

Obróbka przetłoczno-ścierna nadstopów niklu

Abrasive flow machining of nickel based super-alloys

RAFAŁ ŚWIERCZ
DOROTA ONISZCZUK-ŚWIERCZ*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.10.137>

English version available on: www.mechanik.media.pl

Obróbka przetłoczno-ścierna jest jedną z niekonwencjonalnych metod wykończeniowych powierzchni. Materiał usuwany jest w wyniku przepychania pomiędzy obrabianymi powierzchniami pasty ścierniej na osnowie z lepkosprężystego polimeru. Zastosowanie elastycznego narzędzia pozwala na wykańczanie powierzchni o złożonej geometrii. W artykule przedstawiono wyniki badań doświadczalnych obróbki przetłoczno-ścierniej nadstopów na bazie niklu. Próbkę wstępnie obrobiono elektroerozyjnie, a następnie poddano obróbce wykończeniowej. Wyniki badań wskazują na możliwość istotnego polepszenia właściwości warstwy wierzchniej powierzchni obrobionych elektroerozyjnie przez zmniejszenie chropowatości powierzchni materiału.

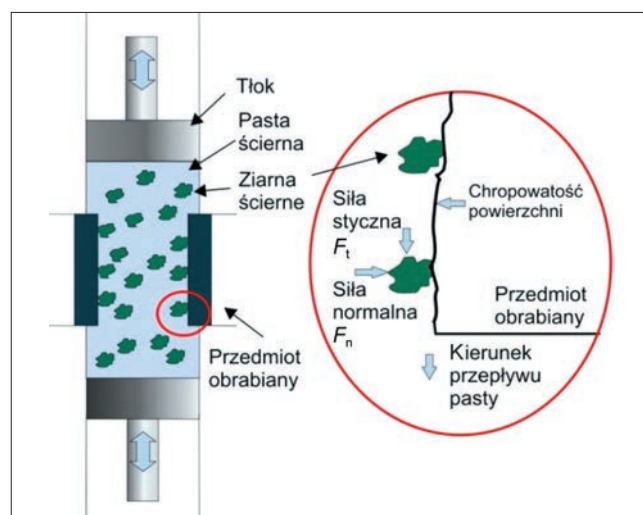
SŁOWA KLUCZOWE: obróbka przetłoczno-ścierna, chropowatość powierzchni, Inconel

Abrasive flow machining (AFM) is one of the unconventional methods of finishing surface. The material is removed by the flow of pressurized abrasive paste between the machined surfaces. The use of a flexible tool allows for finishing surfaces with complex geometry. The article presents results of experimental investigation on finishing surface topography of nickel-based super-alloys. Samples were pre-treated by electro discharge machining. The results of the study indicate the possibility of significant reduction of surface roughness after EDM with AFM finishing.

