

Mirosława KOSMYNINA \*

## WPLYW WARSTW CYNKOWYCH NA OPORY WIERCENIA

### THE INFLUENCE OF ZINC LAYERS ON DRILLING RESISTANCES

#### Słowa kluczowe:

wiercenie, układ elektrolityczny, woltamperometria liniowa, stałoprądowa

#### Key-words:

drilling, electrolytic system, linear voltammetry, constant current

#### Streszczenie

W pracy pokazano sposób „smarowania” wiertel powłoką cynkową osadzaną metodą elektrolityczną. W warunkach wiercenia pomiędzy narzędziem i wierconym przedmiotem występuje elektronowe przeniesienie ładunków elektrycznych. Osadzanie warstwy cynku na powierzchni wiertła jest prowadzone przed rozpoczęciem procesu wiercenia, w obwodzie elektrycznym utworzonym ze źródła prądu stałego, wiertarki, elektrolitu i pomocniczej rozpuszczalnej elektrody. Napięcia elektryczne pomiędzy elektrodami dobierane są poza omawianym układem elektrolitycznym. Badania woltamperometrii liniowej stałoprądowej polaryzowanych próbek i wiertel krętych ze

---

\* Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny, Instytut Budowy Maszyn, ul. J. Krasińskiego 54, 26-600 Radom.

stali HSS wykazały, że ilość ładunków elektrycznych biorących udział w elektrokryształizacji cynku jest proporcjonalna do geometrycznej powierzchni obrabianej. Pozwoliło to ocenić grubość warstwy osadzonej na wiertle (przy nieustalanej powierzchni obrabianej), zmniejszyć opory wiercenia, poprawić mikrogeometrię powierzchni obrabianej stali 45, a na powierzchni obrobionej pozostawić warstwę ochronną (cynkową).

## WPROWADZENIE

Wiertła podczas pracy narażone są na działanie wielu niekorzystnych czynników wpływających na okres eksploatacji. Narzędzie skrawające przenosi równocześnie obciążenia mechaniczne, tribologiczne i korozyjne [L. 1–10]. Zużycie wiertła oraz utrata właściwości skrawających oceniane są metodami bezpośrednimi, na stanowisku pracy, lub pośrednimi po wycofaniu z eksploatacji poprzez analizę ubytków materiału (zmianę geometrii ostrza i płaszczyzn skrawających) [L. 1–3].

Ocena zużycia wiertła poprzez wskaźniki pośrednie prowadzona jest w warunkach warsztatowych na podstawie nasilającego się hałasu podczas wiercenia, wibracji narzędzia, zmiany barwy i kształtu wióra i zwiększenia oporów skrawania. Po zakończeniu procesu oceniana jest mikrogeometria obrabianej powierzchni. Zmiana symetrii otworów, chropowatości powierzchni w otworach w porównaniu z analogicznymi obserwowanymi przy rozpoczęciu okresu eksploatacji jest podstawą do regeneracji wiertel lub wymiany na nowe.

Na centrach obróbczych sterowanych numerycznie (CNC) wymagany jest gwarantowany i określony (liczbowo) okres eksploatacji wiertel. Po zakończeniu tego okresu narzędzie wymieniane jest na nowe.

Dla podwyższenia właściwości skrawających narzędzi stosowany jest sposób umocnienia rdzenia na etapie wytwarzania poprzez zastosowanie między innymi technologii próżniowego napyłania powłok PVD (Physical Vapour Deposition) [L. 4, 7, 8, 10]. Fizyczne osadzanie powłok z fazy gazowej obejmuje kolejne etapy wytwarzania: wytwarzania par, ich jonizację, krystalizację i kondensację na podłożu [L. 9]. Są to niestechiometryczne związki metali typu  $Ti_nN_m$ , TiC,  $Ti(C_xN_y)$ ,  $(TiAl)_N_xCr$ . Oprócz ładnego wyglądu zewnętrznego (połysku i barwy) uzyskiwanych w jednej, podstawowej operacji technologicznej, powłoki mają bardzo wysoką mikrotwardość. Według danych [L. 9] ich mikrotwardość wynosi 3500–4000 HV i porównywalna jest z mikrotwardością materiałów uży-

skiwanych po obróbce cieplno-chemicznej z nasycaniem stopów żelaza wanadem lub tytanem.

Bezpośrednie (bez warstw przejściowych) osadzanie powłok na stali narzędziowej na przykład  $Ti_nN_m$  (nazywanych ogólnie azotkiem tytanu) o grubości 1–3  $\mu\text{m}$  powoduje skokową zmianę twardości i może być powodem zniszczenia (rozkruszenia, złuszczenia) powłoki podczas obciążenia zewnętrznego, a tym samym zużycia narzędzia.

