

	Organizatorzy: Politechnika Łódzka Wydział Mechaniczny	XXXVIII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKİ ŚCIERNEJ Łódź - Uniejów 09-11.09.2015	
	• Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn • Katedra Technologii Maszyn		

Możliwości zastosowania środków powierzchniowo czynnych w polerowaniu elektrochemicznym jubilerskich stopów srebra

The possible use of surfactants in electrochemical polishing silver jewelry alloys

STANISŁAW ZABORSKI
ADAM SUDZIK
DARIUSZ POROŚ *

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.401

Stosowane metody polerowania elektrochemicznego srebrnych wyrobów jubilerskich nie dają zadowalających efektów, a uzyskanie wymaganej powierzchni jest kłopotliwe. Należy ściśle przestrzegać warunków procesu takich jak temperatura, charakterystyka prądowo-napięciowa oraz czas. Do elektrolitów wprowadzono dodatki środków powierzchniowo czynnych i zbadano ich wpływ na efekty polerowania. Poprawa powtarzalności wyników polerowania z jednoczesnym ułatwieniem jego przeprowadzania pozwoliłaby na szersze praktyczne zastosowanie metody elektropolerowania w produkcji.

Słowa kluczowe: stopy srebra, elektrolity bezcyjankowe, środki powierzchniowo czynne, polerowanie elektrochemiczne

The methods used electrochemical polishing silver jewelry products do not produce satisfactory results and obtain the required surface is confusing. Adhere to the process conditions such as temperature, current-voltage characteristics and the time. The electrolyte was introduced additives surfactants, and examined their effect on the polishing effects. Improving reproducibility electropolishing would allow for wider practical application of the method in the production.

KEYWORDS: silver alloys, cyanide-free electrolytes, surfactants, electrochemical polishing

Obróbką wykończeniową wyrobów ze stopów srebra używanych w jubilerstwie zazwyczaj jest polerowanie. Rzadziej stosuje się inne rodzaje obróbek, takich jak matowanie, szlifowanie czy też barwienie chemiczne lub

elektrochemiczne nanoszenie powłok barwnych metodą elektroforezy. Zazwyczaj jednak każda z tych obróbek połączona jest z polerowaniem.

Polerowanie elektrochemiczne jako sposób obróbki wykańczającej znane było już przed II wojną światową. Zastosowanie jej ograniczało się głównie do wyblyszczania wyrobów z metali kolorowych i przedmiotów galanteryjnych.

Zarówno w technologiach przemysłowych jak i w warunkach rzemieślniczych koszty polerowania mechanicznego obejmują ponad 50% wszystkich kosztów obróbki wykończeniowej przedmiotu. Polerowanie elektrochemiczne jest metodą pozwalającą wydatnie zmniejszyć te koszty [7].

W przemyśle maszynowym zastosowanie polerowania elektrochemicznego ma miejsce podczas obróbki metali sprawiających duże trudności w uzyskaniu zadowalających efektów (stan warstwy wierzchniej). Do tych materiałów należą głównie metale lekkie, jak aluminium, tytan i ich stopy, niektóre stopy metali kolorowych, niektóre gatunki stali, np. stale nierdzewne, kwasoodporne jak również metale szlachetne.

Jubilerskie stopy srebra

Praktyczne zastosowanie mają głównie stopy srebra z miedzią. Czyste srebro, ze względu na swoją dużą plastyczność i bardzo małą twardość używane jest w wyjątkowych, uzasadnionych technologicznie przypadkach, np. na oprawy kruchych kamieni, do wykonywania filigranów metodą tradycyjną [1,4]. Obecnie większość wyrobów jubilerskich jest wykonywana ze stopu próby 0,925 zawierającego 92,5% srebra i 7,5% miedzi. W okresie międzywojennym, aż do lat 80 XX wieku dużą popularnością cieszył się stop próby 0,800 (zawierający

* Prof. dr hab. inż. Stanisław Zaborski (stanislaw.zaborski@pwr.edu.pl)
mgr inż. Adam Sudzik (adam@sudzik.com)
dr inż. Dariusz Poros (dariusz.poros@pwr.edu.pl)

80% Ag) służący głównie do produkcji sztućców i naczyń stołowych oraz stopy 0,875 i 0,916 na wyroby biżuteryjne.

