

Zmiana geometrycznych cech współpracujących powierzchni miarą intensywności procesu zużywania ostrzy skrawających

JAROSŁAW ROBERT MIKOŁAJCZYK *

Przedmiotem badań opisanych w niniejszej pracy jest proces zużywania elementów pary ciernej ze stykiem konforemnym zachodzący w obecności medium eksploatacyjnego z dodatkiem modyfikującym o zdefiniowanym składzie. Proces zużywania analizowano w aspekcie zmiany cech geometrycznych współpracujących elementów, a więc wielkości, najczęściej wykorzystywanych jako wskaźniki zużycia narzędzi skrawających.

1. Wprowadzenie

Procesy zużywania są praktycznie nieodłącznie związane z funkcjonowaniem obiektów technicznych. Wpływają one destrukcyjnie na ich stan techniczny, prowadząc do uszkodzeń. Większość tych uszkodzeń inicjowanych jest w warstwie wierzchniej (WW) współpracujących elementów, dlatego też właśnie warstwie tej nadaje się cechy zwiększające odporność na działanie wymuszeń podczas pracy maszyn i urządzeń. Warstwa wierzchnia jest więc obiektem badań prowadzonych w wielu ośrodkach naukowych. Stwierdzono, że od cech warstwy wierzchniej ukonstruowanej w wyniku realizacji złożonego procesu technologicznego zależy mechanizm i intensywność procesu zużywania [1, 13, 14, 15]. Powyższe stwierdzenia dotyczą także narzędzi skrawających, których trwałość ostrzy determinuje efektywność procesów wytwarzania.

2. Procesy zużywania ściernego

Procesy zużywania ściernego zachodzą w WW jako rezultat tarcia występującego między współpracującymi ele-

mentami. Na skutek tego mogą występować takie zjawiska jak: zmiany wymiarów geometrycznych i masy, a także struktury i własności fizycznych warstw wierzchnich obszarów styku. Intensywność zużywania jest funkcją różnego rodzaju wymuszeń zewnętrznych oraz cech tworzyw konstrukcyjnych warstw wierzchnich w aspekcie odporności na występujące wymuszenia.

Warstwę wierzchnią zdefiniowano w polskiej normie [11] jako: „...warstwa materiału ograniczona rzeczywistością powierzchnią przedmiotu, obejmująca tę powierzchnię oraz część materiału w głąb od powierzchni rzeczywistej, która wykazuje zmienione cechy fizyczne, a czasem chemiczne w stosunku do cech tego materiału w głębi przedmiotu”. Norma ta, chociaż formalnie wycofana (bez wprowadzenia zamiennika) zawiera wszystkie istotne cechy jakimi charakteryzuje się WW.

Warstwa wierzchnia WW elementów maszyn konstruowana podczas procesu wytwarzania jest nazywana technologiczną warstwą wierzchnią (TWW). Jej cechy, tzn. właściwości, własności

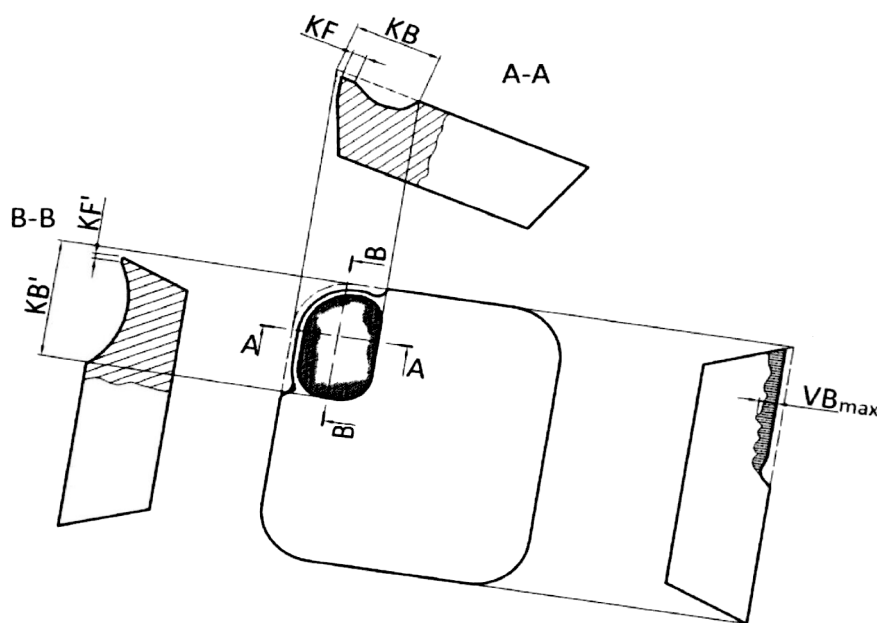
i struktura, w największym stopniu zależą od parametrów i rodzajów stosowanej obróbki wykończeniowej oraz od rodzaju tworzywa konstrukcyjnego, z którego wykonano współpracujące elementy.

