

Wielostopniowe sprzęgło kulowe podatne, zwłaszcza do napędów nawrotnych

Przedmiotem wynalazku jest wielostopniowe sprzęgło kulowe podatne, zwłaszcza do napędów nawrotnych.

Rozwiązanie dotyczy mechanicznego sprzęgła o dużej podatności skrętnej z obniżonym masowym momentem bezwładności a przeznaczonego do stosowania przede wszystkim do napędów nawrotnych, tj. takich w których każdy kolejny rozruch ma miejsce w przeciwnym kierunku obrotów w stosunku do poprzedniego. Często w takich układach napędowych występuje potrzeba, aby podatność skrętna sprzęgła była taka sama dla obu kierunków ruchu i możliwie duża, a opory rozruchowe jak najmniejsze. Taka sytuacja występuje w napędach takich urządzeń jak mechanizmy jazdy suwnic, ciężkie bramy hangarowe, obrotnice kolejowe, zasowy, wywrotnice, śluzy i niektóre urządzenia transportowe. Znane rozwiązania konstrukcyjne sprzęgieł są wtedy dla takich zastosowań często niewystarczające, a napędy muszą mieć duże nadmiary mocy dla pokonania dużych obciążeń rozruchowych. W ruchu ustalonym pełna moc napędów nie jest wykorzystana, co jest szczególnie niekorzystne przy napędach z silnikami elektrycznymi, gdyż silnie spada wtedy współczynnik mocy $\cos\varphi$.

Znane konstrukcje mechanicznych sprzęgieł podatnych bazują głównie na wykorzystaniu podatności i elastyczności elementów gumowych, polimerowych lub złożonych z kompozytów. Szeroki przegląd konstrukcji sprzęgieł zawiera praca: Markusik S. „Sprzęgła mechaniczne”, WNT, Warszawa 1979. Zastosowanie sprzęgieł podatnych w napędach maszyn roboczych opisuje praca: Markusik S., Opasiak T., Gruszka P. „Napędy maszyn transportu ciągłego ze sprzęgłem podatnym”, Transport Przemysłowy, nr.1/2006. Wybrane konstrukcje sprzęgieł podatnych opisano też w podręczniku akademickim Dietrich M., Markusik S. „Podstawy konstrukcji maszyn”, WNT 1999. Również praca Skoć A., Spałek J., Markusik S.: „Podstawy konstrukcji maszyn” t.2, WNT Warszawa 2008 opisuje sprzęgła różnych konstrukcji, w tym i sprzęgło podatne oparte o wykorzystanie elastyczności materiałów polimerowych oraz sprzęgła proszkowe.

Wszystkie znane konstrukcje podatnych sprzęgieł mechanicznych mają ograniczoną podatność skrętną, ponadto cechują się niską trwałością eksploatacyjną. Konstrukcje sprzęgieł wykorzystujące materiały polimerowe nie spełniają warunku całkowitej niepalności, co wyklucza ich stosowanie, np. w górnictwie głębinowym. Sprzęgła znanej konstrukcji w miarę postępującego zużycia eksploatacyjnego generują obciążenia wzdłużne na sprzęgane układy napędowe. Postępujące zużycie tych sprzęgieł powoduje też często występowanie nadmiernych drgań i hałasów.

Istota wynalazku jest wielostopniowe sprzęgło kulowe podatne, charakteryzujące się tym, że posiada tarcze skrajne i pokrywę oraz łożyskowane na wale tarcze pośrednie sprzęgnięte wzajemnie kulami umieszczonymi w łukowych kanałach wykonanych w tarczach, przy czym tarcza skrajna i pokrywa połączone są obudową i posiada wzmacniające żebra.

Wnętrze wielostopniowego sprzęgła wypełnione jest cieczą. Sprzęgło posiada dysze szczelinowe. Sprzęgło posiada wybrania w tarczach pośrednich.

W rozwiązaniu według wynalazku opisane wymagania zostały spełnione przez specjalną konstrukcję wielostopniowego sprzęgła o dużej podatności skrętnej, w którym jako elementy sprzęgające poszczególne stopnie wykorzystane zostały kule współpracujące z łukowymi kanałami o półokrągłym przekroju poprzecznym.

