

**Witold PIEKOSZEWSKI\***

## **METODA I STANOWISKO DO BADANIA POWIERZCHNIOWEJ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ (PITTINGU)**

### **A METHOD AND TESTING MACHINE FOR SURFACE FATIGUE LIFE (PITTING) INVESTIGATION**

#### **Słowa kluczowe:**

badania zmęczeniowe, pitting, metoda badania, trwałość powierzchniowa

#### **Key words:**

fatigue wear tests, pitting, test method, surface fatigue life

#### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono opracowaną i zweryfikowaną metodę badania powierzchniowej trwałości zmęczeniowej elementów wykonanych z dowolnego materiału, których powierzchnie trące mogą być konstytuowane dowolną technologią, skojarzonych w smarowanym styku skoncentrowanym. Do realizacji badań wg tej metody wykorzystywany jest zmodyfikowany aparat czterokulowy. W artykule przedstawiono wyniki badań weryfikacyjnych stalowych skoja-

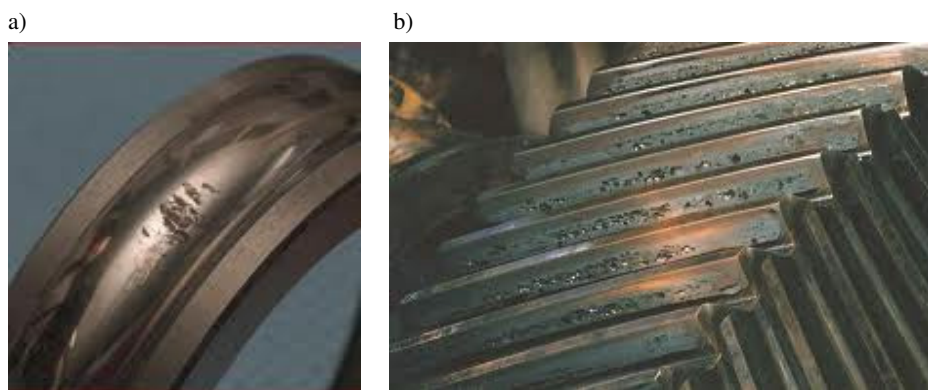
---

\* Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Tribologii, ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, e-mail: witold.piekoszewski@itee.radom.pl

rzeń smarowanych różnymi olejami i smarami plastycznymi. Przedstawione w artykule efektywne instrumentarium badawcze, umożliwiające tani, szybki test o bardzo wysokiej powtarzalności wyników może stanowić bazę eksperymentalną do prac rozwojowych przy opracowywaniu nowych materiałów i środków smarowych. Szczególnym walorem tego instrumentarium jest możliwość łatwego rozpowszechnienia dzięki temu, że bazuje na standardowym urządzeniu, powszechnie stosowanym w skali międzynarodowej.

## WPROWADZENIE

Pitting jest formą zużycia warstw wierzchnich elementów maszyn objawiającą się wgłębieniami na powierzchniach trących bieżni łożysk i kół zębatych (**Rys. 1**). Zgodnie z Polską Normą PN-91/M-04301 nazywany jest zużyciem gruzelkowym i definiowany jako zużycie powierzchni trących ciał na skutek cyklicznego oddziaływania obciążeń przy fizykochemicznym wpływie substancji smarującej [**L. 1**]. Odnosząc się do znormalizowanej definicji pittingu, należy zwrócić uwagę na fakt, że zużycie to nie dotyczy „powierzchni trących ciał”, a ich warstw wierzchnich i tak w niniejszym artykule należy je rozumieć.



**Rys. 1. Fotografia elementów ze śladami zniszczenia powierzchni na skutek pittingu: a) bieżnia wewnętrzna łożyska kulkowego, b) koło zębate**

Fig. 1. The effect of the elements failure caused by pitting: a) ball bearing inner race, b) gear

Zużycie to postępuje w sposób ciągły (niejawnie), jest wynikiem akumulacji energii w warstwie wierzchniej. Proces ten jest determinowany fizykochemicznymi cechami systemu tribologicznego – materiałów trących, środka smarowego i otoczenia, który po przekroczeniu pewnego poziomu zakumulowanej energii przejawia się wykruszeniami przedstawionymi na **Rys. 1** [**L. 2**].

Szczegółowe opisy tej formy zużycia zaprezentowano w opracowaniach [L. 3–6]. Zużycie przez pitting jest procesem nie do końca poznany, wobec czego wiedza na ten temat pozyskiwana jest głównie na drodze badań eksperymentalnych.

