

Prof. dr hab. inż. Stanisław Płonka
Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
43-309 Bielsko-Biała, ul. Willowa 2
E-mail: splonka@ath.bielsko.pl

Dr hab. inż. Andrzej Zaborski, prof. nadzw. P.Cz.
Instytut Technologii Mechanicznych
Politechnika Częstochowska
42-201 Częstochowa, ul. Armii Krajowej 21
E-mail: zaborski@itm.pcz.czyst.pl

Zużycie eksploatacyjne szyjki okładziny wrzecion przędzalniczych przy współpracy z przędzą

Słowa kluczowe: przędzarka obrączkowa, wrzeciono z nasadką antybalonową, zużycie eksploatacyjne
Keywords: ring spinning frame, collapse balloon spindle, operational wear

Streszczenie: W artykule zamieszczono wyniki badań czasu pracy szyjki okładziny wrzecion z nasadką antybalonową przędzarki obrączkowej przy współpracy z przędzą, w warunkach przemysłowych, w postaci histogramów. Przyjmując jako kryterium zużycia zmianę średnicy, części walcowej, szyjki okładziny $\Delta d \geq 0,5mm$. Ocenę czasu pracy szyjki przeprowadzono przy współpracy z mieszanką włókien: 70÷80% włókien wełny z dodatkiem 30÷20% włókien poliestrowych, powodującą największe zużycie. Badania objęły pomiary, metodą metryczną, zużycia szyjki okładziny wrzecion wykonanych ze stopu EN AW-2024 (AlCu4Mg1) poddanych obróbce wykończeniowej przez szlifowanie płótnem ściernym o numerze ziarna 80, a następnie 150 oraz polerowanie papierem ściernym odmulonym, jak również w drugim wariantcie - operacji nagniatania. Ponadto wykonano pomiary odchyłki okrągłości części walcowej szyjki okładziny, w równych odległościach od czoła nasadki, za pomocą okrągłościomierza Taylron 365. Następnie na podstawie uzyskanych zarysów okrągłości sporządzono zarys walcowości szyjki okładziny wrzeciona nagniatanej przed i po czasie eksploatacji. Wykonano również pomiary topografii powierzchni szyjki okładziny wrzecion przędzalniczych, przed i po okresie eksploatacji. Analiza zarysu walcowości i topografii powierzchni potwierdzają, że powierzchnia zewnętrzna warstwy wierzchniej, na długości i obwodzie szyjki okładziny, przy współpracy z przędzą ulega nierównomiernemu zużyciu. Ocena topografii powierzchni zużycia oraz mikrofotografii powierzchni bocznej rowka śrubowego skłaniają do stwierdzenia, że zużycie szyjki okładzin wrzecion ze stopu AlCu4Mg1 następuje przede wszystkim w wyniku zużycia ściernego.

1. Wprowadzenie

W przędzarkach obrączkowych do przędzenia bezbalonowego występują części bezpośrednio stykające się z przędzą (strumieniem włókien), między innymi, takie jak: prowadniki, nasadki (koronki) antybalonowe, szyjki okładzin wrzecion, itp.[5]. Powierzchnia robocza tych części powinna spełniać co najmniej trzy warunki:

- cechować się małym współczynnikiem tarcia przy współpracy z przędzą, co w głównej mierze uzależnione jest od struktury stereometrycznej tej powierzchni (SGP 3D) wynikającej z metody wytwarzania [11];
- nie generować ładunków elektrostatycznych i „nie ładować” elektrostatycznie przędzy;
- być dostatecznie odporną na zużycie i przypadkowe uderzenia.

Wyniki badań przedstawione w artykule są kontynuacją prac dotyczących zużycia par tribologicznych metal – przędza. W pracy [8] przedstawiono obserwacje i pomiary zużycia szyjki okładziny wrzecion z nasadką antybalonową, ze stopu EN AW-2024 (AlCu4Mg1), poddanych obróbce wykończeniowej przez szlifowanie płótnem ściernym o numerze ziarna 80,

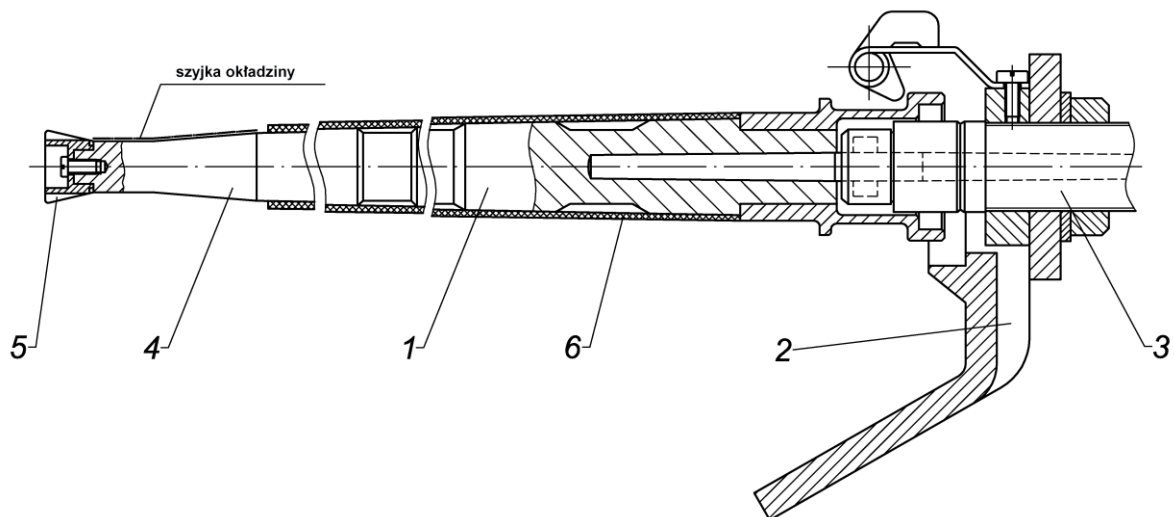
a następnie 150 oraz polerowanie papierem ściernym odmulonym. Ocenę zużycia szyjki okładziny przeprowadzono w warunkach przemysłowych przy współpracy z dwoma rodzajami mieszanek włókien: 70÷80% włókien wełny z dodatkiem 30÷20% włókien poliestrowych i 90% włókien wełny z dodatkiem 10% włókien poliamidowych oraz 100% włókien wełny. Natomiast w pracy [9] badano zużycie szyjki okładziny wrzecion poddanych dwóm rodzajom obróbki wykończeniowej: w pierwszym wariantcie nagniataniu oraz w drugim nagniataniu i następnie utlenianiu anodowemu twardego oraz szlifowaniu papierem ściernym korundowym PS 20 o numerze ziarna 600. Ocenę zużycia szyjki okładziny przeprowadzono, w warunkach przemysłowych, przy współpracy z trzema rodzajami mieszanek włókien (skład mieszanek zamieszczono w tablicy 1 [9]). Na podstawie wykonanych badań i obserwacji stwierdzono, że największe zużycie szyjki okładziny wrzecion występuje przy współpracy z przędzą będącą mieszanką: 70% włókien wełny z dodatkiem 30% włókien poliestrowych.

Dlatego celem zrealizowanych badań i zamieszczonych wyników było określenie wpływu rodzaju obróbki wykończeniowej, tj. szlifowania i polerowania oraz nagniatania na czas pracy szyjki okładziny wrzecion wykonanych ze stopu EN AW-2024 (AlCu4Mg1), przy współpracy z mieszanką włókien: 70÷80% włókien wełny z dodatkiem 30÷20% włókien poliestrowych.

2. Metodyka oceny zużycia szyjki okładziny wrzecion z nasadką antybalonową

Wykonano oraz zainstalowano na przędzarce obrączkowej PG-7A po 160 sztuk wrzecion przędzalniczych (Rys. 1), których szyjkę okładziny poddano obróbce wykończeniowej przez:

- szlifowanie płótnem ściernym korundowym HTJ – 13 – 3 o numerze ziarna 80, a następnie o numerze ziarna 150 oraz polerowanie papierem ściernym odmulonym z następującymi parametrami: $v_c=3,11$ m/s i nacisku jednostkowym $p_n \approx 0,015$ MPa.
- nagniatanie krążkiem o $d_k=40$ mm i promieniu zaokrąglenia powierzchni w przekroju osiowym $r_k=9$ mm, z siłą docisku $F_n=0,30$ kN, posuwie $f_n=0,10$ mm/obr., prędkości nagniatania $v_n=2,07$ m/s oraz smarowaniu olejem maszynowym 10 [10, 12].



