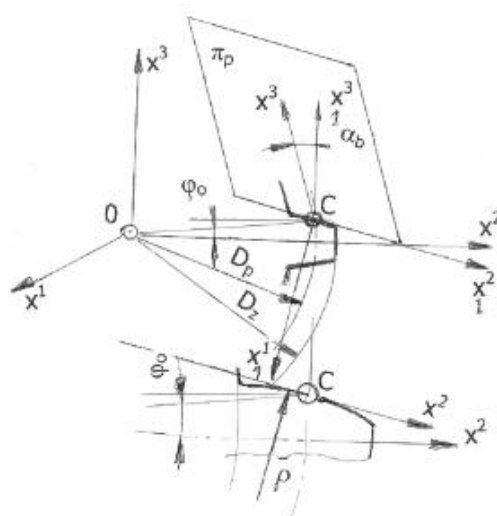
$$\begin{aligned} t^{(n)}(s, \delta) &= \left[-\left(\frac{D}{2} - s \cos \gamma_w\right) \sin \delta \right. \\ t^{(n)}(s, \delta) &= \left. \left(\frac{D}{2} - s \cos \gamma_w\right) \cos \delta \right. \\ t^{(n)}(s, \delta) &= \left. s \sin \gamma_w \right] \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie: D_z - zewnętrzna średnica dłutaka

s, δ - parametr powierzchni natarcia określający położenie dowolnego punktu na tworzącej stożka

φ - parametr powierzchni natarcia w postaci kąta obrotu tworzącej wokół osi powierzchni

γ_w - wierzchołkowy kąt natarcia ostrza noża (kąt stożka powierzchni natarcia)



Rys. 4. Powierzchnia natarcia dłutaka

Wynikiem przecięcia omówionych powierzchni jest krawędź skrawająca. Krawędź skrawająca ostrza dłutaka musi spełniać jednocześnie oba równania. Oznacza to, że każdy punkt tej krawędzi spełnia warunek:

$$\bar{\gamma}^{(p)}(t, v) = \bar{\gamma}^{(n)}(s, \delta) \quad (3)$$

Zapisany w ten sposób warunek jest równoważny układowi trzech równań skalar-nych.

Dla przyjętej wartości parametru „s”, powierzchni natarcia można z warunku równości trzecich składowych (składowych na osi x^3) wektorów (1) i (2) wyznaczyć parametr „t”. Trzecie z układu równań skalarnych równoważnych jest równaniem wektorowym (3).

$$\bar{\gamma}^{(p)}[3] = \bar{\gamma}^{(n)}[3] \quad (4)$$

Parametr „t”, powierzchni przyłożenia określa się z wzoru

$$t = \frac{s \sin \gamma_w + \rho(1 - \cos \psi) \sin \alpha_b}{s \cos \alpha_b}$$

$$\sin \psi = \frac{1}{\rho} \left[-\frac{D}{2} \cos \alpha_3 + (R_z - s \cos \gamma_w) \cos(\delta + \alpha_3 - \phi_0) \right] \quad \{ \quad (5)$$

$$f = t[\psi, \delta, \delta]$$

$$f(\delta) = \frac{D}{2} \sin \alpha_3 - \rho(1 - \cos \psi) \cos \alpha_b - t \sin \alpha_b - (R_z - s \cos \gamma_w) \sin(\delta + \alpha_3 - \psi_0)$$

Z pozostałych dwóch równań układu można wyznaczyć pozostałe parametry wg wzorów 6 i 7

$$V = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{D_p}{2} \cos \alpha_3 + \left(\frac{1}{\rho} \frac{D_z}{2} - s \cos \gamma_w \right) \cos(\delta + \alpha_3 + \phi_0) \right) \quad (6)$$

$$\cos \delta = \frac{AB + \sqrt{A^2 B^2 - (B^2 + C^2)(A^2 - C^2)}}{B^2 + C^2} \quad (7)$$

$$\text{gdzie: } A = \frac{1}{\rho} \left[\frac{D_p}{2} \cos \psi_0 - t m \alpha_b \sin(\alpha_3 - \varphi_0) - \frac{D_p}{2} \cos(\alpha_3 - \varphi_0) \cos \alpha_3 \right]$$

$$B = - \left[\frac{1}{\rho} \left(\frac{D_z}{2} s \cos \gamma_w \right) \sin^2(\alpha_3 - \varphi_0) \right]$$