## STANOWISKA DO BADANIA PITTINGU

Na pitting elementów maszyn wpływają zarówno czynniki konstrukcyjne, technologiczne, jak i eksploatacyjne [L. 7]. Jednakże mimo zapewnienia tych samych warunków pracy elementy o jednakowej konstrukcji, przy niezmiennych parametrach pracy, wykazują bardzo duży rozrzut trwałości zmęczeniowej [L. 8, 9].

Źródło tego problemu tkwi w dużej liczbie czynników determinujących zmęczenie powierzchniowe części maszyn. W praktyce ocena odporności materiału na pitting przeprowadzana jest na drodze badań eksperymentalnych na reprezentatywnej liczbie próbek.

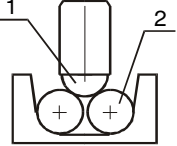
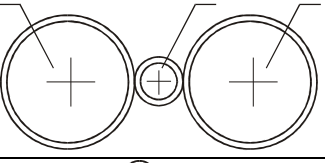
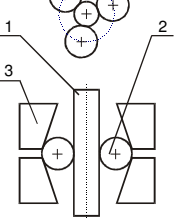
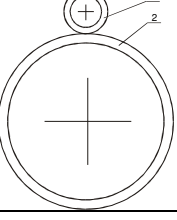
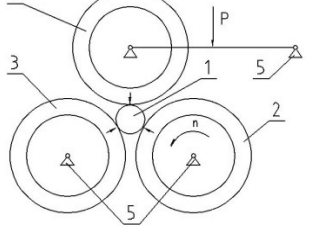
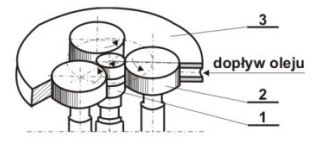
W literaturze przedmiotu spotyka się opis wielu stanowisk i metod do badania pittingu. Do najczęściej stosowanych stanowisk należą: zmodernizowany aparat czterokulowy, urządzenia typu dwie rolki–walec oraz trzy kulki–walec, stanowiska dwurołkowe, stanowisko FZG. Zestawienie schematów najbardziej popularnych stanowisk badawczych przedstawiono w **Tabeli 1 i 2**.

Skutkiem dużej różnorodności stanowisk wyniki uzyskane za ich pomocą reprezentujące różne warunki badania oraz węzły tarcia są w zasadzie nieporównywalne. Poza tym większość metod ukierunkowana jest na badanie skutków modyfikacji materiałowej lub strukturalnej warstwy wierzchniej, przy czym jest niesłusznie pomijany środek smarowy. Inne natomiast dotyczą jedynie badania środków smarowych, przy czym jako materiał elementów węzła przyjmuje się najczęściej stal łożyskową. Istnieje również znaczna liczba rozwiązań jednostkowych własnej konstrukcji [L. 19], w tym stanowiska łożyskowe [L. 20–22].

Autor zaproponował nową, metodę badania powierzchniowej trwałości zmęczeniowej realizowaną z wykorzystaniem powszechnie stosowanego aparatu czterokulowego [L. 25, 26]. Metoda ta dedykowana jest do badania materiałów na trące elementy maszyn, których powierzchnie konstytuowane są dowolną technologią. Pozwala ona również na badanie wpływu środków smarowych na pitting. Opracowana została w oparciu o procedurę ujętą w normie brytyjskiej IP 300/82 [L. 27].

**Tabela 1. Zestawienie schematów węzłów tarcia najpopularniejszych stanowisk do badań modelowych powierzchniowej trwałości zmęczeniowej**

Table 1. Friction joints of the most common tribological testers used for model testing of rolling contact fatigue

Nazwa stanowiska	Schemat węzła tarcia	Warunki pracy	Literatura
Zmodernizowany aparat czterokulowy		Styk: punktowy Elementy testowe: kulki 1/2" Maksymalne naprężenia Hertza: 8,7 GPa Smarowanie: zanurzeniowe 1 – element badany 2 – przeciwpróbki	[L. 8, 10, 11]
Stanowisko typu dwie rolki-walec		Styk: liniowy Elementy testowe: rolka Maksymalne naprężenia Hertza: 7,52 GPa Smarowanie: zanurzeniowe 1 – element badany 2, 3 – przeciwpróbki	[L. 12]
Stanowisko typu trzy kulki-walec		Styk: punktowy Elementy testowe: trzpień o średnicy 9,525 mm Maksymalne naprężenia Hertza: 5,5 GPa Smarowanie: kropelkowe 1 – element badany 2 – przeciwpróbki 3 – wspornik	[L. 13, 14, 15]
Stanowisko dwurołkowe		Styk: liniowy Elementy testowe: rolka o średnicy 28 mm Maksymalne naprężenia Hertza: 4,3 GPa Smarowanie: kropelkowe 1 – element badany 2 – przeciwpróbka	[L. 16]
Stanowisko 3-rolkowe		Styk: liniowy Elementy testowe: wałeczek łożyska NU309 1 – badany wałeczek, 2 – pierścień napędzający, 3 – pierścień stanowiący reakcję dla wałeczka i pozostałych pierścieni, 4 – pierścień obciążający, 5 – łożyskowanie	[L. 17]
Stanowisko 3-rolkowe		Styk: liniowy, elementy testowe: rolka o średnicy 28 mm, Smarowanie: hydrostatyczne 1 – element badany 2 – rolki obciążające 3 – korpus głowicy	[L. 18]