W pracach [L. 10–11] pokazano, że dla zmniejszenia trzy do czterokrotnego skoku mikrotwardości, pomiędzy rdzeniem i powłoką azotku tytanu można wbudować dwuwarstwową powłokę kompozytową o twardości 1400–1500 HV i 1600–1700 HV. Różnicę w twardości warstw uzyskuje się w wyniku wbudowania cząstek  $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$  (korundu) o średnich rozmiarach cząstek 1,7–2,2  $\mu\text{m}$  i ich stężeniu odpowiednio:  $(6,5\text{--}13,3)\cdot 10^6\text{ szt/cm}^2$  i  $(7,0\text{--}17,8)\cdot 10^6\text{ szt/cm}^2$  obrabianej powierzchni. Cząstki korundu wbudowywano w nikiel – fosforową osnowę w procesie autokatalitycznego osadzania takich powłok.

Wpływ warstw przejściowych na przeciwzużyciowe właściwości stali narzędziowej (HSS) z umocnieniem 2–3  $\mu\text{m}$  warstwą azotku tytanu oceniano porównując ilość wykonanych wierceń wiertłem  $\text{Ø}6$  do stopienia ostrza skrawającego. Zbadano trzy serie wiertel bez powłoki, z powłoką azotku tytanu i dwoma warstwami kompozytu. Średnia ilość wierceń płyty ze stali 30 o grubości 20 mm z prędkością obrotową wiertła 20 m/min pozwoliło przedłużyć okres ich pracy: stal z azotkiem tytanu – trzykrotnie a z podwarstwą kompozytu siedmiokrotnie [L. 10].

Regeneracja zużytych wiertel z wielowarstwowymi powłokami nie jest opłacalna i takie narzędzia po zadanym okresie eksploatacji wymieniane są na nowe. Z tego względu podjęto próby osadzania powłok miękkich, plastycznych, zużywających się podczas pracy, których osadzanie jest możliwe w warunkach eksploatacji narzędzia. Niepowtarzalność wyników badań odporności na zużycie objaśniono wytwarzaniem lokalnych pól elektrycznych podczas pracy urządzenia mechanicznego i możliwością przebiegu procesów elektrochemicznych.

W pracach [L. 5, 12–15] omówiono metodę elektrolitycznego osadzania cynku w układzie nóż tokarski / obrabiany element. Omówiono synergizm procesu toczenia i elektrolitycznego osadzania metali przy zastosowaniu woltamperometrii liniowej, stałoprądowej. Do osadzania zastosowano dodatkowy, kontrolowany obwód elektryczny z pomocniczą roztwarzaną elektrochemicznie elektrodą.

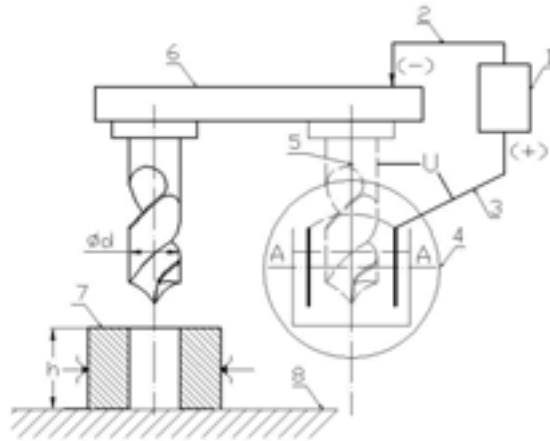
W badaniach procesu wiercenia należy uwzględnić, że często procesy wiercenia prowadzone są bez cieczy chłodząco-smarującej, a osadzanie powłoki w kontrolowanym układzie elektrolitycznym powinno dyskretnie wspomagać pracę wiertła poprzez wytwarzaną cienką warstwę metaliczną.

Celem niniejszej pracy jest ocena wpływu warstw cynkowych, osadzanych na wiertłach metodą elektrochemiczną na opory wiercenia i efekt końcowy procesu – chropowatość powierzchni po wierceniu.

### **KONTROLOWANY OBWÓD ELEKTRYCZNY W UKŁADZIE WIERCENIA**

Pomiędzy wiertłem i wierconym elementem występują zjawiska elektryczne. Są one wynikiem procesu deformacji, zerwania wiązań struktury materiału kształtowanego, a także mogą być zmieniane oddziaływaniem współpracujących mechanizmów wiertarki. Podczas wiercenia – ścisłego kontaktu materiałów: wiertła i przedmiotu obrabianego – dominującym procesem jest przemieszczenie elektronowe ładunków elektrycznych w niekontrolowanych (nieumiejscowionych) obwodach elektrycznych urządzenia technicznego. Wynikiem tych procesów jest podwyższenie temperatury układu. Ciecze chłodząco-smarujące są stosowane przy długotrwałej pracy wiertła lub wierceniu z dużą częstotliwością procesu. W procesach krótkotrwałych chłodzenie cieczą jest pomijane [L. 1–3].

