Wpływ parametrów technologicznych w procesie frezowania stali EZ6NCT25 na wybrane wskaźniki skrawalności

Influence of the cutting parameters on the selected machinability indicators in the milling of steel EZ6NCT25

AGNIESZKA SKOCZYLAS
KAZIMIERZ ZALESKI*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.8-9.130

W artykule przedstawiono wyniki badań momentu skrawania i chropowatości powierzchni w procesie frezowania czołowego stali EZ6NCT25. Stal EZ6NCT25, zaliczana do stali nierdzewnych, jest z powodzeniem wykorzystywana w przemyśle lotniczym i okrętowym. Wytwarza się z niej takie elementy, jak łopatki turbin czy zespoły komory spalania. W eksperymencie wykorzystano narzędzia monolityczne pełnowęglikowe o średnicy d = 12 mm. Badania przeprowadzono przy zmiennych parametrach technologicznych. Zauważono, że parametry te wpływają na moment skrawania i amplitudę momentu oraz – w mniejszym stopniu – na chropowatość powierzchni.
SŁOWA KLUCZOWE: stal nierdzewna EZ6NCT25, frezowanie czołowe, moment skrawania, chropowatość powierzchni

The paper reports results of an investigation of the cutting torque and surface roughness in the face milling of EZ6NCT25 steel. Classified as stainless steel, EZ6NCT25 is effectively used in the aviation and shipbuilding industries. This steel grade is used for producing elements such as turbine blades and combustion chamber assemblies. Experimental tests were performed with the use of full-carbide monolithic tools with the diameter of d = 12 mm. The tests were conducted at variable technological parameters. It has been observed that that cutting torque and amplitude cutting torque depend on machining conditions, and also, although to a lesser extent the surface roughness.
KEYWORDS: stainless steel EZ6NCT25, face milling, cutting torque, surface roughness

Stale nierdzewne, do których zalicza się stal EZ6NCT25, są uznawane za materiały trudnoskrawalne [2]. Charakteryzują się dużą ciągliwością i skłonnością do umocnienia odkształceniowego, co przyczynia się do wzrostu sił skrawania.

Przykładowo po wierceniu nierdzewnej stali austenitycznej UNS-32100 nastąpił znaczny wzrost mikrotwardości warstwy wierzchniej, który w zależności od parametrów technologicznych wahał się w granicach od 30% do 90% [1]. Ze względu na dużą skłonność do adhezji podczas skrawania austenitycznych stali nierdzewnych tworzy się narost, co niekorzystnie wpływa na chropowatość obrobionej powierzchni. Mała przewodność i pojemność cieplna tych stali powoduje intensywne nagrzewanie się narzędzi skrawających, przez co zmniejsza się ich trwałość [2, 5].

* Dr inż. Agnieszka Skoczylas (a.skoczylas@pollub.pl), dr hab. inż. Kazimierz Zaleski, prof. PL (k.zaleski@pollub.pl) – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej

Stal nierdzewna EZ6NCT25 jest wysokostopową (składniki stopowe stanowią ponad 40% składu chemicznego) stalą austenityczną, która charakteryzuje się bardzo złą skrawalnością. Z drugiej strony ten materiał wykazuje dobre właściwości jako tworzywo konstrukcyjne, m.in. dużą wytrzymałość i odporność na korozję w wysokiej temperaturze. Badania właściwości tribologicznych tej stali w podwyższonej temperaturze potwierdziły, że wraz ze wzrostem temperatury do wartości ok. 300°C następuje zmniejszenie zużycia materiału podczas tarcia ślizgowego w przypadku zastosowania smaru zawierającego nanocząstki dwusiarczku molibdenu. Po przekroczeniu tej temperatury następował wzrost zużycia, przy czym w temperaturze ok. 500°C było ono równe zużyciu w temperaturze otoczenia [7].

Właściwości stali EZ6NCT25 decydują o jej zastosowaniu do wytwarzania elementów narażonych na duże obciążenia, pracujących w środowisku korozyjnym i w wysokiej temperaturze. Ta stal jest stosowana głównie w przemyśle lotniczym, np. do wytwarzania elementów mocujących i złącznych oraz części silników lotniczych.

Dotychczasowe badania skrawalności stali EZ6NCT25 prowadzono głównie podczas obróbki toczeniem. Wyniki badań dynamiki skrawania tej stali przedstawiono w pracach [3, 4]. Stwierdzono, że przebieg obróbki toczeniem tej stali może być monitorowany metodą analizy rekurencyjnej.

