ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1987

Seria: ENERGETYKA z. 101 Nr kol. 920

Eryk PRUGAR, Adam CIESIOŁKIEWICZ
Piotr JESZKA

Zakład Silników Spalinowych ITC
Politechniki Śląskiej w Gliwicach

Józef GRUSZKA

Wytwórnia Sprzętu Mechanicznego "PZL Krotoszyn"

STANOWISKO BADAWCZE DO POMIARÓW PAR TRĄCYCH: KRZYWKA-POPYCHACZ*

Streszczenie. W dziedzinie badań trybologicznych dotychczas nie ma norm dotyczących pomiaru tarcia i zużycia, kształtów oraz wymiarów próbek i przeciwpróbek, jak również norm stanowisk badawczych. Konstrukcja stanowiska pomiarowego wynika z rodzaju badań zużyciowych, współpracującego złożenia i warunków eksploatacji skojarzonych par w rzeczywistej maszynie czy silniku. Celem opracowania jest zaprezentowanie koncepcji i przykładu stanowiska badawczego do pomiarów tarcia i zużycia par trących krzywka-popychacz i pochodnych.

1. WPROWADZENIE

1.1. Wstęp

Zużycie zespołów współpracujących silników spalinowych następuje wskutek pogarszania się właściwości ich elementów w czasie. Jest ono skutkiem tarcia (trybologiczne i erozyjne procesy zużycia) lub agresywnego oddziaływania środowiska (korozyjne procesy zużycia).

Tarcie, obok procesu zmęczenia materiałów, jest najbardziej szkodliwym procesem wywołującym zużywanie powierzchni elementów. Objawia się on ubytkiem masy materiału, wyraźnym pogorszeniem jakości powierzchni współpracujących (struktura i własności fizyczne), stratami energii, wzrostem temperatury w węźle tarcia oraz drganiami i efektami akustycznymi. Intensywność procesów zużycia (zwłaszcza warstwy wierzchniej) determinuje w głównej mierze trwałość i niezawodność silników w eksploatacji. Określenie wpływu różnych czynników wymuszających proces zużycia pozwala na racjonalne konstruowanie i wybór odpowiedniej technologii wytwarzania (materiały, obróbka

* Opracowanie wykonane w ramach CPBR 6.3. pt.: Szybkoobrotowe silniki wysokoprężne.

cieplna, tolerancje) oraz optymalizację właściwości eksploatacyjnych silników i maszyn. Zbadanie intensywności zużywania i oznaczenie wartości współczynnika tarcia różnych kojarzonych par w zależności od charakteru środowiska i warunków pracy wymaga opracowania i skonstruowania specjalnych maszyn (stanowisk) do trybologicznych badań modelowych. Na konstrukcję stanowisk wpływają następujące czynniki:

- kinematyka ruchu współpracujących elementów,
- dynamika obciążenia kojarzonych elementów,
- geometria styku trących elementów,
- rodzaj tarcia uwzględniający smarowanie i chłodzenie,
- wymiary kojarzonych elementów zespołu współpracującego.

1.2. Rodzaje procesów zużywania

Intensywność zużywania jest funkcją oddziaływań zewnętrznych oraz odporności obszarów tarcia warstw wierzchnich. Wartość zużycia uzależniona jest od rodzajów procesów zużywania takich, jak:

- zużycie ścierne,
- zużycie adhezyjne (zużycie przez sczepianie I rodzaju),
- scuffing (zużycie przez sczepianie II rodzaju - zużycie cieplne awaryjne),
- zużycie przez utlenianie,
- zużycie zmęczeniowe (zużycie przez łuszczenie - spalling, zużycie gruzełkowe - pitting),
- zużycie cierno-korozyjne (fretting),
- zacieranie (neuffing),
- erozyjne procesy zużywania elementów,
- zużycie kawitacyjne (erozja kawitacyjna),
- zużywanie pod wpływem korozji.

Do podstawowych procesów zużycia trybologicznego zespołów współpracujących w silnikach spalinowych (układ tłokowo-korbowy i układ rozrządu) należą:

Scuffing - jest rodzajem zużycia, na które składają się elementy zużycia ściernego i adhezyjnego. Spowodowane jest przerwaniem warstwy substancji smarowej przy odpowiednio dużym obciążeniu. Charakterystyczną cechą jest tworzenie połączeń między wierzchołkami nierówności i ich rozrywanie w mikroobszarach styku. Scuffingowi towarzyszy zachwianie równowagi cieplnej i mechanicznej, co może prowadzić do lawinowego rozwoju tego procesu

Spalling - jest to zużycie przez łuszczenie i polega na stopniowym narastaniu naprężeń w warstwie wierzchniej skojarzonych elementów tarciowych (toczenie lub toczenie z poślizgiem) przy suchym styku w granicach naprężeń Hertza w wyniku cyklicznego oddziaływania naprężeń kontaktowych, a następnie na tworzeniu się mikropęknięć i rozprzestrzenianiu się ich, powodujących odpadnięcie cząstki materiału od podłoża. Procesom zużywania zmę-

czeniowego przez łuszczenie towarzyszą procesy utleniania materiału warstwy wierzchniej.

Pitting - jest zużyciem zmęczeniowym (zużycie gruzełkowe), spowodowanym cyklicznym oddziaływaniem naprężeń kontaktowych powstających w warstwach wierzchnich elementów skojarzeń tarciowych (toczenie lub toczenie z poślizgiem) przy smarowanym styku w granicach naprężeń Hertza.

Neuffing - zatarcie jest procesem dwuetapowym. Pierwszy etap jest spiętrzeniem naprężeń stycznych, aż do osiągnięcia krytycznej nośności materiału. Drugi etap charakteryzuje się rozwiniętym płynięciem plastycznym materiału w całej objętości warstwy powierzchniowej.

2. OPIS WYBRANYCH PAR TRĄCYCH

2.1. Skojarzenia par trących

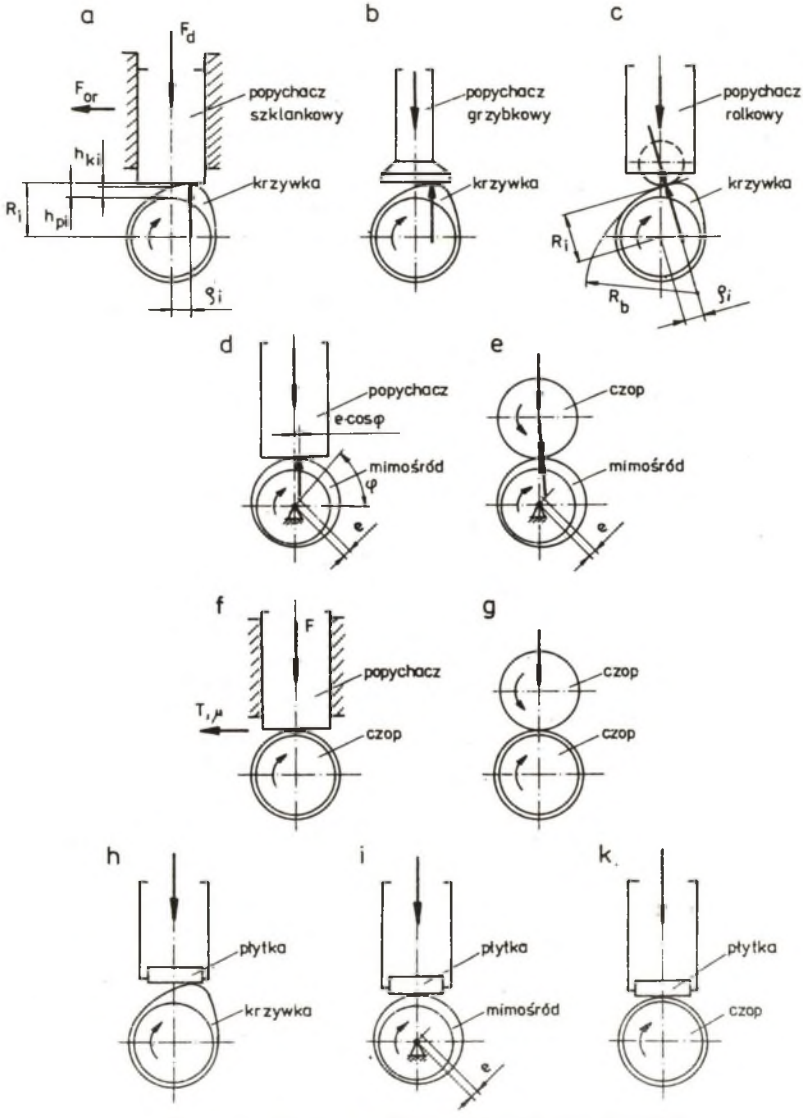
Trwałość i niezawodność pracy silnika spalinowego wymaga takiego doboru różnych zespołów współpracujących, aby zużycie tych zespołów osiągało swoje wartości dopuszczalne w podobnym okresie eksploatacji. Powoduje to, że ważnym zagadnieniem staje się optymalna konstrukcja i technologia oraz zapewnienie właściwych warunków pracy istotnych układów silnika. Do nich należy układ rozrządu. Podstawowymi zespołami trącymi w tym układzie są: zespół pary krzywka-popychacz - gniazdo popychacza - laska popychacza i zespół pary zawór-prowadnica zaworowa - gniazdo zaworowe-dźwignia zaworowa.

W Zakładzie Silników Spalinowych ITC Politechniki Śląskiej w Gliwicach opracowano wiele koncepcji i wykonano stanowisko do badań par trących: krzywka-popychacz. Stanowisko badawcze umożliwia przeprowadzenie prób i pomiarów dla różnych skojarzeń par trących, których zbiór przedstawiono na rys. 1.

Badaniom i pomiarom w cyklach zautomatyzowanych poddawane mogą być skojarzenia krzywki, mimośrodu i czopa (próbka walcowa) z popychaczami (szklankowe, grzybkowe, rolkowe i ewentualnie dźwigniowe), czopami i płytkami regulacyjnymi.

