



# Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych z podstaw konstrukcji maszyn

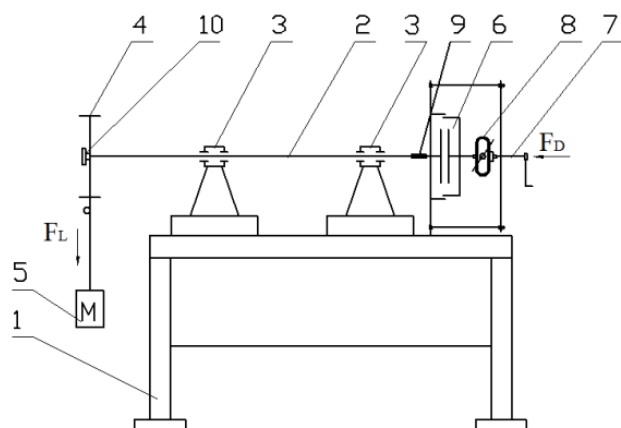
## 1. Temat: Badanie połączeń ciernych

## 2. Cel ćwiczenia:

- przedstawienie metody badań skojarzeń ciernych pomiędzy różnymi materiałami: stal-żeliwo, żeliwo-żeliwo oraz żeliwo-ferodo,
- wyznaczenie zmian przebiegu momentu tarcia od chwili zerwania styku na kontakcie powierzchni trących i pracy w stanie poślizgu,
- wyznaczenie podstawowych parametrów skojarzenia ciernego: momentu tarcia, momentu skręcającego, współczynnika tarcia.

## 3. Opis stanowiska

Budowę i działania stanowiska badawczego przedstawia rys. 1-3. Stanowisko laboratoryjne zbudowane jest z korpusu 1, na którym wał 2 został podparty na dwóch łożyskach tocznych 3. Na jednym końcu wału 2 zamocowano koło linowe 4 z odważnikami 5, jako układ obciążający oraz czujnik kąta skręcenia wału 10. Na drugim jego końcu zamontowano tarcze cierne 6 z możliwością ich wymiany. Nacisk na współpracujące tarcze cierne siłą FD jest wywierany za pomocą śruby regulacyjnej 7. Siła dociskająca tarcze mierzona jest za pomocą tensometrycznych czujników siły 8, naklejonych na pałakowy, sprężysty przetwornik siły. Pomiar momentu skręcającego dokonywany jest za pomocą czujników tensometrycznych 9. Aby spowodować ruch badanej śruby (poz. 3) w dół należy przyłożyć do niej moment czynny  $M_c$  na tyle duży, aby pokonał oprócz oporów tarcia moment wywołany siłą obwodową na gwincie. Jest on zadawany i mierzony identycznie jak moment bierny  $M_b$ .

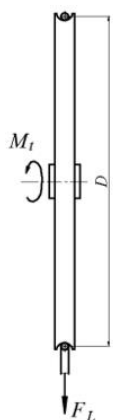


- 1 - korpus stanowiska
- 2 - wał
- 3 - łożyskowanie wału
- 4 - koło linowe
- 5 - obciążniki (układ obciążający)
- 6 - tarcze cierne
- 7 - śruba regulacyjna siłę nacisku  $F_D$

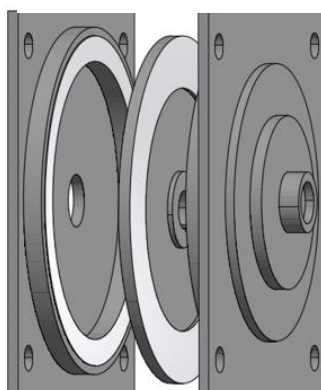
- 8 - czujnik siły
- 9 - czujniki tensometryczne do pomiaru momentu skręcającego
- 10 – czujnik kąta do pomiaru prędkości przemieszczenia tarczy sprzęgła



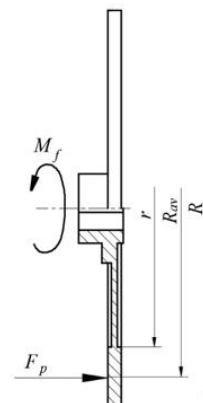
Rys. 1. Stanowisko do badania połączeń ciernych.