KEYWORDS: abrasive flow machining (AFM), surface roughness, Inconel

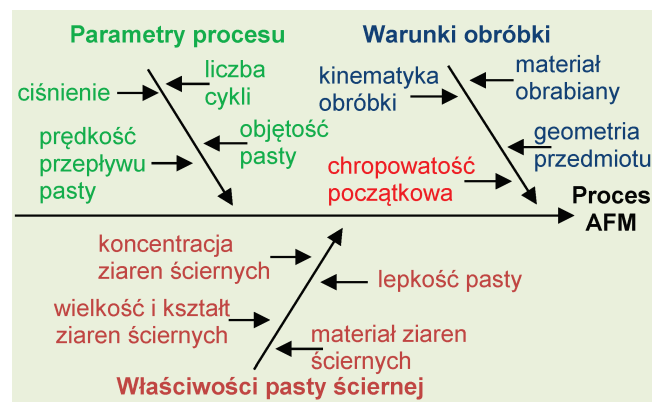
W ostatnich latach w wielu gałęziach przemysłu (m.in. w przemyśle energetycznym, lotniczym czy kosmicznym) znacząco wzrosło zastosowanie stopów wysokotemperaturowych, zwanych nadstopami lub superstopami. W tej grupie materiałów znajdują się stopy żarowytrzymałe na osnowie z niklu, które nawet w wysokiej temperaturze zachowują swe właściwości wytrzymałościowe. Obróbka tych superstopów w wielu przypadkach wymaga zastosowania technologii elektroerozyjnych – drażenia i wycinania. Takie procesy polegają na kształtowaniu geometrii obrabianej części w wyniku wyładowań elektrycznych zachodzących pomiędzy elektrodami. Zjawiska fizyczne zderzeniowe wyładowań elektrycznych oddziałują cieplnie, mechanicznie i chemicznie na obrabiane przedmioty. Oddziaływanie strumienia ciepła powoduje lokalne topnienie i odparowanie materiału. Generowane ciepło prowadzi do lokalnych przemian fazowych, przez co zmienia się mikrostruktura materiału, a w warstwie przy powierzchni mogą się pojawiać naprężenia rozciągające, których skutkiem są mikropęknięcia [10, 12]. Ze względu na niekorzystne właściwości warstwy wierzchniej części obrobionych elektroerozyjnie konieczne jest zastosowanie dodatkowej obróbki wykończeniowej, zapewniającej nada-

nie powierzchni pożądanymi właściwościami. Powszechnie stosowane rodzaje obróbki wykończeniowej – np. szlifowanie, docieranie, polerowanie czy obróbka pojemnikowa – są nieefektywne w przypadku trudno dostępnych miejsc części złożonych geometrycznie, co wynika z kinematyki tych procesów oraz z geometrii używanych narzędzi [5–8, 11]. Obróbka przetłoczno-ścierna – AFM (*abrasive flow machining*) – jest jedną z metod wykańczania powierzchni, polegającą na usuwaniu materiału w wyniku cyklicznego przetłaczania – 1- lub 2-kierunkowo – pasty ścierniej (rys. 1).



Rys. 1. Schemat 2-kierunkowego przetłaczania pasty ścierniej

Zastosowanie elastycznego narzędzia na osnowie z lepkosprężystego polimeru typu poliborisiloxan umożliwia obróbkę elementów o złożonych kształtach, w tym trudno dostępnych miejsc. Te możliwości predestynują obróbkę przetłoczno-ścierną do wykańczania powierzchni po obróbce elektroerozyjnej. Efekty obróbki zależą od wielu czynników determinujących warunki i parametry procesu (rys. 2) [1–4, 9, 13].



Rys. 2. Czynniki determinujące proces AFM

* Dr inż. Rafał Świercz (rsw@meil.pw.edu.pl), dr inż. Dorota Oniszczyk-Świercz (doo@meil.pw.edu.pl) – Instytut Techniki Wytwarzania, Wydział Inżynierii Produkcji Politechniki Warszawskiej

Cel badań

Celem badań było wyznaczenie wpływu obróbki przetłoczno-ścierniej na cechy topografii powierzchni po obróbce elektroerozyjnej Inconelu 718. Właściwości topografii powierzchni w istotny sposób wpływają na własności funkcjonalne obrobionych przedmiotów, m.in. na procesy tarcia pomiędzy współpracującymi elementami oraz na ich zużywanie się, a także na odkształcenia i wytrzymałość stykową.

W warunkach przemysłowych proces obróbki elektroerozyjnej jest dzielony na kilka etapów – od obróbki zgrubnej przez kolejne zmniejszanie parametrów energetycznych wyładowań w końcowym etapie obróbki. Wydajność procesu gwałtownie spada dla parametrów odpowiadających obróbce wykończeniowej (usunięcie nadkładu 0,2 mm może trwać nawet 2 godziny). W celu określenia możliwości skrócenia procesu obróbki erozyjnej przeanalizowano zastosowanie obróbki wykończeniowej AFM zarówno w przypadku powierzchni po obróbce zgrubnej, jak i po obróbce wykończeniowej EDM.

