

Wpływ dosuwu elektrody w wykończeniowej obróbce WEDM na parametry jakościowe zamka wirnika

The influence of electrode infeed in finishing wire electrical discharge machining process on disks fir tree slot accuracy

JAN BUREK
ROBERT BABIARZ
MARCIN PŁODZIEN
JAROSŁAW BUK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.10.161>

Przedstawiono wpływ dosuwu elektrody w wykończeniowej obróbce WEDM (*wire electrical discharge machining*) zamków tarczy wirnika, wykonanego ze stopu Inconel 718, na dokładność kształtu oraz chropowatość powierzchni.

SŁOWA KLUCZOWE: WEDM, odchyłka kształtu, chropowatość powierzchni, zamek łopatkowy

The article presents the effect of electrode infeed in finishing machining of disk fir tree slots made of Inconel 718 alloy on shape accuracy and surface roughness in WEDM (wire electrical discharge machining).

KEYWORDS: WEDM, profile deviation, surface roughness, fir tree slot

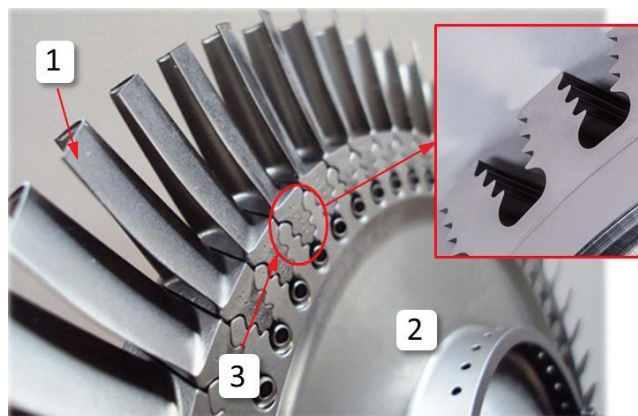
Powszechnie stosowaną metodą wykonywania zamków w tarczach wirników jest przeciąganie. Ze względu na wysokie koszty narzędzi i obrabiarek, długi czas projektowania i wykonania narzędzi, a następnie konieczność ich ostrzenia i ponownego zabezpieczania powłokami ochronnymi ciągle poszukuje się alternatywnych metod obróbki zamków w tarczach [1–4]. Jedną z tych metod jest obróbka elektroerozyjna WEDM. Jej użyteczność w przypadku produkcji odpowiedzialnych części maszyn jest obecnie tematem wielu prac badawczych. Metoda ta pozwala na znaczne obniżenie kosztów wytwarzania i zwiększenie elastyczności produkcji dzięki zastosowaniu uniwersalnego narzędzia, jakim jest cienki drut, oraz prostych w programowaniu obrabiarek [2–5].

Dokładność obróbki WEDM w dużej mierze zależy od drgań i ugięcia elektrody, wywołanych siłami towarzyszącymi procesowi erozji. Redukcję wpływu tych sił na dokładność kształtu można uzyskać w dodatkowych, wykończeniowych przejściach obróbkowych elektrody drutowej [2, 6–8].

Celem niniejszych badań było określenie wpływu dosuwu elektrody na dokładność kształtu i chropowatość powierzchni w wykończeniowej obróbce zamka łopatkowego wykonanego ze stopu Inconel 718.

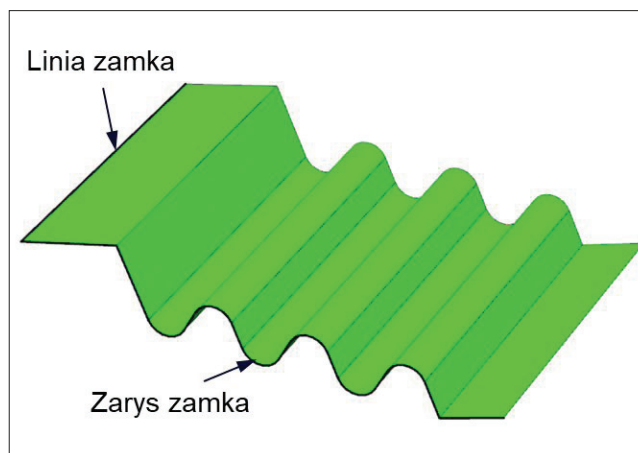
Obróbka WEDM zamków tarczy nośnej wirnika

Wirnik turbiny składa się z łopatek oraz tarczy nośnej (rys. 1). Łopatki są zamocowane w tarczy za pomocą zamków wielotrapezowych. Typowe zamki mają od dwóch do siedmiu występów, natomiast w zastosowaniach lotniczych – zwykle dwie lub trzy pary.