Uzyskane w procesie produkcji cechy technologiczne nie są stałe. Pod wpływem eksploatacyjnych wymuszeń zewnętrznych, m.in. oddziaływania środowiska, obciążenia lub temperatury, ulegają one zmianom. Zmiany te mogą wystąpić również samorzutnie, tzn. bez udziału czynników zewnętrznych. Warstwa wierzchnia w tej fazie istnienia maszyny nazywa się eksploatacyjną warstwą wierzchnią (EWW). W tej fazie proces zużywania zachodzi z największą intensywnością, powodując zmiany w strukturze stereometrycznej powierzchni, nazywanej częścią strukturą geometryczną powierzchni (SGP).

Do grupy parametrów opisujących SGP decydujących o właściwościach i właściwościach WW zalicza się parametry określające następujące cechy powierzchni:

- chropowatość;
- kierunkowość;
- falistość,
- defekty SGP.

* Dr inż. Jarosław Robert Mikołajczyk Akademia Nauk Stosowanych im. Stanisława Staszica w Pile, Katedra Inżynierii Mechanicznej; e-mail: jmikolajczyk@ans.pila.pl.



Rys. 1. Wskaźniki zużycia ostrza skrawającego [4]

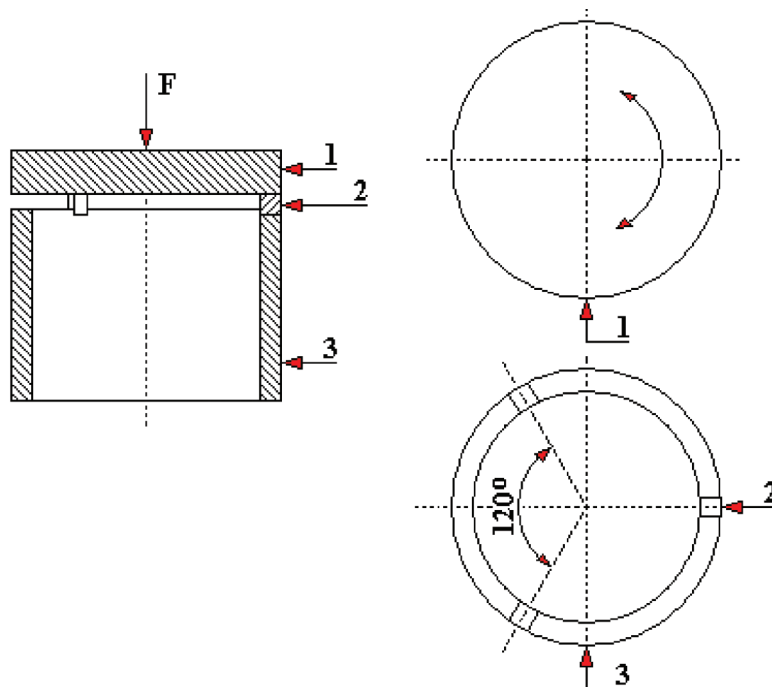
Zgodnie z definicją zawartą w normie [10], chropowatość powierzchni określana jest jako „zbiór nierówności powierzchni rzeczywistej, umownie określanych jako odchyłki profilu zmierzonego od linii odniesienia w granicach odcinka, na którym nie uwzględnia się odchyłek falistości i kształtu.” Parametry chropowatości, określające SGP zostały sklasyfikowane w następujących grupach:

- parametry pionowe (amplitudowe);
- parametry poziome (odległościowe, horizontalne);
- parametry hybrydowe (mieszane);
- charakterystyczne krzywe.

