

FRANCISZEK BROMBEREK  
HUBERT LATOŚ  
WITOLD ROZWADOWSKI

## **BADANIA PARY TARCIA ŚLIZGOWEGO O SPECJALNEJ STRUKTURZE GEOMETRYCZNEJ POWIERZCHNI TRĄCEJ**

### **1. Wprowadzenie**

W szeregu pracach dotyczących kształtowania korzystnych powierzchni trących, między innymi w pracy [4], podkreśla się zalety powierzchni otrzymywanej specyficznym gładzeniem, tzw. strukturę plateau. Na strukturę tę składają się stosunkowo głębokie krzyżowe rowki oraz powierzchnie oporowe o znacznie mniejszych nierównościach. Ważnym parametrem tych powierzchni jest kąt przecinania się rowków [1]. Jednocześnie w pracach [2] i [3] wykazano występowanie bardzo silnej zależności minimalnej grubości warstwy skrawanej, określanej jako  $a_{\min}$ , od wartości kąta pochylenia krawędzi skrawającej  $\lambda_s$ , co mogłoby odpowiadać kątowi przecinania rowków struktury powierzchni plateau. Przyjmując, że natura ubytków materiału w chwili rozpoczynania skrawania wykazuje określone podobieństwo z pierwotnymi efektami destrukcji materiału przy zacieraniu się powierzchni łożysk ślizgowych, podjęto opisywane dalej badania.

### **2. Cel i zakres badań**

Celem przeprowadzonych badań było sprawdzenie wpływu kąta pochylenia linii krzyżowych rowków na wałku stalowym imitującym czop łożyska ślizgowego na czas poprawnej współpracy przy tarciu z przeciwpróbką mosiężną. Badania te miały również zweryfikować przydatność pomiaru sygnałów emisji akustycznej (EA) do identyfikacji zmian występujących na powierzchniach trących podczas ich zużywania się.

Zakresem badań objęto jeden sposób wykonywania rowków na powierzchni czopa, jakim było ich trawienie na głębokość 0.2mm.

Prędkość ruchu obwodowego  $v=69\text{m/min}$  oraz docisk powierzchni trących  $F=650\text{N}$ , dobrano w wyniku prób, z zakresu wartości stosowanych w łożyskach ślizgowych. W strefę współpracy przeciwpróbki z wałkiem podawano z dozownika olej maszynowy w ilości dwie krople na minutę.

### 3. Metodyka i technika badań

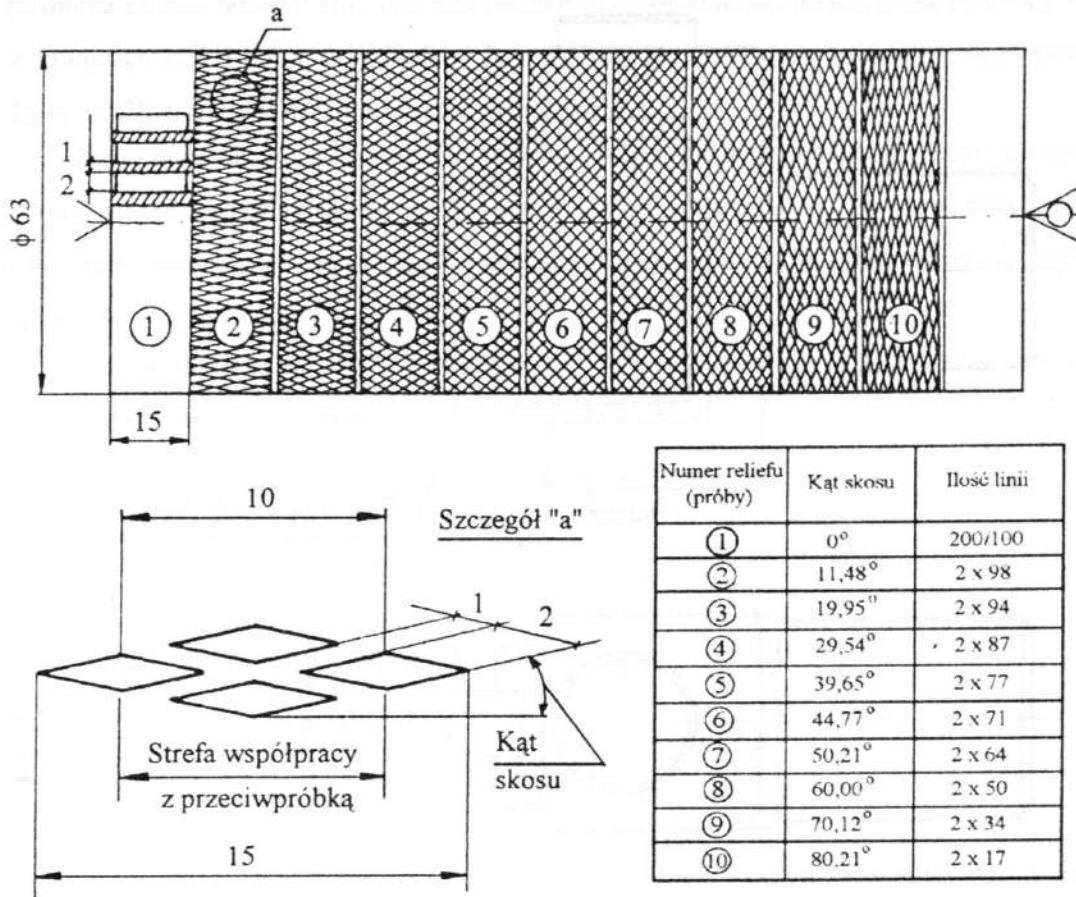
Badania prowadzono w układzie czynnikowym z powtórzeniami. Jedynym czynnikiem zmiennym był kąt pochylenia rowków krzyżowych na powierzchni wałka.