2.2. Czynniki wpływające na zużycie par trących

Na tarcie i zużycie różnych skojarzeń współpracujących par wpływ mają czynniki (rys. 2) konstrukcyjne, materiałowe i technologiczne oraz czynniki wymuszone przez zmianę parametrów wejściowych stanowiska badawczego (parametry zadane, regulowane i stabilizowane). Systematyzacja czynników wpływających na tarcie i zużycie współpracujących par prowadzi do ich wyszczególnienia:

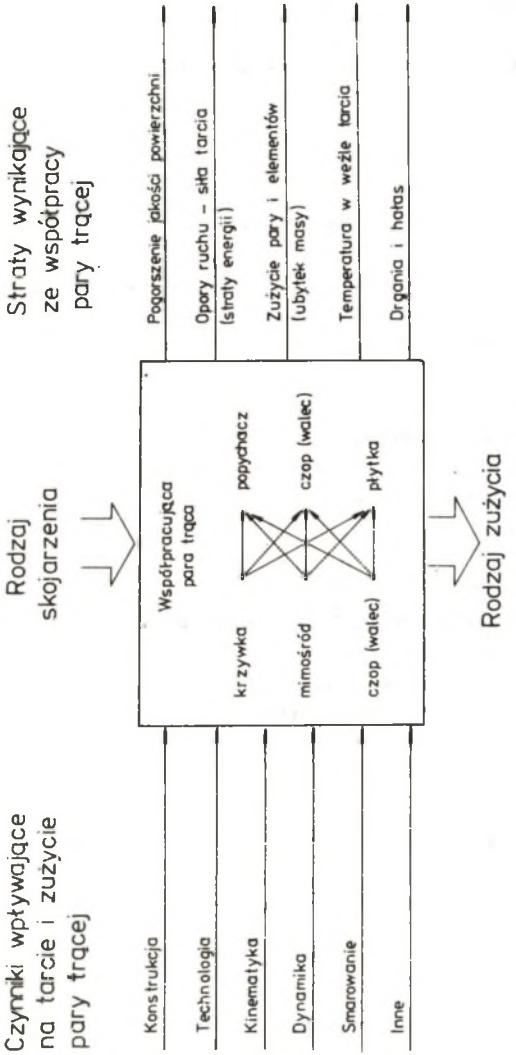


Rys. 1. Zbiór współpracujących par trących

a) para krzywka - popychacz szklankowy, b) para krzywka - popychacz grzybkowy, c) para krzywka - popychacz rolkowy, d) para mimośród - popychacz, e) para mimośród - czop, f) para czop - popychacz, g) para czop - czop, h) para krzywka - płytka regulacyjna, i) para mimośród - płytka regulacyjna, k) para czop - płytka regulacyjna

Fig. 1. Set of the cooperating rubbing pairs

a) pair cam - glass tappet, b) pair cam - mushroom follower, c) pair cam - roller tappet, d) pair eccentric - tappet, e) pair eccentric - pivot, f) f) pair pivot - tappet, g) pair pivot - pivot, h) pair cam - regulating plate, i) pair eccentric - regulating plate, k) pair pivot - regulating plate



Rys. 2. Schemat systemu trybologicznego
Fig. 2. Scheme of the trybologic system

Czynniki konstrukcyjne

- cechy geometryczne (średnica podstawowa, szerokość),
- rodzaj zarysu profilu krzywki (krzywka harmoniczna, krzywka styczna i inne),
- rodzaj popychacza (szklankowy, grzybkowy, rolkowy),
- rodzaj tarcia (ślizgowe, toczne).

Czynniki materiałowo-technologiczne

- rodzaj i struktura materiału,
- dokładność wymiarowa i odchyłki kształtu,
- ciągłość profilu,
- struktura geometryczna powierzchni (chropowatość),
- rodzaj obróbki cieplnej i charakter warstwy wierzchniej,
- twardość powierzchni współpracujących.

Czynniki kinematyczne

- rodzaj ruchu i kierunek obrotów,
- prędkość obrotowa i prędkość poślizgu pary trącej,
- prędkość i przyspieszenie popychacza.

Czynniki dynamiczne

- rodzaj obciążenia,
- wielkość obciążenia zewnętrznego (obciążenie początkowe, obciążenie robocze, amplituda obciążenia),
- obciążenie dynamiczne (siły bezwładności),
- naciski w strefie współpracy (całkowite i jednostkowe).

Smarowanie pary

- rodzaj oleju,
- sposób smarowania (natryskowe, swobodny napływ),
- temperatura oleju,
- ilość (strumień) oleju natryskiwanego lub podawanego swobodnie.

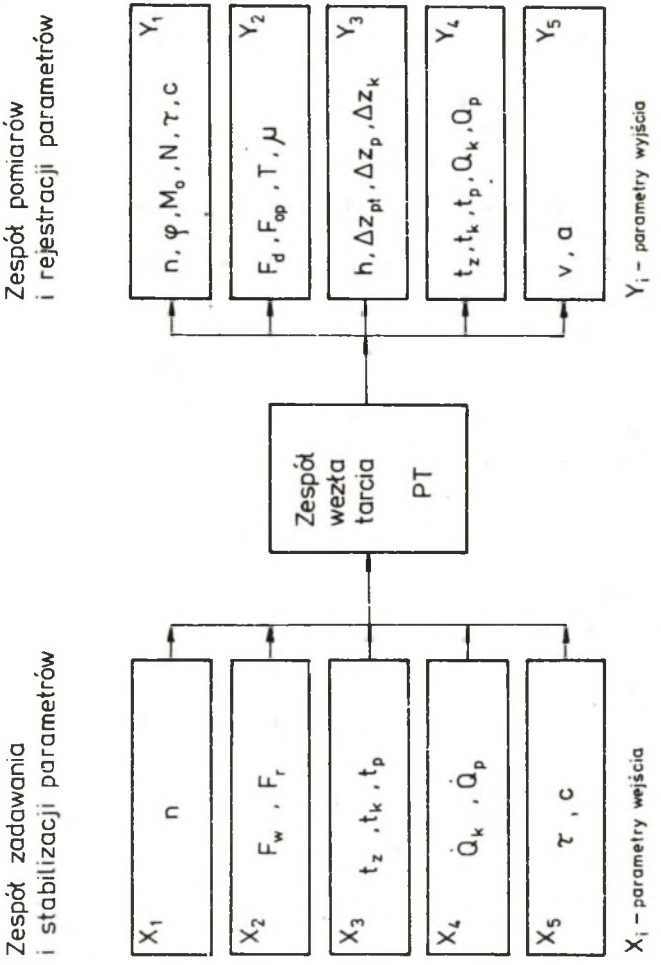
Inne czynniki

- liczba cykli (czasy próby),
- luz części biernej (luz na popychaczu).

3. OGÓLNA KONCEPCJA STANOWISKA BADAWCZEGO

Schemat blokowy stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 3. Wśród zespołów zadawania i stabilizacji parametrów wejściowych wyróżniono:

X_1 - automatyczny zadajnik i stabilizator prędkości (obrotowej, poślizgu) - n,



Rys. 3. Schemat blokowy stanowiska do badań par trących

Fig. 3. Block scheme of the stand to study the rubbing pairs

X_2 - zadajnik obciążenia i nacisków w węźle tarcia - F_w, F_r,
X_3 - automatyczny zadajnik i stabilizator temperatury środka smarującego - t_z, t_k i t_p,
X_4 - automatyczny zadajnik i stabilizator strumienia środka smarującego - Q_k, Q_p,
X_5 - zadajnik czasu pracy (ilości cykli) - τ, c.

Jako zespoły pomiarowe i rejestrujące parametry wyjściowe wyróżniono:

Y_1 - pomiar i rejestracja podstawowych parametrów pracy stanowiska badawczego,
- prędkość obrotowa n, kąt obrotu wału φ,
- moment obrotowy M_o, moc N,
- czas pracy τ, ilość cykli c.

Y_2 - pomiar i rejestracja obciążeń dynamicznych i siły tarcia,
- siła dynamiczna F_d,
- siła oporów ruchu F_{op}, siła tarcia T,
- współczynnik tarcia μ,

Y_3 - pomiar i rejestracja zarysu profilu oraz zużycia pary i elementów pary,
- zarys profilu pary h_p,
- zarys profilu pary z popychaczem wzorcowym h_{pw},
- zużycie pary ΔZ_{pt},
- zużycie popychacza ΔZ_p,
- zużycie krzywki ΔZ_k,

X_4 - pomiar i rejestracja temperatur i strumienia oleju,
- temperatura oleju w zbiorniku t_z,
- temperatura oleju natryskiwanego na krzywkę t_k,
- temperatura oleju napływającego na popychacz t_p,
- temperatura oleju spływowego t_s,
- strumień oleju (ilość) natryskiwanego na krzywkę $\dot{Q}_k$,
- strumień oleju (ilość) napływającego na popychacz $\dot{Q}_p$.

Y_5 - pomiar i rejestracja parametrów kinematycznych pary,
- prędkość popychacza v,
- przyspieszenie popychacza a.

Odczyt parametrów dokonywany jest z monitora minikomputera z rejestracją na drukarce i zapisywaniem na dyskietkach. Podstawowe przebiegi parametrów pracy stanowiska są funkcjami czasu (ilości cykli), prędkości obrotowej i kąta obrotu wału. Pozostałe przebiegi (w funkcji innych zadanych parametrów) możliwe są do uzyskania po przetworzeniu.

4. RODZAJE BADAŃ ZUŻYCIOWYCH REALIZOWANYCH NA STANOWISKU BADAWCZYM

Stanowisko zezwala na przeprowadzenie badań rozwojowych, kontrolnych i trwałościowych z możliwością zmiany parametrów w zakresie charakterystyki stanowiska. Badania i pomiary mogą mieć charakter laboratoryjny lub produkcyjny (kwalifikacyjne i kontrolne).