Rys. 1. Kompletne wrzeciono z nasadką antybalonową przędzarki obrączkowej PG-7A: 1 – pióro wrzeciona, 2 – hamulec, 3 – wkład łożyskowy, 4 – szyjka okładziny wrzeciona ze stopu AlCu4Mg1, 5 – nasadka (koronka), 6 – cewka [8, 9]

Badania zużycia szyjki okładziny wrzecion z nasadką antybalonową przy współpracy z przędzą, przeprowadzono metodą metryczną [2], na przędzarce obrączkowej, w warunkach produkcyjnych. Pomiary zużycia, podczas przędzenia mieszanek, opisanych w tablicy 1, prowadzono w odstępach trzymiesięcznych, stosując, specjalnie przystosowany w tym celu mikrometr o zakresie od 0 do 25 mm z działką elementarną 0,002 mm. Wartość zużycia Δd

określano jako różnicę pomiędzy średnicą początkową, a najmniejszą wartością średnicy z 5-ciu pomiarów, części walcowej, szyjki okładziny. Pomiary średnicy wykonywano, co 60° w odległości około 9 mm od czoła nasadki. Ze względu na to, że katastroficznemu zużyciu, w postaci rowka śrubowego ulega od 5-ciu do 7,5% wszystkich okładzin wrzecion, jako kryterium zużycia – jednocześnie wymiany wrzeciona – przyjęto zmianę średnicy szyjki okładziny $\Delta d \geq 0,5$ mm.

Tablica 1. Rodzaje przędzy przerabianej na przędzarce obrączkowej, ich charakterystyka oraz procentowy czasookres ich przerobu

Rodzaj przerabianego surowca	Masa liniowa przędzy, tex	Liczba skrętów przędzy na 1 metr, 1/m	Liczba obrotów wrzecion, obr/min	Procentowy czasookres ich przerobu, %
Poliester 30% + wełna 70%	100; 125	390; 360	9500÷10000	77,6
Poliester 20% + wełna 80%	150	280	8500	22,4

Ponadto do oceny zużycia szyjki okładziny wrzecion przędzalniczych przeprowadzono pomiary odchyłki okrągłości (skanowanie średnicy szyjki okładziny) za pomocą okrągłościomierza Taylron 365 firmy Taylor Hobson, wyposażonego w końcówkę pomiarową zakończoną kulką o promieniu $R_k=0,5$ mm. Pomiary odchyłki okrągłości przeprowadzono w odległości 1÷16 mm od nasadki w przekrojach poprzecznych, wykonanych w odstępach co 0,5 mm, przed i po okresie eksploatacji wrzeciona. Następnie w wyniku zastosowania strategii pomiaru zarysów okrągłości sporządzono zarys walcowości szyjki okładziny wrzeciona nagniatanej przed i po okresie eksploatacji [1].

Pomiary kształtu rowka śrubowego, w kierunku prostopadłym do przebiegu rowka, wykonano na profilografometrze Form Talysurf 120 firmy Taylor Hobson, wyposażonym w głowicę szeroko zakresową z końcówką pomiarową o promieniu zaokrąglenia $r_p=20$ μ m. Zarys kształtu rowka wyznaczono w następujących odległościach od czoła nasadki: 1,0 mm i następnie co 2,0 mm aż do odległości 17,0 mm, a następnie w odległościach: 20,0; 25,0; 30,0 i 35,0 mm.

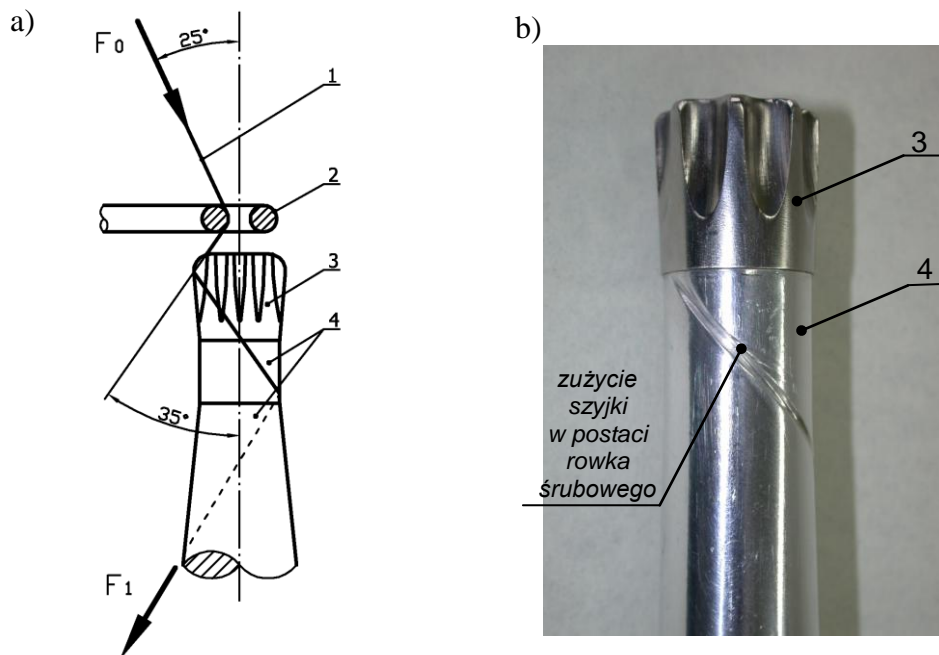
Do oceny wpływu przemieszczania się przędzy na chropowatość powierzchni szyjki okładziny wrzeciona wykonano również pomiary topografii powierzchni w odległości około 9 mm poniżej nasadki. Mierzono następujące parametry chropowatości powierzchni 3D [6, 13, 14] (przed i po okresie eksploatacji wrzecion): parametry amplitudowe powierzchni – średnią arytmetyczną rzędnych S_a , średnie kwadratowe odchylenie S_q , maksymalną wysokość szczytów S_p , maksymalną głębokość wgłębień S_v , maksymalną wysokość S_z , współczynnik asymetrii (skośność) S_{sk} i współczynnik nachylenia (kurtozę) S_{ku} oraz parametry powierzchniowej krzywej udziału materiałowego: głębokość rdzenia S_k , zredukowaną wysokość szczytów S_{pk} , zredukowaną głębokość wgłębień S_{vk} , udział nośny szczytów S_{mr1} , udział nośny wgłębień S_{mr2} , objętość materiału S_{al} i objętość głębokich wgłębień S_{a2} . Ponadto dla powierzchni szyjki okładziny wrzeciona po operacji nagniatania, przed i po eksploatacji, sporządzono kompleksowe charakterystyki struktury stereometrycznej powierzchni obejmujące: topograficzną mapę powierzchni, mapę warstwicową, histogram rozkładu rzędnych powierzchni oraz powierzchniową krzywą udziału materiałowego. Pomiary wybranych parametrów chropowatości 3D wykonano profilografometrem New Form Talysurf 2D/3D 120 firmy Taylor Hobson, wykorzystując oprogramowanie Ultra Surface 5.21 i TalyMap Platinum 5.1.1. W czasie pomiarów chropowatości stosowano długość odcinka elementarnego $l_r=0,25$ lub 0,80 mm (długość odcinka była dobierana automatycznie przez oprogramowanie), liczbę zarejestrowanych punktów $N_x=10000$, krok próbkowania $\Delta_x=0,308$ μ m, promień zaokrąglenia ostrza igły diamentowej $r_{tip}=2,0$ μ m, nacisk ostrza końcówki pomiarowej $F_{kp}=1,0$ mN, prędkość przesuwu ostrza końcówki pomiarowej $v_{os}=1,0$ mm/s oraz filtr Gaussa. Pomiary topografii przeprowadzono na powierzchniach o wymiarach 3,08 mm×3,0 mm w odstępach co 5 μ m.

Pomiary mikrotwardości przeprowadzono metodą Vickersa, na zglądach skośnych wykonanych pod kątem $4^{\circ}30'$ ($0,0785$ rad), używając mikrotwardościomierza firmy Leitz Wetzlar, przy obciążeniu wgłębnika $0,49$ N.

