

Szczegóły kształtowania wióra przy toczeniu wykończeniowym stali nierdzewnej AISI 630

EUGENE FELDSHTEIN, KAMIL LEKSYCKI *

W pracy przedstawiono wyniki badań rodzaju i kształtu wióra austenitycznej chromowo-niklowej stali nierdzewnej AISI 630 w procesie toczenia wykończeniowego. Badania realizowano w warunkach obróbki na sucho i z chłodzeniem przy zmiennych prędkościach skrawania i posuwach oraz stałej głębokości skrawania. W badaniach zastosowano metodę planowania badań Parameter Space Investigation (PSI), umożliwiającą realizację eksperymentu przy minimalizacji punktów doświadczeń. Ustalono, iż na rodzaj i kształt wióra nie wpływają prędkość skrawania oraz warunki chłodzenia. Podczas toczenia z chłodzeniem zmniejszają się wartości współczynnika zgrubienia wióra, a także intensywność wpływu prędkości skrawania i posuwu. Celem badań była obserwacja procesu kształtowania się wióra podczas toczenia wykończeniowego stali nierdzewnej AISI 630.

Wprowadzenie

Rozwój medycyny generuje potrzebę poszukiwania coraz lepszych materiałów, znajdujących zastosowania w różnego rodzaju wyrobach medycznych. Już obecnie wykorzystuje się wiele materiałów biomedycznych [6,7,17,18]. Przy ich opracowaniu dąży się do uzyskania możliwie jak największej wytrzymałości oraz trwałości, a jednym z podstawowych wymogów jest osiągnięcie kompatybilności oddziaływania z tkankami organizmu żywego. Sposób przygotowania metalowej powierzchni wyrobów odgrywa ponadto bardzo istotną rolę w powodzeniu leczenia na etapie gojenia i długotrwałym użytkowaniu [3]. Aby zapewnić wymagane właściwości użytkowe elementu, należy w odpowiedni sposób dobrać materiał oraz procesy kształtujące jego strukturę i właściwości, a także rodzaj technologii związanych z obróbką warstwy po-

wierzchniowej (parametry obróbki, warunki chłodzenia, szczegóły konstrukcji narzędzia etc.) [5].

Do materiałów stosowanych obecnie w medycynie należą stale nierdzewne, stopy na bazie niklu, stopy tytanu, stopy kobaltowo-chromowe i inne [4,16,22]. Ze względu na właściwości zapewniające korzystne cechy mechaniczne i użytkowe najczęściej wykorzystywanymi materiałami biomedycznymi są: stal nierdzewna 316L, stopy Ti-6Al-4V, Co-Cr-Mo, Ni-Ti [19]. Jednakże w ostatnim czasie w przemyśle medycznym coraz częściej stosuje się austenityczną, chromowo-niklową stal nierdzewną AISI 630 znana również jako 17-4PH [1,10,13]. Utwardzona wydzieleniowo AISI 630 zawiera ok. 3% Cu i jest wzmacniana przez wytrącanie cząstek bogatych w miedź [12]. AISI 630 utrzymuje korzystne właściwości mechaniczne (dużą wytrzymałość, stosunkowo dobrą

ciągliwość) i doskonałą odporność na korozję [15]. Ze względu na małą przewodność cieplną i dobrą ciągliwość, skrawalność stali jest mała, co wpływa na jakość otrzymanej powierzchni oraz na trwałość narzędzia [13].

Parametry i warunki badań

Badania mechanizmu zużywania narzędzia w procesie toczenia wykończeniowego stali AISI 630 przeprowadzono w zakresie prędkości skrawania 300 ÷ 400 m/min, posuwu 0,10 mm/obr. oraz przy głębokości skrawania 0,25 ÷ 0,35 mm. Obróbkę prowadzono narzędziem z cermetu ATi(C7N3)/WC/TaC. Podczas obróbki na ostrzu wystąpiło zużycie kraterowe i zużycie powierzchni przyłożenia oraz pojawiło się kilka wgłębień na powierzchni obrabianej przedmiotu. Największą trwałość narzędzia i najlepszą chropowatość powierzchni uzyskano przy prędkości skrawania 300 m/min, posuwie 0,10 mm/obr i głębokości skrawania 0,25 mm. Natomiast, najgorszą chropowatość powierzchni i najmniejszą trwałość narzędzia otrzymano przy prędkości skrawania 400 m/min,

* Prof. dr hab. inż. E. Feldshtein, Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, E.Feldshtein@ibem.uz.zgora.pl, mgr inż. K. Leksycki, Uniwersytet Zielonogórski, Centrum Technologii Informatycznych.

posuwie 0,10 mm/obr i głębokości skrawania 0,30 mm [24].

