

Marek Gawliński*, Zbigniew Kasprzyk*, Janusz Rogula*

**OCENA ZDOLNOŚCI UTRZYMANIA WARSTWY
SMARNEJ PRZEZ MIKROPROFIL POWIERZCHNI
WAŁU WSPÓŁPRACUJĄCEGO
Z ELASTOMEROWYM USZCZELNIENIEM**

**AN EVALUATION OF THE MAINTAINING ABILITY
OF THE LUBRICATING LAYER BY THE SHAFT SURFACE
MICROPROFILE CO-OPERATING WITH OIL LIP SEAL**

Słowa kluczowe:

uszczelnienie wargowe, chropowatość, tarcie, zużycie

Key-words:

WSTĘP

W podjętej pracy zweryfikowano tezę zakładającą iż należy tak kształtować mikropowierzchnię wału aby pewna ilość oleju mogła być zaabsorbowana i utrzymana w mikrowgłębieniach przez możliwie najdłuższy okres czasu. Szczególnie dotyczyć to powinno okresu postoju

* Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, Tel. (+48) (71) 320 23 73, fax:(+48) (71) 328 38 18.

wału podczas którego nie może dojść do wyciśnięcia oleju przez sprężystą wargę, tak by w chwili ponownego uruchomienia wału olej mógł tworzyć warstwę smarową na poszczególnych występach nierówności. W celu wykazania tych cech profilu powierzchni wału przyjęto specjalną procedurę badania pary ciernej wał-uszczelnienie polegającą na okresowym włączaniu i wyłączaniu wału. Czas pracy wału wynosił 10 minut po czym następował okres 10 minutowego postoju i tak na zmianę w okresie 40 godzinowego testu

PRZEDMIOT I METODA BADAŃ

Przedmiotem badań było 9 wałków stalowych z których każdy był szlifowany w taki sposób aby uzyskać różną teksturę powierzchni. Chropowatość powierzchni mierzono na trzech wysokościach wałków a na każdym poziomie była ona wyznaczona w trzech miejscach (co 120°) na obwodzie. W sumie, chropowatość była mierzona w 9 miejscach na powierzchni każdego wałka. Do pomiarów stosowano profilometr firmy Taylor Hobson typu Talysurf laser 3D.

Elastomerowe uszczelnienie wargowe typu A wykonano z gumy NBR o średnicy wargi $d = 43$ mm. Promieniowa siła zacisku wargi wynosiła, dla populacji 9 uszczelnień $P_r = 41,9$ N a standardowe odchylenie $\sigma_r = 3,9$ N. Średnia szerokość styku wargi z wałem wynosiła $a = 0,07$ mm a standardowe odchylenie $\sigma_a = 0,01$ mm. Oznacza to, że średnia wartość nacisku na styku wargi-wał wynosiła $p = 4,5$ N/mm² przy standardowym odchyleniu $\sigma_p = 0,9$ N/mm².

Profilometr Talysurf laser 3D był wykorzystywany również do wyznaczenia profilu wargi badanych uszczelnień; profile te odwzorowywano w dwóch miejscach na obwodzie wargi przed i po pracy z wybranymi wałkami. Porównanie profili przed i po teście pozwala na ilościową i jakościową analizę zużycia krawędzi uszczelniającej.

Uszczelnienia wargowe współpracowały z wałkami na stanowisku badawczym (rys.1). Wał stanowiska podparty jest w dwóch aerostatycznych łożyskach 3; napędzany jest on przez silnik elektryczny 1 rozwijający prędkość do 10 000 obr/min. Opór tarcia mierzony był przez bezstykowy, indukcyjny momentomierz Hottinger o zakresie pomiarowym (0-2) Nm. Uszczelnienia pracowały w warunkach pracy przerywanej (10 minut ruchu ,10 minut postoju) przez okres 40 godzin. Prędkość obrotowa wału była stała i wynosiła $n = 1000$ obr/min,

czynnikiem uszczelnianym był olej mineralny SAE 30 o temperaturze 65 °C, olej wypełniał całą komorę 4.



