

# PRZECIWZUŻYCIOWE POWŁOKI CERAMICZNO-METALOWE NANOSZONE NA ELEMENT SILNIKÓW SPALINOWYCH

AUTOR: Michał Folwarski

PROMOTOR PRACY: Dr inż. Marcin Kot

UCZELNIA: Akademia Górniczo-Hutnicza Im. Stanisława Staszica  
w Krakowie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki



## Streszczenie pracy dyplomowej (do części dotyczącej Ceramizerów):

Celem pracy jest analiza właściwości powłoki typu Ceramizer wytwarzanej w procesie eksploatacji silnika spalinowego poprzez dodanie środka zawierającego odpowiednie składniki do oleju silnikowego.

Testy przeprowadzono metodą porównawczą tj. jedna część próbek pracowała w kąpeli z czystego oleju maszynowego LA-N 46, a druga część w kąpeli tego samego oleju, lecz z dodatkiem preparatu Ceramizer. Przeprowadzono w ten sposób:

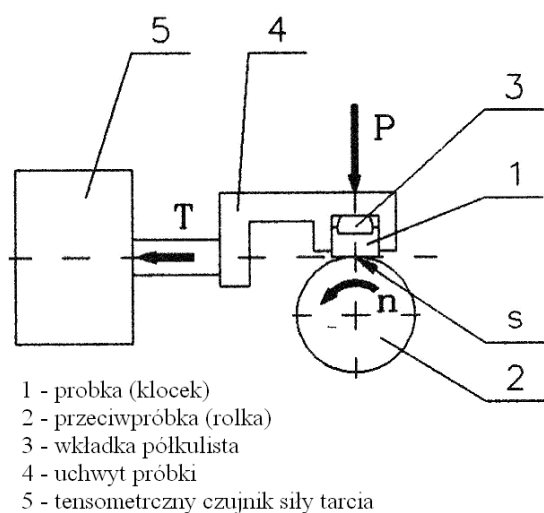
1. Test pomiaru zużycia masowego próbki rolka-klocek.
2. Test pomiaru przebiegu siły tarcia.
3. Test pomiaru lepkości.
4. Test pomiaru adhezji (przyczepności) wytworzonej warstwy metaloceramiki do podłoża metodą testu zarysowania.

## Ad.1 Test pomiaru zużycia masowego próbki rolka-klocek

Test przeprowadzono na maszynie tribologicznej Tester T-05. Urządzenie to służy do oceny odporności na zużycie (tarcie) metali oraz do oceny własności środków smarnych.



Rys. 1. Widok ogólny zespołu testera T-05



Rys. 2. Schemat styku testera T-05

Wykonano dwa testy z użyciem Ceramizera oraz dwa kontrolne bez jego dodatku (każdy trwał 20 h). Para cierna pracowała w warunkach tarcia mieszane przy prędkości obrotowej wrzeciona 400obr/min. Środkiem smarnym był mineralny olej maszynowy AN-46.

Przed rozpoczęciem testów oraz po ich zakończeniu rolki i klocki były czyszczone i ważone na wadze WA35. Wyniki tych pomiarów były notowane w celu określenia zużycia masowego, co prezentuje Tabela nr. 1.

		Masa próbki przed testem [g]	Masa Próbki po teście [g]	Ubytek masowy [g]	Ubytek masowy średni [g]	Zmniejszenie zużycia masowego [%]
<b>dla rolki</b>	bez dodatku Ceramizera	23,1922 / 23,15046	23,19042 / 23,14938	0,00178/ 0,00108	0,00143	-
	z dodatkiem Ceramizera	23,19791/ 23,11205	23,19731/ 23,11179	0,0006/ 0,00026	0,00043	<b>69,93</b>
<b>dla klocka</b>	bez dodatku Ceramizera	8,37635/ 8,38104	8,3746/ 8,3796	0,00175/ 0,00144	0,001595	-
	z dodatkiem Ceramizera	8,38409/ 8,37772	8,38348/ 8,37692	0,00061 0,0008	0,000705	<b>55,8</b>