W pracy [6] przytoczono wyniki badań porównawczych wpływu głębokości skrawania na składowe całkowitej siły skrawania i przemieszczenia przedmiotu obrabianego podczas toczenia stali C45, stopu tytanu TI6Al4V oraz stali EZ6NCT25. Zarejestrowane z pomiarów sygnały analizowano metodą współrzędnych opóźnionych, wykorzystywaną do badania zjawisk nieliniowych.

Celem autorów niniejszego artykułu była ocena wpływu parametrów skrawania w procesie frezowania stali EZ6NCT25 na moment skrawania, siłę bierną i chropowatość obrobionej powierzchni.

Metodyka badań

W badaniach wykorzystano próbki ze stali EZ6NCT25, której skład chemiczny przedstawiono w tablicy.

Frezowanie czołowe współbieżne przeprowadzono na pionowym centrum frezarskim Avia VMC 800 HS, znajdującym się w Katedrze Podstaw Inżynierii Produkcji Politechniki Lubelskiej. Jako narzędzi użyto frezów sześcioostrzowych z węglika spiekanego o średnicy d = 12 mm firmy Kennametal (oznaczonych symbolem UJDE1200A6AS).

TABLICA. Skład chemiczny stali EZ6NCT25 [7]

Zawartość pierwiastków, %							
C	Ni	Cr	Mo	Ti	V	B	Fe
0,07	27,0	15,5	1,2	2,0	0,3	0,005	reszta

Proces obróbki, z obfitym chłodzeniem cieczą chłodząco-smarującą Mobile Cut, realizowano z następującymi parametrami technologicznymi:

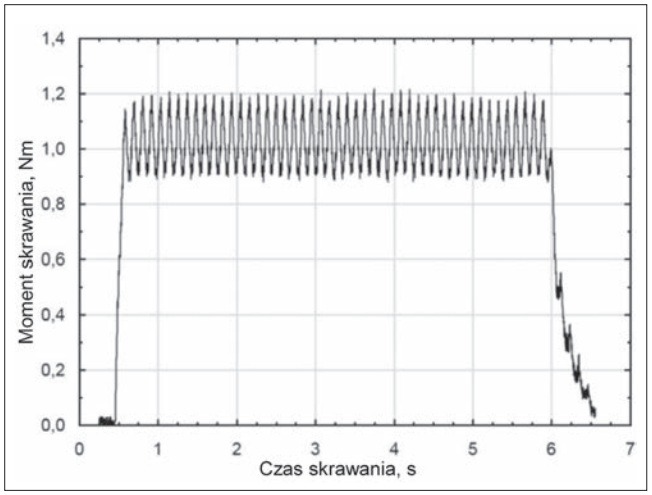
- prędkością skrawania v_c = 20÷50 m/min,
- posuwem na ostrze f_z = 0,05÷0,2 mm/ostrze,
- głębokością skrawania a_p = 0,2÷0,5 mm,
- szerokością frezowania a_e = 7,5 mm.

Pomiar momentu skrawania M_c przeprowadzono z zastosowaniem siłomierza obrotowego Kistler 9125A, który wraz ze wzmacniaczem 52377A1/A2 oraz modułem akwizycji danych pomiarowych DAQ 5697A stanowił tor pomiarowy.

Pomiary chropowatości powierzchni wykonano za pomocą urządzenia T8000RC 120-140 firmy Hommel-Etamic.

Wyniki badań

Na podstawie przebiegów czasowych momentu skrawania (rys. 1) sporządzono wykresy przedstawiające wpływ parametrów technologicznych skrawania na maksymalną wartość momentu M_c oraz amplitudę momentu.