Rys. 1. Stanowisko do badania oporu tarcia uszczelnień wargowych, 1- silnik elektryczny, 2- momentomierz, 3-łożyska aerostaticzne, 4- komora.

Fig. 1. Test rig for power consumption evaluation, 1-electric motor, 2-torquemeter, 3-aerostatic bearings

CHARAKTERYSTYKA ORYGINALNYCH POWIERZCHNI BADANYCH WAŁKÓW

Do scharakteryzowania mikroprofilu powierzchni wałków współpracujących z uszczelnieniami wargowymi użyto następujących parametrów: R_a , S_m , Δ_a , λ_a , R_{vm} , R_{sk} oraz R_{ku} . Średnie arytmetyczne odchylenie profilu R_a podano wyłącznie ze względu na powszechne stosowanie tego parametru. Średni odstęp nierówności S_m na średniej linii profilu wpływa na styczne przemieszczanie się warstwy wierzchniej krawędzi uszczelniającej wargi oraz na częstość tego odkształcania. Średnie arytmetyczne pochylenie Δ_a profilu jest dobrą miarą anizotropii chropowatości powierzchni oraz miarą zużycia się powierzchni wału. Średnia długość fali profilu $\lambda_a = 2\pi \cdot R_a / \Delta_a$ jest miarą odstępów miejscowych wzniesień profilu; autorzy uważają, że parametr ten oddziałuje na proces smarowania na styku: wał-warga. Średnią głębokość wgłębień R_{vm} przyjęto do oceny zdolności absorbowania oleju przez powierzchnię wałka.

Statystyczne parametry chropowatości powierzchni wałków przyjęto dwa: skośność R_{sk} będącą miarą asymetrii rozkładu rzędnych profilu względem jego linii średniej oraz eksces R_{ku} informujący o stopniu skupienia rzędnych wokół linii średniej profilu. Oba wymienione parametry wywierają znaczący wpływ na rzeczywiste warunki styku

nierówności powierzchni wałka z powierzchnią krawędzi uszczelniającej wargi.

Poza wymienionymi standardowymi parametrami podanymi przez profilometr zdecydowano się używać w analizie średniego promienia zaokrąglenia \bar{r} wszystkich nierówności na powierzchni wału; promień ten wyznaczono przy pomocy programu Profil specjalnie przygotowanego do analizy plików danych zbieranych przez profilometr.

Średni promień \bar{r} jest średnią geometryczną promieni wyznaczonych w kierunkach osiowym r_A oraz obwodowym r_C ; $\bar{r} = \sqrt{r_A \cdot r_C}$. Jego znajomość umożliwia obliczenie ilorazu R_t/\bar{r} który w tribologii stanowi miarę naprężenia wywołanego przez wierzchołki powierzchni wałka wciskane w powierzchnię gumowej wargi; R_t – wysokość profilu powierzchni wałka. Program Profil liczy także wartości współczynników b i v umożliwiających aproksymację górnego odcinka krzywej nośności profilu:

$$\eta = b \cdot \varepsilon^v \quad (1)$$

gdzie: η - udział nośny profilu przy danym względnym zbliżeniu ε . Stałe b i v wykorzystywane są tutaj do oceny tzw. zbliżenia krytycznego ε_{crit} do profilu [3], przy którym, wszystkie nierówności na powierzchni wałka metalowego stykają się z powierzchnią wargi:

$$\varepsilon_{crit} = \frac{1}{(b \cdot v)^{1/v-1}} \quad (2)$$

Wartości wyżej wymienionych parametrów podano w tabelicy 1.