Elektrolityczne osadzanie powłok metalicznych przebiega w polach elektrycznych [L. 10–15]. Instrumentem dla wytworzenia lokalnego pola elektrycznego jest obwód elektryczny. Kontrolowany obwód elektryczny pod względem kierunku przemieszczenia ładunków elektrycznych, ich ilości i spadków napięć w poszczególnych odcinkach podłączony do wiertarki (wiertarko-tokarki) pokazano na **Rys. 1**. Obwód elektryczny składa się ze źródła prądu (1), przewodów łączeniowych (2) i (3), łączących wiertło z ujemnym biegunem źródła i pomocniczą elektrodę z biegunem dodatnim. Odbiornikiem w obwodzie elektrycznym jest wanna elektrolityczna (4). Układ pracuje przy zanurzeniu do elektrolitu wiertła (zamknięciu obwodu elektrycznego). Osadzanie powłok prowadzone jest bezpośrednio przed lub po zakończeniu procesu podstawowego (wiercenia).



**Rys. 1. Kontrolowany układ elektrolityczny osadzania powłok zabezpieczających przed zużyciem tribologicznym wiertel: 1 – źródło prądu; 2 i 3 – przewody łączeniowe; 4 – wanna elektrolityczna; 5 – wiertło; 6 – wiertarka; 7 – przedmiot wiercony; 8 – stół montażowy; U – spadek napięcia pomiędzy elektrodą pomocniczą i wiertłem**

**Fig. 1. Controlled electrolytic system of protective layers deposition against tribologic wear of drills: 1 – current source; 2 and 3 – joining wires; 4 – electrolytic bath; 5 – drill; 6 – drilling machine; 7 – drill object; 8 – assembly table; U – fall of voltage between auxiliary electrode and the drill**

Zastosowanie źródła prądu stałego określa kierunek impulsu dla ładunków elektrycznych. W obwodzie mierzone są spadki napięć na każdym z jego odcinków dostępnymi przyrządami pomiarowymi.

Spadek napięcia  $U$  (**Rys. 1**) ustalany jest za pomocą źródła prądu (1), a zakres dopuszczalnych napięć dla procesu osadzania powłok wybierany jest poza układem mechanicznym (wiertarką lub tokarko-wiertarką), metodą woltamperometrii liniowej, stałoprądowej. Zadawana wartość napięcia jest uzależniona od ilości ładunków elektrycznych biorących udział w procesie osadzania i rozkładu pól elektrycznych na geometrycznym profilu wiertła.

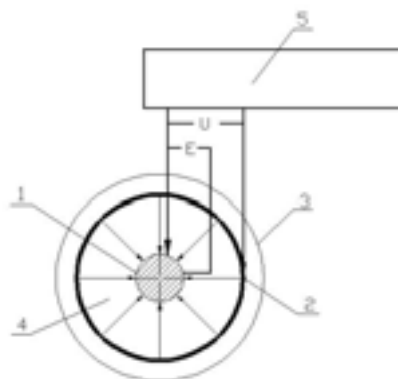
Wpływ osadzonych powłok na opory skrawania badany jest podczas wiercenia po zamocowaniu przedmiotu wierconego (6) na stole montażowym (8).

## BADANIA PROCESU OSADZANIA CYNKU

Na **Rys. 2** pokazano schematycznie układ badawczy osadzania powłok na próbkach cylindrycznych, wykonanych ze stali HSS. Próbkę tę mają znaną powierzchnię geometryczną, co pozwala, w przeciwieństwie do wiertel

o nieznannej powierzchni obrabianej, na obliczenie grubości wytworzonej powłoki zgodnie z prawem Faradaya. Układ badawczy składa się z cylindrycznej próbki (1), elektrody pomocniczej (2) umieszczonej w cylindrycznym naczyniu (3) wypełnionym elektrolitem. W elektrolicie pomiędzy próbką (1) i elektrodą pomocniczą (2) wytwarzane jest pole elektryczne, którego rozkład pokazano graficznie liniami (4). Potencjał powierzchni próbki badany jest elektrodą porównawczą chlorosrebrową (5) EAg311T w dynamicznych procesach polaryzacji sterowanej komputerowo za pomocą potencjostatu Atlas 98 (5). Układ ma zastosowanie do doboru składu chemicznego elektrolitu i jakości osadzanych powłok [L. 16].

