

Jan Wójcikowski, Jan Gamrot

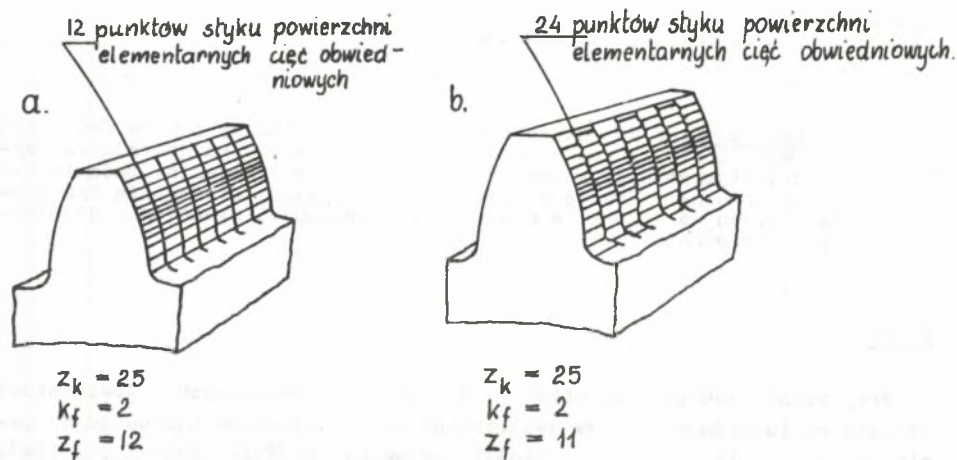
Instytut Budowy Maszyn

#### BADANIA I OCENA MOŻLIWOŚCI UŻYCIA FREZÓW ŚLIMAKOWYCH WIELOZWOJNYCH DO OBRÓBKI UZĘBIEŃ KÓŁ ZĘBATYCH

**Streszczenie:** Rozpatrzone wpływ stosunku liczby zwojów freza ślimakowego do liczby nacinanych zębów kół zębatych na dokładność wykonania uzębienia przy pomocy frezowania i wiórkowania. Badania wykazały istotny wpływ tego stosunku w przypadku stosowania frezowania uzębień na gotowo, a nieistotny w przypadku stosowania dodatkowego wiórkowania.

#### Wstęp

Przy ocenie dokładności obróbki kół zębatych frezowanych obwiedniowo frezami wielozwojnymi należy uwzględniać wpływ stosunków zachodzących pomiędzy zwojnością freza -  $k_f$ , ilością zębów na obwodzie freza  $z_f$ , a ilością zębów koła obrabianego -  $z_k$ . Zalecenia [1,2] oparte głównie na geometrycznej analizie względnych ruchów narzędzia i przedmiotu obrabianego frezowaniem obwiedniowym, preferują stosowanie frezów o liczbie zębów -  $z_f$  nie będącej krotnością liczby zwojów freza. Równocześnie zaleca się stosowanie frezów ślimakowych z taką liczbą zwojów, która po przemnożeniu przez dowolną liczbę naturalną nie powinna równać się liczbie zębów obrabianego koła zębatego (tzw. "podwielokrotność"). Spełnienie tych warunków daje korzystny rozkład cięć obwiedniowych na flance nacinanego zęba (rys. 1). W efekcie powstaje korzystniejszy rozkład styku powierzchni elementarnych kolejnych cięć obwiedniowych wzdłuż flanki zęba, co daje wzrost żywotności koła zębatego współpracującego w przekładni. Stosowanie frezów wielozwojnych o liczbie zwojów nie będącej "podwielokrotnością" liczby zębów obrabianego koła jest również uzasadnione tym, że błędy położenia zwojów na obwodzie freza nie powinny być odwzorowywane ciągle w tym samym wrębie. Powodowało by to bowiem obniżenie dokładności podziałek obwodowych, a w pewnym sensie także prawidłowości zarysów nacinanego uzębienia. korzystniej jest, gdy nieuniknione błędy podziału zwojów freza rozłożone są równomiernie na wszystkie wręby nacinanego uzębienia. Stwarza to warunki, w których wartości liczbowe danego rodzaju błędu uzębienia (np. błędu bicia promieniowego  $\Delta_r$ , błędu koła zasadniczego  $\Delta_e$  itd.) powinny się utrzymywać w przybliżeniu na takim samym poziomie dla kolejnych zębów koła.



