

Agnieszka KUŁAKOWSKA, Radosław PATYK

BADANIA EKSPERYMENTALNE PRZYGOTOWANIA POWIERZCHNI W PROCESIE TOCZENIA DO NAGNIATANIA CZĘŚCI

Streszczenie

W artykule omówiony został problem przygotowania powierzchni w procesie toczenia pod nagniataniem naporowo toczne części samochodowych. Badano wpływ warunków toczenia (posuwu f , prędkości wrzeciona tokarki v , kąta wierzchołkowego ostrza noża tokarskiego ε , promienia zaokrąglenia ostrza noża tokarskiego r) na dokładność odwzorowania ostrza noża na powierzchni próbek ze stali S235JRG3. Powierzchnie próbek przygotowano zgodnie z pięciopoziomowym rotatabilnym planem eksperymentu dla przypadku kształtowania zarysów symetrycznych.

Słowa kluczowe: obróbka toczeniem, obróbka nagniataniem, dokładność odwzorowania ostrza noża, jakość powierzchni.

WSTĘP

Jakość wyrobu po obróbce poprzedzającej wpływa na jakość powierzchni po nagniataniu. Najkorzystniejszym zarysem powierzchni po obróbce poprzedzającej a pod nagniataniem jest zarys zdeterminowany. Rzeczywisty profil chropowatości otrzymany w skutek obróbki toczeniem, powstaje w rezultacie połączonego oddziaływania zjawisk zdeterminowanych takich jak: ustalona geometria ostrza narzędzia skrawającego, sposobu jego zamocowania, kinematyki układu OUPN itp., oraz zjawisk losowych związanych między innymi z odkształceniem, tarciem, dekohezją w strefie obróbki oraz losowych zjawisk dynamicznych występujących w układzie OUPN. E. Górski [1] i J. Kaczmarek [2] w swoich pracach stwierdzają, że ilościowy wpływ powyższych zjawisk, przy określonej geometrii ostrza podczas toczenia, na profil chropowatości zależy głównie od prędkości i posuwu. Według A. Zwolińskiego [3] duże kąty przystawienia ostrza noża ($\chi_r = \chi'_r = 45^\circ$) powodują duże różnice między zarysem rzeczywistym a teoretycznym, co spowodowane jest wypływką materiału nakładającego się na wierzchołek nierówności. B. Nowicki [4] strukturę geometryczną po toczeniu występującą w większości przypadków określa jako strukturę o charakterze mieszanym. Wynika to z równoczesnego oddziaływania zjawisk zdeterminowanych (w ich wyniku powstają nierówności o powtarzalnym kształcie i położeniu) jak i losowych (w ich wyniku powstają nierówności o losowym kształcie i położeniu). Wcześniejsze badania autora [5, 6, 7, 8] kształtowania zarysu zdeterminowanego toczeniem wykazały, że rzeczywista wysokość chropowatości jest większa od teoretycznej, gdyż ta ostatnia nie uwzględnia: wpływu właściwości materiału obrabianego i materiału ostrza, szczyrbałości krawędzi, zużycia ostrza, odkształceń plastycznych

zachodzących w czasie skrawania i zależnych również od prędkości skrawania, wpływu odkształceń sprężystych, drgań narzędzia, rysowania powierzchni przez wiór i chłodzenia, jeśli ma on miejsce. W niniejszej pracy zastosowano pięciopoziomowy rotabilny plan eksperymentu. Wszystkie próbki przygotowano ze stali S235JRG3 ze stałą średnicą ($d = 24,5\text{mm}$) zaś głębokość toczenia a wynikała z geometrii ostrza noża (ε , r) i posuwu f . Zwiększono zakres wymienionych parametrów przez co analizy problemu charakteryzują się większą dokładnością. Wartości parametrów stanu warstwy wierzchniej elementów obrabianych typowymi sposobami obróbki w typowych warunkach dostępne są w literaturze np. [9]. Dane te należy traktować jako orientacyjne, gdyż w konkretnych warunkach obróbki, szczególnie materiałów nietypowych, otrzymane wartości parametrów WW mogą się znacznie różnić od tych podawanych. Brak możliwości technicznych do bezpośredniej obserwacji zjawisk zachodzących na powierzchni zaokrąglenia krawędzi skrawającej wymaga weryfikacji metodą pośrednią, przez obserwację i analizę wyników obróbki.