Czynnikami rejestrowanymi i mierzonymi były:

- chropowatości powierzchni trących przed i po próbie,
- wartości sygnałów emisji akustycznej,
- temperatura w określonym punkcie przeciwpróbki,
- ubytek grubości przeciwpróbek mosiężnych w wyniku ścierania w pojedynczych próbach.

Czynnikiem stałym podlegającym kontroli podczas każdej próby była wartość siły docisku przeciwpróbki do wałka.

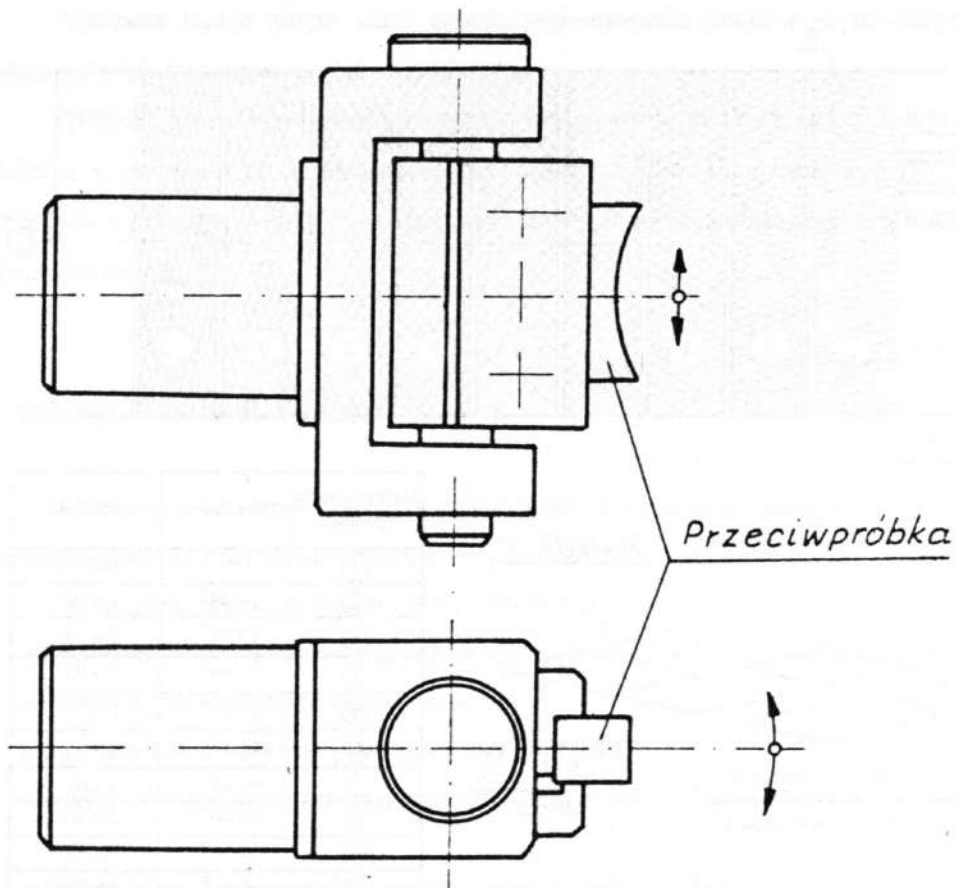
Próbki do badań przygotowano w postaci wałków o średnicy 63mm, ze stali 55. Na wałkach tych wykonano trawieniem rowki krzyżowe o różnych kątach pochylenia w stosunku do osi wałka. Rozmieszczenie rowków na wałku i ich parametry zestawione zostały na rys. 1. Parametr chropowatości powierzchni cylindrycznych wałków przed próbami  $R_a=0.48-0.56\mu\text{m}$ .