Kształtowanie powierzchni wyrobów jubilerskich

Podczas obróbki wyroby jubilerskie poddawane są wielokrotnemu oddziaływaniu wysokich temperatur, zarówno w procesie wyżarzania międzyoperacyjnego podczas obróbki plastycznej jak i podczas lutowania. Wynoszą one około 600-800°C. W zależności od rodzaju użytego lutu oraz występującej często nierównomierności nagrzewania, temperatura niektórych partii wyrobu zbliża się do temperatury topnienia materiału. W procesie lutowania używane są topniki oparte najczęściej na czteroboranie sodowym. Zawierają one czasem również inne związki boranowe, związki fluoru, alkohole itp. Szklivo wytworzone poprzez przetopienie topników usuwane jest następnie poprzez wytrawianie. Jako roztwory trawiące używane są roztwory kwasów. Tradycyjną kąpielą trawiącą jest 5-10% roztwór wodny kwasu siarkowego H_2SO_4 . Używane są również zamiennie roztwory kwasu szczawiowego lub kwasu ortofosforowego.

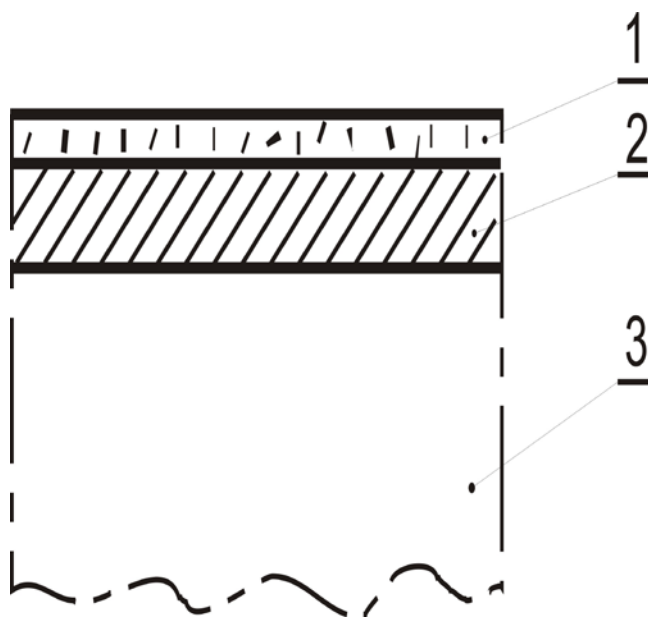
W wyniku opisanych oddziaływań powierzchnia wyrobu pokryta jest warstwami o składzie chemicznym znacznie różniącym się od materiału podstawowego. Na rysunku 1 przedstawiono schematycznie układ warstw o odmiennym składzie.

Dla badanego stopu srebra próby 0,925 poddanego wyżarzaniu i trawieniu w roztworze H_2SO_4 warstwa 1 składa się z ponad 98% srebra. Ilość ta nieznacznie zmienia się w zależności od intensywności wytrawienia. Warstwa 2 zawiera około 10% tlenku miedzi i około 90% srebra, oraz śladowe ilości siarczku miedzi i srebra i innych związków powstałych podczas obróbki cieplnej i reakcji z topnikami oraz gazami palnymi. Strefa 3 jest materiałem podstawowym wyrobu. Podczas polerowania wyrobu warstwy powierzchniowe uwidaczniają swój odmienny kolor w porównaniu z materiałem stopu znajdującym się pod nimi. Ma to bardzo negatywny wpływ na końcowy efekt wizualny. Mechaniczne sposoby obróbki polegają na usunięciu powstałych warstw powierzchniowych za pomocą szlifowania a następnie polerowania za pomocą różnego rodzaju szczotek, filców, tarcz płóciennych i muślinowych z użyciem past polerskich. Jest to obróbka bardzo pracochłonna, powodująca duży ubytek materiału. Na powierzchniach zdobionych za pomocą grawerunku, płaskorzeźby czy też fakturowanych istnieje znaczne prawdopodobieństwo uszkodzenia zdobienia. Wyroby tanie lub masowe polerowane są najczęściej w bębnach polerowniczych, po uprzednim silnym wytrawieniu. Powstała w wyniku wytrawienia powierzchni warstwa srebra o wysokiej próbie zostaje za pomocą kształtek stalowych wyblyszczona. Nie powoduje to praktycznie istotnego ubytku materiału. Wyroby polerowane w bębnach nie zachowują jednak swojego wyglądu w czasie długiego użytkowania. Na skutek ścierania wyrobu następuje najczęściej nierównomierne przetarcie warstw powierzchniowych co powoduje powstanie plam o różnym odcieniu, znacząco obniżających estetykę biżuterii. Polerowanie elektrochemiczne biżuterii srebrnej wydaje się być najskuteczniejszą metodą obróbki wykończeniowej. Ze względu jednak na znaczne trudności napotymane podczas elektropolowania stopów srebra metoda ta jest bardzo mało rozpowszechniona.

