

WYGŁADZANIE POWIERZCHNI IMPULSOWĄ OBRÓBKĄ ELEKTROCHEMICZNĄ

Adam RUSZAJ, Sebastian SKOCZYPIEC, Maria CHUCHRO, Jan CZEKAJ,
Józef DZIEDZIC,

Zakład Niekonwencjonalnych Technologii Produkcyjnych, Instytut Zaawansowanych
Technologii Wytwarzania

Konwencjonalna obróbka ECM z zastosowaniem stałego prądu umożliwia otrzymanie powierzchni o chropowatości $Ra \sim 0,5 - 1,0 \mu m$, co w większości przypadków jest zadowalające. Jednak w przypadku niektórych elementów (np. form wtryskowych) wymagania dotyczące chropowatości są większe ($Ra < 0.1 \mu m$). Możliwość uzyskania takiej chropowatości powierzchni stwarza zastosowanie elektrochemicznej obróbki impulsowej. Fragment badań tego procesu przedstawiono w niniejszym referacie.

Słowa kluczowe: elektrochemiczna obróbka impulsowa, wygładzanie

1. WPROWADZENIE

Dokładność i jakość powierzchni po obróbce elektrochemicznej rośnie wraz ze zmniejszeniem się grubości szczeliny międzyelektrodowej. Realizacja procesu drążenia przy małych grubościach szczeliny międzyelektrodowej ograniczona jest między innymi przyrostem koncentracji objętościowej wodoru oraz przyrostem temperatury, co zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia zwarć i konieczność przerywania procesu. Aby usunąć ograniczenia związane z procesami usuwania ciepła i produktów reakcji elektrodowych z obszaru obróbki, proces jest przerywany na pewien czas, niezbędny do przepłukania szczeliny [2, 3, 4, 5]. Przerwa pomiędzy impulsami lub pakietami impulsów jest tak dobrana, aby w czasie jej trwania usunąć ciepło i produkty reakcji elektrodowych. W zależności od rozkładów w czasie impulsów napięcia i prędkości ruchu elektrody, mogą być realizowane różne warianty obróbki impulsowej. W opisanych badaniach wybrano wariant, w którym elektroda przesuwana jest ruchem jednostajnym ciągłym.

2. KONCEPCJA I ZAKRES BADAŃ

Badania procesu PECM przeprowadzono z wykorzystaniem obrabiarki EOCA 40 wyposażonej w specjalny zasilacz impulsowy. Układ sterowania EOCA 40 umożliwił realizację badań dla najprostszego wariantu gdy elektroda przesuwana jest ruchem jednostajnym ciągłym. W tym przypadku szczególną uwagę zwrócono na

dobór wartości czasu impulsu i czasu przerwy. Dla zadanego czasu impulsu czas przerwy należy tak dobrać aby przed kolejnym impulsem usunąć z obszaru obróbki ciepło wytworzone w wyniku przepływu prądu elektrycznego podczas impulsu poprzedniego. Ważnym zagadnieniem jest zapewnienie optymalnego przepływu elektrolitu przez obszar obróbki. Jakikolwiek zakłócenia mogą spowodować pogorszenie jakości powierzchni. W oparciu o analizę zjawisk zachodzących w procesie PECM zaplanowano i przeprowadzono badania doświadczalne. Wyróżniono następujące grupy czynników:

Czynniki badane:

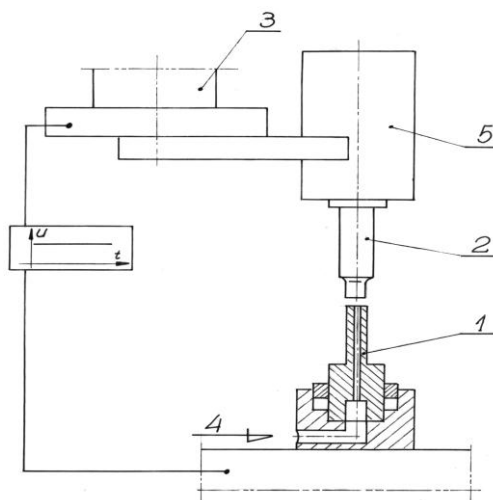
napięcie międzyelektrodowe: $U = 15 - 23 \text{ V}$, prędkość przesuwu elektrody roboczej: $v_f = 0.1 - 0.9 \text{ mm/min}$, czas impulsu napięcia: $1 - 9 \text{ ms}$, czas przerwy: $1 - 5 \text{ ms}$.

Czynniki wynikowe:

parametry chropowatości powierzchni R_a i $R_z \text{ } \mu\text{m}$] grubość szczeliny międzyelektrodowej w chwili końcowej obróbki $S_k \text{ [mm]}$, wydajność obróbki $V_w \text{ [mm}^3\text{/min]}$, natężenie prądu w impulsie $I_{\text{imp}} \text{ A}$.

Czynniki ustalone:

kształt i wymiary elektrod oraz wielkość powierzchni obrabianej $F = 175 \text{ mm}^2$, materiał obrabiany: stal NC6, materiał elektrody roboczej: mosiądz, elektrolit: 15% wodny roztwór NaNO_3 , temperatura elektrolitu 20°C , początkowa grubość szczeliny międzyelektrodowej: $S = 0.2 \text{ mm}$, głębokość drążenia : $h = 1.7 \text{ mm}$.



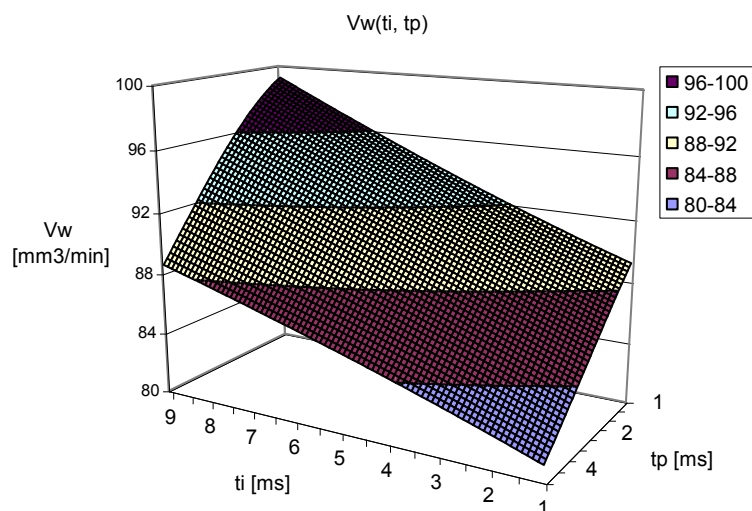
Rys. 1. Schemat stanowiska do badań procesu drążenia PECM; 1 – próbka do badań, 2 – elektroda robocza, 3 – płyta narzędziowa EOCA 40, 4 – doprowadzenie elektrolitu, 5 – głowica

Jako model obiektu badań przyjęto sieć neuronową o charakterystyce przedstawionej w [1, 4]. W rozważanym przypadku drążenia swobodnego walcowa elektroda robocza przemieszcza się z prędkością v_f w kierunku przedmiotu obrabianego (Rys.1). Elektrolit jest doprowadzany do szczeliny przez otwór wykonany w próbce. Do szczeliny

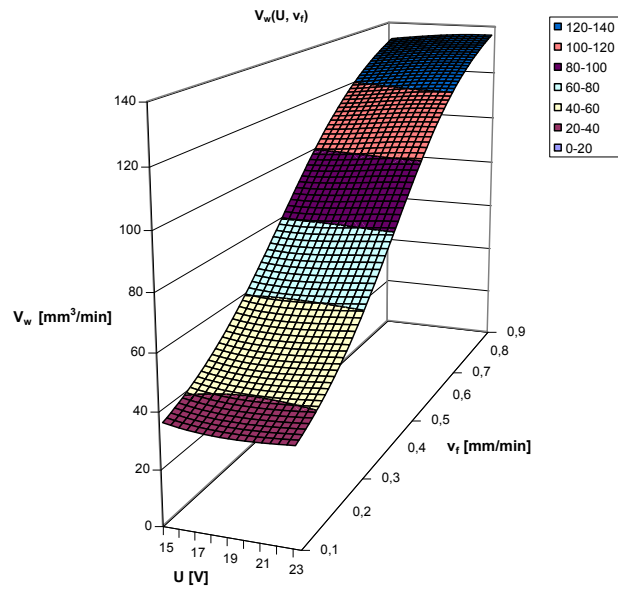
dostarczane są impulsy napięcia o odpowiednio dobranym czasie impulsu i czasie przerwy. Po pewnym czasie proces przechodzi ze stanu nieustalonego w stan quasiustalony charakteryzujący się tym, że zjawiska zachodzące w szczelinie podczas każdego okresu impulsu napięcia będą powtarzać się cyklicznie. Z uwagi na to, że chwilowa wartość gęstości prądu w impulsie jest większa niż w drażeniu z prądem stałym, a wpływ koncentracji produktów roztwarzania i ciepła wydzielającego się w szczelinie na proces jest minimalny istnieje możliwość uzyskania większej dokładności i lepszej jakości powierzchni obrabianej.

3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

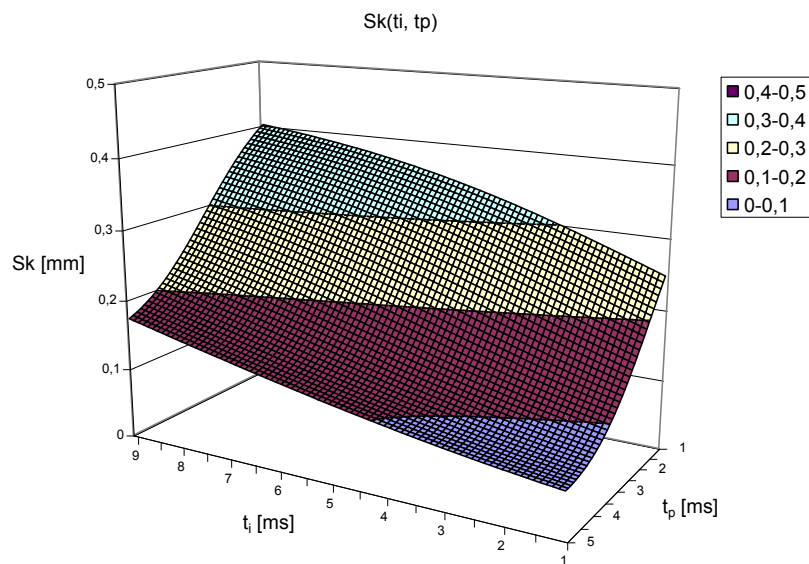
Wyniki badań przedstawiono w postaci wykresów otrzymanych na podstawie funkcji obiektu badań w postaci sieci neuronowej. Wydajność obróbki (Rys. 2) zgodnie z oczekiwaniem maleje ze wzrostem czasu przerwy i zmniejszeniem czasu impulsu. Wynika to z faktu, że proces jest realizowany przy mniejszej grubości szczeliny niż w przypadku drażenia prądem stałym. Dlatego chociaż elektroda w każdym przypadku wykonuje taką samą drogę, dla mniejszych wartości czasu impulsu i większych wartości czasu przerwy usuwana jest mniejsza objętość materiału obrabianego. Wydajność w rozważanym przypadku zależy przede wszystkim od prędkości przesuwu elektrody (Rys.3).



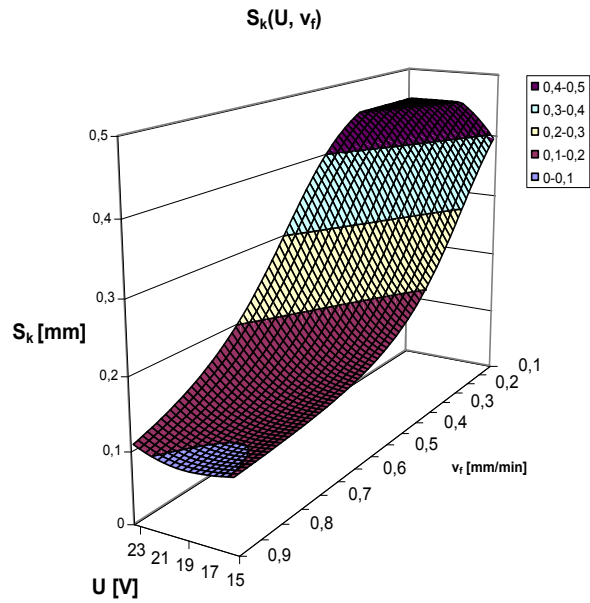
Rys. 2. Zależność wydajności obróbki $V_w=f(t_i, t_p)$ dla prędkości przesuwu elektrody $v_f=0.5 \text{ mm}/\text{min}$ i napięcia międzyelektrodowego $U=19 \text{ V}$.



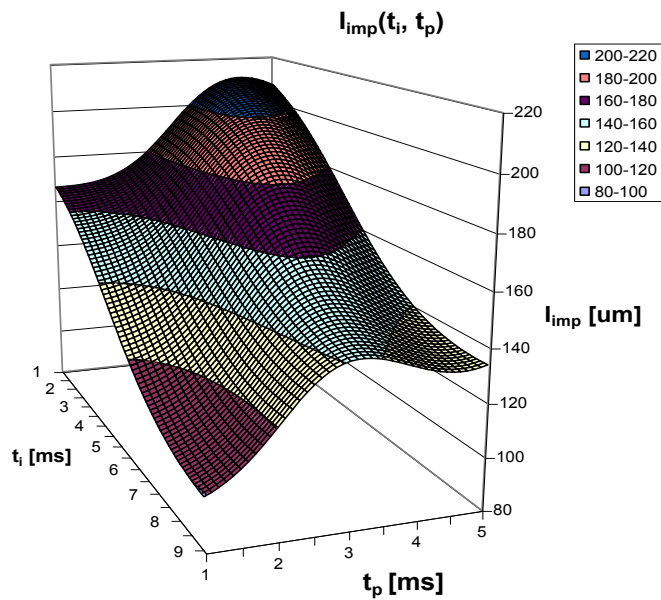
Rys. 3. Zależność wydajności obróbki $V_w=f(v_f,U)$ dla czasu impulsu $t_i = 5$ ms i czasu przerwy $t_p = 3$ ms.



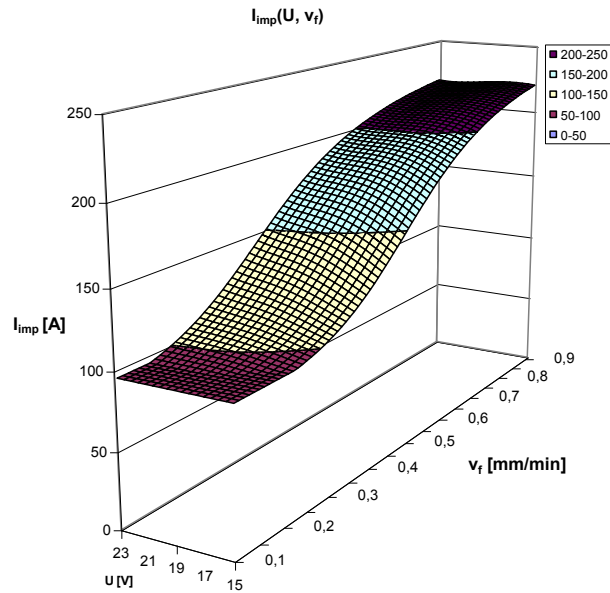
Rys. 4. Zależność końcowej grubości szczeliny $S_k=f(t_i, t_p)$ dla prędkości przesuwu elektrody $v_f = 0.5$ mm/min i napięcia międzyelektrodowego $U = 19$ V.



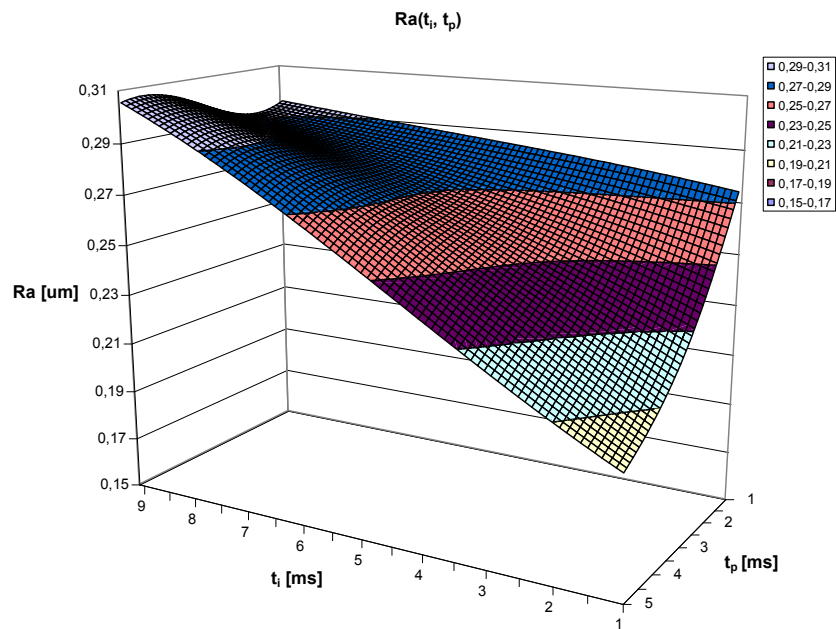
Rys. 5. Zależność końcowej grubości szczeliny $S_k=f(v_f, U)$ dla czasu impulsu $t_i = 5$ ms i czasu przerwy $t_p = 3$ ms.



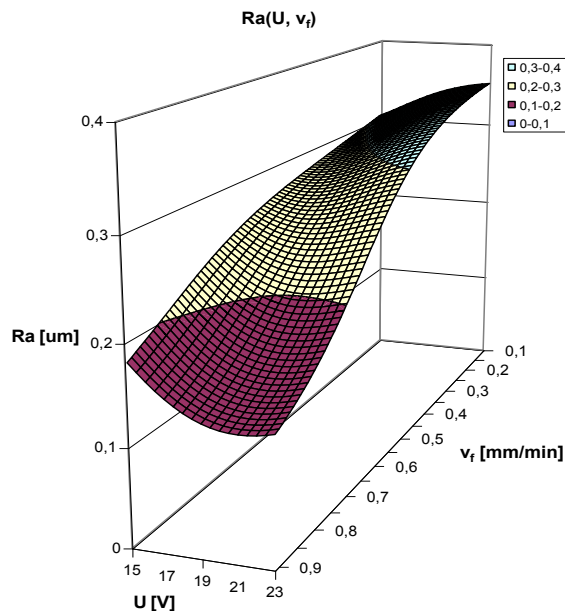
Rys. 6. Zależność natężenia prądu w impulsie $I_{imp}=f(t_i, t_p)$ dla prędkości przesuwu elektrody $v_f = 0.5$ mm/min i napięcia międzyelektrodowego $U = 19$ V.



Rys. 7. Zależność natężenia prądu w impulsie $I_{imp} = f(v_f, U)$ dla czasu impulsu $t_i = 5$ ms i czasu przerwy $t_p = 3$ ms.



Rys. 8. Zależność parametru chropowatości powierzchni $Ra = f(t_i, t_p)$ dla prędkości przesuwu elektrody $v_f = 0.5$ mm/min, $U = 19$ V.



Rys.9. Zależność parametru chropowatości powierzchni $Ra=f(v_f, U)$ dla czasu impulsu $t_i = 5$ ms i czasu przerwy $t_p = 3$ ms.

Jak już wspomniano powyżej proces obróbki impulsowej jest realizowany przy mniejszej grubości szczeliny międzyelektrodowej, która maleje ze zmniejszeniem czasu impulsu i wzrostem czasu przerwy (Rys. 4). Decydujący wpływ na grubość szczeliny ma jednak prędkość przesuwu elektrody (Rys. 5).

