

Eugene FELDSHTEIN*, **Radosław MARUDA***

MODYFIKACJA WARUNKÓW TARCIA W STREFIE SKRAWANIA JAKO CZYNNIK WPŁYWAJĄCY NA PROCES OBRÓBKI

THE MODIFICATION OF FRICTION CONDITIONS INTO CUTTING AREA AS A FACTOR INFLUENCING ON THE CUTTING PROCESS

Słowa kluczowe:

toczenie, modyfikacja, kształt wióra, chropowatość powierzchni

Key words:

turning, modification, chip shape, surface roughness

Streszczenie

W referacie przedstawiono wyniki badań wpływu warunków chłodzenia i powłoki przeciwzużyciowej na kształt wióra, wartości współczynnika tarcia oraz wskaźniki struktury geometrycznej powierzchni obrobionej przy toczeniu stali R35. Porównywano warunki toczenia z zastosowaniem płytek z węgla spiekane P25 bez powłoki i z powłoką „Futura Nano” przy obróbce na sucho oraz z zastosowaniem płytek powlekanych

* Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Budowy i Eksploatacji Maszyn, 65-246 Zielona Góra, ul. Podgórna 50.

przy chłodzeniu mgłą emulsyjną oraz mgłą emulsyjną z modyfikatorem. Przedstawiono zmiany kształtów wiórów i parametrów Ra i RSm chropowatości powierzchni obrobionej w zależności od posuwu. Dzięki zastosowaniu płytek powlekanych w porównaniu z płytkami bez powłok zwiększa się zakres posuwów, przy których powstaje korzystniejszy kształt wiórów (w postaci krótkich odcinków lub całkiem luźny) oraz zmniejsza się współczynnik tarcia. Zmniejszają się również wartości poszczególnych parametrów chropowatości.

WPROWADZENIE

Proces skrawania metali odbywa się w otoczeniu powietrza lub celowo doprowadzonych w obszar skrawania środków chłodząco-smarujących (CCS). Obecnie, dzięki wykorzystaniu na ostrza nowych materiałów narzędziowych i powłok ochronnych, możliwe jest stosowanie technologii obróbki skrawaniem, które nie wymagają używania cieczy [L. 1, 2]. Szczególne znaczenie w tych warunkach ma właściwy dobór rodzaju powłoki ostrza skrawającego umożliwiający uzyskanie przy obróbce na sucho trwałości ostrza narzędzia nie mniejszej niż przy obróbce z udziałem cieczy obróbkowej. Geometria ostrza powinna redukować powierzchnie styku narzędzia z wiórem i przedmiotem obrabianym w celu zminimalizowania występującego w czasie skrawania tarcia, które jest jednym z głównych czynników wpływających na trwałość ostrza i temperaturę przedmiotu obrabianego [L. 3].

Jednak w warunkach obróbki wykończeniowej, z uwagi na zapewnienie lepszego stanu geometrycznego powierzchni, technolodzy w dalszym ciągu zalecają stosowanie przynajmniej minimalnej ilości CCS (ang. Minimal Quantity Cooling Lubrication – MQCL). W polskiej literaturze naukowej określa się tę metodę jako minimalne ilości chłodzenia i smarowania [L. 4]. Metoda MQCL zastępuje obróbkę z zastosowaniem CCS, czyli obróbkę w warunkach tradycyjnych, ze względu na jej liczne wady, ponieważ CCS stanowi niepożądany czynnik w procesie skrawania ze względów ekonomicznych, ekologicznych, zdrowotnych i technologicznych [L. 1, 5]. Metoda MQCL polega na doprowadzeniu w strefę skrawania mieszaniny CCS ze sprężonym powietrzem. W warunkach MQCL medium czynnego zużywa się mniej niż 50 ml/h [L. 1, 4]. Bardzo ważnym wówczas zjawiskiem jest fakt, że zarówno narzędzie, obrabiany materiał, jak i wióry pozostają suche. Metoda MQCL zapewnia również