**Tabela 2. Zestawienie schematów najpopularniejszych stanowisk do badań komponentowych powierzchniowej trwałości zmęczeniowej**

Table 2. Friction joints of the most common tribological testers used for component testing of rolling contact fatigue

Nazwa stanowiska	Schemat węzła tarcia	Warunki pracy	Literatura
Stanowisko łożyskowe		Styk: punktowy Elementy testowe: łożysko Maksymalne naprężenia Hertza: 1,2 GPa Smarowanie: kropelkowe 1 – element badany 2 – przeciwpróbka (łożysko) 3 – króciec smarowniczy	[L. 23]
Stanowisko typu FZG		Styk: liniowy Elementy testowe: koło zębate o module 4,5 mm Maksymalne naprężenia Hertza: 1,8 GPa Smarowanie: zanurzeniowe	[L. 24]

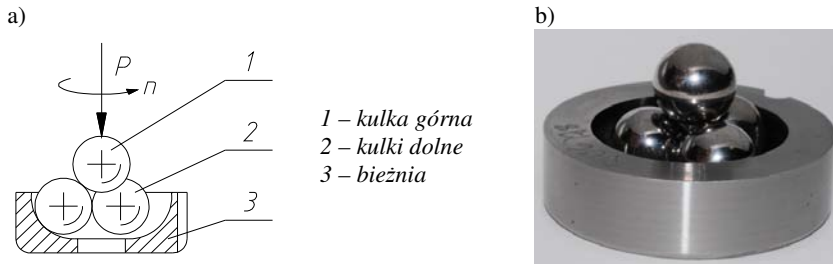
## METODA I STANOWISKO DO BADANIA POWIERZCHNIOWEJ TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ

Istota badania wg metody ujętej w normie IP 300 polega na przeprowadzeniu, przy stałym zadanym obciążeniu i stałej prędkości obrotowej, 24 biegów badawczych elementów testowych współpracujących tocznie w obecności środka smarowego, ciągłym pomiarze amplitudy drgań generowanych w badanym węźle, pomiarze czasu poszczególnych biegów badawczych do wystąpienia pittingu sygnalizowanego przekroczeniem założonej amplitudy drgań, sporządzeniu rozkładu Weibulla uzyskanych wyników badań i na jego podstawie określeniu trwałości badanego węzła tarcia.

Warunki przeprowadzenia badań wpływu środków smarowych na pitting wg tej procedury są następujące:

- obciążenie węzła tarcia: 5886 N,
- naciski w styku: 9,22 GPa,
- prędkość obrotowa wrzeciona: 1450±50 obr/min,
- obciążenie wstępne węzła tarcia: 981 N,
- temperatura otoczenia: 23±2°C.

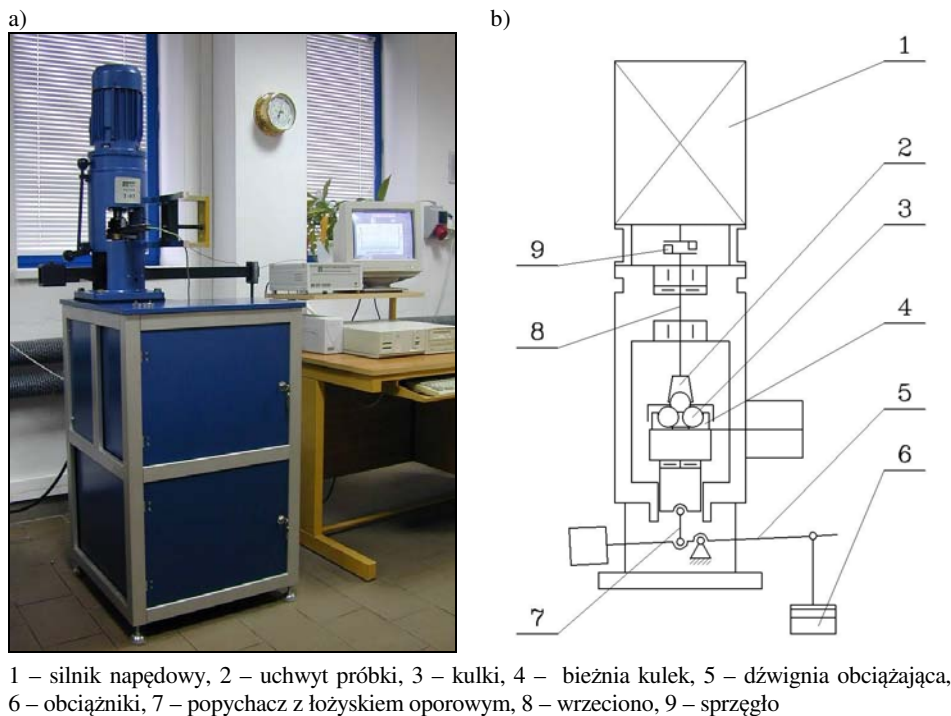
Węzeł tarcia tworzą cztery 1/2" kulki łożyskowe, z których jedna, zamocowana w obracającym się wrzecionie, napędza 3 pozostałe umieszczone i toczące się w specjalnej bieżni (**Rys. 2**).



