ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1998
Seria: TRANSPORT z. 34 Nr kol. 1396

Manfred CHMURAWA*)

METODY I STANOWISKO DO WYZNACZANIA STATYCZNYCH CHARAKTERYSTYK SPRZĘGIEŁ PODATNYCH

Streszczenie. Stosowanie sprzęgieł podatnych wymaga od użytkownika znajomości charakterystyk statycznych, które opisują cechy sprężysto-tłumiące tych sprzęgieł. W referacie przedstawiono oryginalne stanowisko i doświadczalną metodykę badania charakterystyk statycznych sprzęgła skrętnie podatnego.

METHODS AND STAND FOR DESCRIBING OF STATIC CHARAKTERISTICS OF FLEXIBLE COUPLINGS

Summary. Application of flexible couplings demands from user the knowledge of static charakteristics. In the paper it is presented original stand and methodics of research of static charakteristics of flexible couplings.

1. WSTĘP

W układach napędowych maszyn transportowych stosuje się najczęściej sprzęgła skrętnie podatne, które dzięki odpowiedniej sprężystości i korzystnemu tłumieniu przyczyniają się do łagodzenia nierównomierności przenoszonego momentu obrotowego [6(8, 10,14(16].

Korzystną cechą sprzęgieł podatnych jest także możliwość kompensacji niewielkich niedokładności położenia osi łączonych wałów.

Podstawową cechą użytkową sprzęgła podatnego jest jego charakterystyka statyczna. W literaturze problem charakterystyk sprzęgieł jest problemem otwartym i mamy do czynienia zarówno z charakterystyką, wyznaczoną dla wzrastającego obciążenia bez późniejszego odciążania [6, 8], jak i z pełną charakterystyką, określaną dla wzrastającego i malejącego obciążenia, która wykazuje tzw. pętlę histerezy [5, 7, 9 ÷ 16].

*) Instytut Transportu Politechniki Śląskiej – Gliwice i OBRDiDT „Detrans" – Bytom.

Sprzęgła podatne należą do grupy mechanicznych sprzęgieł nierozłącznych o nieliniowych charakterystykach, których przebieg zależy od ilości i postaci łączników (wkładek, sprężyn, elastomerów), występujących między czynnym i biernym członem sprzęgła [1÷3, 5, 7, 9, 10, 12÷13, 15÷16].Każdy rodzaj sprzęgła (jedno- lub wielowkładkowe, przeponowe, oporowe lub inne) charakteryzuje się określonymi cechami sprężystymi i tłumiącymi, które mają decydujący wpływ na przebieg i stabilizację drgań skrętnych, towarzyszących pracy układu napędowego. Cechy sprężysto-tłumiące sprzęgieł podatnych na ogół nie są znane użytkownikowi. Zatem użytkowanie sprzęgieł, o nieznanej charakterystyce, szczególnie wysokopodatnych, związane jest z możliwością nieprawidłowej pracy układu napędowego. W tej sytuacji znajomość rzeczywistej lub nawet hipotetycznej charakterystyki sprzęgła może się przyczynić do lepszej i bardziej niezawodnej pracy układów napędowych.

Złożona postać konstrukcyjna sprzęgieł i cechy fizykochemiczne łączników praktycznie uniemożliwiają analityczne określenie statycznych charakterystyk.

Pozostaje zatem doświadczalne wyznaczanie tych charakterystyk na specjalnych stanowiskach badawczych.

2. CHARAKTERYSTYKA STATYCZNA SPRZĘGŁA PODATNEGO

Charakterystyka statyczna sprzęgła podatnego przedstawia zależność momentu obrotowego od kąta względnego (wzajemnego) obrotu jego członów, pod warunkiem że obie wielkości wzrastają bardzo wolno:

$$M = f(\varphi) \tag{1}$$

gdzie: M - stała wartość momentu obrotowego (lokalna), [Nm];