Rys. 1. Błędy profilu zębów frezowanych frezem wielozwojnym

W praktyce należy się jednak liczyć z wpływem jeszcze innych czynników na dokładność obróbki, na przykład:

- błąd skoku linii śrubowej zwojów freza (dopuszczalne wartości tego błędu zależą od przyjętej klasy dokładności freza),
- błędy ustawienia narzędzia na obrabiarce (bicie promieniowe, bicie osiowe),
- niedokładność łańcucha kinematycznego frezarki wiążącego frez ze stołem.

Gdy liczba zębów koła obrabianego jest wielokrotnością liczby zwojów freza, to występuje cykliczna powtarzalność wartości poszczególnych błędów uzębienia na obwodzie obrabianego koła, co  $k_f$  - ty ząb. Tę niekorzystną sytuację można nieco poprawić, o ile zastosuje się dokładniejsze narzędzia (wyższej klasy) oraz zapewni wysoką dokładność ustawienia freza na obrabiarce. W literaturze odczuwa się brak pełnego, popartego badaniami, liczbowego porównania wartości poszczególnych rodzajów błędów oraz klas dokładności uzębienia, wykonywanego w rozważanych warunkach. Nie podaje się również, w jakiej mierze obróbka wykańczająca np. wiórkowaniem może usunąć wspomniane niedokładności frezowania uzębienia, a w szczególności czy i do jakich granic wiórkowanie eliminuje cykliczną powtarzalność poszczególnych błędów.

Cel i zakres badań

Przeprowadzone badania miały na celu:

- określenie wielkości niektórych błędów frezowania obwodniowego i ocenę dokładności uzębienia wykonywanego frezem wielozwojnym o "podwielokrotnej" liczbie zwojów oraz o liczbie zwojów nie będącej podwielokrotnością liczby zębów koła obrabianego,
- określenie rozkładu błędów uzębienia w funkcji numeru kolejnego zęba koła dla obu podanych przypadków,
- ocenę wpływu wiórkowania na poprawę dokładności kół zębatych, frezowanych narzędziami o wymienionych cechach.

