

Maciej MATUSZEWSKI*, Janusz MUSIAŁ*, Michał STYP-REKOWSKI*

PROCEDURA DOBORU WARUNKÓW I PARAMETRÓW PROCESU TECHNOLOGICZNEGO W ASPEKCIE CECH EKSPLOATACYJNEJ WARSTWY WIERZCHNIEJ

SELECTION PROCEDURE AND PERFORMANCE OF THE TECHNOLOGICAL FEATURES OF SERVICE GENERATED LAYER

Słowa kluczowe:

technologiczna warstwa wierzchnia, eksploatacyjna warstwa wierzchnia, struktura geometryczna powierzchni

Key words:

technological surface layer, service generated layer, surface geometric structure

Streszczenie

W artykule przedstawiono rezultaty badań i analiz dotyczących relacji między wybranymi parametrami różnych rodzajów obróbki skrawaniem a stanem obróbionej powierzchni. Dokonano doboru parametrów i warunków obróbki w oparciu o opracowany zbiór modeli matematycznych. Modele te są podsta-

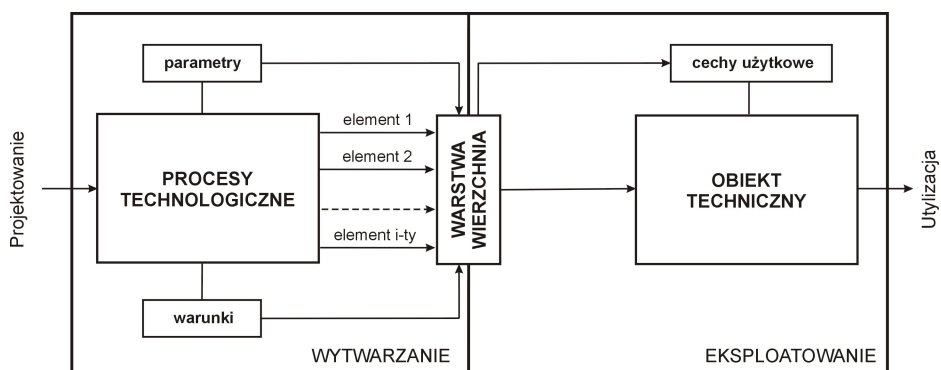
* Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-789 Bydgoszcz, tel. (052) 340-86-56, e-mail: matus@utp.edu.pl, e-mail: jamusual@utp.edu.pl, e-mail: msr@utp.edu.pl.

wowym elementem pierwszego etapu wyznaczania charakterystyk technologiczno-eksploatacyjnych.

WPROWADZENIE

Elementem łączącym wzajemne relacje między czynnikami występującymi w fazach istnienia wytworu, przedstawionymi na **Rys. 1**, jest warstwa wierzchnia.

Z jednej strony jej cechy są funkcją warunków i parametrów procesu technologicznego ustalonych w fazie projektowania, a zrealizowanych w fazie wytwarzania, z drugiej zaś – determinują cechy użytkowe wytworu, jakimi charakteryzuje się on w fazie eksploatacji, oddziałując także na fazę utylizacji. Znając relacje cząstkowe można wyznaczyć funkcje łączące parametry procesu realizowanego w określonych warunkach z wielkościami opisującymi cechy użytkowe danego obiektu technicznego.



Rys. 1. Fazy istnienia wytworu, ich wzajemne relacje oraz czynniki oddziałujące w fazach wytwarzania i eksploatacji

Fig. 1. Phases of the existence of a product, their relationship and factors affecting the production and operation phases

Aby móc sterować cechami użytkowymi, niezbędna jest zatem znajomość charakterystyk technologiczno-eksploatacyjnych, a więc relacji między parametrami i warunkami obróbki a cechami użytkowymi (eksploatacyjnymi) WW współpracujących elementów, a tym samym całych par kinematycznych.