W pracy [11] oceniono jakość powierzchni stali AISI 630 uzyskaną w procesie toczenia wykończeniowego prowadzonego z chłodzeniem (woda z emulsją olejową). Użyto płytki skrawającej z węgla spiekane go z powłokami TiN, TiCN i TiC. Badania prowadzono w zakresie prędkości skrawania 75÷200 m/min, posuwu 100÷200 mm/min oraz głębokości skrawania 0,25÷0,80 mm. Stwierdzono, iż zmiana parametrów wpływa na rezultaty obróbki stali AISI 630. Przy prędkości skrawania 175 mm/min, posuwie 100 mm/min i głębokości skrawania 0,5 mm chropowatość powierzchni była najniższa, natomiast wysoką chropowatość uzyskano przy małej prędkości skrawania (75 m/min), dużym posuwie (200 mm/min) i głębokości skrawania 0,5 mm. Ponadto, udowodniono, iż głębokość skrawania nie miała wpływu na chropowatość powierzchni, kiedy była zmieniana jednocześnie z prędkością skrawania lub posuwem. Stwierdzono również, iż toczenie z małą prędkością skrawania i większą głębokością skrawania zmniejsza chropowatość powierzchni. Wykazano, iż przy tej samej prędkości skrawania i zwiększeniu posuwu z 100 do 200 mm/min chropowatość powierzchni wzrosła. Ustalono również wpływ prędkości skrawania, posuwu, głębokości skrawania na rodzaj i kształt wióra.

Mechanika tworzenia się wióra jest istotnym elementem wpływającym na przebieg procesu skrawania, natomiast uzyskany wiór przedstawia zewnątrz zjawiska w nim zachodzące. Na podstawie obrazu wióra zyskuje się informacje związane z właściwościami materiału obrabianego, charakterystyką narzędzia, a także z procesem skrawania [8]. W literaturze brakuje kompleksowych informacji dotyczących procesu toczenia wykończeniowego stali nierdzewnej AISI 630.

Badania przeprowadzono na tokarce CNC typu CTX 510 ze sterowaniem Sinumerik 840D firmy DMG MORI SEIKI. Użyto nóż tokarski z oprawką CoroTurn SDJCR 2525M 11 oraz płytkę wymienną CoroTurn DCMX 11 T3 04-WM 1115 z powłoką (Ti,Al)N+(Al,Cr)2O3 naniesioną metodą PVD. Kąty ostrza:

kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej $\kappa_r = 93^\circ$, kąt natarcia $\gamma = 18^\circ$, kąt przyłożenia $\alpha = 7^\circ$, promień naroża $r_\epsilon = 0,4$ mm, szerokość ścina $b_{\gamma n} = 0,1$ mm [20]. Proces toczenia realizowano bez użycia środka chłodząco-smarującego (na sucho) oraz z zastosowaniem emulsji wodnej na bazie oleju obróbkowego emulgującego Castrol Alusol SL 51 XBB o 7% stężeniu roboczym.

