ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1980

Seria: MECHANIKA z. 68 Nr kol. 664

Jan WÓJCIKOWSKI, Jan GAMROT

ANALIZA EFEKTYWNOŚCI NACINANIA UZĘBIEŃ KÓŁ ZĘBATYCH FREZAMI ŚLIMAKOWYMI O OSTRZACH Z WĘGLIKÓW SPIEKANYCH

Streszczenie. Omówiono główne tendencje rozwoju frezów ślimakowych z ostrzami z węglików spiekanych oraz zaprezentowano nowy frez składany konstrukcji IBM Politechniki Śląskiej. Ponadto przeanalizowano i porównano koszty operacji frezowania uzębienia, realizowanych frezami jednolitymi ze stali szybkotnącej i frezem składanym z ostrzami z węglika spiekanego.
Stwierdzono pełną opłacalność przemysłowego stosowania freza składanego konstrukcji IBM z uwagi na 4-krotnie większą jego wydajność przy kosztach operacji frezowania o 40% mniejszych w stosunku do freza jednolitego ze stali szybkotnącej.

1. TENDENCJE W ZAKRESIE ZASTOSOWANIA WĘGLIKÓW SPIEKANYCH NA OSTRZA FREZÓW ŚLIMAKOWYCH DO UZĘBIEŃ

Dążenie do zwiększenia wydajności obróbki oraz obniżenia kosztów wykonania uzębień kół zębatych, z równoczesnym zapewnieniem żądanej ich jakości, inspiruje intensywne badania zmierzające do doskonalenia narzędzi skrawających, Jedną z dróg poprawy własności skrawnych narzędzi do uzębień jest stosowanie nowych materiałów narzędziowych, w tym węglików spiekanych metali [1,2].

W ostatnich latach szereg firm oraz ośrodków badawczych, np.Mikron,Azumi, Fette, UISM (ZSRR) próbuje wykorzystać węgliki spiekane na ostrza frezów ślimakowych do uzębień. Przy zastosowaniu takich frezów możliwe są do uzyskania, podczas frezowania uzębienia, prędkości skrawania rzędu 3 ÷ 5 m/s oraz posuwy do 4 mm/obr. [3,4]. W efekcie kilkakrotnie skraca się czas wykonania uzębienia. Jednakże względnie niska wytrzymałość na zginanie i udarność węglików spiekanych oraz mała odporność na cykliczne,znaczne zmiany temperatury, udarowo pracującego ostrza, często jeszcze prowadzą do powstania na nim wykruszeń i pęknięć, co jak dotychczas stanowi barierę w szerokim upowszechnianiu tych nowych narzędzi [5].

W zakresie rozwiązań konstrukcyjnych badania koncentrują się na konstrukcji i wykonaniu:

a) jednolitych frezów ślimakowych w całości wykonanych z węglików spiekanych metali, głównie frezów o modułach do około 1,5 ÷ 2 mm,
b) frezów ślimakowych zaopatrzonych w ostrza z węglików spiekanych w postaci zębatek naklejonych bądź nalutowanych na stalowy korpus narzędzia,

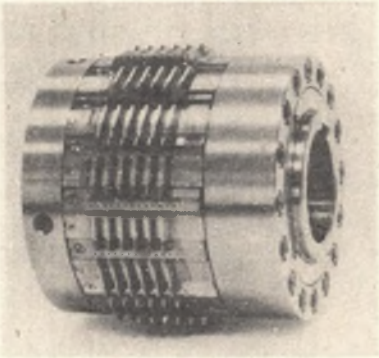
c) frezów ślimakowych z mechanicznie mocowanymi w korpusie narzędzia zębatkami lub oddzielnymi ostrzami (płytkami) wykonanymi z węglików spiekanych metali. Frezy takie konstruowane są obecnie głównie dla większych modułów, tj. dla m > 6 mm.