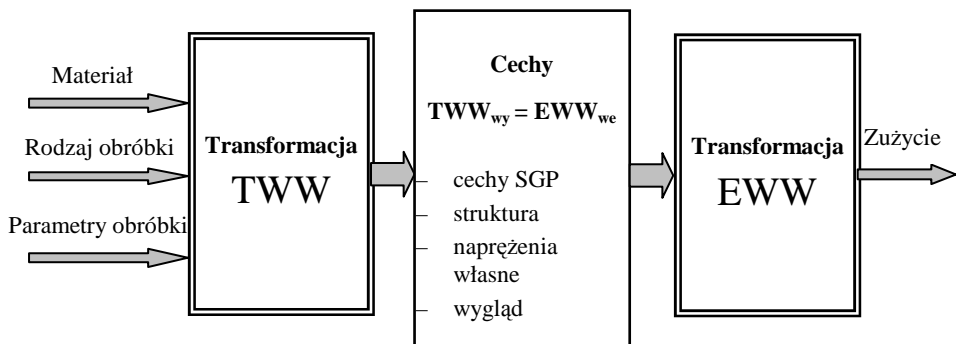
PARAMETRY OPISUJĄCE TECHNOLOGICZNĄ I EKSPLOATACYJNĄ WARSTWĘ WIERZCHNIĄ

Pojęcia technologicznej i eksploatacyjnej warstwy wierzchniej intuicyjnie istnieją w technikach wytwarzania w zasadzie od chwili pojawienia się tribologii jako integralnej dziedziny nauki zajmującej się zagadnieniami tarcia, zużycia i smarowania.

Technologiczna warstwa wierzchnia (TWW) pojmowana jest jako warstwa wierzchnia ukonstytuowana w wyniku celowych działań realizowanych podczas procesów technologicznych. Określa więc stan elementu podczas jego wytwarzania aż do zakończenia tego procesu. Po raz pierwszy użyto do określenia tego stanu nazwy „technologiczna warstwa wierzchnia” w roku 1995 w pracy [L. 1]. Od tego czasu jest ona powszechnie stosowana nie tylko w dziedzinie tribologii. Określenie technologicznej WW dotyczy ukształtowanej w procesie wytwarzania warstwy wierzchniej wraz z jej cechami charakterystycznymi. Jej własności i właściwości zależą przede wszystkim od zastosowanej technologii. Zależą one również od użytego tworzywa konstrukcyjnego. Ze względu na duże zróżnicowanie oczekiwanych cech oraz związaną z tym ogromną liczbą stosowanych w przemyśle procesów technologicznych oraz ich odmian, TWW jest obiektem zainteresowania bardzo wielu naukowców, czego przejawem jest cały szereg publikacji związanych bezpośrednio i pośrednio z tą tematyką.

Pod pojęciem eksploatacyjnej warstwy wierzchniej (EWW) rozumie się stan warstwy wierzchniej po rozpoczęciu procesu eksploatacji maszyny, a więc od początku oddziaływania na WW wymuszeń eksploatacyjnych [L. 2].

Podczas eksploatacji maszyny stan WW jej elementów ulega ciągłym zmianom i jest on funkcją zarówno warunków eksploatacji, jak i czasu [L. 3]. W odróżnieniu od TWW, dla której istotny jest stan na końcu etapu wytwarzania, dla przebiegu eksploatacji istotny jest bieżący stan WW, który jest konsekwencją stanu początkowego. Można przyjąć, że cechy ukształtowanej warstwy są jednocześnie cechami wejściowymi dla rozpoczęcia eksploatacji. Na **Rysunku 2** cechy te oznaczono $TWW_{wy} = EWW_{we}$.



Rys. 2. Elementy transformacji warstwy wierzchniej [L. 4]

Fig. 2. Elements of surface layer transformation [L. 4]

Cechy warstwy wierzchniej, w tym jej SGP, zależą od zastosowanego procesu obróbki, natomiast uzyskane w wyniku tej obróbki parametry SGP (chropowatość, kierunkowość, falistość) determinują proces zużywania współpracujących elementów par kinematycznych.

METODYKA I WYNIKI BADAŃ

Badania eksperymentalne prowadzone były na dwóch etapach. Najpierw wybrane zostały czynniki technologiczne, które mają najistotniejsze znaczenie dla cech konstytuowanej WW.

Drugi etap badań dotyczy poszukiwania relacji między wybranymi parametrami i warunkami obróbki skrawaniem a cechami eksploatacyjnymi: odpornością na zużywanie i oporami ruchu.

Przedstawiona w niniejszym artykule analiza dotyczy zmian zachodzących w technologicznej warstwie wierzchniej. Zmiany te są zależne m.in. od rodzaju i parametrów obróbki oraz materiału obrabianego.

Rezultaty obróbki oceniono na podstawie uzyskanej chropowatości, przy czym wybrano jako parametr opisujący strukturę geometryczną powierzchni średnie arytmetyczne odchylenie profilu od linii średniej – Ra .