Stanowisko badawcze i warunki prób

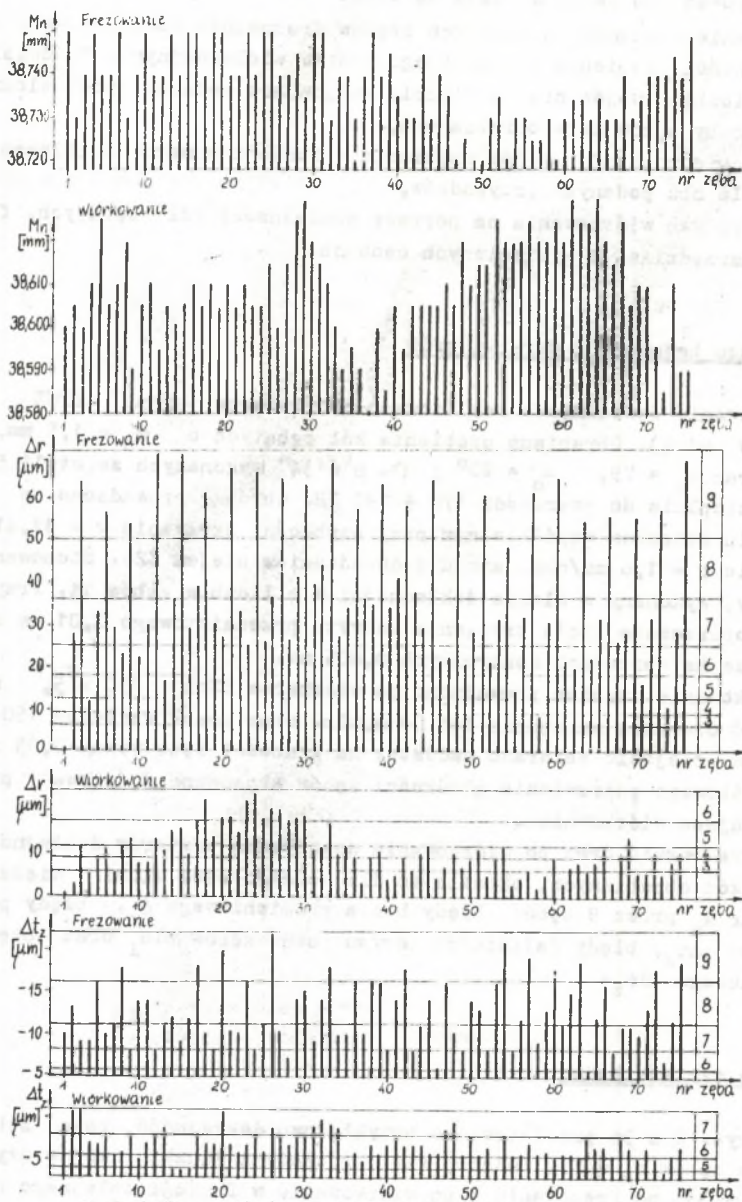
Frezowanie obwodniowe realizowano na frezarce typu ZFWZ 250 x 5 (IIa/WMW Modul). Obrabiano uzębienia kół zębatych o  $m_o = 1,5$  mm,  $z_k = 75$  oraz  $z_k = 79$ ,  $\alpha_o = 20^\circ$  i  $\beta = 8^\circ 6' 34''$  wykonanych ze stali 55 ulepszonej cieplnie do twardości  $170 \pm 192$  HB. Obróbkę prowadzono w jednym przejściu sposobem współbieżnym przy szybkości skrawania  $v = 31,41$  m/min. i posuwie  $p = 1,6$  mm/obr. stożu z chłodzeniem olejem Z26. Stosowano frez 3-zwojny, wykonany w klasie dokładności A o liczbie zębów 14. Przy frezowaniu dopuszczano bicie trzpienia uchwytu przedmiotowego 0,01 mm oraz bicie freza na obrzeżach kontrolnych 0,005 mm.

Wiórkowanie uzębienia prowadzono na wiórkarce ZSch 250 x 5, stosując szybkość obwodową narzędzia 101,78 m/min. oraz posuw wzdłużny 150 mm/min. W jednym przejściu zbierano naddatek na grubości zęba równy 0,03 mm. W celu dodatkowego poprawienia gładkości zębów stosowano 2 jałowe przejścia wykańczające wiórkownika.

Po frezowaniu oraz po wiórkowaniu dokonywano pomiarów dokładności uzębienia kół obrabianych, określając dla każdego zęba (luki międzyzębnej) - wymiar  $M_n$  przez 9 zębów, błędy bicia promieniowego  $\Delta_r$ , błędy podziałki przyproru  $\Delta t_z$ , błędy falistości zarysu boków zębów  $\Delta e_f$  oraz błędy koła zasadniczego  $\Delta e_z$ .