zastosowanie wyższych prędkości skrawania i wysoką trwałość narzędzia [L. 6]. W celu uzyskania lepszych własności smarnych emulsji wprowadza się do nich specjalne dodatki, nazywane modyfikatorami. Spośród wielu modyfikatorów najczęściej stosowanymi są związki siarki, fluoru lub fosforu, a przed wieloma laty także chloru. Dodatki te działają w pewnych temperaturach, jakie występują w obszarach tarcia. Zmniejszenie sił tarcia w procesie obróbki metali skrawaniem powodowane jest wieloma zjawiskami fizykochemicznymi, w których decydującą rolę odgrywają właśnie modyfikatory. Istotną właściwością tych związków jest nie tylko to, że obniżają one tarcie na powierzchniach styku „wiór–element–ostrze”, ale również i to, że bezpośrednio uczestniczą one w procesie oddzielenia i odrywania wiórów wskutek rozluźnienia powierzchniowego. Dzięki temu uzyskuje się znaczne zmniejszenie sił i mocy skrawania oraz zwiększenie okresu trwałości narzędzia [L. 7].

METODYKA I WARUNKI BADAŃ

Do badań wykorzystano stal węglową R35, która cechuje się niską zawartością węgla (0,07–0,16% wg PN-89/H-84023/07). Wybór uzasadnia się tym, że przy obróbce stali niskowęglowych trudno uzyskać korzystny wiór oraz z powodu ich szerokiego zastosowania w przemyśle maszynowym. Stal R35 ma następujące właściwości mechaniczne: wytrzymałość na rozciąganie $R_m = 350$ MPa, granica plastyczności $R_{0,2} = 235$ MPa, wydłużenie względne $A_5 = 25\%$. Stal ma ferrytyczno-perlityczną mikrostrukturę.

Do przeprowadzenia badań wykorzystano tokarkę CU502. Narzędzie stanowił nóż tokarski o symbolu oprawki CSDBM2020M12 z płytką SNUN120408. Materiał płytki – węgiel spiekany P25. Materiał powłoki – TiALN (oznaczenie „Balinit Futura Nano”, firma „Oerlikon Balzers”) o mikrotwardości $HV_{0,05} 3300$, współczynnika tarcia o stal na sucho 0,35 i maksymalnej temperatury pracy 900°C [L. 9]. Geometria ostrza: kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej $\kappa_r = 70^\circ$, kąt przystawienia pomocniczej krawędzi skrawającej $\kappa_r' = 20^\circ$, kąt natarcia $\gamma = -8^\circ$, kąt przyłożenia $\alpha = 8^\circ$, promień naroża 0,8 mm.

Medium czynne w badaniach stanowiła emulsja OPORTET RG-2 o stężeniu 4%. Jako modyfikatora do CCS użyto Metanolu-M na bazie mieszaniny związków węglowodorowych zawierających fluor, fosfor i siarkę.

Do tworzenia mgły emulsyjnej w metodzie MQCL użyto urządzenia posiadającego dysze regulacji przepływu powietrza oraz przepływu emulsji. Ciśnienie sprężonego powietrza wynosiło 0,2 MPa.

Badania zostały przeprowadzone przy stałej głębokości skrawania $a_p = 1$ mm, prędkości skrawania $v_c = 205$ [m/min]; przepływie masowym emulsji 1,8 [g/min], przepływie objętościowym powietrza 5,5 [m³/h] oraz w zakresie posuwów 0,1÷0,5 [mm/obr.]. Wartości poszczególnych parametrów skrawania oraz tworzenia mgły emulsyjnej zostały dobrane na podstawie badań przedstawionych w [L. 8].








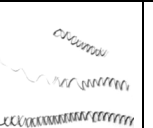
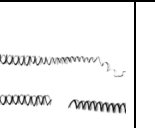
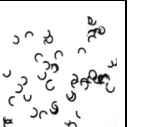
Pomiarów chropowatości dokonano na przyrządzie TR-200 zgodnie z normami ISO-3274:1997 i ISO 4287:1998. Badano następujące parametry chropowatości: średnia arytmetyczna rzędnych profilu Ra , największa wysokość profilu Rz i średnia szerokość elementów profilu RSm .

WYNIKI BADAŃ

Zmiany kształtów wiórów przy toczeniu stali R35 w zależności od posuwu i obecności powłoki na płycie przedstawiono w **Tab. 1**.