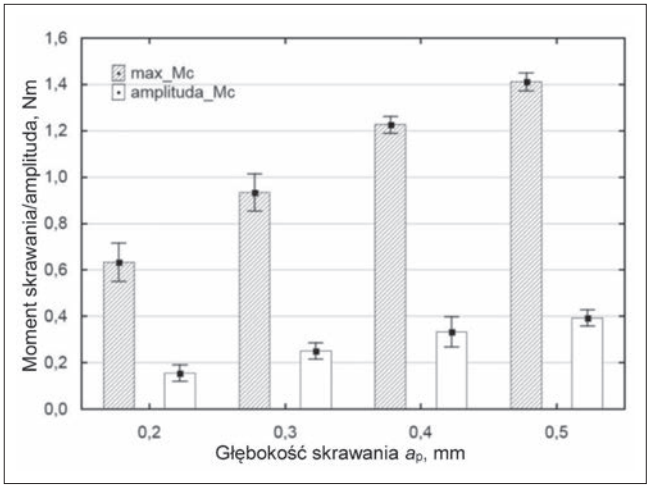


Rys. 1. Przebieg czasowy momentu skrawania (v_c = 20 m/min, a_p = 0,3 mm, f_z = 0,1 mm/ostrze)

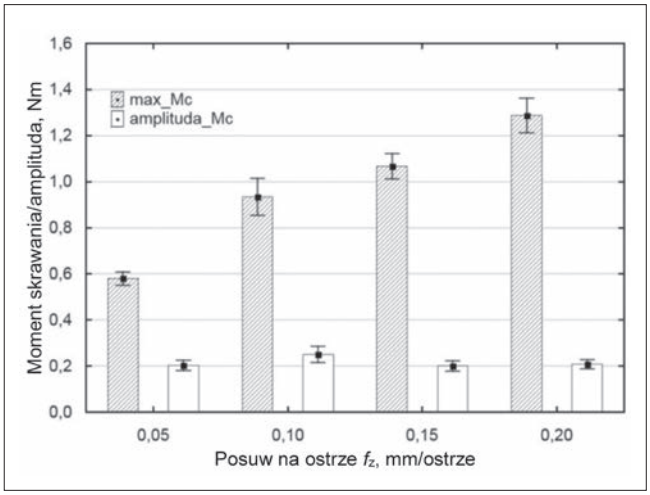
Na rys. 2 zaprezentowano wpływ głębokości skrawania a_p na moment skrawania M_c oraz jego amplitudę. Wzrost głębokości skrawania a_p o 150% spowodował zwiększenie wartości maksymalnej momentu skrawania o 123% oraz amplitudy momentu skrawania o 153%.

Również wzrost posuwu na ostrze f_z spowodował – zgodnie z oczekiwaniami – zwiększenie momentu skrawania (rys. 3), jednak ta zależność ma inny charakter niż zależność przedstawiona na rys. 2. Wzrost momentu skrawania w funkcji posuwu ma charakter progresywny (w zakresie posuwu 0,05÷0,1 mm/ostrze przyrost M_c wynosi 61%, a w zakresie posuwu 0,1÷0,2 mm/ostrze – 38%), co jest zgodne ze znaną dla innych materiałów regułą, że ze wzrostem grubości warstwy skrawanej zmniejsza się opór właściwy skrawania. Wzrost posuwu nie wpływa natomiast na amplitudę momentu skrawania (widoczne na rys. 3 zmiany amplitudy M_c mieszczą się w granicach błędu).

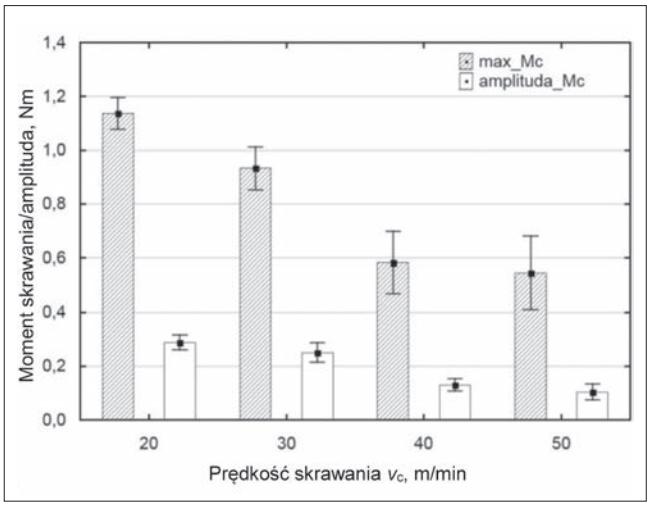
Na rys. 4 zaprezentowano wpływ prędkości skrawania v_c na wartość momentu skrawania M_c oraz jego amplitudę. Widoczny jest wyraźny spadek zarówno momentu, jak i jego amplitudy, zwłaszcza przy mniejszej prędkości skrawania. W badanym zakresie prędkości skrawania uzyskano zmniejszenie momentu skrawania o 52% oraz amplitudy momentu o 66%.