**Rys. 2. Węzeł tarcia aparatu czterokulowego do badania wpływu na zużycie zmęczeniowe środków smarowych: a) schemat, b) fotografia**

Fig. 2. The friction joint of four-ball tester intended for the investigation of rolling contact fatigue: the schematic view, b) the image

Do badań trwałości zmęczeniowej wykorzystany może być dowolny aparat czterokulowy posiadający odpowiednio zmodernizowany węzeł tarcia. Taki aparat opracowany został i jest produkowany w Instytucie Technologii Eksploatacji – PIB (**Rys. 3**).

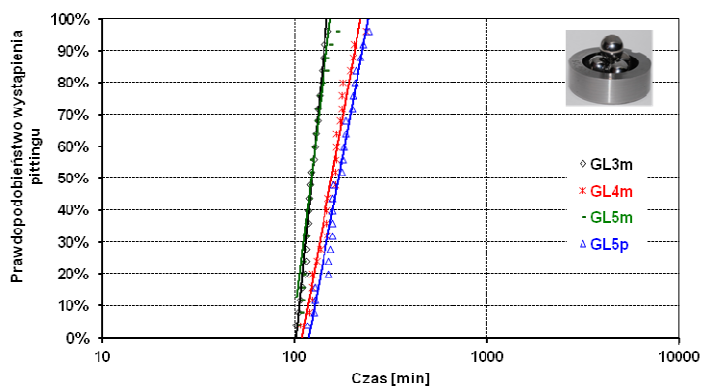


**Rys. 3. Aparat czterokulowy T-03 do badań powierzchniowej trwałości zmęczeniowej: a) fotografia, b) schemat kinematyczny**

Fig. 3. The T-03 four-ball tester for rolling contact fatigue investigation: a) the front view, b) the schematic view

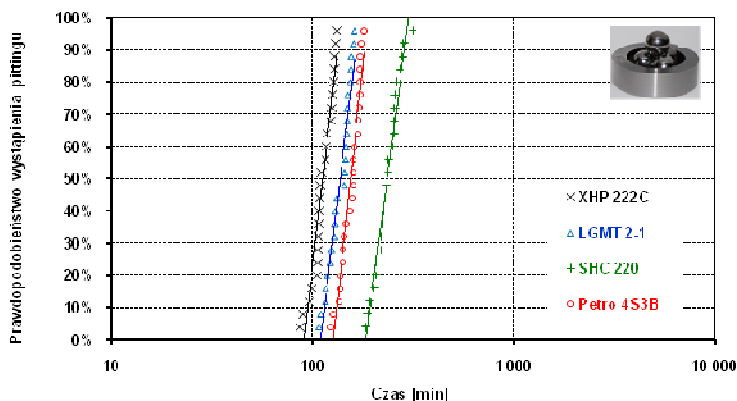
Sterowanie urządzeniem odbywa się za pomocą systemu sterująco-pomiarowego sprzęgniętego z komputerem klasy PC. System sterująco-pomiarowy w połączeniu z komputerem umożliwia automatyzację procesu sterowania, zaś program komputerowy pozwala na realizację określonych procedur badawczych. Bieg badawczy kończy się automatycznie z chwilą przekroczenia przez węzeł tarcia dopuszczalnej, zadanej amplitudy drgań, spowodowanej powstaniem na elemencie testowym wykruszenia zmęczeniowego.

Przykładowe wyniki badań wpływu na pitting olejów handlowych oraz smarów plastycznych, wykonanych zgodnie z procedurą ujętą w normie IP 300, przedstawiono na **Rys. 4 i 5**.