Za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) *Jeol-J7*, obserwowano ślady zużycia powierzchni bocznej rowka śrubowego, po okresie tarcia przędzy o szyjkę okładziny wynoszącym około 21600 roboczogodzin.

3. Zużycie szyjki okładziny wrzeciona z nasadką antybalonową podczas przędzenia

Podczas pracy wrzeciona, przędza poruszająca się z prędkością $25\div 35$ m/min, w wyniku miejscowego tarcia spowodowanego mało płynnym przechodzeniem („przeskakiwaniem”) z jednego wrębu nasadki do sąsiedniego (rys. 2a), a nierzadko w wyniku jej „przytrzymywania” przez jeden z zębów nasadki, występuje nadmierne zużywanie się szyjki okładziny wrzeciona. Zużycie to objawia się w około 5-ciu do 7,5% przypadków powstawaniem rowków śrubowych o szerokości około 2,0 mm i głębokości ponad 1,0 mm (rys. 2b) po czasie współpracy z przędzą wynoszącym co najmniej kilkanaście tysięcy roboczogodzin. Rowki te uniemożliwiają łagodne przesuwanie się przędzy po szyjce okładziny i w efekcie prowadzą do zwiększonej liczby zrywów.



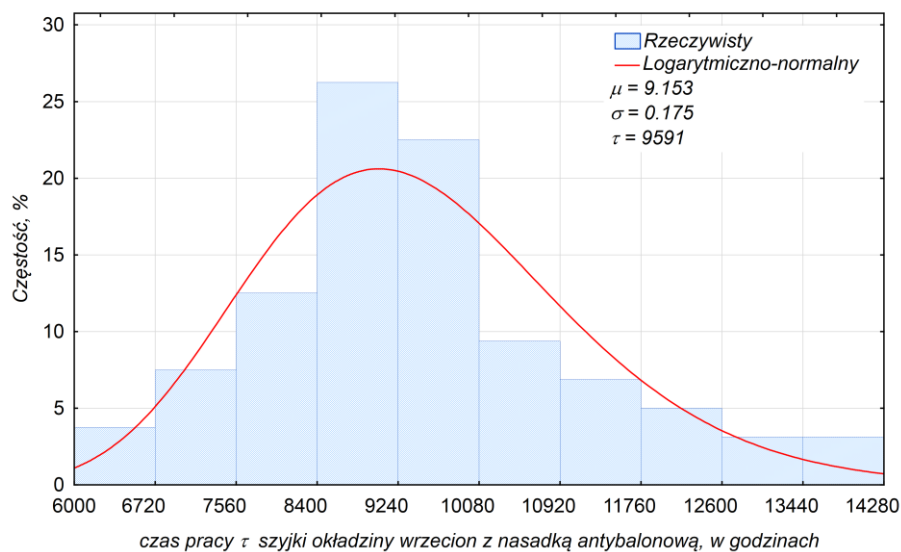
Rys. 2. Szyjka okładziny ze stopu AlCu4Mg1 wraz z nasadką wrzeciona przędzalniczego: a) przebieg przędzy od wałków wydających na przewodnik, a następnie nasadkę i szyjkę okładziny; b) zużycie szyjki okładziny wrzeciona nagniatanej, w postaci rowka śrubowego, po okresie eksploatacji równym około 21600 roboczogodzin: 1 – przędza, 2 – przewodnik, 3 – nasadka, 4 – szyjka okładziny wrzeciona ze stopu AlCu4Mg1 [8, 9]

Zjawisko zużywania się szyjki okładziny potęgują znajdujące się w strumieniu włókien, a w szczególności w wełnie cząstki martwe (traw, kory drzew, słomy) oraz nierzadko przyklejone do włókien wełny ziarenka pyłu [7].

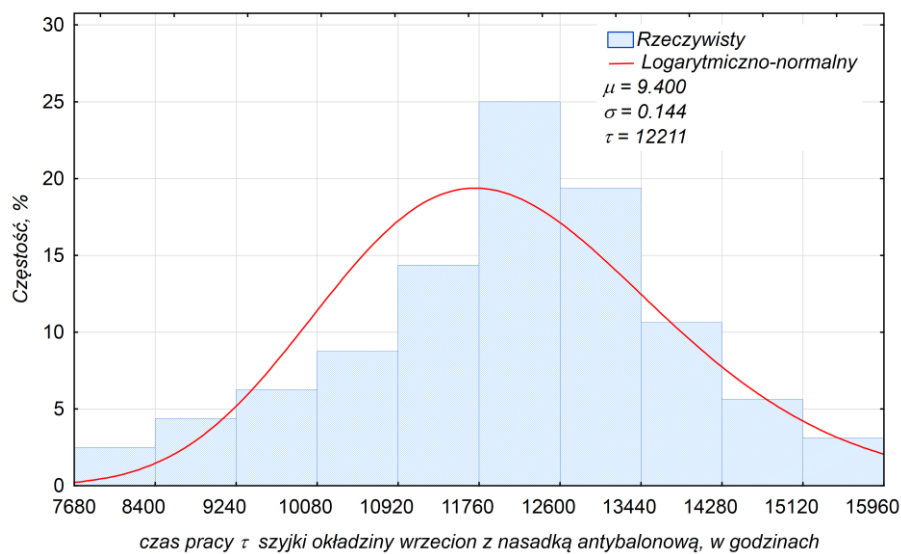
Histogram czasu pracy szyjki okładzin wrzecion z nasadką antybalonową po szlifowaniu i polerowaniu przy współpracy z przędzą będącą mieszanką: $70\div 80\%$ włókien wełny z dodatkiem $30\div 20\%$ włókien poliestrowych przedstawiono na rysunku 3. Natomiast szyjki okładzin wrzecion po nagniataniu na rysunku 4. Histogramy czasu pracy szyjki okładziny wrzecion identyfikowano za pomocą następujących rozkładów: normalnego, potęgowego, wykładniczego, Weibulla oraz logarytmiczno-normalnego. Najkorzystniejsze dopasowanie

uzyskano dla rozkładu logarytmiczno-normalnego. Hipotezę o zgodności rozkładu empirycznego i teoretycznego, dla obu przypadków, zweryfikowano za pomocą testu chi-kwadrat na poziomie istotności 0,05.

Z histogramów wynika, że średni czas pracy τ szyjki okładzin wrzecion szlifowanych i polerowanych przy współpracy z przędzą będącą mieszanką: 70÷80% włókien wełny z dodatkiem 30÷20% włókien poliestrowych wyniósł $\tau=9591$ roboczogodzin. Natomiast szyjki okładzin wrzecion nagniatanych, uległ wydłużeniu o około 27,3% i wyniósł $\tau=12211$ roboczogodzin. Tłumaczyć to należy większą twardością strefy przypowierzchniowej warstwy wierzchniej (WW) uzyskanej po nagniataniu w stosunku do twardości strefy przypowierzchniowej WW szyjki szlifowanej i polerowanej oraz wyraźnie większą grubością tej warstwy, a także płasko wierzchołkową strukturą powierzchni o dużym udziale nośności materiałowej.