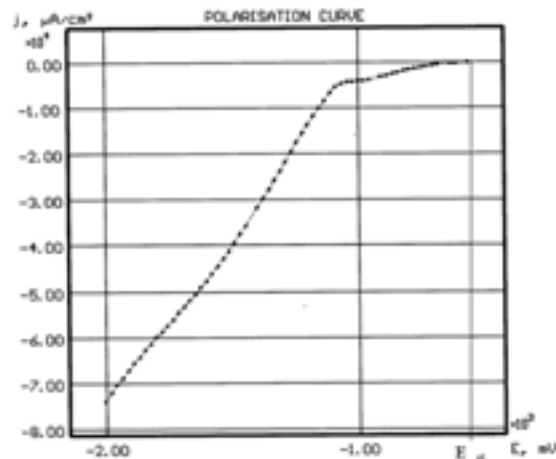
Elektrolit zawiera jony podstawowe (proste lub kompleksowe), rozpuszczalnik (woda, związki organiczne) i inne dodatki ułatwiające procesy redukcji i podwyższające właściwości materiału powłokowego. W niniejszej pracy badano osadzanie powłok cynkowych redukcją jonów prostych z glicerynowego roztworu wodnego.



**Rys. 2.** Układ badawczy A-A (Rys. 1) procesów elektrolitycznego osadzania powłok na powierzchni cylindrycznej, gdzie: 1 – badana próbka; 2 – elektroda pomocnicza; 3 – naczynie z elektrolitem; 4 – rozkład pola elektrycznego w elektrolicie; 5 – potencjostat sterowany komputerowo; E – elektroda porównawcza; U – napięcie ustalone za pomocą potencjostatu (5)

Fig. 2. Research system of electrolytic processes of layer deposition where: 1 – drill object; 2 – auxiliary electrode; 3 – dish with electrolyte; 4 – distribution of electric field in the electrolyte; 5 – potentiostat controlled by computer; 6 – comparative electrode; U – voltage set by the potentiostat (5)

Zależność pomiędzy potencjałem stali HSS w wybranym roztworze w stosunku do elektrody porównawczej z prędkością zmiany potencjału od potencjału stacjonarnego ( $E_{st}$ ) do potencjału  $-2$  V polaryzacji katodowej z prędkością  $20$  mV/s pokazano na **Rys. 3**.



**Rys. 3.** Krzywa polaryzacji katodowej stali HSS w glicerynowym elektrolicie cynkowania (w stosunku do elektrody porównawczej EAg311T) z prędkością zmiany potencjału 20 mV/s (wydruk komputerowy)

Fig. 3. Cathode polarization curve of HSS steel in the glycerine electrolyte of the galvanizing (in the relation to the comparative electrode EAg311T) with potential change speed of 20 mV/s (computer printout)

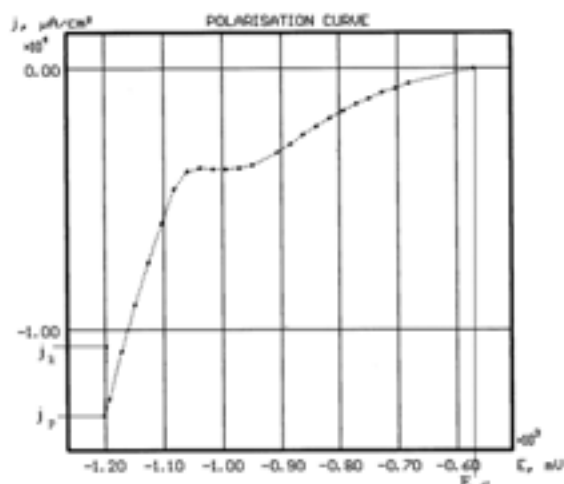
Krzywa polaryzacji katodowej nie wykazuje charakterystycznych zakresów wytwarzania powłok. Dla ustalenia zakresu wydzielenia powłok ciągłych próbki polaryzowano od potencjału stacjonarnego do dowolnie wybranego. Zatrzymywano potencjał na okres pozwalający na osadzenie powłoki o żądanej grubości. Po zakończeniu procesu osadzania z wykresu krzywej polaryzacji katodowej (**Rys. 4**) odczytano ilość ładunków elektrycznych biorących udział w formowaniu powłoki.

W procesie osadzania powłoki ilość ładunków elektrycznych zmienia się od wartości początkowej  $j_p = 1,35 \cdot 10^4 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  do wartości końcowej  $j_k = 1,05 \cdot 10^4 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  po zakończeniu procesu osadzania. Średnia gęstość prądu elektrycznego (wzór 1) biorącego udział w procesie osadzania wynosi (dla przykładu z **Rys. 4**):

$$j_{sr} = \frac{j_p + j_k}{2} = 1,20 \cdot 10^4 \mu\text{A}/\text{cm}^2 \quad (1)$$

gdzie:  $j_{sr}$  – średnia wartość gęstości prądu katodowego,

$j_p$  i  $j_k$  – odpowiednio początkowa i końcowa wartość gęstości prądu katodowego.