**Rys. 4. Wyniki badań wpływu różnych olejów na trwałość zmęczeniową uzyskane zgodnie z procedurą ujętą w normie IP 300**

Fig. 4. The research results obtained according to IP 300 method, showing the influence of various oils on fatigue life

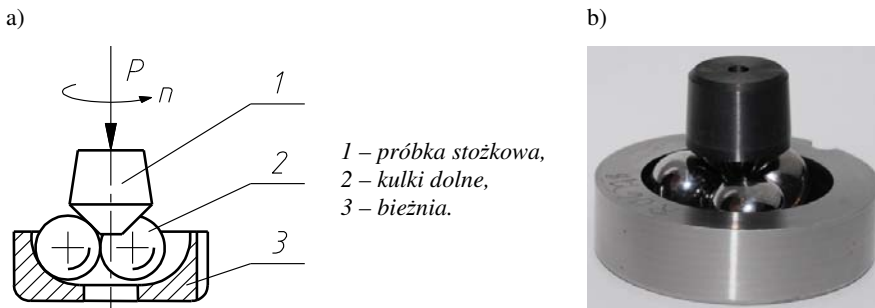


**Rys. 5. Wyniki badań wpływu rodzaju smarów plastycznych na trwałość zmęczeniową uzyskane zgodnie z procedurą ujętą w normie IP 300**

Fig. 5. The research results obtained according to IP 300 method, showing the influence of the type of plastic greases on fatigue life

Uzyskane rezultaty badań świadczą o zróżnicowanym wpływie poszczególnych środków smarowych na trwałość węzła tarcia i o stosunkowo małym rozrzucie uzyskanych wyników.

Główną wadą metody ujętej w normie brytyjskiej jest brak możliwości badania różnych materiałów konstrukcyjnych, gdyż elementami testowymi są, jak już zaznaczono wcześniej, kulki łożyskowe wykonywane najczęściej ze stali 100Cr6. Istota modyfikacji metody polegała na zastąpieniu górnej, obracającej się kulki próbką w postaci stożka (**Rys. 6**). Takie rozwiązanie konstrukcyjne węzła tarcia aparatu czterokulowego umożliwia oprócz prowadzenia badań standardowych (środków smarowych) również badanie dowolnych skojarzeń materiałowych.



**Rys. 6. Zmodyfikowany węzeł tarcia aparatu T-03 do badania zużycia zmęczeniowego materiałów stosowanych na wysokoobciążone elementy toczne: a) schemat, b) fotografia**

Fig. 6. The modified friction joint of T-03 apparatus intended for fatigue life investigation of heavy loaded rolling elements: a) the schematic view, b) the image

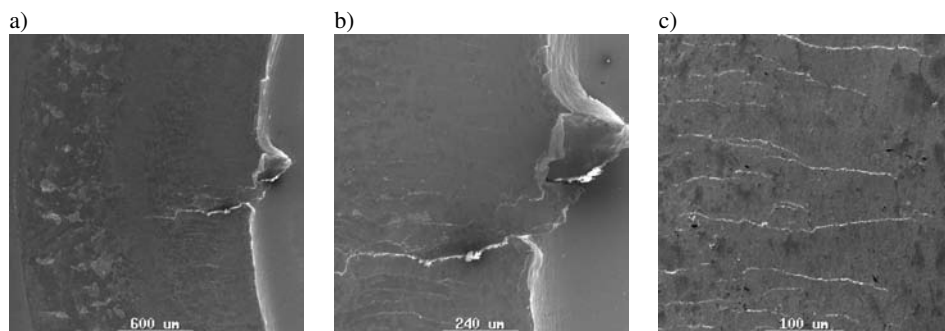
Należy zaznaczyć, że średnica drogi obtaczania się stożka po kulkach dolnych jest identyczna jak w przypadku kulki, która używana jest do standardowych badań wpływu środka smarowego na pitting. Styk elementów węzła tarcia w obu przypadkach jest punktowy.

Zastąpienie kuli stożkiem pozwala na wykonanie próbek z dowolnego materiału, który może być poddany określonej obróbce cieplnej lub cieplno-chemicznej. Powierzchnia trąca stożka może być konstituowana dowolną technologią. Jest to szczególnie istotne w przypadku wprowadzania nowych, próżniowych technologii konstituowania powłok na elementach trących, które są najczęściej ostatnimi zabiegami technologicznymi w procesie ich wytwarzania (ze względu na fakt, że grubość twardych cienkich powłok przeciwzużyciowych mieści się w granicach tolerancji wymiarowej elementów typowych węzłów maszyn).