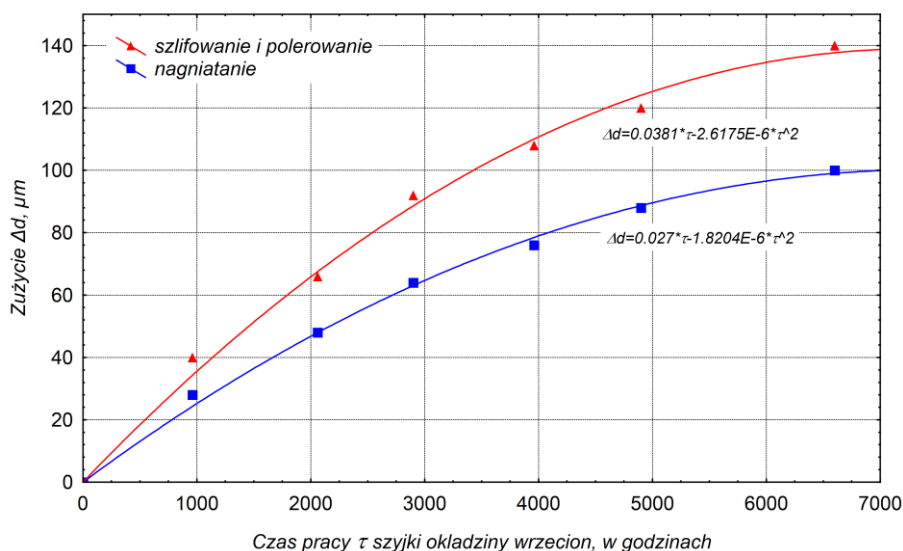


Rys. 3. Histogram czasu pracy szyjki okładziny wrzecion ze stopu AlCu4Mg1 szlifowanych i polerowanych przy współpracy z przędzą [8]

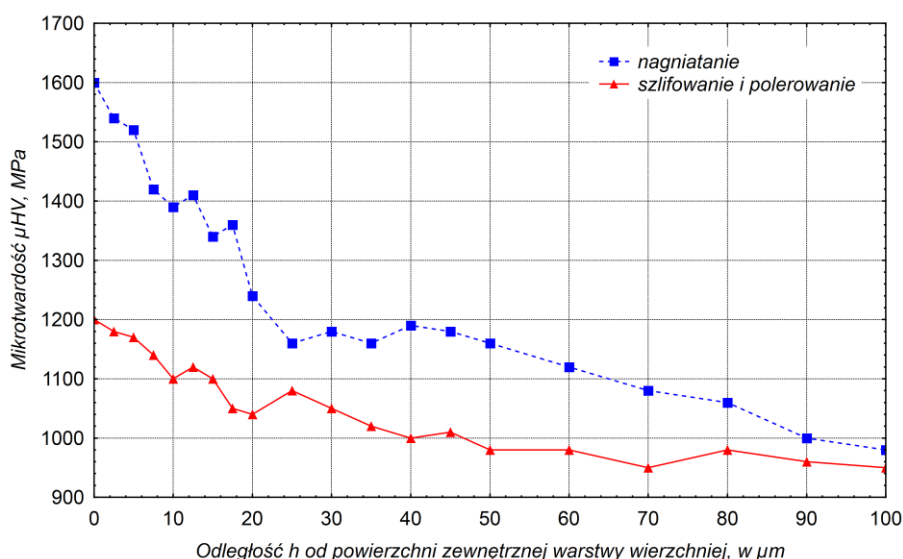


Rys. 4. Histogram czasu pracy szyjki okładziny wrzecion ze stopu AlCu4Mg1 nagniatanych przy współpracy z przędzą

Wpływ sposobu obróbki wykończeniowej szyjki okładziny wrzecion przedziałniczych i czasu pracy na zużycie Δd przedstawiono na rysunku 5. Mniejszym zużyciem charakteryzowała szyjka okładzin wrzecion obrobionych wykończeniowo przez nagniatanie. Tłumaczyć to należy, w pierwszej fazie zużycia ściernego, korzystniejszym zarysem nierówności powierzchni nagniatanych, mniejszymi wartościami parametrów chropowatości oraz większym udziałem nośnym materiałowym. Natomiast w drugiej fazie (po starciu nierówności) większą twardością o około 400 MPa strefy przypowierzchniowej WW w stosunku do twardości tej strefy szyjki szlifowanej i polerowanej i wyraźnie większą grubością tej warstwy równą około 80 μm (rys. 6) oraz ściskającymi naprężeniami własnymi [3, 4, 12].



Rys. 5. Wpływ czasu pracy na zużycie szyjki okładziny wrzecion z nasadką antybalonową, dla dwóch sposobów obróbki wykończeniowej

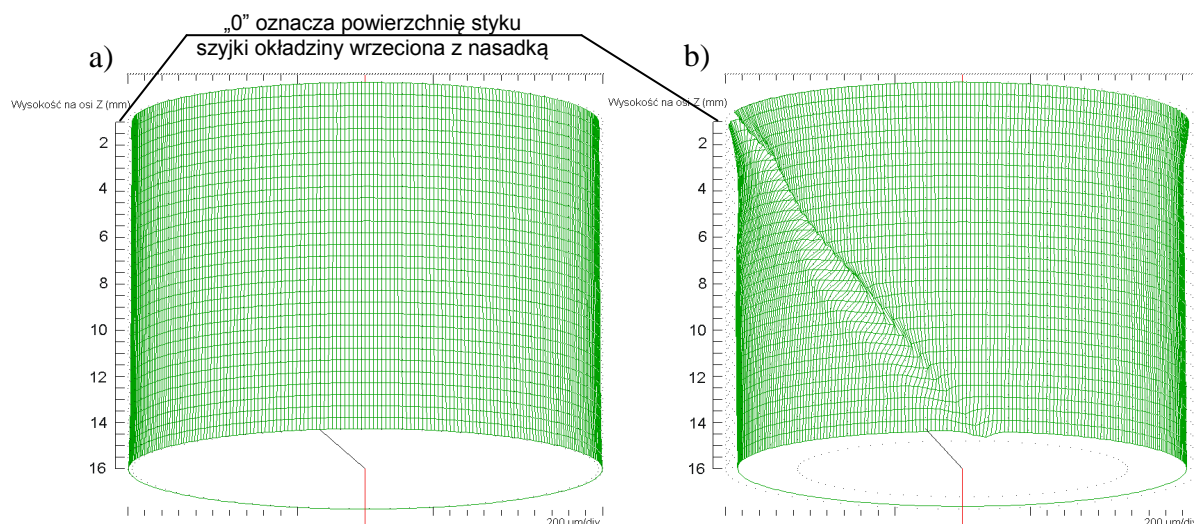


Rys. 6. Rozkład mikrotwardości w warstwie wierzchniej szyjki okładziny wrzecion ze stopu AlCu4Mg1 w głębi warstwy wierzchniej

Kształt nagniatanej powierzchni walcowej szyjki okładziny wrzecion, znajdującej się bezpośrednio pod nasadką, przed i po okresie eksploatacji wynoszącym około 21600 roboczych godzin, przedstawiono na rysunku 7. Przed eksploatacją część walcowa szyjki okładziny,

charakteryzowała się, w poszczególnych przekrojach, odchyłką okrągłości zwierającą się w przedziale $3,37 \div 9,88 \mu\text{m}$, natomiast odchyłką walcowości wynosiła $17,21 \mu\text{m}$. Po czasie eksploatacji wynoszącym około 21600 roboczogodzin odchyłką okrągłości wzrosła, na długości szyjki okładziny, od około 26,5 do około 162,0 razy i mieściła się w przedziale $261,69 \div 769,30 \mu\text{m}$, zaś odchyłką walcowości wyniosła $849,71 \mu\text{m}$ [9].

Wyniki pomiarów wybranych parametrów chropowatości 3D szyjki okładziny wrzecion nagniatanych, przed i po okresie eksploatacji, zamieszczono w tablicy 2.



Rys. 7. Kształt części walcowej szyjki okładziny wrzeciona z nasadką antybalonową po nagniataniu: a) przed eksploatacją (0 godzin współpracy z przędzą); b) po czasie eksploatacji (21600 godzin współpracy z przędzą) [9]