Tablica 1. Wpływ posuwu i powłoki na płycie skrawającej z węgla spiekane go na kształt wióra przy toczeniu stali R35

Table 1. The influence of feed and coating on the cutting insert from sintered hard alloy on chip shapes when turning steel R35

Warunki toczenia	Posuw f [mm/obr.]				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Płytki bez powłoki					
Powłoka „Futura Nano”					





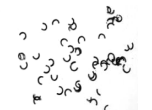









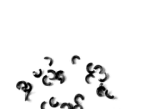
Analizując zmiany kształtów wióra, zauważono, że korzystniejsze kształty wióra uzyskano przy zastosowaniu powłoki „Futura Nano”. Ostrze powlekane lepiej się zachowuje przy posuwach ponad

0,3 mm/obr., a najlepiej sprawdza się przy względnie dużym posuwie ($f = 0,5$ mm/obr.), gdzie powstaje wiór całkiem luźny. Przy toczeniu płytką bez powłoki tworzy się przeważnie wiór splątany, ewentualnie w postaci długich spirali.

Zmiany kształtów wiórów w zależności od posuwu i rodzaju chłodzenia dla płytki powlekanej przedstawiono w **Tab. 2**.

Tablica 2. Wpływ posuwu i warunków chłodzenia-smarowania na kształt wióra przy toczeniu stali R35

Table 2. The influence of feed and cooling-lubricant conditions on chip shapes when turning steel R35

Warunki toczenia	Posuw f [mm/obr.]				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
na sucho					
mgła emulsyjna					
mgła emulsyjna + Metanol-M					

Przy chłodzeniu mgłą emulsyjną oraz mgłą emulsyjną z modyfikatorem już przy posuwie powyżej 0,1 mm/obr. zaobserwowano wiór całkiem luźny lub w postaci krótkich ułamków spirali. Wiór taki łatwo można odprowadzić ze strefy skrawania i nie uszkadza on powierzchni obrabianej. Natomiast przy obróbce na sucho powstaje wiór o niekorzystnych kształtach.

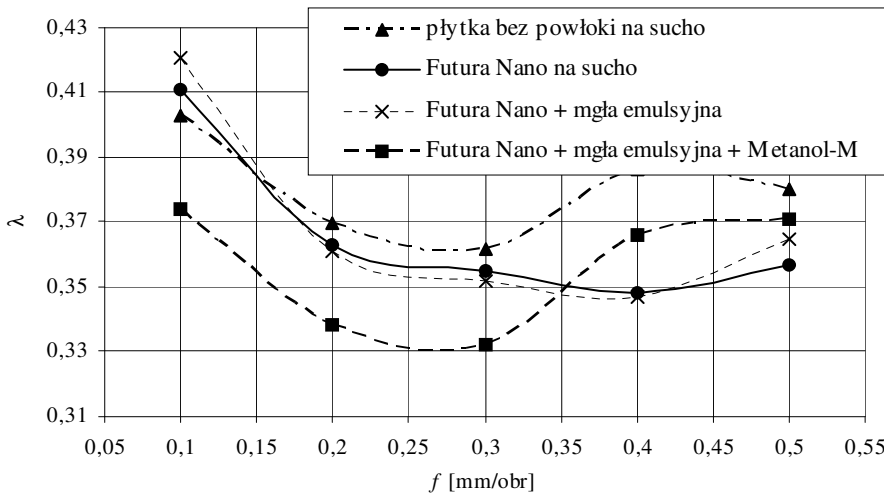
Przedstawione wyżej zmiany kształtów wióra w znacznym stopniu są spowodowane zmianami w warunkach tarcia między wiórem a powierzchnią natarcia. Obliczeń wartości średniego współczynnika tarcia μ na powierzchni natarcia dokonano na podstawie zależności [L. 8]:

$$\mu = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \Phi + \gamma\right) \quad (1)$$

gdzie Φ – kąt poślizgu, γ – kąt natarcia.

Wpływ parametrów toczenia stali R35 w warunkach MQCL na zmiany kąta poślizgu rozpatrzono w [L. 8].

Na **Rys. 1** przedstawiono zależności średniego współczynnika tarcia μ od warunków chłodzenia, obecności powłoki na ostrzu i posuwu.