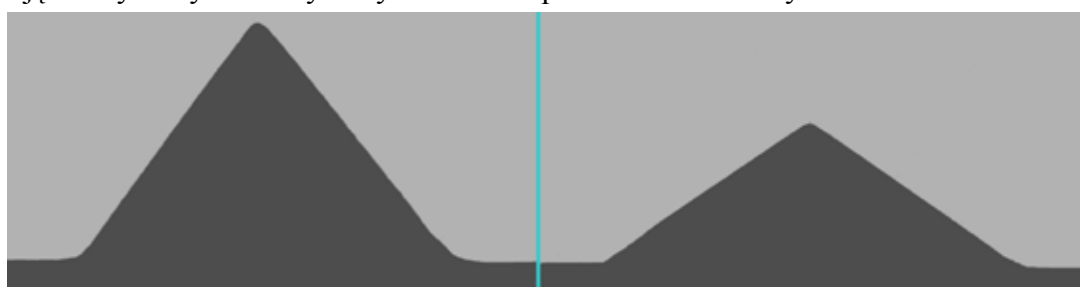
1. WARUNKI BADAŃ I PLAN EKSPERYMENTU

Do badań wytypowano noże tokarskie: ISO 10 z płytką E6, ISO 12R oraz noże NNRs. Ostrza noży szlifowano uzyskując geometrie podane w tablicy 1. Powierzchnie natarcia i przyłożenia ostrza noża doglądano. Do badań zakwalifikowano tylko te noże, których krawędzie główna, przejściowa i pomocnicza nie posiadały szczyrbałości. Kąt przystawienia główny i pomocniczy wynikał z kąta wierzchołkowego oraz dokładności pozycjonowania ostrza. Symetryczne ustawienie ostrza z dużą dokładnością stwarza trudności i wymaga stosowania specjalnych przyrządów do pozycjonowania.

Tab. 1. Geometria noży tokarskich użytych do badań oraz kąty ich przystawienia: główny χ i pomocniczy χ_1

Numer noża	Geometria ostrza		Kąty przystawienia	
	ε [°]	r [mm]	χ [°]	χ_1 [°]
1	74,76	0,048	52,62	52,62
2	105,001	0,055	37,50	37,50
3	75,2	0,148	52,40	52,40
4	105,3	0,15	37,35	37,35
5	119,5	0,102	30,25	30,25
6	60,001	0,098	60,00	60,00
7	90,06	0,095	44,97	44,97
8	90,3	0,197	44,85	44,85
9	90,2	0	44,90	44,90
10	89,62	0,391	45,19	45,19
11	89,62	0,604	45,19	45,19
12	135,65	0,1	22,18	22,18
13	149,31	0,1	15,35	15,35

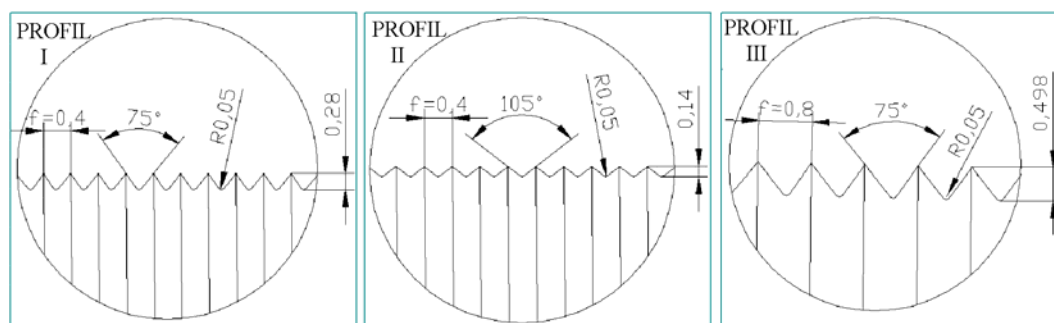
Zdjęcia wybranych ostrzy noży tokarskich przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Ostrze noża o kącie $\varepsilon = 74,76^\circ$ i promieniu zaokrąglenia $r = 0,048$ [mm] (a) oraz ostrze noża o kącie $\varepsilon = 105,001^\circ$ i promieniu zaokrąglenia $r = 0,055$ [mm] (b) przed obróbką toczeniem

Źródło: Opracowanie własne.

