

KSZTAŁTOWANIE KRAWĘDZI PRZEDMIOTÓW ZE STOPU TYTANU Ti6Al4V METODĄ SZCZOTKOWANIA

Edges formation of Ti6Al4V titanium alloy parts upon brushing

Jakub MATUSZAK, Kazimierz ZALESKI

Streszczenie: Stan krawędzi odgrywa istotną rolę w procesie montażu elementów składowych gotowych wyrobów. Po obróbce skrawaniem na krawędziach przedmiotów pojawiają się zadziory. Dotyczy to takich popularnych metod obróbki jak: wiercenie, frezowanie, toczenie itp. Pracochłonność usuwania zadziorów związana jest z właściwościami materiału obrabianego, które wpływają na siłę utwardzenia podstawy zadzioru do krawędzi przedmiotu. W przypadku materiałów trudnoobrabialnych, usunięcie zadziorów może wiązać się z potrzebą zintensyfikowania energii medium obróbkowego w obrębie krawędzi do której przytwierdzone są zadziory.

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu obróbki szczotkowaniem na kształtowanie krawędzi przedmiotów, powstałych w procesie frezowania, wykonanych ze stopu tytanu Ti6Al4V. Dokonano oceny stanu krawędzi po procesie usuwania zadziorów metodą szczotkowania. W eksperymencie zastosowano stałe parametry frezowania oraz zmienne warunki szczotkowania. Pracę podsumowano wnioskami.

Słowa kluczowe: obróbka szczotkowaniem, zadziory, stan krawędzi

Abstract: Edge state plays an important role in the assembly process of the components of finished products. After machining, burrs can appear on the edges of the objects. This concerns such popular machining methods as drilling, milling, turning, etc. Labour consumption of deburring is related to the material properties of the workpiece which influence the strength of the connection between the burr base and the edge of the object. In the case of almost unworkable materials, deburring process can be associated with the intensification of machining energy around the edges with burrs.

The paper presents the results of the effect of brushing process on the edges formation of the objects made of Ti6Al4V titanium alloy produced in the milling process. Edge states after deburring with the use of brushing process was determined. The fixed parameters of milling and the variable conditions of brushing were used. Based on studies conclusions were formed.

Key words: brushing, burrs, edge states

Wprowadzenie

Obróbka frezowaniem często jest ostatnim procesem kształtowania gotowego wyrobu. Po tej operacji przedmioty będące elementami składowymi większych konstrukcji podlegają procesom montażowym. Dlatego istotny jest stan krawędzi przedmiotów, szczegółowo określony w normie ISO 13715, który nie stwarza problemów na tym etapie. Po obróbce skrawaniem na krawędziach przedmiotów z reguły pojawiają się zadziory. Dotyczy to większości popularnych metod obróbki ubytkowej jak: wiercenie, frezowanie, toczenie itp. [2, 3, 4]. Prawidłowa orientacja przedmiotu przez roboty przechwytyjące w procesie montażu jest bardzo istotnym zagadnieniem [1]. Występowanie zadziorów może hamować płynny i bezpieczny proces montażowy. W przypadku współpracujących elementów występowanie zadziorów nie tylko skutkuje pogorszeniem jakości krawędzi, ale także występujące w konsekwencji obecności zadziorów nadmierne tarcie i zużycie powierzchni może objawiać się występowaniem hałasu i drgań.

Pracochłonność usuwania zadziorów związana jest z właściwościami materiału obrabianego, które wpływają na siłę utwardzenia podstawy zadzioru do krawędzi

przedmiotu. W przypadku materiałów trudnoobrabialnych (stopu tytanu), usunięcie zadziorów może wiązać się z potrzebą zintensyfikowania energii w obrębie krawędzi do której przytwierdzone są zadziory. Proces ten może być realizowany m.in. za pomocą obróbki szczotkowaniem na centrach obróbkowych. Celem przeprowadzonych badań była ocena stanu krawędzi oraz chropowatości powierzchni po usuwaniu zadziorów metodą szczotkowania próbek wykonanych ze stopu tytanu Ti6Al4V.

Metodyka badań

W badaniach wykorzystano próbki ze stopu tytanu Ti6Al4V, których skład chemiczny i właściwości fizyczne przedstawiono w tab. I. Badania przeprowadzono na pionowym centrum obróbkowym Fv580A, wyposażonym w system sterowania Fanuc OiMC. Próbki poddano obróbce frezowaniem z zachowaniem stałych parametrów frezowania.

