

Romuald Gajewski
Ewaryst Grodzki
Arnold Wilczyński

URZĄDZENIE DO BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ
WAŁÓW KORBOWYCH METODĄ DOŚWIADCZEŃ WIELOCZYNNIKOWYCH

W pracy opisano urządzenie do badań wytrzymałości zmęczeniowej wałów korbowych. Umożliwia ono badanie wałów metodą doświadczeń wieloczynnikowych dzięki możliwościom zmian rodzaju i wartości obciążenia.

Urządzenie, wykonane w Politechnice Poznańskiej według koncepcji autorów, wykorzystane zostało do badań wytrzymałości zmęczeniowej wałów korbowych kutyh swobodnie i kutyh metodą TR.

1. Charakterystyka urządzenia

Omawiane urządzenie do badań wytrzymałości zmęczeniowej wałów korbowych charakteryzuje się tym, że w czasie próby zmęczeniowej próbka wału korbowego pozostaje nieruchoma. Umożliwia to stosunkowo prostą realizację trzech wariantów obciążeń obustronnie zmiennych:

wariant I - obciążenie momentem zginającym $^+ M_g$,

wariant II - obciążenie momentem skręcającym $^+ M_g$,
wariant III - obciążenie momentem zginającym i skręcającym jednocześnie $^+ M_g$ i $^+ M_s$.

Konstrukcja urządzenia zapewnia regulację amplitud momentów, a w przypadku jednoczesnego działania M_g i M_s - regulację stosunku amplitud tych momentów oraz przesunięcia fazowego ich przebiegów.

Istotną zaletą przyjęcia koncepcji nieruchomej próbki jest łatwość pomiaru naprężeń w próbce /metoda tensometrii oporowej/.

Podstawowe dane techniczne urządzenia:

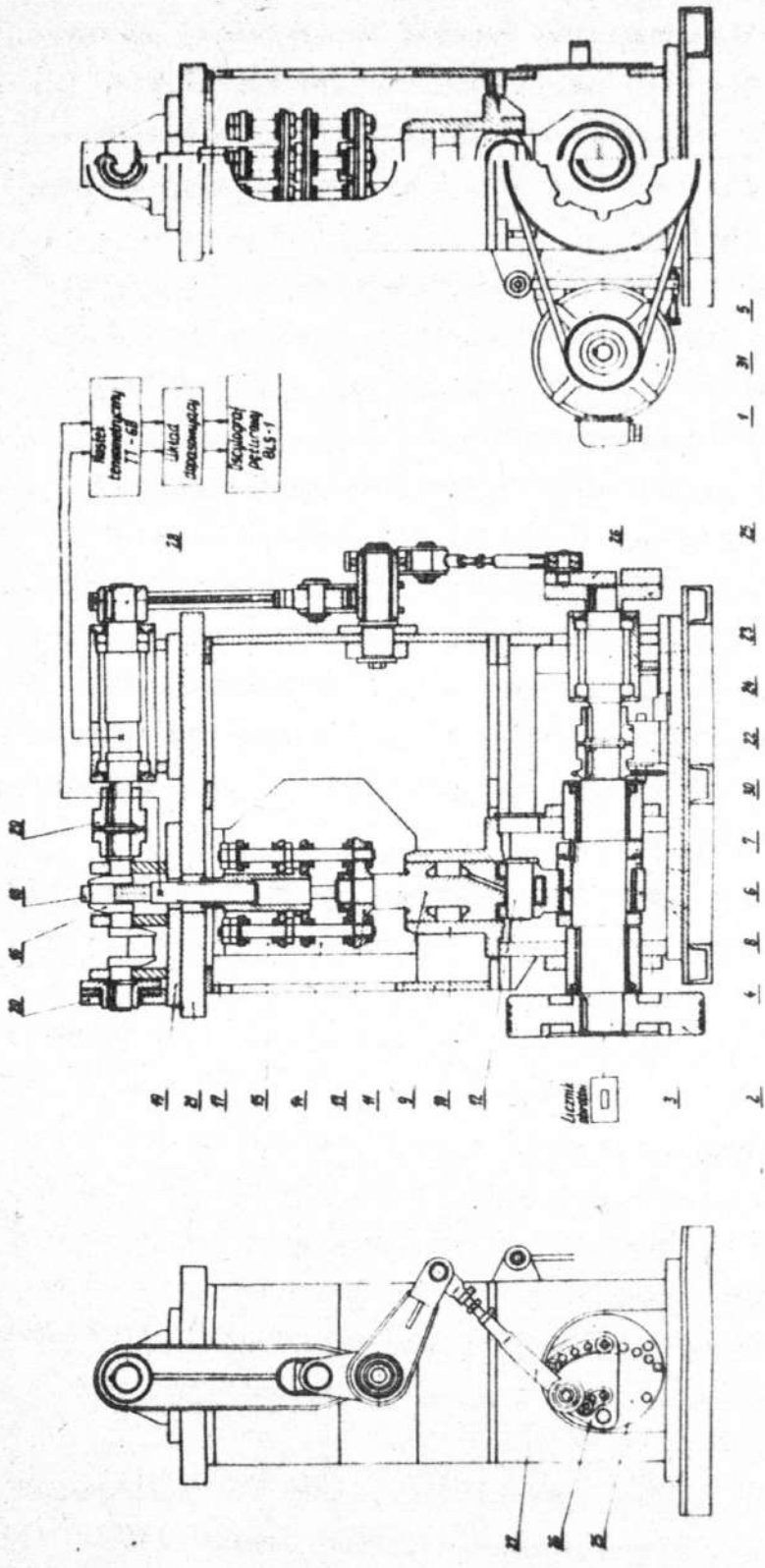
- liczba cykli zmian obciążenia - 480 lub 560 cykli/min.,
- max amplituda siły zginającej próbkę - 12000 kG,
- max amplituda momentu skręcającego próbkę - 500 kGm,
- napęd - silnik elektryczny 5,5 kW, 1440 obr./min.,
- gabaryty - 900 x 1000 x 1250 mm.