Badania doświadczalne

W badaniach doświadczalnych dotyczących obróbki AFM wykorzystano próbki z Inconelu 718, wstępnie obrobione elektroerozyjnie drążeniem wgłębnym z parametrami odpowiadającymi obróbce zgrubnej (natężenie prądu $I = 8$ A, napięcie wyładowania $U = 50$ V, czas impulsu $t_{on} = 75$ μ s, czas przerwy $t_{off} = 50$ μ s) oraz wykończeniowej ($I = 1,7$ A, $U = 50$ V, $t_{on} = 75$ μ s, $t_{off} = 50$ μ s). Badania prowadzono w następujących warunkach:

- obróbka 2-kierunkowa,
- pasta ścierna z ziarnami SiC o numerze 80,
- liczba przetłoczeń $n = 25$,
- szerokość szczeliny $s = 0,5$ mm,
- ciśnienie przetłaczania w siłowniku 7 MPa.

Podczas badań rejestrowano zmianę ciśnienia w komorze siłownika oraz zmianę temperatury pasty ścierniej.

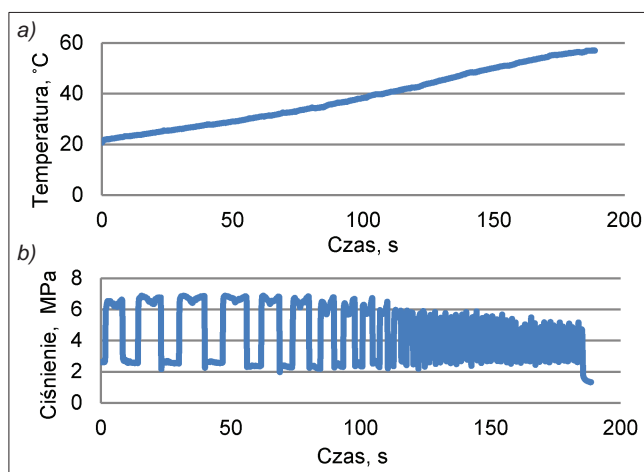
Wyniki badań

Głównymi parametrami decydującymi o procesie mikroskrawania, który wpływa na chropowatość powierzchni i wydajność usuwania materiału, są siły oddziaływania na ziarna ściernie, wynikające z dławienia przepływu pasty ścierniej wzdłuż obrabianej powierzchni. Wzrost liczby cykli przetłaczania powoduje uzyskanie mniejszej chropowatości, przy czym zależność ta nie jest liniowa. Wynika to ze wzrostu temperatury pasty ścierniej w trakcie przetłaczania (rys. 3a), co prowadzi do zmiany lepkości pasty ścierniej i spadku ciśnienia przetłaczania (rys. 3b).