Po obróbce frezowaniem przeprowadzono proces szczotkowania z zastosowaniem zmiennych parametrów technologicznych obróbki szczotkowaniem. W celu oceny wpływu poszczególnych parametrów przeprowadzono klasyczny eksperyment jednoczynnikowy. W tab. II

Tabela I. Skład chemiczny i właściwości fizyczne stopu tytanu Ti6Al4V
 Table I. Chemical composition and physical properties of Ti6Al4V titanium alloy

skład chemiczny [%]					właściwości mechaniczne		
Al	V	C	Fe	Ti	Rm	HRC	E
5,5-6,76	3,5-4,5	0,03	0,1	reszta	1020 MPa	33	120 GPa

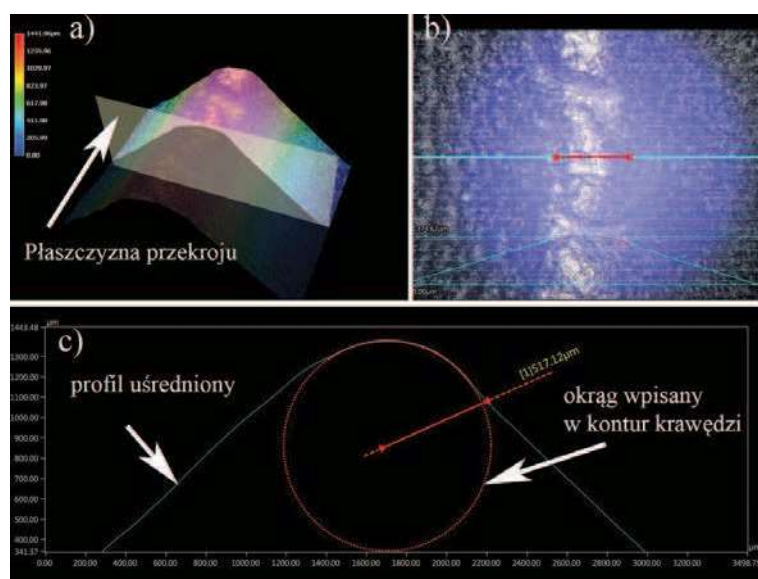
Tabela II. Parametry technologiczne szczotkowania
 Table II. Parameters of brushing process

prędkość obwodowa, [m/min]	844	1266	1688	1266			1266		
prędkość posuwu, [mm/min]	370			140	370	1000	370		
liczba przejść	3			3			1	5	10
dosuw [mm]	3			3			3		

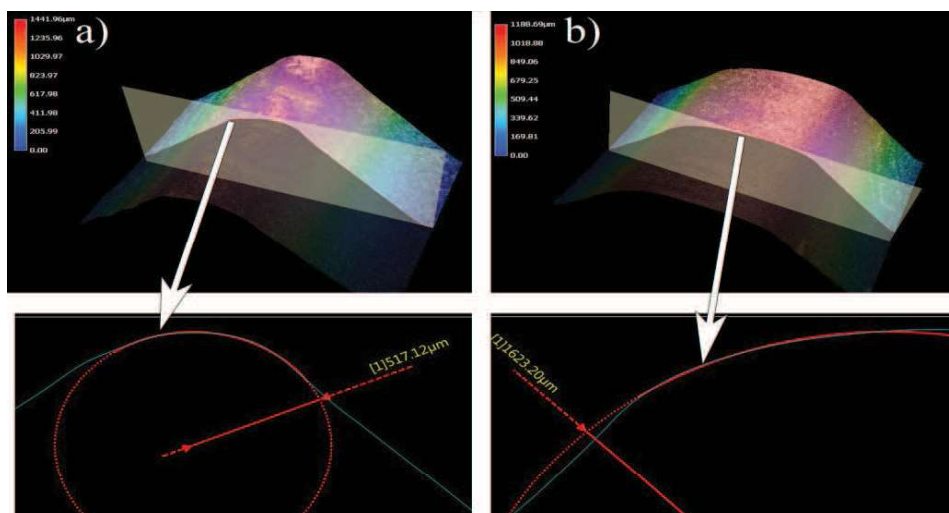
przedstawiono wartości zastosowanych paramentów. Zmieniao prędkość obwodową v_c , prędkość posuwu v_f oraz liczbę przejść. Natomiast na stałym poziomie (3 mm) utrzymano wartość dosuwu, który należy rozumieć jako głębokość zanurzenia włókien, mierzoną od powierzchni obrabianej do końców włókien swobodnie obracających się (niemających kontaktu z przedmiotem). Realizowano proces obróbki szczotkowaniem bez stosowania cieczy chłodząco-smarującej (na sucho).