4.1. Badania laboratoryjne

Badania laboratoryjne mają na celu wyznaczenie parametrów współpracy par trących. W szczególności badania te umożliwiają określenie:

- współczynnika tarcia,
- intensywności zużywania,
- wpływu konstrukcji, technologii (nowe materiały, obróbka cieplna, dokładności wykonania powierzchni) i warunków eksploatacji (prędkość obrotowa, obciążenie, sposób doprowadzenia oleju, temperatura i ilość oleju, czas, dynamika układu, inne) na zużycie i trwałość współpracujących par trących (różne skojarzenia),
- wpływu rodzaju oleju i stanu tego oleju na zużywanie,
- chwilowych oporów ruchu i tarcia par współpracujących (obciążenie, moment, moc),
- zużycia par współpracujących w funkcji czasu i kąta obrotu wału (głównie pary krzywka-popychacz),
- kinematyki pary współpracującej (prędkość i przyspieszenie popychacza).

4.2. Badania kwalifikacyjne

Badania kwalifikacyjne służą do oceny konstrukcji pary współpracującej krzywka-popychacz i mają na celu określenie:

- granicznego obciążenia niszczącego,
- szybkości zużycia,
- progresywnego działania obciążenia niszczącego (próba przyśpieszona).

4.3. Badania kontrolne

Badania kontrolne służą do określenia wytrzymałości zmęczeniowej pary współpracującej krzywka-popychacz. Przeprowadza się następujące badania kontrolne:

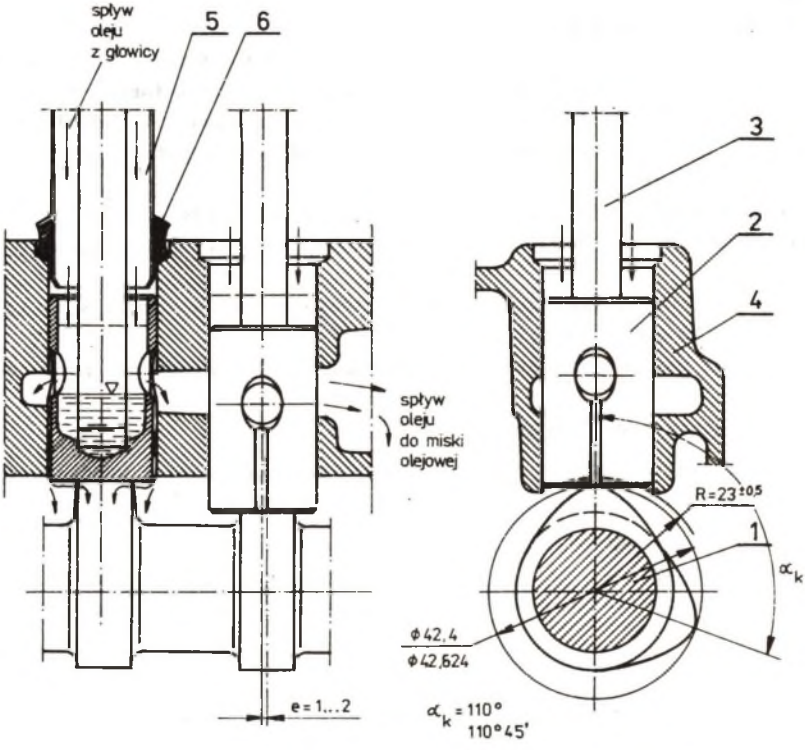
- badania niszczące przy dużym i stałym oraz krótkotrwałym obciążeniu (określenie odporności współpracujących powierzchni na "scuffing"),
- badania niszczące przy stałym długotrwałym obciążeniu z ograniczonym smarowaniem (określenie odporności współpracujących powierzchni na łuszczenie - "spalling"),
- badania niszczące przy stałym długotrwałym obciążeniu (określanie odporności współpracujących powierzchni na wżery - "pitting"),

- badania niszczące przy stałym krótkotrwałym obciążeniu (określenie odporności współpracujących powierzchni na zacieranie - "neuffing").

5. PRZYKŁAD STANOWISKA BADAWCZEGO

5.1. Ogólny opis stanowiska badawczego

Stanowisko badawcze odwzorowuje pod względem geometrycznym, kinematycznym i eksploatacyjnym parę współpracującą (krzywka - popychacz, mimośród - popychacz, czop - popychacz, czop - czop) w różnych skojarzeniach. Parę



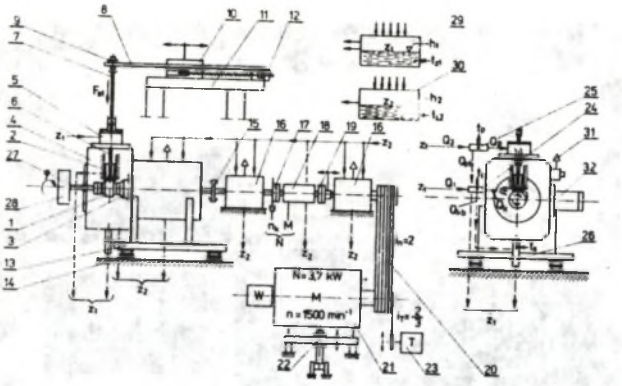
Rys. 4. Para trąca krzywka - popychacz silnika spalinowego Fiat 126p w warunkach eksploatacji

1 - wał rozrządu z krzywkami, 2 - popychacz płaski, 3 - laska popychacza, 4 - gniazdo popychacza (kadłub silnika), 5 - osłona laski popychacza, 6 - uszczelnienie

Fig. 4. Rubbing pair cam - tappet of the combustion engine Fiat 126p while exploitation

1 - camshaft with cams, 2 - flat tappet, 3 - tappet stick, 4 - tappet socket (engine block), 5 - tappet stick case, 6 - sealing

trącą krzywka - popychacz silnika spalinowego Fiat 126p w warunkach pracy przedstawiono na rys. 4, natomiast schemat ogólny stanowiska pomiarowego do badań tej pary - na rys. 5, a fotografię - na rys. 6.



Rys. 5. Schemat ogólny stanowiska badawczego

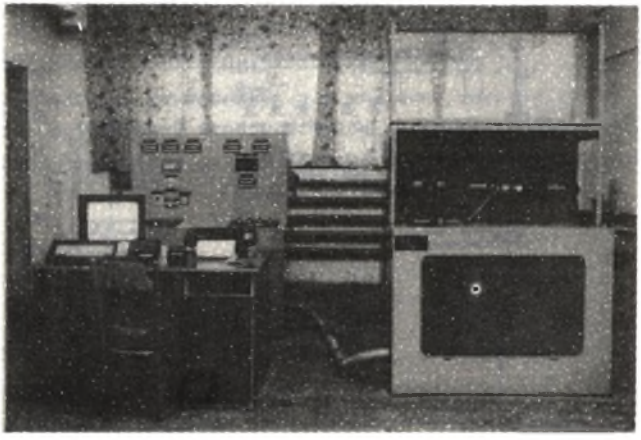
1 - krzywka wycięta z wału rozrządu, 2 - popychacz, 3 - wał główny, 4 - korpus stanowiska, 5 - głowica stanowiska, 6 - laska popychacza, 7 - łącznik, 8 - sprężyna płaska, 9 - śruba do regulacji luzu na popychaczu, 10 - wsporniki ruchome, 11 - wspornik stały, 12 - urządzenie do zmiany miejsca utwierdzenia sprężyny, 13 - podstawa korpusu stanowiska, 14 - poduszki elastyczne, 15 - sprzęgło elastyczne (oponowe), 16 - przystawka, 17 - sprzęgło, 18 - momentomierz, 19 - sprzęgło przesuwne, 20 - przekładnia pasowa, 21 - silnik prądu stałego, 22 - urządzenie do zmiany naciągu pasków klinowych, 23 - tachoprądniczka, 24 - rozdzielacz oleju (natrysk pary trącej), 25 - rozdzielacz oleju (napływ na popychacz), 26 - kostka spływowa oleju, 27 - zespół napędu czujnika kąta obrotu wału, 28 - czujnik kąta obrotu wału, 29 - główny zbiornik oleju, 30 - pomocniczy zbiornik oleju, 31 - odpowietrzenie komory badań, 32 - głowica dodatkowa (pomiarowa)

Fig. 5. General scheme of the investigation stand

1 - cam out of the camshaft, 2 - tappet, 3 - main shaft, 4 - stand case, 5 - stand head, 6 - tappet stick, 7 - connector, 8 - flat spring, 9 - clearance regulating screw on the tappet, 10 - moving brackets, 11 - stable brackets, 12 - divice to change the place of fixing the spring, 13 - stand case base, 14 - elastic pads, 15 - elastic clutch (tyre), 16 - countershaft, 17 - clutch, 18 - torque - meter, 19 - moving clutch, 20 - belt drive, 21 - direct current engine, 22 - device for changing belt tension, 23 - tachogeneratior, 24 - oil distributor (rubbing pair spray), 25 - oil distributor (silt on the tappet), 26 - oil flow block, 27 - set of gange drive of the shaft rotary angle, 28 - gange of the shaft rotary angle, 29 main oil tank, 30 - auxiliary oil tank, 31 - investigation chamber venting, 32 - additional head (measuring)

Składa się z następujących zespołów:

- pary współpracującej (popychacz, krzywka wycięta z wału rozrządu, inne skojarzenia),
- prowadnic popychaczy wykonanych z materiału identycznego z kadłubem silnika,



Rys. 6a. Widok stanowiska badawczego w wersji zautomatyzowanej
Fig. 6a. Investigation stand view in automatic version

Rys. 6b. Zestaw minikomputera stanowiskowego
Fig. 6b. Minicomputer stand set

- układu napędowego (silnik prądu stałego, przekładnia, korpus, przystawki),
- układu smarowania pary współpracującej, stanowiącego zamknięty obieg oleju o ustalonym natężeniu wypływu,
- układu symulacji obciążenia krzywki,
- układu wentylacji,
- układów regulacyjnych i pomiarowych,
- układów zabezpieczających,
- zestawu mikroprocesorowego umożliwiającego automatyzację cyklu badawczego oraz weryfikację i statystykę matematyczną przeprowadzanych prób.