Materiałem obrabianym była stal nierdzewna austenityczna AISI 630 o składzie chemicznym: Cr = 15,0÷17,5%;

$$\bar{h}_b = \frac{f}{1 - \frac{r_\epsilon}{a_p} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{f}{2r_\epsilon} \right)^2} \right]} \cdot \sin \arctg \frac{1 - \frac{r_\epsilon}{a_p} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{f}{2r_\epsilon} \right)^2} \right]}{\left[1 - \frac{r_\epsilon}{a_p} (1 - \cos \kappa_r) \right] \operatorname{ctg} \kappa_r + \frac{r_\epsilon}{a_p} \left(\sin \kappa_r + \frac{f}{2r_\epsilon} \right)} \quad (2)$$

Ni = 3,0 ÷ 5,0%; Cu = 3,0 ÷ 5,0%; Mn ≤ 1,0%; Si ≤ 1,0%; C ≤ 0,070%; P ≤ 0,040%; S ≤ 0,030%; Tb+Na = 0,15 ÷ 0,45%; Fe = 73% [9]. Twardość stali w stanie wejściowym wynosi ~360 HB, granica plastyczności – 1000 MPa, wytrzymałość na rozciąganie ~1000 MPa.

Stal AISI 630 (17Cr-4Ni) jest martenzytyczną starzejącą się stalą nierdzewną o dużej wytrzymałości i twardości, posiadającą doskonałą odporność na korozję. AISI 630 posiada dobre cechy obróbkowe, może być utwardzana poprzez starzenie [9].

Grubość wióra zmierzona została pięciokrotnie za pomocą suwmiarki cyfrowej. Obróbkę realizowano w zakresie prędkości skrawania 150÷500 m/min i posuwów 0,05÷0,40 mm/obr. Stała głębokość skrawania wynosiła 0,5 mm, co odpowiada warunkom obróbki wykończeniowej.

Rezultaty badań

Współczynnik zgrubienia wióra K_n jest ważnym wskaźnikiem cechującym szczegóły procesu tworzenia wiórów. Współczynnik ten określa prędkość przemieszczania się wióra wzdłuż powierzchni natarcia [2], może służyć do obliczeń wielu wskaźników strefy tworzenia wióra, sił skrawania, naprężeń resztkowych w warstwie wierzchniej itp.

Wartość współczynnika K_n oblicza się na podstawie wzoru [23]:

$$K_n = \frac{h_{ch}}{h_b} \quad (1)$$

gdzie:

h_{ch} – grubość wióra,

h_b – grubość warstwy skrawanej.

W obliczeniach wykorzystano średnią grubość warstwy skrawanej, którą w przypadku pracy zarówno głównej krawędzi skrawającej, jak i krawędzi naroża oblicza się ze wzoru [2]:

gdzie:

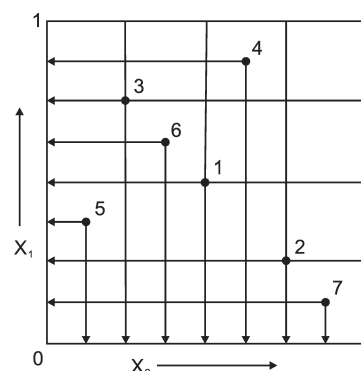
f – posuw,

a_p – głębokość skrawania,

r_ϵ – promień naroża,

κ_r – kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej.

Przy planowaniu badań zastosowana została metoda Parameter Space Investigation (PSI), która umożliwiła planowanie eksperymentu przy minimalizacji punktów doświadczeń. Punkty testowe zostały rozmieszczone w ustalonych miejscach w sposób sekwencyjny. Sekwencja polega na usytuowaniu punktów w wielowymiarowej przestrzeni tak, aby punkty ich rzutów rozmieszczone zostały odpowiednio na osiach X_1 , X_2 i znalazły się w równych odległościach względem siebie (rys. 1) [23].



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów testowych na osi X_1 i X_2 zgodnie z metodą PSI