Frezy grupy a) i b) mają tę wadę, że wykruszenie jednego ostrza powoduje nieużyteczność freza i wybitnie zmniejsza ekonomikę jego stosowania. Frezy grupy c) usuwają tę wadę, stwarzając możliwość wymiany pojedynczej zębatki lub też jeszcze lepiej, pojedynczego ostrza. Konstrukcyjne rozwiązania takich narzędzi są jednak znacznie trudniejsze.

Większość produkowanych obecnie kół zębatych wykonywana jest w zakresie modułów 2 - 6 mm jako wiórkowane lub szlifowane. Wynika z tego, że wysokowydajne narzędzie do obróbki uzębienia, zastosowane w produkcji takich właśnie kół, winno przynieść znaczne efekty ekonomiczne.

2. KRÓTKI OPIS FREZA ŚLIMAKOWEGO SKŁADANEGO KONSTRUKCJI INSTYTUTU BUDOWY MASZYN ORAZ WARUNKÓW PROWADZONYCH NIM PRÓB SKRAWANIA

W Instytucie Budowy Maszyn Politechniki Śląskiej skonstruowano i przebadano frez ślimakowy składany m = 2 mm z indywidualnymi wymiennymi ostrzami ze spiekanego węglika metalu (rys. 1).



Rys. 1. Frez ślimakowy składany konstrukcji IBM

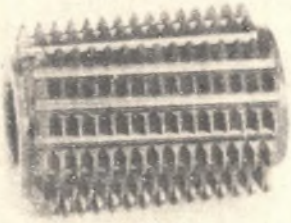
Frez ten, wykonany jako 3-krotny, o średnicy zewnętrznej 130 mm, posiada w korpusie ze stali 40HM 16 równoległych do osi rowków, w których mocowanych jest mechanicznie 96 wymiennych, odwracalnych płytek ze spieku S25S. Pojedyncze ostrza freza dzięki specjalnej konstrukcji mogą być 4-krotnie odwrócone i wykorzystane. Możliwe jest również kilkakrotne ostrzenie płytek realizowane na ich powierzchniach przyłożenia.

Konstrukcja płytek pozwala na obróbkę ich zarysu oraz ostrzenie w kompletach, na szlifierce do płaszczyzn przy użyciu stosunkowo prostych uchwytów obróbkowych. Mocowanie płytek w kierunku obwodowym i osiowym jest szybkie i łatwe, ponieważ realizowane jest oddzielnie w każdym rowku, za pomocą jednego wkręta, współpracującego ze specjalnym zaciskiem. Konstrukcja freza umożliwia wymianę dowolnego uszkodzonego ostrza, również na obrabiarce, bez zdejmowania narzędzia z trzpienia frezarskiego. Zaopatrzenie freza w komplety dolnych podkładek wyrównawczych daje możliwość do 4-krotnego ostrzenia regenerującego płytek skrawających. Zwiększa to ekonomikę stosowania omawianego narzędzia.

Opisany frez w zasadzie przeznaczony był do obróbki kół zębatych końcowo wiórkowanych, ze stali 55 ulepszanej cieplnie do twardości 220 ÷ 255 HB, produkowanych przez ZMEiM "Indukta" w Bielsku Białej. Przeprowadzone próby warsztatowe wykazały, że optymalne warunki skrawania przy obróbce koła o liczbie zębów 79 i zębach prawoskośnych ($\beta = 8^{o}06'34''$), frezowanego współbieżnie z wcinaniem osiowym, wynoszą v = 2,74 m/sek, p = 2,71 mm/obr. Frezowanie uzębienia prowadzono w jednym przejściu, bez chłodzenia na frezarce firmy Modul typ ZFWZ 315 x 6, posiadającej moc napędu głównego 15 kW oraz maksymalną prędkość obrotową wrzeciona roboczego równą 16,66 obr./sek.