Skuteczność usuwania zadziorów oraz kształtowania krawędzi przedmiotów uzależniona jest także od rodzaju zastosowanego narzędzia szczotkującego. W badaniach wykorzystano dwa rodzaje szczotek walcowych o średnicy \varnothing 120 mm z wypełnieniem drucianym stalowym o średnicy pojedynczego włókna 0,2 mm (oznaczenie S02) oraz 0,3 mm (oznaczenie S03). Zmiana średnicy pojedynczego włókna wpływa także na gęstość upakowania włókien na obwodzie szczotki.

Analizę stanu krawędzi po procesie szczotkowania wykonano za pomocą mikroskopu cyfrowego Keyence model VHX – 5000. Próbkę umieszczono w pryzmie ustawiono tak, by powierzchnie przystające do krawędzi znajdowały się pod kątem 45° względem światła obiektywu. Zastosowano powiększenie $\times 100$. Dla każdej krawędzi wykonano model 3D oraz wyznaczono płaszczyznę przekroju (rys. 1a) w kierunku prostopadłym do krawędzi próbki. Wykorzystując możliwości oprogramowania mikroskopu wyznaczono dodatkowe płaszczyzny przekroju (rys. 1b), a następnie wygenerowano profil uśredniony (rys. 1c) próbki z 24 przekrojów wykonanych na długości krawędzi pomiarowej w odstępach 100 μm od siebie. W profil uśredniony wpisano okrąg z użyciem funkcji «edge detection» – automatycznego dopasowania do krawędzi. Promień okręgu wpisanego stanowił promień zaokrąglenia krawędzi po szczotkowaniu.



Rys. 1. Metodyka pomiaru stanu krawędzi na mikroskopie cyfrowym Keyence – VHX-5000 (opis w tekście)
 Fig. 1. Methodology of edge states measurement on Keyence VHX-5000 digital microscope (description in the text)



Rys. 2. Stan krawędzi po obróbce szczotkowaniem ($v_f = 370$ mm/min, v_c 1266 m/min, liczba przejść 3): a) szczotka S02, b) szczotka S03

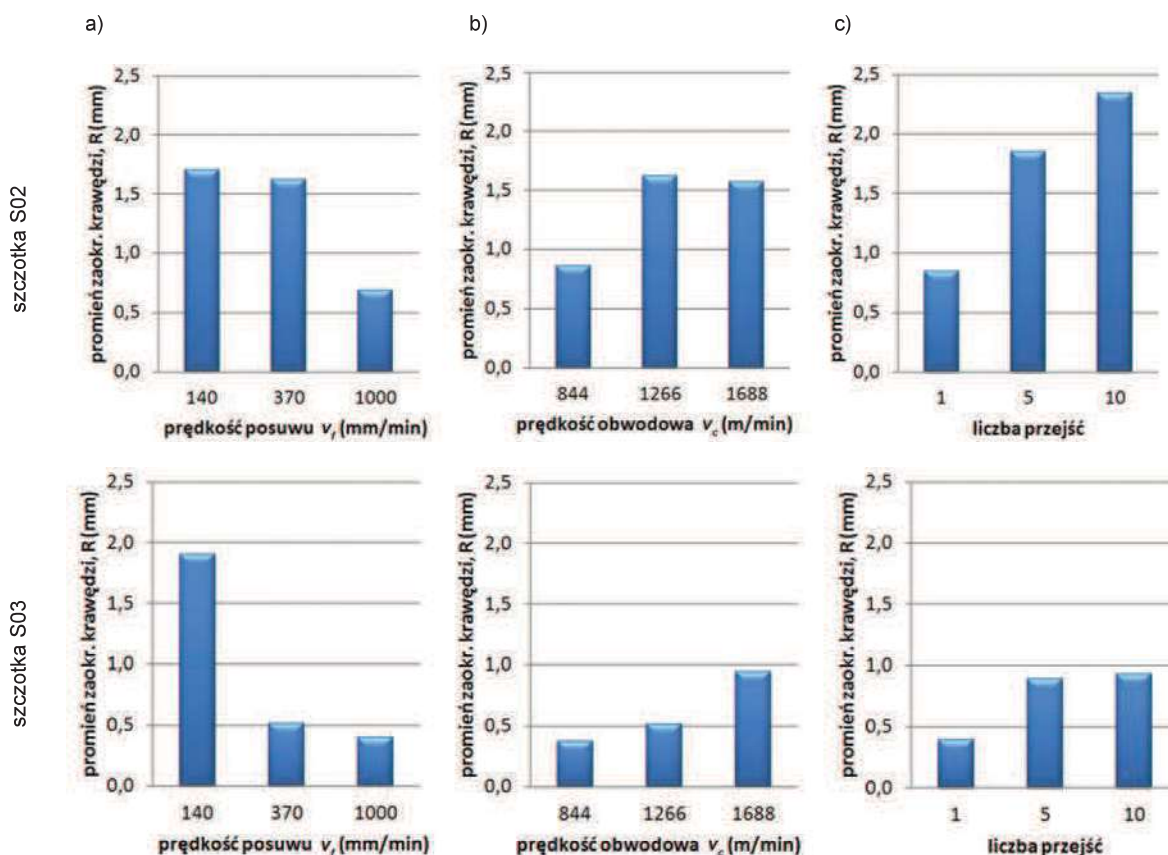
Fig. 2. Edge state after brushing ($v_f = 370$ mm/min, v_c 1266 m/min, the number of passes 3): a) S02 brush, b) t S03 brush

