

# Analiza struktury geometrycznej powierzchni po obróbce sekwencyjnej stopu aluminium

Analysis of geometric structure of the surface after sequential machining aluminum alloy

JANUSZ KALISZ  
KRZYSZTOF ŻAK \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.5-6.83  
Międzynarodowa Konferencja IMT 2016

W artykule przeprowadzono analizę powierzchni uzyskanych w procesie sekwencyjnej obróbki stopu aluminium o symbolu AlCu4MgSi (A), który był poddany operacji frezowania, a następnie nagniatania tocznego. Przeanalizowano parametry chropowatości 3D w aspekcie stanu i właściwości funkcjonalnych generowanych powierzchni.

**SŁOWA KLUCZOWE:** aluminium, frezowanie, nagniatanie toczne, chropowatość powierzchni

*This paper presents a sequential machining process which incorporates medium milling of AlCu4MgSi(A) aluminum alloy and subsequent finish by roller burnishing. A set of 3D surface roughness parameters was used to characterize the superficial effects of precision burnishing operations and their influence on the parts functionality.*

**KEYWORDS:** aluminium, milling, burnishing, surface roughness

W przemyśle duże znaczenie ma stosowana technologia obróbki, która wpływa na jego innowacyjność i dalszy rozwój. Aluminium i jego stopy są łatwo skrawalne w porównaniu ze stalą. Są również szeroko stosowane w przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym (mogą stanowić aż 65 do 81% całkowitego ciężaru samolotu pasażerskiego). Ze stopów aluminium wykonywane są elementy konstrukcji lotniczych, takie jak: dźwigary, uźebrowania, poszycia, łopatki kompresorów, tarcze wentylatorów (pracujące w temperaturach 200÷300 °C), wsporniki konstrukcji płatów samolotów nadźwiękowych. Odporne na korozję stopy aluminium wykorzystywane są na spawane zbiorniki, przewody doprowadzające paliwo i olej, śmigła oraz bębny do kół. Stopy aluminium mają również duże znaczenie w produkcji nitów do łączenia konstrukcji lotniczych; metoda ta nie jest nowoczesna, lecz nadal często stosowana [1].

Rosnącą popularnością cieszy się w przemyśle łączenie różnych sposobów obróbki (obróbka sekwencyjna). Taka obróbka umożliwia uzyskanie m.in. powierzchni o mniejszej chropowatości. W grupie obróbek sekwencyjnych znajduje się nagniatanie, powierzchniowa obróbka plastyczna, która nie tylko zmienia profil chropowatości powierzchni, ale również silnie oddziałuje na utwardzenie powierzchni, redystrybucję naprężeń oraz modyfikuje strukturę geometryczną powierzchni [2÷4].

## Charakterystyka badanego materiału oraz metodyka badań

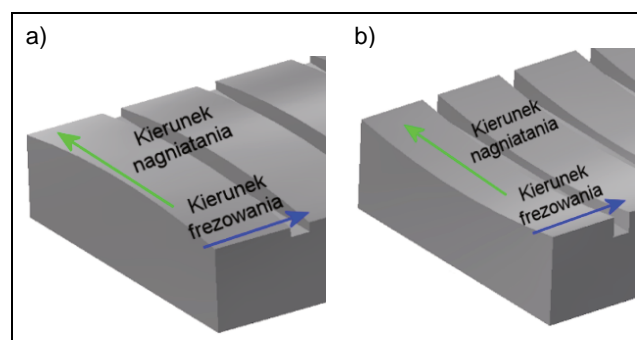
Badaniom poddany został stop aluminium EN AW-AlCu4MgSi(A) w stanie utwardzenia T451 z atestem hutni-

czym 3.1. Stop ten charakteryzuje się dobrymi własnościami wytrzymałościowymi: wysoką wytrzymałością na rozciąganie i wysoką wytrzymałością zmęczeniową. Jest średnio odporny na korozję, słabo spawalny. Stosowany jest do produkcji elementów konstrukcyjnych samolotów, części maszyn, sprzętu wojskowego, podzespołów dla przemysłu motoryzacyjnego. W niektórych przypadkach używany jest także do budowy form z uwagi na konieczną dobrą polerowalność aluminium używanego w tym celu. W tablicy przedstawiono właściwości badanego stopu.

**TABLICA. Właściwości stopu EN AW-AlCu4MgSi(A)**

R <sub>m</sub> , MPa	445
R <sub>p0,2</sub> , MPa	292
Wydłużenie A5, %	17
Twardość, HB	110
Gęstość, g/cm <sup>3</sup>	2,80

Badania przeprowadzono w dwóch etapach dla próbek krzywoliniowych wypukłych i wklęsłych (rys. 1). W pierwszym etapie próbki frezowano kształtując frezem kulistym (VHM) o średnicy 8 mm z następującymi parametrami skrawania:  $a_p = 0,5$  mm,  $f_{wf} = 0,53$  mm,  $f_z = 0,04$  mm/ostrze,  $v_c = 350$  m/min. Zabieg frezowania wykonywany był metodą wierszowania ze stałym odchyleniem frezu od normalnej do powierzchni o kąt  $\psi = 7,5^\circ$  w kierunku prostopadłym do osi Y z zachowaniem takich samych parametrów dla wszystkich pól.