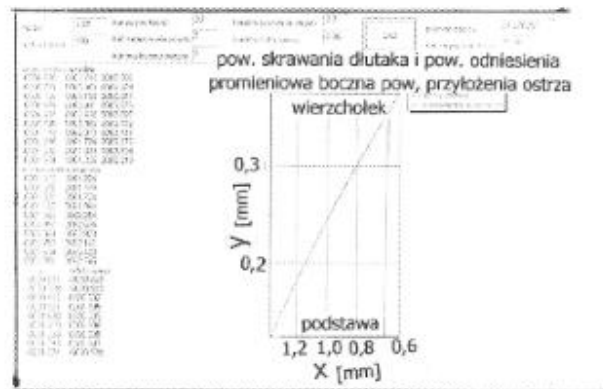
$$C = \left[\frac{1}{\rho} \left(\frac{D_z}{2} - s \cos \gamma_w \right) \sin(\alpha_3 - \varphi_0) \cos(\alpha_3 - \varphi_0) \right]$$

Otrzymane wartości podstawione do równania (1) lub (2) wyznaczają krawędź skrawającą dłutaka.

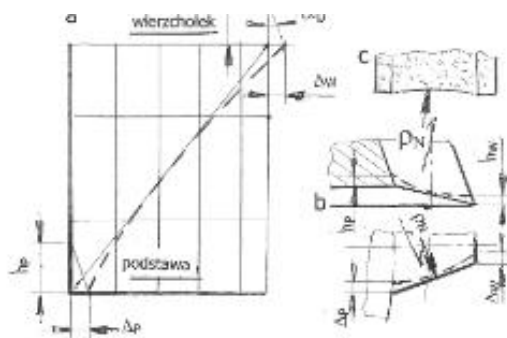
W pracy pokazano wykres rozkładu odchyłek na dla rzeczywistych warunków : $m = 1,2\text{mm}$, liczbą ostrzy noża $z = 125$, - otrzyma wartość odchyłki wynosi $\Delta = 0,122\text{mm}$ (rys.5)

Otrzymana wartość odchyłki odpowiada 12 klasie dokładności, stąd podjęto określone działania zmierzające do zmiany klasy dokładności. Znając rozkład odchyłek na zarysie otrzymanym z obliczeń komputerowych można obliczyć zmianę przestrzennego położenia krawędzi skrawającej

Na rys. 6a pokazano sposób zmiany położenia krawędzi skrawającej, a na rys. 6.c. odpowiednio ukształtowaną ściernicę tarczową.



Rys.5. Wykres rozkładu odchyłek otrzymany dla rzeczywistych wartości $m = 1,2\text{mm}$ i liczba ostrzy noża $z = 125$



Rys. 6. a- Wykres z przykładem odchyłek u podstawy i na wierzchołku, b – przykład zmiany położenia krawędzi skrawającej, c – zarys ściernicy z ukształtowaną korekcją

Na rysunku 7 pokazano wykonane wg tego opisu dłutki modułowe całkowicie zużyte w wyniku regeneracji na powierzchni natarcia (dla porównania wielkości dłutaków załączono zapalkę)



Rys. 7 Dłutki zaprojektowane i wykonane dla wytwarzanie pokazanych części na rysunku 1.

