

PJJSS

w Pile

KATEDRA INŻYNIERII MECHANICZNEJ

LABORATORIUM TRIBOLOGII

Ćwiczenie laboratoryjne nr 3

TEMAT: OKREŚLENIE WŁASNOŚCI SMARNOŚCIOWYCH I PRZECIWI-ZUŻYCIOWYCH NA WYBRANEJ MASZYNIE TARCIOWEJ

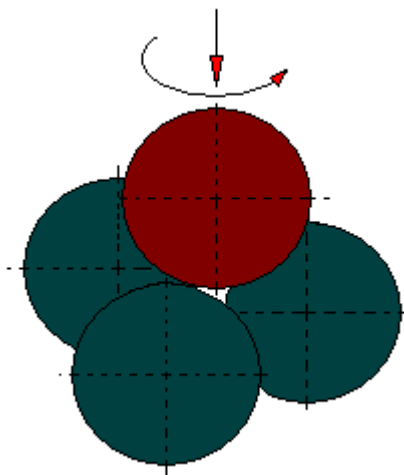
1. Wprowadzenie

Praktycznie wszystkie procesy zużywania są nieodłącznie związane z istnieniem obiektów technicznych. Wpływają one destrukcyjnie na ich stan techniczny, prowadzą do dających się obserwować uszkodzeń. Ponieważ większość tych uszkodzeń zachodzi w warstwie wierzchniej (WW) współpracujących elementów, to właśnie warstwie tej nadaje się cechy zwiększające odporność na niszczące działanie wymuszeń podczas pracy maszyn i urządzeń. Warstwa wierzchnia jest więc obiektem badań prowadzonych w wielu ośrodkach naukowych krajowych i zagranicznych. Stwierdzono, że od cech warstwy wierzchniej ukonstruowanej w wyniku realizacji założonego procesu technologicznego zależy mechanizm i intensywność procesu zużywania, np. [Godet 1984; Piekoszewski i inni 2000; Rigney i inni 1978; Styp-Rekowski 2001]. Uzasadnione jest więc podejmowanie badań mających na celu lepsze poznanie mechanizmu tego procesu a zwłaszcza sposobów sterowania nim, gdyż w rezultacie pozwala to na zmniejszenie niepożądanych jego skutków.

Podstawowym sposobem, zmniejszającym intensywność procesu zużywania jest smarowanie współpracujących powierzchni. Do tego celu używa się środków smarowych stanowiących zazwyczaj mieszaninę oleju bazowego i dodatków smarowych. Poznając jak najobszerniej reguły i mechanizmy, które występują podczas zużywania elementów pary ciernej, można dobrać dodatki smarowe w taki sposób, aby podczas eksploatacji

zapewniały minimalne zmiany w warstwie wierzchniej, a zarazem jak najdłuższy czas pracy z niezmiennymi, założonymi konstrukcyjnie cechami pary trącej.

Niniejsze ćwiczenie zostanie zrealizowane na aparacie czterokulowym. Jest to urządzenie należące do grupy maszyn służących do badania m. in. procesu zacierania – o styku punktowym. Schemat ogólny czterokulowego węzła tarcia przedstawiono na rysunku 1. Węzeł ten zbudowany jest z czterech kul ułożonych w formie czworościanu foremnego. Umożliwia to równomierny rozkład sił w węźle. Czwarta górna kula jest dociskana do pozostałych pod zadaniem obciążeniem i zadaną prędkością obrotową.



Rys. 1. Schemat ogólny czterokulowego węzła tarcia.