Rys. 1. Widok próbek z zaznaczonymi kierunkami obróbki: a) próbka krzywoliniowa wypukła, b) próbka krzywoliniowa wklęsła

W drugim etapie przeprowadzono proces nagniatania nagniatakiem tocznym z elementem nagniatającym ceramicznym (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) w kształcie kulki o promieniu 4 mm, wykonanym w IZTW. Próby nagniatania przeprowadzono w kierunku prostopadłym do kierunku frezowania ze stałym dosunięciem  $U = 0,3$  mm (ugięciem sprężyny nagniataka po zetknięciu się jego elementu roboczego z powierzchnią obrabianą) i posuwem roboczym  $f_t = 8000$  mm/min. Wartości siły nacisku sprężystego wynosiły  $F_n = 25$  i  $F_n = 50$  N; wartość posuwu poprzecznego wynosiła  $f_{wn} = 0,04$  mm. W celu

\* Mgr inż. Janusz Kalisz (janusz.kalisz@ios.krakow.pl) – Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania; dr inż. Krzysztof Żak (k.zak@po.opole.pl) – Politechnika Opolska

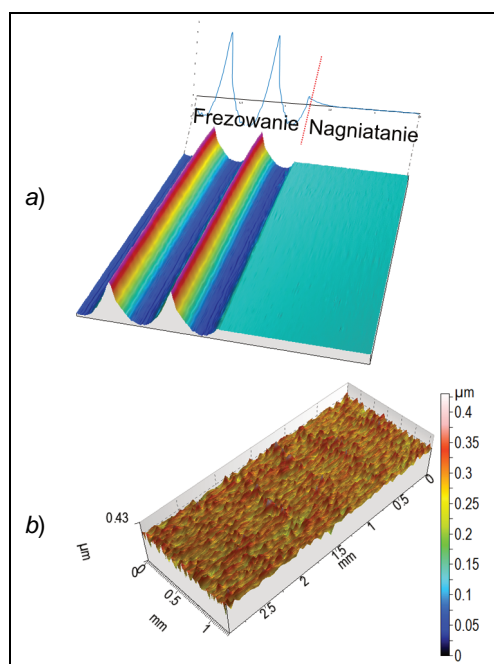
zmniejszenia tarcia i zwiększenia trwałości kulki ceramicznej, jako środka smarującego użyto oleju maszynowego.

Proces obróbki frezowaniem i nagniataniem przeprowadzono w jednym zamocowaniu na 5-osiowym centrum frezarskim typu DMC 75V Linea.

Pomiary topografii i chropowatości powierzchni przeprowadzono na profilometrze TOPO 01P wyposażonym w głowicę pomiarową o zakresie 1 mm, zakończoną końcówką diamentową o promieniu  $2 \pm 0,5 \mu\text{m}$ . Niezbędne obliczenia oraz wizualizację zeskanowanej topografii powierzchni prowadzono w programie Mountains Map v 6.2 firmy Digital Surf.

## Wyniki badań

Analizując otrzymane powierzchnie, można stwierdzić, że po frezowaniu, tak jak po toczeniu, otrzymuje się powierzchnie mające specyficzne cechy geometryczne o bardzo ostrych, regularnie rozmieszczonych profilach. Z drugiej strony nagniatanie zmienia powierzchnie (rys. 2b) w porównaniu z frezowaniem pod względem właściwości mechanicznych, zarówno na powierzchni, jak i w warstwie przypowierzchniowej. Ponadto stosowanie różnych sił docisku i posuwów w nagniataniu daje powierzchnie o różnej fakturze. Przykład złożonych powierzchni po frezowaniu i nagniataniu przedstawiono na rys. 2a.



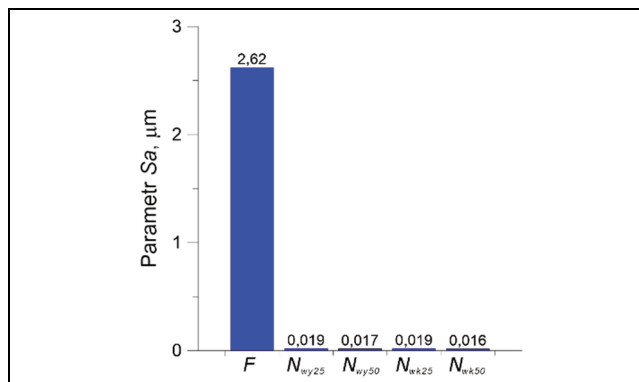
Rys. 2. Przykład stanu powierzchni: a) po frezowaniu i nagniataniu, b) po nagniataniu z siłą docisku  $F_n = 25 \text{ N}$  ( $N_{wy25}$ )

Na rys. 3 przedstawiono uzyskane wartości parametrów  $S_a$  dla pięciu przypadków obróbki. Po frezowaniu stopu aluminium uzyskano średnią wartość parametru chropowatości powierzchni  $S_a$  równą  $2,62 \mu\text{m}$  i taka została uznana za optymalną dla kolejnych operacji nagniatania.