Stanowisko sterowane jest z oddzielnej, wolno stojącej szafy sterowniczej przystosowanej do zasilania z sieci 3-fazowej prądu zmiennego 380/220 V, 50 Hz. W szafie sterowniczej znajdują się:

- elektroniczne układy napędowe, sterownicze, regulacyjne i pomiarowe,
- wskaźniki podstawowych parametrów pracy stanowiska,
- sygnalizacja stanu pracy stanowiska,
- układy zabezpieczające,
- wyłącznik główny zasilania,
- wyłącznik awaryjny.

Płytę czołową szafy sterowniczej przedstawiono na rys. 7.

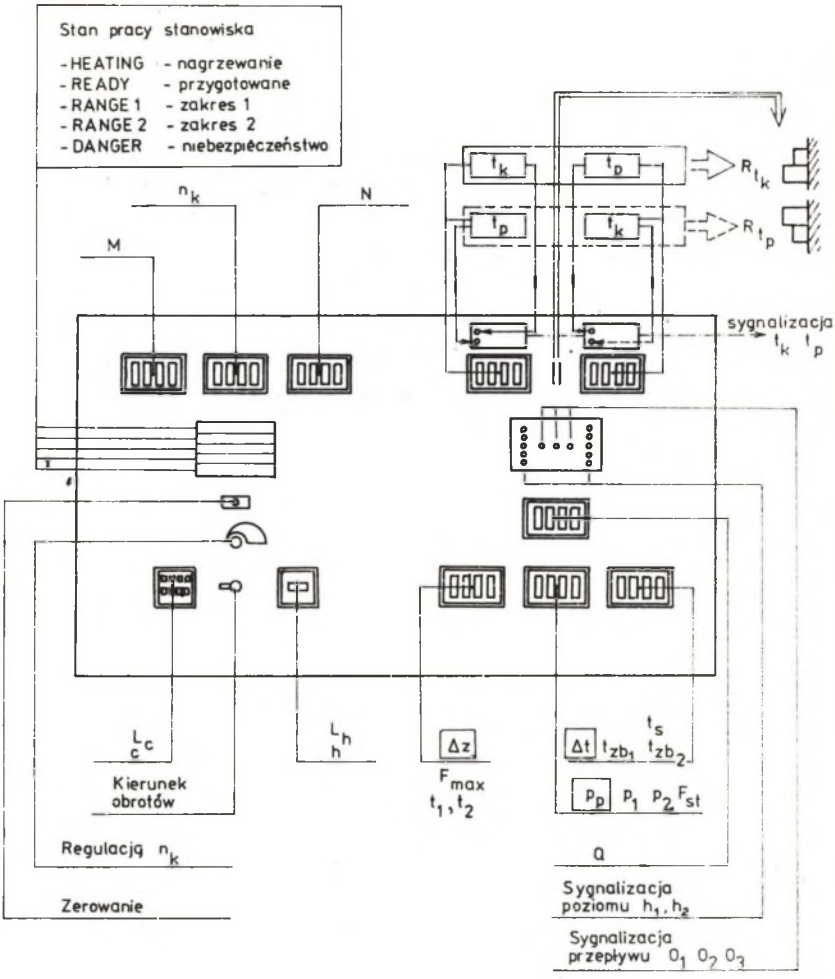
Silnik elektryczny prądu stałego stanowi źródło napędu wału. Pomiędzy parą trącą a silnikiem napędowym został umieszczony momentomierz. Na końcu wału znajduje się czujnik kąta obrotu, który jest źródłem informacji o chwilowym położeniu czopa (krzywki, mimośrodu). W układzie obciążenia znajduje się czujnik siły służący do statycznego i dynamicznego pomiaru siły na popychaczu. W sąsiedztwie popychacza (laski) znajduje się czujnik przemieszczenia służący do bieżącej kontroli stopnia zużycia pary współpracującej.

Głowica pomocnicza służy do pomiaru stopnia zużycia krzywki i składa się z popychacza wzorcowego oraz czujnika przemieszczenia (przesunięcia). Do pomiarów oporów ruchu pary krzywka-popychacz lub pomiarów siły tarcia (współczynnika tarcia) pary czop - popychacz (próbka walcowa - próbka płaska) wykorzystywany jest dodatkowy czujnik siły.

Cykl pomiarowy jest kompleksowo obsługiwany przez minikomputer, gdzie na dyskietkach znajdują się odpowiednie programy, pozwalające na badanie różnych par trących przy zmiennych warunkach (obciążanie, temperatura i wydajność czynnika olejowego, czas próby - ilość cykli, sposób smarowania pary, kierunek obrotów, wartość prędkości obrotowej). Po cyklu badawczym następuje wydruk protokołu próby.

Obsługa stanowiska sprowadza się do:

- zamocowania pary trącej,
- ustalenia wartości parametrów próby,
- wybranie odpowiedniego programu badań.

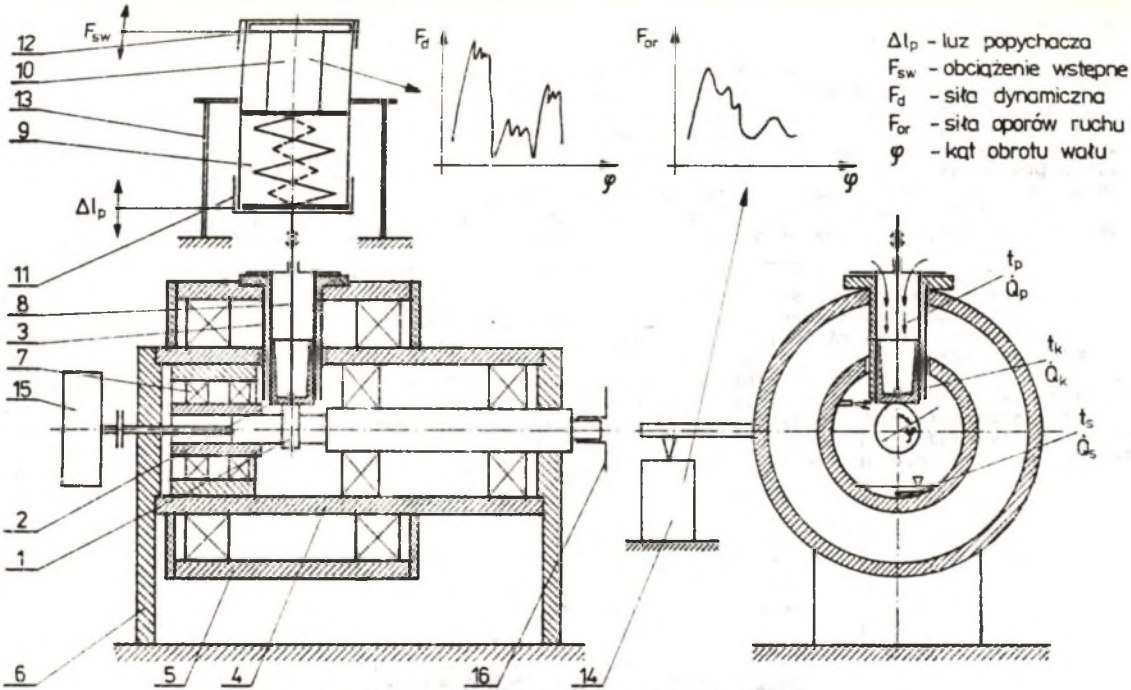


Rys. 7. Płyta czołowa szafy sterowniczej

Fig. 7. Head plate of the steering cupboard

5.2. Główny układ mechaniczny

Korpus główny stanowiska można wykonać w dwóch wariantach. Pierwszy wariant przedstawiono na schemacie ogólnym stanowiska (rys. 5), natomiast na rys. 8 przedstawiono inny zespół korpusu z układem symulacji obciążenia. Koncepcja ta eliminuje wpływ pośrednich oporów, np. w łożyskach, na wyniki pomiarów. Przyjęte rozwiązanie umożliwia, w przypadku pary krzywka (mimośród) - popychacz, na pomiary chwilowej siły dynamicznej i chwilowych oporów ruchu. Natomiast w przypadku pary czop - popychacz (czop) możliwy jest precyzyjny pomiar współczynnika tarcia pomiędzy współpracującymi elementami.

