

Wojciech OKULARCZYK*

BADANIA POLIMEROWYCH OBROTOWYCH ŁOŻYSK ŚLIZGOWYCH W ŚRODOWISKU WODNYM

INVESTIGATIONS OF ROTARY SLIDE BEARINGS OF POLYMERS IN A WATER ENVIRONMENT

Słowa kluczowe:

PE-UHMW, PTFE, zużycie ściernie, ruch obrotowy, środowisko wodne

Key words:

UHMW-PE, PTFE, abrasion wear, rotary movement, water environment

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań łożysk ślizgowych obrotowych w środowisku wodnym. Cylindryczne łożyska polimerowe, będące próbkami, wykonano z PE-UHMW i kompozytu PTFE+CrO. Elementem obrotowym, czyli przeciwpróbką, była tuleja o średnicy zewnętrznej 35 mm, wykonana ze stali w gatunku 316. Chropowatość powierzchni przeciwpróbki wynosiła $R_a = 0,35\text{--}0,4\ \mu\text{m}$, a szerokość styku z próbką 10 mm. Łożyska obciążano siłą poprzeczną wynoszącą 230 N; badania prowadzono przy prędkości liniowej 0,16 m/s. Załączono zdjęcia powierzchni roboczych przed i po badaniu. Opisano rodzaje zużycia. Do pomiaru wielkości zużycia zastosowano metodę wagową. Stwierdzono kilkunastokrotnie większą odporność na zużycie ściernie PE-UHMW w porównaniu z PTFE+CrO.

* Politechnika Częstochowska, Instytut Technologii Mechanicznych; TEST Systemy Uszczelniające – Częstochowa, ul. Armii Krajowej 21, 42-201 Częstochowa.

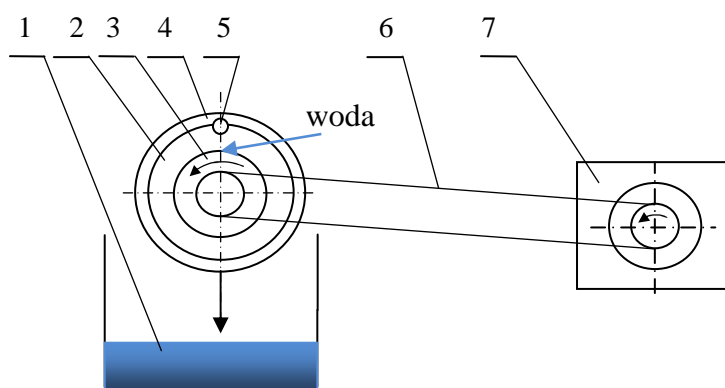
WPROWADZENIE

Odpowiedni dobór materiałów polimerowych, zwłaszcza do nietypowych elementów ślizgowych, wymaga odpowiednich, wyprzedzających badań wykonywanych w warunkach jak najbardziej zbliżonych do warunków rzeczywistych. Istotne jest tu uwzględnienie: czynnika smarującego, dyssypacji ciepła, doboru materiałów pary trącej, chropowatości powierzchni (tzw. nośnej), wielkości powierzchni styku, nacisku powierzchniowego, względnej prędkości liniowej i innych czynników eksploatacyjnych, które niekiedy mogą przyspieszać zużywanie polimerowych łożysk ślizgowych oraz uszczelnień w maszynach.

Do badań wytypowano materiał polimerowy, który można zastosować na łożyska ślizgowe i uszczelnienia, pracujące obrotowo, w środowisku wodnym. Badania rozpoczął producent maszyn do lodów, który chcąc zwiększyć trwałość węzłów łożyskowych i uszczelniających, postanowił chromować, a następnie szlifować powierzchnie czopów wału, wykonywane dotychczas ze stali kwasoodpornej 316. W konsekwencji trwałość elementów polimerowych, dotychczas z PTFE+CrO (politetrafluoroetylen z tlenkiem chromu), zmniejszyła się wielokrotnie. Do badań jako materiału zamiennego użyto PE-UHMW, o masie cząsteczkowej 9 200 000 g/mol, zwłaszcza ze względu na przystępną cenę i łatwy zakup.