Rys. 1. Wałek stalowy z rowkami krzyżowymi

Badania przeprowadzono na stanowisku zbudowanym na tokarce uniwersalnej SNB-400 (prod. rumuńskiej) z tyrystorową przetwornicą częstotliwości TPC-26. Wałek ustalano i mocowano w kłach tokarki a moment obrotowy z wrzeciona przenoszono specjalnym zabierakiem mocowanym w uchwycie samocentrującym. Przewodnik mocowano w specjalnie zaprojektowanym i wykonanym uchwycie przegubowym, który pozwalał na samoustawianie się powierzchni roboczej przeciwpróbki na powierzchni wałka pod wpływem siły docisku (rys. 2).

Napęd suportu poprzecznego tokarki został zmodernizowany w taki sposób, że istniała możliwość elastycznego wywierania docisku powierzchni trących. Ułatwiało to zachowanie stałej zadanej wartości siły docisku oraz jej ciągłą kontrolę na rejestratorze. Do podawania czynnika smarującego w strefę współpracy próbki z wałkiem zastosowano, umieszczony nad wałkiem, zbiorniczek z regulowanym dozownikiem igłowym.



Rys. 2. Uchwyt przeciwp próbki

Stanowisko wyposażone zostało w następujący sprzęt pomiarowo-kontrolny:

- trójskładowy siłomierz tokarski współpracujący z mostkiem tensometrycznym M1503 i rejestratorem N327,
- zestaw do pomiaru sygnałów emisji akustycznej EA-3 współpracujący z oscyloskopem KR7203A i rejestratorem N327,
- zestaw do pomiaru temperatury próbki EMT-07,
- czujnik indukcyjny Visronik CD1 z głowicą pomiarową MDKb-B-110, z działką elementarną 0.001mm,
- profilografometr ME-10.

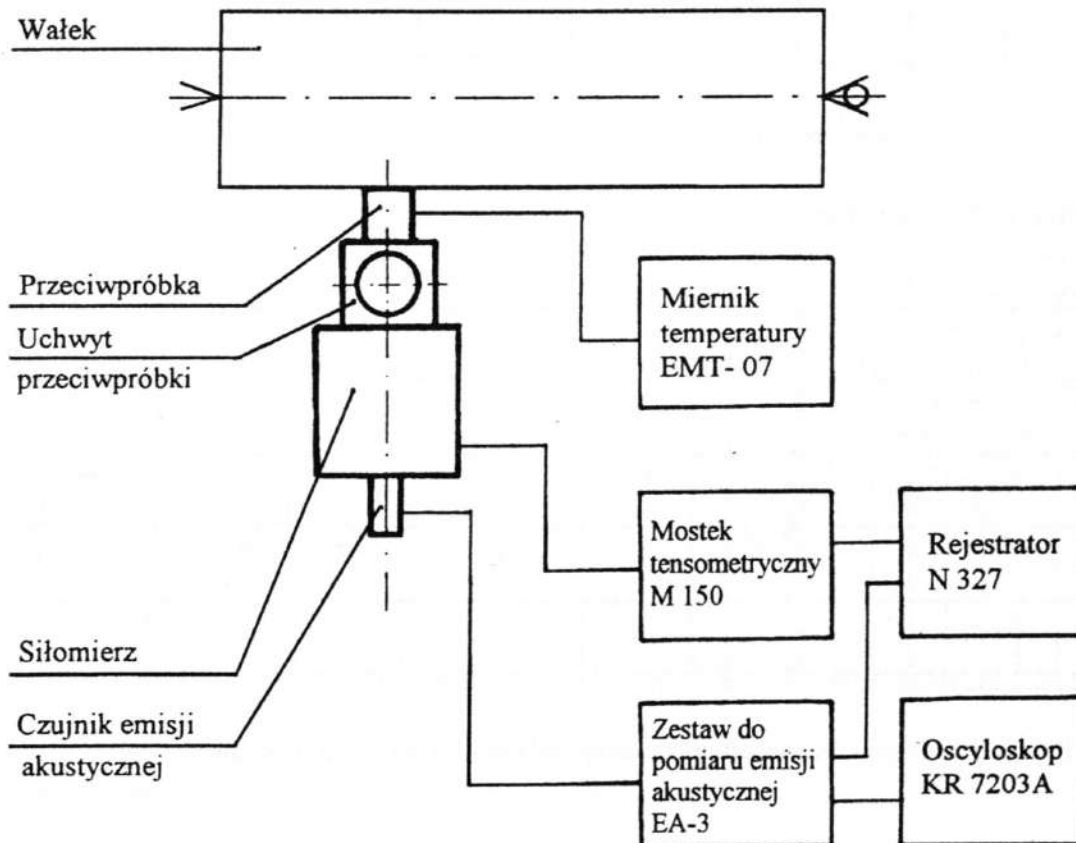
Schemat stanowiska przedstawiono na rys. 3.