Należy nadmienić, że oprócz badań wałów korbowych lub ich modeli /w przypadku dużych wałów np. silników okrętowych lub kolejowych/ urządzenie może być wykorzystane do badań wytrzymałości zmęczeniowej innych elementów maszynowych. Wymagać to będzie tylko wymiany głowicy mocującej próbkę i uchwytu cięgna gnącego.

2. Opis urządzenia

Schemat omawianego urządzenia przedstawiony został na rys.1. Próbka wału korbowego 16 podparta jest na czopach głównych w stojaku 19 i zabezpieczona przed obrotem za pomocą sprężnia kłowego 20.

Realizacja wariantu I obciążenia odbywa się przez przyłożenie dynamicznej siły zginającej do czopa korbowego próbki wału. Przy tym obciążeniu próbka powinna być tak zamocowana, aby czop



- 25 - tarcza
- 26 - płyta
- 27 - mechanizm hamujący
- 28 - osłona
- 29 - sprężyna ślizka
- 30 - pierścień ślizki

- 1 - tuleja
- 2 - czepek
- 3 - osłona
- 4 - sprężyna klucza
- 5 - płyta
- 6 - sprężyna klucza
- 7 - osłona
- 8 - wał

- 9 - korpus górny
- 10 - sprężyna
- 11 - wał
- 12 - osłona
- 13 - płyta
- 14 - wał
- 15 - korpus dolny
- 16 - wał
- 17 - osłona
- 18 - wał
- 19 - osłona
- 20 - wał
- 21 - osłona
- 22 - wał
- 23 - osłona
- 24 - wał
- 25 - osłona
- 26 - wał
- 27 - osłona
- 28 - wał
- 29 - osłona
- 30 - wał

- 1 - silnik elektryczny
- 2 - wał z przelotem
- 3 - wał napędzający
- 4 - korpus dolny
- 5 - płyta
- 6 - tuleja napędzająca
- 7 - wał napędzający
- 8 - korbowód

Rys. 1.

korbowy znajdował się w górnym skrajnym położeniu /GMP/.

Powiększa siła powstaje w wyniku energii dostarczonej do mechanizmu korbowo-wodzikowego /wał mimośrodowy 3, korbowód 8, wodzik 11/. Odpowiednią charakterystykę tej siły zapewnia sprężyste połączenie wodzika 11 z ciągnem 18 za pomocą dwóch zespołów sprężyn talerzowych 14 i 15.

Konstrukcja urządzenia umożliwia regulację tej siły w szerokim zakresie, poprzez kombinację zmian skoku wodzika 11 i doboru sprężyn w zespołach 14 i 15. Sposób i zakres tej regulacji zostanie przedstawiony szczegółowo w p.3.

Obciążenie badanej próbki wału tylko momentem skręcającym /wariant II/ odbywa się przez przyłożenie dynamicznego momentu skręcającego w osi czopa głównego próbki. Przeniesienie energii z wałka 23 na wałek 28, oraz dynamiczne skręcanie tego ostatniego zrealizowano za pomocą mechanizmu korbowo-wodzikowego 27 i mechanizmu jarzmowego 32. Regulacji wielkości momentu skręcającego dokonuje się w sposób skokowy przez zmianę długości korby i łącznika w mechanizmie 27.

Jednoczesne zginanie i skręcanie badanej próbki wału korbowego można zrealizować dwoma sposobami. Pierwszy polega na równoczesnym przyłożeniu obu obciążeń w sposób opisany powyżej, przy czym konstrukcja urządzenia zapewnia uzyskanie dowolnego przesunięcia fazowego między charakterystykami siły zginającej i momentu skręcającego. Drugi sposób polega na obciążeniu próbki, że czop korbowy jest wychylony z GMP. Wtedy siła działająca na czop korbowy nie leży w płaszczyźnie przechodzącej przez oś czopów głównych i powoduje zarówno zginanie jak i skręcanie próbki.