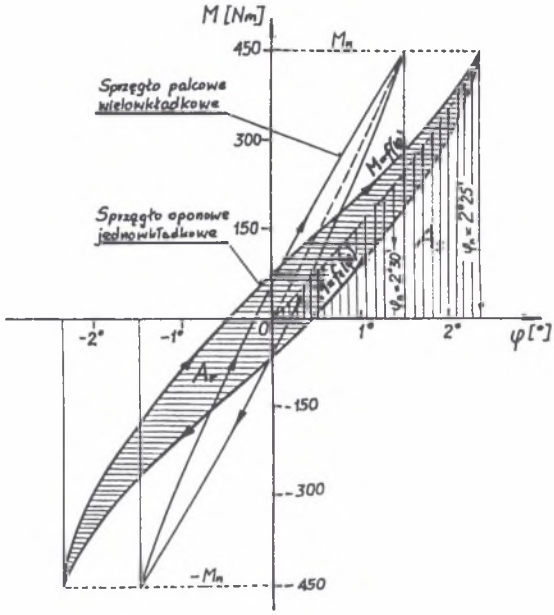
φ - względny kąt skręcenia członów [rad lub stopnie].

Najczęściej jest to zależność nieliniowa; dla przykładu, dla sprzęgła z wkładkami gumowo-stalowymi charakterystyka przyjmuje postać [9, 10, 12, 13]:

$$M = \alpha_0\varphi + \beta_0\varphi^3 \tag{2}$$

gdzie: M, φ - wielkości, jak wyżej;

α_0, β_0 - współczynniki zależne od postaci, liczby i rozmieszczenia wkładek,



Rys.1. Statyczne charakterystyki sprzęgieł skrętnie podatnych
Fig.1. Static characteristics of flexible couplings

Charakterystyka statyczna obrazuje cechy sprężyste i umożliwia wyznaczenie współczynnika sztywności skrętnej sprzęgła:

$$c = \frac{dM}{d\varphi} = f'(\varphi), \quad \left[\frac{Nm}{rad}\right], \left[\frac{Nm}{1^{o}}\right] \tag{3}$$

Przy nieliniowej charakterystyce $c \neq const$ i wtedy możemy mówić o różnych wartościach współczynnika sztywności (wstępnej, średniej, przy nominalnym obciążeniu, przy maksymalnym obciążeniu itp.). Rys. 1 przedstawia przykładowe charakterystyki sprzęgła wielowkładkowego i oponowego.

3. PEŁNA CHARAKTERYSTYKA STATYCZNA SPRZĘGŁA PODATNEGO

Sprzęgła podatne, oprócz cech sprężystych, charakteryzują się także znaczącym tłumieniem, czynnie łagodzącym przebieg rozruchu i powodującym proces zanikania drgań skrętnych. Tłumienie przejawia się tzw. histerezowymi stratami energii podczas odkształcania

[1, 6÷10, 12÷16]. Straty i rozproszenie energii (dyssypacja) są następstwem pokonywania oporów tarcia wewnętrznego w niemetalowym materiale łącznika.

Dyssypacja energii daje się zauważyć podczas obciążenia sprzęgła, gdy zmiana momentu obrotowego $M = f_l(\varphi)$ nie przebiega wzdłuż zmian $M = f(\varphi)$, zaistniałych wcześniej przy jego obciążeniu. Powstaje pętla histerezy, której powierzchnia jest miarą intensywności tłumienia (rys. 1). Powierzchnię pętli histerezy można wykorzystać do wyznaczenia współczynnika tłumienia [5, 7, 9, 10]:

$$\Psi = \frac{A_r}{A_s} \tag{4}$$

gdzie: A_r - praca tłumienia podczas jednego cyklu obciążenia [Nm];