Polerowanie elektrochemiczne

Proces polerowania elektrochemicznego opiera się na wykorzystaniu zjawiska elektrolizy i towarzyszących mu procesów elektrodowych.

Przepływ prądu przez elektrolit powoduje zakłócenie stanu równowagi elektrochemicznej w elektrolicie i powstanie polaryzacji elektrod. Polaryzacja stężeniowa jest wynikiem



Rys.1. Schemat warstw powierzchniowych wyrobu

wzrostu stężenia kationów w otoczeniu anody i jego spadkiem wokół katody. Powoduje to powstanie na anodzie błony powierzchniowej, składającej się z tlenków metalu o grubości kilku Å i właściwościach pasywnych.

Według przyjętych hipotez proces polerowania – czyli usunięcia mikronierówności i wyblyszczania powierzchni związany jest z warstwą pasywną która nie dopuszcza do intensywnie trawiącego działania elektrolitu. Pomiędzy elektrolitem a warstwą pasywną znajduje się obszar znacznego stężenia produktów rozpuszczania metalu, składników elektrolitu i jonów metalu – zwany warstwą lepłą. W porównaniu z elektrolitem ma ona znacznie większy opór elektryczny i dużą lepkość. Właśnie jej obecność umożliwia wygładzanie powierzchni, powodując większą prędkość roztwarzania wierzchołków mikronierówności

Elektrolity do polerowania elektrochemicznego metali szlachetnych powinny zawierać w swoim składzie związki umożliwiające roztwarzanie tych metali. Wszystkie metale szlachetne wykazują znaczną odporność chemiczną. Najskuteczniejszymi związkami umożliwiającymi ich roztwarzanie są cyjanki. Stosowane są one zarówno w kąpielach galwanicznych, jak i elektrolitach do polerowania elektrochemicznego. Elektrolity zawierające związki cyjanowe ulegają dość szybkiemu rozkładowi zarówno pod wpływem zużycia jak i upływu czasu. Wymagają w związku z tym stałej kontroli składu chemicznego zwłaszcza ilości wolnego cyjanku i uzupełniania składników. Wraz ze zmianą składu chemicznego zmieniają się właściwości elektrolitu. Wymaga to zastosowania różnej intensywności mieszania jak również innych parametrów prądowych. Zapewnienie wymaganych parametrów pracy elektrolitu i utrzymanie właściwego składu chemicznego jest kłopotliwe, zwłaszcza w zakładach rzemieślniczych i firmach nie dysponujących zapleczem laboratoryjnym.

Dodatkową trudnością jest konieczność stosowania zmiennych gęstości prądu podczas trwania polerowania elektrochemicznego i stosowania prądu impulsowo. Również skład elektrolitu musi być dobrany odpowiednio do składu stopu polerowanego, różny dla różnej próby srebra.

Katoda używana do polerowania elektrochemicznego powinna być dopasowana kształtem do kształtu wyrobu, aby zapewnić równomierną odległość od przedmiotu. Konieczne może być również w niektórych przypadkach stosowanie katod pomocniczych ze względu na małą głębokość elektrolitu [3,7].

W ostatnich latach elektrolity zawierające cyjanki nie są praktycznie używane przez małe i średnie zakłady jubilerskie. Głównym powodem zaniechania ich używania, oprócz wymienionych trudności technologicznych jest bardzo wysoka toksyczność wchodzącego w ich skład cyjanków.

Alternatywą dla elektrolitów cyjankowych są kąpiele oparte na związkach głównie mocznikowych (tiomocznik, mocznik). W przypadku elektropolerowania stopów złota elektrolity te pozwalają na osiągnięcie zadawalających rezultatów, natomiast polerowanie stopów srebra jest bardzo kłopotliwe. Konieczne jest stosowanie zarówno prądu impulsowego jak i innych sposobów wpływających na poprawę efektów elektropolerowania [8].

Metody intensyfikacji polerowania elektrochemicznego

Istnieje wiele sposobów polepszenia zarówno wydajności jak i jakości polerowania elektrochemicznego. Zwiększenie anodowej gęstości prądu zdecydowanie zwiększa prędkość roztwarzania metalu. W podobny sposób działa zwykle zwiększenie temperatury elektrolitu. Najprostszym sposobem wspomaganie polerowania elektrochemicznego jest mieszanie roztworu elektrolitu. Realizowane może być ono różnymi sposobami: poprzez poruszanie mechaniczne za pomocą mieszadeł, za pomocą strumienia sprężonego powietrza lub poprzez wymuszenie przepływu elektrolitu [2].

