

Adam RUSZAJ¹
Sebastian SKOCZYPIEC¹
Maria CHUCHRO¹

ELEKTROCHEMICZNE I ELEKTROCHEMICZNO - HYBRYDOWE METODY OBRÓBKI WYKOŃCZENIOWEJ POWIERZCHNI SWOBODNYCH

W wielu przypadkach obróbki wykończeniowej powierzchni swobodnych efektywne może być zastosowanie obróbki elektrochemicznej, która umożliwia zmniejszenie chropowatości powierzchni oraz usunięcie warstwy wierzchniej uszkodzonej w poprzedzających operacjach (np. EDM, frezowanie). W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania obróbki elektrochemicznej i elektrochemiczno-hybrydowej do obróbki wykończeniowej powierzchni swobodnych. Omówiono wygładzanie elektrochemiczne w operacjach drążenia i obróbki uniwersalną elektrodą. Jako metody elektrochemiczno – hybrydowe zaprezentowano obróbkę elektrochemiczno-ścierną (ECG) oraz obróbkę elektrochemiczną wspomaganą ultradźwiękami.

1. WPROWADZENIE

Celem wygładzania elektrochemicznego jest zmniejszenie chropowatości powierzchni oraz usunięcie warstwy wierzchniej uszkodzonej w poprzedzających operacjach np. takich jak: obróbka elektroerozyjna, frezowanie klasyczne itp. Ponieważ proces roztwarzania elektrochemicznego nie wprowadza istotnych zmian w warstwie wierzchniej obrabianego materiału, optymalne zaprojektowanie procesu pozwala na otrzymanie powierzchni o jednorodnej chropowatości i bez dodatkowych defektów, które mogłyby osłabić wytrzymałość zmęczeniową przedmiotu obrabianego.

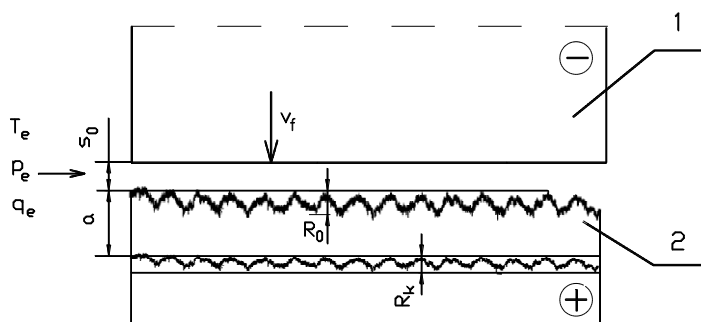
2. WYGŁADZANIE ELEKTROCHEMICZNE

Struktura i właściwości warstwy wierzchniej - nadawane jej w wyniku obróbki, zależą przede wszystkim od rodzaju zjawisk w wyniku których usuwany jest naddatek oraz struktury metalograficznej materiału obrabianego. Szczególne miejsce obróbki elektrochemicznej wśród obróbek wykańczających związane jest z faktem, że nie zmienia ona istotnie struktury, składu chemicznego oraz nie wprowadza dodatkowych naprężeń do warstwy wierzchniej obrabianego materiału. Umożliwia to efektywne i ekonomiczne

wykorzystanie obróbki elektrochemicznej jako obróbki wykańczającej w tych przypadkach, gdy jest konieczne szybkie zmniejszenie chropowatości oraz częściowe lub całkowite usunięcie warstwy wierzchniej przedmiotu obrobionego wstępnie innymi metodami.

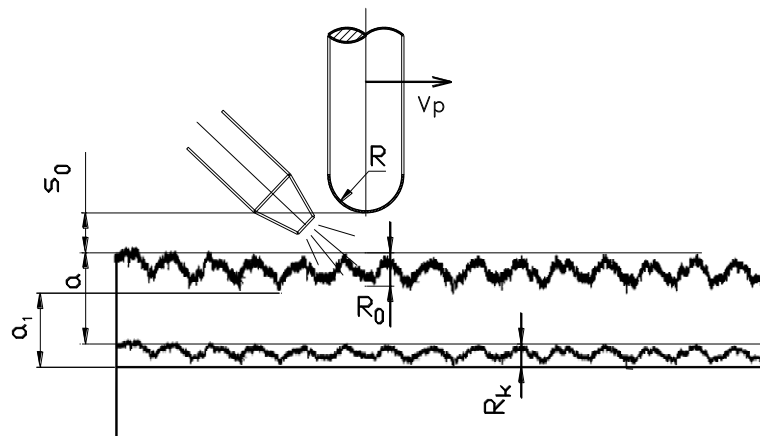
Najbardziej rozpowszechnioną odmianą kinematyczną obróbki elektrochemicznej bezstykowej jest drążenie elektrochemiczne, gdzie kształt końcowy obrabianego przedmiotu uzyskiwany jest poprzez odwzorowanie kształtu i wymiarów elektrody roboczej (Rys. 1). Elektroda lub przedmiot obrabiany wykonuje ruch posuwowy z prędkością v_p w kierunku wzajemnego zbliżenia się elektrod, w wyniku czego powierzchnia obrabiana jest skorygowanym o grubość szczeliny międzyelektrodowej negatywem elektrody roboczej. W przypadku gdy jest usuwany stosunkowo nieduży naddatek, jak to ma miejsce w obróbce wykończeniowej (do około 1 mm) proces może odbywać się przy nieruchomej elektrodzie ($v_p = 0$ mm/min).

Z punktu widzenia operacji wygładzania ważne są następujące wskaźniki technologiczne: grubość usuwanego nadatku oraz wybrane parametry struktury geometrycznej powierzchni obrobionej (najczęściej są to takie parametry jak R_a , R_z lub falistość). Klasyczne drążenie elektrochemiczne umożliwia otrzymanie dokładności kształtowo - wymiarowej o tolerancji $T = 0.1 \div 0.5$ mm przy chropowatości powierzchni $R_a \sim 0.1 \div 0.3$ μm . Uzyskane wyniki w dużym stopniu zależą od właściwości materiału wygładzanego wynikających ze składu chemicznego i struktury metalograficznej, co wymaga wiedzy o zastosowaniu obróbki elektrochemicznej do operacji wykończeniowych już na etapie projektowania elementu. Należy jednak podkreślić, że ostateczna struktura warstwy wierzchniej zależy od warunków roztwarzania elektrochemicznego w warstwie przyanodowej. Można je głównie kształtować przez właściwości fizyko-chemiczne elektrolitu, parametry kinematyczne i elektryczne obróbki oraz warunki hydrodynamiczne w warstwie przysiennej (przyanodowej). Zapewnienie odpowiedniego przepływu elektrolitu dla dużych powierzchni, przy grubości szczeliny międzyelektrodowej $< 0,5$ mm jest bardzo utrudnione, dlatego też drążenie elektrochemiczne może być efektywnie stosowane w operacjach wygładzania niewielkich (< 50 cm²) i niezbyt skomplikowanych powierzchni.



Rys. 1. Schemat wygładzania elektrochemicznego powierzchni w procesie drążenia; 1 - elektroda robocza, 2 - przedmiot obrabiany, a - naddatek na obróbkę, v_f - prędkość przesuwu elektrody roboczej, R_0 - chropowatość początkowa powierzchni, R_k - chropowatość końcowa po procesie wygładzania.

Fig. 1. Scheme of electrochemical finishing in case of sinking: 1 – electrode tool, 2 – workpiece, a – machining allowance, v_f – electrode feed rate, R_0 – starting workpiece roughness, R_k – roughness after finishing.



Rys. 2. Schemat wygładzania powierzchni uniwersalną elektrodą w kształcie czaszy kulistej; v_p - prędkość przesuwu uniwersalnej elektrody roboczej ponad powierzchnią obrabianą, a - naddatek usunięty z wierzchołków nierówności, a_1 - naddatek usunięty z dna nierówności.

Fig. 2. Scheme of electrochemical finishing with universal ball-ended electrode tool; v_p - electrode velocity over the machined surface, a - allowance machined from roughness peaks, a_1 - allowance machined from roughness bottoms.

W przypadku drażenia elektrochemicznego odchylenie standardowe grubości szczeliny międzyelektrodowej (czyli pośrednio dokładność obróbki) zależy przede wszystkim od wielkości powierzchni obrabianej. Im mniejsza powierzchnia obrabiana tym mniejsze zmiany warunków roztwarzania i grubości szczeliny, a wyraźnie większa dokładność odwzorowania i lepsza jakość powierzchni po obróbce.

Fakt ten, bezużyteczny w warunkach drażenia, może być wykorzystany w przypadku obróbki elektrodą uniwersalną o prostym kształcie i powierzchni wyraźnie mniejszej od powierzchni obrabianej. Elektroda, najczęściej z częścią roboczą w kształcie czaszy kulistej o promieniu zaokrąglenia $R = 1 - 5$ mm, przemieszcza się ponad powierzchnią obrabianą wzdłuż odpowiednio zaprojektowanej trajektorii, a elektrolit dostarczany jest dyszą sprzężoną z elektrodą roboczą (Rys. 2) lub przez otwór wykonany w elektrodzie [1]. W zastosowaniu do operacji obróbki wykończeniowej, obróbka elektrochemiczna o złożonej kinematyce elektrod umożliwia przede wszystkim znaczne skrócenie oraz uproszczenie etapu projektowania procesu technologicznego, co prowadzi do „uelastycznienia” projektowania i realizacji procesu technologicznego przy znacznie niższych kosztach.

W obróbce elektrodą uniwersalną można zastosować prąd stały lub impulsowy, drgania elektrody (np. z częstotliwością ultradźwiękową), czy jako narzędzia użyć ściernicy trzpieniowej na osnowie metalicznej. Wówczas uzyskane wyniki są znacznie lepsze niż w przypadku wygładzania elektrodą kształtową w operacji drażenia. Znikają również ograniczenia wynikające z wielkości i kształtu (częściowo) powierzchni obrabianej. Zastosowanie drgań ultradźwiękowych czy zastosowanie ściernic trzpieniowych na osnowie metalicznej zwiększa niezawodność usuwania naddatku, szczególnie w przypadkach, gdy pojawiają się ograniczenia pasywacyjne lub gdy na powierzchni obrabianej pojawiają się wtrącenia niemetaliczne

3. ELEKTROCHEMICZNO - HYBRYDOWE METODY OBRÓBK WYKOŃCZENIOWEJ POWIERZCHNI SWOBODNYCH

3.1 Istota procesów hybrydowych

Rosnące zapotrzebowanie przemysłu na nowe materiały wymusza rozwój i poszukiwanie nowych, bardziej efektywnych sposobów obróbki. Umiejętny dobór oddziaływań mechanicznych, cieplnych i chemicznych na obrabiany materiał, w wielu przypadkach tworzy korzystne rozwiązania technologiczne. Jednoczesne (tzn. w jednym zabiegu obróbkowym) wprężenie w strefę oddziaływania na obrabiany materiał różnych lub w różny sposób wytworzonych form energii prowadzi do tzw. procesu hybrydowego [5, 6, 7]. Wśród wprężanych do innych procesów oddziaływań szczególne miejsce zajmują promieniowanie laserowe, drgania ultradźwiękowe, ścierniwa oraz erozja elektryczna, elektrochemiczna czy chemiczna (przykłady możliwych kombinacji pokazano na Rys. 3). Używane są one do wspomaganie i intensyfikowania istniejących procesów wytwarzania.

| Główna forma energii | Możliwość kombinacji Forma energii dodatkowej | | | Przykłady procesów technologicznych |
|----------------------|--|-----------|-----------|--|
| | mechaniczna | termiczna | chemiczna | |
| mechaniczna | ○ | △ | × | <div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 10px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-right: 5px;"></div> Usuwanie przez spalanie wiązką laserową </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 15px; margin-right: 5px;"></div> Skrawanie z lokalnym podgrzewaniem </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 15px; border-radius: 50%; margin-right: 5px;"></div> Skrawanie wspomagane ultradźwiękami </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 5px;">×</div> Dalsze możliwości, jak np. <ul style="list-style-type: none"> • Spawanie laserowe wspomagane indukcją • Elektroerozja wspomagana ultradźwiękami • Elektrochemia wspomagana ultradźwiękami • Obróbka elektrochemiczno-ścierna itp. </div> </div> |
| termiczna | × | × | □ | |
| chemiczna | × | × | × | |

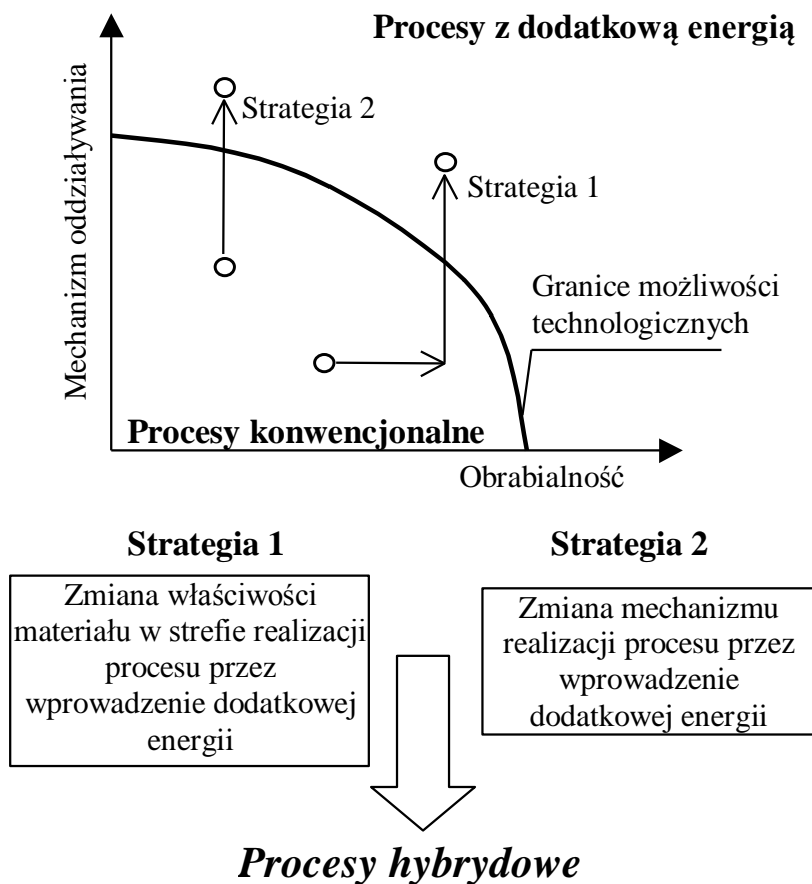
Rys. 3. Możliwości kombinacji energii w procesach hybrydowych [3].

Fig. 3. Possibilities of different energy type combination into hybrid machining processes [3].

Metody obróbki hybrydowej możemy podzielić na dwie grupy [5, 6]:

- metody, w których wszystkie łączone oddziaływania uczestniczą bezpośrednio w usuwaniu nadmiaru obróbkowego. Do tej grupy możemy zaliczyć np. szlifowanie elektrochemiczne czy obróbkę elektroerozyjno – elektrochemiczną (strategia 1 na Rys. 4)
- metody, w których tylko jedno z łączonych oddziaływań bezpośrednio usuwa nadmiar obróbkowy, natomiast pozostałe oddziaływania korzystnie zmieniają warunki usuwania nadmiaru poprawiając obrabialność czy wskaźniki technologiczne procesu (strategia 2 na Rys. 4). Do tej grupy należy badany w ramach pracy proces obróbki elektrochemicznej drgająca z częstotliwością ultradźwiękowa elektrodą

uniwersalną. Naddatek usuwany jest w wyniku roztwarzania elektrochemicznego, natomiast drgania ultradźwiękowe elektrody roboczej powodują korzystną zmianę warunków, w których zachodzi proces roztwarzania.



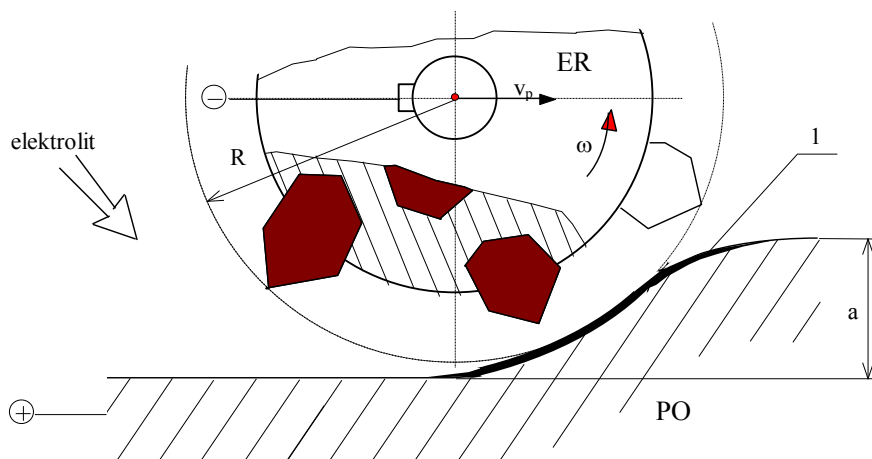
Rys. 4. Propozycje strategii umożliwiających pokonanie obecnych granic możliwości technologicznych [3].

Fig. 4. Proposition of strategies of hybrid process development [3].

Wśród istniejących i rozwijanych metod hybrydowych, znaczące miejsce zajmują metody oparte na roztwarzaniu elektrochemicznym przedmiotu obrabianego. Pozytywny efekt wprowadzenia oddziaływań elektrochemicznych to zmiana gęstości dyslokacji w warstwie powierzchniowej przedmiotu obrabianego ułatwiająca odkształcenia plastyczne oraz redukująca wytrzymałość oraz twardość usuwanego materiału [4]. Oddziaływania elektrochemiczne mogą również wpływać na zmiany warunków fizycznych w strefie obróbki. Przykładowo, gaz będący produktem reakcji roztwarzania, może warunkować powstawanie wyładowań elektrycznych w elektrolicie [6]. Poniżej zostanie przedstawiona charakterystyka dwóch metod hybrydowych opartych na obróbce elektrochemicznej: obróbki elektrochemiczno ścierniej (ECG) oraz obróbki elektrochemicznej wspomagananej ultradźwiękami (USECM). Obszar zastosowania obu tych metod to obróbka wykańczająca powierzchni krzywoliniowych. Zarówno ECG jak i USECM może być realizowana w wielu wariantach kinematycznych, co predysponuje te obie metody do obróbki powierzchni swobodnych.

3.2. Obróbka elektrochemiczno ścierna.

W procesie obróbki elektrochemiczno-ścierniej nadatek usuwany jest w wyniku roztwarzania elektrochemicznego i mikroskrawania ziarnami ściernymi. Procesy te wspomagają się wzajemnie. Skrawanie ziarnami ściernymi działa depasywująco na powierzchnię obrabianą i ułatwia dostęp elektrolitu do jeszcze nieroztworzonego materiału. Z kolei w procesie mikroskrawania występują mniejsze niż w klasycznym szlifowaniu siły, co zwiększa żywotność ziaren ściernych, a tym samym i żywotność ściernicy [9, 11]. Udział w procesie obróbki roztwarzania elektrochemicznego i szlifowania klasycznego zależy od parametrów procesu, a w szczególności od siły docisku ściernicy do przedmiotu obrabianego (w przypadku docisku elastycznego) lub grubości usuwanego nadatku zdefiniowanego położeniem czoła ściernicy w stosunku do materiału obrabianego (w przypadku sztywnego zamocowania ściernicy).



Rys. 5. Schemat obszaru obróbki przy szlifowaniu elektrochemicznym; v_p - prędkość przesuwu wzdłużnego ściernicy, ω - prędkość obrotowa ściernicy, PO - przedmiot obrabiany, ER - elektroda robocza, l - warstwa roztwarzana.

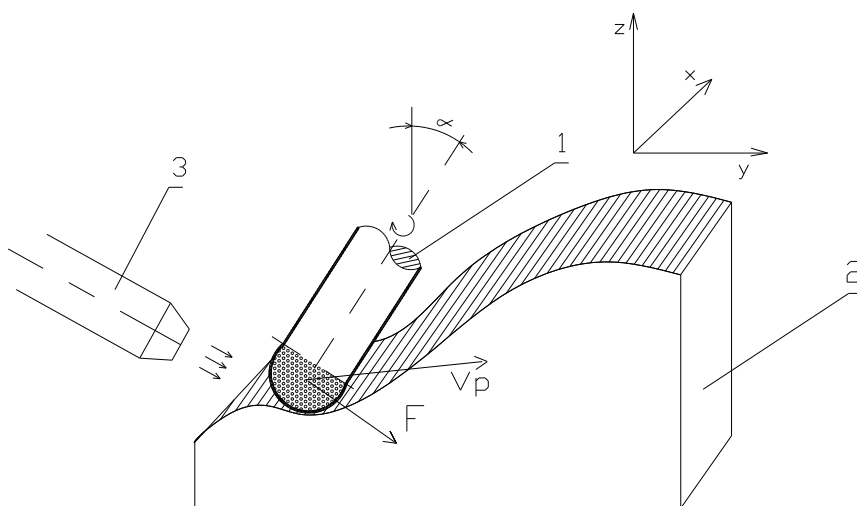
Fig. 5. Scheme of machining area in electrochemical grinding process; v_p - grinder feed rate, ω - grinder rotational speed, PO - workpiece, ER - electrode tool (grinder), l - electrochemically dissolved layer.

W procesie szlifowania elektrochemicznego (Rys. 5) ziarna skrawające pod wpływem siły dociskającej narzędzie do przedmiotu obrabianego zagłębiają się w materiał obrabiany i usuwają pewną część nadatku. Szczelinę pomiędzy spoiwem metalowym narzędzia, a przedmiotem obrabianym utrzymują ziarna ścierne. Szczelina ta jest wypełniona elektrolitem i dlatego przy przepływie prądu elektrycznego następuje elektrochemiczne roztwarzanie materiału obrabianego. Ziarna ścierne usuwają produkty roztwarzania oraz częściowo materiał rodzimy przedmiotu obrabianego.

Udział poszczególnych procesów w usuwaniu nadatku zależy od siły docisku narzędzia do przedmiotu obrabianego, prędkości ruchu obrotowego ściernicy, prędkości posuwu, ostrości i wymiarów ziaren ściernych oraz napięcia międzyelektrodowego. Zużycie narzędzia ściernego jest istotnie mniejsze niż przy tradycyjnej obróbce ścierniej. Uwidacznia się to szczególnie przy obróbce materiałów trudnoskrawalnych. W miarę upływu czasu na powierzchni ściernicy pomiędzy ziarnami ściernymi osadzają się produkty obróbki i

zmniejsza się udział roztwarzania elektrochemicznego. Na skutek tego rośnie moment obrotowy sygnalizując konieczność oczyszczenia ściernicy. Można to zrobić automatycznie, przełączając na pewien czas biegunowość elektrod, lub wprowadzając wyładowania elektroerozyjne (EDM) pomiędzy spoiwem ściernicy, a dodatkową elektrodą. Dzięki stosunkowo dużej wydajności szlifowanie i gładzenie elektrochemiczne może być stosowane w przypadku konieczności usunięcia znacznie większych grubości nadatku niż w szlifowaniu i gładzeniu klasycznym.

W zastosowaniach do obróbki wykończeniowej powierzchni swobodnych (wnęki, matryce itp.) najbardziej racjonalnym rozwiązaniem jest zastosowanie uniwersalnych ściernic trzpieniowych (Rys. 6) poruszających się wzdłuż odpowiednio zaprojektowanej trajektorii. Proces taki, realizowany na odpowiednio zaprojektowanej szlifierce wieloosiowej cechuje się dużą elastycznością, co znacznie poszerza możliwości zastosowania w operacjach obróbki wykończeniowej. Przykładowa koncepcja prototypowego rozwiązania szlifierki elektrochemicznej do wygładzania powierzchni swobodnych została przedstawiona w [2].



Rys. 6. Schemat obróbki uniwersalną ściernicą powierzchni krzywoliniowych, 1 - uniwersalna ściernica, 2 - przedmiot obrabiany, 3 – doprowadzenie elektrolitu.

Fig. 6. Scheme of electrochemical grinding with universal Ball – ended tool; 1 – electrode tool (grinder), 2 – workpiece, 3 – electrolyte supply nozzle.

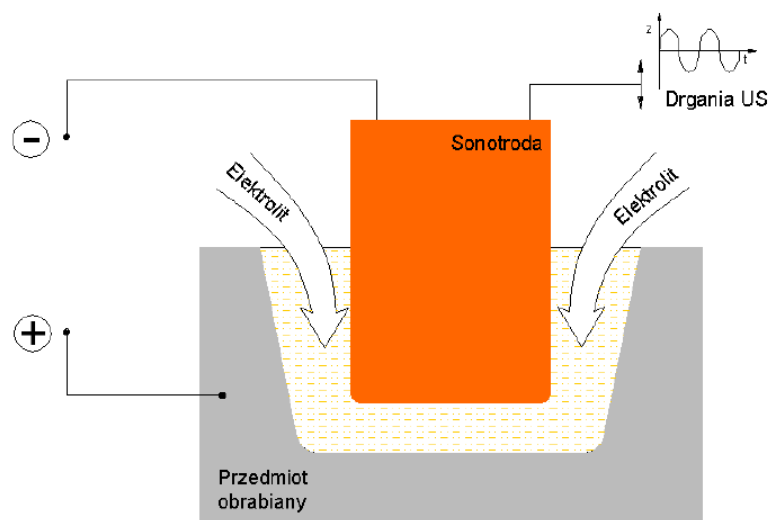
3.3. Obróbka elektrochemiczna wspomagana drganiami ultradźwiękowymi (USECM).

W obróbce elektrochemicznej wspomaganej ultradźwiękami mechanizm usuwania nadatku oparty jest na roztwarzaniu elektrochemicznym, natomiast celem wprowadzenia drgań ultradźwiękowych elektrody roboczej jest zmiana przebiegu procesu roztwarzania elektrochemicznego (ultradźwięki nie uczestniczą bezpośrednio w usuwaniu nadatku).

Jak przedstawiono w [10] drgania ultradźwiękowe elektrody powodują zwiększenie szybkości roztwarzania oraz zwiększenie szybkości odprowadzania produktów reakcji elektrodowych ze szczeliny międzyelektrodowej. Wytworzone przez ultradźwięki pole ciśnienia i prędkości powoduje mieszanie się elektrolitu co doprowadza do wyrównania koncentracji jonów, a przy optymalnie dobranych wartościach natężenia drgań może to spowodować nawet całkowite usunięcie polaryzacji stężeniowej. Dzięki powstawaniu przy powierzchni anody mikro - strug następuje zwiększenie intensywności wymiany masy oraz ładunku elektrycznego, co w rezultacie prowadzi do wzrostu prędkości roztwarzania.

Na podstawie dotychczasowych badań przeprowadzonych Zakładzie Niekonwencjonalnych Technologii Produkcyjnych IZTW [8, 10], można stwierdzić że wprowadzenie drgań ultradźwiękowych do szczeliny międzyelektrodowej:

- zmienia przebieg procesu roztwarzania elektrochemicznego, głównie przez zmianę wartości spadku potencjału oraz obrabialności elektrochemicznej
- poprawia ewakuację produktów roztwarzania elektrochemicznego z warstw przyelektrodowych,
- umożliwia zwiększenie wydajności obróbki i poprawę jakości warstwy wierzchniej przez zmniejszenie chropowatości powierzchni.



Rys. 7. Schemat ideowy obróbki elektrochemicznej drgająca z częstotliwością ultradźwiękową elektrodą roboczą.

Fig. 7. Scheme of electrochemical machining process supported by ultrasonic vibrations.

Ze względu na problemy związane z projektowaniem kształtu elektrody roboczej, która poza wymaganiami związanymi z odwzorowaniem kształtu obrabianego, musi również spełniać kryteria wzmocnienia drgań ultradźwiękowych, zastosowanie USECM ograniczone jest do:

- drążenia niewielkim powierzchni,
- obróbki elektrodą uniwersalną.

Szczególnie w drugim przypadku, zastosowanie ultradźwięków pozwala na skuteczne dostarczenie elektrolitu w strefę obróbki oraz zwiększa niezawodność usuwania nadmiaru na skutek depasywacji powierzchni.

4. PODSUMOWANIE

W referacie przedstawiono zagadnienia związane z zastosowaniem obróbki elektrochemicznej i elektrochemiczno – hybrydowej do wygładzania powierzchni swobodnych.

Przedstawione powyżej rozwiązania technologiczne mogą znaleźć przede wszystkim zastosowanie w operacjach wykańczających powierzchni zgrubnie ukształtowanych obróbkami wysokowydajnymi (frezowanie, obróbka elektroerozyjna), przynosząc znaczne korzyści techniczno - ekonomiczne wiążące się z:

- eliminacją operacji ślusarskich (ręcznymi szlifierkami, wirującymi pilnikami itp.),
- możliwością obróbki materiałów trudnoskrawalnych (np. matryc hartowanych po obróbce zgrubnej, kokil z materiałów o zwiększonej żywotności).

LITERATURA

- [1] CHUCHRO M.: *Modelowanie procesu obróbki elektrochemicznej uniwersalną elektrodą kulistą*. Praca doktorska, Politechnika Krakowska, 1998.
- [2] CZEKAJ J, CHUCHRO M., DZIEDZIC J, GAWLIK J., RUSZAJ A., SKOCZYPIEC S.: *Wybrane problemy wygładzania elektrochemiczno - ściernego powierzchni swobodnych*, Wybrane Problemy Obróbki Ściernej, pod redakcją Cz. Niżankowskiego, Bochnia, 2008, Wyd. pol. Krakowskiej, s. 43-52.
- [3] EVERSHEIM W., KLOCKE F., PFEIFER T., WECK M.: *Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik: Aachener Perspektiven*. AWK AACHENER'99 WERKZEUGMASCHINEN KOLLOQUIUM, Aachen, 1999, str. 454.
- [4] KOTLAR M., SZCZERBAK M. V.: *Experimental investigations of abrasive electrochemical grinding*. Elektronnaja Obrabotka Materialov, (4):29–32, 1974.
- [5] KOZAK J.: *Wybrane zagadnienia hybrydowych obróbek erozyjnych*. Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, 16(spec.), str. 59–65, 1996 r.
- [6] KOZAK J., RAJURKAR K. P.: *Hybrid machining process evaluation and development*. Proceedings of The 2nd International Conference on Machining and Measurements of Sculptured Surfaces MMSS'2000, str. 501 – 536, 2000 r.
- [7] OCZOŚ K. E.: *Istota, znaczenie i rozwój hybrydowych procesów obróbki ubytkowej*. Zesz. Nauk. ATR. , *Seria Mechanika.*, 225(46), str. 145–164, 2000 r.
- [8] RUSZAJ A., ZYBURA – SKRABALAK M., ŻUREK R., SKOCZYPIEC S., SKRABALAK G.: *Electrochemicaldrilling supported by electrode ultrasonic vibrations*. Postępy Technologii Maszyn, 27(1), str. 41 – 53, 2003 r.
- [9] RUSZAJ A., CZEKAJ J., CHUCHRO M., SKOCZYPIEC S.: *Badania procesu obróbki elektrochemiczno-ściernego uniwersalną elektrodą*. Obróbka ścierna w technikach wytwarzania, str. 219 – 226, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2005 r.
- [10] SKOCZYPIEC S.: *Badania wspomaganego drganiem ultradźwiękowymi procesu obróbki elektrochemicznej elektrodą uniwersalną*. Praca doktorska, Politechnika Krakowska, 2006.
- [11] ZABORSKI S.: *Elektrochemiczna instensyfikacja obróbki ściernego materiałów trudnoskrawalnych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2000 r.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006, 2007, 2008, 2009 jako projekt badawczy rozwojowy.

ELECTROCHEMICAL AND HYBRID ELECTROCHEMICAL MACHINING METHODS FOR FINISHING OF SCULPTURED SURFACES

In many cases of sculptured surfaces finishing one of the effective solutions is application of electrochemical machining, because of this method gives possibility to reduce surface roughness and to remove surface layer changes generated in previous (shaping) operations (in. EDM, HSC). In the paper, special attention to machining sculptured surfaces, possibilities of electrochemical and selected hybrid-electrochemical methods has been described. The electrochemical sinking and milling with universal electrode has been presented. As a hybrid methods electrochemical – grinding and ultrasonically supported ECM processes have been described.