

# Analiza morfologii powierzchni części wykonanych z lotniczych stopów tytanu w technologii SLM

Analysis of the surface morphology of the parts made from aircraft titanium alloys in SLM technology

DANIEL GROCHAŁA  
DARIUSZ GRZESIAK  
SARA DUDZIŃSKA  
EMILIA BACHTIAK-RADKA \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.369

Zużycie większości części mechanicznych rozpoczyna się na powierzchni. Świadome nadanie odpowiednich właściwości powierzchni i ukształtowanie wymaganego stanu struktury geometrycznej jest tym trudniejsze dla technologa, im dłuższy i bardziej skomplikowany jest proces technologiczny. W przemyśle lotniczym procesy technologiczne projektowane są ze szczególnym uwzględnieniem odpowiedzialności i bezpieczeństwa wyprodukowanego wyrobu. Przemysł lotniczy to na ogół produkcja jednostkowa i małoseryjna, gdzie ekonomiczne jest wstępne przygotowanie komponentu poprzez selektywne spiekanie proszku Ti-6Al-4V i jego wykończeniowa obróbka skrawaniem. Jednak mikroporowatość otrzymanego w ten sposób materiału uwidacznia się dopiero po skrawaniu. To właśnie mikroporowatość może być źródłem zużycia eksploatacyjnego prowadzącego do zniszczenia części. W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu technologicznych parametrów procesu selektywnego spiekania stopu Ti-6Al-4V na zmiany mikroporowatości, uwidaczniające się po obróbce skrawaniem w wartościach wybranych parametrów morfologii powierzchni.

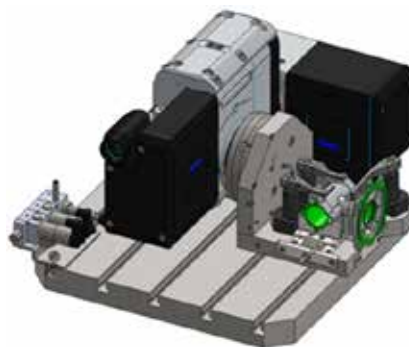
**SŁOWA KLUCZOWE:** morfologia powierzchni, stopy tytanu, technologia SLM

*Wear of most mechanical parts have the beginning on the surface. Knowingly giving the relevant properties of the surface and shape of the required state of geometric structure is more difficult for the technologist at the long and more complicated technological process. In the aerospace industry processes are designed with particular emphasis on accountability and ensuring the safety of the obligation of the manufactured product. The aviation industry is generally the short series production, where cost is the initial preparation of the component by selectively melting the powder of Ti-6Al-4V and finish machining. However, the micro porosity of the thus obtained material is visible after machining. It is the micro-porosity can be a source of wear and tear leading to the destruction of parts. The article presents the results of research on the impact of technological parameters of the process of selective sintering alloy Ti-6Al-4V changes micro porosity materialized after machining in the values of the selected parameters of surface morphology.*

**KEYWORDS:** surface morphology, titanium alloys, SLM technology

Koncentracja technologiczna obserwowana podczas wytwarzania na masową skalę w motoryzacji zaczęła obejmować coraz szerszy obszar technik wytwarzania. Nowoczesne obrabiarki CNC dawały dotychczas możliwość

łączenia w jednej operacji zabiegów technologicznych klasyfikowanych w jednej (ubytkowej) metodzie wytwarzania. Wieloosiowe centra obróbkowe dzięki swej elastyczności w zintegrowanych systemach wytwarzania bywają wykorzystywane jako autonomiczne moduły, gdzie przygotówki dzięki zastosowaniu specjalnego oprzyrządowania są obrabiane na gotowo w jednym zamocowaniu [1] (rys. 1).



Rys. 1. Obróbka sześciostonna w specjalnym uchwycie obróbkowym wydłużającym łańcuch kinematyczny centrum frezarskiego [1]

Od pewnego czasu obserwuje się integrację technologiczną różnych metod wytwarzania na zaawansowanych urządzeniach wytwórczych. Takie centra wytwórcze z rodziny LASERTEC ma w swej ofercie firma DMG MORI. Jednocześnie umożliwiają one kształtowanie wyrobów metodami przyrostowymi oraz dokładną obróbkę skrawaniem [2] (rys. 2).