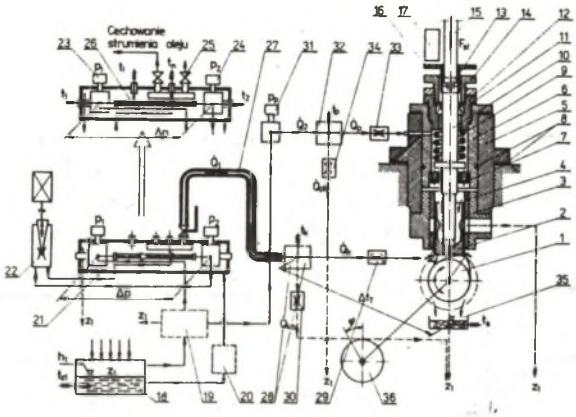


Rys. 8. Główny układ mechaniczny (wariant 2)

1 - krzywka, 2 - popychacz, 3 - gniazdo popychacza, 4 - tuleja wewnętrzna korpusu, 5 - tuleja zewnętrzna korpusu (wahliwa), 6 - wsporniki, 7 - łożysko podporowe, 8 - trzpień, 9 - układ symulacji obciążenia, 10 - czujnik siły dynamicznej, 11 - nakrętka regulacji luzu popychacza, 12 - nakrętka regulacji wstępnego obciążenia zespołu sprężyn, 13 - wspornik układu symulacji obciążenia, 14 - czujnik siły oporów ruchu, 15 - czujnik kąta obrotu wału, 16 - sprzęgło

Fig. 8. Main material system

1 - cam, 2 - tappet, 3 - tappet socket, 4 - inner body sleeve, 5 - outer body sleeve (self - aligning), 6 - brackets, 7 - support bearing, 8 - rod, 9 - load simulation cap, 10 - dynamic force gange, 11 - tappet clearance regulation cap, 12 - initial load regulation cap of the spring set, 13 - load simulation bracket, 14 - motion resistance force gange, 15 - gange of the shaft rotary angle, 16 - clutch



Rys. 9. Współpracująca para trąca

1 - krzywka, 2 - popychacz, 3 - obudowa gniazda popychacza - wymienna, 4 - gniazdo popychacza - wymienne, 5 - głowica stanowiska, 6 - tuleja prowadząca, 7 - łożyska, 8 - uszczelnienia, 9 - sprężyna, 10 - laska popychacza, 11 - uszczelnienie wzdłużne, 12 - tuleja z łożyskiem, 13 - element pośredni przeniesienia napędu, 14 - nakrętka dociskowa, 15 - łącznik, 16 - tarcza czujnika zbliżenia, 17 - czujnik zbliżenia, 18 - główny zbiornik oleju, 19 - zespół filtrowania i rozdzielenia oleju, 20 - zespół filtrowania oleju, 21 - osłona termostatyczna, 22 - zawór regulacyjny oleju z silnikiem krokowym, 23, 24 - czujniki ciśnienia, 25 - zawór odcinający, 26 - kapilara pomiarowa, 27 - zaizolowany przewód olejowy, 28 - rozdzielacz oleju (natrysk pary trącej), 29 - dysza główna, 30 - dysza bocznika, 31 - czujnik ciśnienia, 32 - rozdzielacz oleju (napływ na popychacz), 33 - dysza oleju, 34 - dysza bocznika,34 - dysza bocznika, 35 - spływ oleju, 36 - czujnik kąta obrotu wału

Fig. 9. Cooperating rubbing pair

1 - cam, 2 - tappet, 3 - tappet socket frame - changable, 4 - tappet socket - changable, 5 - stand head, 6 - leading sleeve, 7 - bearings, 8 - sealing, 9 - spring, 10 - tappet stick, 11 - longitudinal sealing, 12 - sleeve with bearing, 13 - indirect element of drive transmission, 14 - connecting bolt, 15 - connector, 16 - close - up gange target, 17 - close - up gange, 18 - main oil tank, 19 - oil filtration and distribution set, 20 - oil filtration set, 21 - thermostatic cover, 22 - oil regulating valve with the step to step motor, 23, 24 - pressure indicators, 25 - delivery valve, 26 - measuring capillary, 27 - isolated oil pipe, 28 - oil distributor (rubbing pair spray), 29 - main metering jet, 30 - sidewall metering jet, 31 - pressure indicator, 32 - oil distributor (silt on the tappet), 33 - oil metering jet, 34 - sidewall metering jet, 35 - oil flow, 36 - shaft rotary angle indicator

Można w sposób laboratoryjny znaleźć wpływ rodzaju materiału, obróbki cieplnej, warunków smarowania (temperatura, ilość oleju, sposób podawania oleju) i warunków pracy (obciążenie, prędkość obrotowa, czas) na opory ruchu (współczynnik tarcia) par współpracujących. Z kolei na rys. 9 przedstawiono badaną parę współpracującą. Olej do pary trącej o regulowanej ilości i regulowanej temperaturze doprowadzany jest dwoma sposobami. Pierwszy sposób polega na natryskiwaniu powierzchni współpracujących z boku i wprowadzaniu oleju bezpośredniego na te powierzchnie. Natomiast drugi sposób dostarczania oleju jest dobrym odzwierciedleniem warunków eksploatacji par trących w silnikach spalinowych. Polega on na doprowadzeniu oleju z góry i spływie tego oleju na parę (tak jak w silnikach). Nadmiar usuwany jest przez odpowiednie kanały.

Zminimalizowanie spadku temperatury oleju pomiędzy zbiornikiem a miejscem natrysku (napływu) uzyskano poprzez bocznikowanie strumieni oleju. Na podstawie warunków:

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_k + \dot{Q}_{kb} \qquad \dot{Q}_k \ll \dot{Q}_{kb}$$

$$\dot{Q}_2 = \dot{Q}_p + \dot{Q}_{pb} \qquad \dot{Q}_p \ll \dot{Q}_{pb}$$

uzyskano:

$$\Delta t_k, \Delta t_p = 5...10 \text{ K}$$

gdzie:

$\Delta t_k = t_z - t_k$

$\Delta t_p = t_z - t_p$

t_z - temperatura oleju w zbiorniku,

t_k - spadek temperatury oleju w gałęzi krzywki pomiędzy zbiornikiem a miejscem wtrysku na parę trącą,

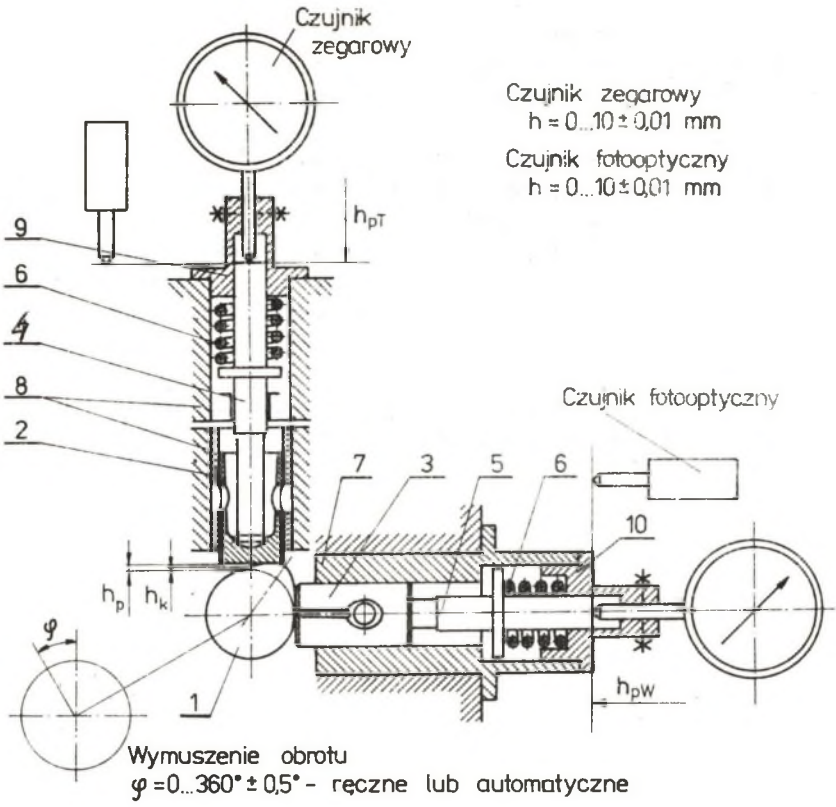
t_p - spadek temperatury oleju w gałęzi popychacza pomiędzy zbiornikiem a miejscem napływu na parę trącą.

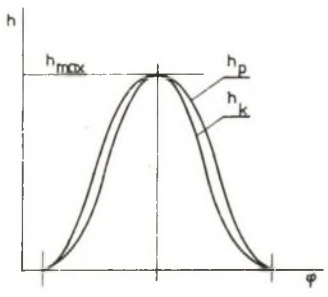
5.3. Układ do pomiaru zarysu pary współpracującej

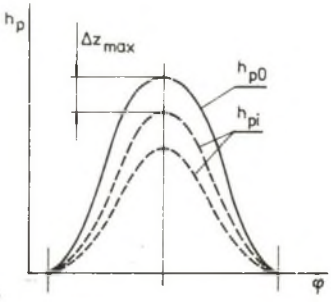
W skład tego układu wchodzą:

- zespół pomiaru zarysu pary współpracującej,
- zespół pomiaru zarysu krzywki z popychaczem wzorcowym,
- zespół wymuszenia obrotu,
- pomiar kąta obrotu krzywki.

Układ wykonano w wersji mechanicznej (czujniki zegarowe, kątomierz i ręczne wymuszenia obrotu) oraz w wersji zautomatyzowanej (czujniki fotooptyczne przesunięcia, czujnik fotooptyczny kąta obrotu wału i wymuszenie







Rys. 10. Sposób pomiaru zarysu profilu pary trącej

1 - krzywka, 2 - popychacz pary trącej, 3 - popychacz wzorcowy, 4 - laska popychacza - trzpień pomiarowy, 5 - trzpień pomiarowy, 6 - sprężyna, 7 - głowica pomiarowa, 8 - elementy głowicy roboczej, 9, 10 - tuleje mocujące czujniki przesunięcia

Fig. 10. The way of measuring the rubbing pair profile

1 - cam, 2 - rubbing pair tappet, 3 - standard tappet, 4 - tappet stick - measuring stem, 5 - measuring stem, 6 - spring, 7 - measuring head, 8 - working head elements, 9, 10 - sleeves fixing shift indicators

tego obrotu silnikiem napędowym). Pomiar zarysu pary współpracującej umożliwia określenie zużycia i intensywności zużywania pary współpracującej oraz samej krzywki i samego popychacza. Zużycie to określa się w funkcji kąta obrotu wału oraz czasu pracy (ilość cykli). Stanowisko wyposażono również w czujnik zużycia (zbliżenia) pary trącej. Układ ten zezwala na bezdotykowy pomiar maksymalnego zużycia pary krzywka - popychacz. Sposób pomiaru zarysu profilu pary przedstawiono na rys. 10.

5.4. Układ olejowy

Schemat układu olejowego przedstawiono na rys. 11. Układ ten zezwala na automatyczną regulację, stabilizację i pomiar temperatury i strumienia (natężenia przepływu) oleju w dwóch podstawowych gałęziach:

- boczny natrysk oleju na parę współpracującą,
- napływ oleju na popychacz.