Modernizacja procedury ujętej w normie IP 300 dotyczyła również obciążenia, przy którym prowadzone są badania. Obciążenie ujęte w tej procedurze,



szczególnie w przypadku badania olejów o niskiej lepkości bądź materiałów o twardości zdecydowanie niższej niż obrobiona cieplnie stal łożyskowa, powoduje odkształcenia plastyczne występujące w strefie tarcia, doprowadzając do zużywania elementów testowych w sposób odmienny od zużywania pittingowego, np. spalling, delaminacja, co obrazuje **Rys. 7**.



**Rys. 7. Przykładowe zdjęcia odkształcenia plastycznego na kulce górnej przy obciążeniu węzła 5886 N, olej mineralny wzorcowy FVA 2**

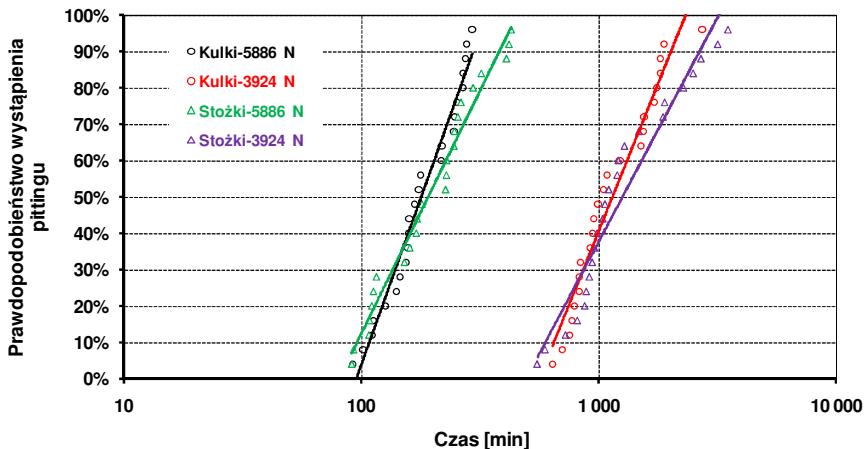
Fig. 7. The examples of plastic deformation on upper ball after pitting test (test conditions: FVA2 mineral reference oil, load 5886 N)

W autorskiej metodzie zmniejszono obciążenie węzła ze standardowego 5886 N (co odpowiada naciskom stykowym 9,22 GPa dla kul oraz 7,34 GPa dla skojarzenia stożka z kulami) do 3924 N (400 kG – naciski stykowe wynoszą odpowiednio 8,06 i 6,41 GPa). Niższe obciążenia węzła tarcia stosowane są również przez innych badaczy zajmujących się badaniem pittingu [L. 10]. Integralnym elementem tworzącym testowy, toczny węzeł tarcia zmodernizowanego aparatu T-03 jest bieżnia, w której następuje obtaczanie się kulek dolnych (przeciwpróbek). Kształt i wymiary bieżni zgodne są z wymogami normy IP 300. Chropowatość roboczej powierzchni bieżni mierzona wzdłuż tworzącej co 90°, wyrażona parametrem Ra, wynosiła ok. 0,08 μm. Bieżnia wykonana jest ze stali łożyskowej 100Cr6 i obrobiona cieplnie do twardości 62±2 HRC.

Istota badania wg opracowanej metody nie uległa zmianie w stosunku do metody opisanej w normie brytyjskiej. Warunki przeprowadzenia biegu badawczego wg opracowanej metody są następujące:

- obciążenie węzła tarcia: 3924 N,
- naciski stykowe dla kul 8,06 GPa
- naciski stykowe dla skojarzenia stożek–kule 6,41 GPa
- prędkość obrotowa wrzeciona: 1450+50 obr/min,
- obciążenie wstępne węzła tarcia: 981 N,
- temperatura otoczenia: 23±2°C,