Wyniki badań stanu krawędzi

Po procesie szczotkowania ostre lub obarczone zadziornymi krawędziami, wytworzone podczas frezowania, uległy zaokrągleniu. Przykładowe porównanie stanu

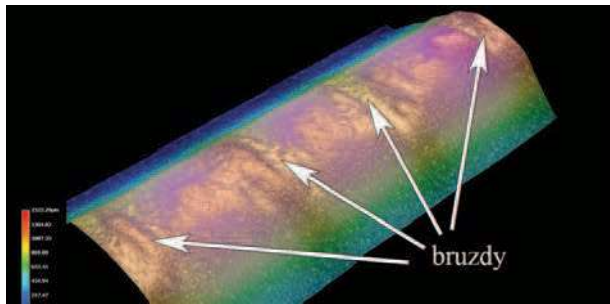
krawędzi dla dwóch szczotek po obróbce szczotkowaniem przedstawiono na rys. 2.

Na rys. 3 przedstawiono wpływ rodzaju zastosowanej szczotki na promień zaokrąglenia krawędzi. Wraz ze wzrostem prędkości posuwu zmniejszeniu ulegał promień



Rys. 3. Wpływ rodzaju szczotki na stan krawędzi podczas szczotkowania z zastosowaniem zmiennej: a) prędkości posuwu, b) prędkości obwodowej, c) liczby przejść

Fig. 3. Effect of brush type on edge state during brushing using the variable: a) feed rate, b) cutting speed, c) the number of passes



Rys. 3. Bruzdy widoczne po obróbce szczotką S02 z prędkością $v_c = 1688$ m/min

Fig. 3. The grooves visible after brushing with S02 brush and cutting speed $v_c = 1688$ m/min