W przypadku narzędzi skrawających, skutek procesu zużycia obserwowany jest nie tylko jako zmiany w SGP ostrza skrawającego lecz także jako kształt i wymiary ubytków powstających na jego powierzchniach roboczych – rys. 1.

Charakter styku ostrza z obrabianą powierzchnią jest mieszany. Krawędź ostrza jest w styku skoncentrowanym z materiałem obrabianym, natomiast powierzchnie funkcyjne ostrza są z nim w styku konforemny. Przedstawione na rys. 1 wskaźniki mają wymiar liniowy, o intensywności procesu zużycia świadczyć zatem będzie gradient zmian cech geometrycznych ubytków powstałych w wyniku procesu zużycia.

Podstawowym sposobem zmniejszającym intensywność procesu zużycia 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 zużycia elementów pary ciernej,



Rys. 2. Schemat współpracy próbek z przeciwpórką: 1 – przeciwpórką; 2 – próbka; 3 – podstawa do mocowania próbek (tuleja ustalająca próbki); F – siła docisku [9]

można dobrać dodatki smarowe w taki sposób, aby podczas eksploatacji zapewniły minimalne zmiany w warstwie wierzchniej, a zarazem jak najdłuższy czas pracy z niezmiennymi rezultatami.

Celem prezentowanych badań było określenie intensywności procesu zużycia w zdefiniowanych warunkach, a także zweryfikowanie hipotezy dotyczącej możliwości wykorzystania zmian wymiarów liniowych jako miary intensywności procesu zużycia w środowisku smarowanym medium z dodatkami modyfikującymi. Intensywność procesu zużycia określano na podstawie obserwowanych zmian wybranych parametrów chropowatości.

3. Warunki badań

Na rys. 2 przedstawiono ogólną zasadę współpracy próbki z przeciwpórką realizowanej na stanowisku badawczym. Na powierzchni czołowej tulei ustalającej (3) mocuje się nieruchomo badane próbki (2) w trzech rowkach, które są wykonane co 120°. Uzyskuje się w ten sposób trójpowierzchniowy, równomiernie rozłożony docisk siłą F współpracujących elementów, realizowany poprzez napięcie sprężyny. Oscylacyjny ruch względny wykonuje przeciwpórką (1).

Próbki wykonane były z ulepszonej cieplnie stali C45 o twardości 40HRC, natomiast przeciwpróbka wykonana była ze stali 102Cr6 zahartowanej do twardości 60 HRC. Twardość przeciwpróbki zdecydowanie przewyższała (o 50%) twardość próbek po to, aby zmiany stanu struktury geometrycznej powierzchni występowały przede wszystkim w warstwie wierzchniej próbek. Próbki z przeciwpróbką współpracowały przy obciążeniu zewnętrznym wynoszącym 600 N, co przy powierzchni styku próbek z przeciwpróbką wynoszącym 300 mm², odpowiada teoretycznym naciskom w strefie styku 2.0 MPa. Prędkość ruchu względnego podczas badań wynosiła 0,16 m/sek. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na Rys. 3.

Zmiany zachodzące w warstwie wierzchniej obserwowano mierząc parametry chropowatości ze zbioru parametrów pionowych: R_a (jako parametru najczęściej stosowanego w praktyce przemysłowej) oraz R_q .