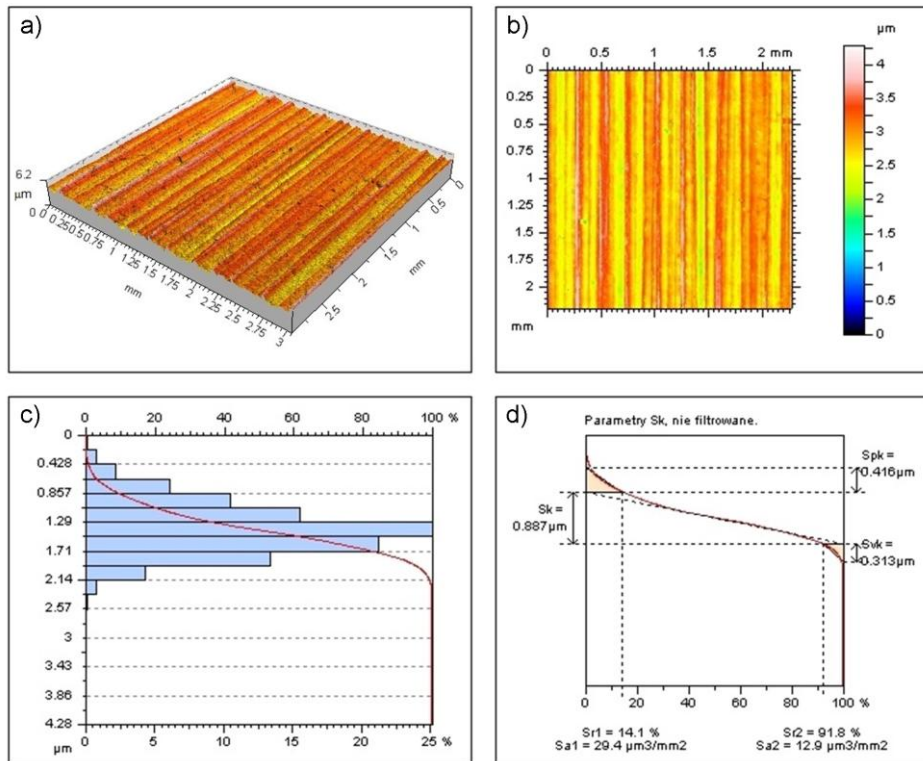
Tablica 2. Wartości wybranych parametrów chropowatości 3D szyjki okładziny wrzecion z nasadką antybalonową wykonanych ze stopu AlCu4Mg1 po nagniataniu przed i po okresie eksploatacji

Parametry chropowatości 3D	Nagniatana powierzchnia szyjki okładziny przed eksploatacją					Nagniatana powierzchnia szyjki okładziny po około 21600 roboczogodzinach współpracy z przędzą				
	pomiar 1	pomiar 2	pomiar 3	pomiar 4	pomiar 5	pomiar 1	pomiar 2	pomiar 3	pomiar 4	pomiar 5
$S_a, \mu\text{m}$	0,278	0,288	0,298	0,278	0,276	0,530	0,207	0,301	0,227	0,288
$S_q, \mu\text{m}$	0,359	0,364	0,377	0,358	0,351	0,723	0,267	0,446	0,294	0,374
$S_p, \mu\text{m}$	1,36	1,38	1,38	1,33	1,36	6,16	2,00	2,50	2,31	2,64
$S_v, \mu\text{m}$	4,08	3,90	3,99	4,10	3,68	3,13	3,20	4,12	1,69	4,08
$S_z, \mu\text{m}$	5,44	5,28	5,37	5,43	5,04	9,29	5,20	6,62	4,00	6,72
S_{sk}	0,205	0,350	0,453	0,280	0,399	0,999	0,496	-1,86	0,342	0,620
S_{ku}	4,35	3,10	4,17	4,33	3,58	6,95	4,31	15,30	4,31	4,65
$S_k, \mu\text{m}$	0,800	0,887	0,924	0,831	0,846	1,49	0,635	0,875	0,700	0,840
$S_{pk}, \mu\text{m}$	0,468	0,416	0,490	0,477	0,462	1,14	0,362	0,464	0,366	0,514
$S_{vk}, \mu\text{m}$	0,393	0,313	0,311	0,318	0,367	0,645	0,290	0,948	0,319	0,354
$S_{r1}, \%$	15,5	14,1	14,5	13,9	13,6	13,2	12,3	11,0	11,5	14,3
$S_{r2}, \%$	91,7	91,8	94,7	91,1	93,2	89,1	91,9	91,7	91,1	91,3
$S_{a1}, \mu\text{m}^3/\text{mm}^2$	36,4	29,4	35,6	33,1	31,4	75,6	22,3	25,6	21,1	36,7
$S_{a2}, \mu\text{m}^3/\text{mm}^2$	16,4	12,9	10,28	14,1	12,4	35,1	11,8	39,4	14,1	15,4

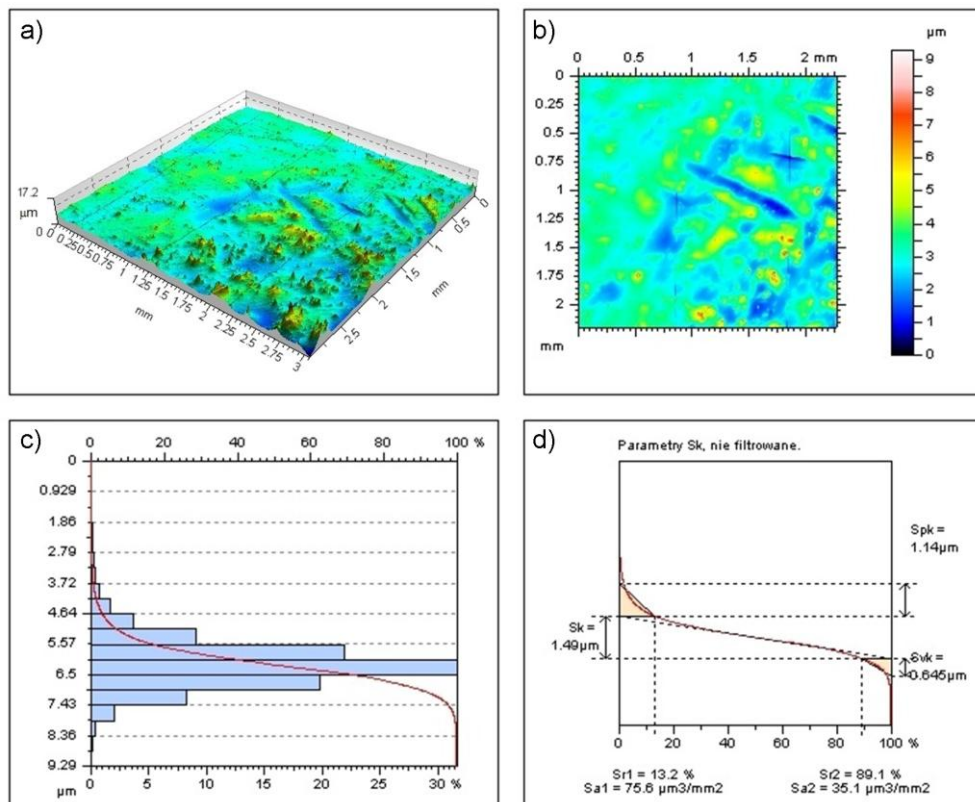
Wartości takich parametrów chropowatości powierzchni 3D jak S_a , S_q , S_p , S_v , S_z szyjki okładziny wrzeciona, dla pięciu pomiarów, po operacji nagniatania są prawie identyczne, natomiast pozostałych bardzo zbliżone. Dla powierzchni nagniatanych współczynnik asymetrii