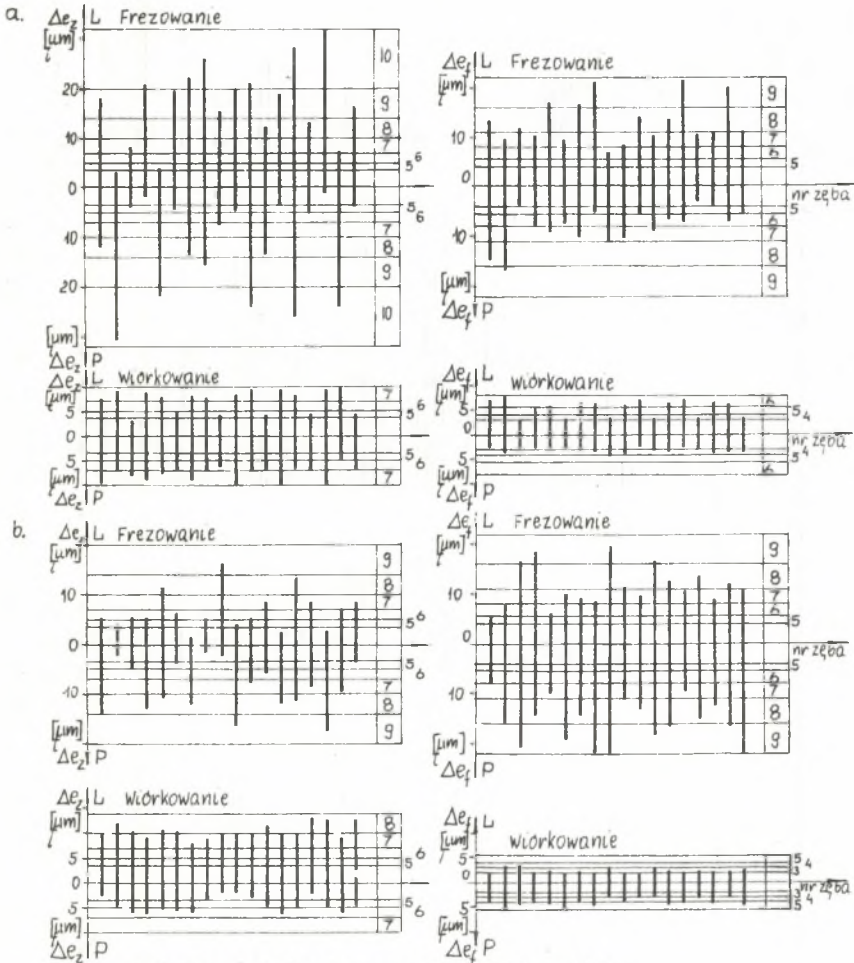
Analiza wyników badań

Na rys. 2 i 3a przedstawiono przykładowo dokładność koła zębatego o liczbie zębów  $z_k = 75$ , będącej wielokrotnością liczby zwojów użytego freza ( $k_f = 3$ ), po frezowaniu i po wiórkowaniu w funkcji kolejnego numeru zęba koła. We wszystkich przypadkach po frezowaniu uzyskano wyraźną powtarzalność błędów. Co trzeci ząb koła wykazuje wyraźnie większe błędy. Odnosi się to szczególnie do błędów bicia promieniowego  $\Delta_r$  uzębienia oraz