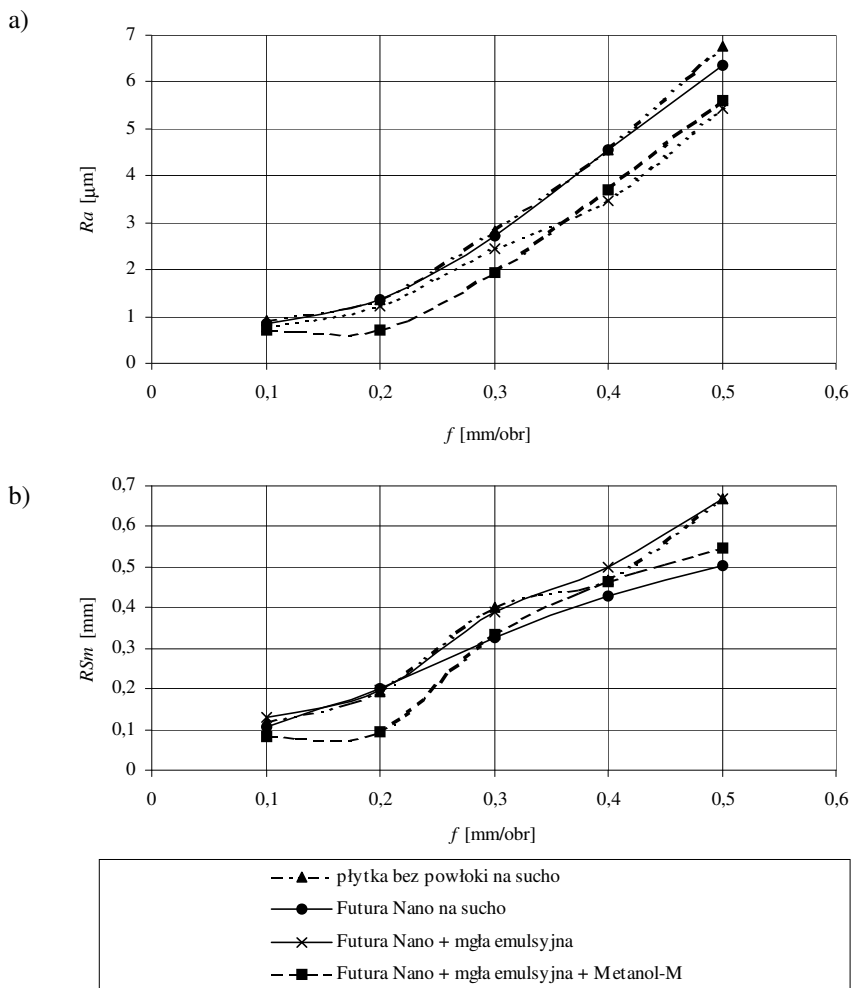
Rys. 1. Wpływ posuwu i warunków chłodzenia na średni współczynnik tarcia na powierzchni natarcia przy toczeniu stali R35

Fig. 1. The influence of feed and cooling-lubricant conditions on a middle friction coefficient on a rake face when turning steel R35

Łatwo zauważyć, że najniższe wartości współczynnika tarcia μ w warunkach toczenia na sucho płytką bez powłoki uzyskano w zakresie posuwów 0,25–0,35 mm/obr., dla płytki z powłoką „Futura Nano” przy skrawaniu na sucho i chłodzeniu mgłą emulsyjną minimalne wartości μ odpowiadają większemu posuwowi – 0,4 mm/obr. Zależność μ od posuwu w warunkach obróbki na sucho bez obecności powłoki na ostrzu ma typowy kształt spowodowany zmianami temperatury w strefie skrawania i wysokości narostu [L. 10]. Powłoka powoduje zmiany warunków tarcia i przemieszcza obszar minimalnych współczynników tarcia w kierunku większych posuwów, nie zmieniając ich wartości. Preparat Metanol-M

w obecności powłoki ma wpływ drugorzędny, zmniejszając wartości μ mniej niż o 10%. Zmiany współczynnika tarcia powodują analogiczne zmiany w wartościach sił skrawania i temperatur w strefie styku, co wpływa na intensywność zużycia ostrza i okres jego trwałości.

Na **Rys. 2** przedstawiono wpływ posuwu oraz warunków chłodzenia i smarowania strefy skrawania na wybrane parametry chropowatości powierzchni.