Rys. 2. Wpływ głębokości skrawania a_p na moment skrawania M_c i amplitudę momentu (v_c = 30 m/min, f_z = 0,1 mm/ostrze)



Rys. 3. Wpływ posuwu na ostrze f_z na moment skrawania M_c i amplitudę momentu (v_c = 30 m/min, a_p = 0,3 mm)

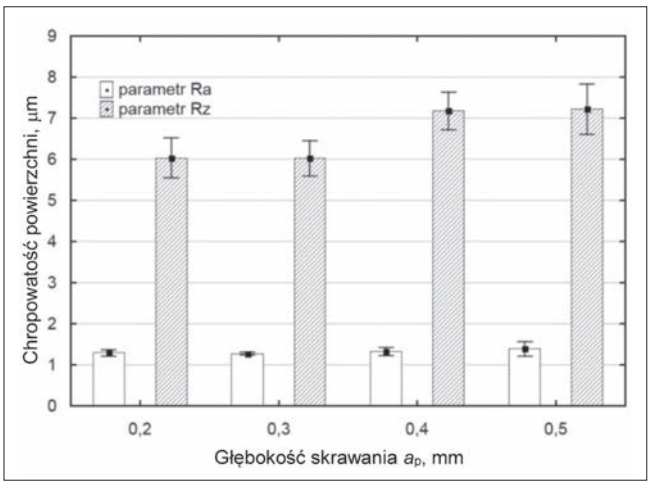


Rys. 4. Wpływ prędkości skrawania v_c na moment skrawania M_c i amplitudę momentu (f_z = 0,1 mm/ostrze, a_p = 0,3 mm)

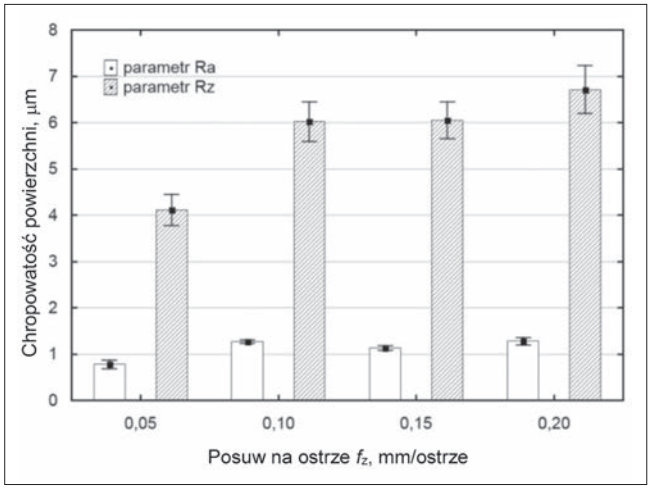
Wyniki badań wpływu parametrów technologicznych frezowania stali EZ6NCT25 na parametry *Ra* i *Rz* chropowatości powierzchni przedstawiono na rys. 5–7. Ze wzrostem głębokości skrawania a_p następuje niewielki wzrost chropowatości obrobionej powierzchni (przy dwuipółkrotnym wzroście głębokości skrawania parametr *Rz* zwiększył się o 19,5% – rys. 5). Można to tłumaczyć zwiększeniem się amplitudy momentu skrawania, powodującym większe drgania frezu.

Zgodnie z oczekiwaniami wzrost posuwu wpływa na zwiększenie chropowatości powierzchni, przy czym jest ono stosunkowo niewielkie (rys. 6). Przy czterokrotnym wzroście posuwu parametr *Rz* zwiększył się o 63%, a parametr *Ra* – o 64%. Biorąc pod uwagę, że wzrost posuwu przekłada się bezpośrednio na zwiększenie czasu maszynowego obróbki, należy uznać za zasadne stosowanie większych wartości posuwu.