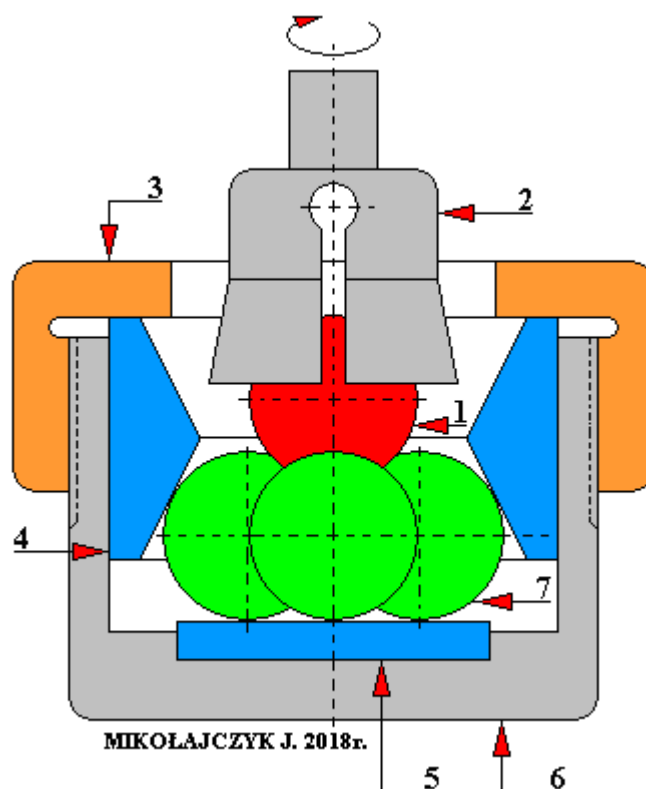
Do znormalizowanych parametrów badań przeprowadzanych na aparacie czterokulowym zaliczamy:

- obciążenie zespawania;
- wskaźnik zużycia;
- właściwości przeciwzużyciowe;
- obciążenie zacierające.

W/w parametry są dokładnie określone w następujących normach: PN-76/C-04147, GOST 9490, DIN 51 350, ASTM D 2596, ASTM D 2783, ASTM D 2266, ASTM D 4172 w których przedstawione są parametry testu. Węzeł tarcia czterokulowego aparatu stanowi skoncentrowany punktowy, potrójny styk utworzony przez powierzchnię czterech kulek o średnicy 1/2". Ta cecha aparatu czterokulowego jest zarazem jego wadą – ponieważ ograniczamy się tylko i wyłącznie do styku punkowego oraz do jednego materiału stykających się elementów – stali łożyskowej. Dodatkową wadą testów wykonywanych na tym urządzeniu jest sposób oceny przydatności materiałów smarowych oparty na pomiarach śladów zużycia i siły zespawania kul. Konieczność ta powoduje stosowanie dużych obciążeń styku, które mogą nie występować w rzeczywistych skojarzeniach. Te bardzo duże obciążenia powodują wystąpienie jakościowych różnic zachodzących w obszarze styku w porównaniu z obszarem styku występującym w rzeczywistych typowych stanach eksploatacji maszyn.

Próbie tarcia na aparacie czterokulowym można przeprowadzić również wg normy ASTM D 2783-82. *Measurement of Extreme-pressure Properties of Lubricating Fluids (Four-Ball Method)*.

W zależności od konstrukcji zamocowania dolnych trzech kulek możliwe jest odtwarzanie pod obciążeniem i w ruchu warunków tarcia ślizgowego (rysunek 2) lub warunków tarcia tocznego kulki po kulce lub, dokładnie precyzując, kulki po bieźni w kształcie rowka, powstałego w czasie badań na górnej kulce (rysunek 3).



Rys. 2. Schemat zamocowania węzła tarcia aparatu czterokulowego do odtwarzania warunków tarcia ślizgowego.

1 – kulka górna, 2 – uchwyt kulki górnej, 3 – nakrętka, 4 – pierścień wewnętrzny, 5 – wymienna płytką, 6 – miseczka, 7 – kulki dolne (opracowano na podstawie Stanisław Pytko „Badania mechanizmu niszczenia powierzchni tocznych elementów maszynowych” w „Elektryfikacja i mechanizacja górnictwa i hutnictwa” z. 25, Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków 1967r.)