Sprzęgło według wynalazku w przykładzie wykonania ilustruje rysunek, na którym fig.1 to półprzekrój wzdłużny siedmiostopniowego sprzęgła z pośrednią pozycją kul sprzęgających, fig.2 to przekrój poprzeczny w pł. A-A, a fig.3 to szczegół przykładowego ukształtowania dyszy międzykanałowej.

Na wale 1 sprzęgła osadzona jest na połączeniu wpustowym 11 pokrywa 9 oraz szereg luźno ułożyskowanych na tulejkach 12 tarcz pośrednich 4 sprzęgniętych wzajemnie kulami 3. Kule sprzęgające 3 mają możliwość tocznego poruszania się w łukowych kanałach 10 pełniących rolę prowadnic wykonanych we wszystkich tarczach. Ostatnie w szeregu kule sprzęgają ostatnią spośród tarcz pośrednich 4 z tarczą skrajną 6 osadzoną na wale 7, przykładowo za pośrednictwem pierścieni rozporowych 8. Skrajna tarcza 6 i pokrywa 9 połączone są obudową 14 tworząc łącznie hermetycznie zamknięty układ uszczelniony obrotowym pierścieniem

uszczelniającym 15 i uszczelkami 16. Wał 1 ułożyskowany jest w stożkowym łożysku tocznym 17. Korzystnie wewnątrz sprzęgła wypełnione jest cieczą, korzystnie olejem o większej lepkości. Olej pełni funkcję smarną współpracujących elementów, takich jak łożysko toczne 17, kule sprzęgające 3, tulejki łożysk tarcz pośrednich 12 oraz ślizgowe łożysko skrajne 13. Ponadto olej pośredniczy w wyprowadzaniu ciepła, na które zamienia się praca tarcia i praca przetłaczania oleju. Pomocne w tym względzie są wybrania 18 w tarczach pośrednich 4 wymuszające intensywny ruch oleju. Ciepło przejmowane jest następnie przez obudowę 14, korzystnie wykonaną ze stopu Al o dobrej przewodności cieplnej. Do otoczenia ciepło przekazywane jest przez promieniowanie i konwekcję, w czym wspomagane jest żebrami wzdłużnymi 19. Żebra 19 pełnią funkcję wzmacniającą i usztywniającą obudowę 14 oraz intensyfikują wymianę ciepła z otoczeniem przez konwekcję w czasie wirowania sprzęgła. Obecność oleju wewnątrz sprzęgła spełnia bardzo ważną funkcję wiskotycznego tłumienia nadmiernie szybkiego przemieszczania się kul w łukowych kanałach 10.

Sprzęgło pracuje w ten sposób, że moment obrotowy przekazywany jest sekwencyjnie z tarczy skrajnej 6 lub pokrywy 9, w zależności od tego, która strona sprzęgła jest stroną napędzającą. Tarcze wchodzi do pracy kolejno, przy czym na każdym stopniu realizowana jest podatność skrętna określona kątem 2β (fig.2). Sumaryczna wypadkowa podatności skrętnej całego sprzęgła równa jest liczbie stopni mnożonej przez kąt 2β . W przykładzie zilustrowanym fig.1 i fig.2 kąt $\beta \approx 160^\circ$, a więc całkowita podatność wynosi $7 \times 160^\circ \times 2 = 2240^\circ$, to jest ponad 6 pełnych obrotów skrajnych tarcz względem siebie. W położeniu jak na fig.1 i fig.2 sprzęgło ma podatność skrętną w obu kierunkach obrotów mierzoną połową całkowitej podatności całego sprzęgła.