Podstawowe wymiary i sposób zadawania momentu obciążenia na kole linowym



Zespół cierny składający się z trzech tarcz ciernych (nr 7, 8 i 9) stanowi badany węzeł cierny

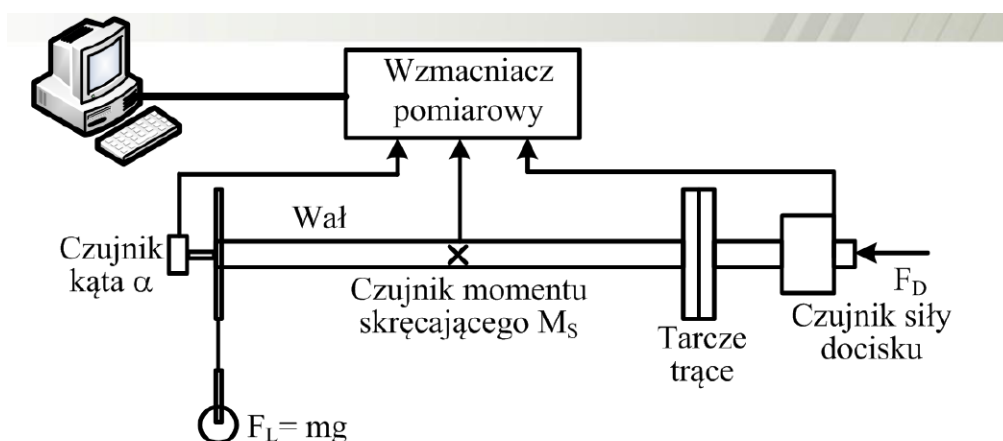


Podstawowe wymiary powierzchni ciernej i sposób zadawania momentu tarcia na przykładzie tarczy ciernej obrotowej

Rys.2. Wymiary okładzin ciernych:  $R = 190$  mm,  $r = 160$  mm, promień średni  $R_m$ , średnica koła linowego  $D = 185$  mm.

Badaniom eksperymentalnym poddano w warunkach tarcia ślizgowego, technicznie suchego, trzy rodzaje współpracujących par ciernych:

- Próbkę wykonaną ze stali C45, oraz przeciwpróbkę, którą stanowią tarcze wykonane z żeliwa EN-GJL-150,
- Próbkę z okładzinami ferodo, oraz przeciwpróbkę, którą stanowią tarcze wykonane z żeliwa EN-GJL-150.



Rys.3. Budowa systemu pomiarowego

System pomiarowy oraz układ akwizycji danych zrealizowano przy wykorzystaniu wielokanałowej karty pomiarowej typu Spider8, w którym mierzono i rejestrowano następujące wielkości:



- siłę docisku pary ciernej  $F_p(t)$  za pomocą tensometrycznego czujnika siły typu C9B o zakresie 2 kN i niepewności pomiaru 0,5 % ,
- Moment skracający wał  $M_t(t)$  za pomocą czujników tensometrycznych naklejonych na wale, przetwornik momentu wyskalowano statycznie z niepewnością mniejszą niż 0,5 % ,
- Chwilową wartość kąta położenia wału  $\alpha(t)$  za pomocą 10-bitowego enkodera absolutnego, niepewność pomiaru 0,352 ° ,
- Siłę  $F_L$  zadającą za pośrednictwem koła linowego moment obciążający wał, jej wartość określono przez wstępny pomiar masy zastosowanego odważnika z niepewnością 0,5 % .

## 4. Przebieg ćwiczenia

1. Założenie pierwszej tarczy ciernej (6).
2. Dociśnięcie wstępnie tarczy ciernej siłą  $F_D$  (7).
3. Obciążenie koła linowego (4) odważnikiem o masie  $M$  (5).
4. Ustawienie koła linowego (4) z obciążeniem w pozycji początkowej do pomiaru.
5. Włączenie układu pomiarowego i rejestrującego.
6. Stopniowe zmniejszanie wartości siły docisku do chwili zerwania kontaktu między tarczami, które powoduje opadanie obciążenia  $M$ .
7. Odczytanie i zapisanie otrzymanych wyników pomiaru: siły docisku  $F_D$ , momentu skracającego na wale  $M_S$  i kąta obrotu.
8. Powtórzenie pomiaru dla kolejnego obciążenia  $M$ .
9. Zatrzymanie pomiarów demontaż stanowiska i wymiana tarczy ciernej.
10. Wykonanie kolejnego cyklu pomiaru dla drugiej i kolejnej tarczy ciernej.