Przeciwp próbki współpracujące z wałkiem o rowkach krzyżowych wykonano z mosiądzu MO59 o kształcie i wymiarach przedstawionych na rys. 4. Powierzchnie współpracujące z wałkiem wytaczano w specjalnym przyrządzie przy stałych parametrach, co zapewniało

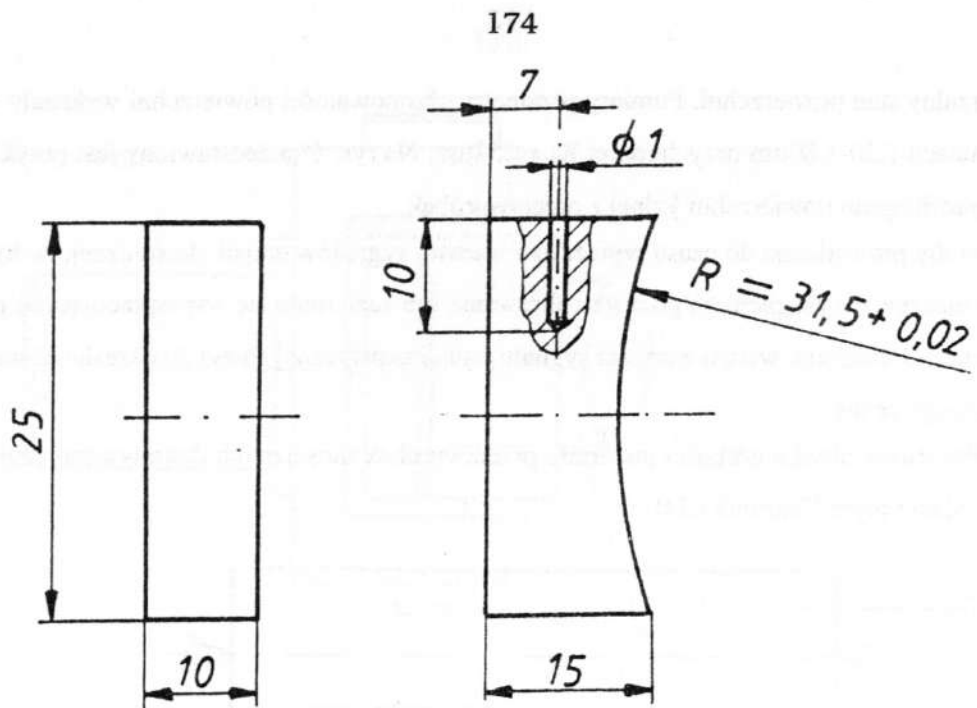
powtarzalny stan powierzchni. Pomiary parametru chropowatości powierzchni wykazały  $R_a$  w granicach 1.20-1.80 $\mu\text{m}$  przy średniej  $R_a = 1.52\mu\text{m}$ . Na rys. 5. przedstawiony jest przykładowy profilogram powierzchni jednej z przeciwpórek.

Próby prowadzono do czasu wyraźnego wzrostu sygnałów emisji akustycznej, co było równoznaczne z wystąpieniem początku skrawania lub zacierania się współpracujących powierzchni. Dwukrotny wzrost wartości sygnału emisji akustycznej służył do określenia stanu granicznego próby.

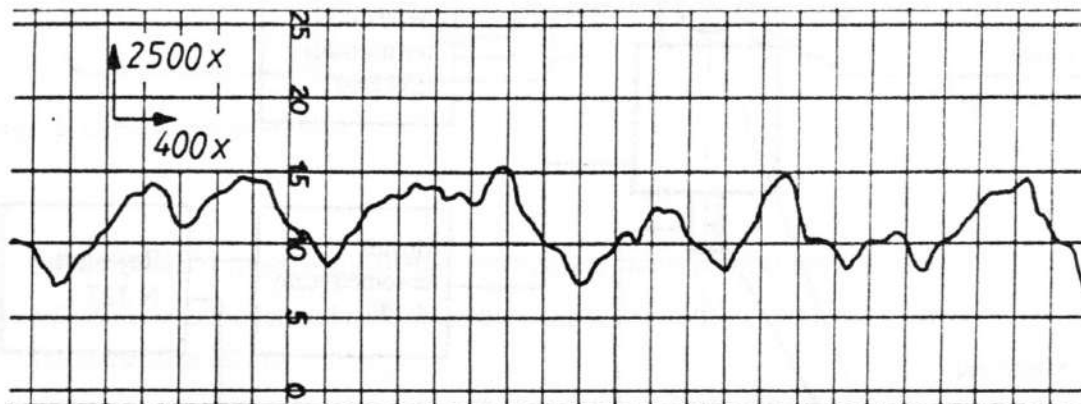
Pomiarów ubytku grubości materiału przeciwpórek mosiężnych dokonywano czujnikiem indukcyjnym Vistronik CD1.