STANOWISKO BADAWCZE

Badania prowadzono na maszynie trwałościowej Instytutu Przetwórstwa Polimerów i Zarządzania Produkcją Politechniki Częstochowskiej (**Rys. 1**) [**L. 1**].

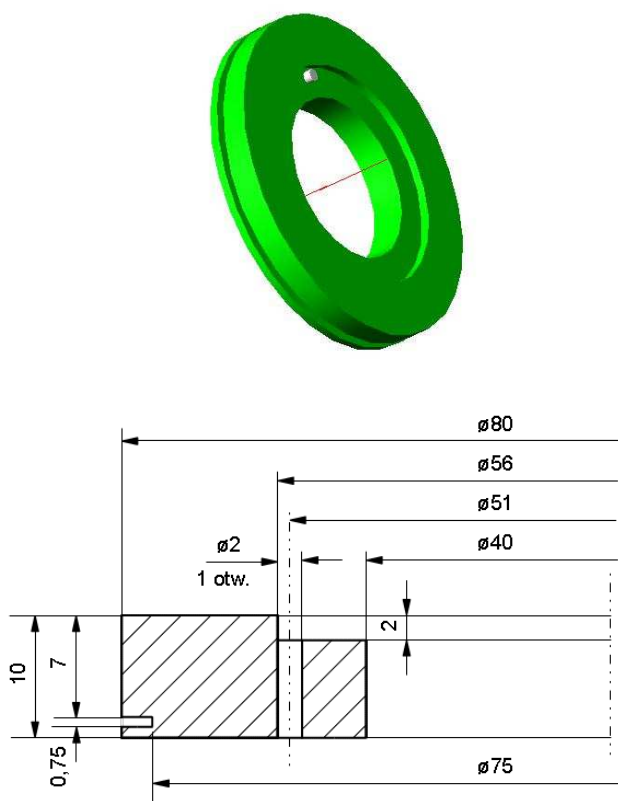


Rys. 1. Stanowisko badawcze: 1 – zbiornik z wodą; 2 – próbka; 3 – przeciwpróbka, 4 – pierścień, w którym osadzono próbkę; 5 – kołek zabezpieczający; 6 – przekładnia pasowa; 7 – silnik elektryczny

Fig. 1. Test stand: 1 – water container; 2 – sample; 3 – anti-sample, 4 – ring fastening the sample; 5 – locking pin; 6 – belt transmission; 7 – electric engine

W pierścieniu mocującym 4 osadzono próbkę 2 i nałożono na przeciwpóbkę 3. Zabezpieczenie 5 zapobiega obrotowi przeciwpóbkki względem próbki. Do miejsca tarcia w sposób ciągły dostarczana jest woda. Pod układem badawczym umieszczono zbiornik z wodą 1. Pierścień 4 z osadzoną próbką 2 został obciążony siłą 230 N.

Pierścień wraz z osadzoną próbką pokazano na **Rys. 2**. Otwór $\text{Ø}40$ mm wykonano zgodnie z tolerancją H11. Podtoczenie $\text{Ø}75$ mm o szerokości 0,75 mm służy do zamocowania linki z obciążeniem 230 N.