Analiza danych przedstawionych w tabelicy 1 pozwala sformułować następujące wnioski dotyczące charakterystyki mikroprofilu powierzchni oryginalnych wałków w kierunkach osiowym (A) oraz obwodowym (C):

badane powierzchnie odznaczają się wysokim stopniem anizotropii, szczególnie w odniesieniu do parametrów R_a , S_m , Δ_a , λ_a , R_{vm}

rzadko się zdarza aby skośność R_{sk} wyznaczona w kierunku obwodowym na powierzchniach szlifowanych miała wartości ujemne. Oznacza to, że większość rzędnych profilu usytuowana jest powyżej średniej linii profilu. Na niektórych wałkach (np. Nr 5.2; 6.2; 8.2) skośność wyznaczona w kierunku A ma większą wartość niż ta wyznaczona w kierunku C,

nietypowe są, jeżeli chodzi o szlifowane powierzchnie walcowe, wartości ekscesu R_{ku} które są do siebie zbliżone dla obu kierunków pomiaru (np. wałki 1.2; 2.2; 3.2; 8.2), lub znacznie wyższe dla kierunku obwodowego niż dla osiowego (wałki Nr 5.2; 6.2; 7.2),

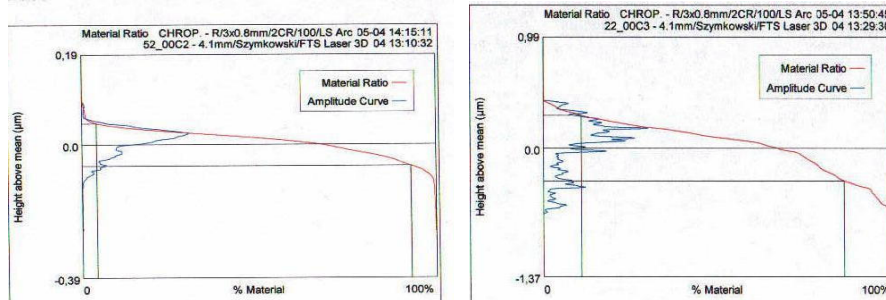
niestety, średnie wartości promieni zaokrąglenia \bar{r} wszystkich nierówności na powierzchni poszczególnych wałków są bardzo małe. Należy oczekiwać dużych naprężeń w wardze wywołanych wciskaniem się nierówności powierzchni wałka.

Tablica 1. Średnie wartości lub zakresy wartości parametrów chropowatości wyznaczone w kierunkach osiowym (A) i obwodowym (C) na oryginalnych powierzchniach wałków.

Table 1. Mean values of the original shaft surface roughness parameters determined in axial (A) and circumferential (C) directions.

Numer wałka	Parametry chropowatości										
	R_a	S_m	Δ_a	λ_a	R_{vm}	R_{sk}	R_{ku}	\bar{r}	R_t/\bar{r}	ϵ_{crit}	
	μm	μm	deg	$\mu m/deg$	μm	-	-	μm	-	-	
1.2	A	0,47	54	8,4	0,4	1,2	-0,28	3,1	9	0,4	0,27
	C	0,24	498	0,9	1,9	0,6	-0,6 \div +0,3	3,4		0,23	0,26
2.2	A	1,10	61	10,5	0,7	3,0	-0,48	3,1	6	1,4	0,20
	C	0,37	495	1,2	1,1	0,8	-0,37 \div +0,50	3,4		0,5	0,80
3.2	A	0,51	58	8,7	0,4	1,2	-0,41	3,2	16	0,27	0,35
	C	0,27	330	0,9	2,2	0,7	+0,16	3,0		0,12	0,44
4.2	A	0,26	65	4,5	0,4	1,3	-1,87	8,6	19	0,15	0,10
	C	0,17	305	0,6	1,7	0,5	-0,69 \div +0,14	3,2		0,07	0,26
5.2	A	0,43	83	3,1	0,86	1,5	-1,21	4,4	26	0,12	0,12
	C	0,13	198	1,2	0,74	0,7	-1,4	7,9		0,07	0,34
6.2	A	0,46	157	3,0	1,0	1,2	-0,74	3,3	19	0,19	0,10
	C	0,11	262	1,1	0,71	0,6	-3,63	25,3		0,11	0,27
7.2	A	0,49	34	10,1	0,32	0,7	+0,31	2,3	17	0,17	0,50
	C	0,08	797	0,5	1,1	0,1	-1,9 \div +1,8	17,4		0,10	0,27
8.2	A	0,28	87	2,9	0,62	0,6	-0,92	3,7	19	0,12	0,63
	C	0,33	76	4,5	0,47	0,7	-0,77	4,3		0,16	0,31
9.2	A	0,36	76	5,3	0,5	0,6	-0,49 \div +0,66	3,6	14	0,24	0,14
	C	0,11	148	0,9	0,9	0,3	-0,14 \div +0,53	4,3		0,08	0,28