Przykładowe teoretyczne profile chropowości trzech pierwszych profili powierzchni z planu eksperymentu przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Teoretyczne profile chropowości

Źródło: Opracowanie własne.

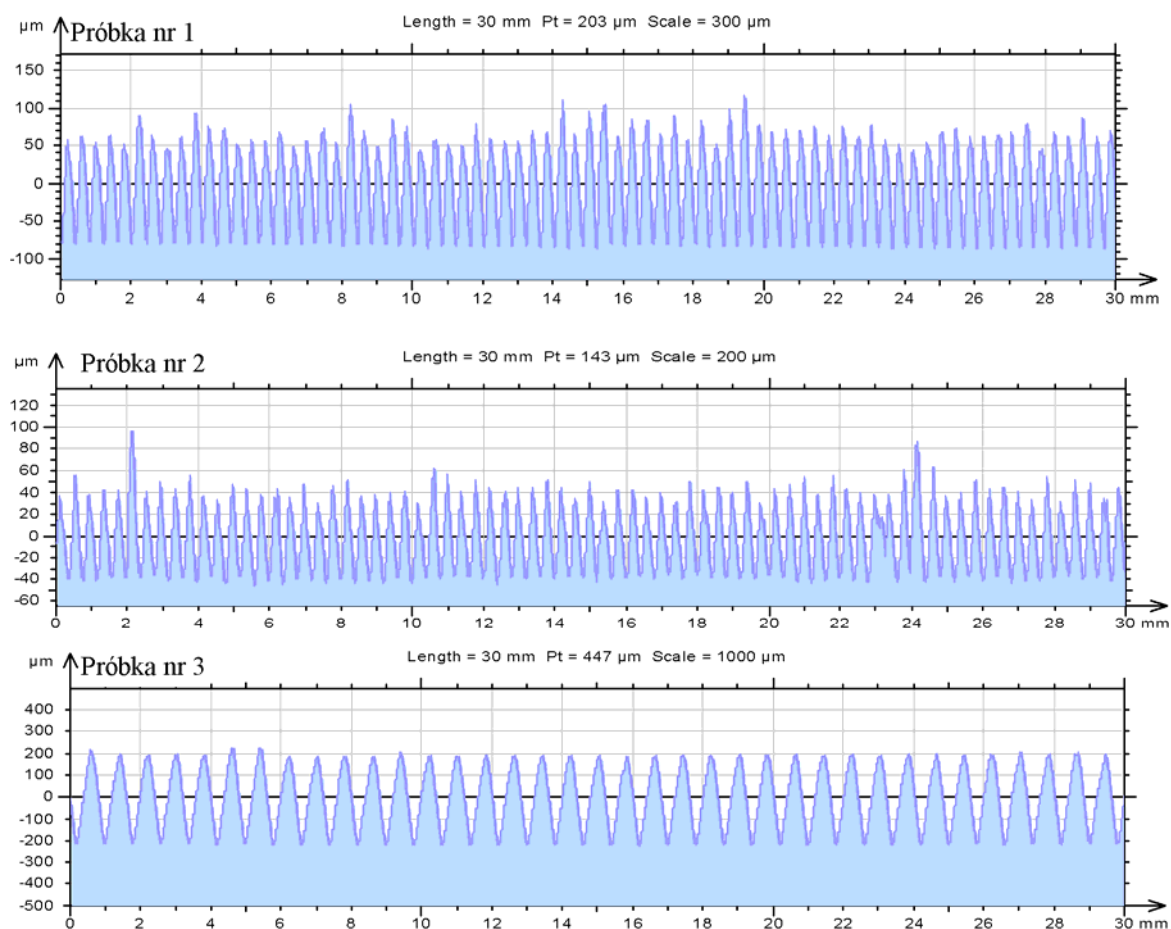
Próbki walcowe ze stali S235JRG3 toczone na tokarce konwencjonalnej Europa firmy FAMOT w Zakładzie Techniki Próżniowej „TEPRO”. Parametry obróbki zmieniano zgodnie z pięciopozomowym rotatabilnym planem eksperymentu przedstawionym w tabeli 2. Stosowano pięciokrotną powtarzalność badań.