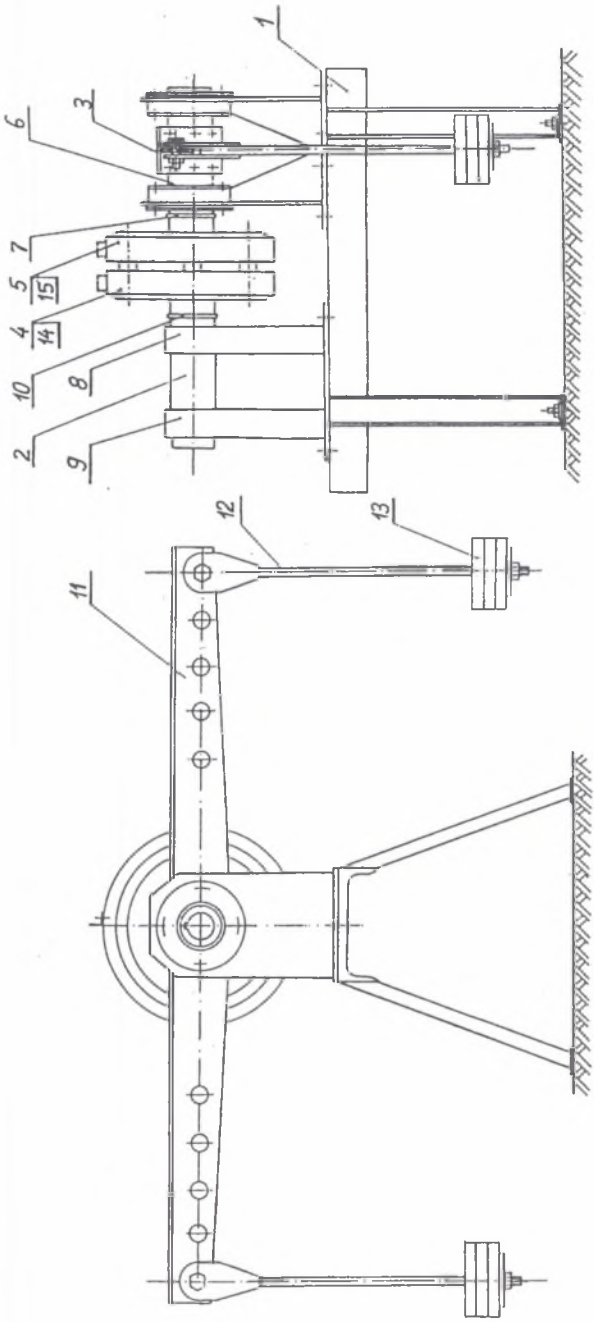
A_s - praca odkształcenia sprężystego podczas jednego cyklu obciążenia [Nm].

Współczynnik sztywności c, współczynnik tłumienia Ψ oraz charakterystyka statyczna $M = f(\varphi) \cup M = f_l(\varphi)$ określają cechy użytkowe sprzęgła podatnego i mogą być właściwymi miarami do oceny jakości sprzęgieł, oferowanych na rynku przez różnych dostawców.

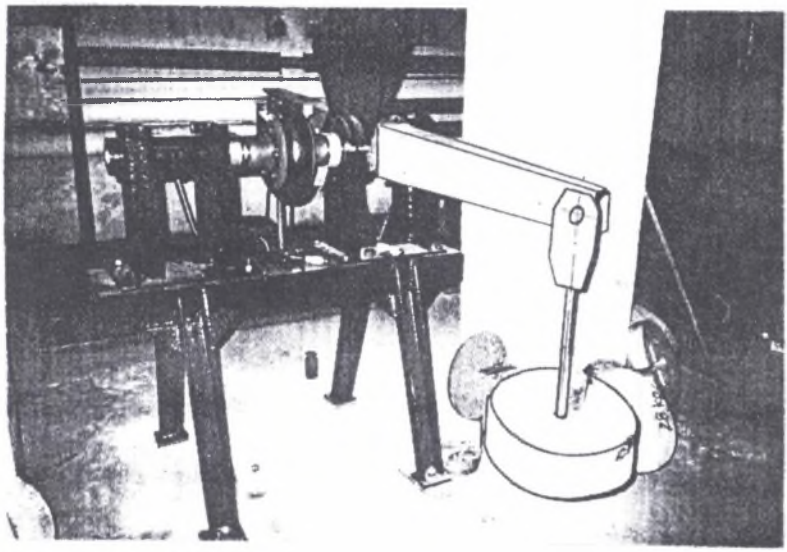
4. STANOWISKO I METODYKA BADAŃ STATYCZNYCH CHARAKTERYSTYK SPRZĘGIEŁ PODATNYCH

W Instytucie Transportu Politechniki Śląskiej zaprojektowano i wykonano specjalne stanowisko do badań różnych rodzajów sprzęgieł. W odróżnieniu od innych, dotychczas wykonanych stanowisk [5, 7, 12, 13] wyróżnia się ono prostym sposobem pomiaru kąta skręcenia członów sprzęgła (rys. 2 ÷ 4).