Jak już wspomniano skośność R_{sk} informuje o rozkładzie rzędnych profilu względem jego średniej linii. Aby jednak mówić o warunkach styku nierówności na powierzchni wałka z powierzchnią wargi należy wziąć pod uwagę również rozkład częstości rzędnych (rys.2). Dla porównania wybrano rozkłady dla których wartości skośności są zbliżone ale rozkłady częstości rzędnych są różne. W przypadku styku wargi z powierzchnią wałka o rozkładzie rzędnych jak na rys. 2a w styku pozostanie zaledwie kilka najwyższych położonych wierzchołków, natomiast dla wałka z powierzchnią o rozkładzie częstości jak na rys. 2b w styku wejdzie znacznie więcej wierzchołków. W tym ostatnim przypadku warunki styku są znacznie bardziej korzystne.



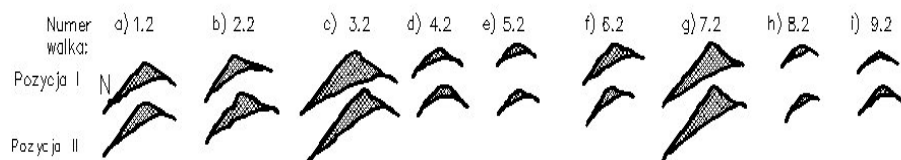
Rys. 2. Krzywa nośności i częstości rzędnych dla dwóch różnych wałków o zbliżonej wartości skośności $R_{sk2,2} = -0,24$ i $R_{sk5,2} = -0,39$, a) częstość rzędnych na głębokości $0,1 \mu\text{m}$ od najwyższego wierzchołka b. niska, b) częstość stosunkowo wysoka

Fig. 2. Bearing ratio and amplitude distribution curves for two surfaces with similar values of R_{sk} parameter, a) ordinates frequency on the depth of $0,1 \mu\text{m}$ from the highest asperity is low, b) ordinates frequency high

ZUŻYCIE KRAWĘDZI WARGI A CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI WAŁU

Znajomość profilu krawędzi uszczelniającej wargi przed i po pracy uszczelniania z danym wałkiem umożliwia zarazem ocenę warunków styku pomiędzy obu współpracującymi powierzchniami. Im mniejsze zużycie wargi tym lepsze warunki smarowania pomiędzy miejscami potencjalnego rzeczywistego styku. Do zawiązywania się lokalnych warstw smarowych dochodzi podczas 10 minutowych okresów ruchu wału, w okresach postoju wału występuje wyciskanie oleju pod wpływem sprężystego oddziaływania wargi uszczelniającej na powierzchnię wału.

Z analizy zamieszczonych na rys.3 profili zużytych warg wynika, że chropowatość w bardzo istotny sposób wpływa na intensywność zużywania się. Największego zużycia doznały uszczelnienia współpracujące z wałkami Nr. 1.2; 2.2; 3.2 oraz 7.2. Należy podkreślić, że stopień zużycia zależy od miejsca położenia styku na wardze po stronie powietrznej (punkt N rys.3a).



Rys. 3. Profile krawędzi badanych uszczelnień wyznaczone w dwóch miejscach na średnicy przed i po współpracy z wałkami, a) Nr 1.2, b) Nr 2.2, c) Nr 3.2 d) 4.2, e) 5.2, f) 6.2, g) 7.2, h) 8.2, i) 9.2

Fig. 3. Profiles of the sealing edge of examined seals determined in two places along the diameter before and after operation on different shafts. a) No 1.2, b) No 2.2 and so on