## 5. Opracowanie wyników badań

Wartość momentu obciążającego wał  $M_L$  dla stałej wartości siły obciążającej  $F_L$  (rys.2):

$$M_L = F_L \cdot \frac{D}{2}$$

Wartość momentu tarcia  $M_f(t)$  pomiędzy powierzchniami skojarzenia ciernej:

$$M_f(t) = \mu_s \cdot F_p(t) \cdot R_{av}$$

W obliczeniach uwzględniamy następujące warunki pracy węzła ciernej:

1. Przypadek, gdy wartość siły docisku  $F_p(t)$  jest na tyle duża, że moment tarcia  $M_f(t)$  spełnia warunek:

$$M_f(t) > M_L$$

Układ pozostaje w spoczynku



2. Przypadek, moment zerwania styku i wystąpienia poślizgu tarcz w chwili czasu  $t_0$

$$M_f(t_0) = M_L = M_t(t_0)$$

Współczynnik tarcia statycznego wyznaczamy wg zależności:

$$\mu_s = \frac{M_f(t_0)}{2R_{av} \cdot F_p(t_0)} = \frac{M_t(t_0)}{2R_{av} \cdot F_p(t_0)}$$

3. Przypadek, dalsze nawet nieznaczne zmniejszenie siły docisku  $F_p(t)$  spowoduje, że:

$$M_f(t) < M_L$$

$$M_f(t) = M_t(t)$$

Układ tarcz ciernych zacznie przemieszczać się względem siebie ruchem obrotowym przyspieszonym. Współczynnik tarcia kinetycznego  $\mu_k(t)$  pomiędzy powierzchniami ciernymi w stanie poślizgu można określić dla  $t > t_0$  z zależności:

$$\mu_k(t) = \frac{M_f(t)}{2R_{av} \cdot F_p(t)} = \frac{M_t(t)}{2R_{av} \cdot F_p(t)}$$

Zalecane jest opracowanie wyników w postaci wykresów.

## 6. Uwagi odnośnie BHP

Należy postępować według szkolenia udzielonego przez opiekuna przedmiotu, prowadzącego laboratorium oraz stosować się do OGÓLNEJ INSTRUKCJI BHP UŻYTKOWANIA.

## 7. Pytania kontrolne

1. Podział sprzęgieł.
2. Zastosowanie sprzęgieł ciernych.
3. Zalety i wady sprzęgieł ciernych w porównaniu z innymi sprzęgłami.
4. Wymienić podstawowe funkcje jakie spełniają sprzęgła cierne w napędach.
5. Narysować sprzęgło cierne tarczowe i przedstawić rozkład sił.
6. Narysować sprzęgło cierne stożkowe i przedstawić rozkład sił.
7. Omówić rodzaje materiałów ciernych stosowanych w budowie maszyn
8. Opisać czynniki wpływające na współczynnik tarcia.
9. Od czego zależy wartość momentu obliczeniowego w sprzęgłach.
10. Wymienić kryteria doboru sprzęgieł ciernych z katalogu.



## 8. Literatura

- Z. Osiński: Podstawy konstrukcji maszyn, t1, PWN Warszawa, 2000
- Z. Osiński: Sprzęgła i hamulce, PWN Warszawa, 2000
- E. Mazanek: Przykłady obliczeń z podstaw konstrukcji maszyn, WNT, 2005
- Red. M. Porębska, M. Warszński: Laboratorium z podstaw konstrukcji maszyn, SU1630, SU1414
- M. Dietrich: Podstawy konstrukcji maszyn, t 2, WNT Warszawa 1999
- E. Mazanek Przykłady obliczeń podstaw konstrukcji maszyn, t 2, WNT Warszawa 2008
- Z. Osiński, W. Bajon, T. Szucki Podstawy konstrukcji maszyn, PWN Warszawa 1980
- W. Korewa, K. Zygmunt Podstawy konstrukcji maszyn, t.2, WNT Warszawa 1975

Opracowanie:

Dr inż.. Dariusz Lepiarczyk