Rys. 3 przedstawia ogólny widok stanowiska z założonym sprzęgłem. Stanowisko zamontowano na sztywnej podstawie 1, do której przykręcono stałą podporę 2 i podporę obrotową 3. W podporze stałej 2, unieruchomionej za pomocą wsporników 8 i 9, osadzono za pomocą wpustu wymienny czop 10, na którym można zamocować jedną z tarcz badanego sprzęgła 4. Tę tarczę uznano za nieruchomą i na jej obwodzie przykręcono miniaturowe lusterko 14, odbijające promień padający z pierwszego laserowego źródła światła 16. W podporze obrotowej 3 ułożyskowano tocznie tuleję 6, w której znajduje się wymienny czop 10, na którym można zamocować drugą tarczę 5 badanego sprzęgła. Tarcza 5 ma swobodę obrotu i może być obciążona momentem skręcającym M. Pod działaniem tego momentu tarcza 5 skręci się względem tarczy nieruchomej o kąt ?. Na jej obwodzie na wysokości lusterka 14 przykręca się lusterko 15, odbijające promień padający z laserowego źródła światła 17.



Rys.2. Układy pomiarowe i budowa stanowiska badawczego
Fig.2. Measure systems and construction of research stand



Rys.3. Ogólny widok stanowiska do badań sprzęgieł podatnych
Fig.3. General view of stand for research of flexible couplings

Opisane stanowisko wyposażono w dwa układy (rys. 2):

1) Układ zadawania momentu skręcającego M [Nm], sztywno połączony z tuleją 6 podpory obrotowej 3. Układ składa się z praktycznie nieodkształcalnej dźwigni 11 z wieszakiem 12, który umożliwia obciążenie dźwigni za pomocą dokładnych wzorców masy 13.
2) Układ pomiaru względnego kąta skręcenia tarcz φ, wykorzystujący zasadę równości kąta padania i kąta odbicia promienia światła, odbitego od idealnie gładkiej powierzchni (lustra). Układ składa się z laserowych źródeł światła 16 i 17, wspomnianych lusterek 14 i 15 i odpowiednio wykreślonej skali 18 kąta skręcenia φ usytuowanej w odległości L=3000 mm od osi badanego sprzęgła.

4.1. Układ zadawania momentu skręcającego (obrotowego)

Wartość momentu obrotowego, obciążającego badane sprzęgło, wynosi odpowiednio:

$$M = m \cdot g \cdot L \cdot \cos\varphi \tag{5}$$

gdzie: m - masa ciężarków 13 na szalce wieszaka 12 w [kg];

g - przyspieszenie ziemskie w [m/s^2], g = 9,81 m/s^2

φ - względny kąt skręcenia tarcz sprzęgła [rad lub ^{o}];

L - długość ramienia dźwigni 11 w [m], L = 0,8 m.

Wpływ kąta skręcenia dźwigni na wartość momentu przy małych wartościach $\varphi = 0 \div 6^o$ jest niewielki. Dla przykładu błąd zadawanego momentu z pominięciem wpływu kąta dla $\varphi = 6^o$ wynosi +0,5%. W tej sytuacji z dostateczną dokładnością wartość momentu obciążającego badane sprzęgło można wyznaczyć ze wzoru:

$$M = m \cdot g \cdot L \tag{6}$$

gdzie: m, L, g - wielkości jak wyżej.

Dokładność zadawania momentu wynika z najmniejszego ciężaru (m_{min} = 1kg) i wynosi: ±0,5%.