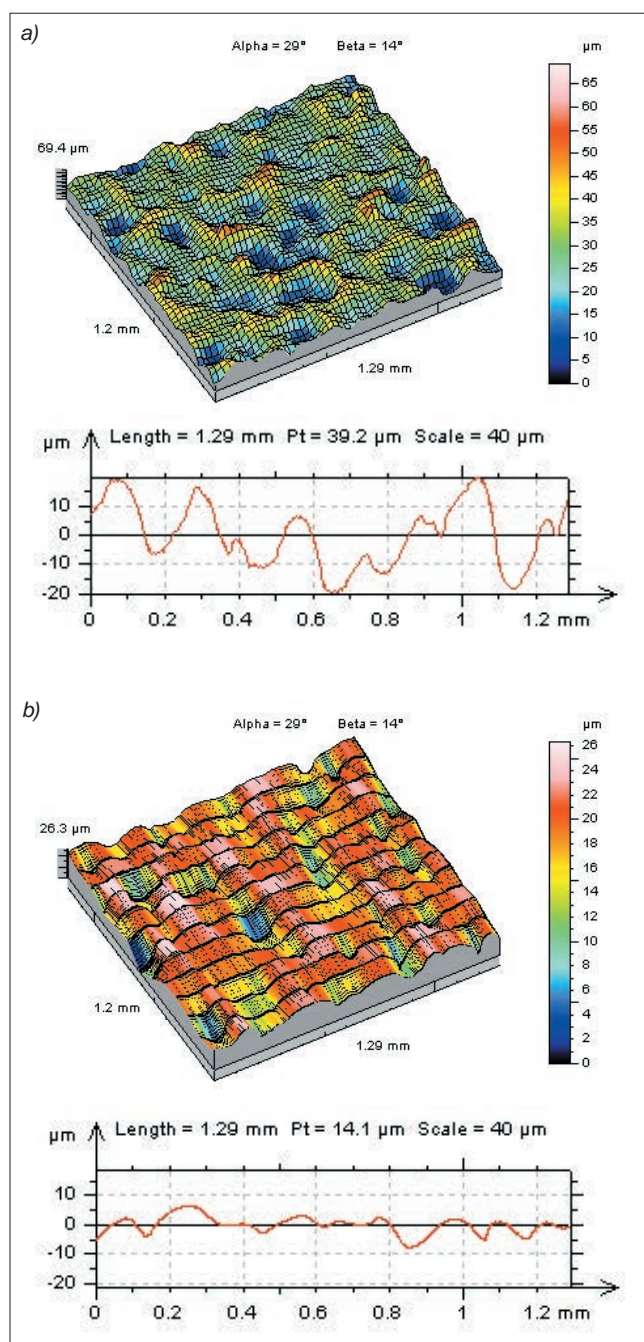
Badania struktury geometrycznej powierzchni (SGP) prowadzono na profilometrze skanującym FORMTALY-SURF Series 2 Taylor Hobson. Na rys. 4 i 5 przedstawiono obrazy stereometryczne powierzchni oraz profilografy dotyczące próbek po obróbce EDM i po obróbce EDM+AFM.

Topografia powierzchni po obróbce elektroerozyjnej powstaje w wyniku nakładania się śladów pojedynczych wyładowań elektrycznych i ma punktowy, izotropowy charakter. Obróbka wykończeniowa AFM wprowadza istotne zmiany w budowie analizowanych stereometrii.

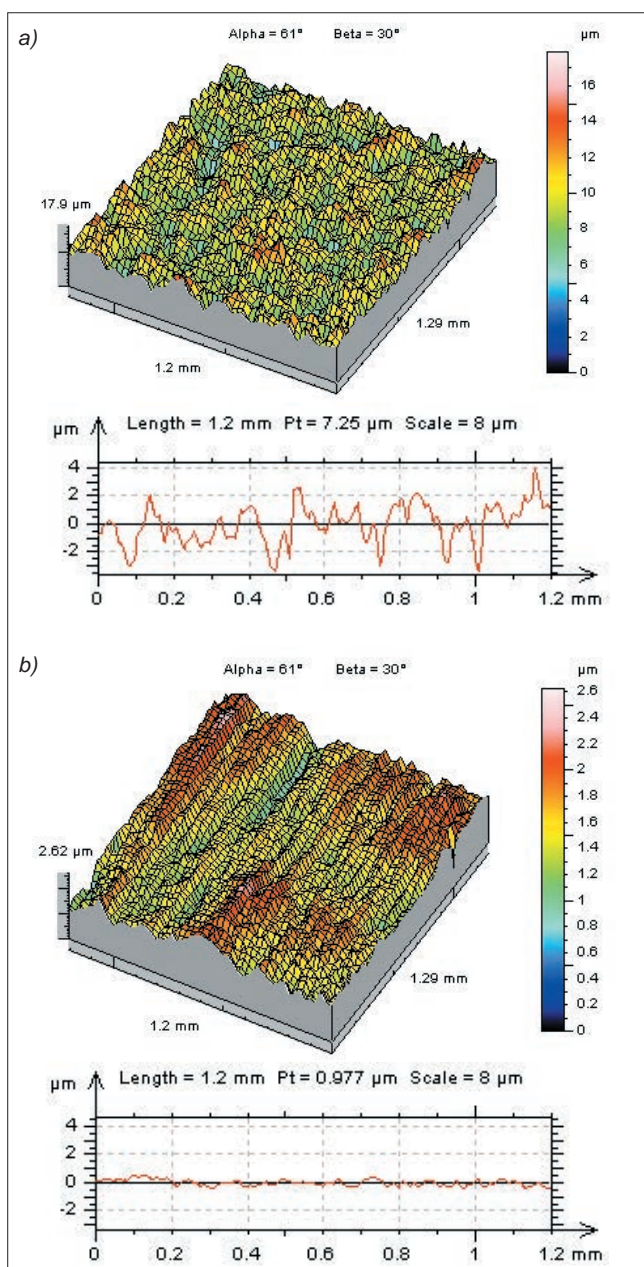
Średnie arytmetyczne odchylenie profilu chropowatości S_a dla próbki 1 po obróbce zgrubnej EDM (rys. 4a) wynosi 7,3 μ m, a średnie kwadratowe odchylenie profilu chropowatości powierzchni $S_q = 9,21$ μ m.