3. PODSUMOWANIE

Przedstawione skrótowo rozważania dotyczące odmiennego ukształtowania ostrzy noża dłutaka umożliwiają obróbkę uzębień o zróżnicowanych zarysach i różnych wartościach modułów. Wykonanie tego typu dłutaków jest możliwe w każdych warunkach warsztatowych na konwencjonalnych obrabiarkach typowymi narzędziami. Zarys promieniowy powierzchni przyłożenia każdego boku noża oddzielnie kształtowany jest po obróbce cieplnej ściernicą tarczową przy ustawieniu noża pod wierzchołkowym kątem przyłożenia. Dla dłutaków mniej dokładnych szlifowanie bocznych powierzchni przyłożenia odbywa się przez ustawienie ściernicy nie osiowej i szlifowanie wgłębne.

4. UWAGI I WNIOSKI

Zastosowanie promieniowej powierzchni przyłożenia ostrzy dłutaka modułowego o zębach prostych, pozwala na wykonanie tych narzędzi metodą obróbki kształtowej co istotnie upraszcza technologię. Taka konstrukcja dłutaka daje możliwość wykonania tych narzędzi na obrabiarkach uniwersalnych w zakładach o odpowiedniej kulturze technicznej. Niestety rzeczywisty kąt zarysu dłutaka jest różny od kąta zarysu koła obrabianego co powoduje konieczność przeprowadzenia niezbędnych obliczeń. Z przeprowadzonych badań i analiz teoretycznych wynika, że zastosowanie promieniowej powierzchni przyłożenia ostrza dłutaka zwłaszcza dla noży o małej liczbie ostrzy prowadzi do większych błędów zarysu narzędzia. W tym aspekcie takie rozwiązanie konstrukcyjne ostrza dłutaka wymaga przeprowadzenia korekty zarysu powierzchni natarcia lub przyjęcia innej wartości promienia powierzchni przyłożenia. Najkorzystniej jest na wstępie konstrukcji noża dla danej średnicy wyznaczyć zarys ewolwenty i wykreślić do niej odpowiedni „ściśle styczny” przylegający promień.

LITERATURA

- [1] BUCKINGHAM. E. *Analytical Mechanics of Gears*. McvGraw – Hill Book Company New York 1949,
- [2] KOĆ A. *Teoretyczne podstawy konstrukcji narzędzi obwiedniowych*. PWN Warszawa 1991,
- [3] KUNSTETTER St. *Podstawy konstrukcji narzędzi skrawających*. WNT. Warszawa 1980,
- [4] NIESZPOREK T *Podstawy konstrukcji narzędzi skrawających do obróbki walcowych uzębień zewnętrznych*. Wyd. Pol. Częst. Częstochowa 2004,

- [5] NIESZPOREK T. SIECLA R. *Analiza geometryczna dłutaka modułowego o uproszczonej technologii*. Arch. Techn. Masz. i Aut. Wyd. Pol. Poz. Poznań Vol. 24 nr1.
- [6] OCHEŁDUSZKO K. *Koła zębate wykonanie i montaż* WNT Warszawa 1976,
- [7] SIECLA R. WIECZOROWSKI K. *Modyfikacja zarysu koła zębatego, kształtowana powierzchnią natarcia standardowego dłutaka modułowego*. ZN Pol. Rzesz. Mechanika z 57 Rzeszów 2001
- [8] WIECZOROWSKI K. *Studia nad procesem dłutowania obwiedniowego kół zębatych ewolwentowych dłutakiem modułowym*. ZN. GOBiEN. Gorzów Wlkp. 1982,
- [9] WIECZOROWSKI K. SIECLA R. *Dłutak z płaskimi bocznymi powierzchniami przyłożenia*, ZN. Pol. Rzesz. Mechanika z 57 Rzeszów 2001.
- [10] WIECZOROWSKI K. NIESZPOREK T. SIECLA R. *Analiza geometryczna dłutaka modułowego z ostrzami o płaskich powierzchniach przyłożenia* W zb. pt.: Koła zębate pod red. St Legutko, K. Wieczorowski Wyd. Kom Bud. Masz. PAN oddz w Poznaniu Poznań 2004
- [11] WIECZOROWSKI K. *Kierunki rozwoju technologii maszyn*. Wykład z okazji dr H.C. na Uniwersytecie w Rostowie n/Donem