

Stanowisko do badań zmęzeniowych obiegowej przekładni cykloidalnej

L62 DOI: 10.24136/atest.2018.452
Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule omówiono zostało stanowisko do badań trwałości zmęczeniowej węzłów tocnych oraz trwałości ząbienia obiegowej przekładni cykloidalnej. Szczególną uwagę poświęcono budowie przekładni cykloidalnej oraz poszczególnym elementom stanowiska badawczego. Autorzy przedstawili możliwości pomiarowe stanowiska dzięki zastosowanym dodatkowo czujnikom.

Słowa kluczowe: przekładnia cykloidalna, badania zmęczeniowe

Wstęp

W Katedrze Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej prowadzone są badania trwałości zmęczeniowej węzłów tocnych, a w szczególności badania trwałości ząbienia.

Poniżej zostanie przedstawione i omówione stanowisko przeznaczone do badań obiegowej przekładni cykloidalnej. Stanowisko zbudowano w celu rejestracji i analizy drgań przedmiotowej przekładni, co umożliwi diagnostykę uszkodzeń zmęczeniowych w ząbieniu cykloidalnym, a tym samym pozwoli określić wytrzymałość zmęczeniową badanej pary toczonej. Zastosowane w układzie pomiarowym dodatkowo czujniki mają za zadanie zapis pozostałych parametrów pracy przekładni takich jak: moment wejściowy i wyjściowy, temperatura i lepkość oleju, poziom hałasu, przy zmiennej prędkości obrotowej.

1 Przekładnia cykloidalna

1.1 Typowa przekładnia typu cyklo.

Zastosowana przekładnia K-H-V jest przekładnią specjalną, umożliwiającą uzyskanie dużego przełożenia na jednym stopniu, znana jako przekładnia cykloidalna. Pod względem konstrukcyjnym jest to przekładnia toczna, w której wszystkie elementy o połączeniu kształtowym poruszają się ruchem tocznym. Takie rozwiązanie konstrukcyjne ma za zadanie zmniejszenie strat, które są spowodowane tarcieniem. Przekładnia obiegowa lub inaczej planetarna, to przekładnia o osiach geometrycznych kół ruchomych względem podstawy. Konsekwencją tego jest znaczny wzrost współczynnika sprawności mechanicznej oraz podwyższenie niezawodności układu. Przedmiotowa przekładnia została przedstawiona na rysunku 1 [2, 3, 4].

Przekładnie cykloidalne mogą być znacznie przeciążane. Zapewniają dużą równomierność ruchu. W porównaniu do przekładni klasycznych o takim samym przełożeniu charakteryzują się dużą zwartością konstrukcji. Zaletami są cicha praca bez drgań oraz bardzo mały luz kątowy. Znajdują zastosowanie między innymi w: obrabiarkach, maszynach tekstylnych i szklarskich, maszynach do obróbki drewna, technice medycznej, systemach transportowych, w robotach manipulacyjnych, pozycjonerach współpracujących z robotami, centrach obróbczych CNC, rewolwerowych podajnikach narzędzi oraz stołach obrotowych [1].



Rys. 1. Przekładnia cykloidalna

Do budowy stanowiska badawczego wykorzystano przekładnię dwudrożną, która jest szeregowym połączeniem 2 mechanizmów: obwodowego i równowodowego. Przełożenie przekładni określone jest wyrażeniem:

$$i = \frac{z_1}{z_2 - z_1}; \quad (1)$$

gdzie:

- a) z_1 - liczba zębów koła nieruchomego,
- b) z_2 - liczba zębów koła ruchomego (cykloidalnego).

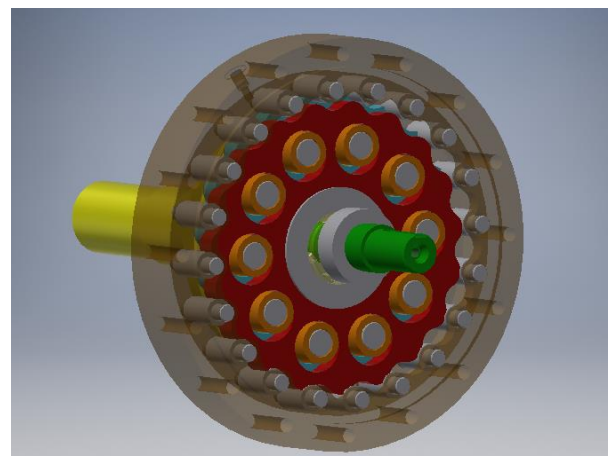
Różnica liczby zębów kół $\Delta z = z_2 - z_1$ zwykle wynosi 1 (rzadziej 2).