Tab. 1. Zużycie masowe rolki i klocka

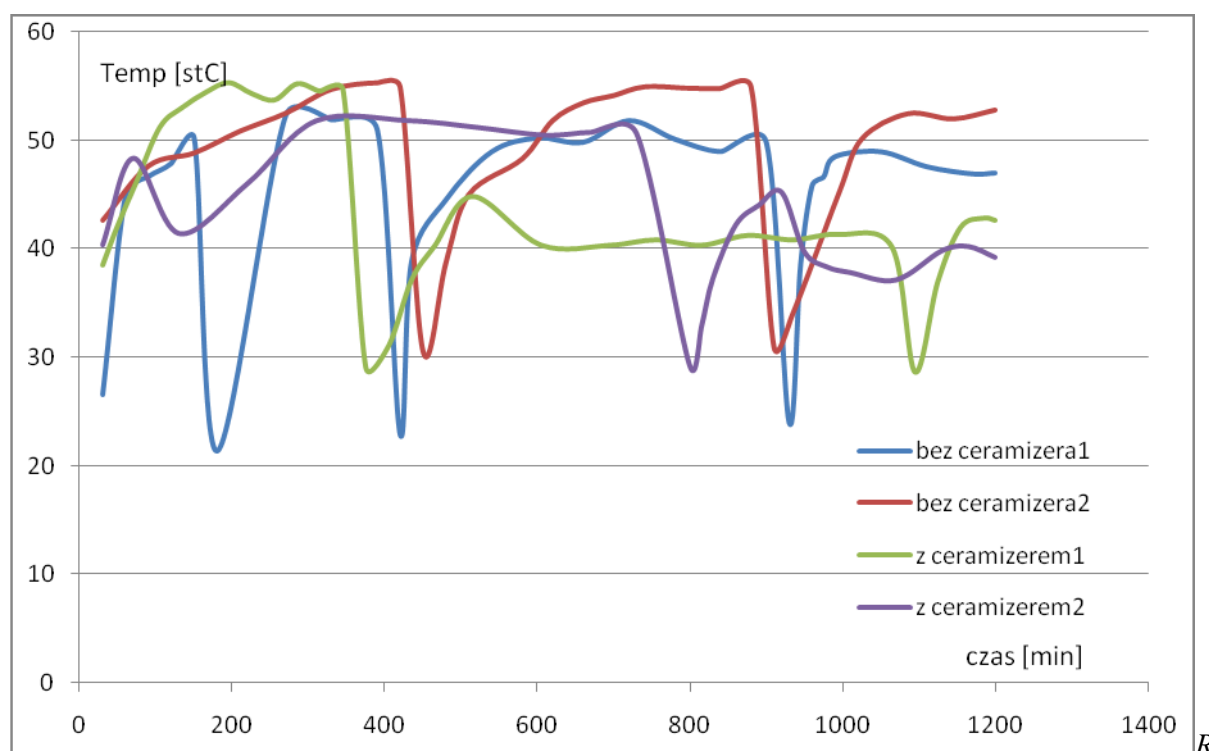
Widać wyraźnie, że najmniejsze zużycie masowe wystąpiło podczas testów z dodatkiem Ceramizera. Dla rolek pracujących bez dodatku zużycie średnie wyniosło 0,00143g, podczas gdy rolki pracujące z dodatkiem preparatu charakteryzowały się zużyciem na poziomie tylko 0,00043g. **Zużycie rolki z użyciem Ceramizera w oleju było o 69,93% mniejsze niż w analogicznej próbie bez dodatku preparatu.** Może to być spowodowane wytworzeniem ceramicznej warstwy zabezpieczającej przed zużyciem, która cechowała się mniejszym współczynnikiem tarcia.

## Ad.2 Test pomiaru przebiegu siły tarcia

Przeprowadzone zostały dwa testy po 20h z użyciem Ceramizera oraz dwa testy kontrolne po 20h bez jego użycia. Testy przeprowadzono na maszynie tribologicznej T-05.

Para cierna pracowała w warunkach tarcia mieszanego przy prędkości obrotowej wrzeciona wynoszącej 400obr/min. Środkiem smarnym był olej maszynowy AN-46 stosowany do smarowania węzłów maszyn lekko- i średnio-obciążonych. Jest to olej mineralny, co pozwoliło na wyeliminowanie wpływu dodatków smarnych i przeciwzużyciowych zawartych w olejach silnikowych dostępnych na rynku i stosowanych w motoryzacji.