Na powyższym stanowisku można również przeprowadzać badania niszczenia powierzchni kulek przy pracy na sucho lub z udziałem czynnika smarującego. W przypadku wykonywania badań z udziałem czynnika smarującego (chłodzącego) do komory uchwytu miseczki należy podłączyć przewód gumowy, przez który przepływa czynnik chłodzący (np. woda) lub smarujący. W celu regulowania temperatury cieczy chłodzącej (lub środka smarującego) do układu można podłączyć np. termostat typu Heplera.

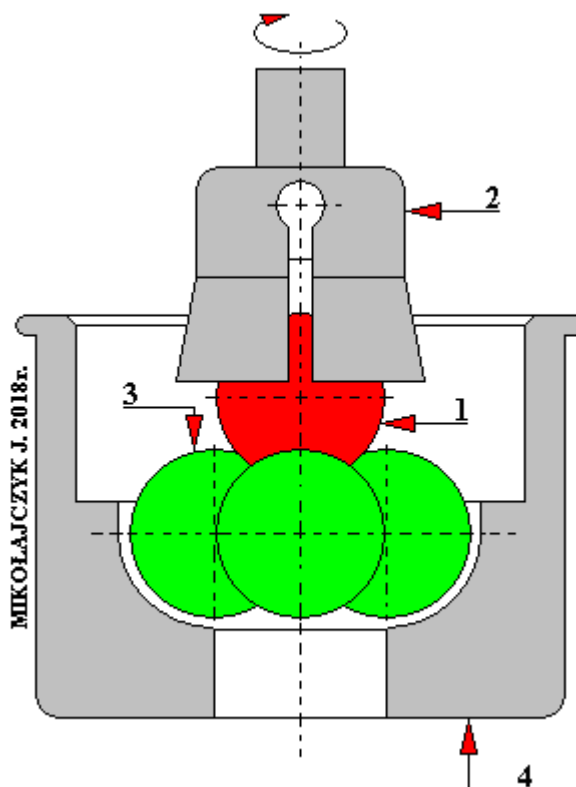
Zmiana sposobu zamocowania trzech dolnych kulek tak jak to pokazano na rysunku 3. powoduje, że otrzymujemy obroty górnej kulki względem osi uchwytu, zaś dolne kulki wykonują ruch złożony toczno-wirowy nie dający się łatwo wyznaczyć z warunków ruchu. Taki charakter ruchu powoduje ciągłą zmianę powierzchni styku dolnych kulek z górną.

Układ kul w aparacie czterokulowym tak jak na rysunku 2 stosowany jest przy badaniu zużycia i smarności, natomiast układ kul takich jak przedstawionych na rysunku 3 stosowany jest przy badaniach własności przeciwpittingowych.

W celu wyznaczania poślizgów, jakie zachodzą w miejscu styku kulek konieczne było dalsze przekonstruowanie miseczki aparatu czterokulowego co zostało przedstawione na rysunku 4.

Wszystkie kule przedstawione na rysunkach 2, 3 oraz 4 mają średnicę 1/2”.

Pozorna prostota budowy aparatu czterokulowego skrywa za sobą złożoność ruchu kulek, trudności przy wyznaczaniu poślizgów, złożoność zmienności pola naprężeń, złożoność niszczenia powierzchni elementów tocznych czy to z czy też bez udziału czynnika smarującego.