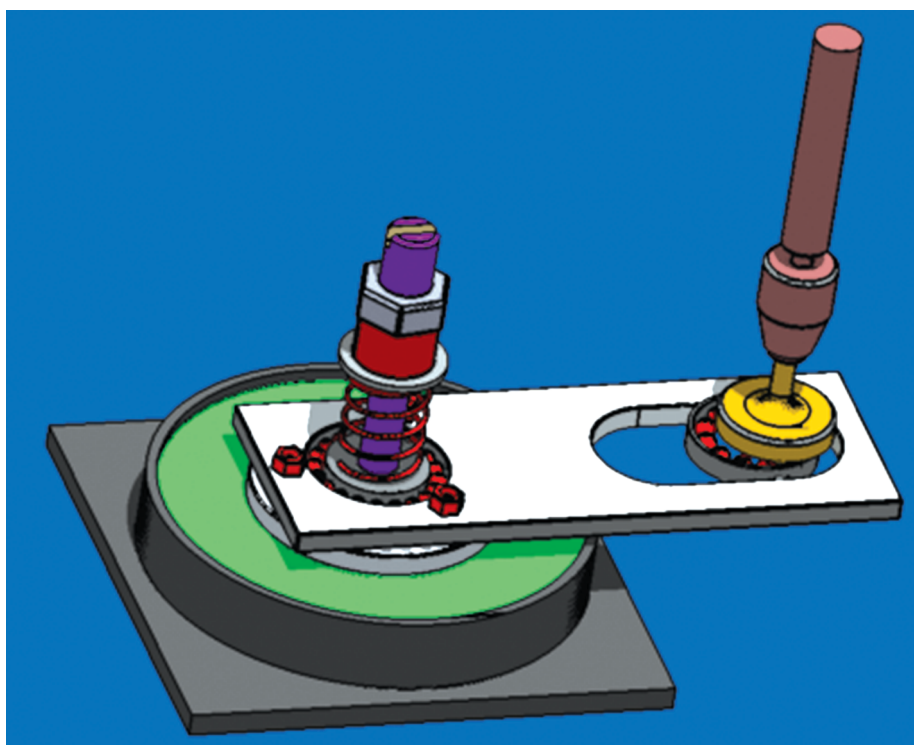
Parametr R_a , czyli średnia arytmetyczna rzędnych profilu ma charakter uśredniający i dlatego nie stanowi informacji o kształcie profilu. Jest on niezależny od tego, czy profil ma wierzchołki czy wgłębienia. W niniejszej pracy parametr ten poddano analizie w zależności od stężenia wybranych dodatków smarowych.

Parametr R_q będący średnią kwadratową rzędnych profilu chropowatości jest równocześnie odpowiednikiem odchylenia standardowego wartości rzędnych wewnątrz odcinka pomiarowego. Parametr ten ma w większym stopniu charakter statystyczny niż R_a . Jego wartość jest bardziej zależna od pojedynczych wzniesień i wgłębień niż R_a .

Pomiary parametrów opisujących strukturę geometryczną powierzchni dokonywano za pomocą profilografometru Hommel Tester 2000 firmy Hommel Werke.

Na podstawie badań wstępnych przyjęto wartość drogi tarcia wynoszącą 2000 m. Dla tej drogi tarcia w przypadku stosowania jako środka smarnego czystej bazy olejowej SN-150 następuje stabilizacja badanych czynników.

Jako dodatki do bazy olejowej SN-150 wybrano preparaty eksploatacyjne Motor Life oraz Mind M. Przy ich wy-



Rys. 3. Stanowisko do badań tribologicznych [8]

borze kierowano się następującymi kryteriami:

- dostępność;
- mechanizm działania;
- przeznaczenie.

Pierwszy z w/w preparatów jest szeroko rozpowszechniony w Polsce. Powoduje modyfikację warstwy wierzchniej poprzez wytworzenie warstwy granicznej w wyniku sorpcji fizycznej i chemicznej. Zawiera syntetyczne komponenty bazo-we, dodatki przeciwdziałające zużyciu, antyutleniające, związki przeznaczone do pracy w ekstremalnych ciśnieniach. Preparat Mind M natomiast stanowi kompleks węglowodorowy łączący się chemicznie z metalem podłoża, tworząc mikroskopijną jednocząsteczkową niewypłukiwalną warstwę. Rozkłada siły nacisku na większą powierzchnię, tym samym zwiększając trwałość materiałów konstrukcyjnych. Wchodzi w reakcje z podłożem metalicznym (żelaznym lub nie-żelaznym) głównie w miejscach o podwyższonej temperaturze procesu tarcia [2, 3, 5, 6].

Producenci w/w preparatów zalecają stosowanie 5% ich stężenia w bazie olejowej. W niniejszej pracy przyjęto stężenia zarówno mniejsze od tej wartości jak i większe w celu lepszego poznania ich

działania. Przyjęto więc następujące stężenia: 0% (czysta baza olejowa); 0,5%; 1%; 2%; 5% i 7% (wagowo) badanego dodatku w bazie olejowej. Trzecim preparatem eksploatacyjnym (PE) była kompozycja składająca się z Motor Life'u i Mind'u M w stosunku 1:1 o w/w stężeniach [7].

4. Wyniki badań

W Tabeli 1 zestawiono otrzymane wartości parametrów R_a oraz R_q dla badanych stężeń preparatów eksploatacyjnych.