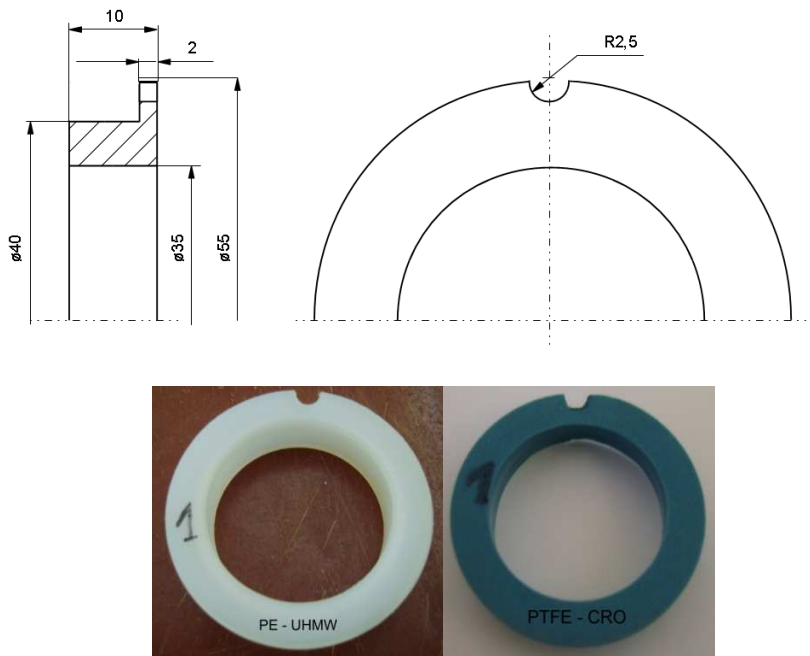


Rys. 2. Pierścień mocujący próbki – materiał poliacetal (POM); otwór na powierzchni wybrania $\text{Ø}55 \times \text{Ø}2$ mm (po lewej stronie) zabezpieczający próbkę przed obrotem

Fig. 2. Ring fastening the sample – polyacetal material (POM); a hole in a surface of recess $\text{Ø}55 \times \text{Ø}2$ mm (left side) preventing the sample from rotation

PRZEBIEG BADAŃ

Do badań przyjęto próbki z PE-UHMW (polietylen o bardzo dużej masie cząsteczkowej GUR 4150, o masie cząsteczkowej 9 200 000 g/mol) [L. 2–4] i PTFE+CrO (politetrafluoroetylen z dodatkiem tlenku chromu) [L. 5–7]. Producent kompozytu PTFE+CrO nie podaje w swoich materiałach informacyjnych zawartości procentowej CrO [L. 7]. Udostępnia jedynie informację, że zużycie objętościowe tego kompozytu jest dziesięciokrotnie mniejsze od zużycia nie-domieszkowanego PTFE. Próbkę osadzono z niewielkim wciskiem w pierścieniu; kontrolowano zmianę średnicy $\varnothing 35$.