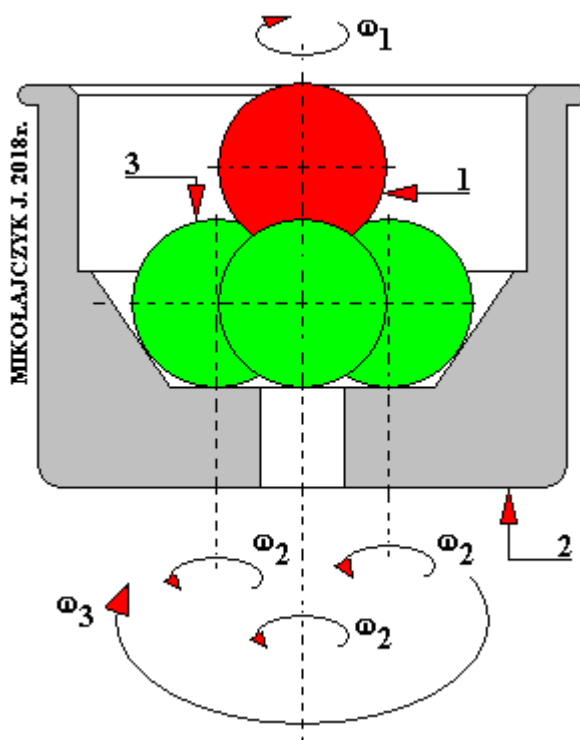


Rys. 3. Schemat zamocowania węzła tarcia aparatu czterokulowego do odtwarzania warunków tarcia tocznego kulki po kulce (dokładniej kulki po bieżni w kształcie rowka).
 1 – kulka górna, 2 – uchwyt kulki górnej, 3 – kulki dolne, 4 – miseczka (opracowano na podstawie Stanisław Pytko „Badania mechanizmu niszczenia powierzchni tocznych elementów maszynowych” w „Elektryfikacja i mechanizacja górnictwa i hutnictwa” z. 25, Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków 1967r.)

Kolejny typowy węzeł tarcia zastosowany w tego typu urządzeniach przedstawiono na rysunku 5. Dolne trzy kule zastąpiono w tym przypadku trzema krążkami. Napęd przenoszony jest na kulę górną, która wywiera również nacisk na trzy krążkowe podpory. Kształt zastosowanej miseczki umożliwia przeprowadzanie badań z lub bez użycia środka smarnego. Dalszym rozwinięciem tego rozwiązania jest zastąpienie trzech krążków wałeczkami tak jak to zostało przedstawione na rysunku 6. Inne rozwiązania typowych węzłów tarcia aparatu czterokulowego zostały przedstawione na rysunkach: 7÷12.

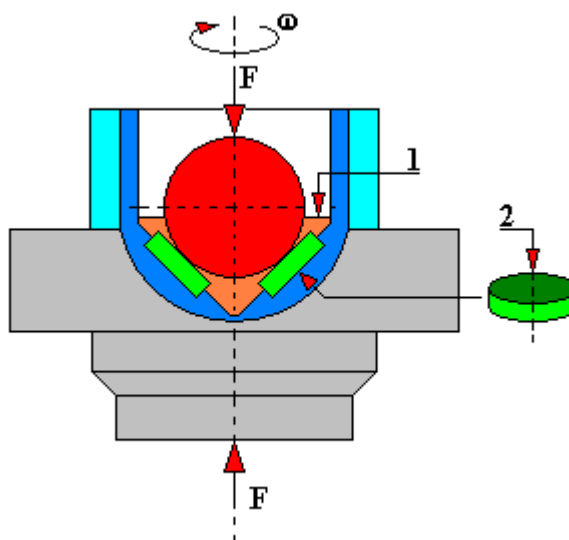
Na rysunku 13 przedstawiono przykładową maszynę czterokulową. Przeznaczona ona jest do pomiaru trwałości warstwy oleju między trącymi elementami tocznymi oraz do pomiaru wartości momentu tarcia występującymi pomiędzy tymi elementami. Elementami badawczymi są tu cztery kule o średnicy $\varnothing 12,7$ [mm], wykonane ze stali łożyskowej o twardości $62\div 66$ HRC. Trzy kule umieszczone są w miseczce na stałe. Natomiast czwarta jest zamocowana w uchwycie i dociskana do pozostałych siłą normalną. Kula zamocowana w uchwycie może obracać się tylko z prędkością 1500 [obr/min], a jest to zarazem prędkość znamionowa silnika indukcyjnego. Spowodowane jest to – ze względu na prostotę budowy - brakiem w układzie napędowym przekładni lub przemiennika częstotliwości (falownika). Prędkości obrotowej równej 1500 [obr/min] odpowiada prędkość tarcia 0,55 [m/sek]. Obciążenie normalne dociskające kule może wynosić do 1000 [N]. Miarą jakości badanego oleju są średnice śladu zużycia na powierzchniach trzech nieruchomych kul w czasie jednej minuty – czas trwania badania. Wartość obciążenia normalnego, przy którym następuje gwałtowny wzrost momentu tarcia oraz wielkości śladów zużycia jest miarą smerności badanego oleju. Na niniejszej maszynie czterokulowej można prowadzić badania olejów tylko w temperaturach otoczenia.