Rys. 3. Schemta stanowiska badawczego



Rys. 4. Przeciwpróbka mosiężna



Rys. 5. Profilogram powierzchni przeciwpróbki mosiężnej przed próbami

#### 4. Wyniki badań

Zacieraniu się współpracujących powierzchni lub początkom skrawania towarzyszy przyrost wartości skutecznej sygnału emisji akustycznej, co stwierdzono podczas prób rozpoznawczych. W chwili początku zacierania się powierzchni następował kilkakrotny wzrost wartości skutecznej sygnału emisji akustycznej. Dlatego do dalszych analiz przyjęto jako kryterium dwukrotny wzrost wartości skutecznej tego sygnału. Przyjęcie takiego kryterium spowodowane było zaobserwowaniem na oscyloskopie wyraźnych zmian w strukturze rzeczywistego sygnału emisji akustycznej.

Zmierzone czasy trwania prób dla wyżej wymienionego kryterium przy siedmiu powtórzeniach zestawiono w tabeli 1. i przedstawiono graficznie na rys. 6. Na rys. 6. przedstawiono wartości średnie po odrzuceniu wyników odstających z zastosowaniem testu Grubbsa.

**Tabela 1.** Zestawienie czasów trwania prób do chwili osiągnięcia przyjętego stanu granicznego (czas w s)

$\alpha$	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t $\bar{r}$	odch. t
0.00	135	130	500	110	120	140	120	179	131
11.49	110	1600	1900	70	1600	1200	120	943	754
19.95	93	90	80	650	100	105	60	168	197
29.54	105	130	150	60	120	100	120	112	26
39.65	50	45	1100	1600	70	80	620	509	580
44.77	290	800	810	470	850	300	1200	674	310
50.21	250	60	690	130	35	280	480	275	220
60.00	95	90	180	120	120	120	120	121	27
70.20	190	60	300	690	100	200	90	233	202
80.21	195	90	150	180	115	300	180	173	63

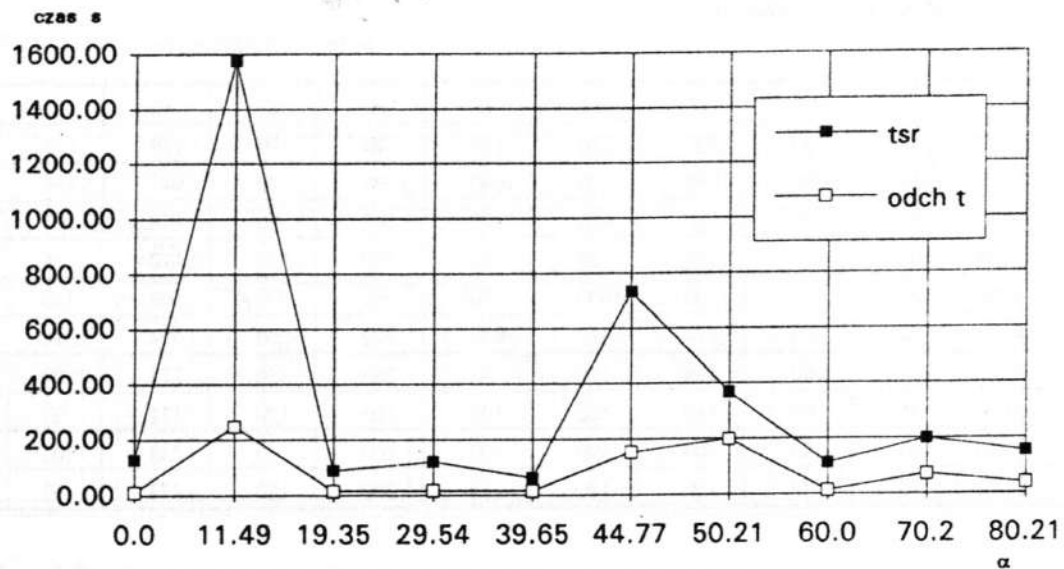
Wartości średnie po odrzuceniu wyników odstających

$\alpha$	t $\bar{r}$	odch. t
0.00	125.83	10.17
11.49	1575.00	248.75
19.35	88.00	14.78
29.54	120.83	16.44
39.65	61.25	14.31

44.77	732.50	152.70
50.21	366.00	197.24
60.00	110.83	13.04
70.20	197.50	70.84
80.21	151.67	37.93

Poszczególnym wartościom kąta pochylenia linii rowków krzyżowych odpowiadają po zakończeniu prób różne wartości parametru  $R_a$  powierzchni przeciwpróbki. Średnie wyniki dla wybranych prób przedstawione zostały w postaci wykresu na rys. 7.