Realizację tego obciążenia umożliwiają: przesuw względem płyty 21 stojaka 19, sprzęgło kłowe 20 oraz połączenie gwintowe łącznika 18 z tuleją 17.

Przy takim sposobie obciążenia przebiegi momentu zginającego i momentu skręcającego będą w zasadzie fazowo zgodne.

Urządzenie napędzane jest silnikiem elektrycznym poprzez przekładnię pasową klinową /z regulacją napięcia pasków/, koło zamachowe 2 i wał mimośrodowy 3. Zastosowanie sprzęgieł kłowych 7, 22, 20 i 29 umożliwia realizację poszczególnych obciążeń oraz ich prostą regulację.

Korpus stanowiska jest 3-częściową konstrukcją spawaną z blachy i kształtowników. Części współpracujące stanowiska smarowane są obiegowo pod ciśnieniem lub indywidualnie.

W celu przeprowadzenia pomiarów obciążeń i liczby cykli stanowisko wyposażono w mostek tensometryczny TT-6B, oscylograf pętlicowy SIS1 oraz 7-miejscowy licznik obrotów.

3. Nastawianie i kontrola obciążeń próbki

a/ Moment zginający $\pm M_g$

Wartość obciążenia gnącego działającego na próbkę jest funkcją ilości zestawów sprężyn w zespole, ilości talerzy w zestawie, oraz skoku wózków.

Przyjęto stały zestaw sprężyn talerzowych składający się z 28 talerzy. Szkic tego zestawu z jego charakterystyką przedstawiono na rys. 3.

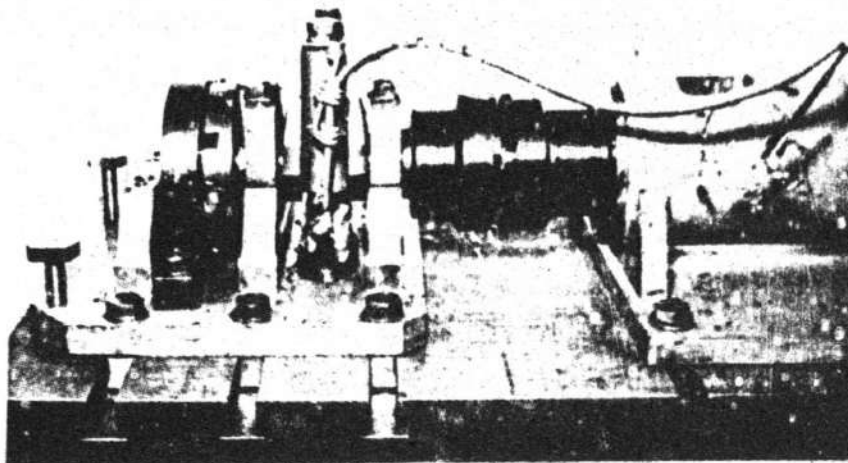
Największa siła wywołana przez zespół powyższych zestawów sprężyn talerzowych określona jest wzorem:

$$P_g = 2300 \cdot Z \frac{0,5 \cdot S}{13,58}, \quad [kG]$$

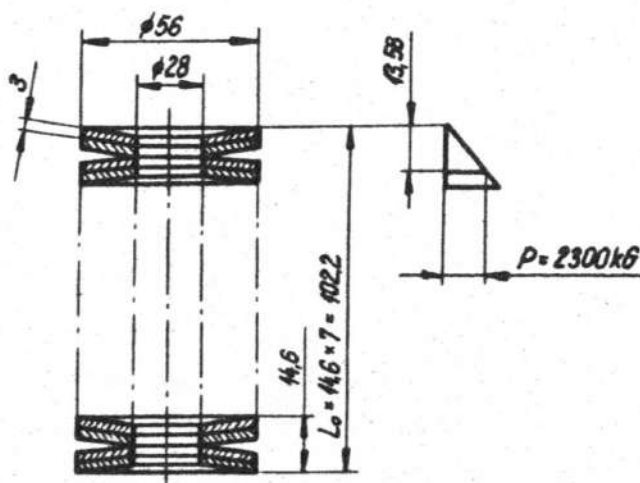
gdzie:

Z - liczba zestawów sprężystych w zespole,

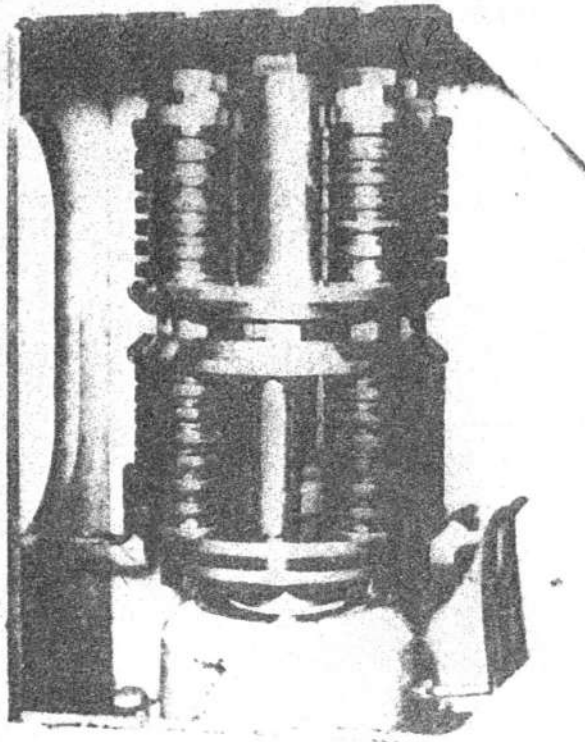
S - skok wózków w mm.