Natomiast na rysunku 14 przedstawiono schemat ogólny przykładowego aparatu czterokulowego.



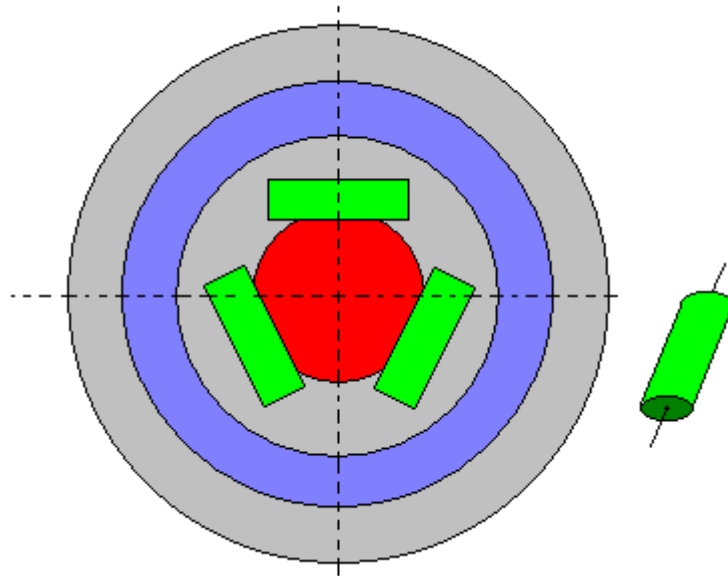
Rys. 4. Schemat zamocowania węzła tarcia aparatu czterokulowego do odtwarzania warunków tarcia toczonego kulki po kulce zaproponowanej w pracy Biezborodko i Winogradowa w celu wyznaczenia wartości poślizgów.

1 – kulka górna, 2 – miseczka, 3 – trzy kulki dolne, ω_1 – prędkość kątowna kulki górnej, ω_2 – prędkość kątowna ruchu obrotowego kulek dolnych, ω_3 – prędkość kątowna ruchu wirowego dolnych kulek (opracowano na podstawie М. Д. Безбородко, Г. В. Виноградов: „Исследование противоизносных свойств смазочных материалов при трении качения.” Трение и Износ в машинах, Сборник XV, 1962 г.)

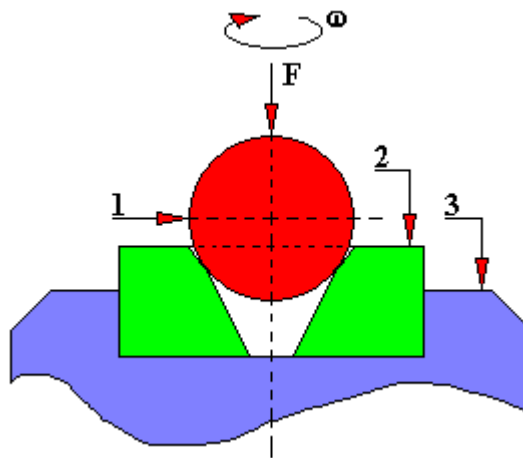


Rys. 5. Schemat zamocowania węzła tarcia aparatu czterokulowego składającego się z trzech krążków oraz kuli o średnicy 1/2” lub 1”.