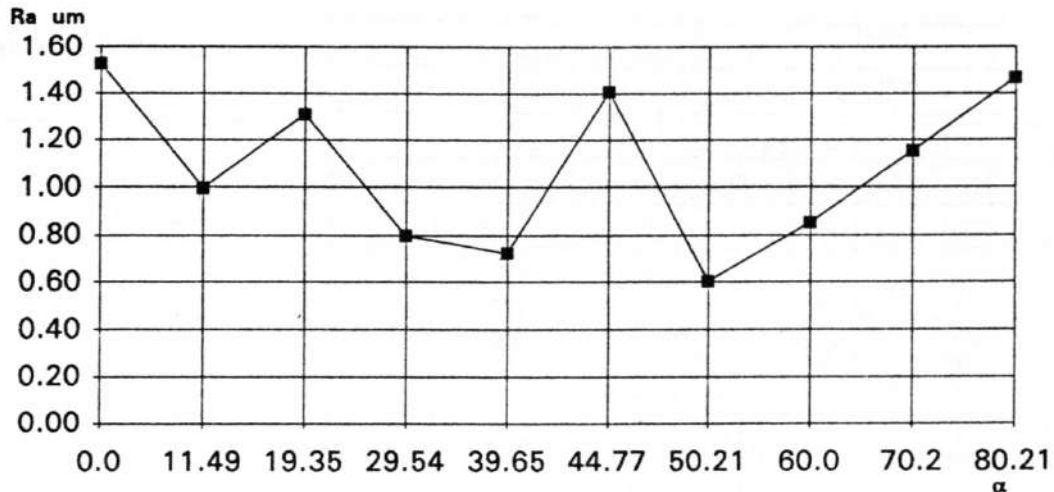
Wyniki te nie odpowiadają punktom na rys. 6., gdyż wykonywane były po przerwaniu poszczególnych prób. Pomimo tego można zaobserwować tu podobieństwo wykresu zmian chropowatości powierzchni przeciwpróbek do wykresów czasu pracy, w chwili osiągnięcia przyjętego kryterium.



Rys. 6. Zależność czasu pracy pary ciernej od kąta pochylenia rowków krzyżowych na wałku

α	tsr	odch t
0.0	150	0
11.49	1550	250
19.35	100	0
29.54	120	0
39.65	80	0
44.77	732.50	152.70
50.21	366.00	197.24
60.0	110.83	13.04
70.2	197.50	70.84
80.21	151.67	37.93



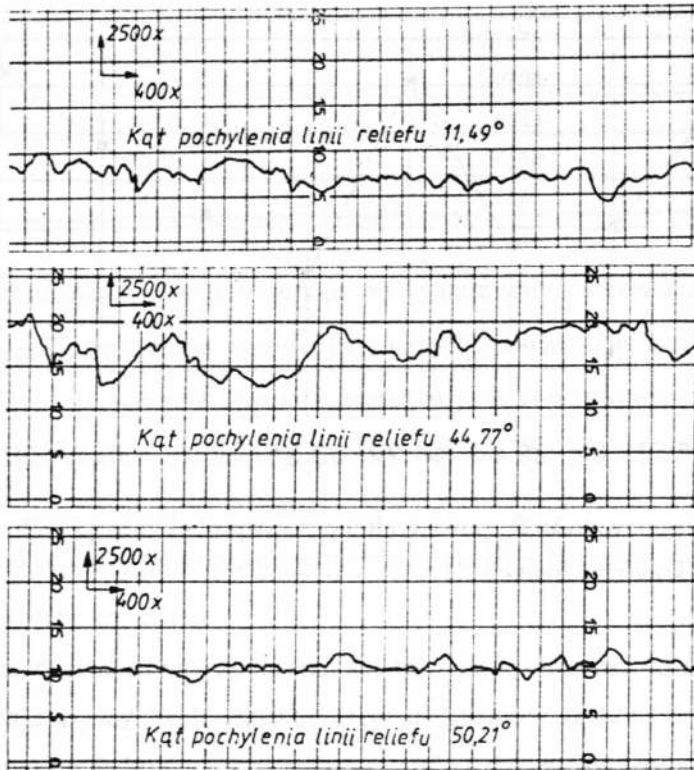


Rys. 7. Zależność parametru chropowatości  $R_a$  powierzchni przeciwpróbek mosiężnych od kąta pochylenia rowków krzyżowych

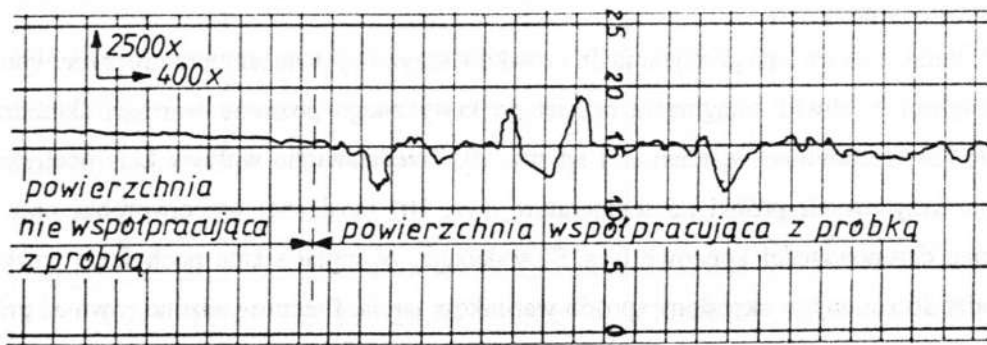
Przykłady profilogramów powierzchni przeciwpróbek mosiężnych po badaniach zestawiono na rys. 8. Przedstawione wykresy wskazują na występowanie złożonych zależności między kątem pochylenia rowków krzyżowych a chropowatością przeciwpróbek po tarcu i czasem współpracy do tego zatarcia.