Rys. 2. Sposób zamocowania próbki wału korbowego w głowicy stanowiska badawczego



Rys. 3. Zestaw sprężyn talerzowych



Rys. 4. Zespół sprężyn talerzowych

Zmianę skoku wodzika 11 /rys. 1/, a tym samym zmianę obciążenia próbki wału, przy danym zespole sprężyn, uzyskuje się przez odpowiednie ustawienie mimośrodowej tulei 6 względem wału 3, poprzez obrót tulei 6 o odpowiedni kąt w stosunku do wału 3 przy rozłączonym sprzęgle kłowym 7.

Liczba kłów sprzęgła kłowego pozwala na obrót tulei 6 względem wału 3 co 20° . Regulacja taka pozwala, przy mimośrodości wału $e_1 = 7$ mm i mimośrodości tulei $e_2 = 6$ mm, na zmianę skoku wodzika w zakresie

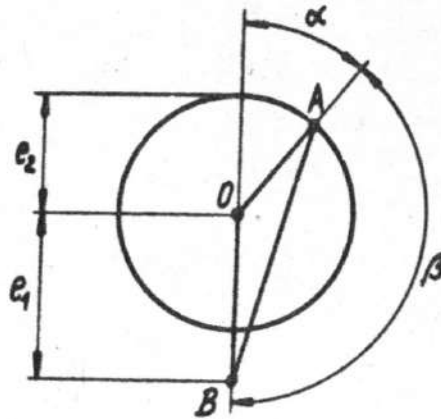
$$\text{od} \quad S_{\max} = 2 / e_1 + e_2 / = 26 \text{ mm}$$

$$\text{do} \quad S_{\min} = 2 / e_1 - e_2 / = 2 \text{ mm}$$

Wartość S_{\max} uzyskuje się przy obrocie tulei względem wału o kąt $\alpha = 0^\circ$. Natomiast S_{\min} przy kącie $\alpha = 180^\circ$.

Pośrednie wartości obliczono w oparciu o rys. 5, ze wzoru:

$$S = 2 AB = 2 / e_1 + 2e_1 + e_2 \cos \alpha /$$



Rys. 5.

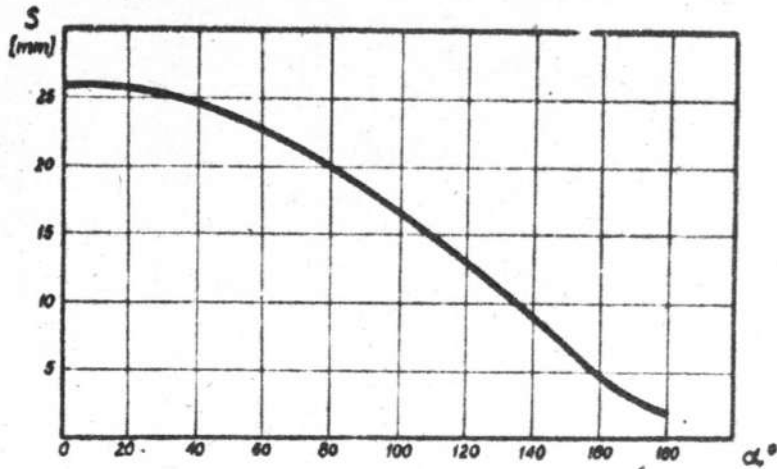
Wartości skoku wozzika w funkcji kąta α obrotu tulei względem wału zestawiono w tabelicy 1 oraz naniesiono na wykres rys. 6.

Tablica 1.

α	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°
S	26,0	15,62	24,44	22,54	19,96	16,78	13,12	9,1	4,92	2,00

W celu uzyskania odpowiedniej siły obciążającej próbkę obliczono, dla wartości skoków podanych w tabelicy 1, siły P_s dla trzech zespołów sprężyn talerzowych o $z = 8,6$ i 4 zestawach.