Rysunek nr. 3 przedstawia przebieg temperatury podczas testów tarcia. Każdorazowe przerwanie testu widoczne jest na wykresach temperatury, jako jej spadek do wartości temperatury panującej w pomieszczeniu podczas przeprowadzania testów (21-22°C).



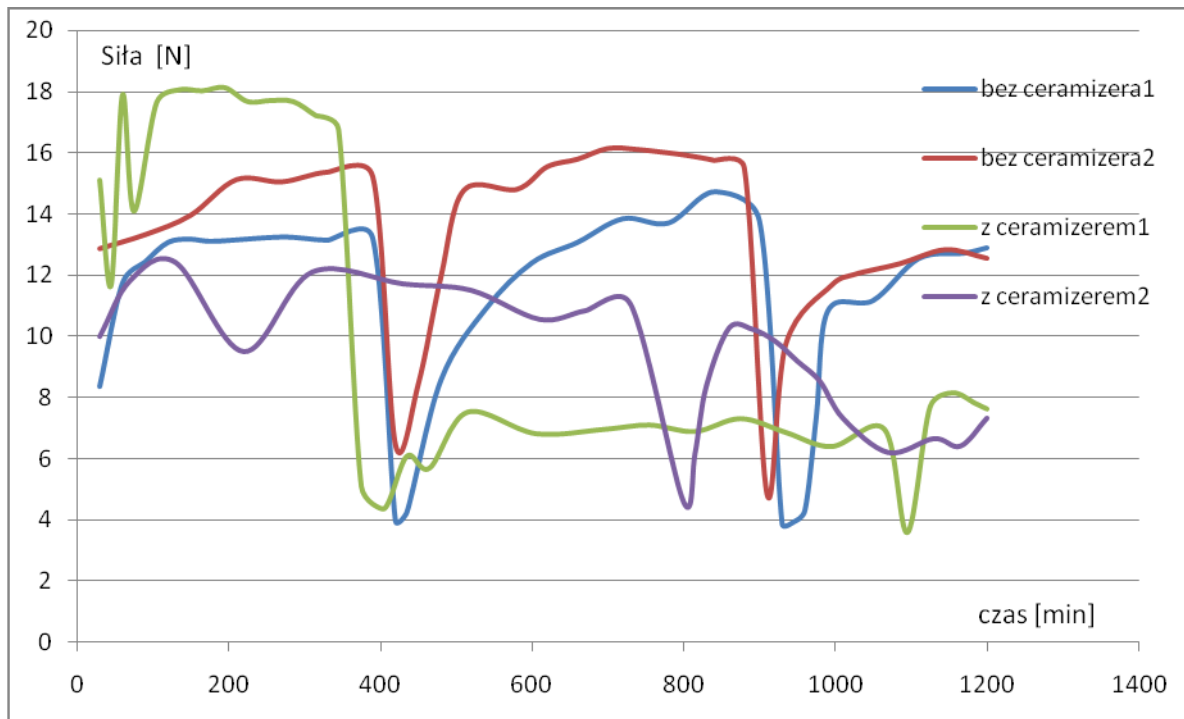
Rys. 3. Przebieg temperatury podczas testów siły tarcia

Ostatecznie temperatura pracy dla węzłów pracujących bez dodatku Ceramizera, po 20 h testu ustaliła się na poziomie 47-53°C.

Temperatura pracy dla węzłów pracujących z dodatkiem Ceramizera stopniowo malała z każdym uruchomieniem, a po 20h testu ustaliła się na poziomie 40-43°C.

**Temperatura pracy dla węzłów pracujących z dodatkiem Ceramizera po 20 h tarcia była o około 17 % niższa niż temperatura pracy dla węzłów tarcia bez dodatku preparatu.**

Zbadano również przebieg siły tarcia, który jest przedstawiony na Rysunku nr. 4.