W konsekwencji równanie (1) przyjmuje postać:

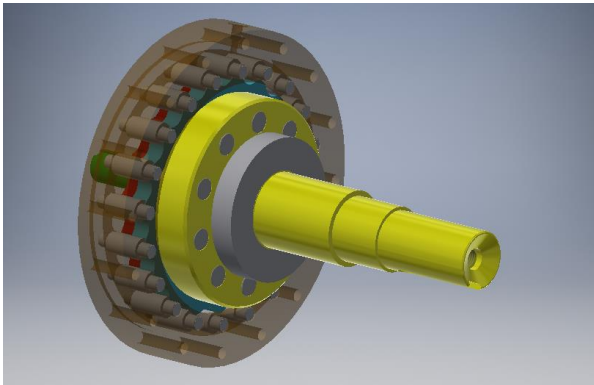
$$i = \frac{z_1}{1} = z_1 \quad (2)$$

z czego wynika, że w przekładni tego typu możliwe jest uzyskiwanie dużych przełożeń [5].

Trójwymiarowy model przekładni przedstawiono na rysunkach 2 i 3.



Rys. 2. Cyfrowy model przekładni cykloidalnej wykonany w programie Inventor Professional 2017.



Rys. 3. Cyfrowy model przekładni cykloidalnej wykonany w programie Inventor Professional 2017

Wyróżniono następujące pary toczne: obiegowe koła zębate współpracujące z rolkami (tworzące ząbienie obiegowej przekładni cykloidalnej), tuleje przetaczające się w otworze obiegowego koła zębatego, a także wałeczki łożyska walcowego osadzone w otworze centralnym obiegowego koła zębatego. Wszystkie elementy toczne w układzie przeniesienia mocy wykonano ze stali stopowej [1].

Dla zrównoważenia sił masowych i zmniejszenia sił między zębnymi zastosowano dwa identyczne koła obiegowe (rys. 4) obrócone o kąt π . Wewnętrzne ząbienie w przekładni tworzą koła obiegowe oraz współpracujące z nimi nieruchome koło centralne. Koła obiegowe są uzębione zewnętrznie, zarys zębów ma postać ekwidystanty epicykloidy skróconej. Odpowiednio skorygowany zarys zębów umożliwia pracę przy różnicy liczby zębów w obu kołach współpracujących. W obiegowym kole zębatym wykonany jest otwór centralny, służący do mimośrodowego osadzenia koła, przez łożysko walcowe na wale czynnym. Nieruchome koło centralne tworzy zespół rolek, a mechanizm prostowodowy jest tarczą ze sworzniami [2, 3, 4].

Ruch układu wymuszany jest poprzez obrót łożyska mimośrodowego, które napędza koła zębate cykloidalne. Ilość i zarys zębów wymuszają ruch w taki sposób, że 1 pełny obrót wału wejściowego powoduje obrót koła cykloidalnego o 1 podziałkę w kierunku przeciwnym.



Rys. 4. Koła obiegowe.

Zatem koła cykloidalne wykonują ruch obrotowy z prędkością zredukowaną. Obroty przenoszone są na wał wyjściowy za pomocą sworzni współdziałających z otworami w kołach. Również to połączenie odbywa się za pomocą obrotowych elementów. Zastosowanie zębów o zarysie cykloidy pozwala na jednoczesne ząbienie wielu zębów.

Koło centralne jest poddane złożonemu układowi obciążeń, które wynika z pracy przekładni, zatem jego geometria może zmieniać się pod wpływem obciążeń oraz niewłaściwie dobranego materiału.