Dlaczego zatem w jednych uszczelnieniach początek styku wargi z wałem wystąpił na prostoliniowej części krawędzi podczas gdy w innych na krzywoliniowej jej części? Powierzchnie wałków 1.2; 2.2; 3.2 oraz 7.2 charakteryzują się dużymi wartościami następujących parametrów: $8,4 \leq \Delta a_A \leq 10,5^\circ$ oraz $0,17 \leq (R_r / \bar{r})_A \leq 1,4$ co sprzyja przemieszczaniu się wargi w kierunku ruchu wału podczas montażu pary ciekiej. Wargę przechyla się w stronę powietrzną i dochodzi do styku rozpoczynającego się na prostoliniowej części krawędzi uszczelniającej. W uszczelnieniach współpracujących z wałkami nr 4.2; 5.2; 8.2 oraz 9.2 wartości wymienionych parametrów są zawarte w zakresie: $2,9^\circ \leq \Delta a_A \leq 5,3^\circ$ oraz $0,12 \leq (R_r / \bar{r})_A \leq 0,24$ i podczas montażu uszczelnienia na wałku nie dochodzi do tak znacznego odchylenia się wargi uszczelniającej.

Na powierzchnię wałków, które wywołały największe zużycie krawędzi uszczelniającej badanych uszczelnień znajdują się doliny o odpowiedniej głębokości $0,7 \leq Rvm_A \leq 3,0 \mu m$ oraz $0,1 \leq Rvm_C \leq 0,8 \mu m$. Doliny o podobnej średniej głębokości $0,6 \leq Rvm_A \leq 1,5 \mu m$ oraz $0,3 \leq Rvm_C \leq 0,7 \mu m$ występowały na wałkach po współpracy z którymi zużycie wargi uszczelnień było bardzo małe. Parametr R_{vm} nie stanowi zatem wystarczającego warunku dla

zapewnienia niskiego zużycia krawędzi uszczelniającej wargi. Wydaje się, że do prognozowania zużycia wargi uszczelnienia należy wziąć pod uwagę rozkład częstości rzędnych profilu, zwłaszcza w kierunku obwodowym oraz wartości ilorazu R_t/\bar{r} . Dla potwierdzenia tej tezy przeanalizowano rozkłady częstości rzędnych i stwierdzono, że dla wałków Nr. 1.2, 2.2, 3.2 oraz 7.2 znaczący wzrost częstości występuje w odległości $0,2 \leq x \leq 0,7 \mu m$ od najwyższego wierzchołka podczas gdy dla pozostałych powierzchni wałków wzrost częstości rozpoczyna się w odległości $0,1 \leq x \leq 0,4 \mu m$. Porównanie wartości ilorazów R_t/\bar{r} dla kierunku obwodowego wskazuje, że dla chropowatości powierzchni wałków wywołujących duże zużycie wargi wynosi on $0,10 \leq (R_t/\bar{r})_c \leq 0,50$ podczas gdy dla pozostałych wałków $0,07 \leq (R_t/\bar{r})_c \leq 0,16$.

Styk pomiędzy powierzchnią wału a wargą jest ograniczony do styku z ograniczoną ilością wierzchołków; średnia odległość pomiędzy tymi nierównościami w kierunku obwodowym wynosi $326 \leq S_m \leq 366 \mu m$. Ta stosunkowo duża odległość pomiędzy nierównościami sprawia, że odkształcenia styczne w warstwie wierzchniej wargi muszą być znaczne a stąd zmęczenie gumy prowadzi do zużycia. Uszczelnienia o niskim zużyciu współpracowały z wałkami na których powierzchni średnia odległość pomiędzy wierzchołkami zawarta była w przedziale $76 \leq S_m \leq 288 \mu m$.

ZUŻYCIE POWIERZCHNI WAŁKÓW

Dane dotyczące zmiany wartości parametrów charakteryzujących chropowatość powierzchni badanych wałków zawarto w tablicy 2.