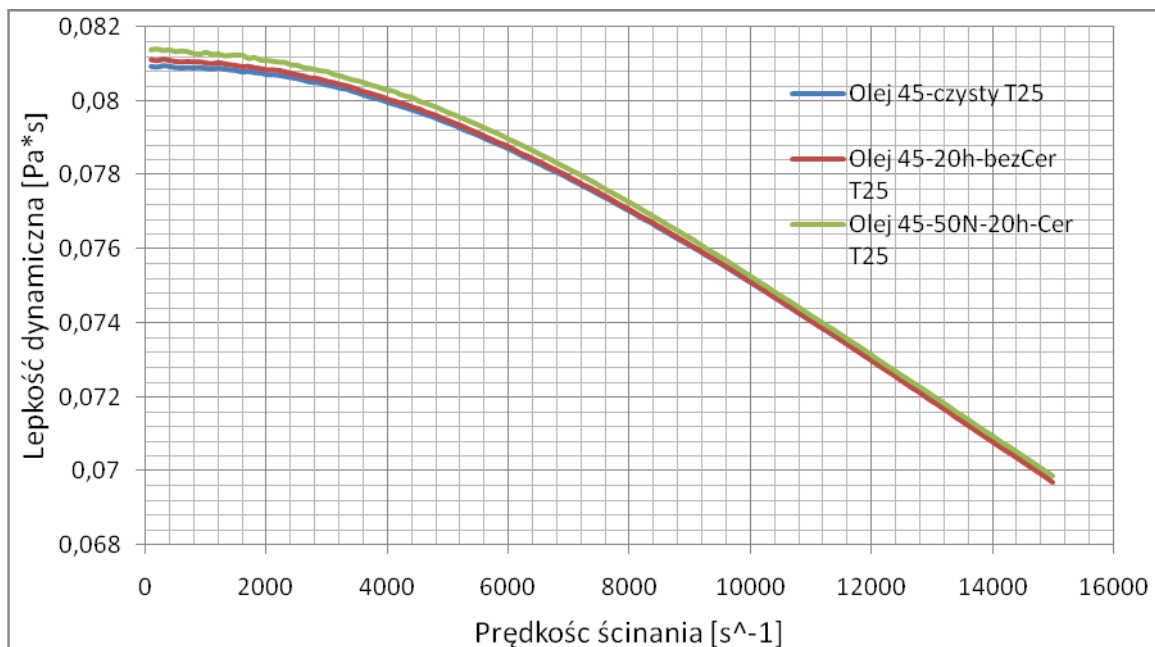


Rys. 4. Przebieg siły tarcia w testach

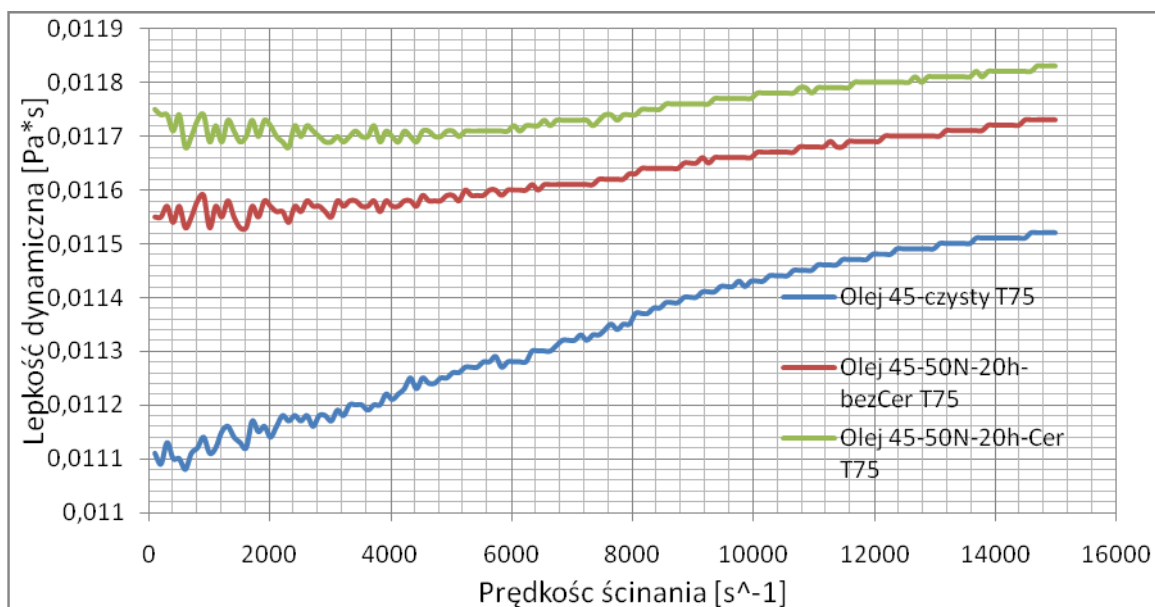
Testy z użyciem Ceramizera zakończyły się wskazując niższą wartość siły tarcia- średnio o 7,32N niż w przypadku testu bez dodatku Ceramizera. **Współczynnik tarcia spadł z poziomu  $\mu_1=0,0633$  do wartości  $\mu_2=0,036$ . Zmniejszenie wartości współczynnika tarcia w teście z dodatkiem Ceramizera wyniosło ponad 40%.** Oznacza to wymierne korzyści w postaci zmniejszenia strat mechanicznych w silniku spalinowym, a co za tym idzie zwiększonej oszczędności paliwa.