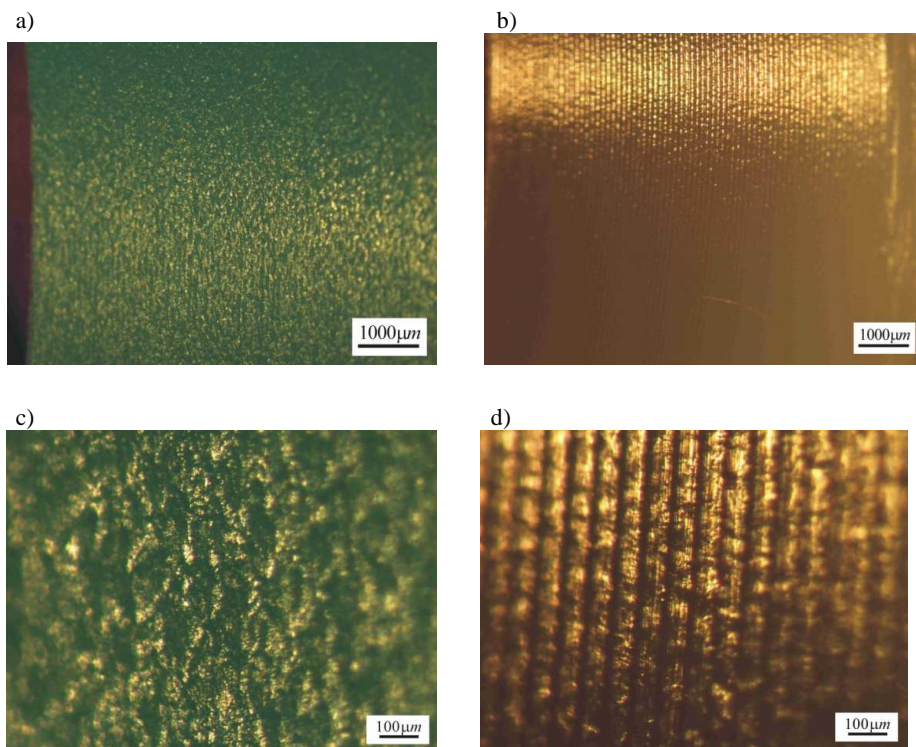


Rys. 3. Wymiary próbek wykonanych z PE-UHMW i kompozytu PTFE+CrO

Fig. 3. Dimensions of a sample made of PE-UHMW material and PTFE+CrO composite

Wszystkie próbki wykonano na tokarce CNC, nie zmieniając ustawienia noży skrawających, z jednakowymi parametrami obróbczymi [L. 8, 9]. Dodatkowy otwór na zewnętrznej średnicy kołnierza próbek (Rys. 3) służy do zabezpieczenia ich przed obrotem po zamocowaniu w pierścieniu. Szerokość całkowita próbek wynosiła 10 mm, a wysokość kołnierza 2 mm. Przeciwpółki wykonano ze stali kwasoodpornej 316, a ich wymiary wynosiły $\varnothing 35 \times h 7$

z jednostronną fazą wprowadzającą $0,5-30^\circ$, a szerokość 10,5 mm. Przeciwpółki osadzono bezpośrednio na wałku maszyny badawczej. Przed rozpoczęciem badań tzw. zużyciowych sfotografowano pod mikroskopem powierzchnie próbek (**Rys. 4**) i przeciwpółek (**Rys. 6**) oraz zmierzono chropowatości powierzchni przeciwpółek. Stwierdzono płytsze ślady obróbki na powierzchni PTFE+CrO w porównaniu z powierzchnią PE-UHMW (**Rys. 4**), co wynika najprawdopodobniej z gorszej skrawalności PTFE.



Rys. 4. Porównanie struktur powierzchni próbek z PTFE+CrO Rys. 4a, c oraz z PE-UHMW Rys. 4b, d: a) i b) powiększenie x10; c) i d) powiększenie x63

Fig. 4. Comparison of surface structures of samples made of PTFE+CrO Fig. 4 a, c and PE-UHMW materials Fig. 4b, d: a) and b) enlargement x10; c) and d) enlargement x63

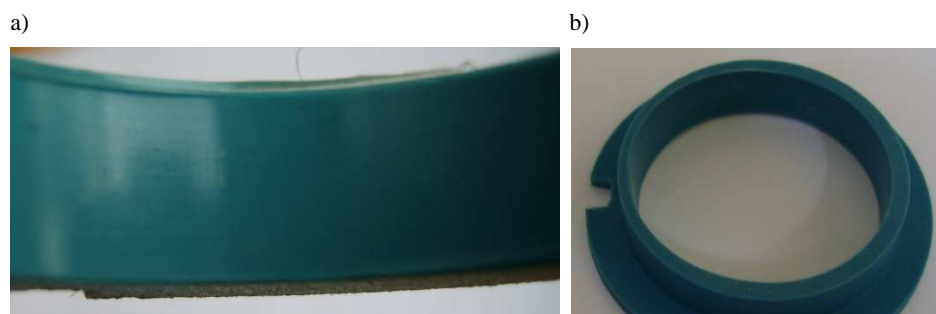
Podstawowe parametry chropowatości przeciwpółki wynosiły $R_a \approx 0,35 \mu\text{m}$, $R_z \approx 3 \mu\text{m}$, a powierzchnia nośna $R_{mr} > 55\%$ [**L. 10**], co spełnia wymagania dotyczące przygotowania powierzchni ślizgowych. Badania wykonywano w trybie ciągłym przez 12 godzin. Przeciwpółka o średnicy zewnętrznej 35 mm obracała się z prędkością 90 obr./min ($v \approx 0,16 \text{ m/s}$). Na jej obwodzie

umieszczono osadzoną w pierścieniu próbkę. Jako ciecz chłodząco-smarującą użyto wody w obiegu zamkniętym.