Z porównania danych zawartych w tablicach 1 i 2 można dojść do następujących wniosków:

w rezultacie zużywania się powierzchni wałków doszło generalnie do spadku wartości następujących parametrów : R_a , S_m , R_{vm} , ε_{crit} ,

zaobserwowano wzrost średniego pochylenia profilu Δa_c , wzrost koncentracji rzędnych R_{ku} w przypadku kilku wałków i przemieszczenia ich w stronę linii średniej ($R_{sk} < 0$). W wyniku starcia najwyżej

położonych wierzchołków doszło również do pewnej poprawy rozkładu rzędnych po wysokości profilu,

średnie promienie zaokrąglenia wierzchołków nierówności uległy niewielkiemu zmniejszeniu co doprowadziło do wzrostu, w niektórych przypadkach, wartości ilorazu R_t/\bar{r} .

Tablica 2. Średnie wartości lub zakresy wartości parametrów chropowatości wyznaczone w kierunku obwodowym (C) dla powierzchni zużytych.

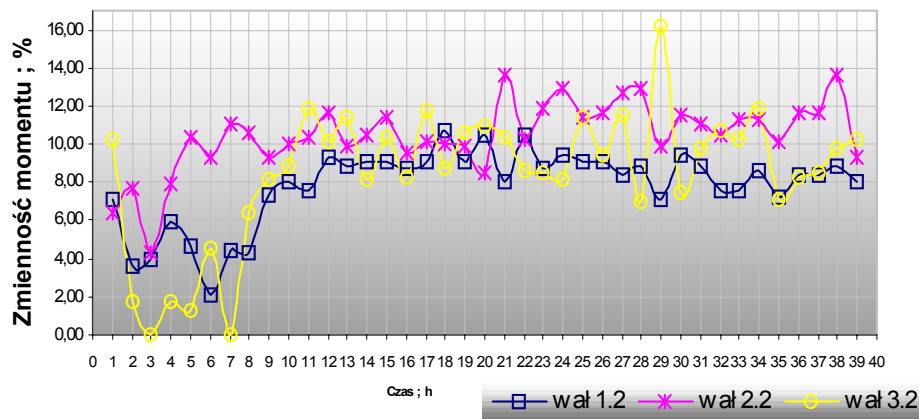
Table 2. Mean values of the original shaft surface roughness parameters determined in circumferential (C) direction.

Numer wałka	Parametry chropowatości									
	R_a	S_m	Δ_a	λ_a	R_{vm}	R_{sk}	R_{ku}	\bar{r}	$\frac{R_t}{\bar{r}}$	ϵ_{crit}
	μm	μm	deg	$\mu m/deg$	μm	-	-	μm	-	-
1.2 C	0,18	329	1,3	0,8	0,3	-0,15÷+0,18	2,7	9	0,13	0,28
2.2 C	0,24	239	1,6	0,9	0,4	0,6	3,3	7	0,26	0,25
3.2 C	0,21	260	1,6	0,8	0,3	-1,2÷+0,3	2,9÷6,1	9	0,23	0,25
4.2 C	0,10	157	1,6	0,4	0,1	-2,0÷-0,8	3,8÷12	13	0,07	0,27
5.2 C	0,11	130	2,1	0,3	0,3	-1,8	11	19	0,09	0,27
6.2 C	0,16	176	2,0	0,5	0,6	-1,6÷-3,8	6,5÷25	16	0,15	0,28
7.2 C	0,10	502	1,3	0,5	0,3	-0,52÷+1,4	7,0	9	0,17	0,25
8.2 C	0,28	87	2,9	0,6	1,0	-0,93	3,7	18	0,12	0,39
9.2 C	0,12	128	1,6	0,5	0,3	-1,0÷+0,2	3,4÷12	11	0,12	0,25

Najbardziej nieoczekiwanym rezultatem badań było niewielkie zmniejszenie średniego promienia zaokrąglenia wierzchołków nierówności. Podczas badań tych samych wałków we współpracy z podobnymi uszczelnieniami w ruchu ciągłym przez 20 godzin doszło do zwiększenia promieni zaokrąglenia wierzchołków [3]. Należy przypuszczać, iż w warunkach utrudnionego smarowania w miejscach rzeczywistego styku wargi z wałem dochodziło do zużywania nierówności powierzchni wału a to prowadziło do zmniejszenia promieni mierzonych w kierunku obwodowym.