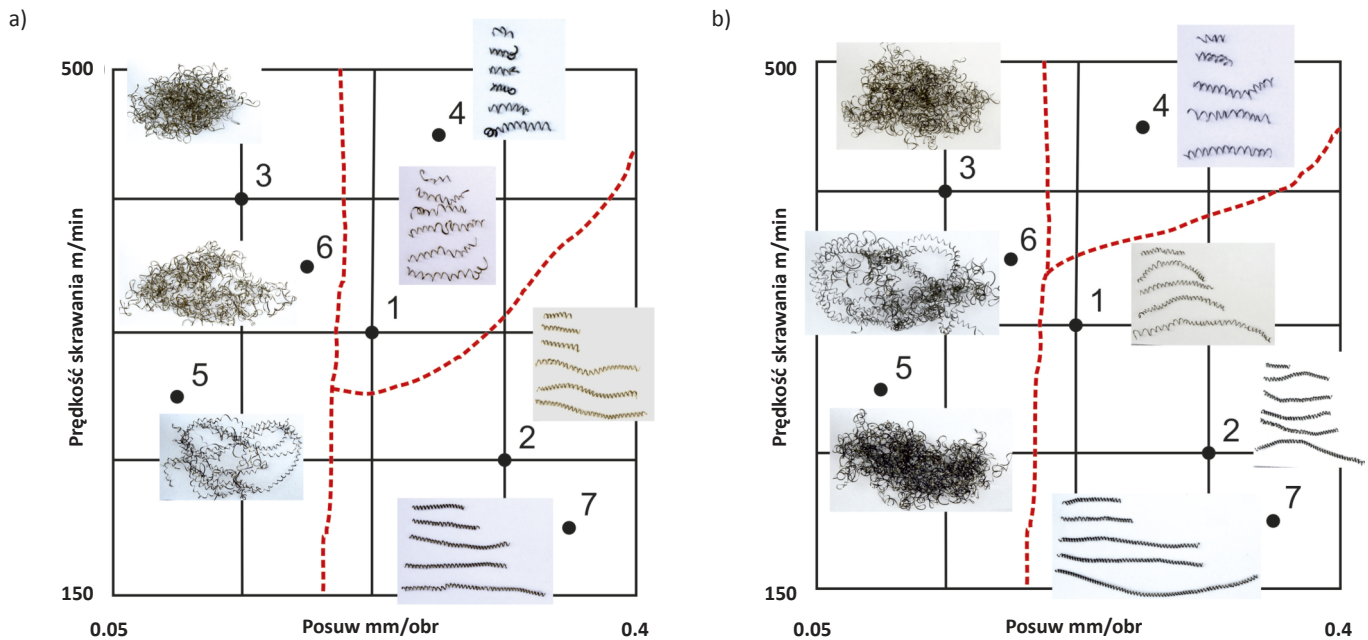
Tabela 1. Współrzędne punktów testowych

Zmienne	Punkty testowe						
	1	2	3	4	5	6	7
X ₁	0,5000	0,2500	0,7500	0,8750	0,3750	0,6250	0,1250
X ₂	0,5000	0,7500	0,2500	0,6250	0,1250	0,3750	0,8750

zmniejszają się zarówno wartości K_h , jak i intensywność wpływu prędkości skrawania i posuwu.

Podsumowanie

W artykule dokonano analizy wpływu parametrów toczenia wykończeniowego stali nierdzewnej AISI 630 oraz warunki chłodzenia na warunku tworzenia wióra. Na podstawie uzys-



Rys. 2. Rozmieszczenie punktów testowych i występujące w ich obszarach rodzaje wióra: a) obróbka na sucho, b) obróbka z chłodzeniem

Współrzędne punktów testowych obliczono wg algorytmu przedstawionego w pracy [21] i zestawiono w Tab. 1, gdzie $X_{min} = 0$ i $X_{max} = 1$. Liczba punktów badań (7) na każdej osi jest satysfakcjonująca i umożliwia przeprowadzenie obliczeń statystycznych.

Analizy statystycznej wyników dokonano za pomocą programu Statistica 13.0. Zmiany kształtu wiórów w zależności od prędkości skrawania, posuwu i warunków chłodzenia przedstawiono na rys. 2. W obu warunkach chłodzenia obserwuje się trzy rodzaje wiórów: splątane, spiralne krótkie lub długie. W punktach testowych 3, 5, 6 (Tab. 1) uzyskano wióry spiralne. W przypadku obróbki na sucho wiór spiralny długi uzyskano w obszarze punktów 2 i 7, natomiast wiór spiralny krótki w punktach 1 i 4. Podczas obróbki z chłodzeniem wiór spiralny długi wystąpił

w punktach 1,2,7, a wiór spiralny krótki w obszarze punktu 4. Stąd granica podziału wystąpiła przy $f \approx 0,2$ mm/obr. Stwierdzono, iż prędkość skrawania i chłodzenie nie mają wpływu na kształtowanie wióra podczas toczenia wykończeniowego AISI 630.