4.2. Układ pomiaru względnego kąta skręcania tarcz

Zasadę pomiaru względnego kąta skręcenia tarcz obrazuje rys. 4. Założono, że kąt φ jest wielkością małą i dopuszczalne są pewne uproszczenia, wynikające z pominięcia lub wpływu zmian wielkości geometrycznych, towarzyszących procesowi odbicia światła. Jeżeli ze źródła światła laserowego 17 wypływa silnie skoncentrowany promień i pada na lusterko 15 znajdujące się na obwodzie tarczy ruchomej sprzęgła 5, to odpowiednio:

- dla kąta padania przed obciążeniem sprzęgła:

$$tg\alpha_1 = \frac{DN}{NO} = \frac{DN}{l}$$

- dla kąta odbicia przed obciążeniem:

$$tg\alpha_1' = tg\alpha_1$$

- dla kąta padania po obciążeniu sprzęgła i przyjęciu powyższych uproszczeń:

$$tg\alpha_2 = \frac{N_1'D_1'}{N_1'O_1} \cong \frac{N_1D_1}{NO} = \frac{N_1D_1}{l}$$

- dla kąta odbicia po obciążeniu sprzęgła:

$$tg\alpha_2' = tg\alpha_2$$

Wtedy poszukiwany kąt φ z przedziału od 1° do 6° można przyjąć, że:

$$\varphi = \alpha_1 - \alpha_2 \tag{7}$$

Dla bardzo małych kątów φ z przedziału od 1° do 6° można przyjąć, że:

$$tg\alpha_1 \cong \alpha_1 \quad i \quad tg\alpha_2 \cong \alpha_2$$

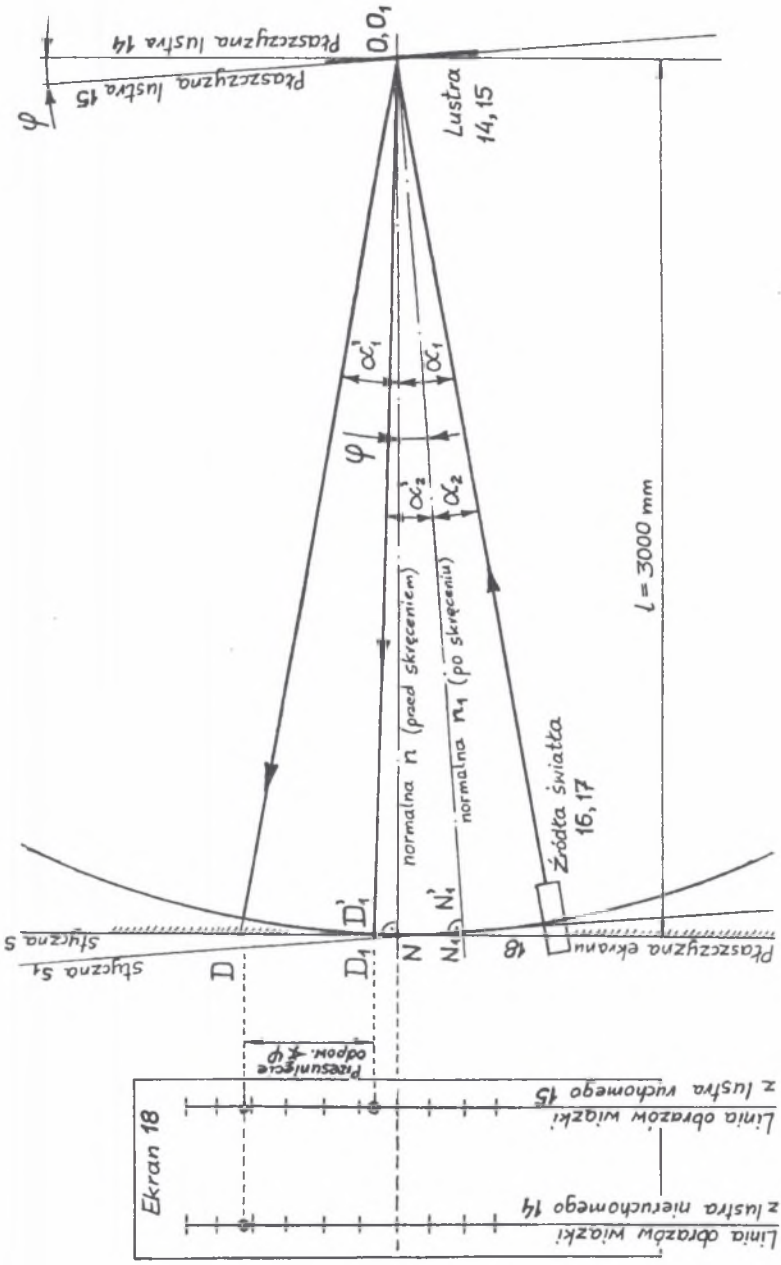
więc także:

$$\varphi = \frac{DN}{l} - \frac{D_1N_1}{l} = \frac{DN - D_1N_1}{l} \tag{8}$$

gdzie: $DN - D_1N_1$ - odcinek na skali 18 w [mm], proporcjonalny do mierzonego kąta φ;

$l = 3000$ mm - obliczeniowa odległość lusterek od obrazu odbitej plamki na skali 18.