OPÓR TARCIA I ZUŻYCIE WARGI

Podczas współpracy pary wał-uszczelnienie wargowe w warunkach ruchu okresowo przerywanym zauważono, że wartość momentu tarcia zmieniała się. Współczynnik niejednostajności momentu $\delta = (M_{\max} - M_{\min}) / M_{\max}$ wahał się w zakresie $8,2 \leq \delta_{\max} \leq 16,1\%$ a jego minimalna wartość $1,3 \leq \delta_{\max} \leq 8,1\%$ (rys.4). Wyższemu zużyciu wargi odpowiadała wyższa niejednostajność momentu $2,1 \leq \delta_{\max} \leq 10,8\%$, $4,3 \leq \delta_{\max} \leq 13,7\%$, $1,3 \leq \delta_{\max} \leq 16,1\%$; świadczy to o zużywaniu a potem o usuwaniu produktów zużycia z obszaru styku wargi z wałem. Momentowi usuwania produktów zużycia towarzyszy obniżenie oporu tarcia. W tych parach w których zużycie uszczelnień było mniejsze niejednostajność zmian momentu była mniejsza.



Rys.4 Zmiany momentu tarcia podczas badania uszczelnień pracujących w ruchu okresowo przerywanym z wałkami 1.2, 2.2, 3.2

Fig. 4. Torque variation during tests of oli lip seals operating in start – stop mode with the shafts No: 1.2, 2.2 and 3.2

WNIOSKI

Pracę można podsumować podając następujące wnioski:

chropowatość powierzchni badanych wałków odznacza się anizotropią. Wykonawcy wałków udało się otrzymać korzystny rozkład rzędnych względem linii średniej z tym, że niektóre powierzchnie charakteryzują się bardzo niską częstością występowania rzędnych w górnej strefie profilu,

duże zużycie krawędzi uszczelniającej wargi wynika ze współpracy z wałkami o następującej chropowatości:

- duża wartość ilorazu R_t / \bar{r} ,
- duża wartość średniego pochylenia profilu Δ_a w kierunku osiowym,
- bardzo niska częstość występowania rzędnych w górnej części profilu na odcinku od 0,2 do 0,7 μm od najwyższego wierzchołka,

średnia głębokość dolin R_{vm} jest istotna dla procesu smarowania w sytuacji profilu o wystarczającej częstości występowania rzędnych w jego górnym odcinku,

w rezultacie zużywania się powierzchni wałków współpracujących z uszczelnieniami w ruchu okresowo przerywanym doszło do wzrostu wartości parametru $\Delta_a C$, pewnego wzrostu częstości rzędnych oraz do spadku wartości promieni zaokrąglenia wierzchołków nierówności.

LITERATURA

Qu J. “ The Application of Discriminant Analysis in Shaft Surface Classification for Radial Lip Seals” SAE Paper 960214

Gawliński M., “ Optimal Surface Roughness of the Shafts Co-operating with Oil Lip Seals” 16 th International Conference on Fluid Sealing, Brugge, Belgium, 2000

Gawliński M., Kasprzyk Zb., „ Shaft Surface Roughness and its Influence on the Wear of the Lip Sealing Edge” Material Science, Vol.9 , No.1 2003

Recenzent:
Jan BURCAN

Summary

At the beginning of the shaft motion it comes to the direct contact of the shaft surface irregularities with the sealing lip; it influences the power consumption and lip wear. One should from the shaft surface in such manner in order some oil quantity could be absorbed and kept in the micro-valleys through possibly longest period. Then

build-up of the lubricating layer on particular irregularities will be possible at the initial moment of the shaft motion.

Authors prepared indirect evaluation method of the shaft surface ability to absorb and preserve the oil; it relies on the periodical rotation (10 min.) and stand-by (10 min.) of the shaft. The total time of test amounted to 40 hours.

It appeared, that depending on the shaft surface ability to absorb the oil as well as on the amplitude frequency distribution one could find the different wear rates of the sealing lip. There were presented recommended values of the roughness parameters ensuring low wear rate.