

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15–18 października 2024

Wykorzystanie analizy statystycznej w ocenie wyników pomiaru chropowatości powierzchni elementów wykonanych ze stopu aluminium EN AW-7075 T651

Paweł Pieško¹, Magdalena Zawada-Michałowska¹, Jarosław Korpysa¹, Witold Habrat²

¹Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Politechnika Lubelska

²Katedra Techniki Wytwarzania i Automatykacji, Politechnika Rzeszowska

email: p.piesko@pollub.pl, m.michalowska@pollub.pl, j.korpysa@pollub.pl, witekhab@prz.edu.pl

STRESZCZENIE: W pracy omówiono wyniki analizy wpływu parametrów obróbki, narzędzia i rodzaju frezowania na chropowatość powierzchni elementów wykonanych ze stopu EN AW-7075 T651. Do oceny wybranego parametru chropowatości wykorzystano metody statystyczne, tj.: wieloczynnikową analizę wariancji ANOVA i test *post-hoc* Tukeya. Głównym celem badań było sprawdzenie możliwości zastosowania metod statystycznych do dokładnego porównania wartości parametru chropowatości powierzchni uzyskanego podczas frezowania ze zmiennym posuwem na ostrze f_z oraz przy użyciu różnych narzędzi skrawających w postaci monolitycznych frezów walcowo-czołowych. Przeprowadzone badania wykazały znaczne różnice w wartościach parametru chropowatości Ra dla analizowanych rodzajów frezowania, skrajnych wartości posuwu f_z oraz jednego z narzędzi w stosunku do dwóch pozostałych. W przypadku braku możliwości określenia różnic w wartościach parametru chropowatości powierzchni na podstawie wyliczonej wartości średniej wykorzystano oprogramowanie Statistica 13.

SŁOWA KLUCZOWE: stopy aluminium, chropowatość powierzchni, narzędzia skrawające, analiza statystyczna

1. Wstęp

Chropowatość powierzchni jest jednym z ważnych aspektów branych pod uwagę w trakcie projektowania nowych wyrobów. Stan obrabianej powierzchni znacząco wpływa na różne właściwości użytkowe wykonywanych elementów [1]:

- tarcie i zużycie - im większa chropowatość, tym większy współczynnik tarcia między współpracującymi powierzchniami i tym łatwiej części ulegają zużyciu [2];
- możliwość montażu - w przypadku montażu weiskowego część wierzchołków profilu chropowatości jest ścinana, a część ściskana, co zmniejsza rzeczywistą efektywną wielkość wcisku i zmniejsza siłę połączenia weiskowego. W połączeniach ruchowych również występuje ścinanie wierzchołków nierówności (proces docierania), co powoduje zwiększenie luzów między współpracującymi elementami i może doprowadzić do utraty funkcjonalności połączenia, a w skrajnych przypadkach do nieodwracalnego uszkodzenia jego elementów [2];
- odporność abrazyjna - we wgłębieniach nierówności powierzchni łatwo gromadzą się substancje powodujące korozję. Wnikają one stopniowo do wnętrza materiału, powodując korozję powierzchniową i im większa głębokość nierówności, tym korozja jest poważniejsza;
- zużycie zmęczeniowe - duża chropowatość powierzchni powoduje koncentrację naprężeń na wierzchołkach wgłębien nierówności (efekt mikrokarbów). Zwiększenie chropowatości powierzchni zwiększa koncentrację naprężeń, co przy zmiennym obciążeniu, zwiększa ryzyko uszkodzenia zmęczeniowego [3].

Istotny wpływ chropowatości na cechy użytkowe elementów sprawił, że jest ona jednym z często analizowanych czynników przez wielu badaczy [4-6]. Analizy te są jednak z reguły aspektem pobocznym lub uzupełniającym prowadzone badania. Badanymi czynnikami mającymi wpływ na przebieg i efekty obróbki, w tym na chropowatość, są m.in.: zastosowane narzędzia, rodzaje obrabianego materiału i parametry obróbki. W przypadku stopów aluminium, ze względu na ich właściwości, wpływ różnego rodzaju czynników na rezultaty obróbki często jest niejednoznaczny. W pracy wykorzystano analizę statystyczną do oceny zależności pomiędzy posuwem, rodzajem frezowania i narzędziem skrawającym a chropowatością obrabianych powierzchni.

