

	Organizatorzy: Politechnika Łódzka Wydział Mechaniczny	XXXVIII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKİ ŚCIERNEJ Łódź - Uniejów 09-11.09.2015	
	• Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn • Katedra Technologii Maszyn		

Prowadnice hydrostatyczne zamknięte w obrabiarkach do obróbki ściernej

Closed hydrostatic guides in machine tools for abrasive machining

WIESŁAW FRONCKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.350

W artykule przeanalizowano możliwość wykorzystania prowadnic hydrostatycznych w szlifierkach. Zamieszczono schemat stanowiska modelowego prowadnic hydrostatycznych wraz z opisem działania. Określono nośność i sztywność prowadnic hydrostatycznych zamkniętych. Wyniki teoretyczne porównano z wynikami badań. Przeanalizowano możliwość optymalizacji układu ze względu na sztywność i jej wpływ na dokładność obróbki.

SŁOWA KLUCZOWE: szlifierki, prowadnice hydrostatyczne, nośność, optymalizacja

In article the ability of use of hydrostatic guides in grinding machines were analyzed. The diagram of a model test stand of a hydrostatic guides with working description is presented. The load capacity and stiffness of a closed hydrostatic guides were determined. Theoretical and experimental research results were compared. The ability of optimize the system due to the stiffness and its impact on the accuracy of the machining was analyzed.

KEY WORDS: grinding machines, hydrostatics guides, load capacity, optimization

Wprowadzenie

Szlifierki są obrabiarkami, które z reguły kończą proces technologiczny obróbki przedmiotów. Wymaga się od nich wysokiej precyzji w osiąganiu dokładnych wymiarów i kształtów oraz gładkości obrabianych powierzchni. Oczekiwania powyższe spełnione są w wyniku odpowiedniej konstrukcji obrabiarek a zwłaszcza ich zespołów, których działanie bezpośrednio wpływa na dokładność obróbki. Wymienić tu należy: wrzeciono ściernicy wraz z jego łożyskowaniem, prowadnice stołu oraz wrzeciennika ściernicy, napęd w układzie dosuwu, posuwu wzdłużnego stołu oraz konstrukcję wrzeciennika przedmiotu.