Stan powierzchni wałka stalowego po próbach pogarsza się, co obrazuje profilogram przedstawiony na rys. 9.

Wyniki wpływu kąta pochylenia linii rowków krzyżowych na temperaturę przeciwpróbki mosiężnej w chwili osiągnięcia przyjętego krytycznego poziomu wartości skutecznej sygnału EA, zestawiono w tabeli 2. i na rys. 10. Przedstawione wpływy kąta pochylenia rowków krzyżowych próbki na temperaturę (rys. 10) mosiężnej przeciwpróbki oraz na uzyskane chropowatości końcowe (rys. 7) wskazują, że zmiana kąta pochylenia rowków prowadzi do zmiany w określony sposób warunków tarcia. Przeprowadzono również próbę na powierzchni gładkiej wałka (bez rowków) zachowując stałe pozostałe parametry, oraz kryterium dwukrotnego wzrostu wartości skutecznej sygnału EA. Przy pięciu powtórzeniach uzyskano rozstęp czasu trwania prób w granicach 55-95 sek. i wartość średnią 79 sek. oraz rozstęp temperatury przeciwpróbek 40°-50°C przy średniej 48°C.



Rys. 8. Profilogramy powierzchni przeciwpróbek mosiężnych po badaniach

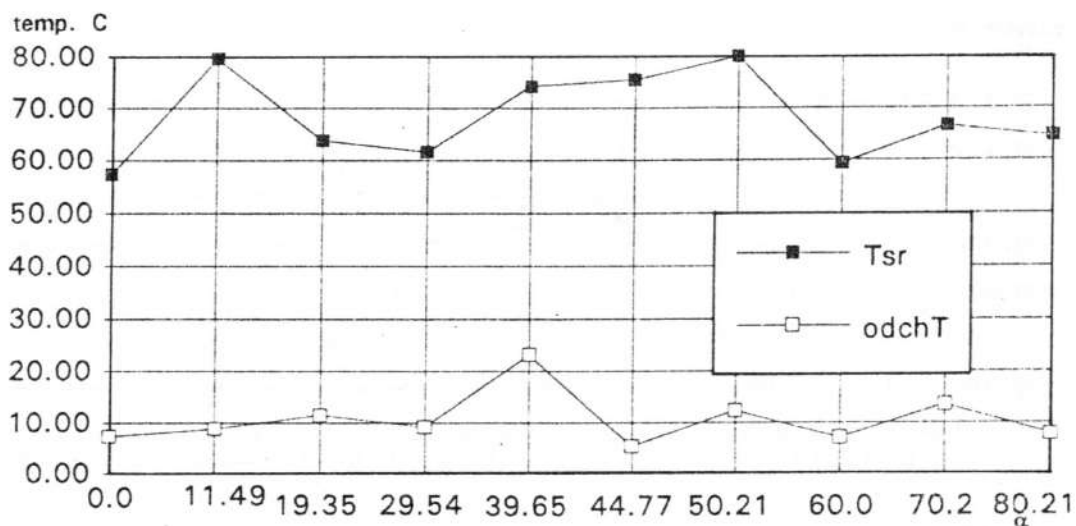


Rys. 9. Profilogram powierzchni wałka stalowego po próbie (kąt pochylenia linii rowków  $19.19^\circ$ )

Wyniki pomiarów zużycia przeciwpróbek mosiężnych w poszczególnych próbach zawarto w tabeli 3. i na rys. 11. jako średnie po odrzuceniu wyników odstających.