Tab. 2. Warunki realizacji toczenia

Nr próbki	Warunki realizacji procesu toczenia			
	ϵ – kąt wierzchołkowy ostrza noża [°]	f – posuw [mm/obr]	r – promień zaokrąglenia ostrza noża [mm]	v – prędkość toczenia [m/min]
1	75	0,4	0,05	14
2	105	0,4	0,05	14
3	75	0,8	0,05	14
4	105	0,8	0,05	14
5	75	0,4	0,15	14
6	105	0,4	0,15	14
7	75	0,8	0,15	14
8	105	0,8	0,15	14
9	75	0,4	0,05	27
10	105	0,4	0,05	27
11	75	0,8	0,05	27
12	105	0,8	0,05	27
13	75	0,4	0,15	27
14	105	0,4	0,15	27
15	75	0,8	0,15	27
16	105	0,8	0,15	27
17	120	0,6	0,1	21
18	60	0,6	0,1	21
19	90	1	0,1	21
20	90	0,2	0,1	21
21	90	0,6	0,2	21
22	90	0,6	0	21
23	90	0,6	0,1	35
24	90	0,6	0,1	7
25	90	0,6	0,1	21
26	135	0,6	0,1	21
27	150	0,6	0,1	21
28	90	0,6	0,6	21
29	90	0,4	0,4	21
30	90	0,2	0,2	21
31	90	0,1	0,1	21

2. WYNIKI BADAŃ

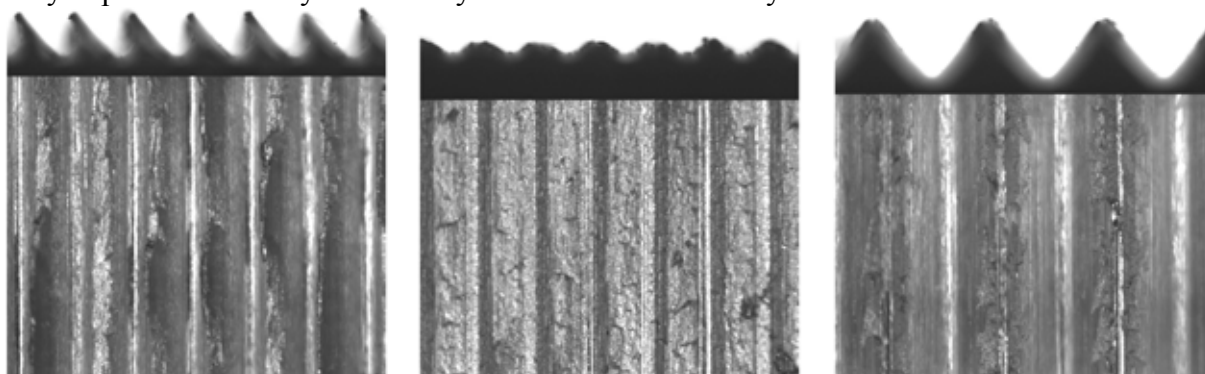
Przykładowe profilogramy, odpowiadające powierzchniom po toczeniu zgodnie z tabelą 2 dla stali S235JRG3, otrzymane na profilometrze T8000 przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Profilogramy powierzchni próbek nr 1, 2, 3 po toczeniu odpowiadające profilom teoretycznym I, II, III