Istotne jest także prawidłowe ukształtowanie koła oraz dobór tolerancji wykonania w wyniku poprawnie ustalonej technologii wytworzenia. Trwałość obiegowej przekładni cykloidalnej, uwarunkowana jest trwałością najsłabszej pary kinematycznej w układzie przeniesienia mocy. Zatem trwałość poszczególnych węzłów tocznych przekładni cykloidalnej zależy między innymi od stanu ich obciążenia [2, 3, 4].

W badaniach wytrzymałości i trwałości zmęczeniowej kół o zarysie ekwidystanty skończonej, przy wyznaczaniu uszkodzeń, takich jak np.: uszkodzenie ząbienia, zużycie pittingowe, istnieje potrzeba określenia, w jakim czasie wystąpią one od pierwszego uruchomienia maszyny przy zadanej wielkości obciążenia. Rodzajem zużycia decydującym o trwałości tego rodzaju przekładni jest zużycie zmęczeniowe. Potwierdzają to wstępne badania prototypu przekładni cykloidalnej [6].

1.2 Stanowisko badawcze i aparatura pomiarowa

Badania wytrzymałości zmęczeniowej par tocznych o złożonym kształcie współpracujących powierzchni należy prowadzić eksperymentalnie, bowiem w przypadku badań modelowych największy problem stanowiłoby zaprogramowanie złożonego obciążenia styku. Dlatego też do badań trwałości zmęczeniowej ząbienia cykloidalnego wykorzystano, prototypowy egzemplarz przekładni cykloidalnej.

Badania trwałości zmęczeniowej przeprowadzono przy zmiennym obciążeniu oraz zmiennej prędkości obrotowej wału napędowego.

Podstawowe elementy stanowiska do badania trwałości zmęczeniowej ząbienia obiegowej przekładni cykloidalnej (Rys. 5):

- silnik napędowy (1), współpracujący z falownikiem (7) oraz przemiennikiem częstotliwości (8),
- momentomierz indukcyjny typu Mi10 (3) połączony z silnikiem i przekładnią za pomocą sprzęgieł podatnych, palcowych (2) oraz (4),
- badana obiegowa przekładnia cykloidalna (5),
- silnik hamujący (6),
- skrzynia biegów (9),
- przetwornik QuantumX,
- sonometr,
- czujnik rezystancyjny,
- reometr cyfrowy,
- laptop.

Zasada działania stanowiska polega na mechanicznym sprzężeniu dwóch silników indukcyjnych za pomocą badanej przekładni oraz skrzyni biegów, które mają za zadanie zwiększyć prędkość obrotową otrzymywaną na wale wyjściowym badanej przekładni do wartości większej niż prędkość synchroniczna silnika (6).

Podczas badań wykorzystano silnik napędowy trójfazowy, klatkowy jednobiegowy ogólnego stosowania. Parametry: silnik typu Sg 132S-2B (1) o mocy 7,5 kW, napięciu znamionowym 400 V, prędkości znamionowej 2920 obr/min, poziomie mocy akustycznej 85 dB. Klasa sprawności EFF2. Wykorzystano także silnik hamujący klatkowy (6), jednobiegowy ogólnego stosowania typu Sg 160L-8, o mocy 7,5 kW, prędkości znamionowej 705 obr/min, napięciu znamionowym 400 V, klasie sprawności EFF2. Wprowadzenie silnika (6) w prędkość nad synchroniczną powoduje generowanie momentu skręcającego obciążającego badaną przekładnię, będącego efektem przesunięcia charakterystyki mechanicznej silnika (6) w stosunku do charakterystyki mechanicznej silnika (1) [7, 8].

Zastosowanie silnika hamującego o prędkości znamionowej mniejszej niż prędkość silnika napędowego wpłynęło w znacznym stopniu na zmniejszenie przełożenia przekładni multiplikującej prędkość obrotową i tym samym pozwoliło zredukować jej wymiary.

