



UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNO-PRZYRODNICZY  
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH  
W BYDGOSZCZY

## **ROZPRAWY NR 158**

Tomasz Paczkowski

**SYMULACJA KOMPUTEROWA  
OBRÓBKI ELEKTROCHEMICZNEJ  
POWIERZCHNI KRZYWOLINIOWYCH  
ELEKTRODĄ ROBOCZĄ  
O ZŁOŻONYM RUCHU TRANSLACYJNYM**

BYDGOSZCZ – 2012

REDAKTOR NACZELNY  
prof. dr hab. inż. Józef Flizikowski

REDAKTOR DZIAŁOWY  
prof. dr hab. inż. Henryk Tylicki

OPINIODAWCY  
dr hab. inż. Lucjan Dąbrowski, prof. PW  
prof. dr hab. inż. Andrzej Gołąbczak

OPRACOWANIE REDAKCYJNE I TECHNICZNE  
mgr Michał Górecki, mgr Patrycja Fereni-Morzyńska

© Copyright  
Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego  
Bydgoszcz 2012

Praca powstała przy wsparciu projektu  
„Realizacja II etapu Regionalnego Centrum Innowacyjności”  
współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego  
w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego  
Województwa Kujawsko-Pomorskiego na lata 2007-2013

ISSN 0209-0597

Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego  
ul. Ks. A. Kordeckiego 20, 85-225 Bydgoszcz, tel. 52 3749482, 3749426  
e-mail: [wydawucz@utp.edu.pl](mailto:wydawucz@utp.edu.pl) <http://www.wu.utp.edu.pl>

---

Wyd. I. Nakład 100 egz. Ark. aut. 8,2. Ark. druk. 8.8. Zamówienie nr 13/2012  
Oddano do druku i druk ukończono w czerwcu 2012  
Uczelniany Zakład Małej Poligrafii UTP Bydgoszcz, ul. Ks. A. Kordeckiego 20

# **Symulacja komputerowa obróbki elektrochemicznej powierzchni krzywoliniowych elektrodą roboczą o złożonym ruchu translacyjnym**

## Streszczenie

Rozprawa dotyczy obróbki elektrochemicznej, w której do kształtowania makrogeometrii i struktury geometrycznej obrabianych powierzchni krzywoliniowych części maszyn i narzędzi, wykorzystuje się roztworzenie elektrochemiczne (ECM) materiału przy dużych gęstościach prądu.

Zasadnicze kłopoty w obróbce ECM danego wyrobu, szczególnie wynikają z prawidłowego projektowania złożonej (3D) powierzchni czynnej elektrody roboczej (ER) oraz doboru warunków obróbki tzn. parametrów elektrycznych, hydrodynamicznych, właściwości elektrolitu. Hydrodynamika przepływu oraz właściwości ośrodka decydują o procesach wymiany masy, pędu i energii w szczeliny międzyelektrodowej. Wymienione procesy są ze sobą ściśle sprzężone i mają istotny wpływ na kształt, własności użytkowe powierzchni obrabianej oraz dokładność odwzorowania ER. Jednym ze sposobów poprawienia dokładności odwzorowania ER jest zastosowanie dodatkowych ruchów translacyjnych ER.

Celem pracy jest sformułowanie modelu matematycznego obróbki ECM powierzchni krzywoliniowych dla złożonego ruchu translacyjnego elektrod oraz jego weryfikacja doświadczalna.

Zjawiska fizyczne występujące w szczeliny międzyelektrodowej opisano układem równań różniczkowych cząstkowych, wynikających z bilansu masy, pędu i energii przepływającego elektrolitu w szczeliny.

Sformułowane w pracy równania opisujące ewolucję kształtu powierzchni obrabianej oraz przepływ elektrolitu (mieszaniny cieczy i gazu) w szczeliny, uproszczono wprowadzając założenia dotyczące przepływu, rozkładu objętościowej koncentracji fazy gazowej oraz wysokości szczeliny. Następnie rozwiązano je częściowo analitycznie i numerycznie, opracowując przy tym metody dyskretyzacji powierzchni krzywoliniowych elektrod oraz algorytmy komputerowe symulacji obróbki ECM. Zaproponowany model matematyczny obróbki zweryfikowano doświadczalnie na zaprojektowanym stanowisku badawczym.

Wnioski zawarte w pracy podzielono na trzy grupy określając zakres i możliwości ich wykorzystania. Stanowią też one potwierdzenie zrealizowania założonego na wstępie celu rozprawy.

## **Computer simulation of curvilinear surfaces electrochemical machining with a complex translation movement work electrode**

### Summary

This dissertation concerns electrochemical machining, in which electrochemical dissolution of material with high density of current is used for shaping macrogeometry and the geometrical structure of machine parts and tools machined curvilinear surfaces.

Basic problems of electrochemical machining of a certain product, come from the fact that it is very hard to properly model a complex (3D) active surface of a work electrode (ER) and select the correct machining conditions (electrical and hydrodynamic parameters, electrolyte properties). Hydrodynamic flow parameters and environment properties decide about the mass, momentum and energy exchange processes in the interelectrode gap. The mentioned processes are closely connected and have an important influence on the shape, usage properties of the machined surface and the ER representation exactness. One way to enhance the exactness of the ER representation is using additional ER translation moves.

This works goal is formulating a mathematical model of ECM curvilinear surfaces machining for complex translation movement of electrodes and its experimental verification.

Physical phenomenons occurring in the interelectrode gap were described with a partial differential equation resulting from the mass, momentum and energy electrolyte balance flowing in the gap.

Equations, formulated in this paper, describing evolution of shape of anode workpiece and flow of electrolyte (mixtures of liquid and gas) in gaps, are simplified by means of introducing assumptions connected with a flow, of volume fraction and of gaps. Next, they were subjected to partially analytical and partially numerical dissolution developing curvilinear surfaces digitization methods and ECM simulation computer algorithms in the process. The proposed machining mathematical model was verified experimentally on the designed research stand.

The conclusions offered in the paper are broken down in three groups defining the place, range and potential. They are also a confirmation of realization stated goal.