W trakcie trwania rozruchu, gdy do pracy wchodzi kolejne stopnie sprzęgła występuje okresowo efekt sprzężenia hydraulicznego analogiczny do pracy znanych sprzęgieł hydrokinetycznych. Efekt ten w istotny sposób łagodzi przebieg rozruchu przy użyciu sprzęgła według wynalazku. Hydrokinetyczny i wiskotyczny efekt sprzężenia jest tym większy, im większa jest lepkość oleju i mniejsze luzy między ruchomymi elementami sprzęgła. Obecność oleju wypełniającego sprzęgło

powoduje, że w dużym stopniu wyeliminowane jest zużycie ściernych ruchomych elementów sprzęgła. Współpraca ruchowa elementów sprzęgła ma miejsce jedynie w czasie rozruchu i to przy niewielkim obciążeniu. W przypadku zastosowania na kule sprzęgające, stalowych kul z kulowych łożysk tocznych, są one w typowych warunkach eksploatacyjnych praktycznie niezniszczalne. Zastosowane mogą być nawet kule z używanych łożysk tocznych o ile nie wykazują śladów uszkodzeń w rodzaju wykruszeń pittingowych. Panewki łożysk ślizgowych tarcz pośredniczących, korzystnie z brązu łożyskowego wykonują ruch w ramach podatności skrętnej jedynie podczas rozruchu. Obciążenie panewek łożyskowych jest niewielkie, gdyż tarcze sprzęgła przenoszą jedynie moment obrotowy. Na zużycie ściernie w większym stopniu narażone są kanały w tarczach. Dla zminimalizowania zużycia ściernego tarcz, korzystne jest wykonanie ich z żeliwa sferoidalnego lub żeliwa ADI. Konstrukcja sprzęgła umożliwia ułatwione kompensowanie zużycia tarcz nawet w warunkach eksploatacyjnych. W tym celu należy odpowiednio zmniejszyć grubość uszczelek 16 i to tylko z jednej strony bez wylewania oleju. Skompensowany luz samoczynnie rozłoży się równomiernie na wszystkie tarcze dzięki ich luznemu sadzeniu na wale 1.

Dla szczególnych zastosowań, np. gdy użycie oleju jest niedopuszczalne ze względów pożarowych, sprzęgło może być wypełnione inną niepalną cieczą. Istnieje też możliwość zastosowania teflonowych pokryć kanałów oraz można ograniczyć się do zastosowania smaru plastycznego, korzystnie z dodatkiem grafitu lub MoS_2 . Możliwa jest też praca całkowicie „na sucho”. Na każdym etapie pracy sprzęgła cechuje się ono pełnym statycznym i dynamicznym wyrównoważeniem. Dla wyrównywania chwilowych wielkości ciśnienia oleju w obu podwójnych łukowych kanałach, zwłaszcza w pozycjach skrajnych, opcjonalnie pomocna jest dysza szczelinowa 20. Dzięki postaci konstrukcyjnej sprzęgła występuje stałe pełne wyrównoważenie sił wzdłużnych, więc nie generuje ono zewnętrznych wzdłużnych obciążeń, przenosząc jedynie moment obrotowy. Sprzęgło cechuje się małym własnym masowym momentem bezwładności, a więc małym własnym obciążeniem rozruchowym. Masowy moment bezwładności całego sprzęgła może być ponadto wydatnie zmniejszony, gdy na obudowę użyte zostaną stopy lekkie Al-

Mg, a stalowe kule sprzęgające zamienione będą na lżejsze, np. ceramiczne. Tarcze pośredniczące można wykonać jako lżejsze, np. z tekstolitu, co dodatkowo pozwala na ewentualną rezygnację z tulejek łożyskowych 12.