Zmiany współczynnika zgrubienia wióra K_h w zależności od warunków obróbki przedstawiono na rys. 3.

Uzyskano równania regresji dla obliczeń wartości K_h :

na sucho:

$$K_h = 2,37 - 0,001v_c - 0,53f; \tag{3}$$

z chłodzeniem:

$$K_h = 1,95 - 0,0003v_c - 0,27f \tag{4}$$

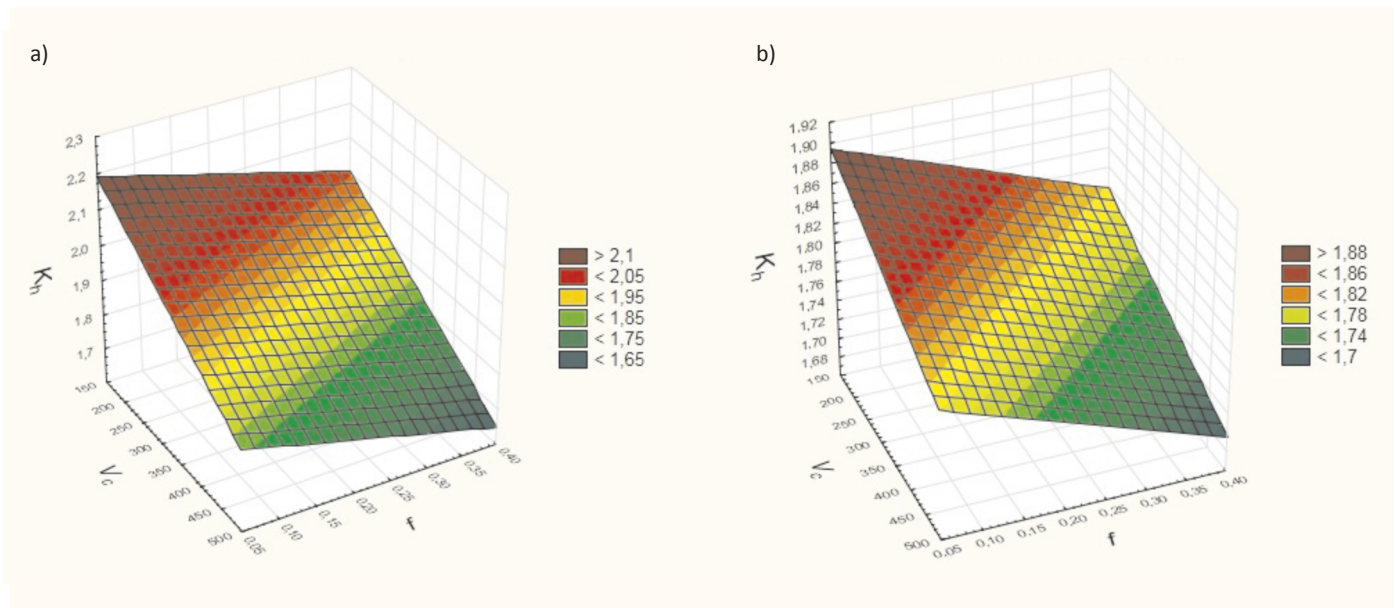
Analizując wyniki obliczeń stwierdzono, że przy toczeniu z chłodzeniem

kanych rezultatów przeprowadzonych eksperymentów stwierdzono, że:

- w procesie toczenia na sucho i z chłodzeniem występują trzy kształty wiórów: splątane, spiralne krótkie i długie;
- wpływ chłodzenia na kształt wióra jest nieznaczny;
- wartość współczynnika zgrubienia wióra podczas toczenia na sucho jest większa w porównaniu do toczenia z chłodzeniem;
- prędkość skrawania i posuw mają istotny wpływ na wartość współczynnika zgrubienia wióra.