1 – środek smarowy, 2 – krążek, F – siła docisku, ω – prędkość kątowna kulki (opracowano na podstawie Stanisław Pytko „Podstawy tribologii i techniki smarowania”, Skrypty Uczelniane 1164, Wydawnictwo AGH, Kraków 1989r.)

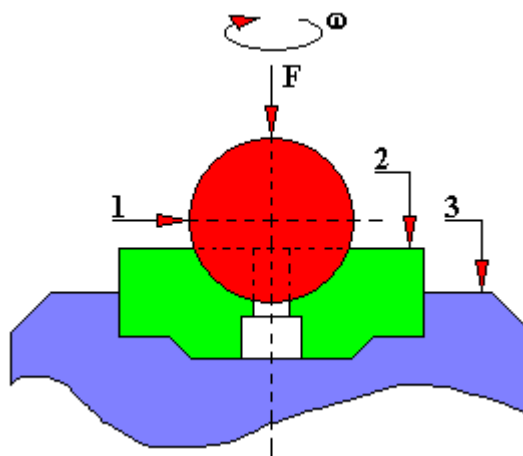


Rys. 6. Schemat zamocowania węzła tarcia aparatu czterokulowego składającego się z trzech wałków oraz kuli o średnicy 1/2" lub 1" (opracowano na podstawie Stanisław Pytko „Podstawy tribologii i techniki smarowania”, Skrypty Uczelniane 1164, Wydawnictwo AGH, Kraków 1989r.)

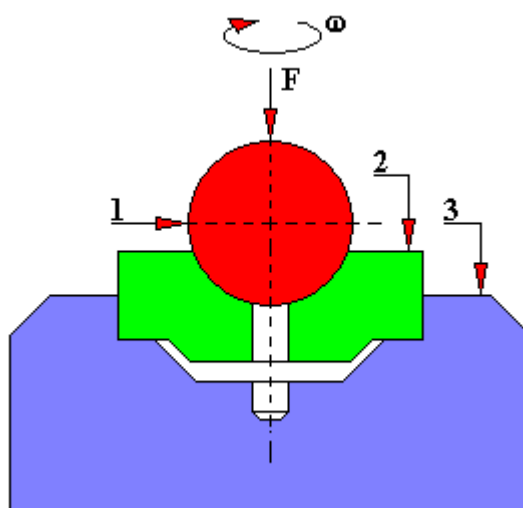


Rys. 7. Schemat zamocowania węzła tarcia aparatu czterokulowego składającego się z pierścienia o wewnętrznym otworze stożkowym oraz kuli o średnicy 1/2".

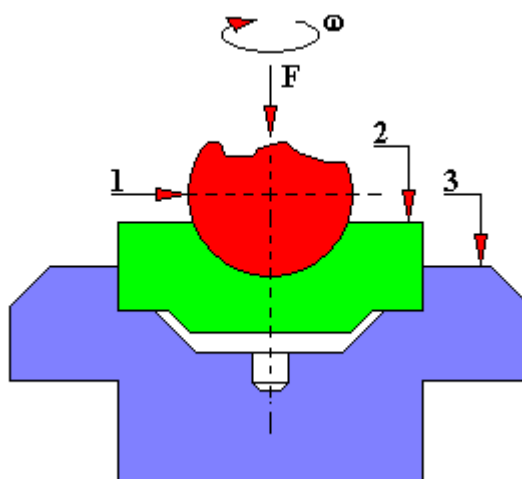
1- obrotowa kula, 2 – pierścień, 3 – uchwyt mocujący pierścień, F – siła nacisku na kulę, ω – prędkość kątowa kuli (opracowano na podstawie Stanisław Pytko „Podstawy tribologii i techniki smarowania”, Skrypty Uczelniane 1164, Wydawnictwo AGH, Kraków 1989r.)