Rys. 2. Wpływ warunków chłodzenia i posuwu na parametry chropowatości powierzchni obrobionej: a) parametr Ra ; b) parametr RSm

Fig. 2. The influence of cooling-lubricant conditions and feed value on surface roughness parameters: a) parameter Ra ; b) parameter RSm

Najniższe wartości parametru Ra w całym zakresie zmiennych posuwów zaobserwowano dla płytki powlekanej przy chłodzeniu mgłą emulsyjną z modyfikatorem Metanol-M (**Rys. 2**). W porównaniu z płytką bez powłoki w warunkach obróbki na sucho wartości parametrów chropowatości powierzchni obrobionej zmniejszają się od około 5% do 20%. Analogiczne zmiany zarejestrowano dla parametru Rz . Dla posuwów poniżej 0,3 [mm/obr.] najniższe wartości parametru RSm otrzymano dla płytki powlekanej przy chłodzeniu mgłą emulsyjną z modyfikatorem Metanol-M, a powyżej tej wartości – dla płytki powlekanej przy obróbce na sucho.

WNIOSKI

1. Zastosowanie płytek z powłoką „Futura Nano” z wykorzystaniem chłodzenia mgłą emulsyjną pozwala rozszerzyć zakres posuwów, przy których powstaje wiór przydatny w warunkach zautomatyzowanej produkcji elastycznej, ponieważ ma kształt krótkich odcinków spirali lub jest całkiem luźny.
2. Powłoka powoduje zmiany warunków tarcia i przemieszcza obszar minimalnych współczynników tarcia w kierunku większych posuwów nie zmieniając ich wartości. Preparat Metanol-M w obecności powłoki ma wpływ drugorzędny, zmniejszając wartości μ mniej niż o 10%.
3. Stosowanie ostrza z powłoką „Futura Nano” i chłodzenia mgłą emulsyjną z modyfikatorem w znaczący sposób poprawia warunki kształtowania warstwy wierzchniej, m.in. zmniejsza parametry pionowe chropowatości powierzchni obrobionej do 20%. Dla parametru RSm przy $f \geq 0,3$ mm/obr. otrzymano niższe wartości dla płytki powlekanej przy obróbce na sucho.

LITERATURA

1. Byrne G., Dornfeld D., Denkena B., Advancing cutting technology, CIRP Annals, V. 52, 2003, nr 2, s. 483–507.
2. Vieira J.M., Machado A.R., Ezugwu E.O., Performance of cutting fluids during face milling of steels, Journal of Materials Processing Technology, V. 116, 2001, nr 2, s. 244–251.
3. Cichosz P., Narzędzia skrawające, WNT, Warszawa 2006.

4. Oczóś K.E., Rozwój innowacyjnych technologii ubytkowego kształtowania materiałów, cz. I. Obróbka skrawaniem, *Mechanik*, 2002, nr 8–9, s. 537–550.
5. Oczóś K.E., Doskonalenie strategii chłodzenia i smarowania w procesach obróbkowych, *Mechanik*, 2004, nr 10, s. 597–606.
6. Ciftci I., Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools, *Tribology International*, 39, 2006, s. 565–569.
7. Marzec S., Pytko S., *Tribologia procesów skrawania metali. Nowe ciecze chłodząco-smarujące*, Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 1999.
8. Feldshtein E., Maruda R., Wpływ sposobu chłodzenia strefy skrawania na proces tworzenia i łamania wióra, *Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji*, 2005, vol. 25, nr 2, s. 9–19.
9. Obróbka skrawaniem: Produkty i usługi, Katalog PL003(0812) firmy „Oerlikon Balzers”.
10. Feldshtein E., Kamiński W., Pijanowski M., Wieczorkowski K.W. *Podstawy teorii obróbki skrawaniem: tworzenie wióra w obróbce metali skrawaniem*, Poznań, Komisja Budowy Maszyn PAN, Oddział w Poznaniu, 2000.

Recenzent:
Jerzy NAROJCZYK

Summary

In this paper, the results of research on cooling conditions and antiwear coating influence on chip shapes, friction coefficient values, and parameters of surface geometric structure when turning steel R35 are described. Conditions are compared of turning using inserts from hard alloy P25 with and without “Futura Nano” coating when dry cutting, including the variation of coating “Futura Nano” with cooling by emulsion mist and emulsion mist with modifier are compared. Changes of chip shapes and parameters Ra and RSm of surface roughness, depending on feed value, are presented. When using inserts coating, feed limits are extended which protective favourable chip shapes of uniform short pieces or completely fractured pieces causing a decrease in friction coefficients and the values of surface roughness parameters.