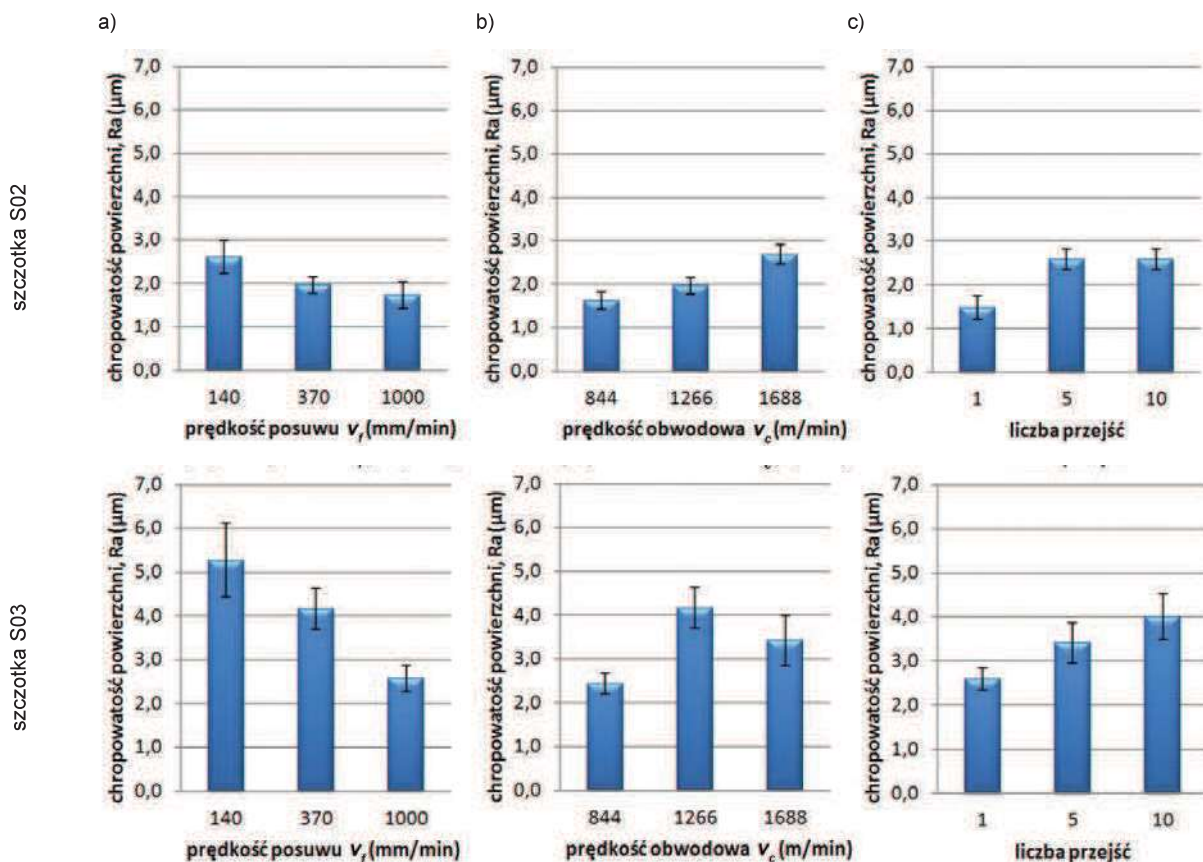
zaokrąglenia, co jest związane ze zmniejszonym czasem oddziaływania włókien szczotki na krawędzie przedmiotu obrabianego. Wzrost prędkości obwodowej powodował wzrost energii poszczególnych włókien i wzrost promienia zaokrąglenia krawędzi. Jednak w przypadku obróbki szczotką S02 przy prędkości obwodowej $v_c = 1688$ m/min zaobserwowano zahamowanie tej tendencji. Może to być spowodowane zużyciem na efekt bruzdowania części energii włókien, co przedstawiono na rys. 4.

Z kolei zgodnie z oczekiwaniem zwiększenie ilości przejść skutkowało wzrostem promienia zaokrąglenia.

Wyniki badań chropowatości powierzchni

Na rys. 4 przedstawiono wpływ rodzaju zastosowanej szczotki na chropowatość powierzchni. Ze wzrostem prędkości posuwu następował spadek chropowatości powierzchni. Natomiast wzrost prędkości obwodowej powodował wzrost wartości parametru R_a . Wyjątkiem jest prędkość $v_c = 1688$ m/min dla szczotki S03, co mogło być spowodowane umocnieniem warstwy wierzchniej pod działaniem sztywnych włókien szczotki S03 i większa «odporność» na odkształcenia plastyczne materiału obrabianego. Ze wzrostem liczby przejść chropowatość wzrastała.

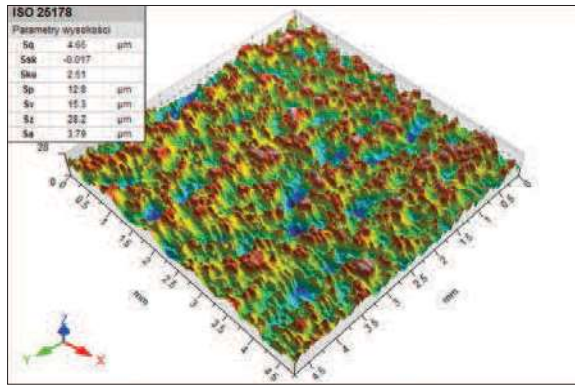
Porównując zastosowane narzędzia we wszystkich przypadkach uzyskano wyższe wartości parametru chropowatości R_a po obróbce szczotką S03 o średnicy pojedynczego włókna 0,3 mm. Na rys. 5 przedstawiono porównanie topografii powierzchni po obróbce dwiema szczotkami z zastosowaniem jednakowych parametrów obróbki.