Na podstawie analizy danych zawartych w Tabeli 1 można stwierdzić, że w wyniku procesu eksploatacji wartość badanego parametru R_a zmieniała się następująco:

- dla stężeń PE Motor Life w oleju bazowym SN-150 równych: 1%; 2% oraz 7% R_a zmniejszył swoją wartość po zużyciu;
- dla stężeń PE Mind M w oleju bazowym SN-150 równych: 1%; 2% oraz 7% R_a zmniejszył swoją wartość po zużyciu;
- dla stężeń PE Komp w oleju bazowym SN-150 równych: 1%; 2%; 5% oraz 7% R_a zmniejszył swoją wartość po zużyciu.

W/w wyniki świadczą o trendzie do zmniejszania się wartości parametru R_a jako skutku procesu zużywania, co można przyjąć jako zjawisko naturalne.

Tabela 1. Wartości parametrów Ra oraz Rq dla różnych stężeń badanych preparatów eksploatacyjnych

Środek smarowy	Stężenie %	Ra przed zużyciem, μm	Rq przed zużyciem, μm	Krotność Rq przed zużyciem	Ra po zużyciu, μm	Rq po zużyciu, μm	Krotność Rq po zużyciu
SN-150	0%	0,08	0,10	1,25	0,24	0,31	1,30
Motor Life + SN-150	0,5%	0,07	0,09	1,29	0,20	0,28	1,40
	1%	0,20	0,26	1,30	0,19	0,25	1,32
	2%	0,18	0,23	1,28	0,17	0,22	1,29
	5%	0,20	0,26	1,30	0,20	0,26	1,30
	7%	0,19	0,25	1,32	0,18	0,24	1,33
Mind M + SN-150	0,5%	0,24	0,31	1,29	0,24	0,31	1,29
	1%	0,25	0,32	1,28	0,24	0,31	1,29
	2%	0,22	0,28	1,27	0,21	0,27	1,29
	5%	0,22	0,29	1,32	0,22	0,28	1,27
	7%	0,25	0,32	1,28	0,24	0,31	1,29
PE Komp + SN-150	0,5%	0,20	0,26	1,30	0,20	0,26	1,30
	1%	0,19	0,23	1,21	0,18	0,22	1,22
	2%	0,18	0,24	1,33	0,16	0,21	1,31
	5%	0,24	0,31	1,29	0,22	0,28	1,27
	7%	0,19	0,24	1,26	0,17	0,22	1,29



Tabela. 2. Średnie wartości krotności parametru Rq względem parametru Ra dla badanych preparatów eksploatacyjnych

Badany PE	Krotność Rq przed zużyciem	Krotność Rq po zużyciu
SN-150	1,25 Ra	1,30 Ra
PE Motor Life + SN-150	1,30 Ra	1,33 Ra
PE Mind M+ SN-150	1,29 Ra	1,29 Ra
PE Komp+ SN-150	1,28 Ra	1,28 Ra

Stwierdzono również, że dla stężenia PE Motor Life równego 0,5% nastąpiło zwiększenie wartości parametru Ra po zużywaniu. O ile zmniejszenie wartości parametru Ra stanowiące zmniejszenie średnich arytmetycznych bezwzględnych wartości rzędnych profilu chropowatości $R(x)$ można wytłumaczyć naturalnym procesem zużywania, o tyle jego wzrost w tym przypadku może świadczyć o tym, że stężenie PE Motor Life jest zbyt małe, aby uzyskać zauważalny pozytywny efekt, tj. zmniejszenie parametru Ra jako skutku procesu zużywania.

Zgodnie z informacjami literaturowymi, np. [12], wartość parametru Rq dla profili losowych o normalnym rozkładzie rzędnych wynosi 1,25 Ra . Jak te zmiany kształtowały się dla poszczególnych stężeń dodatków pokazano w Tabeli 1, natomiast średnie wartości relacji między tymi parametrami uzyskane w niniejszych badaniach zamieszczono w Tabeli 2.

Krotność parametru Rq względem Ra przed procesem zużywania, czyli bezpośrednio po obróbce mechanicznej i po procesie na badanej drodze tarcia praktycznie jest stała. Tym samym można uznać, że badane PE nie wpływają na zmianę rodzaju rozkładu rzędnych mierzonego profilu badanych próbek. Ponadto w/w wyniki świadczą o tym, że rzędne analizowanych parametrów mają rozkład zbliżony do rozkładu normalnego.