W prezentowanym rozwiązaniu oddzielono olej natryskiwany na parę od oleju do smarowania łożysk.

5.5. Układ symulacji obciążenia

Wymuszenie obciążenia krzywki może być realizowane albo za pomocą sprężyny płaskiej (rys. 12), albo za pomocą zestawu sprężyn śrubowych (rys. 13). W skład pierwszego rozwiązania, oprócz sprężyny płaskiej, wchodzą: wspornik, podpory stałe i ruchome z elementami zmiany utwierdzenia sprężyny. Sposób wyznaczania charakterystyk sprężyny przedstawiono na rys. 14.

Z kolei drugie rozwiązanie zezwala na łatwą regulację luzu pomiędzy popychaczem i krzywką oraz na zmianę obciążenia wstępnego i obciążenia roboczego. Jest to lepszy sposób odwzorowania warunków pracy pary krzywka - popychacz w stanowisku modelowym. Jest on również korzystniejszy ze względu na pomiar sił dynamicznych.

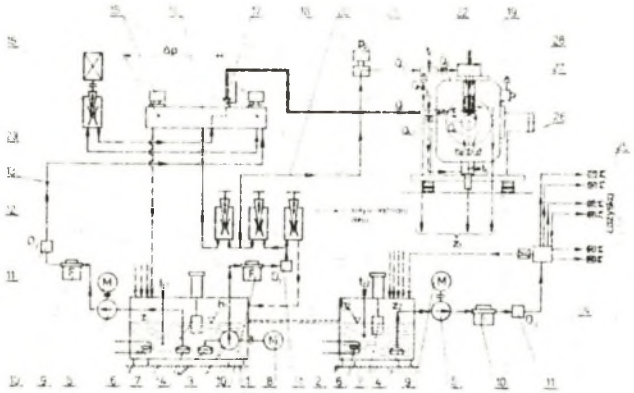
5.6. Układ kontrolno-pomiarowy

W układzie wyróżniono następujące grupy urządzeń:

- zespół układów pomiarowych,
- zespół układów regulacji,
- zespół układów zabezpieczeń i sygnalizacji,
- zespół sterowania.

Schemat blokowy układu kontrolno-pomiarowego przedstawiono na rys. 15. Stanowisko do badań pary trącej krzywka - popychacz zezwala na pomiar i rejestrację następujących parametrów:

- moment obrotowy oporów ruchu (średni, chwilowy),
- prędkość obrotowa,
- moc oporów ruchu,

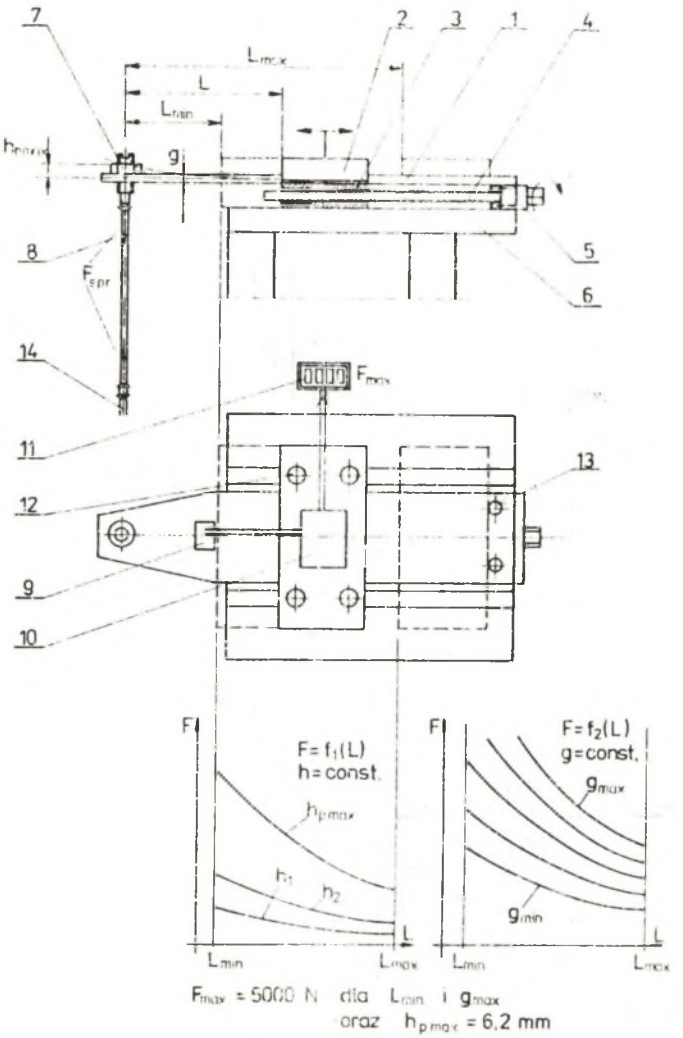


Rys. 11. Schemat układu olejowego stanowiska badawczego

1 - główny zbiornik oleju, 2 - pomocniczy zbiornik oleju, 3 - pompa oleju, 4 - wstępne filtry oleju, 5 - pompa oleju, 6 - grzałka, 7 -czujnik poziomu, 8 - trójfazowy silnik elektryczny, 9 - silnik elektryczny, - 10 - filtr oleju, 11 - czujnik przepływu, 12 - główna gałąź oleju, 13 - zawory regulacyjne sterowane ręcznie, 14 - termostatyczna obudowa kapilary, 15 - czujniki ciśnienia, 16 - automatyczny zawór regulacyjny oleju, 17 - zawór odcinający, 18 - zaizolowany przewód olejowy (gałąź główna), 19 - rozdzielacz oleju (natrysk pary trącej), 20 - gałąź oleju napływającego na popychacz, 21 - czujnik ciśnienia, 22 - rozdzielacz oleju (napływ na popychacz), 23 - gałąź oleju termostatycznej obudowy kapilary, 24 - rozdzielacz oleju łożysk stanowiska, 25 - dysze oleju napływającego do łożysk, 26 - zespół spływu oleju z pary trącej, 27 - krzywka, 28 - popychacz

Fig. 11. The scheme of oil system of the investigation stand

1 - main oil tank, 2 - auxiliary oil tank, 3 - oil pump, 4 - initial oil filter, 5 - oil pump, 6 - heater, 7 - level indicator, 8 - triphase electric motor, 9 - electric motor, 10 - oil filter, 11 - flow indicator, 12 - main oil pipe, 13 - regulating valves manually controlled, 14 - thermostatic capillary frame, 15 - pressure indicators, 16 - automatic oil regulating valve, 17 - check valve, 18 - isolated oil pipe (main pipe), 19 - oil distributor (rubbing pair spray), 20 - oil pipe flowing on to the tappet, 21 - pressure indicator, 22 - oil distributor (flow on the tappet), 23 - oil pipe of the thermostatic capillary frame, 24 - oil distributor of the stand bearings, 25 - metering jets of the oil flowing to the bearings, 26 - oil flow set from the rubbing pair, 27 - cam, 28 - tappet

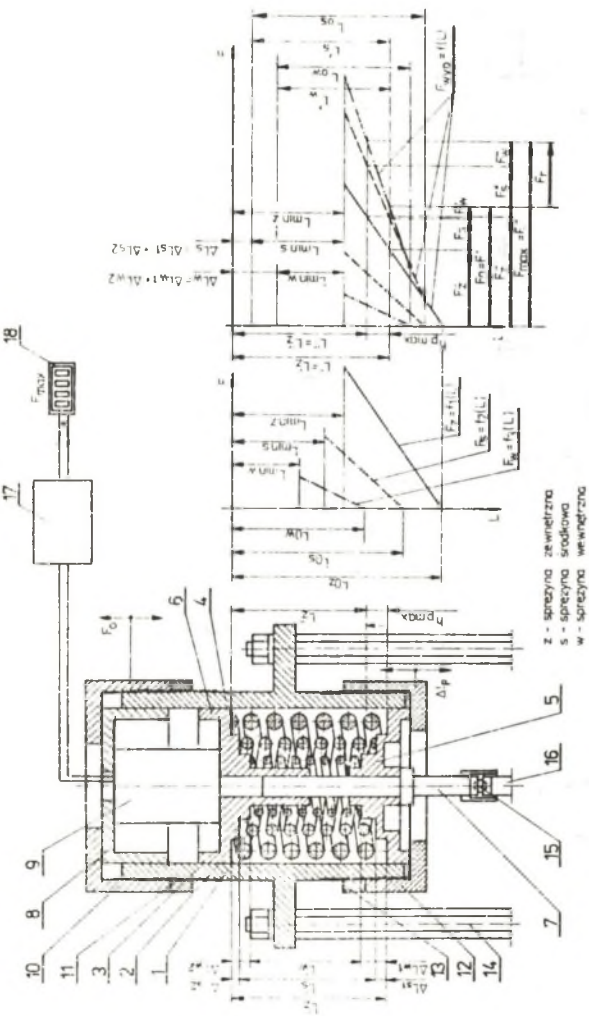


Rys. 12. Układ symulacji obciążenia z wykorzystaniem sprężyny płaskiej

1 - sprężyna płaska, 2, 3 - zespół wsporników przesuwnych (ruchomych), 4 - śruba pociągowa, 5 - zespół wymuszania miejsca utwierdzenia sprężyny, 6 - wspornik stały, 7 - śruba regulacyjna, 8 - łącznik, 9 - czujnik siły (tensometryczny), 10 - przetwornik siły (mostek), 11 - wyświetlacz, 12,13 - śruby utwardzające sprężynę, 14 - trzpień - laska popychacza

Fig. 12. Load simulation system using flat spring

1 - flat spring, 1, 3 - shifting bracket set (moving) 4 - lead screw, 5 - place forcing set of fixing the spring, 6 - constant bracket, 7 - regulating screw, 8 - connector, 9 - force indicator (tensometric), 10 - force converter (bridge), 11 - indicator, 12, 13 - screws hardening the springs, 14 - stem - tappet stick