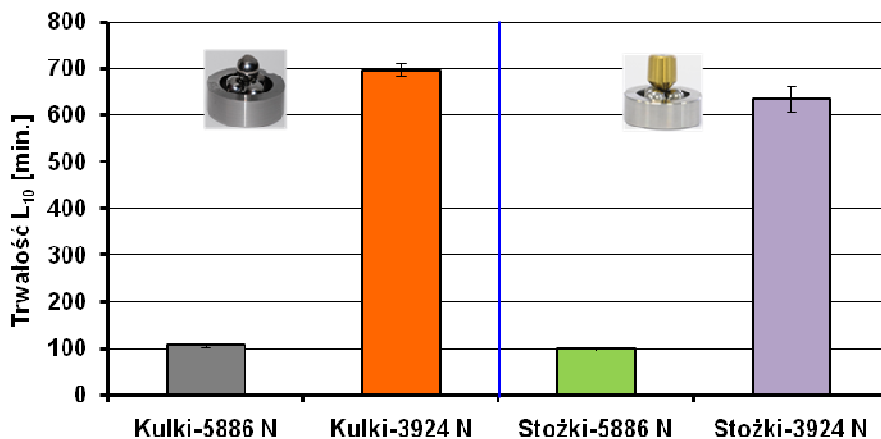
Podkreślić należy, że pełny cykl badań określonego skojarzenia materiałowego bądź środka smarowego wynosi 24 biegi, które kończą się wystąpieniem pittingu na obracającej się górnej próbce. Jeżeli wykruszenie (pitting) wystąpiłoby na jednej z kul dolnych, bądź na bieżni, wynik należy odrzucić. Do każdego biegu badawczego używa się nowych kulek, stożka oraz środków smarowych i nieuszkodzoną bieżnię. Stan bieżni przed każdym biegiem sprawdza się za pomocą lupki pomiarowej, a w wątpliwych przypadkach za pomocą mikroskopu optycznego. Wystąpienie pittingu na bieżni powoduje konieczność wymiany jej na nową. Porównanie wyników badań pittingu dla węzła tarcia smarowanego mineralnym olejem wzorcowym RL 144 dla kulki i stożka ze stali 100Cr6, dla obciążeń węzła tarcia wynoszących 3924 N i 5886 N kG przedstawiono na **Rys. 8 i 9**.



**Rys. 8.** Wyniki badań wpływu oleju wzorcowego na trwałość zmęczeniową wykonane zgodnie z procedurą ujętą w normie IP 300 przy różnych obciążeniach

Fig. 8. The results of the effect of load on fatigue life of four-ball and cone-three balls tribosystems

Jak widać na wykresie (**Rys. 8**), pochYLENIA linii trendu dla badanych skojarzeń, w przypadku obciążeń 3924 N i 5886 N, nie ulegają zasadniczej zmianie. Świadczy to o bardzo dobrej powtarzalności osiągniętych wyników pomimo zmiany parametrów badań. Również trwałości zmęczeniowe  $L_{10}$  zachowały w przypadku kulek i stożków odpowiednie proporcje, chociaż dla kulek były wyższe niż dla stożków przy obu obciążeniach. Różnice wynikały przede wszystkim z innych wartości nacisków Hertza jak i większej chropowatości powierzchni roboczych stożków wynikającej z odmiennej technologii obróbki wykańczającej w procesie produkcyjnym.



Rys. 9. Wyniki badań wpływ oleju wzorcowego na trwałość zmęczeniową uzyskane zgodnie z procedurą ujętą w normie IP 300 (5886 N) oraz własną (3924 N)

Fig. 9. The results obtained according to IP 300 method (5886 N) and own test procedure (3924 N), showing the influence of the reference oil on fatigue life

## PODSUMOWANIE

Opracowana, zweryfikowana i wdrożona w Zakładzie Tribologii ITeE – PIB metoda przyczyniła się do przełamania barier w kwestii badania materiałów przeznaczonych do pracy w smarowanym styku skoncentrowanym. Pozwala ona na badanie wpływu materiałów i technologii konstituowania warstw wierzchnich elementów skojarzonych w smarowanym styku skoncentrowanym na pitting oraz na optymalny dobór ze względu na tę formę zużycia środków smarowych do różnych skojarzeń materiałowych, szczególnie tych, w których pracują elementy z naniesionymi powłokami przeciwzużyciowymi.

## LITERATURA

1. PN-91/M-04301 Tribologia. Terminologia podstawowa.
2. Szczerek M.: Metodologiczne problemy systematyzacji eksperymentalnych badań tribologicznych. Wyd. ITeE, Radom 1996.
3. Hebda M.: Procesy tarcia, smarowania i zużywania maszyn. Warszawa – Radom 2007.
4. Lawrowski Z.: Tribologia. Tarcie, zużywanie i smarowanie. Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
5. Pytko S.: Badania mechanizmu niszczenia powierzchni tocznych elementów maszynowych. Zeszyty Naukowe, AGH nr 191, Kraków 1967.
6. Pytko S., Szczerek M.: Pitting – forma niszczenia elementów tocznych. Tribologia, 1993, nr 4/5, s. 317÷334.