Rys. 1. Wirnik turbiny: 1 – łopátka, 2 – tarcza nośna wirnika, 3 – zamek wielotrapezowy [9, 10]

Powierzchnia zamków wielotrapezowych (rys. 2) najczęściej jest powierzchnią prostokreślną, co pozwala na przeprowadzenie jej obróbki metodą wycinania elektroerozyjnego. Pierwsza linia charakterystyczna jest zarysem zamka, natomiast druga – linią zamka. Wymagania dotyczące dokładności obróbki odnoszą się zarówno do zarysu, jak i linii zamka.



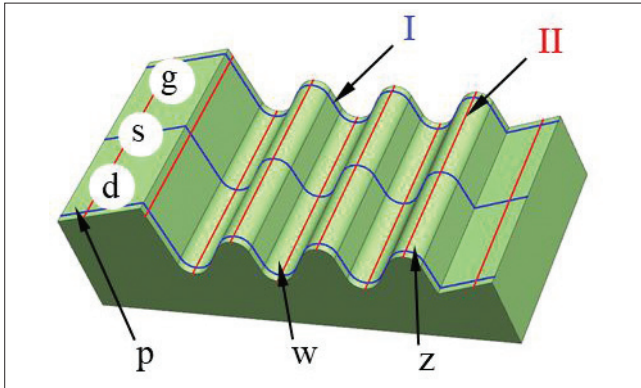
Rys. 2. Zarys i linia zamka wielotrapezowego

W obróbce WEDM występują cztery rodzaje sił oddziałujących na elektrodę, które powodują jej drgania i ugięcie, a w konsekwencji – błędy obróbki. Są to siły: od wyładowań (*discharge reaction forces*), elektrostatyczna, hydrodynamiczna i elektromagnetyczna [2, 6, 8]. Podczas wyładowania działają dwie siły: siła pochodząca od wyładowań oraz siła elektrodynamiczna. Siła elektrostatyczna występuje w przerwie między wyładowaniami, natomiast siła hydrodynamiczna występuje ciągle.

* Dr hab. inż. Jan Burek, prof. PRz (jburek@prz.edu.pl), dr inż. Robert Babiarz (robertb@prz.edu.pl), dr inż. Marcin Płodzien (plodzien@prz.edu.pl), mgr inż. Jarosław Buk (jbuk@prz.edu.pl) – Katedra Techniki Wytwarzania i Automatykacji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej

Warunki badań

Narzędzie stanowiła elektroda w postaci drutu mosiężnego o średnicy $\varnothing 0,25$ mm. Próbki wykonano w formie jednej strony profilu zamka wielotrapezowego (rys. 3). Szerokość zamka (wysokość przedmiotu obrabianego) wynosiła 30 mm.



Rys. 3. Zamek tarczy z oznaczoną siatką pomiarową (części próbki: d – dolna, s – środkowa, g – górna, p – powierzchnia płaska, w – promień wewnętrzny, z – promień zewnętrzny, I – ścieżka pomiarowa zarysu zamka, II – ścieżka pomiarowa linii zamka)

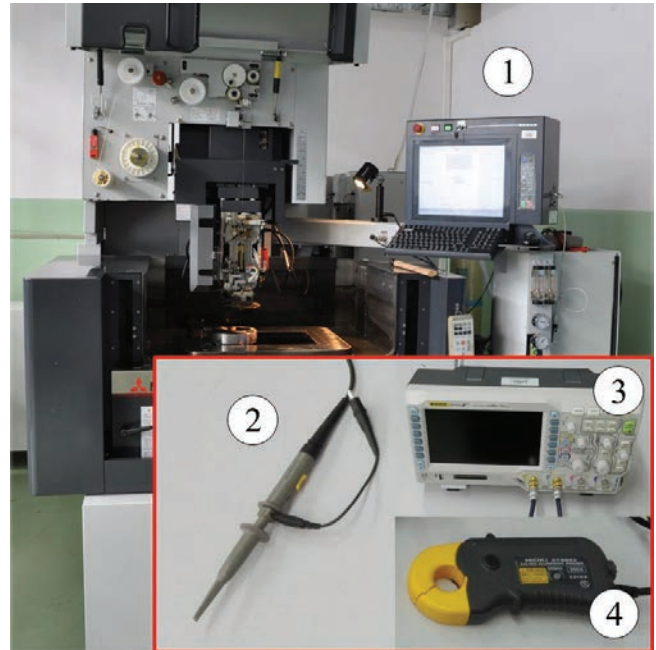
Pomiary odchyłek zarysu Δk i linii zamka Δp wykonano na konturografie Mahr XC20. Kolorem niebieskim oznaczono tory pomiarowe odchyłek zarysu zamka. Wyznaczono trzy ścieżki w równych odległościach na całej szerokości zamka: w dolnej części (d), w połowie wysokości (s) oraz w części górnej (g). Odchyłki linii zamka mierzono równoległe do kierunku przewijania elektrody. Tory pomiarowe oznaczono kolorem czerwonym. Na kierunku przewijania elektrody dokonywano pomiaru na powierzchniach prostych (p), promieniach zewnętrznych (z) i wewnętrznych (w). Uzyskane profile porównywano z profilem nominalnym wygenerowanym z modelu CAD. Pomiar odchyłek zarysu i linii zamka wykonywano pięciokrotnie dla każdej ścieżki pomiarowej.

Próbki wykonano w dostarczonej przez producenta technologii dla grupy materiałów stalowych [11]. W pierwszym przejściu przeprowadzono obróbkę zgrubną, a następnie wykonano jedno przejście wykończeniowe z zastosowaniem zmiennej wartości parametru dosuwu $z = 5 \div 60 \mu\text{m}$ z krokiem $5 \mu\text{m}$. Parametry obróbki podano w tabelicy.

TABLICA. Parametry obróbki

Przejście obróbkowe	1 (obróbka zgrubna)	2 (przejście wykończeniowe)
Średnia wartość napięcia wyładowania U_c, V	43	57
Wartość piku prądowego podczas wyładowania I_c, A	170	179
Czas przerwy $t_{of}, \mu\text{s}$	24	14
Siła naciągu drutu F_n, N	15	19
Posuw $f, \text{mm/min}$	2,5	4,8
Wydatek objętościowy dielektryka $Q_v, \text{l/min}$	≥ 10	$\sim 1,4$

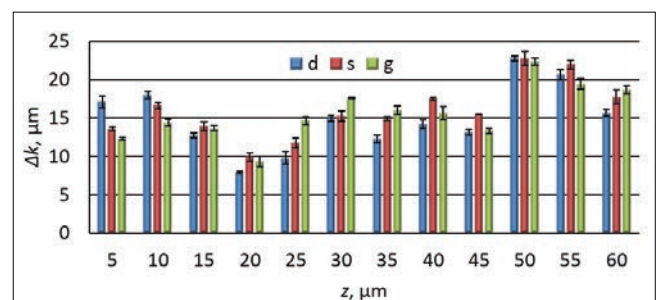
Obróbkę przeprowadzono na wycinarce elektroerozyjnej Mitsubishi FA10S (rys. 4). Do rejestracji przebiegów prądowych i napięciowych posłużyło stanowisko złożone z: sondy prądowej Hioki CT6843, sondy napięciowej Rigol RP1300H oraz oscyloskopu Rigol DS1074Z. Proces wycinania wykonywano w zanurzeniu w dielektryku – wodzie demineralizowanej. Błąd pozycjonowania obrabiarki wyniósł $1 \mu\text{m}$.



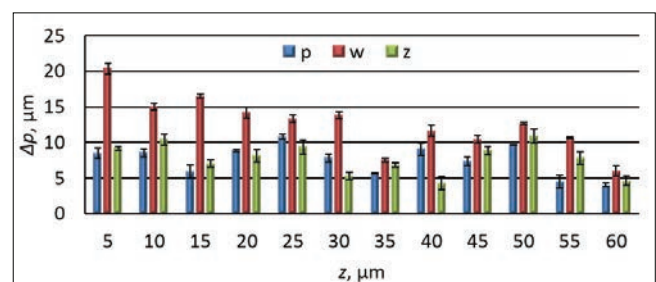
Rys. 4. Stanowisko badawcze: 1 – wycinarka elektroerozyjna Mitsubishi FA10S, 2 – sonda napięciowa Rigol RP1300H, 3 – oscyloskop Rigol DS1074Z, 4 – sonda prądowa Hioki CT6843

Wyniki pomiarów

Odchyłki kształtu Δk badanych zarysów oraz odchyłki prostoliniowości Δp przedstawiono na rys. 5 i 6.



Rys. 5. Odchyłki kształtu Δk zarysu zamka (części próbki: d – dolna, s – środkowa, g – górna) w zależności od dosuwu z

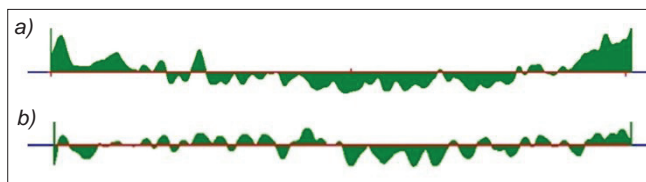


Rys. 6. Odchyłki prostoliniowości Δp linii zamka (części próbki: p – powierzchnie płaskie, w – promienie wewnętrzne, z – promienie zewnętrzne) w zależności od dosuwu z

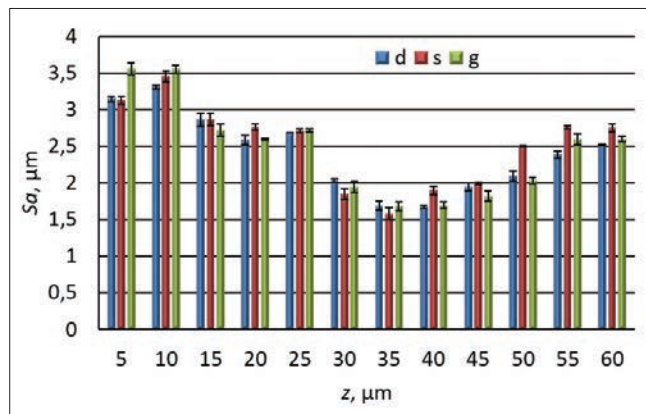
W przedziale dosuwu $z = 5\div 45 \mu\text{m}$ odchyłki Δk przyjmowały podobną wartość – od ok. $13 \mu\text{m}$ do $17 \mu\text{m}$. Wyjątkiem były odchyłki dla dosuwu $z = 20 \mu\text{m}$, które przyjęły wartość poniżej $10 \mu\text{m}$ i były najmniejsze spośród wszystkich pomiarów. Wyraźny wzrost wartości odchyłek można zauważyć dla dosuwów $z = 50 \mu\text{m}$ i większych.

Dla dosuwów z przedziału $z = 5\div 30 \mu\text{m}$ odchyłki Δp , zmierzone na promieniach wewnętrznych, są większe niż na powierzchniach płaskich i promieniach zewnętrznych. Dla kolejnych dosuwów te różnice są znacznie mniejsze. Najniższe wartości odchyłek odnotowano dla dosuwu $z = 35 \mu\text{m}$ oraz $z = 60 \mu\text{m}$.

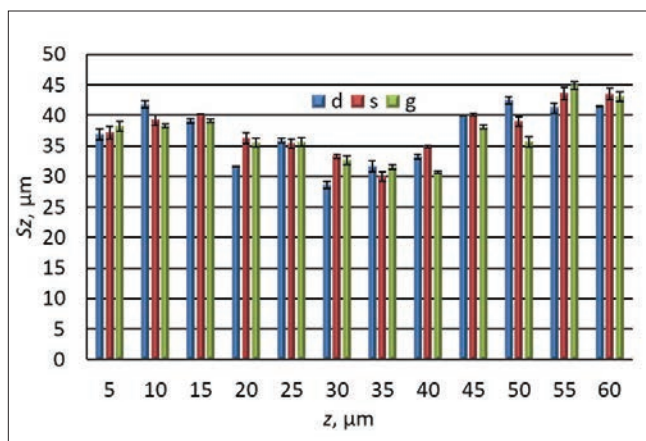
Odchyłki prostoliniowości Δp na promieniach zewnętrznych i wewnętrznych przyjmują formę siodłowości (rys. 7a). Porównując najniższe odchyłki prostoliniowości, uzyskane przy dosuwach $z = 35 \mu\text{m}$ i $z = 60 \mu\text{m}$, można zauważyć, że dla dosuwu $z = 35 \mu\text{m}$ występowało ugięcie elektrody podczas obróbki promieni. Jedynie dla dosuwu $z = 60 \mu\text{m}$ rozkład odchyłek na promieniach był równomierny (rys. 7b).



Rys. 7. Rozkład odchyłek prostoliniowości Δp na promieniach wewnętrznych dla dosuwu: a) $z = 35 \mu\text{m}$, b) $z = 60 \mu\text{m}$



Rys. 8. Parametr S_a chropowatości powierzchni badanych próbek (w częściach próbki: d – dolnej, s – środkowej, g – górnej) w zależności od dosuwu z



Rys. 9. Parametr największej wysokości powierzchni S_z badanych próbek (w częściach próbki: d – dolnej, s – środkowej, g – górnej) w zależności od dosuwu z

Pomiary chropowatości powierzchni wykonano pod mikroskopem Infinite Focus firmy Alicona. Powtórzono je pięć razy w każdym wymienionym obszarze (d, s, g). Wyniki pomiarów parametrów chropowatości powierzchni S_a i S_z przedstawiono na rys. 8 i 9.

Najniższe wartości średniej arytmetycznej rzędnych powierzchni S_a odnotowano dla dosuwu $z = 35 \mu\text{m}$. Zarówno zwiększanie, jak i zmniejszanie dosuwu powodowało wzrost wartości parametru S_a . Podobną tendencję odnotowano dla parametru największej wysokości powierzchni S_z . Jego najniższe wartości uzyskano dla dosuwów z przedziału $z = 30\div 40 \mu\text{m}$.

Wnioski

Mniejsze wartości dosuwu z skutkowały obróbką na niepełnej wysokości przedmiotu obrabianego. Dla dosuwu z przedziału $z = 5\div 10 \mu\text{m}$ zanotowano występowanie nielicznych procesów erozji w przejściu wykończeniowym. Na promieniach wewnętrznych wartości odchyłek prostoliniowości wzrastały względem powierzchni płaskich i promieni zewnętrznych. Odchyłki na promieniach przyjmowały charakterystyczny rozkład w formie siodłowości. Wyjątek stanowiła próbka wykonana z dosuwem $z = 60 \mu\text{m}$ – w jej przypadku rozkład odchyłek był równomierny. Dla tej wartości dosuwu uzyskano minimalne ugięcie elektrody.

Dosuwu z przedziału $z = 30\div 40 \mu\text{m}$ pozwoliły obniżyć wartość parametrów S_a i S_z . Najniższe ich wartości osiągnięto dla dosuwu $z = 35 \mu\text{m}$. Dosuw z z przedziału $40\div 60 \mu\text{m}$ powodował wzrost wartości parametrów S_a i S_z . Powyżej $z = 60 \mu\text{m}$ występowały zwarcia elektrody i przedmiotu obrabianego, co uniemożliwiało obróbkę.

W obróbce wykończeniowej procesy erozji oraz towarzyszące jej zjawiska występują głównie na kierunku normalnym do posuwu, po jednej stronie elektrody. Zmiana dosuwu wpływa na wartości sił podczas erozji, a w konsekwencji – również na dokładność obróbki.

LITERATURA

- Klocke F., Vogtel P., Gierlings S., Lung D., Veselovac D. "Broaching of Inconel 718 with cemented carbide". *German Academic Society for Production Engineering (WGP)*. 7 (2013): s. 593–600.
- Klocke F., Welling D., Klink A., Perez R. "Quality assessment through in-process monitoring of wire-EDM for fir tree slot production". *Procedia CRIP*. 24 (2014): s. 97–102.
- Sharma P., Chakradhar D., Narendranath S. "Evaluation of WEDM performance characteristics of Inconel 706 for turbine disk application". *Materials and Design*. 88 (2015): s. 558–566.
- Klocke F., Welling D., Klink A., Veselovac D., Nöthe T., Perez R. "Evaluation of advanced wire-EDM capabilities for the manufacture of fir tree slots in Inconel 718". *Procedia CRIP*. 14 (2014): s. 430–435.
- Oniszczyk-Świercz D., Świercz R., Dąbrowski L., Marczak M. "Konstytuowanie warstwy wierzchniej Inconelu 718 po wycinaniu elektroerozyjnym". *Mechanik*. 4 (2015): s. 71–74.
- Puri A.B., Bhattacharyya B. "An analysis and optimisation of the geometrical inaccuracy due to wire lag phenomenon in WEDM". *International Journal of Machine Tool & Manufacture*. 43 (2003): s. 151–159.
- Liang J.F., Tsai C.F., Lin M.H., Liao Y.S. "Measurement of wire deflection in wire – cut EDM machining". *ISEM 2010*, s. 223–226.
- Dekeyser W.L., Snoeys R. "Geometrical accuracy of Wire-EDM". *Proc. of ISEM*. 9 (1989): s. 226–232.
- www.turbineenginesolutions.com.
- www.gfms.com.
- Mitsubishi Electric Corporation, Wire-Cut EDM Systems, FA-S Advance Series machining characteristics data book, BQN-W-70538C, version 3.0, 2010.