

XII Międzynarodowa Konferencja - Electromachining 2015



UNIwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Zakład Inżynierii Produkcji
STOWARZYSZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW
MECHANIKÓW POLSKICH – Koło Uczelniane UTP

85-789 Bydgoszcz, ul. Kaliskiego 7
tel. (0 52) 340-87-47, fax. (0 52) 340-82-45,
e-mail: tomasz.paczkowski@utp.edu.pl

Analiza oddziaływań mechanicznych elektrod drutowych w procesie mikrostopowania z wykorzystaniem wyładowań elektrycznych

Analysis of mechanical effects of wire electrodes in micralloying
process using electrical discharge

SŁAWOMIR SPADŁO¹
PIOTR MŁYNARCZYK²

W artykule przedstawiono analityczne rozwiązanie zagadnienia sił, z jakimi oddziałują pojedyncze włókna szczotki obrotowej z powierzchnią podczas obróbki BEDMA. Przeprowadzono analizę deformacji pojedynczych drucików szczotki, uwzględniając występujące więzy kinematyczne dla przypadku powierzchni płaskiej niepodatnej, z występowaniem tarcia. Przedstawiono wyniki symulacji w postaci zależności sił oddziaływań drucików z powierzchnią w funkcji kąta obrotu szczotki.

SŁOWA KLUCZOWE: BEDMA, stopowanie, oddziaływanie mechaniczne.

In this paper, an analytical procedure is developed in order to evaluate the filament loading of a circular brush. Filament deformation is computed based on the mechanic analysis in conjunction with kinematic constraints for a rigid flat surface with friction taken into account. Numerical results which reveal the relationship between rotation angle and force distribution are reported.

KEYWORDS: BEDMA, alloying, mechanical interaction.

Wprowadzenie

Dotychczasowe zastosowanie metalowych szczotek w kształcie dysków wykorzystywane było w celu usunięcia

skorodowanych warstwy, przygotowania metalowych powierzchni w procesach galwanizowania, wytwarzania powierzchni o dobrej przylepności pod złącza klejone, przed powlekaniami farbą itp.

Rozwój procesu szczotkowania dotyczył operacji takich jak usuwanie ostrych krawędzi, zadziorów, nalotów tlenkowych, zgorzeliny po obróbce cieplnej jak również obróbki części maszyn wykonanych ze stopów metali nieżelaznych. Używanie szczotek z gęsto upakowanymi włóknami wykonanymi z zahartowanej stali rozszerza zakres wykorzystania tego narzędzia obejmując mikro-frezowanie zwykłych stali konstrukcyjnych małej twardości lub stopów lekkich.

Podsumowując, typowe wykorzystanie metalowych szczotek jest ograniczone do usuwania materiału z przedmiotów, których twardość jest mniejsza niż twardość włókien z których wykonana jest szczotka [11, 13, 14].

Innym wykorzystaniem metalowych szczotek może być obróbka ubytkowa BEDMM, mikrostopowanie, które ze względu na występowanie równocześnie w procesie kilku rodzajów oddziaływań należą do grupy obróbek hybrydowych szerzej opisywanych we współczesnej literaturze [3, 8, 15]. Podczas obróbki można wyróżnić następujące główne procesy składowe:

- elektryczne,
- cieplne (termiczne),
- mechaniczne,
- przemiany fazowe (cieplno-chemiczne),
- transport masy (mechaniczny, termiczny, dyfuzyjny).

¹dr hab. inż. Sławomir Spadło (sspadlo@tu.kielce.pl)

²mgr inż. Piotr Młynarczyk (p.mlynarczyk@tu.kielce.pl)