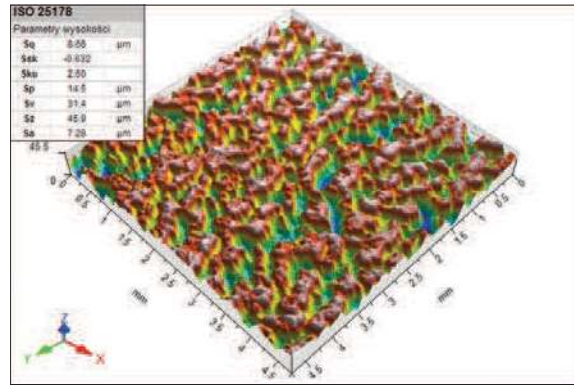
Rys. 4. Wpływ rodzaju szczotki na chropowatość powierzchni podczas szczotkowania z zastosowaniem zmiennej: a) prędkości posuwu, b) prędkości obwodowej, c) liczby przejść

Fig. 4. Effect of brush type on surface roughness during brushing using the variable a) feed rate, b) cutting speed, c) the number of passes

a)



b)



Rys. 5. Porównanie topografii powierzchni po obróbce szczotkowaniem ($v_f = 140$ mm/min, $v_c = 1266$ m/min, liczba przejść 3, dosuw 3mm): a) szczotka S02, b) szczotka S03

Fig. 5. Comparison of surface topography after brushing ($v_f = 140$ mm / min, $v_c = 1266$ m / min, the number of passes 3, feed-in 3 mm): a) the brush S02, b) the brush S03

Wnioski

W pracy badano stan krawędzi oraz chropowatości powierzchni po usunięciu zadziorów metodą szczotkowania próbek wykonanych ze stopu tytanu Ti6Al4V. Następujące wnioski podsumowują rezultaty przeprowadzonych badań:

- aplikacja szczotki na pionowym centrum obróbkowym daje możliwość skutecznego usuwania zadziorów powstałych po frezowaniu materiałów trudnoobrabialnych,
- w warunkach przeprowadzonych badań wzrost prędkości posuwu prowadzi do zmniejszenia promienia zaokrąglenia krawędzi oraz zmniejszenia wartości parametru R_a ,
- zwiększenie prędkości obwodowej v_c prowadzi do zwiększenia promienia zaokrąglenia i zwiększenia chropowatości powierzchni (dla najwyższych zastosowanych wartości prędkości w przypadku szczotki S02 zaobserwowano pojawienie się znacznych bruzd w obrębie szczotkowanej krawędzi, co spowodowało spadek promienia zaokrąglenia),
- analizując topografię powierzchni zaobserwowano bezkierunkową strukturę powierzchni dla wszystkich próbek po obróbce szczotkowaniem, co świadczy o zaszczotkowaniu śladów po obróbce frezowaniem,
- wraz ze wzrostem liczby przejść wzrasta promień zaokrąglenia krawędzi i chropowatość powierzchni.

LITERATURA

- Łunarski J., W. Szabajkiewicz. 1993. „Automatyzacja procesów technologicznych montażu maszyn”. Warszawa: WNT.
- Matuszak J., K. Zaleski. 2014. “Edge states after wire brushing of magnesium alloys”. *Aircraft Eng & Aerospace Tech.* 86 (4): 328–335.
- Matuszak, J., K. Zaleski. 2013. “Effect of brushing parameters upon edge states after wire brushing of AZ91 HP magnesium alloy”. *Advances in Science and Technology Research Journal* 7, 20.
- Zaleski K., J. Matuszak. 2013. „Badania porównawcze obróbki krawędzi przedmiotów ze stopu aluminium 7075 i stali C45 metodą szczotkowania”. *Techologia i Automatyzacja Montażu* (2): 35–39.

Dr inż. Jakub Matuszak – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: j.matuszak@pollub.pl

Dr hab. inż. Kazimierz Zaleski, prof. PL – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: k.zaleski@pollub.pl