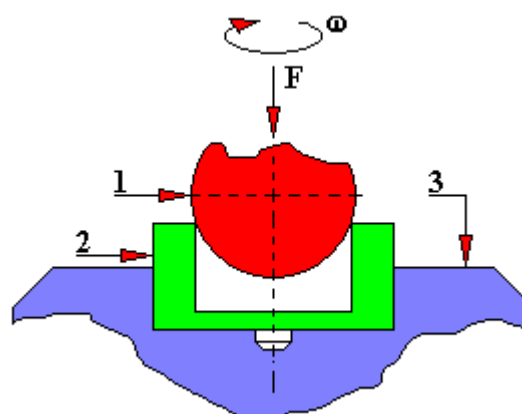
Rys. 8. Schemat zamocowania węzła tarcia aparatu czterokulowego składającego się z pierścienia o wewnętrznym stopniowanym otworze oraz kuli o średnicy 1/2".
 1- obrotowa kula, 2 – pierścień, 3 – uchwyt mocujący pierścień, F – siła nacisku na kulę, ω – prędkość kątowna kuli (opracowano na podstawie Stanisław Pytko „Podstawy tribologii i techniki smarowania”, Skrypty Uczelniane 1164, Wydawnictwo AGH, Kraków 1989r.)



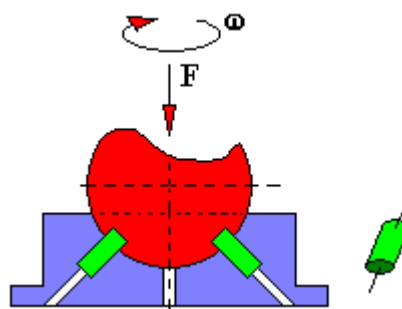
Rys. 9. Schemat zamocowania węzła tarcia aparatu czterokulowego składającego się z pierścienia o wewnętrznym niestopniowanym otworze oraz kuli o średnicy 1/2".
 1- obrotowa kula, 2 – pierścień, 3 – uchwyt mocujący pierścień, F – siła nacisku na kulę, ω – prędkość kątowna kuli (opracowano na podstawie Stanisław Pytko „Podstawy tribologii i techniki smarowania”, Skrypty Uczelniane 1164, Wydawnictwo AGH, Kraków 1989r.)



Rys. 10. Schemat zamocowania węzła tarcia aparatu czterokulowego składającego się z podstawy z wgłębieniem w kształcie kulistej czaszy oraz kuli o średnicy 1".
 1- obrotowa kula, 2 – podstawa, 3 – uchwyt mocujący podstawę, F – siła nacisku na kulę, ω – prędkość kątowa kuli (opracowano na podstawie Stanisław Pytko „Podstawy tribologii i techniki smarowania”, Skrypty Uczelniane 1164, Wydawnictwo AGH, Kraków 1989r.)



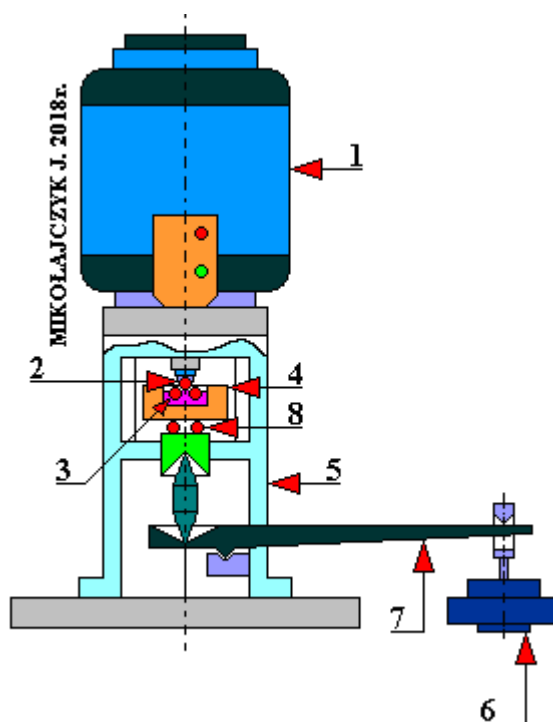
Rys. 11. Schemat zamocowania węzła tarcia aparatu czterokulowego składającego się z cylindra oraz kuli o średnicy 1".
 1- obrotowa kula, 2 – cylinder, 3 – uchwyt mocujący cylinder, F – siła nacisku na kulę, ω – prędkość kątowa kuli (opracowano na podstawie Stanisław Pytko „Podstawy tribologii i techniki smarowania”, Skrypty Uczelniane 1164, Wydawnictwo AGH, Kraków 1989r.)