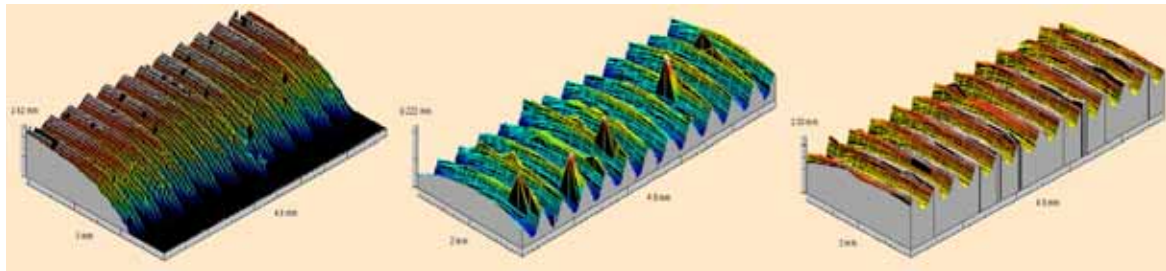
Źródło: Opracowanie własne.

Dodatkowo wykonano pomiary powierzchni zaawansowanym systemem pomiarowym Talysurf CLI 2000 firmy Taylor Hobson oraz na optoelektronicznym mikroskopie pomiarowym Werth. Zarejestrowane dane pomiarowe analizowano korzystając z oprogramowania Talymap Platinum. Przykładowe wyniki zamieszczono na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Widok powierzchni próbki nr 1, 2 i 3 po toczeniu w powiększeniu 35× oraz fotografia powierzchni

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 5. Aksonometrie ciągłe powierzchni próbki nr 1, 2, 3 po toczeniu

Źródło: Opracowanie własne.

Analizując profilogramy można stwierdzić, że w przypadku, gdy kąty przystawienia ostrza noża wynosiły $\chi = \chi_1 = 45-60^\circ$ a posuw $f = 0,2-0,4$ [mm/obr], występują znaczne różnice pomiędzy zarysem teoretycznym a rzeczywistym. Profile są pod większym wpływem oddziaływań losowych niż zdeterminowanych, przez co ich charakter jest stochastyczny.

Dokładność odwzorowania stereometryczno-kinematycznego ostrza noża ustalono porównując parametry teoretycznego zarysu nierówności z parametrami zarysów rzeczywistych po toczeniu. Profil chropowatości powierzchni charakteryzowano przez podanie wartości średnich następujących parametrów stałych: R_{Sm} – średnia szerokość rowków elementów profilu chropowatości, R_t – maksymalna wysokość wzniesienie-wgłębienie profilu chropowatości, θ – kąt wierzchołkowy nierówności, $\theta_{1,2}$ – kąt pochylenia lewego i prawego boku nierówności, r_d – promień zaokrąglenia dna między nierównościami i r_w – promień zaokrąglenia wierzchołka nierówności. Średnie wartości badanych parametrów dla profili jak na rysunku 2 zestawiono w tabeli 3. Dla porównania w tabeli tej podano również odpowiadające warunkom obróbki wybrane parametry profilu teoretycznego. Ponieważ odwzorowanie powierzchni toczonych nożem o kącie wierzchołkowym ostrza $\varepsilon = 90^\circ$ i posuwie $f = 0,2$ [mm/obr.] (profil nr XX) ma charakter losowy, pominięto przy nich pomiary rzeczywiste: kąta wierzchołkowego nierówności θ , kąta pochylenia lewego boku nierówności θ_1 jak i prawego θ_3 . Analiza wyników zestawionych w tabeli 3 wskazuje na różnice między parametrami profilu teoretycznego a rzeczywistego. Rozbieżności te dotyczą wszystkich badanych parametrów profilu. Największe różnice występują dla parametru R_t , dla profilu XIII wynosi ona 0,156 [mm]. W przypadku parametru R_{Sm} największe odchylenie parametru rzeczywistego od teoretycznego występuje w przypadku profilu XIX i wynosi 0,04 [mm]. Największe rozbieżności kąta wierzchołkowego nierówności (θ) wystąpiły w przypadku profilu I – $30,608^\circ$. W trakcie obserwacji powierzchni próbki na mikroskopie optoelektronicznym zauważyć można było, że zarys ma „zawinięte” wierzchołki a jeden bok pochylenia nierówności trójkątnej wygląda jak ścięty. Promień zaokrąglenia dna między nierównościami różnił się najbardziej od teoretycznego w przypadku XXVIII o 0,122 [mm], natomiast wierzchołki zaokrąglone były nawet promieniem $r_w = 0,08$ [mm]. Powierzchnie próbek od XXVIII do XXXI stanowią przypadki odwzorowania łukowego.