Rys. 3. Zmiany temperatury (a) i ciśnienia (b) w trakcie procesu przetłaczania



Rys. 4. Obrazy stereometryczne powierzchni wraz z profilografami dla: a) obróbki EDM zgrubnej, b) obróbki EDM wykończeniowej + AFM



Rys. 5. Obrazy stereometryczne powierzchni wraz z profilografami dla: a) obróbki EDM wykończeniowej, b) obróbki EDM wykończeniowej + AFM

Różnica pomiędzy parametrami $St = 69,4 \mu\text{m}$ (wysokością nierówności pomiędzy najwyższym a najniższym punktem) oraz $Sz = 56,7 \mu\text{m}$ (dziesięciopunktową nierównością powierzchni) wynosi ponad $10 \mu\text{m}$, co świadczy o występowaniu pojedynczych kraterów o znacznie większej głębokości. Gęstość powierzchniowa miejscowych wzniesień wynosi $Sds = 603 \text{ pks/mm}^2$. Dla próbki po obróbce EDM + AFM (rys. 4b) zaobserwowano istotne różnice wartości poszczególnych parametrów w stosunku do obróbki EDM. Parametry 3D wysokościowe – $Sa = 2,76 \mu\text{m}$ i $Sq = 3,64 \mu\text{m}$ – są ok. 2,5-krotnie mniejsze. Nastąpiła zmiana gęstości powierzchniowej miejscowych wzniesień ($Sds = 1324 \text{ pks/mm}^2$), a różnica pomiędzy wartościami parametrów St ($26 \mu\text{m}$) i Sz ($26,3 \mu\text{m}$) jest niewielka. Świadczy to o równomierności obróbki pastą ścierną całej powierzchni i redukcji wysokości poszczególnych wierzchołków nierówności.

Średnie arytmetyczne odchylenie profilu chropowatości Sa dla próbki 2 po obróbce EDM wykończeniowej (rys. 5a) wynosi $1,31 \mu\text{m}$, a $Sq = 1,64 \mu\text{m}$. Różnica po-

między parametrami $St = 17,9 \mu\text{m}$ i $Sz = 16 \mu\text{m}$ jest niewielka, a gęstość powierzchniowa miejscowych wzniesień wynosi $Sds = 2129 \text{ pks/mm}^2$, co wskazuje na występowanie na całej powierzchni dużej liczby równomiernych kraterów. Dla próbki po obróbce EDM wykończeniowej + AFM (rys. 5b) zaobserwowano istotną zmianę w budowie topografii. Parametry $Sa = 0,21 \mu\text{m}$ i $Sq = 0,27 \mu\text{m}$ są ok. 6-krotnie mniejsze. Parametr Sds wynosi 4767 pks/mm^2 . Gęstość powierzchniowa wierzchołków nierówności jest ponad 2-krotnie większa w stosunku do obróbki EDM. Wartości parametrów $St = 2,62 \mu\text{m}$ i $Sz = 1,94 \mu\text{m}$ wskazują na występowanie pojedynczych żłobień o różnej głębokości. Topografia obrobionych powierzchni charakteryzuje się zmianą struktury z izotropowej na kierunkową.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania doświadczalne potwierdziły, że zastosowanie obróbki przetłoczno-ścierniej pozwala na kilkukrotne zmniejszenie wysokościowych parametrów chropowatości powierzchni Inconelu 718 po obróbce EDM, a uzyskane końcowe cechy stereometrii są uzależnione od wyjściowej chropowatości próbek.