**Tabela 2.** Zestawienie wyników pomiaru temperatury próbki (temp. w °C)

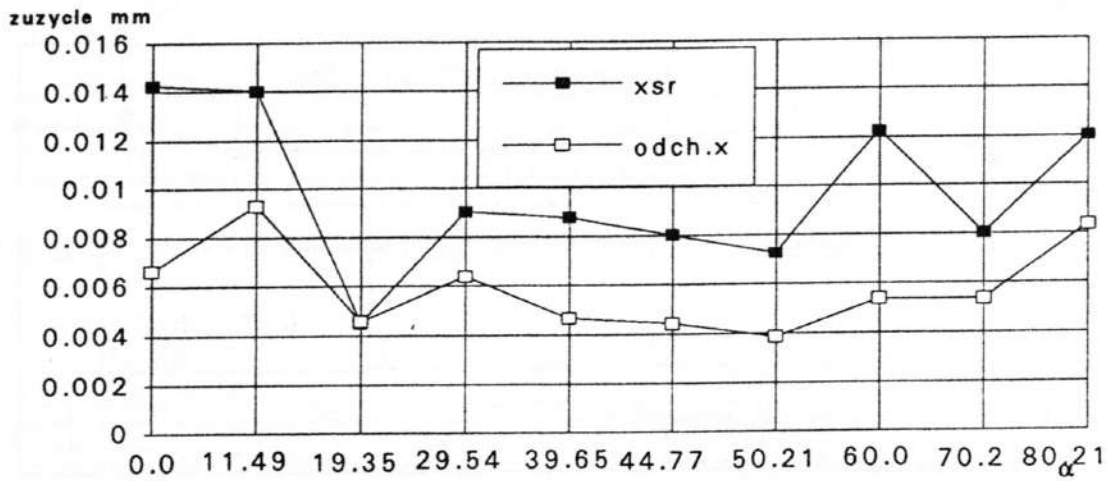
$\alpha$	T1	T2	T3	T4	TŚR	odch. t
0.00	61	53	67	48	57.25	7.29
11.49	85	88	80	65	79.50	8.85
19.35	53	55	65	82	63.75	11.48
29.54	57	50	64	75	61.50	9.23
39.65	54	50	88	105	74.25	23.09
44.75	75	83	68	76	75.50	5.32
50.21	80	88	92	60	80.00	12.33
60.00	65	50	55	67	59.25	7.01
70.20	70	52	57	87	66.50	13.54
80.21	72	54	60	72	64.50	7.79



Rys. 10. Zależność temperatury próbki od kąta pochylenia rowków krzyżowych

Tabela 3. Zestawienie wyników pomiarów zużycia próbek mosiężnych

$\alpha$	$x_1$ mm	$x_2$ mm	$x_3$ mm	$x_4$ mm	$x_g$ mm	odch. x
0.00	0.005	0.011	0.021	0.020	0.01425	0.006610
11.49	0.008	0.010	0.030	0.008	0.01400	0.009274
19.35	0.000	0.002	0.012	0.004	0.00450	0.004555
29.54	0.005	0.005	0.006	0.020	0.00900	0.006364
39.65	0.008	0.002	0.015	0.010	0.00875	0.004657
44.75	0.001	0.008	0.013	0.010	0.00800	0.004416
50.21	0.004	0.003	0.012	0.010	0.00725	0.003832
60.00	0.005	0.013	0.011	0.020	0.01225	0.005356
70.20	0.003	0.006	0.017	0.006	0.00800	0.005339
80.21	0.003	0.013	0.025	0.007	0.01200	0.008307



Rys. 11. Zależność zużycia próbek mosiężnych od wartości kąta odchylenia rowków

## 5. Wnioski

Uzyskane wyniki wykazały, że kąt pochylenia linii rowków krzyżowych na wałku w istotny sposób wpływa na warunki tarcia próbki i przeciwpróbki, co może rozstrzygać o bezawaryjnej współpracy wałka z mosiężną przeciwpróbką.

Przy wartości kąta pochylenia linii rowków krzyżowych  $12^\circ$  i  $45^\circ$  uzyskuje się najdłuższy czas poprawnej współpracy pary trącej. Wartościom tym towarzyszą większe wartości parametru  $R_a$  chropowatości obrabianej powierzchni.

Badania potwierdziły przydatność pomiaru sygnałów emisji akustycznej na identyfikację zmian w procesie tarcia.

## LITERATURA

- [1] Dmochowski J., Podstawy obróbki skrawaniem. WNT Warszawa 1981
- [2] Latoś H., Rozwadowski W., Badania możliwości obniżenia minimalnej grubości warstwy skrawanej. Sprawozdanie BZ-3/89. ATR Bydgoszcz. Etap I - 1989; etap II - 1990 (prace nie publikowane)
- [3] Latoś H., Szczepaniak Z., Badanie możliwości obniżenia minimalnej grubości warstwy skrawanej podczas skośnego skrawania z dużymi kątami  $\lambda_s$ . Komsja Budowy Maszyn PAN - Oddział w Poznaniu, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji. Zeszyt 11. 1993, s.199-205
- [4] Żebrowski H., Szlifowanie i inne obróbki ściernie. Rozdz. XI Poradnika Inżyniera. Obróbka skrawaniem. WNT Warszawa 1991

## UNTERSUCHUNGEN DES DAMPFES DER GLEITREIBUNG MIT EINER SPEZIELLEN GEOMETRISCHEN STRUKTUR DER REIBUNGSFLÄCHE

### Zusammenfassung

In der Arbeit wurden die Untersuchungen des Einflusses der geometrischen Struktur der Fläche der Stahlwalze, die Pfanne ersetzenden Prüfling imitiert, vorgestellt.

Man hat die Rauigkeit der zusammenarbeitenden Flächen, den Signalwert der akustischen Emission, die Temperature des, die Pfanne ersetzenden Prüflings und seine Abnutzung gemessen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen haben die Brauchbarkeit der Messungen der akustischen Emission zur Bestimmung des Anfanges vom Fressen der zusammenarbeitenden Flächen gezeigt.