Wzorcowanie skali 18 przeprowadzono w Instytucie Transportu Politechniki Śląskiej. Dla przykładu względny kąt skręcenia tarcz $\varphi = 1^o$ odpowiada odcinkowi $DN - D_1N_1 = 52{,}5$ mm na skali 18, a kąt $\varphi = 6^o$ odcinkowi 317 mm. Dokładność odczytywania kąta skręcenia uwarunkowana jest wartością działki elementarnej na skali i wynosi ± 1 minuta kątowa.



Rys.4. Zasada pomiaru względnego kąta skręcenia tarcz sprzęgła
Fig.4. Principle of measure of relative angle of coupling

4.3. Metodyka badania charakterystyki statycznej sprzęgła

Po zmontowaniu badanego sprzęgła na stanowisku i wypoziomowaniu dźwigni 11 (rys. 2) należy włączyć zasilanie laserowych źródeł światła 16 i 17 i za pomocą odpowiednich pokręteł ustawić plamki odbitych powierzchni na ekranie 18 na jednym poziomie. Następnie obciążamy sprzęgło odpowiednimi ciężarkami 13. Po każdorazowym obciążeniu obserwujemy przez okres około 30 ÷ 60 sekund ruch plamki i po jej ustaleniu się odczytujemy na skali 18 względny kąt skręcenia φ_i, odpowiadający zadanemu momentowi obciążenia M_i. Sprzęgło obciążamy monotonicznie wzrastającym momentem do wartości momentu nominalnego M_n lub momentu maksymalnego M_{max}. Następnie obciążamy sprzęgło, odczytując przy każdej wartości obciążenia odpowiedni kąt skręcenia. Po osiągnięciu zerowej wartości obciążenia powtarzamy cały seans pomiarowy jak wyżej przy przeciwnych wartościach zadawanego momentu obrotowego. Dla uśrednienia otrzymanych wyników zaleca się przeprowadzić co najmniej trzy serie pomiarów. Wyniki umieszczamy w odpowiednich kartach pomiarowych i wykreślamy poszukiwaną charakterystykę statyczną $M = f(\varphi) \cup M = f_l(\varphi)$ z petlą histerezy (rys. 1), która umożliwia wyznaczenie współczynnika sztywności i współczynnika tłumienia badanego sprzęgła.

5. RODZAJE BADANYCH SPRZĘGIEŁ I ZAKRES POMIARÓW REALIZOWANYCH NA STANOWISKU DO BADAŃ SPRZĘGIEŁ PODATNYCH

Na przedstawionym stanowisku można badać cechy sprężysto-tłumiące następujących rodzajów sprzęgieł podatnych:

* sprzęgła jednowkładowe typu ASN, ASR,
* sprzęgła wielowkładowe z wkładkami gumowymi lub gumowo-stalowymi typu ASP,
* sprzęgła oponowe typu ASO,
* sprzęgła przeponowe typowe ASM, wysokopodatne AUP i wysokopodatne górnicze GAUM,
* sprzęgła kabłąkowe AUK,
* inne z łącznikami metalowymi lub elastomerami.

Badane sprzęgła można obciążać do wartości M_{max} = 3000 Nm, a maksymalny względny kąt skręcenia członów może osiągać wartość φ_{max}= 22°. Największa średnica zewnętrzna sprzęgła D_{max} = 500 mm. Stanowisko umożliwia obserwację lub rejestrację procesu

odkształcania zarówno łączników, jak i całego sprzęgła. Obserwacja jest szczególnie ważna przy osiąganiu nominalnej lub maksymalnej wartości momentu, obciążającego badane sprzęgła.