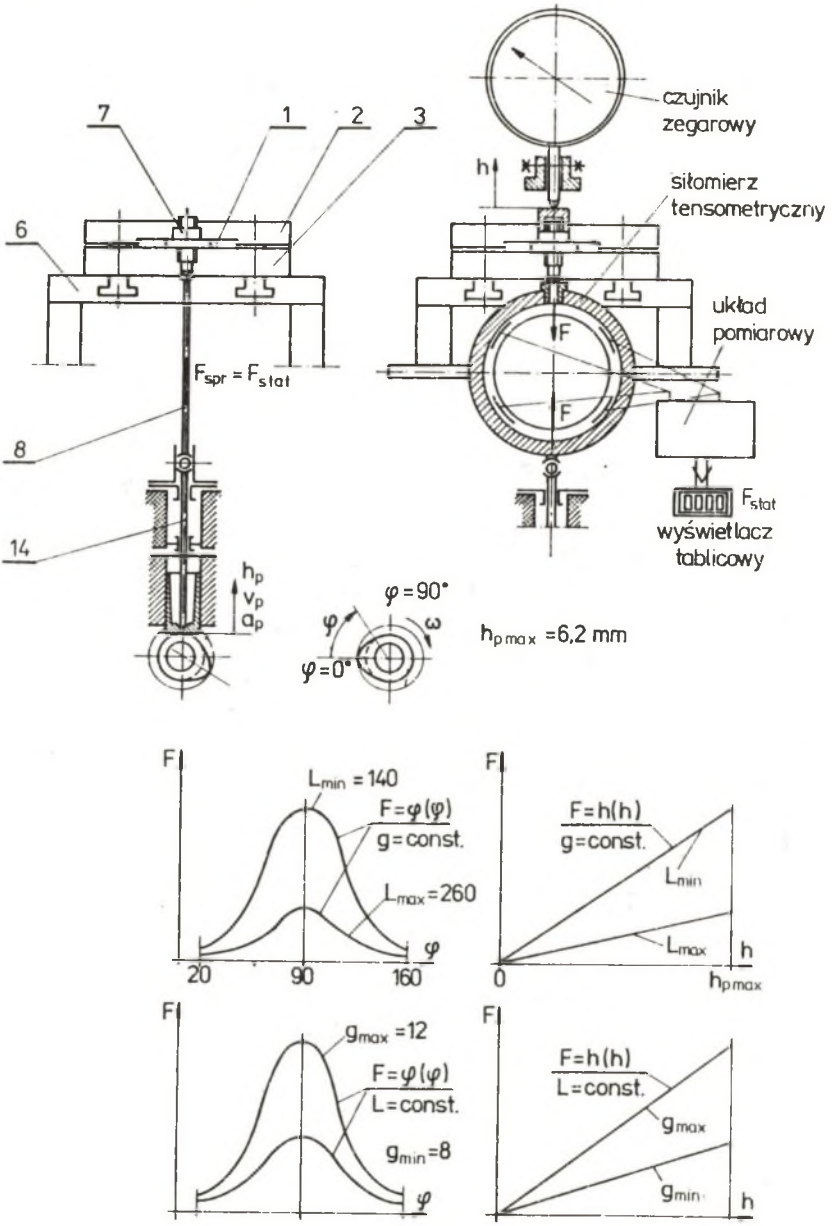


Rys. 13. Układ symulacji obciążenia z wykorzystaniem zestawu sprężyn śrubowych

1 - sprężyna zewnętrzna, 2 - sprężyna środkowa, 3 - sprężyna wewnętrzna, 4 - obudowa układu symulacji, 5 - pierścień ruchomy, 6 - pierścień stały, 7 - trzpień, 8 - tuleja siłomierza, 9 - siłomierz, 10 - tuleja zmiany obciążenia wstępnego, 12 - tuleja regulacji luzu na popychaczu, 11, 13 - nakrętki, 14 - śruby wspornikowe, 15 - element pośredni, 16 - łącznik, 17 - przetwornik siły (mostek), 18 - wskaźnik siły

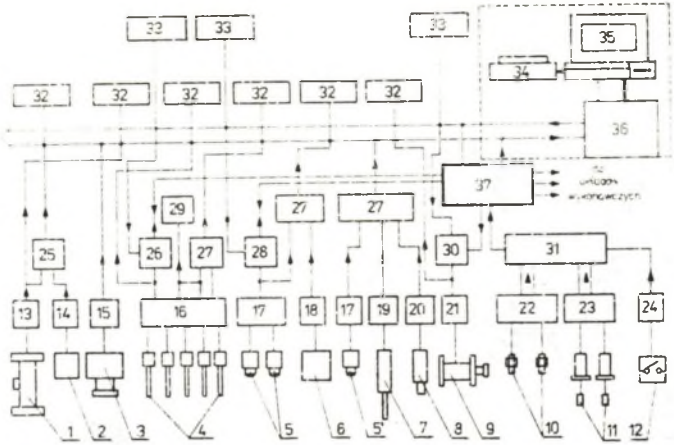
Fig. 13. Load simulation system using screw spring set

1 - outer spring, 2 - middle spring, 3 - inner spring, 4 - simulation system frame, 5 - moving ring, 6 - constant ring, 7 - stem, 8 - dynamometer sleeve, 9 - dynamometer, 10 - initial load change sleeve, 12 - clearance regulating sleeve on the tappet, 11, 13 - caps, 14 - brackets springs, 15 - indirect element, 16 - connector 17 - force converter (bridge), 18 - force indicator



Rys. 14. Sposób wyznaczania charakterystyki sprężyny płaskiej (Oznaczenia jak na rys. 12)

Fig. 14. The way of marking the spring characteristic (Markings as in fig. 12)



Rys. 15. Schemat blokowy układu kontrolno-pomiarowego

1 - momentomierz, 2 - czujnik fotooptyczny, 3 - czujnik położenia kątowego, 4 - czujnik temperatur, 5 - różnicowy czujnik ciśnienia, 6 - czujnik siły dynamicznej, 7 - czujnik zarysu krzywki, 8 - czujnik zużycia krzywki, 9 - prądniczka tachometryczna, 10 - czujniki ciśnienia, 11 - czujniki poziomu, 12 - wyłączniki krańcowe, 13 - wzmacniacz momentomierza, 14 - dyskryminator, 15 - dekoder, 16 - zespół wzmacniaczy, 17 - wzmacniacze mostkowe, 18 - mostek tensometryczny, 19 - przetwornik obrót-impuls, 20 - mostek indukcyjny, 21 - wzmacniacz, 22 - dyskryminatory, 23 - dekoder przesunięcia, 24 - układ zabezpieczeń oraz ilości cykli, 25 - układ mnożący, 26 - regulator temperatury, 27 - multiplekser, 28 - regulator wydajności, 29 - regulator temperatury, 30 - regulator prędkości obrotowej, 31 - blok sygnalizacji, 32 - wskaźniki cyfrowe, 33 - zadajniki, 34 - drukarka, 35 - minikomputer, 36 - blok przetworników analogowo-cyfrowych, 37 - blok sterujący

Fig. 15. Block scheme of the controll - measuring system

1 - torque meter, 2 - photooptic indicator, 3 - angle position, 4 - temperature indicator, 5 - differential pressure indicator, 6 - dinamic force indicator, 7 - cam outline indicator, 8 - cam use indicator, 9 - tachometric generator, 10 - pressure indicator, 11 - level indicator, 12 - final switch, 13 - torque meter, 14 - discriminator, 15 - decoder, 16 - amplifier set, 17 - bridge amplifiers, 18 - tensometric bridge, 19 - converter turn - impuls, 20 - induction bridge, 21 - amplifier, 22 - discriminators, 23 - shift decoder, 24 - safety system and cycle quantity, 25 - multiplier, 26 - temperature regulator, 27 - multiplexer, 28 - capacity regulator, 29 - temperature regulator, 30 - rotational speed regulator, 31 - signalling block, 32 - number indicator, 33 - regulator, 34 - printer, 35 - minicomputer, 36 - block of analogous - number converters, 37 - steering block

- temperatura oleju (w zbiorniku głównym, w zbiorniku pomocniczym, natrysk na powierzchnię współpracującą pary trącej, napływ na popychacz, spływ z pary trącej, różnica między natryskiem-napływem a spływem),
- strumień oleju natryskiwanego na powierzchnie współpracujące i strumień oleju napływającego na popychacz,
- położenie kątowe krzywki,
- siła statyczna i dynamiczna,
- zużycie pary trącej,
- zarys pary trącej,
- liczba cykli i czas pracy stanowiska.

Stanowisko wyposażone jest również w układ sygnalizacji i zabezpieczeń. Stan pracy stanowiska (nagrzewanie, przygotowanie, zakresy pomiarowe, awaria) wyświetlany jest na płycie szafy sterowniczej, natomiast sygnalizacja sposobu olejenia oraz poziomów oleju w zbiornikach i przepływów określana jest lampkami kontrolnymi. Układ zabezpieczeń wyłącza stanowisko z pracy przy przekroczeniu któregokolwiek z nastawionych parametrów pracy. Stanowisko umożliwia zmianę kierunku (zwrotu) obrotów krzywki oraz może być wyposażone w układ do programowanej zmiany prędkości obrotowej wału, przez co uzyskać można zmianę obciążenia popychacza po przepracowaniu określonej liczby cykli (zmiana obciążenia wypadkowego wynika ze zmiany sił bezwładności).

5.7. Centralny sterownik mikroprocesorowy

Działanie układu kontrolno-pomiarowego stanowiska badawczego nadzoruje system minikomputerowy Schneider 664 wyposażony w dwie stacje dysków elastycznych, monitor i drukarkę. System umożliwia zbieranie wyników pomiarów oraz ich wydruk po określonym czasie pracy (możliwość nastawienia liczby cykli, po których następuje wydruk). System minikomputerowy połączony jest przez 16-kanałowy przetwornik analogowo-cyfrowy z czujnikami pomiarowymi.