S_{sk} zawiera się w przedziale $0,205 \div 0,453$, zaś współczynnik skupienia (kurioza) $S_{ku} = 3,10 \div 4,35$, co świadczy, że rozkład rzędnych szczytów powierzchni jest bliski rozkładowi normalnemu ($S_{sk}=0, S_{ku}=3$). Przemieszczanie się strumienia włókien (przędzy) po szyjce okładziny wrzeczona poddanej operacji nagniatania powoduje, przy bardzo krótkim kontakcie z przędzą, wyblyszczanie jej powierzchni, a wartości takich parametrów chropowatości jak S_a i S_q na ogół uległy zmniejszeniu. Natomiast takie parametry chropowatości jak S_p i S_z uległy wyraźnemu zwiększeniu, zaś pozostałe parametry osiągały wartości na zbliżonym poziomie. Na ogół w 5-ciu do 7,5% przypadków, na skutek niedoskonałości procesu wytwarzania nasadki (na ogół niewłaściwe załamanie krawędzi wrębu lub zęba), jeden z zębów nasadki przytrzymuje przędzę wyraźnie dłużej niż pozostałe a jej kontakt z powierzchnią szyjki jest znacznie dłuższy. W efekcie większość zmierzonych parametrów chropowatości 3D szyjki okładziny, po okresie eksploatacji równym około 21600 roboczogodzin, uległo znacznemu zwiększeniu. Przykładowo średnie kwadratowe odchylenie powierzchni S_q szyjki okładziny wrzeczion nagniatanych, przed eksploatacją, wyniosło od $0,351$ do $0,377 \mu\text{m}$, zaś po okresie współpracy z przędzą równym około 21600 roboczogodzin – $S_q=0,446 \div 0,723 \mu\text{m}$. Natomiast maksymalna wysokość szczytów powierzchni przed eksploatacją wyniosła $S_p=1,33 \div 1,38 \mu\text{m}$, zaś po okresie współpracy z przędzą równym około 21600 roboczogodzin – $S_p=2,64 \div 6,16 \mu\text{m}$. Największym zmianom uległy wartości parametrów chropowatości S_{sk} i S_{ku} . Współczynnik asymetrii powierzchni S_{sk} szyjki okładziny nagniatanej, przed eksploatacją, zawierał się w przedziale od $0,205$ do $0,453$, zaś współczynnik skupienia powierzchni S_{ku} – od $3,10$ do $4,35$, natomiast po okresie współpracy z przędzą równym około 21600 roboczogodzin (dla powierzchni zużytych) – $S_{sk} = -1,86 \div 0,999$, a $S_{ku}=6,95 \div 15,30$. Dla powierzchni znacznie zużytych, w pobliżu rowka śrubowego, współczynnik asymetrii powierzchni S_{sk} uległ zwiększeniu od $2,20$ do $4,87$ razy (moda rozkładu rzędnych szczytów powierzchni przesuwana wyraźnie w dół), zaś współczynnik skupienia S_{ku} – od $1,60$ do $2,24$ razy (co powoduje zwiększenie „rozmycia” rzędnych). Wartość ujemna współczynnika asymetrii S_{sk} i od $3,5$ do $4,9$ razy większa wartość współczynnika skupienia S_{ku} wystąpiła dla powierzchni zużytej z głębokimi rysami powstałymi najprawdopodobniej w wyniku przecinania ostrym narzędziem zerwanej i nawiniętej na szyjkę okładziny przędzy. Na rysunkach 8 i 9 przedstawiono kompleksowe charakterystyki chropowatości 3D powierzchni szyjki okładziny nagniatanej przed i po okresie eksploatacji, obejmujące: topograficzną mapę powierzchni, mapę warstwicową powierzchni oraz rozkład rzędnych powierzchni wraz z krzywą powierzchniowego udziału materiałowego. Topografia powierzchni szyjki okładziny po obróbce wykończeniowej nagniataniem charakteryzuje się spłaszczonymi szczytami, natomiast po czasie eksploatacji wynoszącym 21600 roboczogodzin szczyty powierzchni znacznie zużytej są ostre. Maksymalna wysokość szczytów powierzchni S_p po eksploatacji (znacznie zużytej) jest większa o około $4,5$ razy w stosunku do maksymalnej wysokości szczytów po nagniataniu. Parametry krzywej powierzchniowego udziału materiałowego dla szyjki okładziny po nagniataniu i po eksploatacji są dla powierzchni znacznie zużytej wyraźnie większe. Głębokość rdzenia S_k jest od $1,61$ do $1,86$ razy większa, zredukowana wysokość szczytów S_{pk} od $2,32$ do $2,74$ razy większa, zaś zredukowana głębokość wgłębień S_{vk} od $1,64$ do $2,07$ razy większa w stosunku do wartości tych parametrów dla powierzchni szyjki okładziny nagniatanej.

Dla powierzchni nagniatanych szyjki okładziny wrzeczion wartości objętości materiału S_{a1} , jak również objętości głębokich wgłębień S_{a2} są zbliżone, przy czym wartości S_{a1} dla tego samego pomiaru są zawsze większe od $2,22$ do $3,46$ razy od wartości S_{a2} . Natomiast dla powierzchni nagniatanych, po czasie eksploatacji wynoszącym 21600 roboczogodzin, w miejscu wyraźnego zużycia, wartości objętości materiału S_{a1} i objętości głębokich wgłębień S_{a2} są ponad dwukrotnie większe od wartości tych parametrów dla powierzchni przed eksploatacją. Tylko w jednym przypadku, dla powierzchni po eksploatacji, wartość objętości materiału S_{a1} była mniejsza od wartości objętości głębokich wgłębień S_{a2} . Tłumaczyć to należy uszkodzeniem powierzchni szyjki okładziny w postaci stosunkowo głębokiej rysy.



Rys. 8. Obraz struktury stereometrycznej powierzchni szyjki okładziny wrzeciona po operacji nagniatania: a) topograficzna mapa powierzchni: $S_a=0,288\ \mu\text{m}$, $S_q=0,364\ \mu\text{m}$, $S_p=1,38\ \mu\text{m}$, $S_v=2,90\ \mu\text{m}$, $S_z=4,28\ \mu\text{m}$; b) mapa warstwicowa; c) histogram rozkładu rzędnych powierzchni; d) krzywa powierzchniowego udziału materiałowego



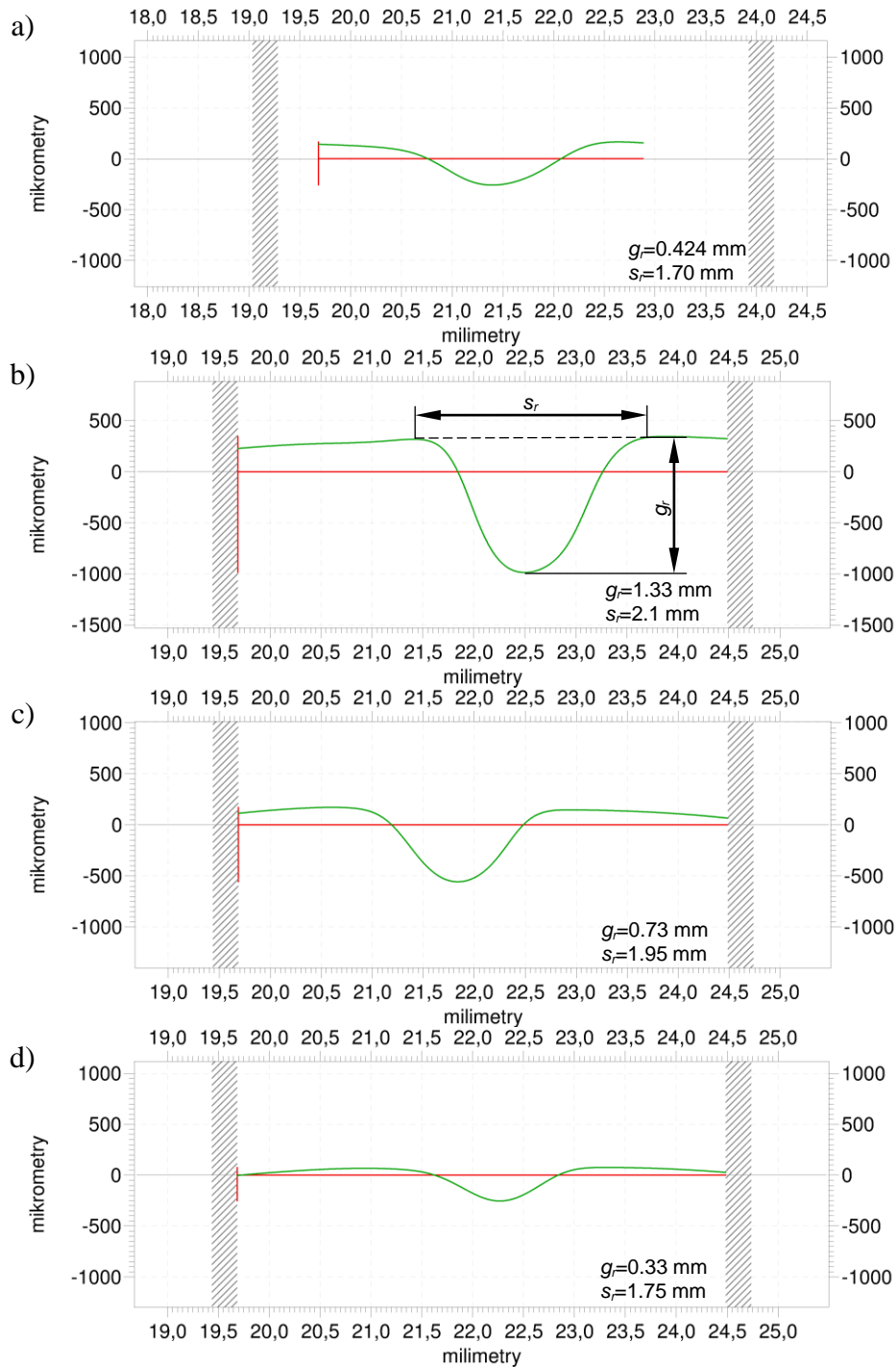
Rys. 9. Obraz struktury stereometrycznej powierzchni szyjki okładziny wrzeciona po operacji nagniatania i czasie współpracy z przędzą wynoszącym około 21600 godzin: a) topograficzna mapa powierzchni: $S_a=0,530\ \mu\text{m}$, $S_q=0,723\ \mu\text{m}$, $S_p=6,16\ \mu\text{m}$, $S_v=3,13\ \mu\text{m}$, $S_z=9,29\ \mu\text{m}$; b) mapa warstwicowa; c) histogram rozkładu rzędnych powierzchni; d) krzywa powierzchniowego udziału materiałowego