3. EFEKTY EKONOMICZNE STOSOWANIA FREZA ŚLIMAKOWEGO SKŁADANEGO O OSTRZACH Z WĘGLIKÓW SPIEKANYCH

Frez składany konstrukcji IBM zaprojektowany został w ten sposób, aby wykonanie go było technologicznie proste i dało się przeprowadzić przy użyciu wyłącznie obrabiarek ogólnego przeznaczenia. Aby ocenić na ile stosowanie takiego narzędzia jest opłacalne w warunkach zakładowych ZMEiM "Indukta", obliczono i porównano koszty operacji frezowania obwiedniowego uzębienia koła zębatego jak wyżej, realizowanych:



Rys. 2. Frez jednolity ze stali SRMoK5 produkcji firmy Pons Cantamessa

a) frezem konwencjonalnym NFMo 1-krotnym ze stali SW18, produkcji FWP im. gen. K. Świerczewskiego,

b) frezem 3-krotnym ze stali SRMoK5 produkcji firmy Pons Cantamessa (Włochy) (rys. 2).

c) frezem 3-krotnym składanym konstrukcji IBM Politechniki Śląskiej (rysunek 1).

Frezy a) i b) wykorzystywano dotychczas w produkcji, w ZMEiM "Indukta" stosując dla nich następujące warunki skrawania:

- v = 0,37 m/s, p = 2 mm/obr. w przypadku a)
- v = 0,66 m/s, p = 2 mm/obr. w przypadku b).

Dla freza c) przyjęto w obliczeniach wartości optymalne:

- v = 2,74 m/s, oraz p = 2,71 mm/obr.

Koszt operacji frezowania uzębienia frezem a) lub b) można określić z zależności (1)

$$K = t\left[K_F + \frac{1}{T}\left|\frac{N_f + i_o \cdot t_o \cdot K_o}{i_o + 1} + t_w \cdot K_F\right|\right] \qquad (1)$$

W przypadku frezowania uzębienia frezem c) koszt operacji liczono wg wzoru (2):

$$K = t\left\{K_F + \frac{1}{T}\left[\frac{\frac{N_K}{i_a} + N_p + (i_o \cdot t_o + t_s)K_o}{i_b(i_o + 1)} + t_u \cdot K_u + t_w \cdot K_F\right]\right\} \qquad (2)$$

Znaczenie przyjętych symboli:

K (zł) - koszt operacji frezowania uzębienia jednego koła obrabianego

t (s) - czas obróbki uzębienia jednego koła obliczany z zależności (3)

$$t = \frac{z_k}{p \cdot z_f \cdot n_f}\left(b_k + \frac{l_d + l_w}{i_k}\right) + \frac{t_s}{i_k} \qquad (3)$$

z_k - liczba zębów koła obrabianego

z_f - liczba zwojów freza ślimakowego

p (mm/obr.) - posuw osiowy narzędzia

n_f (obr/s) - prędkość obrotowa narzędzia

b_k (mm) - szerokość wieńca koła obrabianego

l_d (mm) - droga dobiegu osiowego freza

l_w (mm) - droga wybiegu osiowego freza

i_k - liczba kół równocześnie obrabianych w stosie

t_s (s) - czas szybkich ruchów jałowych

K_F (zł/s) - koszt eksploatacji stanowiska frezarskiego

T (s) - okres trwałości ostrzy narzędzia

N_f (zł) - koszt zakupu freza jednolitego

N_K (zł) - koszt wykonania korpusu oraz wszystkich innych elementów freza składanego, za wyjątkiem płytek skrawających

N_p (zł) - koszt zakupu jednego kompletu płytek w stanie surowym

i_o - liczba możliwych przeostrzeń freza jednolitego lub płytek skrawających freza składanego

i_a - liczba kompletów płytek skrawających, jaką można wykorzystać w korpusie freza składanego aż do wycofania go z eksploatacji

i_b - liczba możliwych wykorzystań płytek wieloostrzowych między kolejnymi ich ostrzeniami

t_o (s) - czas ostrzenia freza jednolitego lub jednego kompletu płytek skrawających freza składanego

t_s (s) - czas wykonania jednego kompletu płytek skrawających freza składanego

t_u (s) - czas przestawiania płytek we frezie składanym

t_w (s) - czas wymiany zużytego freza na frezarce obwiedniowej

K_u (zł/s) - koszt eksploatacji stanowiska do ustawiania płytek skrawających we frezach składanych.