Tab. 3. Parametry profilu chropowatości po toczeniu dla stali S235JRG3

Parametry profilu		R_{Sm} [mm]	R_t [mm]	θ [°]	θ_1 [°]	θ_2 [°]	r_d [mm]	r_w [mm]
Profil I	Średnie	0,389	0,319	38,727	70,637	70,637	0,065	0,058
	Teoretyczne	0,400	0,261	75,233	52,383	52,383	0,061	0,000
Profil II	Średnie	0,399	0,235	106,243	36,879	36,879	0,120	0,033
	Teoretyczne	0,400	0,153	105,015	37,493	37,493	0,055	0,000
Profil III	Średnie	0,796	0,647	69,980	55,010	55,010	0,103	0,031
	Teoretyczne	0,800	0,521	75,233	52,383	52,383	0,061	0,000
Profil IV	Średnie	0,803	0,493	114,117	32,942	32,942	0,110	0,037
	Teoretyczne	0,800	0,307	105,150	37,425	37,425	0,055	0,000
Profil V	Średnie	0,399	0,253	78,783	50,608	50,608	0,156	0,013
	Teoretyczne	0,400	0,261	75,583	52,208	52,208	0,151	0,000

Tab. 3. cd.

Parametry profilu	R _{Sm} [mm]	R _t [mm]	θ [°]	θ ₁ [°]	θ ₂ [°]	r _d [mm]	r _w [mm]	
Profil VI	Średnie	0,399	0,147	104,167	37,917	37,917	0,164	0,016
	Teoretyczne	0,400	0,153	104,633	37,683	37,683	0,159	0,000
Profil VII	Średnie	0,802	0,416	89,313	45,343	45,343	0,190	0,030
	Teoretyczne	0,800	0,521	75,583	52,208	52,208	0,151	0,000
Profil VIII	Średnie	0,804	0,254	115,130	32,435	32,435	0,145	0,030
	Teoretyczne	0,800	0,307	104,633	37,683	37,683	0,159	0,000
Profil IX	Średnie	0,399	0,204	76,587	51,707	51,707	0,060	0,041
	Teoretyczne	0,400	0,261	74,633	52,683	52,683	0,058	0,000
Profil X	Średnie	0,400	0,131	105,500	37,250	37,250	0,058	0,019
	Teoretyczne	0,400	0,153	104,483	37,758	37,758	0,053	0,000
Profil XI	Średnie	0,802	0,432	85,440	47,280	47,280	0,137	0,047
	Teoretyczne	0,800	0,521	74,633	52,683	52,683	0,058	0,000
Profil XII	Średnie	0,793	0,288	107,803	36,098	36,098	0,143	0,040
	Teoretyczne	0,800	0,307	104,483	37,758	37,758	0,053	0,000
Profil XIII	Średnie	0,399	0,178	87,675	46,163	46,163	0,124	0,020
	Teoretyczne	0,400	0,261	74,417	52,792	52,792	0,142	0,000
Profil XIV	Średnie	0,406	0,106	110,533	34,733	34,733	0,150	0,025
	Teoretyczne	0,400	0,153	105,367	37,317	37,317	0,150	0,000
Profil XV	Średnie	0,825	0,593	78,083	50,958	50,958	0,146	0,057
	Teoretyczne	0,800	0,521	74,417	52,792	52,792	0,142	0,000
Profil XVI	Średnie	0,795	0,290	81,238	49,381	49,381	0,149	0,043
	Teoretyczne	0,800	0,307	105,367	37,317	37,317	0,150	0,000