WYNIKI BADAŃ

Do oceny zużycia ściernego zastosowano metodę wagową. Próbki dokładnie zważono przed badaniami i po ich badaniu. Średnie zużycie próbek z PE-UHMW wyniosło 25 mg (ok. 0,6%), natomiast próbek z PTFE+CrO 399 mg (ok. 4,5%). Badano po osiem próbek.

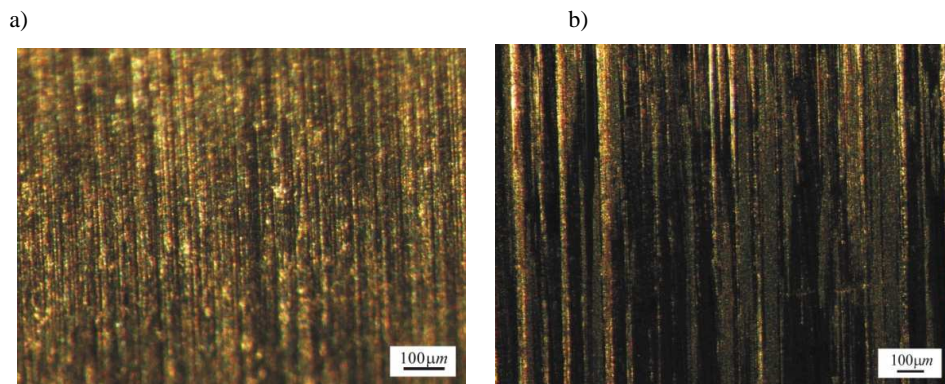
Stwierdzono poza zużyciem ściernym [L. 11] wystąpienie pełzania PTFE (**Rys. 5a**); widoczne na brzegach powierzchni ślizgowych przeciwpróbek. Jednocześnie, w miejscu przyłożenia obciążenia, ścianka próbki uległa pocienieniu średnio o 40%, z 2,5 mm do 1,5 mm (**Rys. 5b**). Zjawisko powolnego plastycznego odkształcania się PTFE nastąpiło pod wpływem tarcia i działania obciążenia.



Rys. 5. Próбка z PTFE+CrO: a) w górnej części widoczny efekt pełzania; b) cieńsza ścianka naprzeciw rowka

Fig. 5. PTFE+CrO sample: a) noticeable creeping effect on the top; b) thinner side in front of groove

W próbkach z PE-UHMW nie doszło do podobnego zjawiska, ścianki nie uległy zużyciu i odkształceniu (grubość mierzono suwniarką), a nieznaczne wypłynięcie polimeru zauważono dopiero pod lupą. Pod wpływem tarcia nastąpiło przeniesienie polimeru na powierzchnię przeciwpróbki (**Rys. 6b**); widoczne w postaci ciemnych pól. Spowodowało to powstanie polimerowego filmu smarowego, który w krytycznych momentach braku smarowania (np. podczas rozruchu) może zmniejszyć tarcie, nie niszcząc układu łożyskowego [L. 12]. Powstawanie filmu smarowego jest początkiem zużycia adhezyjnego. Warunkiem stabilnej pracy próbek z PE-UHMW i mniejszego zużycia, w porównaniu z kompozytami PTFE, jest zastosowanie odpowiedniego czynnika chłodząco-smarującego i ciągłości jego podawania w miejsce tarcia [L. 13–15].



Rys. 6. Powierzchnia przeciwpróbki: a) przed badaniem powiększenie x63, b) po badaniu, powiększenie x63. Miejsca błyszczące – wierzchołków nierówności powierzchni

Fig. 6. Surface of an anti-sample: a) before the research enlargement x63, b) after the test, enlargement x63. Glossy surfaces: surface roughness crests

PODSUMOWANIE

Z badań wynika jednoznacznie, że PE-UHMW można stosować na elementy ślizgowe ruchu obrotowego, z powodzeniem zastępując kompozyty z PTFE. Brak czynnika chłodzącego podczas ciągłej pracy węzła łożyskowego PE-UHMW/metal, ze względu na niską roboczą temperaturę polimeru (+80°C), może wywołać nieodwracalne zniszczenie łożyska. Przy jednakowym obciążeniu PE-UHMW jest znacznie mniej podatny na pełzanie, a jego odporność na zużycie jest wyższa niż kompozytu PTFE+CrO. Zlokalizowanie miejsca zużycia próbek z PE-UHMW bez zmierzenia suwmiarką jest niemożliwe.