Istotna z punktu widzenia projektowania procesów technologii obróbki elektroerozyjnej jest możliwość szybkiej i wyraźnej poprawy cech stereometrycznych powierzchni części obrobionych z parametrami odpowiadających zgrubnej obróbce EDM. Może to wpłynąć na redukcję dodatkowych przejść wykończeniowych i tym samym – na skrócenie czasu wytwarzania.

Uniwersalność narzędzia dopasowującego się do obrabianej geometrii w obróbce przetłoczno-ścierniej decyduje o dużym potencjale tej technologii w przypadku jej zastosowania jako obróbki wykończeniowej po obróbce elektroerozyjnej.

LITERATURA

1. Bähre D., Brünnel H., Swat M. "Investigation of one way abrasive flow machining and in-process measurement of axial forces". *Procedia CIRP*. 1 (2012): s. 419–424.
2. Bremerstein T. et al. "Wear of abrasive media and its effect on abrasive flow machining results". *Wear*. 342–343 (2015): s. 44–51.
3. Dąbrowski L., Świercz R., Oniszcuk-Świercz D. "Mikroobrobka wykończeniowa – obróbka przetłoczno-ścierna". *Mechanik*. 8–9 (2016): s. 1132–1133.
4. Gudipadu V. et al. "Simulation of media behaviour in vibration assisted abrasive flow machining". *Simulation Modelling Practice and Theory*. 51 (2015): s. 1–13.
5. Kacalak W., Tendecka K. "Analiza procesów mikrowygładzania stopów niklowo-chromowych z wykorzystaniem wyników badań topografii powierzchni i cech powstających mikrowiórów". *Mechanik*. 8–9 (2016): s. 1172–1173.
6. Kacalak W., Rypina Ł., Tandecka T., Balasz B. "Modelowanie w środowisku Ansys procesów mikroskrawania materiałów o różnych właściwościach". *Mechanik*. 8–9 (2016): s. 134–136.
7. Kacalak W., Szafraniec F., Budniak Z. "Podstawy doboru parametrów szlifowania z uwzględnieniem liczby ziaren kształtujących określony fragment powierzchni". *Mechanik*. 8–9 (2016): s. 1182–1183.
8. Burek J., Babiarz R., Sałata M., Płodzień M. "Wpływ siły szlifowania na odkształcenia sprężyste długich frezów pełnowęglkowych". *Mechanik*. 8–9 (2015): s. 709/55–58.
9. Kenda J., Pusavec F., Kermouche G. "Surface integrity in abrasive flow machining of hardened tool steel AISI D2". *Procedia Engineering*. 19 (2011): s. 172–177.
10. Oniszcuk-Świercz D., Dąbrowski L., Świercz R., Marczak M. "Konstytuowanie warstwy wierzchniej Inconelu 718 po wycinaniu elektroerozyjnym". *Mechanik*. 4 (2015): s. 71–74.
11. Spadło S., Bańkowski D. "Badanie wpływu geometrii przedmiotów obrabianych na efekty obróbki luźnym ścierniwem". *Mechanik*. 8–9 (2016): s. 1156–1157.
12. Świercz R., Oniszcuk-Świercz D. "Wpływ parametrów obróbki elektroerozyjnej na właściwości użytkowe stali o wysokiej przewodności cieplnej". *Mechanik*. 1 (2015): s. 29–34.
13. Uhlmann E., Mihotovic V., Roßkamp S., Dethlefs A. "A pragmatic modeling approach in Abrasive Flow Machining for complex-shaped automotive components". *Procedia CIRP*. 46 (2016): s. 51–54.