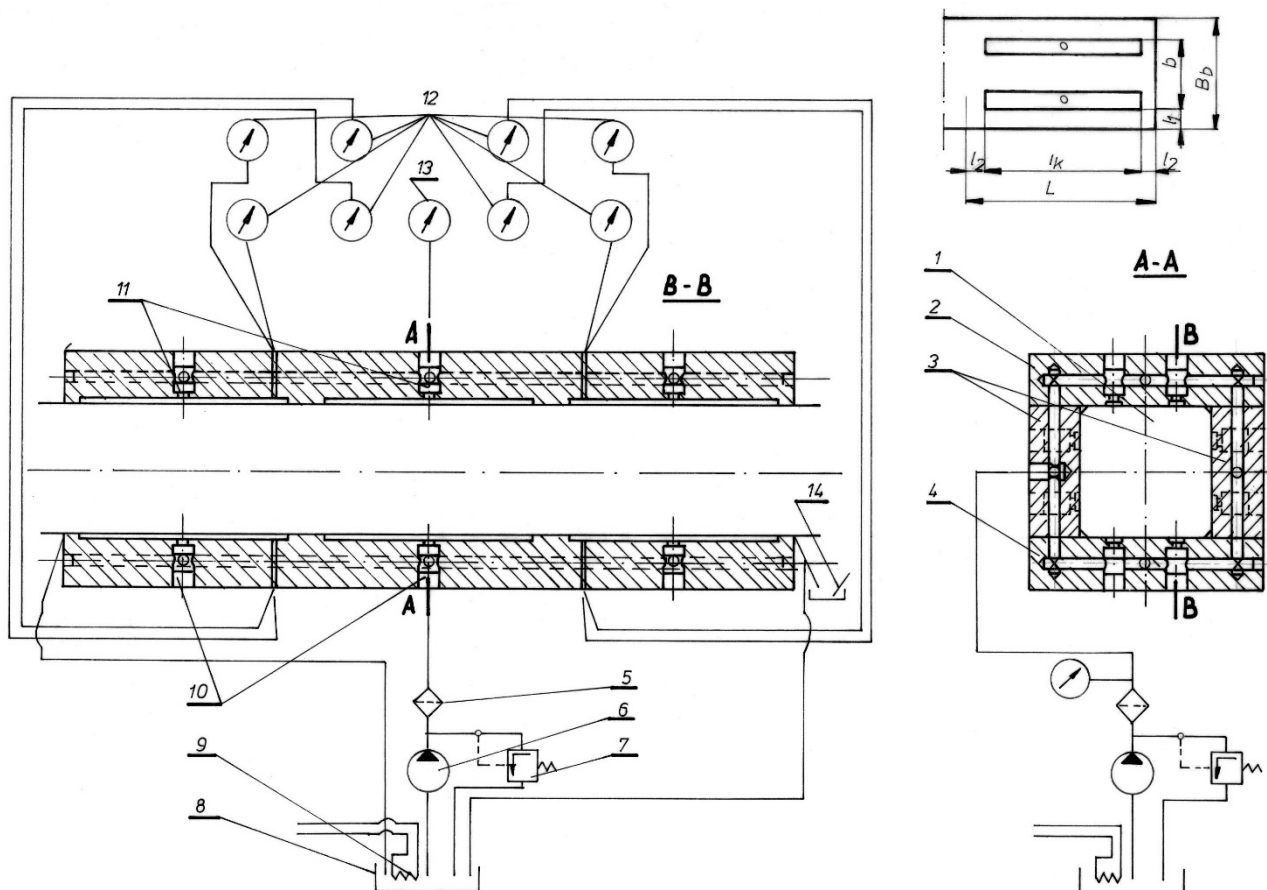
W prowadnicach ślizgowych hydrodynamicznych, przy małych prędkościach przesuwu występuje niekorzystne zjawisko stick-slip, ujawniające się skokowym przemieszczaniem ruchomych elementów prowadnic. Negatywny efekt takiego ruchu można wyeliminować stosując prowadnice toczone, magnetyczne bądź hydrostatyczne, w których warstwa oleju oddzielająca współpracujące powierzchnie prowadnic zapewnia tarcie płynne w całym zakresie prędkości przesuwu. O ile pierwsze z nich są produkowane przez firmy specjalistyczne, to drugie są projektowane i wykonywane indywidualnie. Rekompensatą dla tej sytuacji jest możliwość zaprojektowania prowadnic hydrostatycznych dla dowolnie dużych, przestrzennych obciążeń bez jakichkolwiek ograniczeń.

Ostatnio prowadzone są próby z prowadnicami hydrostatycznymi segmentowymi [10].

Model prowadnic hydrostatycznych zamkniętych

Schemat układu prowadnic hydrostatycznych zamkniętych o stałym ciśnieniu zasilania zamieszczono na rys.1. Zasilacz hydrauliczny stanowią elementy 5, 6, 7, 8, 9. Pompa zębata 6 dostarcza olej pod ciśnieniem przez filtr 5 i dławiki szczelinowe 10 do komór hydrostatycznych wykonanych w płytach elementu ruchomego prowadnic. Zawór przelewowy 7 utrzymuje stałą wartość ciśnienia w układzie a stabilizator temperatury 9 stałą temperaturę oleju. Na rysunku zamieszczono segment prowadnic z komorami i wymiarami potrzebnymi do wyznaczenia powierzchni efektywnej $F_e = (B_b - l_1) \cdot (l_k - l_2)$. Prowadnik utworzony z połączonych ze sobą płyt bocznych 3 oraz płyt górnej i dolnej 2 i 4 stanowi element ruchomy zespołu prowadnicowego i przemieszcza się wzdłuż nieruchomej pinoli 1.

* Dr inż. Wiesław Froncki (wieslaw.froncki@p.lodz.pl)



Rys.1. Schemat układu modelowego prowadnic hydrostatycznych zamkniętych o stałym ciśnieniu zasilania: 1 – pinola, 2, 4 – płyty górna i dolna, 3 – płyty boczne, 5 – filtr, 6 – pompa zębata, 7 – zawór przelewy, 8 – zbiornik oleju, 9 – wężywnica stabilizatora temperatury, 10 – wkręty dławików, 11 – dławiki szczelinowe, 12, 13 – manometry, 14 – termometr

