

Janusz MUSIAŁ<sup>1</sup>, Robert POLASIK<sup>2</sup>, Tomasz KAŁACZYŃSKI<sup>1</sup>, Marek SZCZUTKOWSKI<sup>3</sup>

e-mail: janusz.musial@utp.edu.pl

<sup>1</sup> Zakład Inżynierii Pojazdów,<sup>2</sup> Zakład Inżynierii Produkcji,<sup>3</sup> Zakład Systemów Technicznych,

Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

## Ocena współpracujących powierzchni tocnych par kinematycznych na podstawie zużycia liniowego

### Wstęp

Jedną z wielkości opisujących cechy eksploatacyjnej warstwy wierzchniej jest zużywanie. Proces ten ma różny charakter w zależności od kinematyki ruchu, doboru materiałów elementów współpracujących, obciążeń, chropowatości powierzchni, warunków smarowania, itp. [Petropoulos i in., 2003; Pawlus i Grabon, 2008; Matuszewski i in. 2012]. Chropowatość powierzchni (stereometria) jest jednym z głównych czynników, oprócz warunków pracy węzła tribologicznego i właściwości materiałowych, mających wpływ na występowanie i rodzaj zużycia [Krzyszak i Pawlus, 2006], zwłaszcza w początkowym okresie współpracy elementów tocnych (docierania).

W przypadku zużycia zerowego (gdy zużycie liniowe jest mniejsze od maksymalnej chropowatości powierzchni lub ubytek materiału jest mniejszy niż połowa nierówności chropowatości), gdy ślady obróbki są zachowane na powierzchni istnieją trudności w określeniu zużycia. Wyznaczenia tej cechy eksploatacyjnej warstwy wierzchniej można dokonać na podstawie pomiarów SGP w tym samym miejscu przed i po badaniach [Musiał, 2014].

Celem badań było określenie i opisanie zależnościami matematycznymi zmian cech użytkowych elementów tocnych par kinematycznych, takich jak: zużycie liniowe podczas ich eksploatacji w początkowym okresie użytkowania.

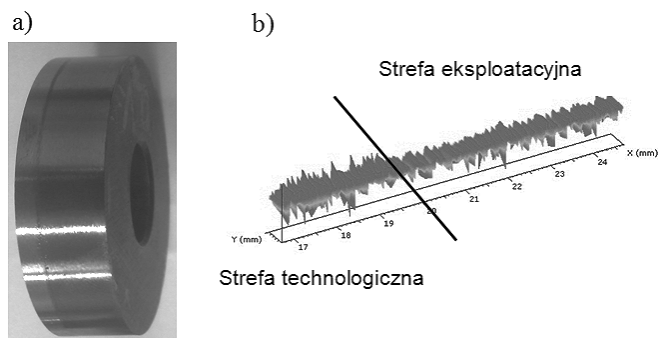
### Metodyka i obiekt badań

Jako obiekt badań przyjęto walcowe łożyska toczone. Ze względu na charakter obciążenia, kinematykę elementów łożyska i istotę działania takich par kinematycznych w warunkach rzeczywistych, większe zmiany zachodzą na pierścieniu wewnętrznym i dlatego w badaniach obserwowano zmiany zachodzące na tych powierzchniach. Bieżnie łożysk toczone i elementy toczone wykonuje się głównie ze stali węglowo-chromowych. Zazwyczaj stal ta jest poddawana obróbce cieplnej, w wyniku której uzyskiwana jest twardość w zakresie od 55 do 65 HRC. Ze względu na szerokie stosowanie tego typu stali w łożyskach toczone walcowych, do badań przyjęto próbki wykonane ze stali łożyskowej o oznaczeniu 100Cr6 (dawne ŁH15).

Badania eksploatacyjne przeprowadzono na maszynie zużyciowej *AMSLER A 135*, dla skojarzenia stal-stal przy obciążeniu siłą osiową równą 1,8 kN.

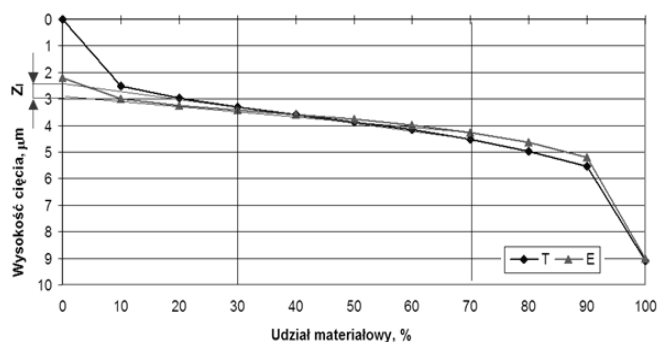
W celu określenia zużycia liniowego metodą profilometryczną pożądane jest wykonywanie pomiarów struktury geometrycznej powierzchni w tym samym miejscu przed próbą i po próbie zużyciowej. W badaniach eksploatacyjnych zaproponowano metodę pomiaru polegającą na ocenie powierzchni podzielonej na dwie strefy. Pierwsza strefa (nie podlegała użytkowaniu) powstała w wyniku procesu technologicznego, druga powstała pod wpływem działania wymuszeń zewnętrznych w ustalonym czasie eksploatacji [Musiał, 2014]. Widok tych stref przedstawiono na rys. 1.