Parametry chropowatości powierzchni 3D szyjki okładziny wrzeciona po szlifowaniu płótnem ściernym i polerowaniu papierem odmulonym wyniosły: $S_a=0,50 \mu\text{m}$, $S_q=0,64 \mu\text{m}$, $S_p=2,74 \mu\text{m}$, $S_v=4,03 \mu\text{m}$, $S_z=6,77 \mu\text{m}$, $S_k=1,97 \mu\text{m}$, $S_{pk}=0,07 \mu\text{m}$, $S_{vk}=0,84 \mu\text{m}$, $S_{rl}=9,07\%$ i $S_{r2}=88,87\%$. Jak widać wartości, prawie wszystkich, parametrów chropowatości po szlifowaniu i polerowaniu są wyraźnie większe niż po nagniataniu. Jedyne parametry S_{pk} po operacji szlifowania i polerowania był kilka razy mniejszy od wartości tego parametru dla powierzchni nagniatanych. Natomiast po czasie pracy wynoszącym około 14400 roboczogodzin, w wyniku tarcia przędzy o powierzchnię szyjki okładziny, nieznacznie zmniejszeniu uległy następujące parametry chropowatości powierzchni S_a , S_q , S_v i S_{vk} , zaś zwiększeniu S_p , S_z i S_k [8].

Zużycie nagniatanej powierzchni szyjki okładziny jest nierównomierne, zarówno na obwodzie jak i wzdłuż osi wrzeciona (rys. 7). Przemieszczanie się strumienia włókien (przędzy) po szyjce okładziny wrzeciona poddanej operacji nagniatania powoduje, przy bardzo krótkim kontakcie z przędzą, nieznaczne jej zużycie w zakresie nierówności powierzchni, objawiające się najczęściej wyblaszczaniem powierzchni. Taka sytuacja ma miejsce kiedy przędza znajduje się na jednym z zębów nasadki, a więc w największej odległości od osi wrzeciona. Wówczas nacisk przędzy na szyjkę okładziny jest najmniejszy i trwa najkrócej. W przypadku kiedy przędza znajduje się we wgłębieniach nasadki, ściślej opasuje i dolega do powierzchni szyjki okładziny. Nacisk przędzy na powierzchnię szyjki staje się wielokrotnie większy, a czas jej kontaktu z powierzchnią szyjki wyraźnie się wydłuża. W efekcie prowadzi to do zwiększenia intensywności zużywania powierzchni szyjki okładziny i powstania wgłębień, których liczba dla szyjki okładziny wrzecion prawie równomiernie się zużywających odpowiada liczbie zębów nasadki. Natomiast dla szyjki okładziny wrzecion z niewłaściwie załamana krawędzią jednego z zębów nasadki liczba wgłębień, w pewnej odległości od jej czoła, jest mniejsza o jedno lub dwa wgłębienia. Spowodowane to jest brakiem płynnego przemieszczania się przędzy po zębach nasadki (przytrzymywaniem przędzy przez ten ząb). W efekcie na długości około 45 mm szyjki okładziny powstaje rowek śrubowy o znacznej szerokości i zmiennej głębokości. Na rysunku 10 zamieszczono, wykonane w przekroju prostopadłym do zarysu rowka śrubowego, kształty rowka w odległości 1,0; 9,0; 17,0 i 25,0 mm od czoła nasadki. Największe zużycie w postaci rowka śrubowego o głębokości około $g_r=1,33 \text{ mm}$ i szerokości $s_r=2,10 \text{ mm}$, w badanej serii wrzecion, wystąpiło w odległości około 9 mm od czoła nasadki (Rys. 10b). Kształt nagniatanej szyjki okładziny wrzeciona przędzalniczego, po czasie eksploatacji wynoszącym około 21600 roboczogodzin, w przekroju prostopadłym do osi szyjki wrzeciona, w odległości około 9 mm od czoła nasadki, przedstawiono na rysunku 11.

Na rysunku 12 zamieszczono mikrofotografie powierzchni zużycia ścianki bocznej rowka śrubowego, po okresie tarcia przędzy o szyjkę okładziny wynoszącym około 21600 roboczogodzin.

Najbardziej prawdopodobną wydaje się hipoteza, że ubytek materiału na obwodzie szyjki okładziny wrzecion z nasadką antybalonową, w postaci wgłębień o linii śrubowej i jednocześnie zmniejszenia jej średnicy, jest spowodowany oddzielaniem nieznacznych objętości materiału wskutek ciągłego oddziaływania włókien przędzy oraz okresowego oddziaływania cząstek stałych w postaci traw, kory drzew, słomy oraz nierzadko ziarenek pyłu, umiejscowionych w strumieniu włókien i przemieszczających się wraz z nim. Cząstki te są dociskane ze zmienną siłą do powierzchni szyjki okładziny w wyniku zmiennego naciągu przędzy spowodowanego jej cyklicznym wchodzeniem i wychodzeniem z wrębów nasadki oraz zmiennym położeniem osi wrzeciona zakończonego nasadką w czasie ruchu obrotowego. Można przez analogię do operacji szlifowania papierem ściernym odwijającym się z rolki przyjąć, że cząstki stałe spełniają rolę umiejscowionych mikro-ostrzy, które w długim okresie czasu powodują powstanie wgłębień o zmiennej głębokości.

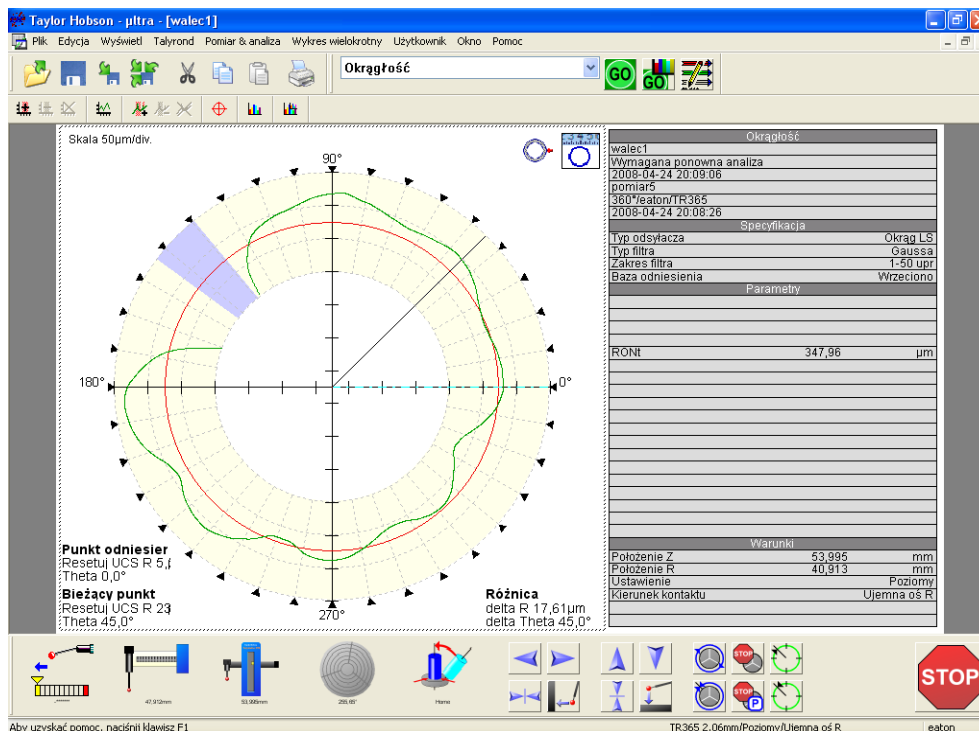


Rys. 10. Zarys rowka śrubowego wykonany w przekroju prostopadłym do zarysu rowka śrubowego w odległości: a) 1,0 mm; b) 9,0 mm; c) 17,0 mm; d) 25,0 mm od czoła nasadki