Profil XVII	Średnie	0,590	0,310	124,153	117,923	117,923	0,149	0,050
	Teoretyczne	0,600	0,173	119,750	30,125	30,125	0,102	0,000
Profil XVIII	Średnie	0,601	0,632	58,907	60,547	60,547	0,144	0,036
	Teoretyczne	0,600	0,520	60,001	60,000	60,000	0,100	0,000
Profil XIX	Średnie	0,994	0,416	87,010	46,495	46,495	0,123	0,073
	Teoretyczne	1,000	0,500	90,060	44,970	44,970	0,095	0,000
Profil XX	Średnie	0,197	0,054	119,063	30,468	30,468	0,105	0,013
	Teoretyczne	0,200	0,100	90,060	44,970	44,970	0,095	0,000
Profil XXI	Średnie	0,600	0,190	102,883	38,558	38,558	0,188	0,073
	Teoretyczne	0,600	0,300	90,300	44,850	44,850	0,197	0,000
Profil XXII	Średnie	0,600	0,282	83,679	48,161	48,161	0,062	0,024
	Teoretyczne	0,600	0,300	90,200	44,900	44,900	0,000	0,000
Profil XXIII	Średnie	0,594	0,211	88,133	45,933	45,933	0,220	0,057
	Teoretyczne	0,600	0,300	89,683	45,158	45,158	0,089	0,000
Profil XXIV	Średnie	0,602	0,276	82,133	48,933	48,933	0,119	0,023
	Teoretyczne	0,600	0,300	89,683	45,158	45,158	0,089	0,000
Profil XXV	Średnie	0,590	0,216	87,967	46,017	46,017	0,173	0,017
	Teoretyczne	0,600	0,300	89,683	45,158	45,158	0,089	0,000
Profil XXVI	Średnie	0,599	0,100	132,563	23,718	23,718	0,134	0,030
	Teoretyczne	0,600	0,124	135,650	22,175	22,175	0,100	0,000
Profil XXVII	Średnie	0,612	0,063	153,093	13,453	13,453	0,223	0,110
	Teoretyczne	0,600	0,080	149,310	15,345	15,345	0,100	0,000
Profil XXVIII	Średnie	0,594	0,100	-	-	-	0,430	-
	Teoretyczne	0,600	0,080	89,620	45,190	45,190	0,604	0,000
Profil XXIX	Średnie	0,410	0,038	-	-	-	0,317	-
	Teoretyczne	0,400	0,054	89,620	45,190	45,190	0,400	0,000
Profil XXX	Średnie	0,189	0,040	-	-	-	0,173	-
	Teoretyczne	0,200	0,027	90,300	44,850	44,850	0,197	0,000
Profil XXXI	Średnie	0,100	0,094	-	-	-	0,065	-
	Teoretyczne	0,100	0,010	89,683	45,158	45,158	0,089	0,000

WNIOSKI

Przeprowadzone badania eksperymentalne kształtowania zarysu zdeterminowanego toczeniem wykazały, że rzeczywista wysokość chropowatości jest różna od teoretycznej, gdyż ta ostatnia nie uwzględnia wpływu: właściwości materiału obrabianego i materiału ostrza, szczybatości krawędzi, zużycia ostrza, odkształceń plastycznych zachodzących podczas skrawania odkształceń sprężystych, drgań narzędzia, rysowania powierzchni przez wiór i chłodzenia, jeśli ma ono miejsce.