5. Podsumowanie i wnioski

W rezultacie przeprowadzonych badań dokonano następujących spostrzeżeń:

- czysta baza olejowa nie zapewnia prawidłowej współpracy elementów wężła tarcowego. Produkty procesu zużywania generują dalszą degradację powierzchni współpracujących elementów na badanej drodze tarcia. Z tego powo-

du nastąpiło znaczne zwiększenie wartości parametrów Ra oraz Rq odpowiednio od 0,08 do 0,24 i od 0,10 do 0,31 μm . Współpracujące powierzchnie nie zostały więc w pełni zabezpieczone przed możliwością wystąpienia tarcia mieszane-go. Celowym wydaje się uzupełnienie składu bazy olejowej o odpowiednie dodatki zmniejszające skutki tarcia;

- zastosowanie niewielkich stężeń, np. 0,5% badanych preparatów eksploatacyjnych może nie zabezpieczyć w pełni powierzchnie współpracujące przed wzajemnym oddziaływaniem powierzchni pary tribologicznej, ponieważ będzie go zbyt mało aby utworzyć cienką warstwę ochronną;

- użyte preparaty eksploatacyjne Motor Life oraz Mind M nie wykazują względem siebie cech antagonizmu, a raczej synergizmu. Świadczą o tym wyniki parametrów Ra oraz Rq dla PE Kompozycja, utworzonego z użytych dwóch preparatów.

Uzyskane w badaniach rezultaty pozwalają także na sformułowanie poniższych wniosków:

- zmiana wymiarów liniowych opisujących współpracujące tarciowo powierzchnie może stanowić miarę intensywności procesu zużywania;

- dodatki smarowe mogą w znaczący sposób zmniejszyć intensywność procesu zużywania, przy czym w tym zakresie istotne są zarówno dobór tych dodatków jak również ich udział w kompozycji (masowy lub objętościowy).

Literatura

- Godet M.: The third body approach: A mechanical view of wear. *Wear*, vol. 100, 1 ÷ 3/1984, pp. 437 ÷ 452.
- Laber S.: Badania własności eksploatacyjnych i smarnych uszlachetniacza

metalu Motor Life Professional. Wydawnictwa Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2003.

- Laber S.: Preparaty eksploatacyjne. Wydawnictwa Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2001.

- Leppert T.: Kształtowanie toczeniem warstwy wierzchniej w warunkach skrawania na sucho lub z minimalnym chłodzeniem i smarowaniem ostrza. Wydawnictwa Uczelniane UTP, s. Rozprawy, nr 151, Bydgoszcz 2011.

- Materiały informacyjne PUPH „MIND” Sp. z o.o., Łochowice, 86-005 Białe Błota.

- Materiały informacyjne Zakładu „PLASTMAL” Sp. z o.o., Warszawa.

- Mikołajczyk J.: Badanie wpływu preparatu eksploatacyjnego Mind M na zmianę własności smarnych oleju bazowego SN-150. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* nr 5/2012, s. 235 ÷ 236.

- Mikołajczyk J.: Maszyny tarcio-we. Budowa, przeznaczenie. Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. S. Staszica, Piła 2018.

- Mikołajczyk J.: Wpływ dodatków smarnych na transformację warstwy wierzchniej. Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. S. Staszica, Piła 2017.

- Norma PN-EN ISO 21920-2:2022-06 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: Profil – Część 2: Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni.

- Norma PN-87/M-04250 Warstwa Wierzchnia – Terminologia.

- Nosal S.: Tribologia. Wprowadzenie do zagadnień tarcia, zużywania i smarowania. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2012.

- Piekoszewski W., Szczerek M., Wiśniewski M.: 2000. Charakterystyki tribologiczne chropowatości powierzchni elementów maszyn. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*, z. 3/2000, s. 43 ÷ 69.

- Rigney D. A., Gleaser W. A.: The significance of near surface microstructure in the wear process. *Wear*, vol. 46, 1/1978, pp. 241 ÷ 250.

- Styp-Rekowski M.: Znaczenie cech konstrukcyjnych dla trwałości skośnych łożysk kulkowych. Wydawnictwa Uczelniane ATR, s. Rozprawy, nr 103, Bydgoszcz 2001. ■