Regulację i utrzymanie stałej wartości prędkości obrotowej silnika (1) zapewniają falowniki (7, 8). Do ich zadań należą: łagodne uruchamianie całego układu, włączenie silnika hamującego (6) z chwilą, gdy prędkość obrotowa jego wirnika przekroczy prędkość synchroniczną, a także zadawanie procentowego obciążenia. Do celów badawczych wykorzystano falownik LG iS 7 (7), model SV0075iS7- 2/4 (IPS 4), o mocy 7,5 kW, częstotliwości 400 Hz, napięciu znamionowym 3 x 380-480 V. Przeźniennik posiada wyświetlacz LCD, na której możliwy jest jednoczesny odczyt czterech aktualnych parametrów pracy takich jak: częstotliwość, prąd, napięcie, moc, prędkość obrotowa, stany wartości zwrotnych. Wykorzystano także przeźniennik częstotliwości (8) serii iG5A (model SV 075 iG5A- 4), o mocy 7,5 kW, częstotliwości 400 Hz, sterowaniu bezczujnikowym wektorowym oraz U/f, zasilaniu trójfazowym (napięcie 3-fazowe 380 ~ 480 V), częstotliwości 50 ~ 60 Hz.

Niezależną część układu pomiarowego stanowi reometr cyfrowy, Brookfield Digital Rheometer, model DV-III (rys. 6), służący do wyznaczania charakterystyk lepkościowych olejów wykorzystywanych do smarowania przekładni.



Rys. 6. Reometr cyfrowy, Brookfield Digital Rheometer.

Podczas badań prowadzona jest komputerowa akwizycja danych pomiarowych, w tym momentu obrotowego, liczby cykli obciążenia oraz temperatury badanej przekładni. Do gromadzenia danych oraz zapisu pomiarów wykorzystano przetwornik QuantumX (rys. 7). Urządzenie jest zdolne do pozyskiwania sygnałów z dowolnego czujnika analogowego, zostało połączone z laptopem, celem transferu danych bezpośrednio do pamięci komputera, pobierając jednocześnie dane pochodzące z kilku niezależnych kanałów [9].



Rys. 7. Przetwornik QuantumX [9]

Wyniki badań zmęzeniowych przekładni cykloidalnej na proponowanym stanowisku badawczym zostaną przedstawione jako oddzielne opracowanie.

Temperatura badanej przekładni kontrolowana jest za pomocą czujnika rezystancyjnego typu PT 100 zamontowanego wewnątrz korka wlewu oleju. Do pomiaru rezystancji czujnika zastosowano miernik uniwersalny METEX MS-9140. Ten sam miernik służy jako licznik impulsów generowanych przez momentomierz. Parametry elektryczne sieci zasilającej stanowisko mierzone są przy pomocy miernika DMK20 firmy Lovato. Miernik ten pozwala również na rejestrację czasu pracy stanowiska [6].

Określenie sprawności przekładni polega na pomiarze momentów przed i za przekładnią, za pomocą momentomierzy. Do pomiaru momentu obrotowego zastosowano momentomierz (3) typu Mi10, działający na zasadzie wałka skrętnego, współpracujący ze wskaźnikiem momentu WT-1 wyposażonym w analogowy miernik do odczytu wskazań. Momentomierz pozwala na pomiar statycznych lub wolnozmennych momentów obrotowych z zakresu 0–100 Nm,



Rys. 5. Stanowisko do badania trwałości zmęczeniowej zazębienia obiegowej przekładni cykloidalnej

6000 obr/min. Zakres mierniczy gGm od +/-10 do +/-20 kGm. Pasmami liniowymi przenoszonych częstotliwości pomiarowych mieści się w granicach 0-300 Hz. Po podłączeniu 5 kHz, wzmacniacza pomiarowego, demodulatora fazowego z filtrem, wzmacniacza impulsów, detektora wraz z elektrycznym miernikiem wskazującym, kalibratora wewnętrznego oraz zasilacza sieciowego wraz ze stabilizatorem elektronowym. Całość zabudowana jest w metalowej skrzynce. Na płycie czołowej umieszczone są wszystkie manipulatory oraz miernik do odczytu momentu obrotowego. Na tylnej ścianie znajduje się gniazdo do podłączenia momentomierza. Zastosowanie momentomierza skrętnego zaowocowało dobrym odwzorowaniem współpracy ząbienia przekładni cykloidalnej.