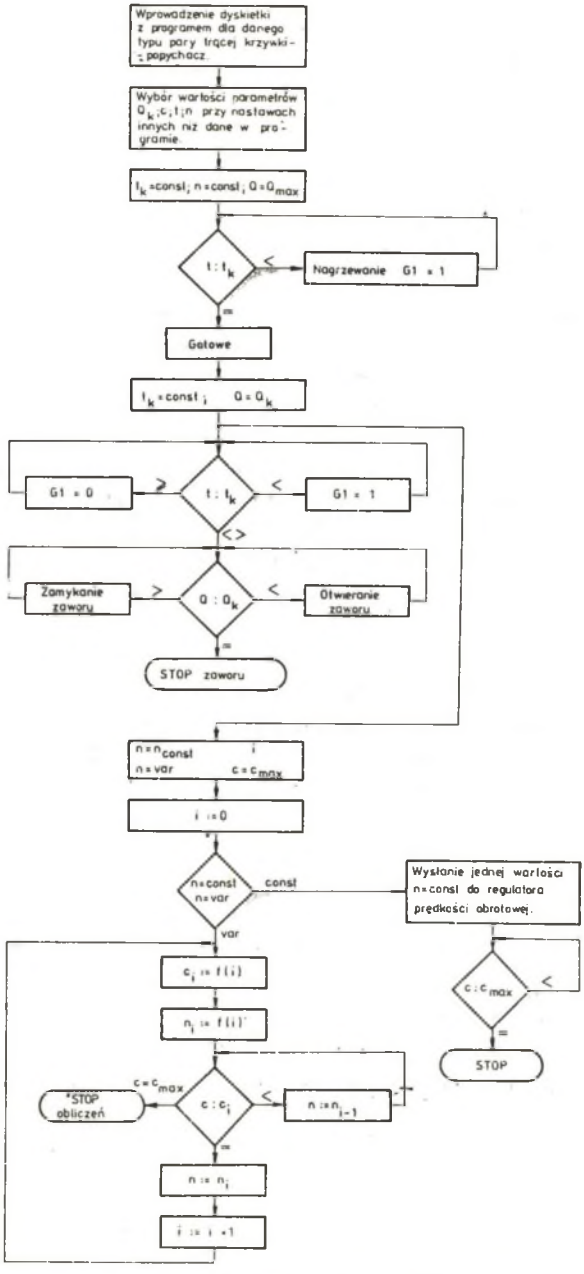
Do obsługi stanowiska opracowano algorytmy: sterowania i pomiarów parametrów pracy (rys. 16) oraz obliczeń wyników pomiarów (rys. 17).

Praca minikomputera w stanowisku polega na zbieraniu parametrów pracy, sterowania układami regulacji według zadanego algorytmu, kontroli nad dopuszczalnymi parametrami pracy oraz w fazie końcowej, dokonaniu obliczeń statystycznych i oceny badanych próbek. Możliwe jest zobrazowanie graficzne wybranych parametrów w funkcji kąta obrotu wału, czasu pracy - liczby cykli, prędkości obrotowej, obciążenia, temperatury ilości oleju oraz innych.

5.8. Charakterystyka stanowiska

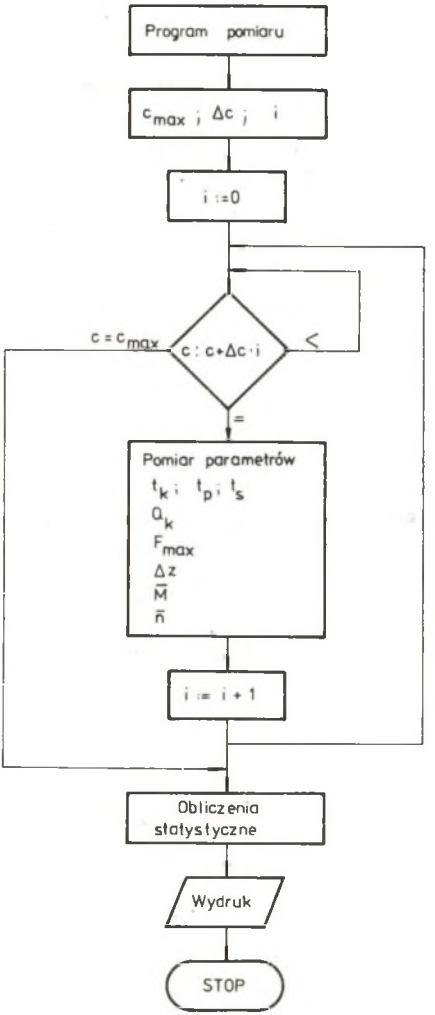
Stanowisko charakteryzują następujące parametry:

- prędkość obrotowa krzywki 0...4000 obr/min,
- obciążenie odzerowo-tętniące 0...5000 N lub F_w do $(F_w + F_p)$,



Rys. 16. Algorytm sterowania i pomiarów parametrów pracy stanowiska do badań pary trącej krzywka - popychacz w cyklu automatycznym

Fig. 16. Steering algorithm and measuring parameters of stand work to study rubbing pair cam - tappet in automatic cycle



Rys. 17. Algorytm obliczeń wyników pomiarów parametrów pracy pary trącej krzywka - popychacz

Fig. 17. Algorithm of calculating the results of measurement of work parameters of rubbing pair cam - tappet

- środowisko tarcia - olej,
- temperatura oleju - 20...120°C ± 0,5°C,
- natężenie przepływu oleju - 100...1000 cm^3/min,
- moc silnika napędowego - ok. 4 kW,
- kierunek obrotów wału: prawy - lewy,
- wznios popychacza - 0...10 mm ± 0,01 mm,
- sposób podawania oleju - natryskowy lub napływowy.

W głównej mierze stanowisko jest przystosowane do prowadzenia badań par trących krzywka - popychacz układów rozrządu silników spalinowych produkowanych w kraju. Stanowisko umożliwia również prowadzenie prób par współpracujących krzywka - popychacz pomp wtryskowych. Dodatkowo stanowisko może być zastosowane do precyzyjnych pomiarów tarcia i zużycia innych par trących oraz do badań i pomiarów właściwości przeciwzużyciowych olejów stosowanych w układach smarowania silników spalinowych i pojazdów samochodowych.

6. PODSUMOWANIE

1. Celem badań i pomiarów skojarzonych par trących jest określanie wpływu rodzaju pary i czynników wymuszających (wymuszenia konstrukcyjne oraz materiałowo-technologiczne i zmiana parametrów wejściowych stanowiska) na opory ruchu i siłę tarcia, zużycie pary i elementów oraz zmianę temperatury w węźle tarcia. W przypadku płytek regulacyjnych badania mają na celu określanie wpływu materiału, obróbki cieplnej i chropowatości powierzchni na zużycie.

2. Przedstawiona koncepcja stanowiska badawczego zezwala na prowadzenie bardzo dokładnych pomiarów laboratoryjnych różnych skojarzeń par trących.

3. Stanowisko badawcze wyposażone w system minikomputerowy ze specjalistycznym oprogramowaniem pozwala na pełną automatyzację procesu pomiarowego, kompleksowe opracowanie wyników badań oraz analizę statystyczną przeprowadzonych cykli i prób zużyciowo-trwałościowych.

4. Stanowisko badawcze umożliwia prowadzenie pomiarów i badań podstawowych, mających na celu określenie wpływu różnych czynników i parametrów na tarcie oraz zużycie współpracujących par trących.

LITERATURA

[1] Hebda M., Wachal A.: Trybologia. WNT, Warszawa 1980.

[2] Kajdas C.: Podstawy zasilania paliwem i smarowania samochodów. WKŁ, Warszawa 1983.

[3] Łuczak A., Mazur T.: Fizyczne starzenie elementów maszyn. WNT, Warszawa 1981.

[4] Projekt i wykonanie stanowiska do badań pary trącej krzywka - popychacz. Opracowanie metodyki i programu badań oraz przeprowadzenie badań prototypowego stanowiska. Praca nie publikowana, wykonana na zlecenie WSM PZL Krotoszyn, ZSS ITC, Gliwice 1985.

[5] Opracowanie stanowiska o rozszerzonym zakresie badawczym do pomiarów w cyklu automatycznym tarcia i zużycia par współpracujących krzywka - popychacz. Etap I. Praca nie publikowana, wykonana w ramach CPBR 6.3, ZSS ITC, Gliwice 1986.

[6] Norma FIAT: Badania zużyciowe pary krzywka - popychacz.

[7] Norma FIAT: Popychacze żeliwne zaworów silnika.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Marian Zabłocki

Wpłynęło do Redakcji w czerwcu 1987 r.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СТЕНД ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТРУЩИХСЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАР: КУЛАЧОК - ТОЛКАТЕЛЬ

Р е з ю м е

В отрасли трибологических исследований до сих пор не нормируются измерение трения и изнашеваемость форм и размеров проб и контрпроб, а также нет норм для исследовательских стендов. Конструкция измерительного стенда зависит от вида исследований изнашиваемости трущихся пар и их условий эксплуатации в реальной машине или двигателе.

Целью настоящей разработки является указание концепции и примерного исследовательского стенда для измерения трения и изнашиваемости трущихся пар: кулачок - толкатель и производных.

INVESTIGATION STAND FOR RUBBING PAIRS "CAM-TAPPET" MEASURING

S u m m a r y

In the field of tribologic studies there have not been any standards concerning the friction measurements, shape consumption, and tests and antitests size as well as no standards of investigation stands. The construction of measurement stand results from the kind of consumption studies, cooperating composition and exploitation conditions of the connected pairs in the real machine or engine.

The aim aof the paper is to present the concept and example of investigation stand to measure friction and consumption of rubbing pair cam-tappet and similar.