Literatura

1. Ahlhelm M., Günther P., Scheithauer U., Schwarzer E., Günther A., Slawik T., Moritz T., Michaelis A.: Innovative and



Rys. 3. Współczynnik zgrubienia wióra K_h w funkcji prędkości skrawania v_c i posuwu f : a) obróbka na sucho, b) obróbka z chłodzeniem

novel manufacturing methods of ceramics and metal-ceramic composites for biomedical applications. Journal of the European Ceramic Society, Vol. 36, 2016, s. 2883–2888.

2. Astakhov V.P, Outeiro J.C.: Metal Cutting Mechanics, Finite Element Modelling, in: J. Paulo Davim (edit.): Machining. Fundamentals and Recent Advances. Springer-Verlag Limited, London 2008.

3. Błazewicz S., Stoch L.: Biomateriały. Wydawnictwo Exit, Warszawa 2003.

4. Chen Q, Thouas G.A.: Metallic implant biomaterials. Materials Science and Engineering: R: Reports, Vol. 87, 2015, s. 1-57.

5. Dobrzański L.A.: Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. WNT, Warszawa 2006.

6. Dobrzański L.A.: Podstawy kształtowania struktury i właściwości materiałów metalowych. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.

7. Fazel-Rezai R.: Biomedical engineering – from theory to applications. In Tech, Rijeka 2011.

8. Feldshtein E.: Wybrane zagadnienia obróbki skrawaniem. Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2013.

9. <http://www.matweb.com>

10. Karthik D., Kalainathan S., Swaroop S.: Surface modification of 17-4 PH stainless steel by laser peening without protective coating process. Surface & Coatings Technology, Vol. 278, 2015, s. 138-145.

11. Kiran P.C., Clement S.: Surface quality investigation of turbine blade steels for turning process. Measurement, Vol. 46, 2013, s. 1875-1895.

12. Kochmański P., Nowacki J.: Activated gas nitriding of 17-4 PH stainless steel. Surface & Coatings Technology, Vol. 200, 2006, s. 6558–6562.

13. Liu G., Huang C., Zou B., Wang X., Liu Z.: Surface integrity and fatigue performance of 17-4PH stainless steel after cutting operations. Surface & Coatings Technology, Vol. 307, 2016, s. 182-189.

14. Liu G., Zou B., Huang C., Wang X., Wang J., Liu Z.: Tool damage and its effect on the machined surface roughness in high-speed face milling the 17-4PH stainless steel. Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol. 83, 2016, s. 257–264.

15. Liu R.L., Yan M.F.: The microstructure and properties of 17-4PH martensitic precipitation hardening stainless steel modified by plasma nitrocarburizing. Surface & Coatings Technology, Vol. 204, 2010, s. 2251–2256.

16. Marciniak J.: Biomateriały. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.

17. Nowacki J., Dobrzański L.A., Gustavo F.: Implanty śródstypkowe w osteosyntezie kości długich. Open Access Library, Vol. 11 (17), 2012, s. 1-150.

18. Pignatello R. (edit.): Biomaterials science and engineering. In Tech, Rijeka 2011.

19. Ramsden J.J., Allen D.M., Stephenson D.J., Alcock J.R., Peggs G.N., Fuller G., Goch G.: The Design and Manufacture of Biomedical Surfaces. Annals of the CIRP, Vol. 56, 2007, s. 687-711.

20. Sandvik Coromant, Narzędzia tokarskie. Katalog, 2017.

21. Statnikov R.B., Matusov J.B.: Multicriteria Analysis in Engineering. Springer, 2002.

22. Surowska B.: Biomateriały metalowe oraz połączenia metal – ceramika w zastosowaniach stomatologicznych. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 2009.

23. Trent E.M., Wright P.K.: Metal Cutting. fourth ed., Butterworth-Heinemann, Woburn 2000.

24. Zou B., Zhou H., Huang C., Xu K., Wang J.: Tool damage and machined-surface quality using hot-pressed sintering Ti(C7N3)/WC/TaC cermet cutting inserts for high-speed turning stainless steels. Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol. 79, 2015, s. 197–210. ■