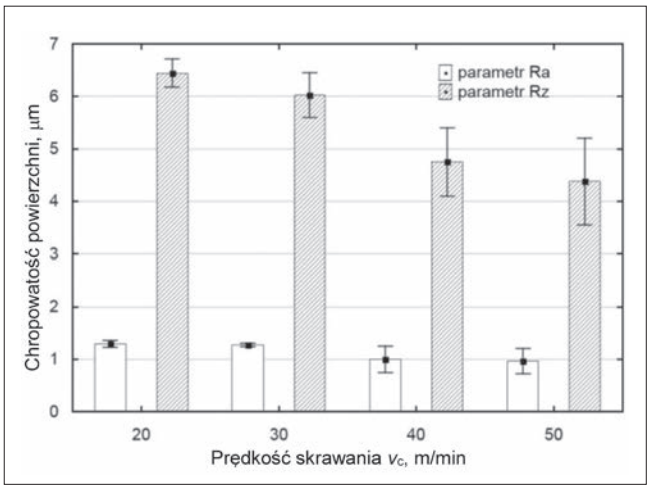
Ze wzrostem prędkości skrawania nastąpiło zmniejszenie chropowatości powierzchni (rys. 7). Przy dwuipółkrotnym wzroście prędkości skrawania uzyskano zmniejszenie parametru *Ra* o 25%, a parametru *Rz* – o 32%. Należy przypuszczać, że spadek prędkości skrawania jest związany ze zmniejszeniem się momentu skrawania, a zwłaszcza amplitudy momentu, co przekłada się na poprawę stabilności pracy narzędzi. Spadek parametrów chropowatości powierzchni *Ra* i *Rz* może być również spowodowany ograniczeniem zjawiska narostu przy wzroście prędkości skrawania v_c.



Rys. 5. Wpływ głębokości skrawania a_p na parametry chropowatości *Ra* i *Rz* (v_c = 30 m/min, f_z = 0,1 mm/ostrze)



Rys. 6. Wpływ posuwu na ostrze f_z na parametry chropowatości *Ra* i *Rz* (v_c = 30 m/min, a_p = 0,3 mm)



Rys. 7. Wpływ prędkości skrawania v_c na parametry chropowatości *Ra* i *Rz* (f_z = 0,1 mm/ostrze, a_p = 0,3 mm)

Podsumowanie

W pracy badano wpływ parametrów technologicznych frezowania stali nierdzewnej EZ6NCT25 na moment skrawania oraz parametry *Ra* i *Rz* chropowatości powierzchni. Wartość głębokości skrawania przyjęto w zakresie odpowiadającym obróbce wykończeniowej. Prędkości skrawania przyjęto relatywnie małe, aby uniknąć szybkiego zużywania się ostrzy frezów, co niewątpliwie wpływałoby na wyniki pomiarów (przeprowadzone podczas badań wstępnych próby frezowania z większą prędkością skrawania wykazały, że po krótkim czasie obróbki występowały wyraźne ślady zużycia ostrzy). Parametry technologiczne frezowania w znacznie większym stopniu wpływają na moment skrawania – zarówno na jego wartość maksymalną, jak i amplitudę – niż na chropowatość powierzchni. Uzyskano stosunkowo małą chropowatość powierzchni (*Ra* = 0,78÷1,39 µm), co potwierdza celowość frezowania – jako obróbki wykończeniowej – przedmiotów ze stali EZ6NCT25 jednolitym frezem trzpieniowym z węglików spiekanych. Wzrost posuwu (w badanym zakresie) tylko nieznacznie wpływał na chropowatość powierzchni, a zatem można zalecać stosowanie posuwu w granicach 0,15÷0,2 mm/ostrze. W celu określenia zalecanej prędkości skrawania należałoby przeprowadzić badania trwałości ostrzy frezów.

LITERATURA

1. Dolinsek S. “Work-hardening in the drilling of austenitic stainless steel”. *Journal of Materials Processing Technology.* 133 (2003): s. 63–70.
2. Grzesik W. „*Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych*”. Warszawa: WNT, 2010.
3. Litak G., Polyakov Y.S., Timashev S.F., Rusinek R. “Dynamics of stainless steel turning: Analysis by flicker – noise spectroscopy”. *Physica A.* 392 (2013): s. 6052–6063.
4. Litak G., Rusinek R. “Dynamics of stainless steel Turing processes by statistical and recurrence analyses”. *Meccanica.* 47 (2012): s. 1517––1526.
5. Miernik M. „*Skrawalność metali. Metody określania i prognozowania*”. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2000.
6. Rusinek R. “Vibrations in cutting process of titanium alloy”. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 3 (2010): s. 48–55.
7. Wisniewska-Weinert H. “Friction and wear of porous sliding bearings at high temperature. Influence of MoS_2 nanoparticle solid lubricant”. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics.* 52, 7–8 (2013): s. 424–430.