6. WNIOSKI

6.1. Pełna charakterystyka statyczna (z pętlą histerezy) obrazuje cechy sprężysto-tłumiące sprzęgła podatnego i może być wykorzystywana do oceny jakości tych samych sprzęgieł, oferowanych przez różnych dostawców.

6.2. Charakterystykę statyczną sprzęgła podatnego można określać wyłącznie metodą doświadczalną, ponieważ mechanika stosowana nie dysponuje analityczną metodą wyznaczania tej charakterystyki.

6.3. Wyznaczenie charakterystyk sprzęgieł metodą doświadczalną wymaga posiadania akredytowanych stanowisk badawczych, które powinny się znajdować w jednostkach badawczych, niezależnych od producenta lub dostawcy.

LITERATURA

1. Chmurawa M.: Charakterystyki sprzęgła podatnego typu ASP dla różnych rodzajów elastomerów we wkładkach. Praca bad. (niepublikowana), Instytut Transportu Pol. Śl., Katowice 1997.
2. Chmurawa M.: Badania charakterystyk statycznych i dynamicznych oraz trwałości sprzęgieł podatnych nierozłącznych. Praca bad., Instytut Transportu Pol. Śl., Katowice 1996.
3. Chmurawa M., Markusik S., Pypno Cz.: Badanie charakterystyk statycznych opon do sprzęgieł podatnych. Praca bad. o symb. NB-173/RM10/98 (niepublikowana), Instytut Transportu Pol. Śl., Katowice 1998.
4. Chmurawa M., Bińkowski W.: Podstawy niezawodności i eksploatacji maszyn roboczych. Skrypt Politechniki Śląskiej nr 936, Gliwice 1980.

5. Darski A., Kochanowski M., Kulig J.: Podatność skrętna, własności tłumienia i trwałość sprzęgieł z gumowymi wkładkami tulejowymi. Biuletyn Inf. OBRDiUT "Detrans" nr 6. Bytom 1976.
6. Kacperski T., Krukowski A., Markusik S., Ozimowski W.: Podstawy konstrukcji maszyn. Tom 3, WNT, Warszawa 1997.
7. Koprowski T.: Własności dynamiczne i trwałość sprzęgieł podatnych stosowanych w napędach maszyn ciężkich. Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn Pol. Śl. Rozprawa doktorska, Gliwice 1979.
8. Korewa W., Zygmunt K.: Podstawy konstrukcji maszyn. Część II, WNT, Warszawa 1969.
9. Markusik S.: Charakterystyki sprzęgieł podatnych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Seria: Transport, z. 33, Gliwice 1998.
10. Markusik S.: Sprzęgła mechaniczne. WNT, Warszawa 1979.
11. Markusik S., Zioła A.: Badania charakterystyk dynamicznych sprzęgieł podatnych przy pomocy komputerowo symulowanych warunków pracy. Praca bad. o symb. BK-34/RM 10/94, Instytut Transportu Pol. Śl., Katowice 1994.
12. Maciakowski R., Kochanowski M., Darski A.: Wyznaczanie charakterystyk sprzęgieł wkładkowych podatnych skrętnie z typoszeregu ASp. Pol. Gdańska, Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn , Gdańsk 1972, 1973 i 1974.
13. Maciakowski R., Kochanowski M.: Badania charakterystyk statycznych i dynamicznych sprzęgieł podatnych skrętnie typu ASp. Pol. Gdańska, Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Gdańsk 1972 i 1973.
14. Kaliński W., Nowak A., Wojnarowski J.: Wibroizolacja maszyn roboczych. Wyd. Pol. Śl.. Gliwice 1996.
15. Osiński Z.: Dobór charakterystyki sprzęgła podatnego. Przegląd Mechaniczny nr 11/1970.
16. Osiński Z.: Sprzęgła i hamulce. WNT, Warszawa 1985.

Recenzent: Dr hab.inż. Marek Sitarz
Prof.Politechniki Śląskiej

Abstract

Application of flexible couplings demands from user the knowledge of static charakteristics wchich describe spring-dumping features of that couplings. It was presented original stand and methodics of research of static charakteristics of flexible couplings. At measurement of twisting angle of coupling's discs it was applied laser beam which makes the measure easier and very precise.