Rys. 4. Przykład voltamperometrycznej zależności (wydruk komputerowy) osadzania powłoki na próbce cylindrycznej przy potencjale  $-1,20$  V (względem elektrody EAg311T). Potencjał zmieniano od stacjonarnego ( $E_{st}$ ) do zadanego z prędkością  $20$  mV/s, zatrzymano potencjał na  $180$  s w celu wytworzenia powłoki; gdzie:  $j_p$  i  $j_k$  – odpowiednio początkowa i końcowa ilość ładunków elektrycznych biorących udział w procesie osadzania powłoki

Fig. 4. Example of voltammetry dependence of layer deposition on the cylindrical sample with potential  $1,2$  V (in relation to electrode EAg311T). The potential was changed from stationary ( $E_{st}$ ) to the assigned one with  $20$  mV/s, stopped for  $180$  s to create the layer, where:  $j_p$  and  $j_k$  – suitably initial and finish quantity of electrical loads taking part in layer deposition process (computer printout)

Wyznaczona, na podstawie serii eksperymentów, średnia wartość ładunku elektrycznego biorącego udział w procesie posłużyła do obliczenia grubości warstwy osadzanej. Do obliczeń wykorzystano przekształconą zależność Faradaya:

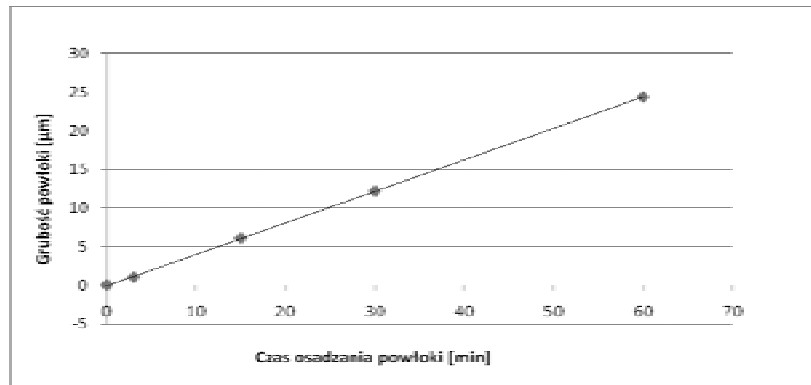
$$\delta_j = \frac{q \cdot i \cdot \eta \cdot \tau}{\gamma} \quad (2)$$

gdzie:  $\delta_j$  – grubość powłoki obliczona na podstawie średniej wartości ładunku biorącego udział w procesie [ $\mu\text{m}$ ];  $q$  – równoważnik elektrochemiczny [ $\text{g}/\text{Ah}$ ];  $i$  – średnia wartość ładunku elektrycznego biorącego udział w procesie na  $\text{cm}^2$  powierzchni obrabianej [ $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ];  $\eta$  – wydajność prądowa [%];  $\tau$  – czas osadzania powłoki [h];  $\gamma$  – gęstość materiału powłokowego [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ].



Przyjmując dla omawianego procesu osadzania cynku:  $q = 1,22 \text{ g/Ah}$ ;  $i = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ A/cm}^2$ ;  $\eta = 100\%$ ;  $\tau = 3 \text{ min}$  (0,05 h);  $\gamma = 7,2 \text{ g/cm}^3$  obliczono grubość warstwy osadzanej w ciągu jednej minuty, która wynosi  $0,34 \text{ }\mu\text{m/min}$ .

Wykonano serię badań eksperymentalnych dla zróżnicowanej i znanej powierzchni obrabianej, a na podstawie średnich gęstości ładunków elektrycznych określono grubość warstwy. Jest ona proporcjonalna do czasu prowadzenia procesu według zależności **Rys. 5**.



**Rys. 5. Zależność pomiędzy czasem osadzania ( $\tau$ ) powłoki cynku na powierzchni cylindrycznej i grubością warstwy osadzonej ( $\delta$ )**

Fig. 5. Dependence between deposition time ( $\tau$ ) of zinc layer on the cylindrical surface and thickness of deposited layer

Przy zmianie konfiguracji obrabianego elementu w analogicznych warunkach osadzania średnią grubość warstwy przyjmuje się z uzyskanej zależności (**Rys. 5**).