Założenia projektowe

Do analizy przyjęto, że będą rozpatrywane jedynie przemieszczenia zachodzące w granicach grubości filmu olejowego. Dobór parametrów prowadnic należy prowadzić tak, aby działające na nie obciążenie robocze nie wywoływało ich przemieszczeń w granicach filmu olejowego większych od 10% do 20% [6] wysokości szczeliny wypływowej h_0 . Zalecana ze względów technologicznych wartość $h_0 = 0,04$ mm. Założenie takie gwarantuje, że zastosowane w obrabiarce prowadnice hydrostatyczne umożliwią jej pracę z przyjętą dokładnością. Stosowane najczęściej układy prowadnic zamkniętych o stałym ciśnieniu zasilania powinny być wyposażone w elementy umożliwiające ich optymalizację (dławiki, $\beta = p_k/p_o = 0,5$). Z uwagi na parametry zasilacza, prowadnice powinno się tak projektować, aby ilość oleju dostarczanego do układu była minimalna. Zalecane ciśnienia zasilania są niższe niż w łożyskach hydrostatycznych i wynoszą 0,5 do 3 MPa. Ograniczenie to wynika z relatywnie niskiej sztywności elementów mechanicznych konstrukcji. Do napędu elementów ruchomych prowadnic należy stosować mechanizmy o porównywalnych sztywnościach oraz sprawnościach (śruba nakrętka toczna lub hydrostatyczna).

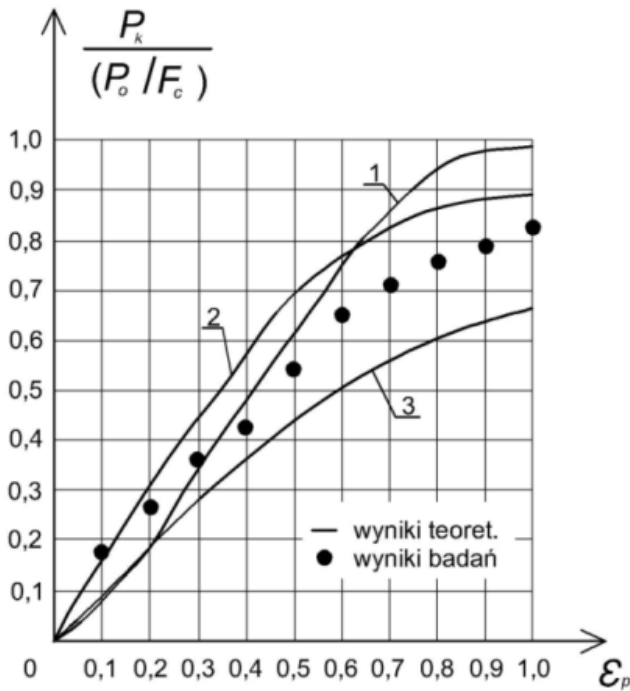
Optymalizacja prowadnic

Z analizy równań natężeń przepływów przez dławiki i szczeliny wypływowe [1], [2], uzyskano zależność na nośność względną [4] pary przeciwległych segmentów w postaci bezwymiarowej dla prowadnic hydrostatycznych zamkniętych o stałym ciśnieniu zasilania:

$$W_{sk} = \frac{P_{sk}}{p_o F_o} = \frac{1}{\left[\frac{1}{\beta_o} - 1 \right] \left[1 - \varepsilon_p - \varepsilon_M \right]^3 + 1} \cdot \frac{1}{\left[\frac{1}{\beta_o} - 1 \right] \left[1 + \varepsilon_p + \varepsilon_M \right]^3 + 1} \quad (1)$$

gdzie: $\varepsilon_p = \Delta h_p/h_0$ - przemieszczenie względne pod działaniem siły, $\varepsilon_M = \Delta h_M/h_0$ - przemieszczenie względne pod działaniem momentu, β_o - stosunek ciśnienia komorowego do ciśnienia zasilania, p_o - ciśnienie zasilania, F_o - powierzchnia efektywna segmentu prowadnic.

Teoretyczne przebiegi nośności względnej pary segmentów przedstawiono na rys.2. Dla prowadnic zoptymalizowanych $\beta_o = 0,5$ podano także wyniki badań eksperymentalnych. Z analizy wykresu wynika że w zakresie dopuszczalnych przemieszczeń względnych 10% - 20% nośność względną prowadnic zoptymalizowanych jest blisko dwukrotnie większa niż w pozostałych próbach.