Rys. 2. Wytwarzanie części na centrum DMG MORI LASERTEC; a) napawanie króćca, b) frezowanie wykończeniowe

Połączenie w jednym urządzeniu cech zarezerwowanych dotychczas dla maszyn do szybkiego prototypowania w metalu (SLM/SLS) z możliwością dokładnej wieloosiowej obróbki złożonych powierzchni przestrzennych jest efektywne zwłaszcza w produkcji mało- i średnioseryjnej. Zalety te uwidaczniają się szczególnie w branży lotniczej, gdzie wytwarzane części odznaczają się dużym stopniem skomplikowania geometrii oraz wysokimi wymaganiami dotyczącymi dokładności wymiarów i kształtu. Cena produkowanych części na tego typu maszynach może być

\* Dr inż. Daniel Grochała (daniel.grochala@zut.edu.pl), dr inż. Dariusz Grzesiak, mgr inż. Sara Dudzińska, mgr inż. Emilia Bachtia-Radka – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

konkurencyjna w stosunku do wysokiego kosztu produkcji z odlewów lub kosztu pracochłonnego skrawania z pełnego bloku materiału. Problemem jest porowatość powierzchni przedmiotów stalowych wykonanych w technologii SLM/SLS ujawniająca się po zdjęciu nadatków [3, 4]. Dotychczas w literaturze nie opisano efektów podobnych prac dotyczących obróbki spieków wykonanych ze stopów Ti6Al4V.

## Metodyka badań

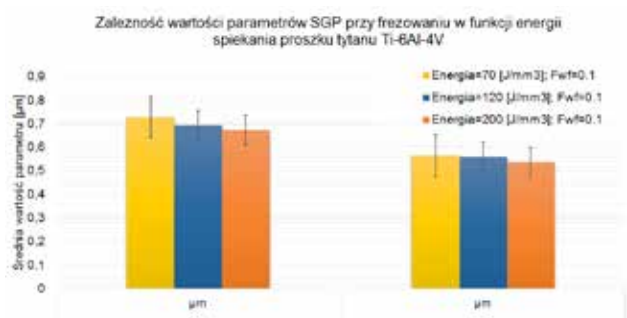
**Przygotowanie próbek do badań.** W Instytucie Technologii Mechanicznej ZUT w Szczecinie z proszku Ti6Al4V, za pomocą urządzenia SLM RELIZER II wykonano dziewięć prostokątnych próbek o wymiarach  $90 \times 15 \times 6$  mm (po trzy dla każdej objętościowej gęstości energii lasera: 70, 120 i 200 J/mm<sup>3</sup>). Próbki następnie frezowano na centrum obróbkowym MIKRON VCE 500 frezem kulistym MITSUBISHI SRFH10S12M z płytą skrawającą SRFT10 z węgla spiekane o średnicy  $D_1 = 10$  mm. Frezowanie prowadzono z prędkością skrawania  $v_c = 160$  mm/min, przy głębokości  $a_p = 1$  mm z różnymi wartościami posuwu poprzecznego (wierszowania)  $f_{wf}$  (odpowiednio 0,1; 0,3 i 0,5 mm).

**Metodyka pomiarów SGP.** Badania morfologii powierzchni prowadzono z wykorzystaniem multisensorycznej maszyny AltSurf A520 wyposażonej sensor konfokalny CL1 o zakresie pracy do 130  $\mu$ m i rozdzielczości pionowej 8 nm [5]. Metoda pomiarowa była zgodna z warunkami opisanymi w normie [6]. Eksperymentalnie ustalono obszar skanowania powierzchni  $2 \times 2$  mm. Z zarejestrowanej chmury punktów po odfiltrowaniu pików i wypoziomowaniu wyznaczono wartości stereometrycznych parametrów SGP zgodnie z normą [7]. Średnie wartości zarejestrowanych parametrów SGP 3D przedstawiono w tablicy.

**TABLICA. Średnie wartości wybranych parametrów SGP zarejestrowane w trakcie badań**

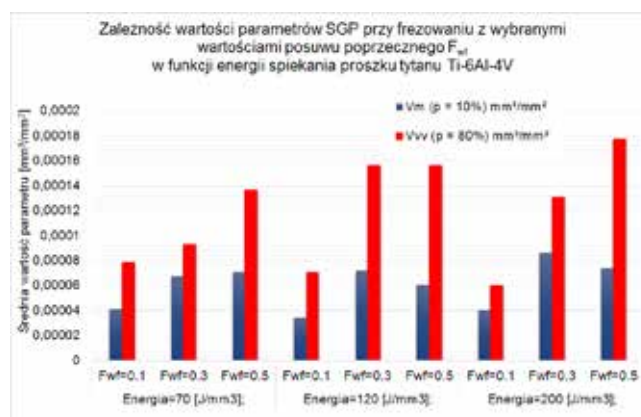
|                                     |              | Sq   | Sa   | Vm      | Vvv     | Sk   | Spk  | Svk  |
|-------------------------------------|--------------|------|------|---------|---------|------|------|------|
| Energia<br>70 [J/mm <sup>3</sup> ]  | $F_{wf}=0.1$ | 0,73 | 0,57 | 4,1E-05 | 7,8E-05 | 1,43 | 0,70 | 0,61 |
|                                     | $F_{wf}=0.3$ | 1,22 | 0,97 | 6,8E-05 | 9,3E-05 | 2,15 | 1,36 | 0,44 |
|                                     | $F_{wf}=0.5$ | 1,50 | 1,22 | 7,1E-05 | 1,4E-04 | 3,05 | 0,90 | 0,53 |
| Energia<br>120 [J/mm <sup>3</sup> ] | $F_{wf}=0.1$ | 0,69 | 0,56 | 3,4E-05 | 7,0E-05 | 1,20 | 0,56 | 0,35 |
|                                     | $F_{wf}=0.3$ | 1,58 | 1,27 | 7,2E-05 | 1,6E-04 | 3,38 | 1,75 | 0,47 |
|                                     | $F_{wf}=0.5$ | 1,64 | 1,34 | 6,0E-05 | 1,6E-04 | 3,80 | 0,72 | 0,54 |
| Energia<br>200 [J/mm <sup>3</sup> ] | $F_{wf}=0.1$ | 0,67 | 0,54 | 4,0E-05 | 6,0E-05 | 1,00 | 0,58 | 0,29 |
|                                     | $F_{wf}=0.3$ | 1,67 | 1,36 | 8,6E-05 | 1,3E-04 | 2,96 | 1,77 | 0,46 |
|                                     | $F_{wf}=0.5$ | 1,71 | 1,38 | 7,4E-05 | 1,8E-04 | 3,71 | 0,82 | 0,82 |