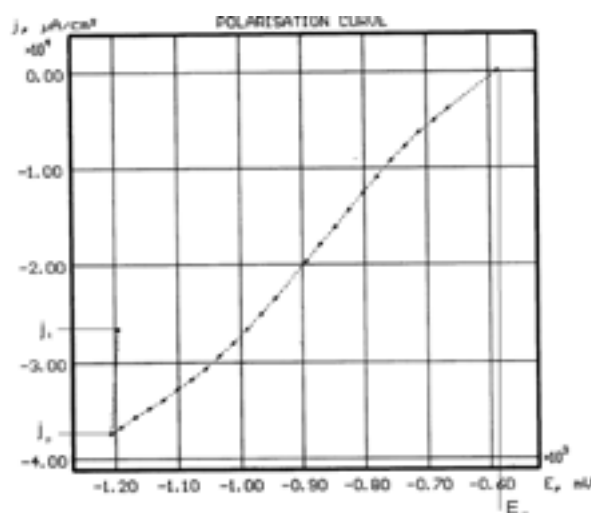
## OSADZANIE POWŁOK CYNKOWYCH NA WIERTŁACH

Wiertła posiadają złożoną konfigurację i przy znanej średnicy zewnętrznej znacznie różnią się wielkością powierzchni polaryzowanej od przyjętej w badaniach cylindrycznej formy próbek.

Standardowe technologie osadzania powłok polegają na mechanicznym oczyszczeniu powierzchni, usunięciu warstw pasywacyjnych chemiczną lub elektrochemiczną metodą. W przypadku zastosowania standardowej metody odtłuszczenia i trawienia powierzchni materiału wiertła może zostać zwiększona chropowatość powierzchni krawędzi skrawających.

Przygotowanie powierzchni wiertła posiadającego organiczną warstwę ochronną polega na jednorazowym wykonaniu otworu z pominięciem procesu osadzania powłoki. W procesie wiercenia z obszarów współpracujących z materiałem wierconym usuwana jest handlowa warstwa antykorozyjna. Wielkość powierzchni wiertła współpracującej z materiałem wierconym nie jest znana i różni się od geometrycznej powierzchni wiertła. Wynika stąd wielkość powierzchni aktywnej dla elektrokryształizacji cynku.

Na **Rys. 6** pokazano przykładową zależność woltamperometryczną osadzania cynku na powierzchni wiertła krętego o średnicy  $\varnothing$  10 mm. Zależność otrzymano polaryzując narzędzie od potencjału stacjonarnego ( $E_{st}$ ) do potencjału  $-1,2$  V z prędkością  $20$  mV/s względem elektrody EAg311T. Osadzano powłokę przy potencjale  $-1,2$  V w ciągu  $180$  s na wysokość do ok.  $30$  mm. Gęstość prądu podczas procesu na obrabianej powierzchni zmieniała się a jej średnia wartość wynosiła  $3,2 \cdot 10^4$   $\mu$ A.

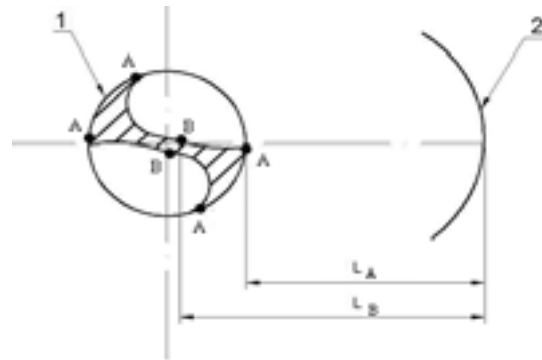


**Rys. 6.** Przykład woltamperometrycznej zależności (wydruk komputerowy) osadzania powłoki cynkowej na powierzchni wiertła przy potencjale  $-1,20$  V (względem elektrody EAg311T). Potencjał zmieniano od stacjonarnego ( $E_{st}$ ) do zadanego z prędkością  $20$  mV/s, zatrzymaniu potencjału w okresie  $180$  s; gdzie:  $j_p$  i  $j_k$  – odpowiednio początkowa i końcowa ilość ładunków elektrycznych biorących udział w procesie osadzania powłoki

Fig. 6. Example of voltammetry dependence of zinc layer deposition on the drill surface with  $-1,2$  V potential (in relation to electrode EAg311T). The potential was changed from stationary ( $E_{st}$ ) to the assigned one with  $20$  mV/s, stopped within  $180$  s; where:  $j_p$  and  $j_k$  – suitably initial and finish quantity of electrical charge taking part in layer deposition process (computer printout)

Dla uzyskania warstwy o średniej grubości około  $5,00\ \mu\text{m}$  wiertło polaryzowane jest w ciągu 12 min (720 s). Wynika to z zależności **Rys. 5**.

Zmiana konfiguracji obrabianej powierzchni (z cylindrycznej na złożoną wiertła) powoduje zmianę rozkładu pola elektrycznego, a tym samym i gęstości ładunków biorących udział w procesie osadzania cynku. W wyniku tych zmian szybkość narastania warstwy w różnych obszarach jest inna i zależy od odległości pomiędzy każdym z obszarów polaryzowanych a elektrodą porównawczą (**Rys. 7**). Pomiary miejscowej grubości warstwy cynkowej metodą kropłową [**L. 17**] wykazały, że przy zadanej grubości  $5,00\ \mu\text{m}$  w obszarze A (**Rys. 7**) różni się ona dwukrotnie od grubości pomiarowej w obszarze B, w którym wynosi  $2,00\text{--}2,5\ \mu\text{m}$ .