2. Metodyka badań

Frezowanie prostopadłościennych próbek o wymiarach 33x100x55 mm, wykonanych ze stopu aluminium EN AW-7075 T651, przeprowadzono na pionowym centrum obróbczym AVIA VMC 800HS. Pomiaru chropowatości powierzchni wykonano profilometrem stykowym Hommel Tester T1000. W pracy skoncentrowano się na analizie parametru Ra . Dla każdego narzędzia, rodzaju frezowania i zestawu parametrów technologicznych wykonano po 30 pomiarów wybranego parametru profilu chropowatości. Badano dwa rodzaje frezowania: współbieżne oraz przeciwbieżne, dla których zastosowano stałe parametry, takie jak: głębokość skrawania $a_p = 20$ mm, szerokość frezowania $a_e = 1$ mm i prędkość skrawania $v_c = 750$ m/min oraz zmienny posuw $f_z = 0,01; 0,04; 0,08; 0,12; 0,16$ mm/ostrze. Obróbkę wykonano trzema różnymi,

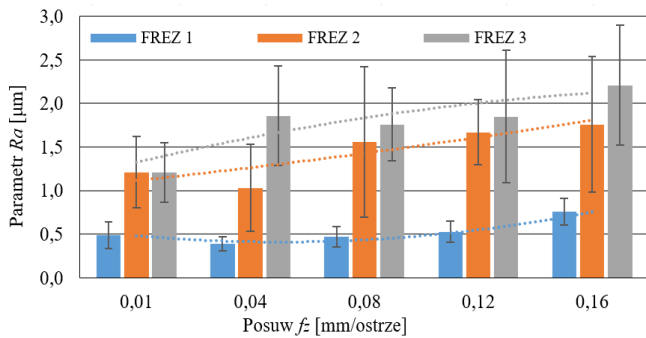
monolitycznymi i węglowymi frezami walcowo-czołowymi, takimi jak:

1. dwuostrzowy, niepowlekany frez JEL 15112 firmy Kennametal,
2. dwuostrzowy frez 20646 z powłoką TiAlN firmy Fenes,
3. trzyostrzowy frez 209712 z powłoką PCD firmy Garant.

Do analiz statystycznych wykorzystano program Statistica 13 firmy StatSoft.

3. Wyniki badań i ich analiza

Na rys. 1 przedstawiono przykładową zależność zmian wartości parametru R_a w odniesieniu do posuwu dla frezowania współbieżnego i trzech użytych frezów. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić wyraźną tendencję wzrostową tego parametru wraz ze zwiększaniem posuwu. Widoczna jest również znacząca różnica między wartościami parametru R_a dla frezu 1 w stosunku do dwóch pozostałych narzędzi. Dodatkowo w przypadku frezów 1 i 2 wartość parametru R_a dla najmniejszego posuwu $f_z = 0,01$ mm/ostrze jest większa niż dla kolejnego posuwu $f_z = 0,04$ mm/ostrze.



Rys. 1. Wartości parametru R_a w zależności od posuwu f_z dla frezowania współbieżnego i trzech rodzajów frezów

Podobne zależności wartości parametru R_a od posuwu uzyskano dla frezowania przeciwbieżnego, przy czym były one większe niż dla frezowania współbieżnego. Na podstawie wartości średnich parametru R_a oraz odchyłeń standardowych, przedstawionych na rys. 1, można mieć wątpliwości, co do różnicy parametru R_a dla posuwów $f_z = 0,08$ i $f_z = 0,12$ mm/ostrze. Przeprowadzono dla nich analizę wariancji ANOVA w celu weryfikacji wyników pomiarów.

W tabeli 1 przykładowo przedstawiono wyniki analizy *post-hoc* (testu istotności różnic Tukeya) odpowiednio dla posuwu $f_z = 0,08$ mm/ostrze.