$$P_s = f / z, S / \quad [10^3 \text{ kg}]$$



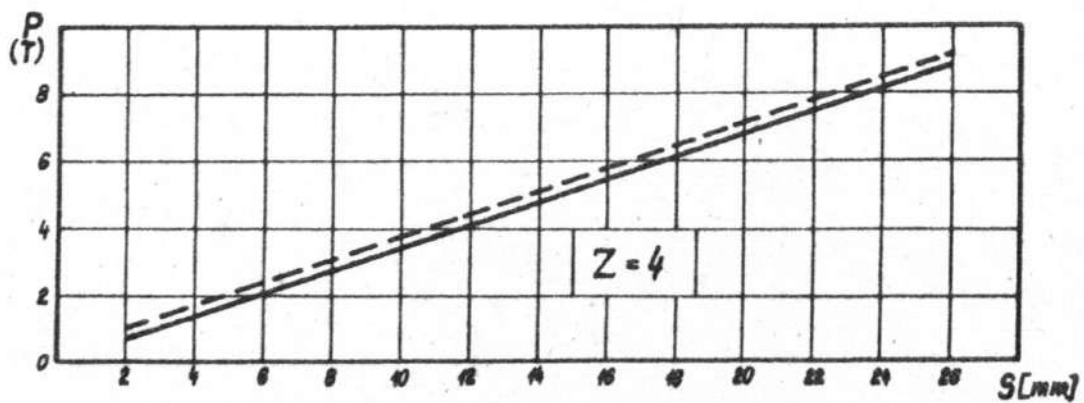
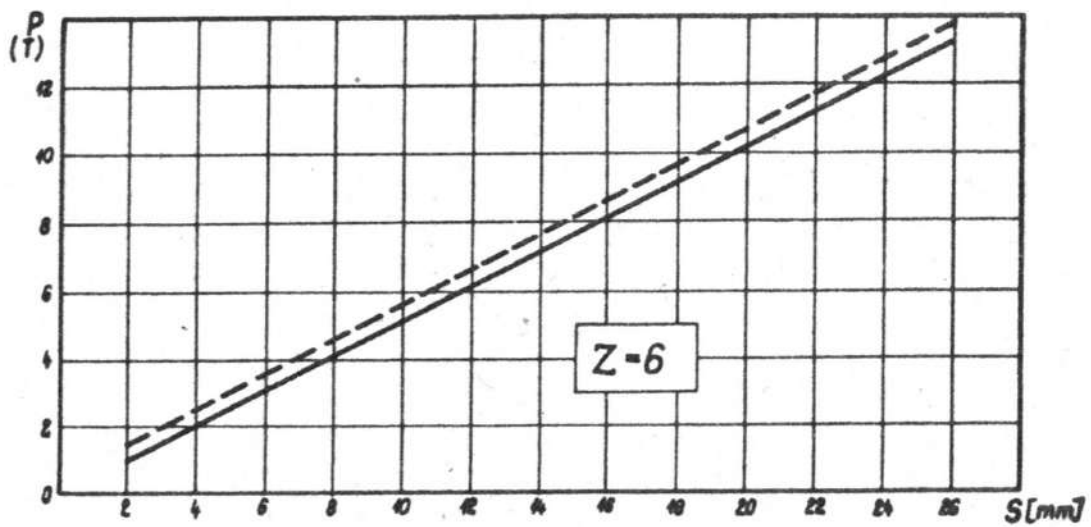
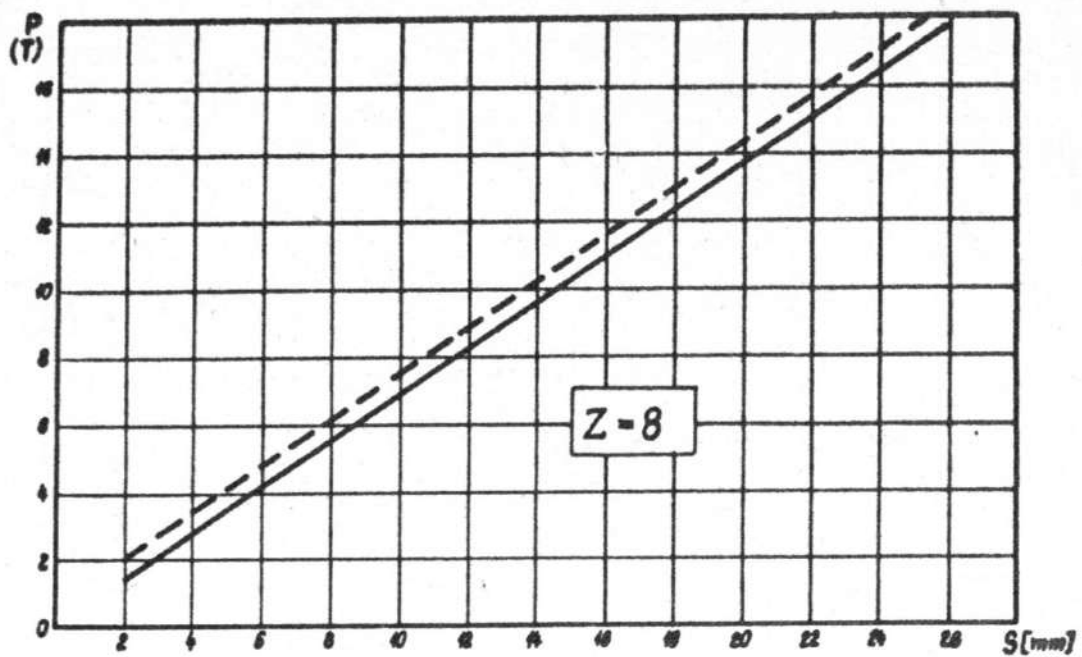
Rys. 6.