**Rys. 7.** Obszary pomiaru grubości miejscowej warstwy cynku osadzonego na wiertle w układzie **Rys. 1**, gdzie: 1 – wiertło; 2 – elektroda pomocnicza;  $L_A$ ,  $L_B$  – odpowiednio odległość punktów pomiarowych A i B od elektrody pomocniczej

**Fig. 7.** Areas of zinc layer thickness measurement deposited on the drill in the system; **Fig. 1**, where: 1 – drill; 2 – auxiliary electrode;  $L_A$ ,  $L_B$  – suitably distance of measurement points A and B from auxiliary electrode

Podczas wiercenia wiertłem z osadzoną warstwą cynku powłoka jest defektowana, zmienia swoją grubość i rozkład warstwy po powierzchni wiertła. Pozwalają na to właściwości mechaniczne cynku. Po wykonaniu 5–6 otworów pomiary miejscowej grubości warstwy nie są miarodajne. Prawdopodobnie cynk dyfunduje w strukturę stali i tworzy strukturę warstwy powierzchniowej nowej jakości, wymagającej dodatkowych badań.

Na podstawie badań tribologicznych prowadzonych za pomocą maszyny Amslera [**L. 10**] ustalono, że warstwa cynku wbudowanego pomiędzy dwa trące się bocznymi powierzchniami pierścienie zmniejsza współczynnik tarcia dziesięciokrotnie (od 0,6 dla pary stal/stal do 0,06 dla tej pary z osadzonym elektrolitycznie cynkiem). Cynk osadzany na stali niskosto-

powej poza właściwościami antykorozyjnymi poprawia także właściwości tribologiczne.

Wpływ powłok cynku na proces wiercenia oceniano na podstawie oporów skrawania.

### **OCENA WŁAŚCIWOŚCI SKRAWAJĄCYCH WIERTEŁ Z OSADZONĄ POWŁOKĄ CYNKU**

Wiertła kręte  $\varnothing 10$ , wykonane ze stali HSS bez powłoki i z osadzoną powłoką cynkową w układzie **Rys. 1** poddano próbom skrawania stali 45. Wiercono próbki o średnicy  $\varnothing 30$  mm i wysokości  $h = 30$  mm. Wiercenie prowadzono na wiertarce ZDW11 przy 760 obr/min z posuwem  $f = 0,16$  mm/obr bez cieczy chłodząco-smarującej.

Do pomiarów momentu skrawania zastosowano siłomierz tensometryczny. Na podstawie przeprowadzonych badań wykreślono zależność momentu skrawania w funkcji czasu trwania procesu wiercenia. Wartości momentu skrawania podczas wiercenia otworu w stali 45 wiertłem ze stali HSS bez powłoki kształtują się na poziomie od 1000 Ncm w początkowej fazie wiercenia (moment wejścia wiertła w materiał obrabiany), do 1150 Ncm przy wyjściu wiertła z materiału. Nałożenie na wiertło powłoki cynkowej o średniej grubości 3,00  $\mu\text{m}$  powoduje, że zmniejszają się opory skrawania do 800 Ncm w fazie początkowej wiercenia i do 900 Ncm podczas wyjścia wiertła z materiału obrabianego. Prawdopodobnie ostrze chronione jest warstwą cynku, która ułatwia jego zagłębienie się w materiał obrabiany, a po ocynkowanej powierzchni z mniejszym współczynnikiem tarcia odprowadzany jest wiór.

Proces wiercenia trwa około 25 s, co pozwala na uśrednienie uzyskanych wartości momentów przy wejściu i wyjściu wiertła z materiału. Czyli moment skrawania obniża się o około 200 Ncm przy wbudowaniu cienkiej powłoki cynkowej pomiędzy współpracującymi elementami.

Uzyskane wyniki badań pozwalają wnioskować, że technologie elektrolitycznego osadzania powłok i wiercenia są technologiami synergicznymi.

Końcowym efektem obróbki kształtującej jest uzyskanie oprócz wymaganej dokładności wymiarowej przedmiotu wierconego również chropowatości zgodnej z rysunkiem technicznym.

Podstawowy parametr chropowatości powierzchni ( $R_a$ ) otworów wierconych wiertłami handlowymi i wiertłami z osadzoną powłoką cyn-

ku w wybranych warunkach osadzania powłok elektrolitycznych badano profilometrem SurfTest SJ – 301.