Rys. 12. Schemat zamocowania węzła tarcia aparatu czterokulowego składającego się z trzech wałeczków oraz kuli o średnicy 1" (opracowano na podstawie Stanisław Pytko „Podstawy tribologii i techniki smarowania”, Skrypty Uczelniane 1164, Wydawnictwo AGH, Kraków 1989r.)



Rys. 13. Widok ogólny przykładowej maszyny czterokulowej z węzłem tarcia jak na rysunku 2 (fot. J. Mikołajczyk).



Rys. 14. Schemat ogólny maszyny czterokulowej.

1 – silnik elektryczny, 2 – kulka górna, 3 – trzy kulki dolne, 4 – miseczka, 5 – korpus, 6 – zadane obciążenie, 7 – ramię dźwigni obciążającej, 8 – łożysko oporowe.

4.2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest określenie następujących parametrów:

- obciążenia zespawania;
- wskaźnika zużycia;
- właściwości przeciwzużyciowych;
- obciążenia zacierającego.

4.3. Opis ćwiczenia

Zapoznanie się z następującymi normami w których są przedstawione warunki testu:

- PN-76/C-04147,
- GOST 9490;
- DIN 51 350;
- ASTM D 2596;
- ASTM D 2783;
- ASTM D 2266;
- ASTM D 4172.

Dla Polskiej Normy i wybranego środka smarnego przeprowadzić ćwiczenie zgodnie z warunkami testu.

4.4. Opracowanie wyników

Tab. 1. Zestawienie wyników

Lp.	Wartość obciążenia zespawania	Wartość wskaźnika zużycia	Wartość obciążenia zacierającego	Uwagi
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

W sprawozdaniu z niniejszego ćwiczenia należy umieścić:

- tabelę wyników;
- rysunek aparatu czterokulowego;
- opis przebiegu ćwiczenia;
- analizę statystyczną wyników w tym błędów pomiaru;
- wnioski.

4.5. Pytania sprawdzające

- Zdefiniować warstwę wierzchnią.
- Wyjaśnić pojęcie obciążenia zespawania.
- Wyjaśnić pojęcie wskaźnika zużycia.
- Wyjaśnić pojęcie obciążenia zacierającego.

6. Literatura

- Lewiński J.: Wymiana ciepła. Wydawnictwo PWSZ w Pile, Piła 2012.
- Mikołajczyk J.: Wpływ dodatków smarowych na transformację warstwy wierzchniej. Wydawnictwo PWSZ w Pile, Piła 2017.
- Mikołajczyk J.: Maszyny tarciove. Budowa, przeznaczenie. Wydawnictwo PWSZ w Pile, Piła 2018.

- Mikołajczyk J.: Tribotestery. Budowa, przeznaczenie. Wydawnictwo PWSZ w Pile, Piła 2019.
- Różański S.A.: Fizyka. Repetytorium dla studentów I roku studiów inżynierskich. Wydawnictwo PWSZ w Pile, Piła 2011.
- Różański S.A.: Przez fizykę na skróty. Wydawnictwo PWSZ w Pile, Piła 2013.
- Różański S.A.: Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki wspomagane komputerem. Wydawnictwo PWSZ w Pile, Piła 2014.
- Skorka M.: Fizyka. Podręcznik dla studentów wyższych technicznych studiów zawodowych dla pracujących. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1973.