### Ad. 3. Test pomiaru lepkości oleju z zawartością Ceramizera

Test przeprowadzono na reometrze rotacyjnym typu MCR301 firmy Anthon Paar. Pomiar polegał na poddaniu próbki olejowej zmiennym szybkościom ścinania w zakresie  $0 \div 15000 \text{ s}^{-1}$  (co dla w/w geometrii odpowiada zakresowi prędkości obrotowej około  $0 \div 2500 \text{ obr/min}$ ). W wyniku przeprowadzonych pomiarów wyznaczono charakterystykę reologiczną badanych cieczy w postaci krzywej lepkości dla temp  $25^\circ\text{C}$  i  $75^\circ\text{C}$ , co przedstawiają Rysunki 5 oraz 6.



Rys. 5. Zależność prędkości lepkości dynamicznej od prędkości ścinania oleju AN46 w temperaturze 25°C



Rys. 6. Zależność prędkości lepkości dynamicznej od prędkości ścinania oleju AN46 w temp. 75°C

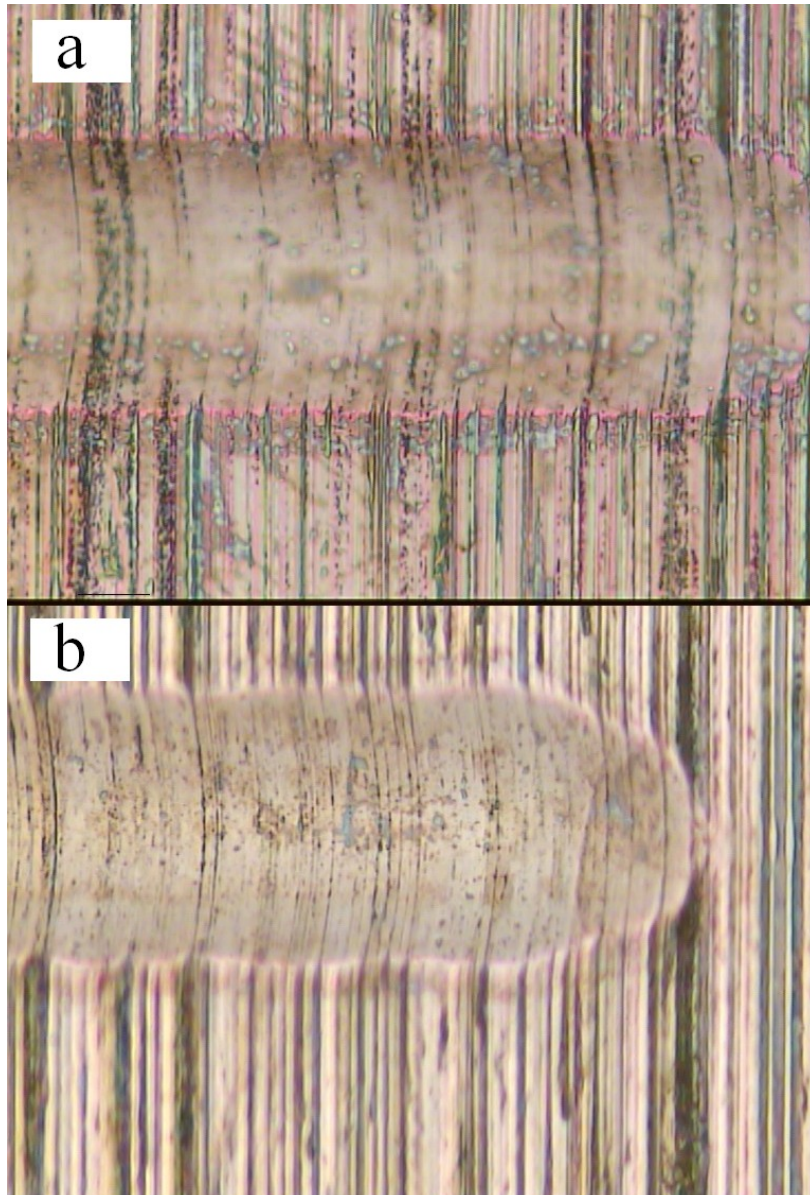
Na przedstawionych wykresach będących wynikami pomiarów widać znikomą różnicę w lepkości poszczególnych próbek olejów. Na lepkość dynamiczną oleju AN46 nie ma w zasadzie wpływu 20h cykl pracy jak i dodatek Ceramizera. Różnica lepkości wynosząca 0,0002Pa\*s na korzyść oleju z dodatkiem Ceramizera w temperaturze 75°C, w praktyce nie będzie zauważalna.