Otrzymane po frezowaniu wyniki średnich wartości wysokościowych parametrów powierzchni wraz z ich rozrzutem przedstawiono na rys. 3. Widoczne jest wyraźne obniżanie się ich wartości wraz ze zwiększaniem energii dostarczonej podczas spiekania proszku Ti6Al4V.



Rys. 3. Średnie wartości wybranych wysokościowych parametrów SGP 3D otrzymane podczas badań

Ciekawą zależność zaobserwowano, analizując wartości parametru  $V_{vv}$  (objętości pustej przestrzeni wgłębień powierzchni). Wartości tego parametru przy dokładnym frezowaniu maleją wraz ze zwiększaniem ilości energii podczas spiekania proszku tytanu. Natomiast przy frezowaniu zgrubnym wartości  $V_{vv}$  ulegały zwiększeniu (rys. 4). Przyczyn tego zjawiska należy upatrywać w mechanice procesu skrawania, gdzie w małych przekrojach materiał maże się (ugniatanie powierzchnią przyłożenia, duży promień krawędzi skrawającej). Ze wzrostem energii spiek Ti6Al4V zaczyna przypominać skrawalnością klasyczny tytan. Przy skrawaniu dużymi przekrojami dochodzi do wyrywania z powierzchni cząstek spieczonych ze sobą ziaren, w związku z czym mikropory powierzchni są tym większe, im większą energię włożono w przygotowanie materiału.



Rys. 4. Średnie wartości wybranych parametrów funkcyjnych (objętości) SGP 3D otrzymane podczas badań

## Podsumowanie i wnioski

Powierzchnie po frezowaniu spieku lotniczego stopu tytanu Ti6Al4V mogą się istotnie różnić w zależności od parametrów procesu SLM. Różnice wartości wysokościowych parametrów SGP 3D mogą sięgać 10%. Natomiast różnice wartości parametrów funkcyjnych sięgają nawet 25%. Zwiększanie ilości dostarczonej energii powoduje, że materiał w obróbce swym charakterem zaczyna przypominać „klasyczny” tytan Ti6Al4V, jednakże przy dokładnej wykończeniowej obróbce najlepsze efekty gładkościowe otrzymano przy zastosowaniu najniższej wartości objętościowej gęstości lasera.

## LITERATURA

- Abrahamowicz M., Grochała D. „O problemach w projektowaniu specjalnego oprzyrządowania technologicznego do obrabiarek wieloosiowych”. *Miesięcznik Naukowo Techniczny Przegląd Mechaniczny*. 5/2015, s. 40÷45.
- Katalog produktów DMG MORI. „Progress Through Innovation LASER-TEC Series”; dostęp on-line <http://pl.dmgmori.com>.
- Rombouts M., Kruth J.P., Froyen L., Merckel P., 2006. „Fundamentals of Selective Laser Melting of alloyed steel powders”. *CIRP Annals – Manuf. Technol.* Vol. 55 (1), pp. 187÷192
- Grzesiak D., Grochała D., Bachtak-Radka E. „Identyfikacja parametrów procesu selektywnego spiekania laserowego stopu Co-Cr na podstawie parametrów topografii powierzchni po frezowaniu”. *Mechanik*. 8÷9/2015, s. 701÷714/730, DOI 10.17814/mechanik.2015.8-9.483.
- Mathia T., Pawlus P., Wiciorowski M. „Recent trends in surfacemetrology”. 2011 *Wear* 271, pp. 494÷508.
- PN-EN ISO 25178-602:2010, Specyfikacje geometrii wyrobów. Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzena – Część 602. Charakterystyki nominalne przyrządów bezstykowych (z czujnikiem chromatycznym konfokalnym).
- ISO 25178-2, Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Areal — Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters.