

Elektrochemiczne kształtowanie długich otworów

Electrochemical machining of long holes

GRZEGORZ SKRABALAK

MARIA ZYBURA

JÓZEF DZIEDZIC

JAN CZEKAJ

TADEUSZ ŚWIĘTEK *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.5-6.80

Międzynarodowa Konferencja IMT 2016

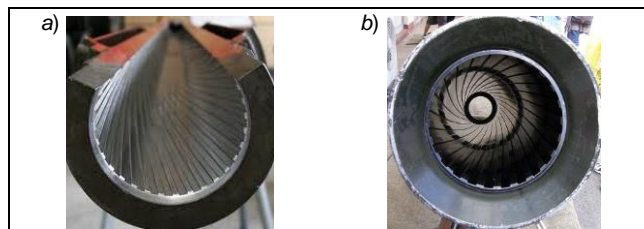
Zaprezentowano wyniki badań związane z elektrochemicznym kalibrowaniem oraz obróbką kształtową otworów. Określono wpływ warunków obróbki na wydajność procesu oraz jakość powierzchni po obróbce elektrochemicznej długich otworów. Wyniki badań wykorzystano do opracowania nowych rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń pozwalających na optymalne prowadzenie procesów drążenia elektrochemicznego długich otworów przelotowych o żądanym kształcie przekroju poprzecznego, według przyjętych kryteriów – wydajności, dokładności wymiarowo-kształtowej i jakości warstwy wierzchniej.

SŁOWA KLUCZOWE: obróbka elektrochemiczna, długie otwory, bruzdowanie elektrochemiczne, wydajność procesu

The paper presents results of experiments of electrochemical calibrating and barrelling of long holes. During performed experiments, there was derived influence of process conditions and machining parameters on the machining process efficiency and surface quality of machined long holes. During manufacturing of final product, two stages of ECM machining are employed: first electrochemical calibrating and secondly final shaping of prepared workpieces. Results of presented researches were used for construction of ECM machines enabling optimal machining of long holes with desired dimensions and shape.

KEYWORDS: electrochemical machining, long holes shaping, machining efficiency, electrochemical barrelling

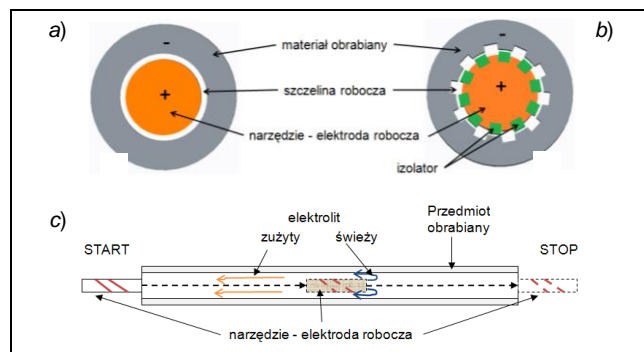
Proces obróbki elektrochemicznej (ECM) charakteryzuje się wysoką wydajnością oraz wysoką jakością powierzchni przedmiotu obrabianego. Podczas procesu obróbki ECM w materiale nie powstają dodatkowe naprężenia, jednocześnie brak zużycia katody (elektrody roboczej) pozwala na jej wielokrotne użycie na potrzeby kształtowania przedmiotu obrabianego. Z uwagi na mechanizm usuwania materiału z przedmiotu obrabianego obróbka elektrochemiczna znajduje zastosowanie podczas obróbki materiałów trudno skrawalnych oraz w przypadku obróbki elementów o skomplikowanej geometrii. Zalety obróbki elektrochemicznej pozwalają stosować proces ECM w celu kształtowania komponentów wykorzystywanych w przemyśle motoryzacyjnym, wydobywczym, lotniczym oraz podczas wytwarzania elementów na potrzeby wojska (rys. 1) [1÷4].



Rys. 1. Przykład zastosowania obróbki elektrochemicznej na potrzeby kształtowania długich otworów – lufa czołgu: a) przekrój [5]; b) widok od przodu [6]

Badania doświadczalne

Podczas realizowanej pracy przeprowadzono serię doświadczeń związanych z elektrochemicznym wygładzaniem oraz bruzdowaniem. Uproszczony schemat obróbki przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Uproszczony schemat: a) procesu polerowania elektrochemicznego; b) bruzdowania elektrochemicznego; c) kinematyki procesów obróbki [1]

Badania doświadczalne prowadzono z wykorzystaniem stanowiska badawczego zbudowanego w oparciu o elektrochemiczną obrabiarkę CNC. Stanowisko wyposażono w zasilacz prądu stałego o maksymalnym napięciu 24 VDC oraz prądzie maksymalnym 2000 A. Zasilacz umożliwił pracę w trybie stałoprądowym lub stałonapięciowym. Przedmiot obrabiany stanowiły próbki, rury o średnicy wewnętrznej 22,7÷22,9 mm i długości 300 mm, wykonane ze stali 30HN2MF. Elektrolit stanowił wodny roztwór NaCl o stężeniu ~12%. Temperaturę elektrolitu stabilizowano w zakresie 25÷30 °C. Elektrody robocze wykorzystywane podczas pracy wykonano z miedzi.

Eksperymenty miały na celu określenie optymalnych (z punktu widzenia geometrii uzyskiwanych otworów oraz czasu ich obróbki) warunków prowadzenia procesów elektrochemicznego wygładzania oraz bruzdowania. W tym celu zmieniano prędkość przesuwu elektrody roboczej oraz nastawę prądu na zasilaczu (praca w trybie stałoprądowym przy

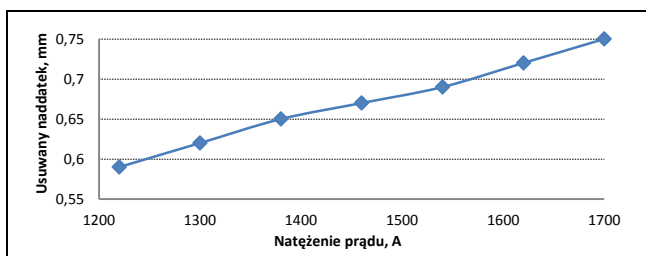
* Dr inż. Grzegorz Skrabalak (grzegorz.skrabalak@ios.krakow.pl), dr Maria Zybura (maria.zybura@ios.krakow.pl), mgr inż. Józef Dziejdzic (jozef.dziejdzic@ios.krakow.pl), mgr inż. Jan Czekaj (jan.czekaj@ios.krakow.pl) – Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, ul. Wrocławska 37a, 30-011 Kraków; dr inż. Tadeusz Świętek – ZM Tarnów S.A., ul. Kochanowskiego 30, 33-100 Tarnów

napięciu ograniczonym do 18 VDC) w zakresach przedstawionych w tablicy.

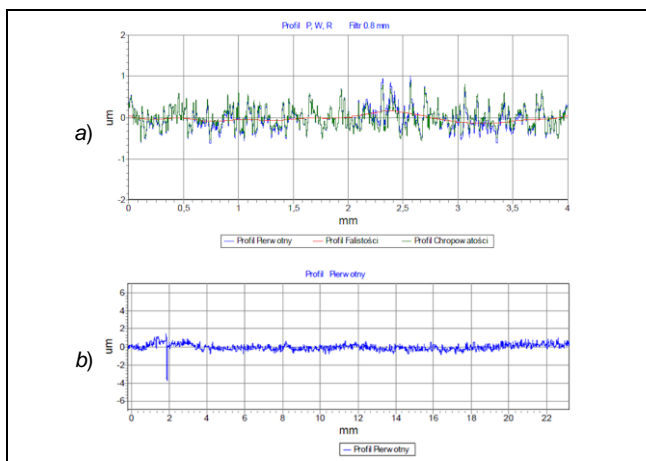
TABLICA. Zakres zmienności parametrów dla poszczególnych procesów

	Prędkość przesuwu, V_f mm/min	Prąd roboczy, I A
Wyglądanie	100÷220	1200÷1500
Bruzdowanie	60÷120	400÷500

W celu doboru optymalnych warunków obróbki ECM dla uzyskania ostatecznego wymiaru otworu w obrabianych elementach o średnicy 23,5 mm ($\pm 0,01$ mm) zmierzono średnicę próbek, chropowatość powierzchni po obróbce oraz sprawdzono kołowość wykonanych otworów. Pomiar geometrii otworu wykonano za pomocą ręcznego przyrządu trzypunktowego (średnicówki) wyposażonego w śrubę mikrometryczną – dokładność pomiaru $\pm 5 \mu\text{m}$. Chropowatość i falistość powierzchni otworów wyznaczono z użyciem profilometru TOPO-02 (produkcji IZTW). Z kolei kołowość mierzono z użyciem urządzenia produkcji Taylor-Hobson. Wyniki prowadzonych doświadczeń zaprezentowano na rys. 3–5 poniżej.

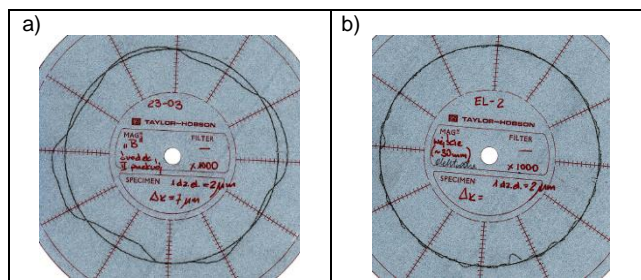


Rys. 3. Usunięty naddatek (wyrażony jako różnica między średnicą otworu po obróbce a średnicą otworu początkowego) w zależności od prądu podczas obróbki ECM ze stałą prędkością przesuwu równą 160 mm/min



Rys. 4. Profilogramy powierzchni otworu po obróbce ECM ($V_f = 160$ mm/min; $I = 1620$ A, średnica początkowa otworu = 22,78 mm): a) profil chropowatości powierzchni otworu, b) profil falistości otworu

W związku z wymaganiami stawianymi przed geometrią otworu, kształtem jego przekroju poprzecznego, w ramach prowadzonych doświadczeń mierzono również kołowość otworów po procesie obróbki ECM. Przykładowe wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 5. Maksymalny wymiar widocznych na rys. 5a nieregularności występujących na średnicy wewnętrznej obrabianego otworu nie przekracza $7 \mu\text{m}$ (mieści się w dopuszczalnym błędzie). Rozmieszczenie nieregularności na średnicy otworu odpowiada otworom doprowadzającym elektrolit do strefy obróbki. Powstałe błędy kształtu otworu związane są ze sposobem podawania elektrolitu.



Rys. 5. Wynik pomiaru kołowości: a) otworu po obróbce ECM ($V_f = 160$ mm/min, $I = 1620$ A, średnica początkowa otworu = 22,78 mm); b) elektrody roboczej (katody) wykorzystywanej podczas procesu ECM

Podsumowanie

Na podstawie wyników przeprowadzonych doświadczeń można stwierdzić, że proces elektrochemicznego kształtowania otworów spełnia wszystkie wymagania przed nim stawiane, a dotyczące wydajności procesu usuwania materiału oraz dokładności obróbki (chropowatość $R_a \leq 0,3 \mu\text{m}$; błąd kształtu $\leq 10 \mu\text{m}$; błąd średnicy otworu $\leq 10 \mu\text{m}$). W związku z powyższym zaprojektowano oraz uruchomiono urządzenie umożliwiające obróbkę długich otworów metodą elektrochemiczną. Układ obiegu elektrolitu współpracujący z urządzeniem wyposażono w prasę filtracyjną, pozwalającą na skuteczne oczyszczenie elektrolitu oraz wielokrotne wydłużenie czasu między kolejnymi wymianami elektrolitu. Skonfigurowane oraz uruchomione urządzenie przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Urządzenie do elektrochemicznej obróbki otworów o długości maksymalnej 250 cm oraz średnicy początkowej nie mniejszej niż 18 mm

Badania zrealizowano w ramach projektu nr: INNOTECH-K3/IN3/30/227780/NCBR/14 (programu INNOTECH-3), finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

LITERATURA

- Kozak J., Skrabalak G., Stwora A. „Kalibrowanie i brzdowanie elektrochemiczne długich otworów”. XII Międzynarodowa Konferencja Electromachining EM'15 Bydgoszcz-Rydzyna 13÷15 maj 2015. *Mechanik*. R. 88, nr 4(CD) (2015): s. 328/142÷145. (DOI: <http://dx.doi.org/10.17814/mechanik.2015.4.188>).
- Zaicew W.I., Kapkin W.A., Polutin J.W. i.in. „Variant tehnologičeskikh shem elektrohimičeskoj obrabotki kanalov stvolov ohotničih ružen”. *Razmernaâ elektrohimičeskaâ obrabotka*. Tula (1969): s. 177÷182.
- Bubencow A.R., Zaicew W.I., Kapkin B.A., Polutin J.W. i.in. „Harakteristika stanka i tehnologičeskoj osnastki dâ êho kanala stvola ohotničih ružen po sheme s vraščeniem katoda”. *Razmernaâ elektrohimičeskaâ obrabotka*, Tula (1969): s. 369÷373.
- Lloyd E. Wessel, Naval Ordnance Station Louisville (KY.). „*Electrochemical Machining of Gun Barrel Bores and Rifling*”. Ft. Belvoir Defense Technical Information Center 1978.
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b2/105mm_tank_gun_Rifling.jpg/300px105mm_tank_gun_Rifling.jpg
- <http://yaplog.jp/osuman3/archive/190>