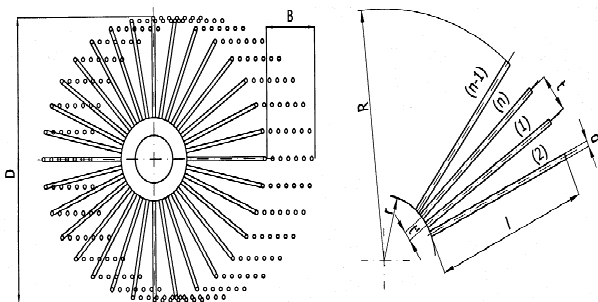
W zależności od warunków prowadzenia procesu włókna oddziałują na powierzchnię poprzez wyładowania elektryczne i przenoszenie masy z katody do anody [6, 7]. W innych przypadkach druciki wywierają na powierzchni nacisk w połączeniu z przepływającym prądem – mamy wtedy do czynienia z oddziaływaniami elektromechanicznymi [7, 12]. Mechanicznemu kontaktowi drutu z obrabianą powierzchnią towarzyszy przewodzenie prądu bez wyładowania. Wpływa to na wygładzanie pików chropowatości powstałych podczas wyładowań elektrycznych, a jednocześnie wzrasta temperatura obrabianej powierzchni. W wyniku opisywanych oddziaływań uzyskuje się poprawę właściwości tak utworzonych warstw [5, 9, 10, 16]. W wielu przypadkach stosowane ściernic o zdeterminowanej geometrii może być nieskuteczna metoda obróbki [2, 4]

Statyka i kinematyka tarczy szczotkowej

Istotnym elementem oddziaływania w powyżej opisanych procesach jest narzędzie – elektroda szczotkowa.

Budowę tarcz szczotkowych można scharakteryzować poprzez kształt, gęstość upakowania oraz sposób mocowania drutów. W przedstawionej analizie wykorzystano tarczę o walcowej powierzchni roboczej. Poszczególne druciki są mocowane za pomocą piasty złożonej z tulei i tarcz dociskowych.

Do badań stosowano szczotki (rys. 1) składające się z warstw usytuowanych w płaszczyźnie prostopadłej do jej osi, każda warstwa zawiera określoną liczbę drucików rozmieszczonych na obwodzie. Zostało założone, że rozmieszczenie poszczególnych drucików jest równomierne.



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia elementów roboczych elektrod w tarczy obrotowej

Gęstość upakowania szczotki została określona jako:

$$G_R = \frac{NS_d}{S_R}$$

gdzie:

S_R – powierzchnia części roboczej tarczy,

S_d – pole przekroju poprzecznego drutu,

N – liczba drutów w tarczy,

$$N = k \cdot n$$

k – liczba warstw,

n – liczba drucików w warstwie.

Długość drogi styku drutu elektrody z płaszczyzną:

$$s = 2\sqrt{\Delta(D_z - \Delta)}$$

Nominalne pole oddziaływań elektrod:

$$A_{nom} = s \cdot B$$

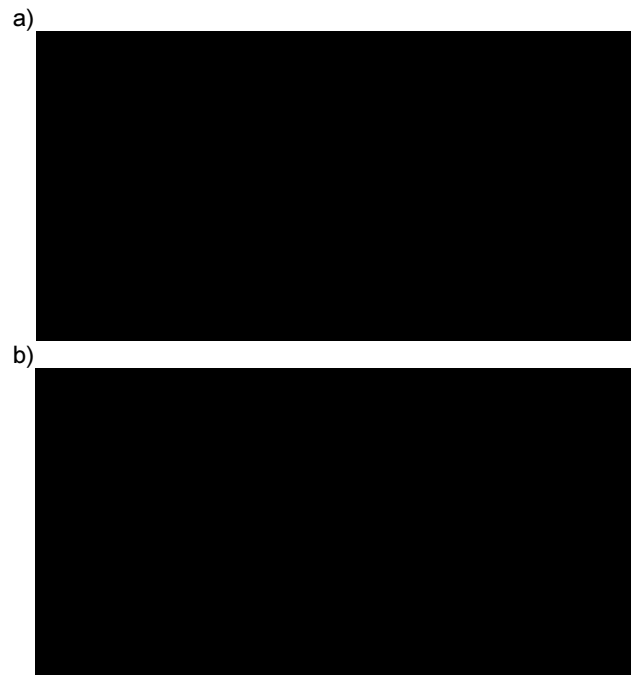
gdzie:

Δ – wartość dosuwu elektrody roboczej,

D_z – średnica zewnętrzna ER,

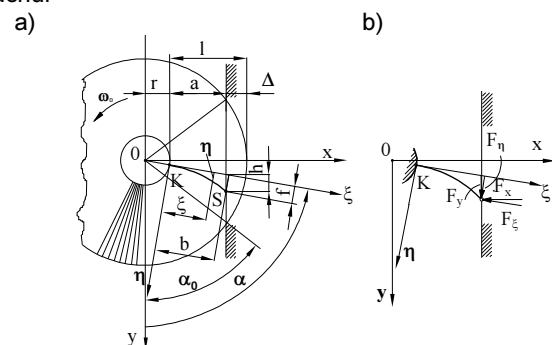
B – szerokość ER.

Przykładowe zależności oddziaływań ER z powierzchnią obrabianą w funkcji ugięcia drutu szczotki przedstawiono na rysunku 2. W rzeczywistych warunkach kształt strefy oddziaływań uzależniony jest od geometrii przedmiotu obrabianego.



Rys. 2. Droga styku drutu szczotki z przedmiotem obrabianym (a) nominalne pole oddziaływań elektrod (b)

Mechanika ruchu i oddziaływań drutu z obrabianą powierzchnią jest bardzo złożona i trudna do ujęcia analitycznego (rys. 3). Powoduje to złożone warunki graniczne, które pozwalają jedynie na przybliżone rozwiązanie równania jego ruchu.



Rys. 3. Geometria odkształcenia pojedynczego drutu szczotki (a), siły oddziaływań podłoża na koniec drutu (b)

Podstawowymi założeniami uproszczonej analizy pracy drucika są tu:

- nieuwzględnianie sił bezwładności,
- przemieszczanie końca drucika odbywa się po sztywnej płaszczyźnie.

Pomija się oddziaływania pomiędzy poszczególnymi elementami roboczymi elektrody z uwagi na małą gęstość upakowania. Zakłada się, że poszczególne druty usytuowane są promieniowo w stosunku do piastry i utwierdzone w miejscu odpowiadającym jej promieniowi oraz podlegają prawu Hooke'a. Przed wejściem w kontakt z powierzchnią pozostają proste. Ich zginanie odbywa się w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu, pomija się ponadto bicie promieniowe tarcz [1, 12].

Zagadnieniem interesującym dla użytkownika tarcz szczotkowych jest wpływ ich charakterystyk konstrukcyjnych na wartości sił oddziaływań drutu z powierzchnią obrabianą. Najprostszym sposobem uzyskania pożądanych charakterystyk mechanicznych tarczy szczotkowej jest zmiana sztywności drutu poprzez odpowiedni dobór jego średnicy.

Ugięcie drutu rozważane jest w ruchomym układzie odniesienia $K \xi \eta$. Wówczas zależność $\eta = \eta(\xi)$ opisuje linię jego ugięcia w zakresie sprężystym. Zakładając, że nie występuje wpływ odkształceń postaciowych. Równanie różniczkowe linii ugięcia przyjmuje postać [12]:

$$EI \frac{\eta''}{(1 + \eta'^2)^{3/2}} = F_\eta(b - \xi) + F_\xi[\eta(b) - \eta(\xi)]$$

gdzie:

EI – sztywność drucika na zginanie,

$$\eta'(\xi) = d\eta/d\xi, \quad \eta''(\xi) = d^2\eta/d\xi^2, \quad 0 \leq \xi \leq b.$$

Funkcja $\eta(\xi)$ powinna ponadto spełniać zależność:

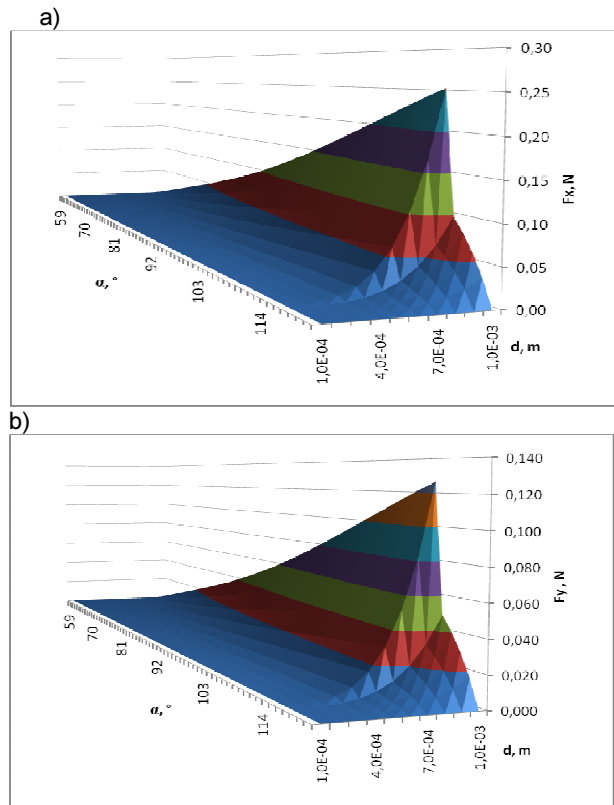
$$1 - \int_0^b \sqrt{1 + [\eta'(\xi)]^2} d\xi = 0$$

Nawet przy przyjętych warunkach równanie jest bardzo trudne do rozwiązania także metodami numerycznymi.

W analizie rozważany jest przypadek pracy pojedynczego drucika szczotki przy wstępnych założeniach upraszczających przyjętych wcześniej.

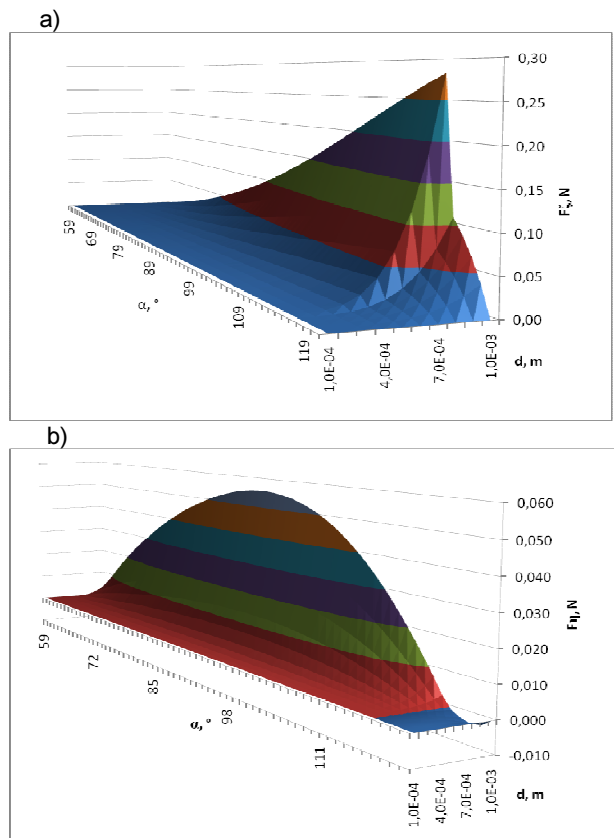
Na potrzeby symulacji oddziaływania wartości sił składowych z powierzchnią w funkcji średnicy drutu i kąta ugięcia został opracowany program.

Zależność wpływu średnicy pojedynczego drutu, przy założeniu określonych wymiarów średnicy zewnętrznej i piastry, na wartości sił oddziaływań z powierzchnią zilustrowano na wykresach przedstawionych na rysunkach 4a, b.



Rys. 4. Wartości składowych siły F_x – a), F_y – b), oddziaływania z powierzchnią w funkcji średnicy drutu i kąta obrotu szczotki α

Zależność wartości składowych siły F_ξ i F_η oddziaływania z powierzchnią w funkcji średnicy drutu i kąta α przedstawiono na rysunkach 5a, b.



Rys. 5. Wartości składowych siły F_ξ – a) i F_η – b) oddziaływania z powierzchnią w funkcji średnicy drutu i kąta obrotu szczotki α

Podsumowanie

Poznanie charakterystyk mechanicznych szczotki umożliwia opracowanie modelu sterowania procesem wygładzania powierzchni w obszarze typowym dla obróbki BEDMM.

Mniejsze upakowanie szczotki, zmniejsza oddziaływanie drucików na siebie co czyni je bardziej podatne na odkształcenia. Dzięki temu można regulować wartość ugięcia drutu jednocześnie zachowując jego oryginalny rozmiar.

Siła nacisku końcówki drutu wzrasta w sposób nieliniowy wzdłuż powierzchni obrabianej, a na jego końcu – nagle maleje.

Najprostszym sposobem zmiany charakterystyk mechanicznych elektrody szczotkowej jest zmiana średnicy lub długości elementów roboczych.

LITERATURA

1. Cariapa V., Stango R. J., Liang S. K., Prasad A., Measurement and Analysis of Brushing Tool Performance Characteristics - Part II: "Contact Zone Geometry", ASME Journal of Engineering for Industry, Vol.: 113, 290-296, 1991.
2. Kozak J., Oczos K. E., Selected problems of abrasive hybrid machining. J. Mat. Proc. Tech., Vol.: 109, 360-366, 2001.
3. Kozak J., Wybrane zagadnienia hybrydowych obróbek erozyjno-mechanicznych. Archiwum Technologii Budowy Maszyn, 59-65, Poznań 1996.
4. Marciniak M., Dąbrowski L., Zawora J., Doświadczalna ocena intensywności zalepiania metalem czynnej powierzchni ściernicy. PAN, Sekcja Podstaw Technologii Komitetu Budowy Maszyn. XXI Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, 97-101, Warszawa 1998.
5. Mola R., Fabrication and microstructure of diffusion alloyed layers on pure magnesium substrate Archives of Metallurgy and Materials Vol.: 59, No.: 4, 1419-1422, 2014.
6. Nowicki B., Pierzynowski R., Spadło S., Investigation of electro-discharge mechanical dressing (EDMD) of diamond abrasive wheels with conductive bonds using brush electrodes. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture Vol.: 220, No.: 3, 421-428, 2006.
7. Nowicki B., Pierzynowski R., Spadło S., The superficial layer of parts machined by brush electro-discharge mechanical machining (BEDMM) Proceedings of the Part B-Journal of Engineering Manufacture Vol.: 218, No.: 1, 9-15, 2004.
8. Radziejewska J., Nowicki B., Kalita W., Laser burnishing method for surface laser modification. PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART B-JOURNAL OF ENGINEERING MANUFACTURE. Vol.: 222, No. B7, 817-825, 2008.
9. Scendo M., Radek N., Trela J., The Influence of Electrospark and Laser Treatment upon Corrosive Resistance of Carbon Steel. Advanced Materials Research Vol.: 874, 107-112, 2014
10. Scendo M., Trela J., Radek N., Influence of laser power on the corrosive resistance of WC-Cu coating. Surface & Coatings Technology Vol.: 259, 401-407, 2014.
11. Shia C.Y., Stango R.J., Heinrich S.M., Theoretical Analysis of Frictional Effect on Circular Brush Stiffness Properties. Proc., SME Deburring and Surface Conditioning Conference Papers, 89-143. 1989.
12. Spadło S., The analysis of brushing tool characteristics. ARCHIVES OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING, Vol.: IV, No. 4, 27-40, 2004.
13. Stango R.J., Cariapa V., Prasad A., Liang S.K., Measurement and Analysis of Brushing Tool Performance Characteristics, Part I: Stiffness Response. ASME Journal of Engineering for Industry, Vol.: 113, 283-289, 1989.
14. Stango R.J., Shia C.Y., Henderson J.A., Development of a Rational Basis for Design of Advanced Brushing Tools. ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 116, 308-315, 1994.
15. Styp-Rekowski M., Techniki wytwarzania skoncentrowanymi nośnikami energii – hybrydowe i niekonwencjonalne metody obróbki. Obróbka Metalu nr 2, 10-14, 2014.
16. Żórawski W., Chatys R., Radek N., Borowiecka-Jamrozek J., Plasma-sprayed composite coatings with reduced friction coefficient. Surface & Coatings Technology, vol. 202, No.: 18, 4578-4582, 2008.