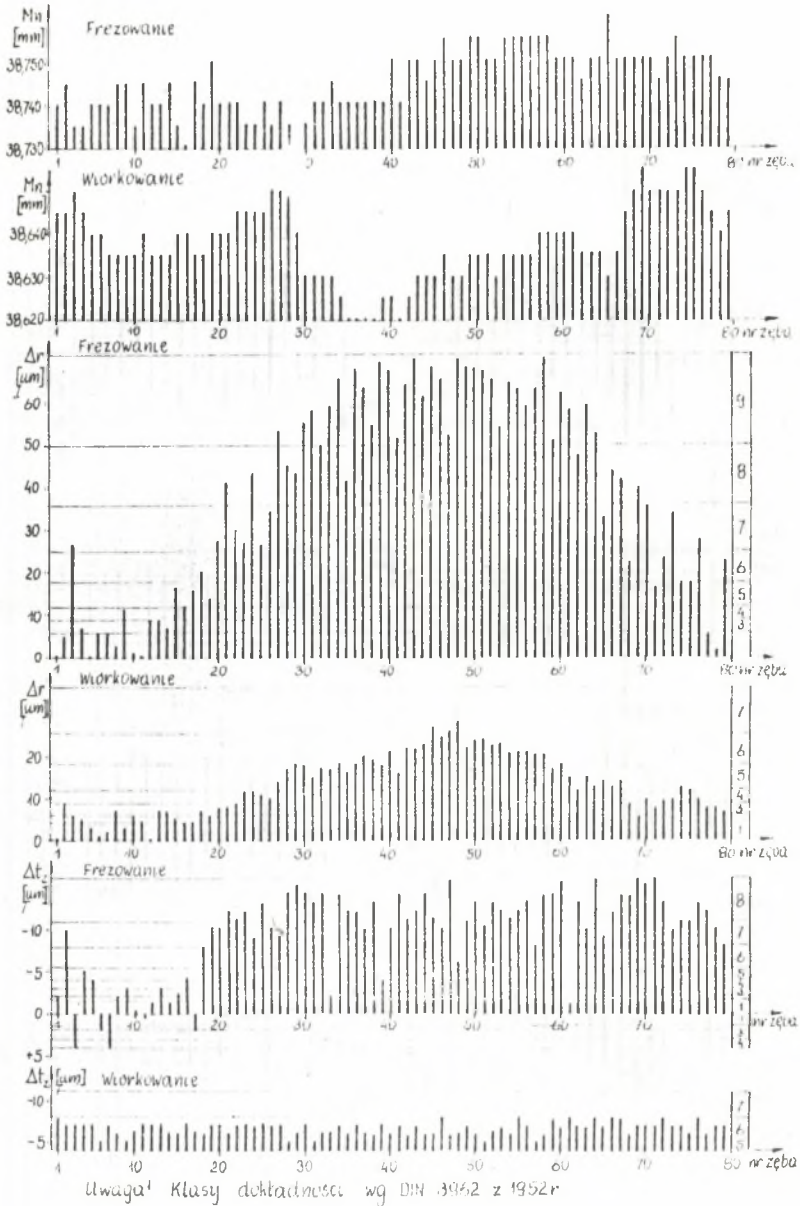


Uwaga! Klasy dokładności wg DIN 3962 z 1952r

Rys. 2. Wyniki pomiarów wymiaru  $M_n$  przez 9 zębów, błędów bicia promienowego  $\Delta_r$  i błędów przedziałki przyporu  $\Delta_{tz}$  dla koła  $m = 1,5$  mm,  $z_k = 75$  po frezowaniu frezem 3 zwojnym i po wiórkowaniu.



Rys. 3. Wyniki pomiarów błędów koła zasadniczego  $\Delta e_z$  i błędów zarysu boku zęba  $\Delta e_f$  po frezowaniu frezem 3-zwojnym i po wiórkowaniu dla koła: a.  $m = 1.5$  mm,  $z_k = 75$ , b.  $m = 1.5$  mm,  $z_k = 79$



Rys. 4. Wyniki pomiarów wymiaru  $M_n$  przez 9 zębów, błędów bicia promieniowego  $\Delta_r$  i błędów podziałki przyporu  $\Delta_{t_2}$  dla koła  $m = 1.5$  mm,  $z_k = 75$  po frezowaniu frezem 3-zwojnym i po włórkowaniu.

błędów podziałki przyporu  $\Delta t_z$  (rys. 2). Pomiary błędów zarysu  $\Delta e_f$  boku zęba oraz błędów koła zasadniczego  $\Delta e_z$  (rys. 3a) wykazały, że i w tym przypadku występuje cykliczna powtarzalność błędów obróbki. Ogólnie więc można stwierdzić, że co trzeci ząb koła (o liczbie zębów  $z_k = 75$  frezowanego frezem 3-zwojnym) jest mniej dokładny od pozostałych przeciętnie o 2-3 klasy dokładności wg DIN [4]. W wyniku tego uzębienia zakwalifikowano do 9 klasy dokładności dla błędów  $\Delta_r$  i  $\Delta e_f$ , a do 10 klasy ze względu na błędy  $\Delta t_z$  i  $\Delta e_z$  (wg DIN [4]).

Wiórkowanie - jak wykazały badania - daje natomiast poprawę dokładności uzębienia uprzednio frezowanego (rys. 2 i 3a). Ponadto stwierdzono, że cykliczna powtarzalność błędów występujących po frezowaniu pozostaje i po wiórkowaniu, ale rozrzut skrajnych wartości maleje średnio o 50-60%.