K_o (zł/s) - koszt eksploatacji stanowiska do ostrzenia frezów jednolitych lub stanowiska do ostrzenia płytek skrawających frezów składanych,

Obliczenia przeprowadzone wg wzoru (3) dla frezowania współbieżnego z wcinaniem osiowym 6 kół w stosie wykazały, że czas t obróbki jednego koła frezem konstrukcji IBM stanowi:

- 7% czasu określonego dla przypadku użycia freza produkcji FWP oraz
- 26% czasu, jaki wystąpi prze użyciu freza firmy Pons Cantamessa.

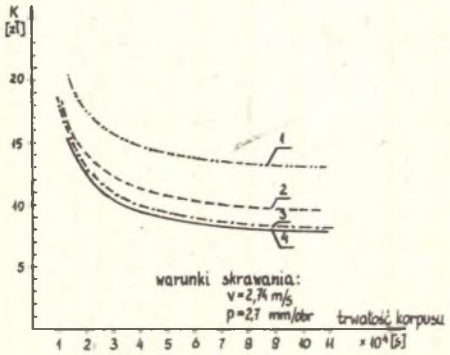
Czas pomocniczy natomiast stanowi około 70% czasu maszynowego frezowania uzębienia frezem składanym (IBM).

Z porównania wyliczonych wg wzorów (1) i (2) kosztów operacji frezowania uzębienia wynika, że koszt ten dla freza konstrukcji IBM jest:

- 3,1 razy mniejszy niż przy zastosowaniu freza produkcji FWP oraz
- o 3% niższy niż w przypadku freza produkcji włoskiej.

Przy założeniu jednego ostrzenia regenerującego płytek skrawających freza składanego koszt operacji wykonanej tym narzędziem jest:

- 4,2 razy mniejszy niż przy użyciu freza produkcji FWP oraz
- o 30% mniejszy niż przy zastosowaniu freza firmy Pons Cantamessa.



Rys. 3. Wpływ liczby ostrzeń regenerujących płytek wymiennych na koszt operacji frezowania uzębienia realizowanej frezem składanym konstrukcji IBM

krzywa 1 - płytki nieregenerowane,
krzywa 2 - płytki 1-krotnie ostrzone
krzywa 3 - płytki 2-krotnie ostrzone
krzywa 4 - płytki 3-krotnie ostrzone

Przyjęcie dwukrotnego ostrzenia płytek powoduje, że koszt operacji frezowania uzębienia frezem konstrukcji IBM jest około 5-krotnie mniejszy niż frezem produkcji FWP, a równocześnie o 40% mniejszy niż frezem włoskim. Założenie większej liczby ostrzeżeń regenerujących płytek posiada już nieznaczny wpływ na kształtowanie się opisanych tu stosunków kosztów operacji, co pokazano na rys. 3.

Na podkreślenie zasługuje tu fakt, że powyższe wyniki uzyskano mimo bardzo niekorzystnego na razie stosunku kosztów wykonania freza składanego z odpowiednią liczbą kompletów płytek, w odniesie-

niu do kosztów zakupu frezów firm FWP oraz Pons Cantamessa. Mianowicie, frez składany z płytkami odrzucanymi kosztuje około 100 razy drożej niż frez FWP oraz około 10 razy drożej niż frez produkcji włoskiej. Odpowiednio dla freza z płytkami 1-krotnie ostrzonymi stosunek ten kształtuje się jak: 55 : 5,5 : 1, zaś dla freza z płytkami dwukrotnie ostrzonymi jak: 40 : 4 : 1. W trakcie obliczeń stwierdzono, że wysoki koszt narzędzia składanego wynika stąd, iż surówki płytek i ich dokładna obróbka są na razie drogie. Przykładowo, we frezie z płytkami 2-krotnie ostrzonymi koszt surówek i obróbki płytek skrawających stanowi około 70% kosztów całego narzędzia.