Stanowisko wyposażone jest w przetwornik drgań do detekcji pojawienia się zmęczeniowego uszkodzenia współpracujących powierzchni, współpracujący z analizatorem drgań typu 2145 firmy Bjuer&Kjaer. Badania trwałości zmęczeniowej przekładni cykloidalnej prowadzono do momentu wystąpienia zużycia zmęczeniowego (tzw. pittingu) w jednym z trzech głównych węzłów tocznych przekładni- obiegowych kołach zębatych współpracujących z rolkami, tulei oraz waleczków łożyska walcowego.

Podczas pomiarów badawczych wykorzystano sonometr do rejestracji poziomu hałasu, który wytwarza stanowisko badawcze. W tym celu zastosowano decybelomierz typu CEM DT-8852 (rys. 9), który jest cyfrowym miernikiem poziomu dźwięku. Wykorzystany sonometr mierzy poziom natężenia dźwięku na trzech zakresach: Lo 30-80dB, Med. 50-100dB, Hi 80-130dB. Wyniki pomiarów są wyświetlane na wielofunkcyjnym wyświetlaczu LCD z dokładnością do ± 1.4 dB. Rozdzielczość wskazań wynosi 0,1 dB. Wskaźnik analogowy- barograf umożliwia obserwowanie trendów zmian mierzonej wielkości. W wewnętrznej pamięci sonometru może zostać zarejestrowanych maksymalnie 32600 danych pomiarowych zawierających wyniki oraz datę i czas ich wykonania. Dane te mogą być odczytane po podłączeniu sonometru do komputera przenośnego po wcześniejszym zainstalowaniu oprogramowania dostarczonego standardowo z przyrządem. Program umożliwia nie tylko odczytywanie danych z pamięci urządzenia, ale również transmisję, obserwację i archiwizację danych pomiarowych bezpośrednio na komputerze w czasie rzeczywistym.



Rys. 8. Sonometr CEM DT-8852.

Podsumowanie

Stanowisko badawcze daje możliwość prowadzenia wielotorowych pomiarów dzięki zastosowaniu wielu czujników. Pozwala to na dowolne zestawianie ze sobą otrzymanych wyników, przy zadaniu zmiennego obciążenia. Badania pozwolą na stwierdzenie, który element przekładni zostaje podczas pracy przeciążony oraz która z par tocznych okazuje się być najmniej trwała.

Bibliografia

1. Bednarczyk S., Określenie geometrii koła zębatego w obiegowej przekładni cykloidalnej, Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Transport z. 82, Katowice 2014,
2. Chmurawa M., Obiegowe przekładnie cykloidalne z modyfikacją ząbienia, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002,
3. Chmurawa M., Olejek G.: Zazębienie cykloidalne przekładni planetarnej, Zeszyty Naukowe Pol. Śl., seria Transport, 1994,
4. Chmurawa M., Warda B., Prognozowanie trwałości tocznych węzłów przekładni cykloidalnej z korygowanym zazębieniem, Tribologia 4-2003, Radom, 2003,
5. Rutkowski Andrzej, Części Maszyn, WSIP, Warszawa 2007,
6. Warda B., Stanowisko do badania trwałości zazębienia obiegowej przekładni cykloidalnej, Tribologia 6-2006, Radom, 2006,
7. http://www.cantonigroup.com/pl/motors/celma_indukta/series/100/tr%C3%B3jfazowe-silniki-klatkowe-jednobiegowe-og%C3%B3lne-stosowania-seria-2sg-sg-sh-ie1/
8. <http://www.cantonigroup.com/pl/motors/indukta/product/334/sg-160I-8/>
9. <http://www.dpaonthenet.net/article/92175/Amplifier-offers-eight-individually-configurable-channels.aspx>

Research position for testing cyclo gear fatigue

Paper discussed the research position for testing cyclo gear fatigue and durability of cyclo gear meshing. Particular attention was paid to the construction of Cyclo gear and the individual elements of the test bench. The authors presents the possibility of measuring the position thanks to the use additional sensors.

Keywords: cyclo gearbox, fatigue life

Autorzy:

mgr **Joanna Matczak**, doktorantka – Politechnika Łódzka, Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn
mgr **Kamil Matczak**, doktorant – Politechnika Łódzka, Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn