

Wacław MIELNICKI¹
Paweł FRANKOWSKI¹

PROCESY ELEKTROEROZYJNE, ŚCIERNE, ŚCIERNO-ELEKTROEROZYJNE REALIZOWANE PRZEZ JEDNĄ OBRABIARKE

W artykule przedstawiono niektóre rezultaty badań własnych, które pozwoliły na skonstruowanie i wykonanie szlifierki narzędziowej MES0 25 CNC. Jest ona nowatorskim rozwiązaniem w świecie, gdyż oprócz możliwości realizacji procesów szlifowania klasycznego, obciągania i profilowania elektroerozyjnego ściernic, co jest rozwiązaniem stosowanym przez przodujące firmy np. VOLLMER i WALTER, pozwala na ścierno-elektroerozyjne kształtowanie powierzchni roboczych różnego rodzaju narzędzi skrawających, w tym ostrzy diamentowych PCD i z węglików spiekanych.

1. WPROWADZENIE

Zagadnienia teorii i techniki kształtowania części maszyn i narzędzi metodami erozyjnymi ściernymi należą już w zasadzie do tradycyjnych metod obróbki. Wraz z rozwojem technologii wytwarzania nowych materiałów konstrukcyjnych i narzędziowych znajdują one szerokie zastosowanie m.in. w przemyśle silnikowym, aeronautycznym, biologii, chemii, elektronice i medycynie. Techniki te są unowocześniane [1],[4],[7] i modyfikowane przez wprowadzanie technologii hybrydowych [2],[5-6],[9], w tym technologii ścierno-elektroerozyjnej. Technologie mieszane realizowane na jednym stanowisku np. szlifowanie ścierne narzędzi, obok regeneracji (obciąganie) ściernic przy wykorzystaniu techniki drążenia elektroerozyjnego, są wykorzystywane przez firmy produkujące szlifierki narzędziowe, np. firmy Vollmer i Walter. Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, dawniej Instytut Obróbki Skrawaniem, od wielu lat zajmuje się badaniami i wytwarzaniem obrabiarek, szczególnie w wersji specjalnej, wykorzystujących procesy erozyjne: elektroerozyjne, elektrochemiczne, laserowe, ścierne oraz hybrydowe do kształtowania roboczych części maszyn i narzędzi. W ostatnich latach szczególną uwagę położono na rozpoznanie procesów hybrydowych m. in. ścierno-elektroerozyjnych w celu opracowania urządzeń i sposobów optymalnego sterowania tymi procesami.

¹ Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Kraków

2. STRUKTURA KINEMATYCZNA OBRABIARKI

Kształtowanie ścierno-elektroerozyjne powierzchni roboczych narzędzi i nadawania im ostatecznych cech jakości użytkowej np. ostatecznej chropowatości przez realizację ostatecznych zabiegów obróbki wykończającej, wymaga stosowania złożonej kinematyki ruchów ustawczych i roboczych narzędzia względem przedmiotu obrabianego. Jest to możliwe przez nadanie odpowiedniej struktury geometryczno-ruchowej całej obrabiarki. Poglądowe rozwiązanie takiej struktury przedstawiono na rysunku 1. Struktura ta pozwala realizować ruchy w 6-ciu osiach: trzech liniowych X-Y-Z oraz trzech obrotowych: A,B,C. By zapewnić optymalną, w sensie funkcjonalności i uniwersalności, pracę obrabiarki, musi być ona wyposażona w system sterowania numerycznego NC. Współczesne obrabiarki narzędziowe realizują procesy obróbkowe wg klasycznego schematu:

Rys. 1. Możliwa struktura kinematyczna szlifierki narzędziowej
Fig. 1. Possible kinematic structure of the grinding tool machines

w czasie procesu i po jego zakończeniu, na podstawie modelu symulacyjnego wykorzystując program CAM obrabiarki. Często konieczne jest opracowanie postprocesora w celu przystosowania uniwersalnego zapisu CAM do wymagań konkretnego sterownika NC obrabiarki, przeprowadzenie rzeczywistego procesu obróbki i kontroli obrabianego przedmiotu.

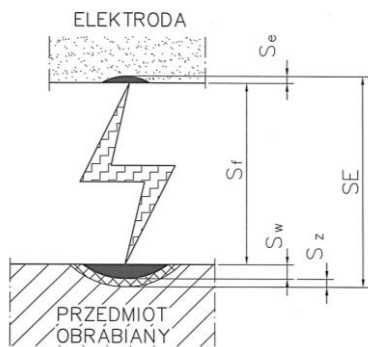
W realizacji procesów elektroerozyjnych i ścierno-elektroerozyjnych nie jest jednak możliwe zastosowanie klasycznego oprogramowania CNC sterującego pracą obrabiarek skrawających, ze względu na specyficzną, stochastyczną naturę procesu erozji elektrycznej.

3. ISTOTA PROCESÓW ŚCIERNO-ELEKTROEROZYJNYCH

Aby wygenerować w klasycznym procesie elektroerozyjnym wyładowania elektryczne o sterowanym przebiegu w sensie geometrycznym i czasowym, musi zaistnieć przestrzeń, którą w sensie liniowym przedstawia tzw. szczelina międzyelektrodowa. Na rysunku 2 przedstawiono schematyczny rysunek szczeliny i parametrów ją charakteryzujących, który ma istotne znaczenie dla dalszych rozważań dotyczących procesu ścierno-elektroerozyjnego.

Strefę oddziaływania wyładowań iskrowych przedstawia zależność:

$$SE = s_e + s_f + s_w + s_z \quad (1)$$



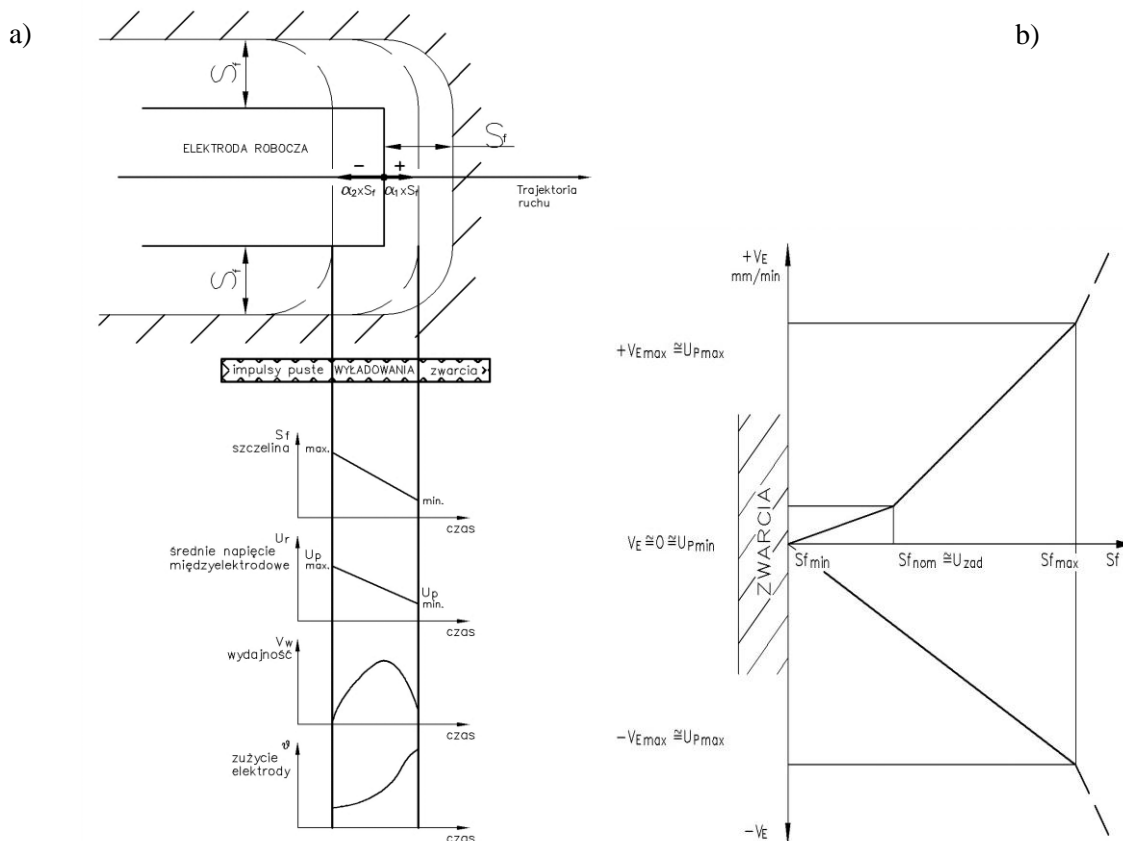
Rys. 2. Parametry geometryczne strefy oddziaływania wyładowań iskrowych.
Fig. 2. Geometrical parameters of the impact zone of the spark discharges.

gdzie:

- SE - strefa oddziaływania wyładowania iskrowego, mm;
- se - zużycie liniowe elektrody roboczej, mm;
- sf - szerokość fizyczna szczeliny międzyelektrodowej, mm;
- sw - głębokość wyerodowanego materiału, mm;
- sz - grubość warstwy zmienionej, mm.

Fizyka procesu, czyli oddziaływanie ciepłej energii wyładowań, wyznacza parametry geometryczne szczeliny. Najważniejszą, z punktu widzenia praktycznego zastosowania, to jest technologicznego i przyjętego sposobu sterowania ruchem względnym elektrod, jest wartość szerokości fizycznej szczeliny s_f .

Jeżeli w kierunkach prostopadłych do kierunku głównego obróbki wartość ta jest stała, abstrahując od oddziaływania przepływu cieczy dielektrycznej i wyładowań wtórnych, to w kierunku ruchu głównego jest ona zmienna.

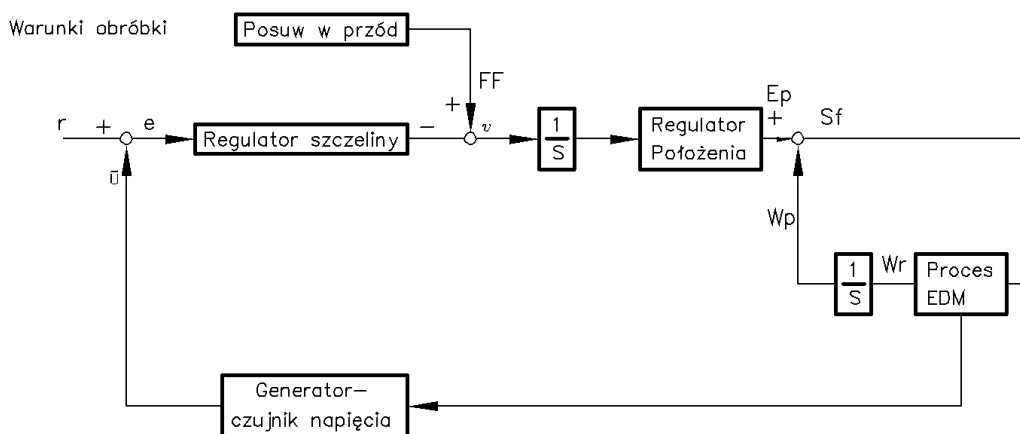


Rys. 3. Zależność między szerokością szczeliny a) a wskaźnikami obróbki, b) prędkością ruchu elektrody roboczej
Fig. 3. The relationship between the width of the slot and, a) the indicators of machining, b) speed of movement of the working electrode

Zmienność wynika z faktu gromadzenia się w niej produktów erozji: materiału obrabianego, elektrody roboczej, rozkładu cieczy dielektrycznej i konieczności ich usunięcia ze strefy obróbki. Zadanie to spełnić ma system sterowania szerokością szczeliny międzyelektrodowej (rys. 3). Jak wynika z rysunku, w klasycznym drążeniu elektroerozyjnym, prędkość ruchu dosuwania i odsuwania elektrody od przedmiotu obrabianego jest zmienna. Parametrami sterującymi może być napięcie międzyelektrodowe lub np. czas opóźnienia wyładowania.

Cechą charakterystyczną klasycznego drążenia elektroerozyjnego jest oscylacyjny, w sumie postępowy, ruch elektrody roboczej co oznacza, że przyrost drogi przebytej przez elektrodę roboczą jest sumą ruchów postępowych, zwrotnych i ewentualnych przestojów w określonym czasie.

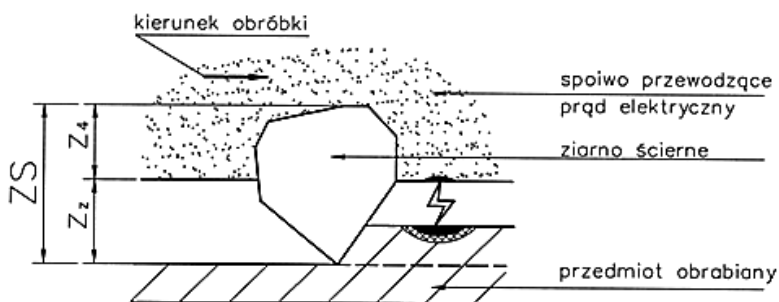
Podczas frezowania elektroerozyjno-ściernego, gdzie elektroda robocza wykonuje szybki ruch obrotowy wokół własnej osi podłużnej, produkty erozji usuwane są w wyniku oddziaływania tego ruchu, który w sposób mechaniczny powoduje „wyrzucanie produktów poza strefę obróbki”, a ponadto ruch ten oddziałuje na ciecz dielektryczną wywołując jej ruch wirowy, którego energia wspomaga usuwanie produktów erozji. W tym przypadku przestrzeń będąca naprzeciwko kierunku trajektorii ruchu elektrody jest na tyle czysta i przygotowana do zainicjowania procesu wyładowań, że można szybciej dosunąć elektrodę i realizować proces w sposób ciągły, lub prawie ciągły. Dla realizacji tego szybkiego procesu klasyczny układ regulacji z ujemnym sprzężeniem jest niewystarczający. Konieczne jest wprowadzenie mechanizmu powodującego przyspieszenie ruchu postępowego elektrody. Układ regulacji ze sprzężeniem w przód, jak gdyby „wyprzedza” pojawienie się uchybu, generując „przewidując” konieczność pojawienia się uchybu, ale ze znakiem dodatnim. Na rysunku 4 przedstawiono schemat ideowy działania takiego regulatora.



Rys. 4. Schemat ideowy regulatora ze sprzężeniem w przód.
Fig. 4. Schematic diagram of the controller with coupled to the front

Trzecim sposobem jest odmiana regulatora działającego we współdziałaniu np. z parametrami mocy pobieranej przez silnik napędu ściernicy lub z pomiarem emisji akustycznej dźwięków, generowanych w strefie obróbki w czasie realizacji procesu.

Warunkiem podstawowym zaistnienia równoległe prowadzonych dwóch procesów elektroerozyjnego i ściernego jest, co jest oczywiste, stosowanie narzędzi wykonanych z materiałów, których osnowa musi przewodzić prąd elektryczny, np. związek miedzi z cyną, z dodatkami różnych materiałów uszlachetniających. W tej osnowie tkwią „mini” narzędzia skrawające, ziarna borazonu lub diamentu nieprzewodzące prądu elektrycznego, zajmujące więc obszar w którym nie może zachodzić proces erozji elektrycznej.



Rys. 5. Schemat procesu elektroerozyjno-ściernego
Fig. 5. Diagram of the electro – erosion – abrasive process

gdzie:

z_n - wysokość ziarna w spoiwie,

z_z - wysokość ziarna na zewnątrz,

z_s - technologiczna wysokość ziarna.

Na rysunku 5 przedstawiono poglądowy rysunek przedstawiający ideę równoczesnej realizacji procesów: elektroerozyjnego i ściernego. Na rysunku ograniczono się jedynie do wskazania dwóch charakterystycznych wymiarów liniowych: wysokość części ziarna tkwiącej w osnowie - z_n , wysokość ziarna na zewnątrz osnowy z_z , oraz sumy tych dwóch wielkości:

$$ZS = z_n + z_z \quad (2)$$

gdzie:

ZS - technologiczna wysokość ziarna, mm

Istnieją cztery podstawowe przypadki koincydencji dwóch procesów rozpatrywane z punktu widzenia wzajemnego położenia obydwu elektrod tj. narzędzia i przedmiotu obrabianego przy pomocy wprowadzonych miar (rys. 2 i rys.5).

W pierwszym przypadku

$$Z_z > s_f + s_w + s_z \quad (3a)$$

$$Z_n > s_e \quad (3b)$$

a tym samym

$$ZS > SE \quad (3c)$$

Interpretacja tej sytuacji jest następująca: realizowany jest proces elektroerozyjno-ścierny z przewagą procesu ściernego. W zależności od stosowanych parametrów energetycznych procesu wartość s_f może być zmieniana, co może przyspieszyć proces

obróbki, gdyż warstwa usuwana przez proces ścierny będzie się zmniejszać. Tym niemniej ponieważ suma wartości s_w , s_z , s_f nie osiągnęła wartości z_z , o jakości powierzchni przedmiotu obrabianego decydować będą parametry procesu ściernego. Bardziej złożonym problemem jest interpretacja wzajemnego związku pomiędzy parametrami z_n i s_e , gdyż jeśli w czasie realizacji procesu obróbkowego nie nastąpi zmiana sytuacji przedstawionej przez zależność 3b, to będzie oznaczało jej właściwe przeprowadzenie. Mogą jednak zaistnieć dwa zdarzenia mające bardzo istotny wpływ na końcowy efekt kształtowania wykroju narzędzia, a mianowicie – zmiana dokładności wymiarowo kształtowej wykroju. Na skutek nadmiernego nagrzania materiału osnowy narzędzia, gdyż zastosowano zbyt dużą moc impulsów elektrycznych, nastąpi usunięcie części ziaren z ich gniazd, wpadną one w szczelinę międzyelektrodową zakłócając tym samym proces erozji elektrycznej. Zakłócenie spowoduje zadziałanie regulatora posuwu elektrody roboczej procesu elektroerozyjnego i np. wystąpi metaliczny styk obu elektrod, który może spowodować kolejny ubytek materiału osnowy narzędzia.

Drugie zdarzenie związane jest z wypadnięciem ziaren ściernych z gniazd, ale na skutek nadmiernego zużycia materiału osnowy. Nastąpi wtedy przypadek, że:

$$z_n < s_e \quad (3d)$$

Przypadek ten może zaistnieć przy stosowaniu ziaren o małych wymiarach o wielkości $< 100\mu\text{m}$. Wymusza on stosowanie niewielkich mocy wyładowań rzędu 350W lub energii rzędu 17,5kJ.

W drugim przypadku

$$z_z < s_f + s_w + s_z \quad (4a)$$

$$z_n > s_e \quad (4b)$$

a tym samym

$$ZE > ZS \quad (4c)$$

Jest to przypadek oznaczający, że praktycznie realizowany jest proces ścierno-elektroerozyjny, który może być wywołany trzema sytuacjami. Dwie dotyczą statyki procesu, trzecia dynamiki. Sytuacja pierwsza zachodzi wówczas, gdy zastosowano narzędzie o małych wymiarach ziarna ściernego np. o wielkościach poniżej $25\mu\text{m}$ oraz parametry energetyczne procesu o wielkościach znacznie przekraczających wartości 50W (0,5kJ). Sytuacja druga ma zawsze miejsce gdy:

$$s_f > z_z \quad (4d)$$

co oznacza błąd technologa, który nieprawidłowo dobrał parametry energetyczne procesu w stosunku do wielkości ziaren w dysponowanym narzędziu. Jeśli nawet z punktu widzenia potrzeb technologii elektroerozyjnej parametry energetyczne procesu zostały dobrane prawidłowo, to i tak nie będzie żadnego efektu wspomagającego proces ścierny. Przeciwnie, nastąpi pogorszenie oczekiwanej jakości powierzchni obrabianego przedmiotu przez wystąpienie warstwy – s_z .

Sytuacja trzecia zachodzi wtedy, gdy operator lub technolog pracującego urządzenia usiłuje, mimo wcześniej popełnionego błędu (sytuacja druga), zmniejszyć szczelinę międzyelektrodową doprowadzając do stanu gdy:

$$s_f \geq z_z \quad (4e)$$

wówczas zachodzi chwilowo i w sposób przypadkowy współlistnienie dwóch procesów co nie poprawia jakości obrabianej powierzchni, a może wpłynąć na zwiększone zużycie osnowy narzędzia co oznacza sytuację gdy:

$$z_n < s_e \quad (4f)$$

W trzecim przypadku

$$z_z = s_f \quad (5a)$$

lub
$$z_z = s_f + s_w \quad (5b)$$

lub
$$z_z = s_f + s_w + s_z \quad (5c)$$

i ogólnie
$$z_s \approx s_e \quad (5d)$$

Generalnie oznacza to znaczną przewagę procesu elektroerozyjnego nad ściernym, co nie powoduje przyrostu prędkości liniowej narzędzia względem przedmiotu obrabianego. Z sytuacji opisanych zależnościami 5a, 5b, 5c najbardziej niekorzystną przedstawia sytuacja 5a, gdyż nawet jeśli z punktu widzenia potrzeb procesu elektroerozyjnego, parametry energetyczne zostały dobrane prawidłowo, to jednak proces ścierny odbywał się będzie jedynie po wierzchołkach nierówności pozostawionych przez wyładowania elektryczne, a więc tylko nieznacznie wpłynie na poprawę jakości powierzchni obrabianej. Znacznie lepszy efekt uzyska się gdy zostanie wygenerowana sytuacja przedstawiona przez zależność 5b, a najkorzystniejszy uzyska się w sytuacji (5c). Oznacza on bowiem znaczne przyśpieszenie prędkości liniowej narzędzia względem przedmiotu obrabianego skutkiem zwiększenia udziału procesu ściernego w procesie wyładowań iskrowych, polepszenie gładkości powierzchni obrabianej i stanu jej warstwy wierzchniej przez usunięcie niekorzystnych śladów po wyładowaniach np. mikropeknięć lub powiększonej twardości.

W czwartym przypadku

$$s_f \sim 0 \quad (6a)$$

$$s_f = s_w = s_z = s_e = 0 \quad (6b)$$

Jest to stan permanentnego zwarcia elektrycznego obu elektrod tj. narzędzia i przedmiotu obrabianego. Realizowany jest jedynie proces ścierny w warunkach niszczenia osnowy narzędzia przez stan zwarcia elektrycznego. Powodować to może zatykanie się przestrzeni między ziarnami ściernymi osadzonymi w osnowie i w konsekwencji zanik własności skrawnych procesu ściernego.

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone w ciągu ostatnich lat badania procesów ścierno-elektroerozyjnych, pozwoliły na opracowanie i wykonanie prototypu modułowej szlifierki ścierno-elektroerozyjnej MES0 25 CNC, która będzie produkowana w Fabryce Szlifierek Kowary

„LAKFAM”. Szlifierka (rys. 6) powstała w wyniku realizacji projektu „Modułowa szlifierka ścierno – elektroerozyjna do narzędzi skrawających z polikrystalicznego diamentu PCD”, w ramach Przedsięwzięcia Ministra Nauki Szkolnictwa Wyższego „Inicjatywa Technologiczna I”.



Rys. 6. Modułowa szlifierka ścierno-elektroerozyjna MESO 25 CNC
Fig. 6. Modular abrasive – electro – erosion grinding machine of MESO 25 CNC

Obrabiarka uzyskała nagrody i wyróżnienia:

1. Złoty Medal na Targach INNOWACJE - TECHNOLOGIE - MASZYNY Poznań 2011
2. Medal Międzynarodowych Targów Obrabiarek, Narzędzi i Technologii Obróbki Toolex w Sosnowcu
3. Dyplom i statuetka Małego Smoka Wawelskiego – na 16. Targach Obrabiarek, Narzędzi i Urządzeń do Obróbki Materiałów EUROTOOL 2011 w Krakowie
4. W listopadzie 2011 roku Izba Przemysłowo-Handlowa w Krakowie przyznała IZTW Dyplom Honorowy im Teodora Baranowskiego za działania innowacyjne.

LITERATURA

- [1] BAŁASZ B., KACALAK W., KRÓLIKOWSKI T., 2011, *Kompleksowy system modelowania i symulacji procesu szlifowania*, Obróbka Ścierna: Współczesne problemy pod redakcją Adama Barylskiego, Gdańsk 2011, Monografia Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji Politechnika Gdańska, Gdańsk, 133-144, ISBN 978 – 83 – 88579 – 72 – 1.
- [2] GOŁĄBCZAK A., J., KOZAK J., 2007, *Electrochemical and electrodischarge dressing of grinding wheels with metal bonds by using segmental tool electrode*; Proceedings of ISEM XV, 505 – 510.
- [3] MIELNICKI W., 2009, *Innowacyjne techniki w kształtowaniu cech użytkowych materiałów konstrukcyjnych i narzędziowych*, Mechanik, 82/5-6, 50-453.

- [4] ORYŃSKI F., SYNAJEWSKI R., BECHCIŃSKI G., 2010, *Model fizyczny do badań symulacyjnych szlifowania wibracyjnego w kierunku poprzecznym*, Podstawy i Technika Obróbki Ściernej. XXXIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Łódź 2010 pod redakcją Andrzeja Gołąbczaka i Bogdana Kruszyńskiego. Monografia Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, 241-250, ISSN 83 – 9200269 – 4 – 2.
- [5] SKRABALAK G., KOZAK J., ZYBURA M., *Optimization of Electrochemical Discharge Machining Process*, Proceedings of ISEM XVI, Shanghai, China, 491 – 496.
- [6] SKRABALAK G., De SILVA A.K.M., SCHULZE H.P., Mc GEOUGH J.A., Zybura M., *Process Control and Power Systems for Electrochemical-Erosion Sinking (ELESIN)*, Proceedings of ISEM XVI, Shanghai, China, 389 – 392.
- [7] SUTOWSKI P., NADOLNY K., 2010, *Zastosowania sygnału emisji akustycznej do oceny przebiegu procesu szlifowania otworów*, Podstawy i Technika Obróbki Ściernej. XXXIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Łódź 2010 pod redakcją Andrzeja Gołąbczaka i Bogdana Kruszyńskiego. ISSN 83 – 9200269 – 4 – 2. Monografia Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, 269-278.
- [8] WILK W., MIELNICKI W., 2011, *Modułowa szlifierka ściernio-elektroerozyjna MESO 25 CNC*. Mechanik, 84/10, 778-781.
- [9] ZYBURA M. SKRABALAK G., 2011, *Obróbka elektrochemiczno-elektroerozyjna materiałów trudnoobrabialnych*, Mechanik, 3, 208-212

ELECTRO – EROSION, ABRASIVE, ABRASIVE – ELECTRO – EROSION PROCESSES REALIZED
BY ONE TOOL MACHINE

The paper presents some results of our research which led to the construction and manufacturing of tool grinding machine MESO25CNC. It is an innovative solution in the world, because in addition to classical grinding processes, EDM dressing and profiling wheels, used by companies such as: VOLLMER and WALTER, allows applying the abrasive – electro – erosion process for forming the working surfaces of various types of cutting tools including diamond PCD, carbide and others inserts.