Dla obróbki przecinania czy toczenia w literaturze prezentowane są zależności matematyczne badanych relacji. Model matematyczny dla przecinania przedstawiono poniżej [L. 5]:

$$Ra = 0,2163 \cdot a_p - 0,0580 \cdot a_p^2 - 4,8755 \cdot f_z + 79,8889 \cdot f_z^2 - 0,2048 \cdot a_p \cdot f_z - 0,0187 \cdot v - 0,00007 \cdot v^2 + 0,0006 \cdot v \cdot a_p - 0,0572 \cdot v \cdot f_z + 2,2285 \quad (1)$$

Równanie regresji dla zależności Ra od parametrów obróbki toczenia przedstawia się następująco [L. 6]:

$$Ra = 86,1642 \cdot f_z^2 + 3,8568 \cdot a_p \cdot f_z + 0,0353 \cdot v - 0,0001 \cdot v^2 - 0,0372 \cdot v \cdot f_z - 2,1720 \quad (2)$$

W badaniach przedstawionych w niniejszym artykule zastosowano jedną z podstawowych obróbek w procesie produkcyjnym – frezowanie. Coraz częściej zastępuje ono szlifowanie, a dzięki dużej dokładności interpolacji trajektorii narzędzia – wypiera ostatnio także wytaczanie otworów.

Parametrami zmiennymi w badaniach obróbki frezowaniem były:

- prędkość skrawania: v , m/min,
- głębokość skrawania: a_p , mm,
- posuw: f_z , mm/ostrze.

Obróbkę frezowaniem realizowano na pionowym trzyosiowym frezarskim centrum obróbkowym Hurco VMX 30t, używając do tego celu głowic frezarskich z ostrzami gatunku odpowiedniego do rodzaju obrabianego materiału. Podczas frezowania, bez chłodzenia, obrabiano trzy różne materiały: stop Al 3.1255 (PA 33), stal 1.0037 (St3S) oraz żeliwo 0.6025 (ZI250).

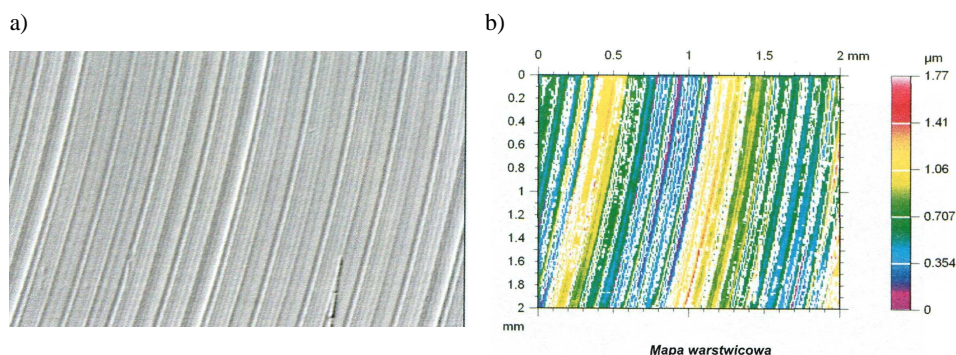
Danymi wejściowymi w procesie wyznaczania matematycznych modeli obiektu badań – w opisywanym przypadku – procesu frezowania były rezultaty badań eksperymentalnych. Posłużono się planem Hartley'a, dzięki czemu można było zmniejszyć liczbę prób. Punkty centralne planu miał współrzędne:

- dla żeliwa: $v = 225$ m/min, $a_p = 0,3$ mm, $f_z = 0,055$ mm/ostrze,
- dla stali: $v = 200$ m/min, $a_p = 0,6$ mm, $f_z = 0,15$ mm/ostrze,
- dla stopu Al: $v = 800$ m/min, $a_p = 0,525$ mm, $f_z = 0,275$ mm/ostrze.

Do pomiaru parametru wyjściowego Ra zastosowano chropowatościomierz firmy HOMMELWERKE typu Hommel tester P5D. Długość odcinka pomiarowego wynosiła 4,8 mm.

Przykładowe dane wejściowe oraz wyniki badań dla obróbki jednego materiału – stali – przedstawiono w **Tabeli 1** i na **Rysunku 3**.

Na podstawie posiadanych doświadczeń oraz wiedzy literaturowej przyjęto założenie, że regresyjny model matematyczny będzie miał postać równania trzech zmiennych drugiego stopnia z interakcjami.