7. Waligóra W.: Warstwa wierzchnia elementów ze stali łożyskowej a jej odporność na zmęczenie powierzchniowe. *Tribologia*, 2/1993, s. 199÷219.
8. Rowe C.N., Armstrong E.L.: Lubricant effect in rolling-contact fatigue. *Lubrication Engineering*, 1982, t. 38, 39÷40.
9. Waligóra W.: Rozrzut powierzchniowej trwałości zmęczeniowej łożysk tocznych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2004.
10. Rico J. E., Battez A. H., Cuervo D. G.: Rolling contact fatigue in lubricated contacts. *Tribology International*, 2003, nr 36, s. 35÷40.
11. Wang Y., Fernandez J.E., Cuervo D.G.: Rolling–contact fatigue lives of steel AISI 52100 balls with eight mineral and synthetic lubricants. *Wear*, 1996, t. 196, s. 110÷119.
12. Waligóra W.: Warstwa wierzchnia elementów ze stali łożyskowej a jej odporność na zmęczenie powierzchniowe. *Tribologia*, 2/1993, s. 199÷219.
13. Polonsky I. A., Chang T. P., Keer L. M., Sproul W. D.: A study of rolling-contact fatigue of bearing steel coated with physical vapor deposition TiN films: Coating response to cyclic contact stress and physical mechanisms underlying coating effect on the fatigue life. *Wear*, 1998, Vol. 215, s. 191÷204.
14. Rosado L., Jain V.K., Trivedi H.K.: The effect of diamond-like carbon coatings on the rolling fatigue and wear of M50 steel. *Wear*, 1997, t. 212, s. 1÷6.
15. Stewart S., Ahmed R.: Rolling contact fatigue of surface coatings—a review. *Wear*, 2002, nr 253, s. 1132÷1144.
16. Chang T.P., Cheng H.S., Chiou W.A., Sproul W.D.: A comparison of fatigue failure morphology between TiN coated and uncoated lubricated rollers. *Surface and Coatings Technology*, 1991, t. 34, s. 408÷416.
17. Piekoszewski W., Libera M., Waligóra W.: Wpływ warunków pracy elementów poddawanych cyklicznym obciążeniom stykowym na rozrzut powierzchniowej trwałości zmęczeniowej. *Tribologia*, 3/2005, s. 205÷215.
18. Mitka J., Janczak K.: Wpływ obciążenia i poślizgu na zużycie zmęczeniowe powierzchni przez pitting. *Trybologia 4-5/80*, s. 5÷7.
19. Podgornik B., Jacobson S., Hogmark S.: DLC coating of boundary lubricated components – advantages of coating one of the contact surfaces rather than both or none. *Tribology International*, 2003, nr 36, s. 843÷849.
20. Gold P.W., Loos J.: Wear resistance of PVD-coatings in roller bearings. *Wear*, 2002, t. 253, s. 465÷474.
21. Igartua A., Laucirica J., Aranzabe A., Leyendecker T., Lemmer O., Erkens G., Weck M., Hanrath G.: Application of low temperature PVD coatings in rolling bearings: tribological tests and experiences with spindle bearing systems. *Surface and Coating Technology*. 1996, t. 86-87, s. 460÷466.
22. Kuhn M., Gold P.W., Assamann C., Loos J.: Influences on the Durability of PVD-Coatings in Roller Bearings. *Proc. 13th International Colloquium Tribology*, Esslingen, Niemcy, 15÷17.01.2002, s. 1797÷1804.
23. IP 305/79 The Assessment of Lubricants by Measurement of Their Effect on The Rolling Fatigue Resistance of Bearing Steel Using The Unisteel Machine.
24. FVA Information Sheet No. 2/IV Status July 1997. Influence of lubricant of the pitting capacity of casecarburized gears in load-spectra and single-stage investigations.

25. Piekoszewski W.: Wpływ na powierzchniową trwałość zmęczeniową wybranych materiałów i technologii konstituowania warstw powierzchniowych elementów wężła tocznego. Tribologia, vol. 225 (3/2009), s. 185÷196.
26. Piekoszewski W Libera M., Waligóra W.: Wpływ warunków pracy elementów poddawanych cyklicznym obciążeniom stykowym na rozrzut powierzchniowej trwałości zmęczeniowej. Tribologia, 3/2005, s. 205÷215.
27. IP 300/82 Rolling contact fatigue tests for fluids in a modified four-ball machine.

### Summary

**The developed and verified test method, which is presented in the paper, is destined for surface fatigue life investigation of concentrated, lubricated friction joints with elements made from various materials and with a surface layer created by various technologies. In order to conduct the tribological tests in accordance with the above-mentioned method, a modified four-ball tester is used. In the article, the verification test results of steel friction couples lubricated with various oils and greases are presented. The presented testing equipment makes it possible to perform low-cost, low time-consuming tests with very high repeatability of the results and can constitute an experimental base for research and development works on the preparation of new materials and lubricants. The particular advantage of the introduced test equipment is the ability to be widely spread, thanks to the fact that it is based on a testing machine that is commonly used on an international scale.**