Podstawową zaletą PECM jest możliwość uzyskania dużej wartości natężenia prądu (gęstości) w czasie impulsu napięcia. Dzięki temu można osiągnąć małą chropowatość powierzchni obrabianej. W niniejszych badaniach natężenie prądu w impulsie zmienia się w przedziale 140 – 200 A (Rys. 6). Większe natężenie prądu w impulsie można osiągnąć dla większej prędkości przesuwu elektrody (Rys. 7). Stosunkowo duża wartość natężenia (gęstości) prądu przy zadowalających warunkach przepływu elektrolitu znajduje odzwierciedlenie w wartości parametrów chropowatości powierzchni. I tak najmniejsze wartości Ra uzyskano dla najmniejszej wartości czasu impulsu i największej wartości czasu przerwy i prędkości przesuwu elektrody (Rys. 8, Rys. 9).

Wykorzystując funkcję obiektu badań w postaci sieci neuronowej dobrano optymalne wartości: czasu impulsu (1 ms), czasu przerwy (3 ms), napięcia międzyelektrodowego (19 V) oraz prędkości przesuwu elektrody (0.5 mm/min). Uzyskana dla tych wartości parametrów wartość Ra wynosiła $\sim 80 - 90$ nm. Wynika stąd wniosek, że w celu dalszego zmniejszenia chropowatości powierzchni należy stosować czasy impulsu napięcia mniejsze od 1 ms oraz poprawić warunki hydrodynamiczne w szczelinie. Z tego względu dalsze badania będą prowadzone dla czasu impulsu z przedziału (0.100 – 0.900 ms). W celu poprawy warunków hydrodynamicznych przewiduje się wprowadzenie drgań ultradźwiękowych elektrody.

4. PODSUMOWANIE

Jedną z możliwości spełnienia wymagań w zakresie jakości powierzchni niektórych matryc, kokil czy form wtryskowych ($Ra \ll 0.1 \mu\text{m}$) jest zastosowanie elektrochemicznej obróbki impulsowej. W warunkach badań dla czasu impulsu ~ 1 ms uzyskano wartość $Ra \sim 90$ nm. Istnieją przesłanki wynikające z dotychczasowych badań, że dalsze zmniejszenie chropowatości powierzchni będzie możliwe przez zastosowanie czasu impulsu napięcia poniżej 1 ms oraz poprawę warunków hydrodynamicznych np. przez wprowadzenia drgań ultradźwiękowych elektrody. Zastosowanie drgań ultradźwiękowych elektrody ogranicza jej wymiary i masę i wymusza zastosowanie wariantu obróbki uniwersalną elektrodą (tzw. frezowanie ECM). Należy jednak pamiętać, że zmniejszenie czasu impulsu i zapewnienie optymalnych warunków hydrodynamicznych nie zawsze umożliwi uzyskanie niewielkiej wartości Ra . W równym stopniu zależeć to będzie od struktury metalograficznej i składu chemicznego obrabianego materiału.

LITERATURA

1. Gawlik J., Karbowski K., Ruszaj A., : The neural - genetic optimisation of the electrochemical machining. Computer Integrated Manufacturing, Vol. 1, WNT Warszawa, r. 1999, s. 166 -173.
2. Kozak J., Rajurkar K.P., Wei B: Modelling and analysis of pulse electrochemical machining (PECM). Transactions of ASME, 1994, vol. 116, Nr 3, str. 316-323.
3. Łubkowski K.: Stany krytyczne w obróbce elektrochemicznej. Prace Nauk. Pol. Warsz., Ser. Mechanika, 1996, Nr 163, 115 S.
4. Ruszaj A.: Niekonwencjonalne metody wytwarzania elementów maszyn i narzędzi. IOS. Kraków, 1999 R.
5. Sedykin F. V.: Razmernaja Elektrochimizeskaja Obrabotka Detalej Maszin. Izd. Maszinstroenie, Moskva 1976.

SURFACE SMOOTHING USING PULSE ELECTROCHEMICAL MACHINING PROCESS

Summary

The purpose of electrochemical finishing is to decrease surface roughness and remove surface layer damaged during former rough machining operations. Classical ECM with constant current gives possibility to obtain surface roughness $Ra \sim 0.5 - 1.0 \mu\text{m}$. In some special applications (i.e. injection moulds) it is necessary to obtain surface roughness parameters smaller than $0.1 \mu\text{m}$. In the paper the results of PECM experimental investigations have been presented. Experimental tests results proved that using PECM it is possible to obtain surface roughness parameter $Ra < 0.1 \mu\text{m}$.