Rys. 2. Przebiegi nośności względnych pary komór przewodnicy trzysegmentowej w funkcji przemieszczenia względnego ε_p dla: 2 - $\beta_o = 0,5$ (przewodnice zoptymalizowane); 1 - $\beta_o = 0,2$; 3 - $\beta_o = 0,8$ (przewodnice niezoptymalizowane)

Różniczkując zależność (1) względem Δh otrzymuje się wzór określający sztywność względną J_{sk} pary przeciwnych segmentów [5], w postaci bezwymiarowej w funkcji przemieszczenia względnego ε_p .

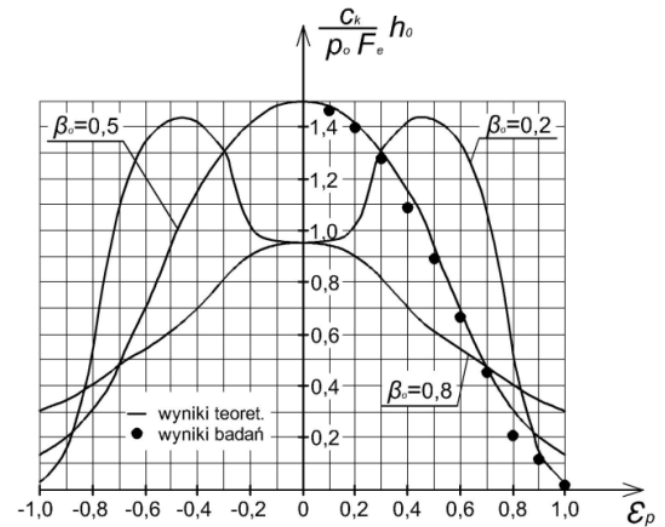
Występujący w zależnościach 1 oraz 2 składnik ε_M ulega redukcji w przypadku obciążenia przewodnic jedynie siłą przyłożoną centralnie a wzory ulegają znacznemu uproszczeniu. W praktyce okazuje się, że w wielu przypadkach może on być porównywalny z ε_p .

$$J_{sk} = \frac{c_k}{p_o F_o} h_o = 3 \left(\frac{1}{\beta_o} - 1 \right)$$

$$\left[\frac{\left[1 - \varepsilon_p \left(1 + \frac{\varepsilon_M}{\varepsilon_p} \right) \right]^2}{\left(\left(\frac{1}{\beta_o} - 1 \right) \left[1 - \varepsilon_p \left(1 + \frac{\varepsilon_M}{\varepsilon_p} \right) \right]^3 + 1 \right)^2} \right] + \left[\frac{\left[1 + \varepsilon_p \left(1 + \frac{\varepsilon_M}{\varepsilon_p} \right) \right]^2}{\left(\left(\frac{1}{\beta_o} - 1 \right) \left[1 + \varepsilon_p \left(1 + \frac{\varepsilon_M}{\varepsilon_p} \right) \right]^3 + 1 \right)^2} \right] \quad (2)$$

gdzie: α_k - sztywność bezwzględna.

Przebiegi sztywności względnej pary segmentów przewodnicy trzysegmentowej w funkcji przemieszczenia względnego ε_p dla przewodnicy obciążonej centralnie pokazano na rys.3.



Rys. 3. Przebiegi sztywności względnych pary komór przewodnicy trzysegmentowej w funkcji przemieszczenia względnego ε_p dla $\beta_o = 0,5$ (przewodnice zoptymalizowane); $\beta_o = 0,2$ i $\beta_o = 0,8$ (przewodnice niezoptymalizowane)

Z analizy wykresów wynika, że sztywność względną przewodnic zoptymalizowanych w zakresie dopuszczalnych dla obrabiarek precyzyjnych przemieszczeń względnych 10% - 20% jest o 50% wyższa od pozostałych przypadków. Do optymalizacji przewodnic wykorzystuje się elementy regulacyjne w postaci dławików [3, 9]. Polega ona na takim dostrójeniu układu, przez zmianę oporów hydraulicznych dławików, aby ciśnienie w komorach przewodnic stanowiło połowę ciśnienia zasilania.

Wyniki obliczeń i badań

Analiza przebiegów teoretycznych i eksperymentalnych nośności względnej rys.2 oraz sztywności względnej rys. 3 (przebiegi dla $\beta_o = 0,5$) wykazała, że wartości uzyskane ze wzorów 1 i 2 są w całym zakresie zmienności ε_p większe od doświadczalnych. Różnice między nimi mogą wynikać z uproszczeń zastosowanych w rozważaniach teoretycznych. Badania wykazały również dużą zbieżność wartości teoretycznych oraz doświadczalnych. Rzeczywista wartość sztywności względnej (dla przewodnic zoptymalizowanych) w zakresie małych przemieszczeń jest mniejsza od teoretycznej rzędu 5%, co dobrze rokuje dla dokładności obróbki na obrabiarkach precyzyjnych. Pojawienie się przemieszczeń wynikających z działania momentów od sił skrawania może mieć wpływ na dokładność wymiarowo-kształtową przedmiotu [6].