Tabela 1. Wyniki testu istotności różnic dla $f_z = 0,08$ mm/ostrze

Lp. Narzędzie	Rodzaj frezowania	1	2	3	4	5	6
1	Frez 1 Współ.		<0,01	<0,01	0,45	<0,01	<0,01
2	Frez 1 Przeciw.	<0,01		0,80	<0,01	<0,01	0,83
3	Frez 2 Współ.	<0,01	0,80		<0,01	0,47	1,00
4	Frez 2 Przeciw.	0,45	<0,01	<0,01		0,58	<0,01
5	Frez 3 Współ.	<0,01	<0,01	0,47	0,58		0,43
6	Frez 3 Przeciw.	<0,01	0,83	1,00	<0,01	0,43	

Dla posuwu $f_z = 0,08$ mm/ostrze istotne statystycznie różnice dla wartości parametru R_a stwierdzono m.in. dla frezowania:

- współbieżnego frezem 1 oraz przeciwbieżnego frezem 2,

- przeciwbieżnego frezem 1 oraz współbieżnego frezem 2,
 - przeciwbieżnego frezem 1 oraz przeciwbieżnego frezem 3,
 - współbieżnego frezem 2 oraz współbieżnego frezem 3,
 - współbieżnego frezem 2 oraz przeciwbieżnego frezem 3,
 - przeciwbieżnego frezem 2 oraz współbieżnego frezem 3.
- Wyniki badań dla wszystkich analizowanych zmiennych będą przedstawione w pełnej wersji publikacji.

4. Podsumowanie

- Na podstawie uzyskanych wyników badań ustalono, że:
- 1) Zmiana wartości posuwu oraz geometria narzędzia mają istotny wpływ na chropowatość powierzchni. Zwiększenie posuwu praktycznie zawsze przekłada się na pogorszenie chropowatości, z wyjątkiem dwóch pierwszych posuwów oraz frezów 1 i 2, gdzie zwiększenie posuwu z 0,01 do 0,04 mm/ostrze spowodowało zmniejszenie parametru R_a .
 - 2) Najmniejsze wartości parametru chropowatości R_a dla wszystkich rozpatrywanych przypadków uzyskano używając frez 1. Jest to prawdopodobnie związane z brakiem powłoki ochronnej.
 - 3) Stosując frezowanie współbieżne uzyskano mniejsze wartości parametru chropowatości w stosunku do frezowania przeciwbieżnego.
 - 4) Dla frezowania współbieżnego zwiększanie posuwu w zakresie $f_z = 0,04-0,12$ mm/ostrze pozwala na zwiększenia wydajności obróbki, przy stosunkowo niedużym zwiększeniu chropowatości.
 - 5) Analiza statystyczna wykazała, że istotny wpływ na parametr chropowatości powierzchni R_a w większości przypadków ma interakcja zastosowanego rodzaju frezowania oraz narzędzia.

Publikacja dofinansowana ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Nauki pod nazwą „Polska Metrologia II”, nr projektu: PM-II/SP/0040/2024/02, kwota dofinansowania: 968 000,00 zł, całkowita wartość projektu: 968 000,00 zł. Tytuł projektu: „Multisensoryczny system pomiarów oddziaływań termo-mechanicznych wraz z kompleksową analizą stanu warstwy wierzchniej stopów lotniczych wspomagany algorytmami uczenia maszynowego”.



Literatura

- [1] Leo G., *Everything you need to know about surface roughness*, Madearia, 2023, <https://www.madearia.com/blog/surface-roughness-chart> (05.09.2024).
- [2] Dubois A., Filali O., Dubar L., *Effect of roughness, contact pressure and lubrication on the onset of galling of the 6082 aluminium alloy in cold forming, a numerical approach*. Wear, Vol. 536-537, 2024.
- [3] Prayogo G., Bilal A.D., Auzani A.S., *Surface roughness effect to fatigue strength of 7075-T6 aluminium alloy*. AIP Conference Proceedings, Vol. 2710, Issue 16, 2024.
- [4] Pham T., Luyen T., Nguyen D., *Investigating the correlation between surface roughness and degree of chip segmentation in A7075 aluminium alloy milling across varied cutting speeds*. Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences, Vol. 49, No. 1, 2024.
- [5] Kishore K.S., Vinodh D., *Surface roughness comparison of aluminium alloy AA7075 machined using HSS M42 tool and novel titanium nitride coated tool in CNC drilling*. AIP Conference Proceedings, Vol. 2853, Issue 17, 2024.
- [6] Haque M.M., Chaudhary K., Bhattacharya S., Francis V., Singh M., Kumar N., *Effect of Processing Parameters on Surface Roughness, Tool Wear, and Microstructure of Aluminium Alloys*. Advances in Materials and Agile Manufacturing, pp. 65-77, 2024.