Rys. 3. Obraz struktury geometrycznej powierzchni stalowej: a) zdjęcie powierzchni, b) mapa warstwowa

Fig. 3. Picture of the geometrical structure of the steel surface: a) picture of the surface, b) contour map

Tabela 1. Zestawienie danych wejściowych i wyników badań dla obróbki stali

Table 1. Summary of input data and test results for steel processing

Lp.	Warunki badań		Uzyskane wyniki pomiarów	
	v m/min	a_p mm	f_z mm/ostrze	Ra μm
1	171	0,31	0,21	0,880
2	228	0,31	0,09	0,400
3	171	0,88	0,21	0,623
4	228	0,88	0,21	0,470
5	150	0,60	0,15	0,487
6	250	0,60	0,15	0,357
7	200	0,10	0,15	0,370
8	200	0,10	0,15	0,423
9	200	0,60	0,05	0,327
10	200	0,60	0,25	0,627
11	200	0,60	0,15	0,663

W rezultacie działań analitycznych dla każdego tworzywa konstrukcyjnego opracowano modele parametru chropowości:

- dla żeliwa 0.6025 (3):

$$Ra = -4,9984 \cdot a_p - 1,9229 \cdot a_p^2 + 30,0497 \cdot f_z - 179,1796 \cdot f_z^2 + 15,5813 \cdot a_p \cdot f_z + 0,0764 \cdot v - 0,00004 \cdot v^2 + 0,0239 \cdot v \cdot a_p - 0,0486 \cdot v \cdot f_z + 1,5294 \quad (3)$$

- dla stali 1.0037 (4):

$$Ra = -2,7784 \cdot a_p - 1,0658 \cdot a_p^2 + 30,6031 \cdot f_z - 18,6657 \cdot f_z^2 + 1,5759 \cdot a_p \cdot f_z + 0,0444 \cdot v - 0,0001 \cdot v^2 + 0,0192 \cdot v \cdot a_p - 0,1228 \cdot v \cdot f_z - 5,2458 \quad (4)$$

- dla stopu Al 3.1255 (5):

$$Ra = 45,7025 \cdot a_p + 2,7765 \cdot a_p^2 - 40,6585 \cdot f_z - 9,1223 \cdot f_z^2 - 21,3423 \cdot a_p \cdot f_z + 0,0162 \cdot v - 0,0001 \cdot v^2 - 0,0533 \cdot v \cdot a_p + 0,0776 \cdot v \cdot f_z + 0,3235 \quad (5)$$

PODSUMOWANIE

Procesy zużywania par tarciovych są w dużym stopniu procesami losowymi. Wynika to z faktu, że struktura SGP, ukonstytuowana w wyniku realizacji założonego procesu technologicznego, ma charakter stochastyczny, ponieważ w procesie obróbki na powierzchnię mogą oddziaływać: geometryczne, kinematyczne, dynamiczne i/lub tribologiczne losowe czynniki zakłócające.

Poprzez odpowiedni dobór parametrów technologicznych możemy uzyskać oczekiwaną wartość parametru chropowatości.

Przedstawione modele matematyczne dotyczą pierwszego etapu badań – technologicznej warstwy wierzchniej. Zależności te posłużą do wyznaczenia charakterystyk technologiczno-eksploatacyjnych współpracujących par kinematycznych.

LITERATURA

1. Burakowski T., Marczak R., Eksploatacyjna warstwa wierzchnia i jej badania, *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*, z. 3(103)/1995, s. 327–337.
2. Burakowski T., Marczak R., Wybrane procesy konstytuowania się eksploatacyjnej warstwy wierzchniej, *Tribologia*, nr 6/1999, s. 757–765.
3. Kaczmarek J., Wojciechowicz B., Zmiany w strategii badań eksploatacyjnej warstwy wierzchniej, *Tribologia*, nr 6/1995, s. 629–652.
4. Musiał J., Zmiany zachodzące w warstwie wierzchniej w kolejnych fazach jej istnienia, *Tribologia*, nr 3/2008, s. 365–374.
5. Cakir C.M., Ensarioglu C., Demirayak I., Mathematical modeling of surface roughness for evaluating the effects of cutting parameters and coating material. *Journal of Materials Processing Technology*, 209/2009, pp. 102–109.
6. Lin W.S., Lee B.Y., Wu C.L., Modeling the surface roughness and cutting force for turning, *Journal of Materials Processing Technology*, 108/2001, pp. 286–293.

Summary

The paper presents the results of research and analysis on the relationship between selected parameters of different types of machining and the machined surface conditions. Selected parameters and treatment conditions were based on a developed set of mathematical models. These models are an essential element of the first stage of determining the technological and operational characteristics.