Metoda ta pozwala na ocenę chropowatości, otrzymanej w różnych etapach użytkowania, na jednej powierzchni. Nie jest konieczne ściśle określenie miejsca pomiaru przed eksploatacją i po eksploatacji powierzchni współpracujących. Do pomiaru parametrów struktury geometrycznej powierzchni zastosowano profilografometr firmy *Mahr*.



Rys. 1. Strefy powierzchni w badaniach eksploatacyjnych: a) widok próbki, b) mierzona topografia

Przy niewielkim zużyciu nie łatwe jest określenie zużycia liniowego. Wartość tego zużycia określano na podstawie przedłużenia liniowych fragmentów krzywych nośności, odpowiadających 30÷70% udziału materiałowego i przecięciu z osią rzędną [Kumar i in., 2000]. Otrzymaną różnicę przyjęto jako miarę zużycia liniowego  $Z_L$ . Zastosowaną metodę przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Metoda określenia zużycia liniowego w badaniach eksploatacyjnych (T – krzywa dla powierzchni technologicznej, E – krzywa dla powierzchni eksploatacyjnej)

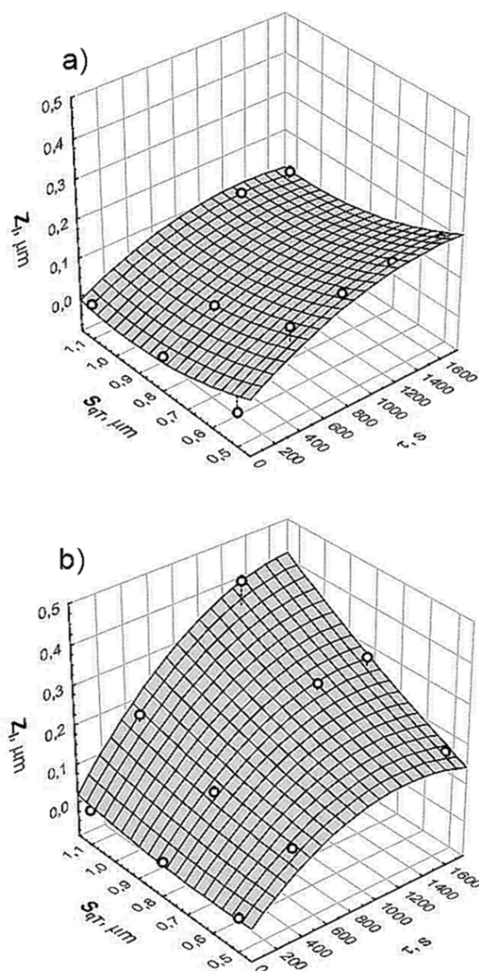
### Wyniki i ich analiza

Struktura geometryczna powierzchni jest jednym z głównych czynników mających wpływ na występowanie oraz rodzaj zużycia. Nierówności powierzchni decydują o wartości zużycia – zwłaszcza w początkowym etapie pracy skojarzenia. Okres ten zależy od topografii powierzchni i sam wywołuje jej zmianę.

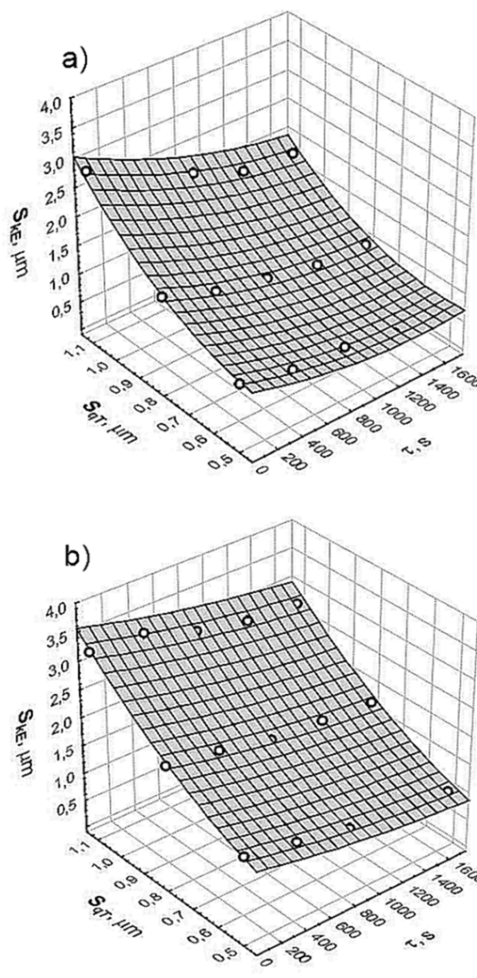
Próbki do badań eksploatacyjnych przygotowane przez toczenie i szlifowanie. Otrzymane wyniki przedstawiono na rys. 3.