4. WNIOSKI I ZALECENIA

Przeprowadzone badania i ich analiza pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

a) frez składany konstrukcji IBM Politechniki Śląskiej z płytkami 4-krotnie odwracalnymi i 2-krotnie ostrzonymi zapewnia 3,8 razy większą wydajność przy koszcie operacji frezowania o 40% mniejszym w stosunku do 3-zwojowego freza firmy Pons Cantamessa, a zatem jego przemysłowe stosowanie jest opłacalne;

b) na koszt operacji frezowania uzębienia frezem konstrukcji IBM decydujący wpływ ma koszt samego narzędzia. W czasie eksploatacji takich składanych frezów należy dążyć do maksymalnego wykorzystania materiału ostrzy przez:

- stosowanie płytek skrawających odwracalnych,
- stosowanie ostrzenia regenerującego tych płytek;

c) należy dążyć do obniżenia kosztów ostrzenia płytek skrawających omawianego freza przez:

- zmniejszenie naddatków obróbkowych surówek,
- szlifowanie płytek przy ich zgrupowaniu w pakietach,
- zastosowanie wydajnych metod szlifowania np. szlifowania elektrochemicznego względnie metody firmy Agathon;

d) przy stosowaniu freza składanego konstrukcji IBM możliwa jest grupowa obsługa dwu frezarek obwiedniowych.

LITERATURA

[1] KLEIN W.: Wirtschaftliche Fertigung von Zahnrädern aus Einsatzstahl 16MnCr5 mit Hartmetall-Wälzfräsern. Werkstatt und Betrieb 104, Nr 8, 1971.

[2] ROHNER H., CONRAD M.: Wirtschaftliche Zahnradfertigung mit Vollhartmetallfräsern. Verkstatt und Betrieb 104, Nr 1, 1971.

[3] HAURI H.: Nutzanwendung hoher Schnittgeschwindigkeiten. Technische Rundschau Nr 35, August 1970.

[4] HOFFMEISTER B.: Wälzfräsen mit Hartmetall. Industrie Anzeiger t. 94, Nr 14, 1972.

[5] SULZER G.:Ursache und Vermeidung von Ausbrüchen an Hartmetall - Walzfräsern. VDI-Z, 116, Br 2, 1974.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАРЕЗКИ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ЧЕРВЯЧНЫМИ ФРЕЗАМИ АРМИРОВАННЫМИ ТВЕРДЫМИ СПЛАВАМИ

Р е з ю м е

В статье описаны главные направления в развитии червячных фрез армированных твердыми сплавами и представлена новая составная фреза конструкции кафедры Машиностроение Силезского политехнического института. Кроме того были произведены анализ и сравнение экономичности операций фрезерования зубьев, выполняемых фрезой из быстрорежущей стали и составной армированной фрезой. Была установлена экономическая рентабельность применения составной фрезы конструкции кафедры Машиностроение с учетом ее производительности в четыре раза выше при издержках операции фрезерования на 40% ниже по сравнению с применением цельной фрезы из быстрорежущей стали.

THE ANALYSIS OF EFFICIENCY OF GEAR HOBBING WITH CEMENTED CARBIDES TOOL POINTS

S u m m a r y

The paper trats on the main development trends of hobs with cemented carbides' tool points and the new built-up hob designed by the Institute of Machine Building of Politechnika Śląska. The hobbing cost analysis is presented both for all-of-the piece hob and the built-up one with cemented carbides' tool points.

Full profitability of an industrial employment of the built-up hop oleigned by the Institute of Machine Building is stated as its performance is 4 times greater at 40% smaller machining costs in comparison with an all-of-the-piece hob made from the high speed steel.