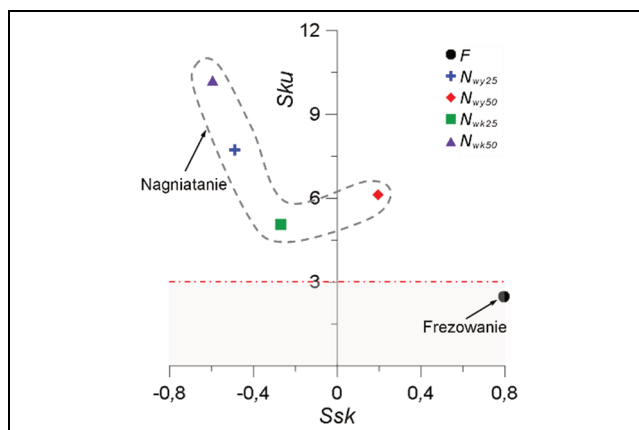
Można zauważyć, że pod wpływem siły docisku nagniatania  $F_n = 25 \text{ N}$  i  $50 \text{ N}$  oraz posuwu  $f_{wn} = 0,04 \text{ mm}$  wartość parametru  $S_a$  maleje z wartości  $S_a' = 2,62 \mu\text{m}$  (po frezowaniu) do wartości  $S_a = 0,016 \div 0,019 \mu\text{m}$  (po nagniataniu), a tym samym uzyskuje się bardzo duży współczynnik zmniejszenia chropowatości ( $K_{Sa} = S_a'/S_a$ ) od 137,9 do 163,8. Średnia wartość parametru  $S_z$  uzyskana po frezowaniu wynosi  $S_z = 12,64 \mu\text{m}$ , natomiast po nagniataniu tocznym parametr ten ulega znacznemu zmniejszeniu i zawiera się w przedziale od  $0,249 \mu\text{m}$  do  $0,401 \mu\text{m}$ .

Parametry  $S_{sk}$  (skośności) oraz  $S_{ku}$  (kurtozy) są parametrami szczególnie wrażliwymi na charakterystyczne dla powierzchni uzyskiwane wzniesienia i wgłębienia oraz poz-

walają na uzyskanie dokładniejszych informacji o kształcie powierzchni. Analizując rys. 4, można powiedzieć, że po nagniataniu dla analizowanych powierzchni oprócz powierzchni  $N_{wy50}$  otrzymuje się ujemne wartości parametru  $S_{sk}$ , świadczy to o dobrych właściwościach nośnych uzyskanych powierzchni oraz potwierdza zasadę, że wyższe ujemne wartości  $S_{sk}$  odpowiadają wartościom kurtozy większym od 3 ( $S_{ku} < 3$ ) [5].



Rys. 3. Porównanie parametru  $S_a$  po frezowaniu i nagniataniu.  $F$  – po frezowaniu;  $N_{wy25}$  – po nagniataniu powierzchni wypukłej z siłą  $25 \text{ N}$ ;  $N_{wy50}$  – po nagniataniu powierzchni wypukłej z siłą  $50 \text{ N}$ ;  $N_{wk25}$  – po nagniataniu powierzchni wklęsłej z siłą  $25 \text{ N}$ ;  $N_{wk50}$  – po nagniataniu powierzchni wklęsłej z siłą  $50 \text{ N}$



Rys. 4. Porównanie wartości parametrów związanych z rozkładem rzędnych dla powierzchni po frezowaniu i nagniataniu

## Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na możliwość uzyskania po sekwencyjnej obróbce stopu aluminium – obejmującej kształtujące frezowanie i wykończeniowe nagniatanie – powierzchni o bardzo małej chropowatości.

Stwierdzono, że po nagniataniu z siłą docisku  $F_n = 25 \text{ N}$  i  $50 \text{ N}$  oraz posuwem  $f_{wn} = 0,04 \text{ mm}$  otrzymuje się powierzchnie o dobrych cechach funkcjonalnych. Zaobserwowano również, że w wyniku nagniatania uzyskuje się powierzchnie o charakterze anizotropowym okresowym.

## LITERATURA

1. Sieniawski J. „Stopy aluminium stosowane w technice lotniczej”. *Mechanik*. R. 82, nr 7 (2009): s. 649÷654.
2. Przybylski W. „Technologia obróbki nagniataniem”. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 1987.
3. Przybylski W. „Zintegrowana obróbka toczeniem i nagniataniem”. *Mechanik*. R. 84, nr 12 (2011): s. 34÷35.
4. Kalisz J., Żak K., Grzesik W., Czechowski K. „Characteristics of surface topography after rolling burnishing of aluminum EN AW-AlCu4MgSi(A)”. *Journal of Machine Engineering*, Vol. 15, No. 1 (2015): pp. 71÷80.
5. Michigan Metrology. <http://www.michmet.com> (dostęp: 12.01.2016 r.)