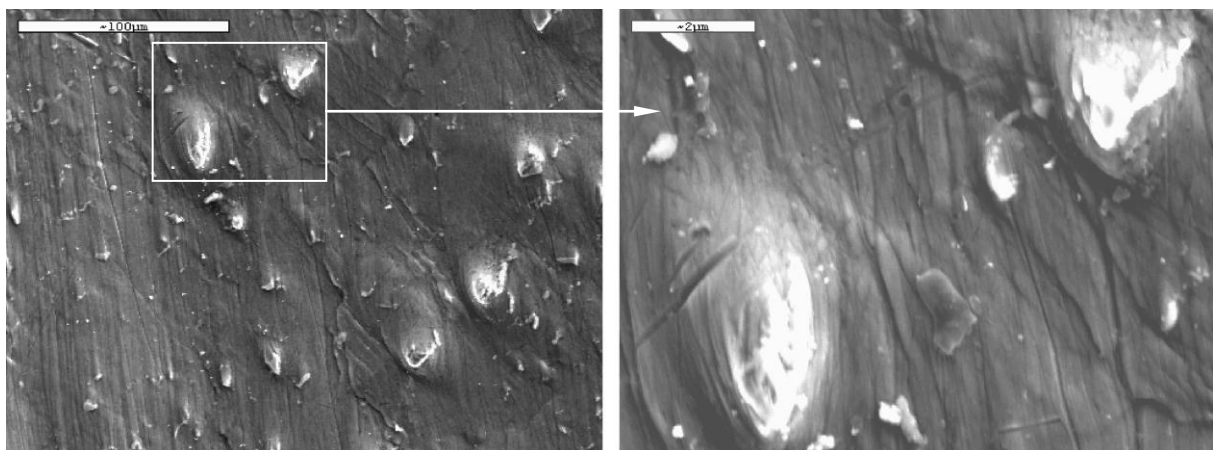
Liczba tych wgłębień, w odległości około 9 mm od czoła nasadki, jest w przypadku szyjki okładziny wrzecion zużytych, w postaci głębokiego rowka, mniejsza o jedno lub dwa wgłębienia od liczby zębów nasadki. Zdaniem autorów dominujące znaczenie w trakcie tarcia przędzy o powierzchnię szyjki okładziny wrzecion z nasadką antybalonową ma zużycie ściernie.

Na intensywność tego zużywania decydujący wpływ wywierają dwie grupy czynników: pierwsza – związana ze strukturą stereometryczną powierzchni i właściwościami fizykalnymi warstwy wierzchniej szyjki okładziny wrzecion, oraz druga związana z charakterystyką procesu przędzenia, tj. rodzajem przerabianej mieszanki, naciągami i prędkością przemieszczania się przędzy. Zarys płasko wierzchołkowy nierówności powierzchni i tym samym większy udział

nośny materiałowy powodują zwiększenie powierzchni kontaktu z przędzą, a przy identycznych warunkach przędzenia, mniejsze naciski jednostkowe i mniejsze zużycie. Podobnie wzrost twardości WW i ścisające naprężenia własne powodują zmniejszenie zużycia.



Rys. 11. Kształt nagniatanej szyjki okładziny wrzeciona przędzalniczego po czasie eksploatacji wynoszącym około 21600 roboczogodzin (przekrój poprzeczny w odległości 9 mm od czola nasadki) [9]



Rys. 12. Mikrofotografia powierzchni zużycia ścianki bocznej rowka śrubowego po czasie współpracy z przędzą wynoszącym około 21600 roboczogodzin (w odległości około 9 mm od czola nasadki)

4. Podsumowanie

Zastosowanie operacji nagniatania jako obróbki wykończeniowej szyjki okładziny wrzecion z nasadką antybalonową, wykonanej ze stopu EN AW-2024 (AlCu4Mg1), spowodowało ponad 27% wzrost odporności na zużycie przy współpracy z przędzą będącą mieszanką: 70÷80% włókien wełny z dodatkiem 30÷20% włókien poliestrowych, w stosunku do szyjki okładziny wrzecion szlifowanych i polerowanych. Jest to spowodowane odmienną

strukturą stereometryczną powierzchni nagniatanych, większą o około 400 MPa mikrotwardością warstwy wierzchniej po nagniataniu oraz ściskającymi naprężeniami własnymi [3, 12]. Zużycie to objawiło się powstaniem rowka śrubowego o zmiennej szerokości i głębokości, skoku około 50 mm, na długości około 45 mm szyjki okładziny wrzecion, począwszy od czoła nasadki. Po czasie współpracy z przędzą wynoszącym 21600 roboczogodzin, największe zużycie wystąpiło w odległości około 9 mm od czoła nasadki, i charakteryzowało się rowkiem o szerokości 2,10 mm i głębokości około 1,33 mm. Rowek ten uniemożliwia łagodne przesuwanie się przędzy po szyjce okładziny i w efekcie prowadzi do zwiększonej liczby zrywów

Ocena powierzchni szyjki okładziny wrzecion, z nasadką z błędem wykonania, w miejscu zużycia dowodzi, że po kresie eksploatacji równym 21600 godzin prawie wszystkie parametry chropowatości uległy zwiększeniu, np. średnie kwadratowe odchylenie powierzchni S_q ponad 2,0 razy, maksymalna wysokość szczytów powierzchni S_p ponad 4,5 razy, zredukowana wysokość wzniesień powierzchni S_{pk} około 2,5 razy i zredukowana głębokość wgłębień S_{vk} od około 1,8 do ponad 2,0 razy.

Literatura

- [1] Adamczak S.: Pomiary geometryczne powierzchni. Zarysy kształtu, falistość i chropowatość. WNT, Warszawa 2008.
- [2] Kragelsky I.V., Alisin V.V.: Tribology – Lubrication, Friction and Wear, John Wiley & Sons Inc., 2005.
- [3] Kukielka L.: Theoretical and experimental foundations of surface roller burnishing with the electrocontact heating. Book of Mechanical Engineering. Technical University of Koszalin 1994.
- [4] Kukielka L., Geleta K., Kukielka K.: Modelling of Initial and Boundary Problems with Geometrical and Physical Nonlinearity and its Application in Burnishing Processes. Steel Research International Special edition, 2012, Publishing Company Wiley – VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim ISBN 978-3-514-00774-0, pp. 1375-1379.
- [5] Lawrence C.A.: Fundamentals of Spun Yarn Technology. CRC Press, Leeds 2003.
- [6] Oczóś K.E., Liubimov V.: Struktura geometryczna powierzchni, Editorial Office of the Technical University Rzeszów 2003.
- [7] Płonka S., Hajduga M., Jędrzejczyk D.: The Wear Model Prognose of Tribologie Coupe – the Steel Guide – Yarn. Fibres & Textiles in Eastern Europe 2007; 15, 2: 54-57.
- [8] Płonka S., Hajduga M.: Assesing the Wear of Spindle Neck Coating Made of AlCu4Mg1 Alloy of Ring Spinning Spindles with an Antiballoon Crown, Fibres & Textiles in Eastern Europe 2008; 16, 3: 27-32.
- [9] Płonka S.: Effect of Surface Treatment on Wear of Spindle-Neck Coating with Collapse Balloon Crown. Fibres & Textiles in Eastern Europe 2013; 21, 1: 48-55.
- [10] Płonka S.: Metody oceny i wyboru optymalnej struktury procesu technologicznego. Design and Exploitation of Machines 48, Scientific Dissertations 31, Branch of Łódź Technical University, Bielsko-Biała 1998.
- [11] Płonka S., Przybyło S.: Wpływ struktury stereometrycznej powierzchni warstwy tlenkowej na kinetyczny współczynnik tarcia przędzy. Tribologia, 38(2007)6, 151-163.
- [12] Przybylski W.: Technologia obróbki nagniataniem. WNT, Warszawa 1987.
- [13] Stout K.J., Blunt L.: Three Dimensional Surface Topography, Penton Press London 2000.
- [14] ISO 25178-2:2012 (E) – Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Areal – Part 2: terms, definitions and surface texture parameters.