Tablica 2.

α [°]	180°	160°	140°	120°	100°	80°	60°	40°	20°	0°
S mm	2,0	4,9	9,1	13,1	16,8	20,0	22,5	24,4	25,4	26,0
Z=8	1,4	3,4	6,2	8,9	11,4	13,6	15,2	16,6	17,4	17,7
Z=6	1,0	2,5	4,7	6,7	8,6	10,2	11,5	12,5	13,0	13,2
Z=4	0,7	1,7	3,1	4,5	5,7	6,8	7,6	8,3	8,7	8,9

Zestawione powyżej wartości sił odnoszą się do zespołów sprężyn bez napięcia wstępnego.

W celu wywołania napięcia wstępnego należy poszczególne stopy sprężyn wstępnie ugiąć o wartości 1 do 2 mm. W przypadku dolnego stosu sprężyn 14 /rys. 1/ napięcia wstępne wywołuje się zmianą grubości podkładek, a dla zespołu górnego 15 nakrętkami mocującymi.

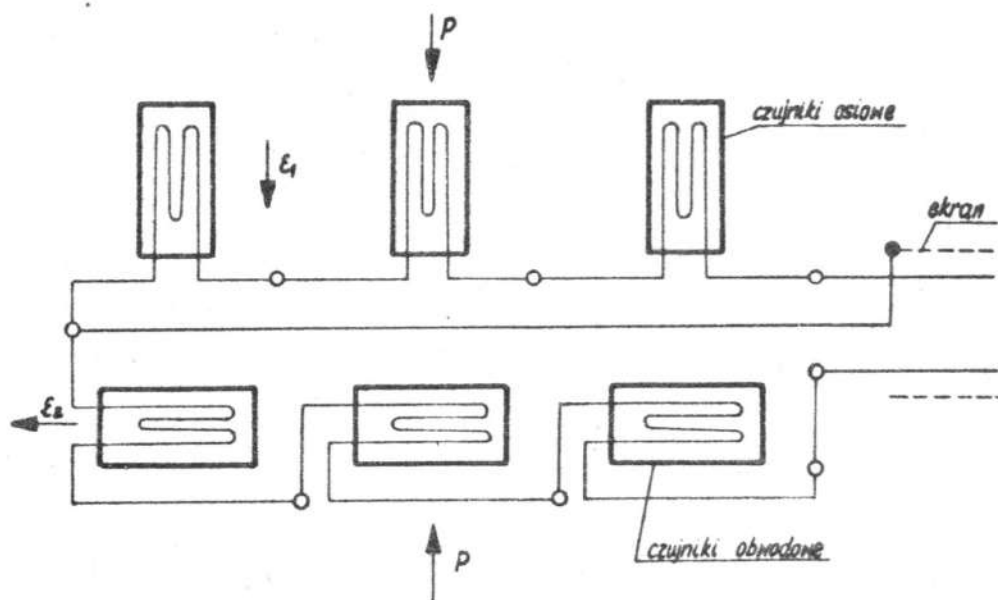


Rys. 74

Wartości sił w zależności od skoku wodzika dla zespołu sprężyn z napięciem wstępnym, których stopy zostały wstępnie ugięte o 1 mm przedstawiają linie przerywane na wykresach rys. 7.

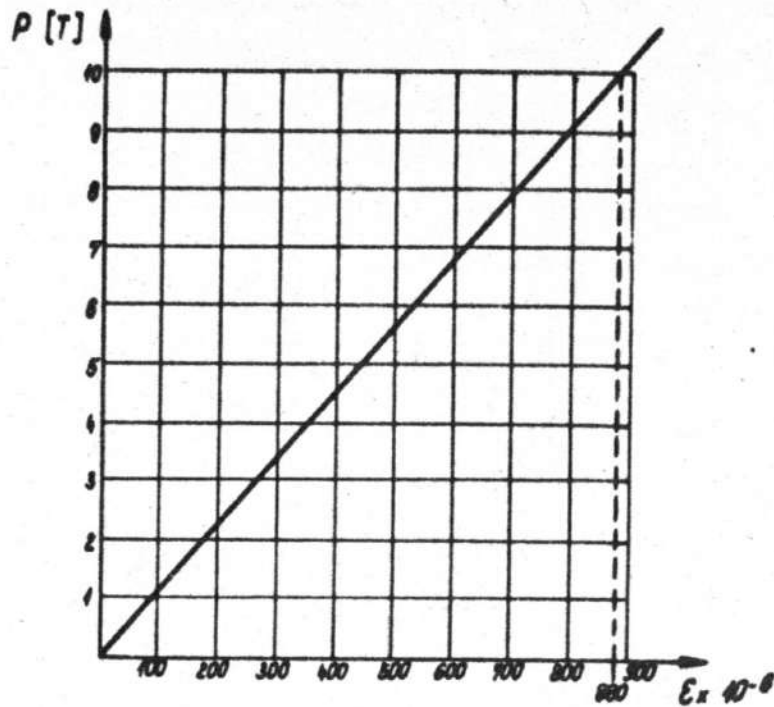
Do pomiaru zmiennych sił występujących na ciągnie a działających na czop korbowy wału zastosowano układ elektrooporowego dynamometru samokompensującego.