Bezczelowe, jak wynika z badań, jest zatem dodatkowe chromowanie czołów wałów współpracujących z obrotowymi elementami polimerowymi. Dodać trzeba, że niewłaściwe chromowanie powierzchni skutkuje powstaniem mikroostrzy skrawających, które poza zużyciem ściernym i pełzaniem (PTFE), wprowadza mikroskrawanie obrzeżami płytek chromu. W zastosowaniach obrotowych szlifowanie powierzchni stali nierdzewnej w zupełności wystarczy [L. 16]. Podczas projektowania węzłów ślizgowych z kompozytów PTFE należy uwzględnić ich podatność na pełzanie. Zachodzi tu konieczność ograniczenia tego niekorzystnego zjawiska, co w praktyce oznacza wykonywanie faz na powierzchniach zewnętrznych i wewnętrznych pierścieni ślizgowych. Można także wykorzystywać pełzanie, jeśli narzuci się określony jego kierunek, np. w pierścieniach przeciwwyciskowych stosowanych w hydraulice maszynowej (siłowej) [L. 17].

LITERATURA

1. Koszkuł J., Torchała I.: Badania tribologiczne kompozytów na osnowie politetrafluoroetyleny, [w:] „Postęp w przetwórstwie tworzyw termoplastycznych”. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1995, s. 165–172.
2. www.celanese.com
3. www.ticona.com
4. www.mikro-technik.com
5. www.dupont.com
6. www.fluon.com
7. www.fluorten.it
8. www.ensinger.pl
9. www.test.pl
10. PN-EN ISO 4287 Specyfikacje geometrii wyrobów – Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa. Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni.
11. Lawrowski Z.: Tribologia – Tarcie, Zużywanie i Smarowanie. PWN, Warszawa 1993.
12. www.tribologia.org
13. Blanced T.A., Kennedy F.E.: Sliding wear mechanism of polytetrafluoroethylene (PTFE) and PTFE composites. *Wear*, 153 (1992), s. 229–243.
14. Van Loon J.-P., Verkerke G.J., de Bont L.G.M., Liem R.S.B.: Wear-testing of a temporomandibular joint prosthesis: UHMWPE and PTFE against a metal ball, in water and in serum. *Biomaterials* 20 (1999), s. 1471–1478.
15. Xiong D., Ge S.: Friction and wear properties of UHMWPE/Al₂O₃ ceramic under different lubricating conditions. *Wear*, 250 (2001), s. 242–245.
16. Barcik J., Okularczyk W., Rawicki N.: Hydrauliczne złącze obrotowe do pracy w szczególnie trudnych warunkach. *Hydraulika i Pneumatyka*, z. 1/2007.
17. Blanced T.A., Kennedy F.E.: Sliding wear mechanism of polytetrafluoroethylene (PTFE) and PTFE composites. *Wear*, 153 (1992), s. 229–243.

Summary

This article presents investigations of the wear of polymer slide bearings. PE-UHMW and composite PTFE were used to manufacture these bushings. A test rig for the rotary movement of cylindrical bearings was constructed. The internal surface of a cylinder made of polymer was the test sample, and an external surface of a convex cylinder made of acid resistance steel 316 with a roughness surface $R_a = 0.35 - 0.4 \mu\text{m}$ was the anti-sample. The diameter of an anti-sample was 35mm. The width of the joint was 10mm. The load was 230 N, and the linear velocity was 0.16 m/s. For cooling and lubrication of the friction junction, water in a closed system was used. Images of the working surfaces before and after the tests are presented, analyses of the modes of wear are made, and the values of wear are determined with aid of the weight method. A seven times larger resistance of elements made of PE-UHMW for abrasion was found when compared to composite PTFE.