Podsumowanie

Prowadnice hydrostatyczne należy stosować wszędzie tam, gdzie niepożądane jest zjawisko stick - slip, występujące przy małych szybkościach przesuwu. Prawidłowe działanie przewodnic zapewnione jest po spełnieniu kilku warunków związanych zarówno z konstrukcją jak i z właściwą ich eksploatacją. Z uwagi na fakt wykorzystywania przewodnic w obrabiarkach precyzyjnych [6] konieczne jest zapewnienie możliwości optymalizacji układu ze względu na sztywność [7] (dławiki). Prowadnice należy projektować tak, aby rzeczywiste siły występujące w trakcie obróbki

nie powodowały przemieszczeń, w granicach wysokości filmu olejowego ($h_0 = 0,04$ mm), elementu ruchomego (przewodnik) większych od 20% h_0 [8].

Z uwagi na dość wysoki koszt wykonania, konieczność zastosowania zasilacza hydraulicznego oraz zapewnienia szczelności układu przewodnice hydrostatyczne stosowane są w przypadkach gdy inne rozwiązania nie spełniają pokładanych w nich nadziei.

W praktyce znane są jednak przypadki modernizacji już istniejących obrabiarek, w których dotychczas stosowane przewodnice hydrodynamiczne zostały zastąpione przewodnicami hydrostatycznymi. Przykładem może być szlifierka do wałków SWE, w której oryginalne przewodnice hydrodynamiczne przekonstruowano na przewodnice hydrostatyczne. Zmodernizowano zarówno przewodnice w układzie dosuwu wrzeciennika ściernicy, jak również przewodnice stołu. Ciekawostką może być fakt, że dotychczasowe łożyska toczne wrzecionnicy zastąpiono łożyskami hydrostatycznymi. Do zasilania tych zespołów wykorzystano jeden wspólny zasilacz hydrauliczny. Przemieszczenia zespołów szlifierki w osiach x oraz y realizowano z wykorzystaniem serwopędów. Tak zmodernizowana w IOiTBM PŁ szlifierka spełniała wszelkie wymagania eksploatacyjne i dokładnościowe stawiane tego typu obrabiarkom. W nowych konstrukcjach obrabiarek coraz częściej pojawiają się przewodnice hydrostatyczne segmentowe łatwe do wykorzystania w praktyce. W ich wytwarzaniu specjalizują się zwłaszcza firmy zachodnie.

LITERATURA

1. Fuller O., Teoria i praktyka smarowania. PWN, Warszawa, 1960.
2. Guillon M., Teoria i obliczanie układów hydraulicznych. WNT, Warszawa, 1966.
3. Kwapisz L., Przybył R., Kryteria doboru wskaźnika ciśnienia zasilania w komorach przewodnic hydrostatycznych. Mechanik, z.1/1975.
4. Froncki W., Analiza przemieszczeń przewodnic hydrostatycznych obciążonych siłą poprzeczną i momentem. Archiwum Instytutu Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej (praca doktorska) Łódź 1981.
5. Froncki W., Sztywność przewodnic hydrostatycznych zamkniętych. V Konferencja Łożyskowanie hydrostatyczne i gazowe. Łódź 2000.
6. Froncki W., Wpływ przemieszczeń przewodnic hydrostatycznych na dokładność wymiarowo-kształtową obrabianych przedmiotów. Hydraulika i Pneumatyka, z. 2/2007.
7. Froncki W., Optymalizacja przewodnic hydrostatycznych zamkniętych. Hydraulika i Pneumatyka, z. 5/2010.
8. Froncki W., Przewodnice hydrostatyczne. Zalecenia projektowe i eksploatacyjne. Hydraulika i Pneumatyka, z. 3/2012.
9. Sikora M., Metody wyznaczania charakterystyk przepływowych dławików hydraulicznych. Mechanik 8-9/2014 s.349-354/598.
10. Mares M., Stach E., Holkup T., Applied method for design optimization of hydrostatic guideway on real machine tool. Engineering mechanics 2012.