Schemat połączenia czujników na obwodzie ciągnia przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8.

Cechowanie wykonano na maszynie wytrzymałościowej Instron przy zakresie 10 T. Otrzymałą zależność $P = f / \epsilon /$ przedstawiono na wykresie rys. 9.



Rys. 9.

b/ Moment skręcający M_g

Badanie wału obciążanego momentem skręcającym M_g odbywa się przy założonych sprzęgłach kłowych 22 i 29 /rys. 1/.

Do pomiaru zmiennego momentu M_g zastosowano metodę tensometrii oporowej.

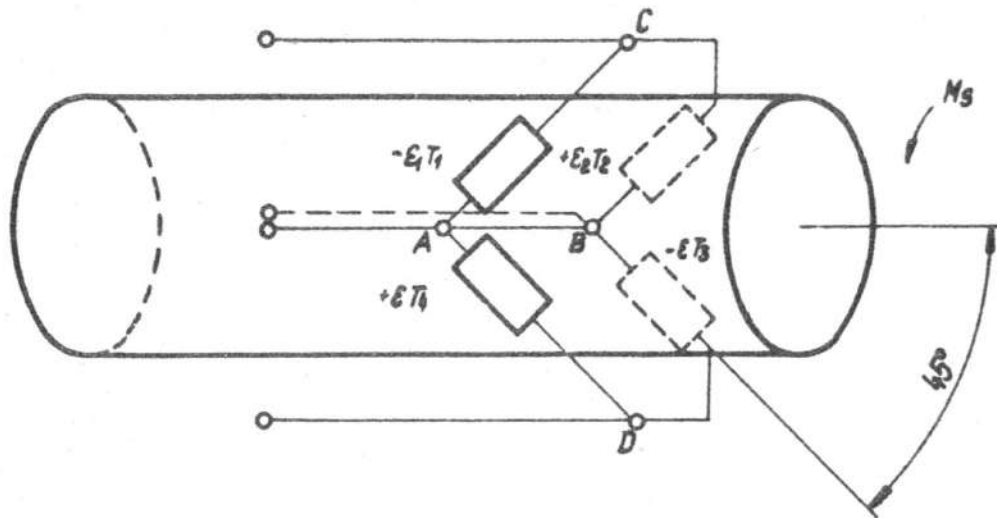
Na przewężeniu wału 28 /rys. 1/ naklejono pod kątem 45° względem osi wału cztery czynne tensometry w układzie pełnego mostka Wheatstone'a /rys. 10/.

W celu otrzymania dokładnych pomiarów wartości zmiennego momentu M_g , naklejony układ tensometryczny wycechowano.

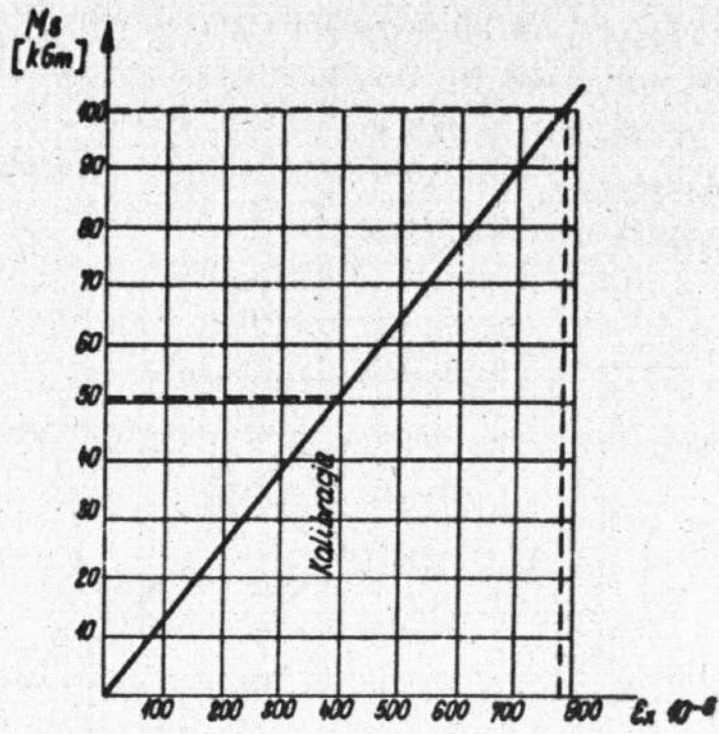
Zależność $M_g = f / \epsilon /$ otrzymaną z cechowania przedstawiono

na wykresie - rys. 11.