Dokładność uzębienia wiórkowanego odpowiada 6 klasie dokładności dla błędów  $\Delta_r$  i  $\Delta e_f$ , a 7 klasie dokładności dla błędów  $\Delta t_z$  i  $\Delta e_z$  (wg DIN [4]). Jedyne błąd wymiaru  $M_n$  mierzony przez 9 zębów (rys. 2) wykazuje po wiórkowaniu poważną jeszcze nierównomierność sięgającą 9 klasy dokładności, co jest konsekwencją nierównomiernego skrawania naddatku z poszczególnych zębów na skutek bicia.

Na rysunkach 3b i 4 przedstawiono błędy uzębienia po frezowaniu frezem 3-zwojnym, koła o module  $m = 1,5$  mm i liczbie zębów  $z_k = 79$  (niepodzielnej przez 3) w funkcji kolejnego numeru zęba obrabianego koła. Zróżnicowanie błędów sąsiednich zębów jest znacznie mniejsze w porównaniu z uprzednio badanym kołem ( $z_k = 75$ ). Dokładność uzębienia frezowanego odpowiada 9 - 10 klasie wg DIN [4].

Pomimo, że liczba zębów koła obrabianego nie jest podzielna przez zwojność freza, można jednak i tutaj zauważyć pewną powtarzalność błędów co 3 zęby, szczególnie w przypadku błędu bicia promieniowego  $\Delta_r$  oraz błędów podziałki przyporu  $\Delta t_z$  (rys. 4).

Następujące po frezowaniu wiórkowanie - jak to wskazują wykresy przedstawione na rys. 3b i 4 eliminuje powtarzalność błędów, zapewniając kołu dokładność rzędu 7-8 klasy wg DIN.

## Wnioski

Prowadzone badania wykazały, że:

Stosunek pomiędzy liczbą zwojności freza i liczbą nacinanych zębów powinien być brany pod uwagę w tych przypadkach, gdy uzębienie wykonywane jest frezowaniem na gotowo; koła zębate o liczbie zębów nie będącej wielokrotnością liczby zwojów freza wykazują większą dokładność wykonania podziałki ( $\Delta t_z$ ) o 1 klasę [4] w stosunku do kół o podzielnej ilości zębów.

Gdy uzębienie wstępnie frezowane jest następnie wiórkowane, to wpływ stosunku zwojności freza do liczby nacinanych zębów zanika i może być uznawany za nieistotny; wiórkowanie podnosi dokładność kół uprzednio frezowanych przeciętnie o 2 klasy dokładności.

## LITERATURA

- [1] Rohmert Jürgen: Schweiz Maschinen-Markt, 72,48, 1972, 36 1972, 72,48, 3б.
- [2] Castelli Roberto: Macchine 28,3, 1973, 135.
- [3] С.С. Нiekрасow, W.N. Safiullin: Stanki i instrument 3, 1968, 20.
- [4] Norma DIN 3962 z 1952 r.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЧЕРВЯЧНОЙ  
ДИВизиОННОЙ ФРЕЗ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

## Резюме

В статье рассмотрено влияние соотношения количества заходов червячной фрезы к количеству нарезаемых зубьев зубчатых колёс на точность выполнения зубьев при помощи фрезерования и шевингования. Исследования проявили существенное влияние этого соотношения в случае чистового фрезерования и незначительное влияние в случае применения дополнительного шевингования.

EXAMINATION AND ESTIMATION OF MULTI-THREAD HOBS  
SUITABILITY FOR HOBBING GEARS WITH TEETH NUMBER  
DIVISIBLE BY THREAD NUMBER, IF SHAVING USED

## Summary

The effect of a hob thread number ratio to the teeth number of a gear being machined, on the accuracy of its machining, on the way of hobbing and shaving has been examined. The work has shown a definit effect of the ratio in the case of readymade hobbing but a slight one if additional shaving is used.