Konstrukcja sprzęgła umożliwia jego łatwą adaptację do konkretnych wymagań poprzez regulację liczby stopni. W podstawowym wariantcie wykonania sprzęgło ma dwa stopnie, czyli ma jedną tarczę pośrednią 4. Zmianę liczby stopni można uzyskać wymieniając jedynie wał 1 i dostosowując długość obudowy 14. Możliwe jest również kształtowanie parametrów sprzęgła takich jak przenoszony moment obrotowy i podatność skrętna pojedynczego stopnia. Jeśli w miejscu dwóch kanałów, górnego i dolnego 10 jak na fig.2 zostanie zastosowana większa liczba kanałów i kul pojedynczych stopni, to uzyskuje się wzrost przenoszonego obciążenia kosztem zmniejszenia podatności skrętnej uzyskiwanej z jednego stopnia sprzęgła. Przenoszenie obciążenia poprzez kule sprzęgające pracujące w kanałach o półokrągłym przekroju poprzecznym i kulistym ukształtowaniu kanałów, pozwala uzyskać niewielkie naciski stykowe współpracujących elementów dzięki dużej, korzystnie ukształtowanej powierzchni kontaktu przy nominalnym obciążeniu sprzęgła.

Sprzęgło według wynalazku jest predysponowane zwłaszcza do pracy w układach nawrotnych, gdy kierunek obrotów kolejnego rozruchu jest przeciwny do poprzedniego. Kule sprzęgające wtedy samoczynnie ustawiają się w najkorzystniejszej pozycji, zapewniającej pełną podatność skrętną przy każdym kolejnym rozruchu. Możliwe jest również wykorzystanie sprzęgła w układach napędowych o jednym kierunku obrotów. Wówczas należy kule sprzęgające sprowadzić do pozycji wyjściowej przed kolejnym rozruchem. Można to uzyskać na wiele sposobów. Gdy zredukowany masowy moment bezwładności układu napędzanego i czas wybiegu po wyłączeniu silnika jest większy od tych samych parametrów układu napędzającego (najczęściej samego silnika), to korzystne ustawienie kul sprzęgających następuje samoczynnie podczas wybiegu i sprzęgło jest gotowe do ponownego rozruchu. W układach napędowych, w których wspomniane zjawisko nie zachodzi, można na bardzo krótką chwilę włączyć (o ile to dopuszczalne) przeciwny kierunek obrotów silnika, najlepiej przy zmniejszonym

obciążeniu zewnętrznym. Spowoduje to pożądane przemieszczenie się kul sprzęgających do pozycji wyjściowej. Możliwy jest też inny sposób, np. ręczne obrócenie wałem napędowym silnika w kierunku wstecznym o kąt równy co najmniej pełnej podatności skrętnej. Ten sam efekt można uzyskać pokręcając wałem strony napędzanej w kierunku zasadniczego ruchu przy zahamowanym silniku. Sprzęgło jest całkowicie zamienne jeśli chodzi o kierunek przekazywania mocy. Dzięki jego konstrukcji możliwe jest uzyskanie dokładnie jednakowych dynamicznych charakterystyk rozruchowych przy obydwóch kierunkach przekazywania energii. W tym celu należy jedynie tak dobrać parametry geometryczne i materiałowe elementów sprzęgła, aby masowy moment bezwładności wału 1 z tarczą skrajną 2 był taki sam jak łączny moment bezwładności tarczy skrajnej 6 i pokrywy 9 wraz z obudową 14.

Konstrukcja sprzęgła zapewnia, że kule sprzęgające podczas rozruchu i w czasie pracy zawsze są równomiernie, symetrycznie rozmieszczone względem osi obrotów. Powoduje to pełne statyczne i dynamiczne stałe wyrównoważenie sprzęgła, nie generuje więc ono poprzecznych sił dynamicznych z drgań w układzie napędowym.

Sprzęgło jest całkowicie bezobsługowe oraz posiada dużą trwałość, gdyż jego czynne elementy w toku pracy ustalonej pozostają w spoczynku. Może być użytkowane w szerokim zakresie temperatury bez istotnej zmiany charakterystyki.

Zastosowanie sprzęgła według wynalazku umożliwia wydatne zmniejszenie nadwyżek mocy silników napędowych z uwagi na rozruch. Pozwala to na lepsze wykorzystanie energii napędów, zwłaszcza z silnikami elektrycznymi. Zmniejszenie nadwyżek dynamicznych służy polepszeniu trwałości eksploatacyjnej wszystkich elementów składowych układów napędowych, w tym również przekładni mechanicznych i silników. Poprawia też warunki bezpieczeństwa pracy.