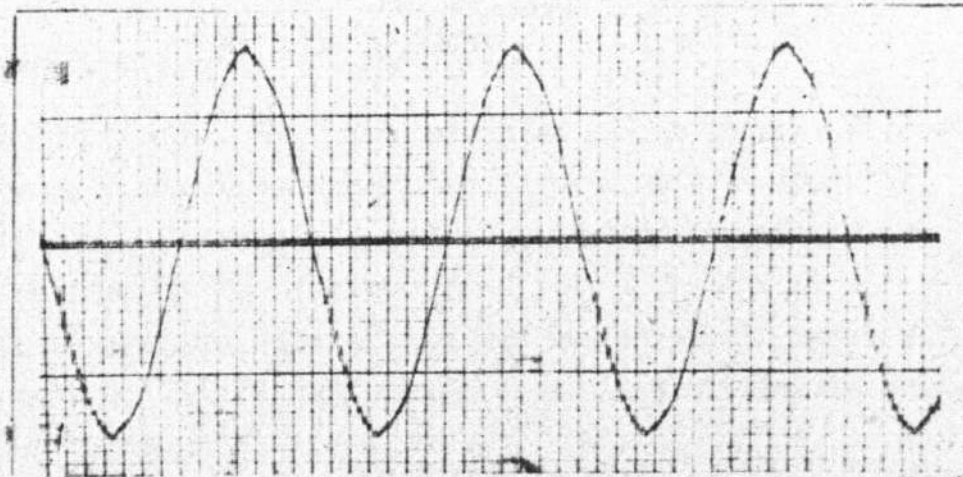
Na rys. 12, 13 i 14 przedstawiono przykładowe przebiegi poszczególnych wariantów obciążenia. Sporządzone zostały one podczas badań próbek modelowych wału silnika a8022. Przesunięcie fazowe γ przebiegu M_B względem M_G /rys. 14/ spowodowane zostało luzami w węzłach kinematycznych.



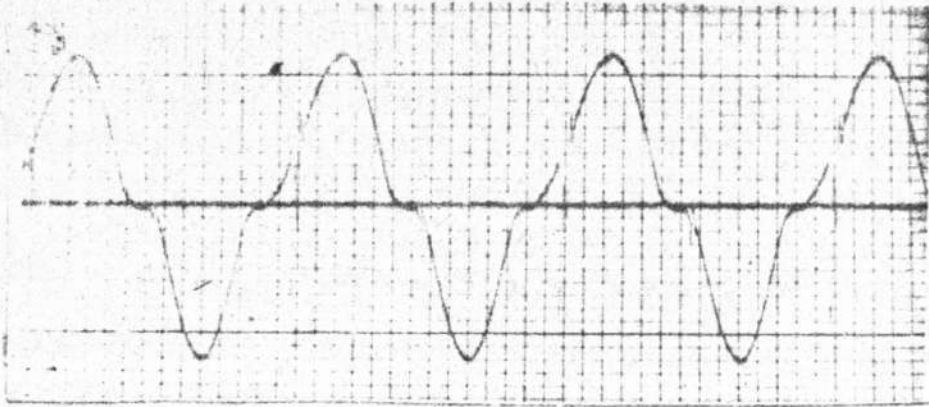
Rys. 10.



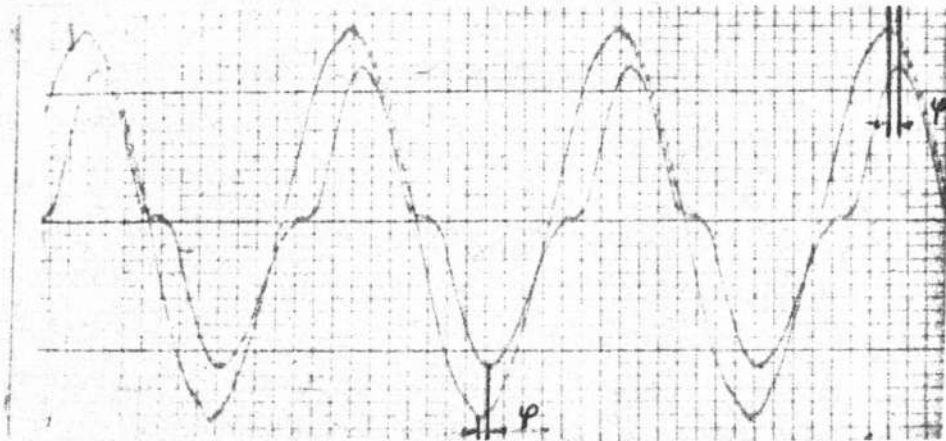
Rys. 11.



Rys. 12. Przebieg siły gnącej



Rys. 13. Przebieg momentu skręcającego



Rys. 14. Przebieg siły gnącej i momentu skręcającego działających w jednej fazie