Wbudowanie warstwy cynku pomiędzy współpracujące powierzchnie zmniejsza podstawowy parametr chropowatości  $R_a$  powierzchni po wierceniu od 5,4  $\mu\text{m}$  do 4,0  $\mu\text{m}$ .

Odnosi się to również do wiertel z twardymi lub supertwardymi powłokami modernizującymi rdzeń elementu.

## WNIOSKI

1. Ustalono zmniejszenie oporów wiercenia oraz chropowatości powierzchni po wierceniu poprzez zastosowanie warstwy cynku wbudowywanego pomiędzy narzędziem i obrabianym elementem.
2. Warunki osadzania powłok cynkowych wybrano na podstawie ilości ładunków elektrycznych biorących udział w procesie elektrokryształizacji w warunkach woltamperometrii liniowej stałoprądowej.
3. Właściwość fizyczną – napięcie elektryczne pomiędzy wiertłem i elektrodą pomocniczą w kontrolowanym układzie elektrolitycznym wykorzystano do przeprowadzenia procesu osadzania cynku. Podczas wiercenia cynk spełnia rolę środka smarnego zmniejszającego opory skrawania i zużycie materiału wiertła.

## LITERATURA

1. Olszak W.: Obróbka skrawaniem. WNT, Warszawa 2008.
2. Cichosz P.: Narzędzia skrawające. WNT, Warszawa 2006.
3. Górski E.: Poradnik Narzędziowca. WNT, Warszawa 1989.
4. Tribologia i tribotechnika. Pod redakcją M. Szczerka i M. Wiśniewskiego. Wyd. Inst. Technol. Eksploatacji, Radom 2000.
5. Kosmynina M., Chałko L.: Wytwarzanie powłok elektrolitycznych w procesie skrawania. Inżynieria Materiałowa, Nr 5/2002, 2002, s. 368–370.
6. Marzec S., Pytko S.: Tribologia procesów skrawania metali. Nowe ciecze chłodząco – smarujące. ITeE, Radom 1999.
7. Burakowski T.: Rozważania o synergizmie w inżynierii powierzchni. Wyd. PR, Radom 2004.
8. Burakowski T.: Areologia. Powstanie i rozwój. Wyd. Instytutu Technologii Eksploatacji. Radom 2007.
9. Burakowski T., Wierzchoń W.: Surface engineering of metals – principle, equipment, technologies. CRC Press, Boca Raton-London-New York-Washington. D.C., 1999.

10. Kosmynina M.: Razrobotka technologii powyszenia i znosostojkosti detalej maszyn c pomoszczu kontrola i upravlenia strukturaj elektrochimiczymim metodom. Sankt-Petersburg. Wyd. S-PPTU, 2005.
11. Kosmynina M.: Kompozicjonnyje pokrytia c regulirujemym fazowym coctawom. Fizyceskaja mezomechanika, t. 2, cz. 2, Tomsk 2004, c. 153–156.
12. Kosmynina M.: Mechanizm przemian fazowych w układach triboelektrolitycznych. Tribologia, 2/2000(170), s. 177–186.
13. Kosmynina M.: Triboelektrolytik deposition of metallic coatings. Materials Protection. Vol. 32. No. 10B, Wuchan, Chiny, 1999 s. 231–234.
14. Kosmynina M.: Układ elektrolityczny zabezpieczający nóż tokarski przed zużyciem tribologicznym. Tribologia nr 4, 2009, s. 89–102.
15. Patent Politechniki Radomskiej (Kosmynina M., Mirzorejew R., Chałko L.) Nr 345374 od 29.01.2008. Sposób zabezpieczenia przed zużyciem współpracujących ze sobą powierzchni metalowych i układ elektryczny do stosowania tego sposobu.
16. Zajt T.: Metody voltamperometryczne i elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna. Politechnika Gdańska, Gdańsk 2001.
17. Poradnik galwanotechnika. Praca zbiorowa. Wyd. WNT Warszawa 2002.

**Recenzent:**  
**Jarosław SEP**

### Summary

**The work presents a means of “lubrication” of drills with a deposited zinc layer using the electrolytic method. During the drilling between the tool and the drilled object, electron transfer of an electrical charge occurs. Zinc layer deposition on the drill surface is conducted before the drilling process in the electrical circuit created from a constant current source, drilling machine, electrolyte, and auxiliary soluble electrode. Electrical voltages between the electrodes are chosen beyond the discussed electrolytic system. The research of the constant current linear voltammetry of the polarised samples and the twist drills of HSS steel proved that the quantity of electrical charge taking part in the electrocrystallization of zinc is proportional to the geometric work surface. This allowed us to estimate the deposited layer thickness on the drill (with an unsteady work surface), reduce the resistance of drilling, improve the microgeometry of the work surface of steel 45, and leave the protective layer (zinc) on the cut surface.**