#### **Ad.4 Test pomiaru adhezji wytworzonej warstwy metaloceramiki do podłoża metodą testu zarysowania.**

Pomiar przyczepności wytworzonej warstwy do podłoża został przeprowadzony metodą testu zarysowania (scratch test), na maszynie Micro-Combi-Tester firmy MCT. Podczas testu zarysowania z siłą 30N, warstwa nie ulega uszkodzeniu - wytworzona warstwa cechuje się bardzo dużą adhezją do podłoża.

Rysunek 7 obrazuje jak wyglądał koniec śladu tarcia podczas testu na próbkach pokrytych Ceramizerem.



*Rys. 7. Ślad tarcia na próbkach pokrytych Ceramizerem (powiększenie 500x) : a) klocek płaski obciążony 200N; b) klocek wklęsły obciążony 500N*

Widać białe wtrącenia Ceramizera wypełniające większe mikrobruzdy. Znacznie większą ich część widać na próbce o styku skoncentrowanym, co świadczy o dużo gorszych warunkach pracy w tym właśnie styku.

## WNIOSKI KOŃCOWE

- Podczas testów tarcia na powierzchni współpracujących elementów została wytworzona warstwa ceramiczno-metalowa. Warstwa tworzy się podczas eksploatacji węzłów tarcia smarowanych olejem z dodatkiem preparatu Ceramizer.
- Wytworzona warstwa redukuje tarcie. Po 20h pracy węzła tarcia, podczas wytwarzania się warstwy ceramiczno-metalowej, zauważono spadek siły tarcia o 42% - wartość współczynnika tarcia spadła z wartości  $\mu_1=0,063$  do wartości  $\mu_2=0,036$ .
- Straty energii związane z traconym poprzez elementy współpracujące ciepłem, znacznie spadły. Temperatura pary cieplej podczas wytwarzania się warstwy Ceramizera spadła z wartości  $T_1=52\div 55^\circ\text{C}$  do wartości  $T_2=40\div 43^\circ\text{C}$ .
- Warstwa znacznie redukuje zużycie. Podczas testów zużycie masowe rolki pokrytej warstwą Ceramizera było o 69,93% mniejsze od rolki nie pokrytej tą warstwą. Klocek pokryty warstwą Ceramizera posiadał o 55,8% mniejsze zużycie masowe względem klocka nie pokrytego warstwą.
- Wytworzona warstwa cechuje się bardzo dużą adhezją do podłoża. Podczas testu zarysowania z siłą 30N, warstwa nie ulega uszkodzeniu.
- Ceramizer nie wpływa na lepkość dynamiczną oleju. Największą różnicę lepkości dla oleju czystego i oleju z zawartością Ceramizera odnotowano dla temperatury oleju  $T_0=75^\circ\text{C}$  i wynosiła ona  $2\cdot 10^{-4}\text{Pa}\cdot\text{s}$ , a więc mieści się w zakresie tolerancji produkcyjnej oleju AN-46.