Podczas toczenia powierzchni pod nagniatanie wymaga się spełnienia warunków dotyczących odpowiedniej geometrii ostrza noża, symetrycznego pozycjonowania noża oraz doboru posuwu i prędkości toczenia. Z przeprowadzonych badań eksperymentalnych wynika, że uzyskanie zarysu zdeterminowanego nie zawsze jest możliwe. Gdy kąty przystawienia ostrza wynoszą $\chi = \chi_1 = 45^\circ$ a posuw $f = 0,2$ [mm/obr], przewaga czynników losowych procesu powoduje, że zarys powierzchni odwzorowanej ma charakter losowy. Dobierając odpowiednią geometrię ostrza oraz posuw większy od posuwu granicznego i odpowiednią wartość prędkości powoduje się, że wpływ zjawisk losowych jest nieistotny. Pomimo, że na przyjętym poziomie istotności, wynoszącym $\alpha = 0,05$, parametry zarysu teoretycznego nie różnią się istotnie od parametrów zarysu rzeczywistego to występują odchyłki zarysu. Odchyłki te są największe dla parametru wysokościowego chropowatości (R_t).

W konkretnych warunkach obróbki toczeniem, szczególnie materiałów nietypowych, otrzymane wartości parametrów WW mogą się znacznie różnić od podawanych w literaturze. Stąd też każdorazowo istnieje konieczność wykonania badań własnych.

BIBLIOGRAFIA

1. Górski E., *Obróbka gładkościowa*. WNT, Warszawa 1970.
2. Kaczmarek J., *Podstawy obróbki wiórowej, ścierniej i erozyjnej*. WNT, Warszawa 1970.
3. Zwoliński A., *Wpływ czynników geometrycznych i kinematycznych na proces kształtowania zarysu powierzchni przy jej elektrostrykowym nagniataniu*. Praca doktorska, Politechnika Warszawska, Warszawa 1980.
4. Nowicki B., *Struktura geometryczna powierzchni. Chropowatość i falistość*. WNT, Warszawa 1991.
5. Kułakowska A., Kukielka L., *Badanie wpływu warunków toczenia na dokładność odwzorowania ostrza narzędzia w procesie kształtowania regularnych nierówności trójkątnych na półwyrobach walcowych*. Materiały konferencyjne VIII Konferencji Naukowo-Technicznej, Współczesne technologie w motoryzacji a bezpieczeństwo ruchu drogowego, Starostwo Powiatowe w Słupsku, Słupsk 2005.
6. Kułakowska A., Kukielka L., *Badanie wpływu warunków toczenia na tokarce numerycznej na dokładność odwzorowania ostrza noża na powierzchni półwyrobów walcowych*. Monografia IX Konferencji Naukowo-Technicznej, Współczesne technologie w motoryzacji a bezpieczeństwo ruchu drogowego, Słupsk 2006.
7. Kułakowska A., Kukielka L., *Badania procesu toczenia w aspekcie przygotowania powierzchni pod nagniatanie*. Monografia X Konferencji Naukowo-Technicznej, Innowacje w motoryzacji a ochrona środowiska, Słupsk 2007.
8. Kułakowska A., Kukielka L., *Przygotowanie toczeniem powierzchni pod nagniatanie w aspekcie jakości technologicznej części samochodowych*. Logistyka 2008, nr 2.
9. Kukielka L., Fabian H., *Mechanizm plastycznego płynięcia nierówności trapezowej w procesie nagniatania*. VII OKNT „Tendencje rozwojowe w technologii maszyn”, Sekcja II, Obróbka plastyczna, PAN-WSINŻ, Zielona Góra 1992.

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF SURFACE PREPARATION IN TURNING PROCESS BUT UNDER BURNISHING OF THE PARTS

Abstract

The article discussed the problem of surface preparation in the process of rolling the burnishing rolling process of car parts. The effect of turning conditions (feed rate f , v lathe spindle speed, the angle of the knife blade edge ε , the radius of the knife edge r) the accuracy of the shaping of the knife edge on the surface of samples from steel C45. The surfaces of samples were prepared according to five level rotatable experiment plan for the formation of symmetric profiles.

Key words: turning treatment, burnishing rolling treatment, the accuracy of the shaping of the knife edge on the surface, surface quality.

Autorzy:

dr inż. **Agnieszka Kulakowska** – Politechnika Koszalińska

dr inż. **Radosław Patyk** – Politechnika Koszalińska