Dla powierzchni szlifowanych zużycie liniowe zmniejsza się wraz ze wzrostem gładkości powierzchni poddanych procesowi eksploatacji.

Inny charakter ma krzywa powierzchniowa dla próbek wykonanych toczeniem. Intensywność zużycia również wzrasta w czasie eksploatacji lecz gradient wzrostu jest mniejszy niż dla powierzchni szlifowanych. Jest to spowodowane sinusoidalnym charakterem topografii otrzymanej po obróbce zdefiniowaną geometrią narzędzia.



Rys. 3. Zależność intensywności zużycia  $Z_l$  od czasu eksploatacji  $\tau$  i chropowatości początkowej powierzchni określonej parametrem średniego kwadratowego odchylenia rzędnych  $S_{qT}$  otrzymanych w wyniku: a) toczenia, b) szlifowania



Rys. 4. Zależność wysokości chropowatości rdzenia  $S_{KE}$  od czasu eksploatacji  $\tau$  i chropowatości początkowej powierzchni określonej parametrem średniego kwadratowego odchylenia rzędnych  $S_{qT}$  otrzymanych w wyniku: a) toczenia, b) szlifowania

Określone w ten sposób zużycie opisano następującymi zależnościami:

– dla próbek wykonanych toczeniem

$$Z_l = 0,004 \cdot \tau^{0,426} \cdot S_{qT}^{-1,384}, [\mu\text{m}] \quad (1)$$

– dla próbek szlifowanych

$$Z_l = 0,006 \cdot \tau^{0,538} \cdot S_{qT}^{0,891}, [\mu\text{m}] \quad (2)$$

Powyższe zależności wyrażają zużycie liniowe od czasu pracy pary toczonej i chropowatości początkowej powierzchni roboczych tych par. Wartości współczynników korelacji i determinacji na poziomie 0,96 świadczą o odpowiednio dobranych modelach.

Parametrem struktury geometrycznej powierzchni o dużym współczynniku korelacji z zużyciem liniowym zarówno dla próbek toczonej i szlifowanych jest parametr  $S_{KE}$  (wysokość chropowatości rdzenia). Na podstawie jego zmian można oceniać proces zużywania. Na rys. 4 przedstawiono zależność wysokości chropowatości rdzenia  $S_{KE}$  od czasu eksploatacji i chropowatości powierzchni toczonej i szlifowanych. Badane powierzchnie szlifowane cechowały się mniejszymi wartościami tego parametru od powierzchni toczonej. Mała wartość  $S_{KE}$  świadczy o tym, że profil chropowatości ma charakter powierzchni typu *plateau*.

### Wnioski

Otrzymane wyniki badań świadczą o tym, iż zużycie liniowe dla małej chropowatości początkowej są zbliżone dla obu powierzchni,

wraz ze wzrostem nierówności zużycie jest mniejsze dla bieżni wykonanych obróbką toczenia.

Przedstawione zależności matematyczne zużycia liniowego od czasu eksploatacji oraz od parametru struktury geometrycznej powierzchni mogą stanowić narzędzie prognozowania zmian zachodzących w warstwie wierzchniej łożysk toczonej.

### LITERATURA

Krzyżak Z., Pawlus P., (2006). "Zero-wear" of piston skirt surface topography. *Wear* 260(4-5), 554-561. DOI: 10.1016/j.wear.2005.03.038

Kumar R., Kumar S., Prakash B., Sethuramiah A., (2000). Assessment of engine liner wear from bearing area curves. *Wear* 239(2), 282-286. DOI: 10.1016/S0043-1648(00)00331-8

Matuszewski M., Musiał J., Styp-Rekowski M. (2012). Procedura doboru warunków i parametrów procesu technologicznego w aspekcie cech eksploatacyjnej warstwy wierzchniej. *Tribologia* 6, 113-119

Musiał J. (2014). Wpływ wybranych czynników na opory ruchu w tocznym węźle tribologicznym. *Tribologia* 4, 85-92

Musiał J., (2014). Znaczenie topografii powierzchni w transformacji warstwy wierzchniej walcowych par tocznych. Wyd. UTP, Bydgoszcz

Pawlus P., Grabon W., (2008). The method of truncation parameters measurement from material ratio curve. *Precision Engineering* 32(4), 342-347. DOI: 10.1016/j.precisioneng.2008.01.002

Petropoulos G.P., Torrance A.A., Pandazaras C.N., (2003) Abbott curves characteristics of turned surfaces. *Int. J. Machine Tools Manuf.*, 43(3), 237-243. DOI: 10.1016/S0890-6955(02)00240-7