Kolejną metodą jest połączenie polerowania elektrochemicznego z oddziaływaniem mechanicznym. Ten typ obróbki, nazywany obróbką elektrochemiczno-ścierną. Realizowany jest w pojemnikach z dodatkiem materiału ściernego z jednoczesną obróbką elektrochemiczną. Oddziaływanie materiału ściernego powoduje usuwanie warstwy pasywnej na wierzchołkach mikronierówności, które w ten sposób stają się bardziej podatne na roztwarzanie elektrochemiczne.

Skuteczną metodą jest również poddawanie przedmiotu zanurzonego w elektrolicie oddziaływaniu ultradźwięków. Ultradźwięki wywołują na powierzchni ciała stałego zanurzonego w cieczy miejscowe powstawanie kawitacji i intensywne usuwanie zanieczyszczeń oraz produktów roztwarzania. Zastosowanie ultradźwięków podczas obróbki elektrochemicznej znacznie przyspiesza jej przebieg. Na podstawie badań własnych stwierdzono, że w niektórych wypadkach natężenie prądu podczas polerowania elektrochemicznego z zastosowaniem ultradźwięków rośnie prawie dwukrotnie w porównaniu do polerowania bez ich użycia [9].

Zastosowanie pola magnetycznego oddziałującego na przedmioty podczas polerowania elektrochemicznego, zwane magnetoelektropolerowaniem wpływa na intensyfikację procesu i osiągnięte rezultaty obróbki [6].

Poprawę zarówno jakości powierzchni obrabianej jak i zwiększenie szybkości procesu można uzyskać w pewnym zakresie poprzez dodanie do elektrolitu środków powierzchniowo czynnych.

Środki powierzchniowo czynne

Środki powierzchniowo czynne (SPC) to związki które mają właściwość adsorbowania się na granicach faz lub powierzchniach, zmieniając ich energię swobodną. Środki powierzchniowo czynne charakteryzują się specyficzną budową cząsteczkową. Każda cząsteczka składa się z grupy, która ma bardzo niskie powinowactwo do rozpuszczalnika, grupy liofobowej, oraz z grupy, która ma silne powinowactwo do rozpuszczalnika, grupy liofilowej. Grupa liofobowa może zaburzyć strukturę rozpuszczalnika, podnosząc energię swobodną układu. Wówczas układ odpowiada na to minimalizując styk grup liofobowych z rozpuszczalnikiem. Dla SPC rozpuszczonych w wodzie grupy hydrofobowe zaburzają strukturę wody poprzez niszczenie jej wiązań wodorowych i tworzenie własnych struktur w pobliżu grupy hydrofobowej. W wyniku tego zniekształcenia, niektóre cząsteczki SPC są usunięte na granice międzyfazowe układu, z grupami hydrofobowymi ułożonymi w ten sposób, aby minimalizować kontakt z cząsteczkami wody. Powierzchnia wody staje się pokryta pojedynczą warstwą cząsteczek SPC, którego grupy hydrofobowe są przeważnie skierowane ku powietrzu. Ponieważ cząsteczki powietrza są niepolarne, zmniejszenie różnicy dwóch kontaktujących się faz na powierzchni wody, powoduje zmniejszenie napięcia powierzchniowego wody. Z drugiej strony, obecność hydrofilowych grup zapobiega całkowitemu usunięciu SPC z rozpuszczalnika jako osobnej fazy, ponieważ to wymagałoby dehydratacji. Struktura środka powierzchniowo czynnego powoduje nie tylko jego koncentrację przy powierzchni i zmniejszenie napięcia powierzchniowego wody, ale powoduje również orientację cząsteczki grupą hydrofilową do fazy wodnej, a grupą hydrofobową po za nią, ku powietrzu lub innej fazie.

W zależności od rozmieszczenia ładunku w grupie hydrofilowej środka powierzchniowo czynnego można podzielić na następujące rodzaje:

- ❖ anionowe - aktywna powierzchniowo część cząsteczki nosi ładunek ujemny,
- ❖ kationowe - aktywna powierzchniowo część cząsteczki nosi ładunek dodatni
- ❖ amfoteryczne - ładunki dodatnie i ujemne mogą być obecne w części aktywnej powierzchniowo
- ❖ niejonowe - część aktywna powierzchniowo nie posiada żadnego widocznego ładunku jonowego.

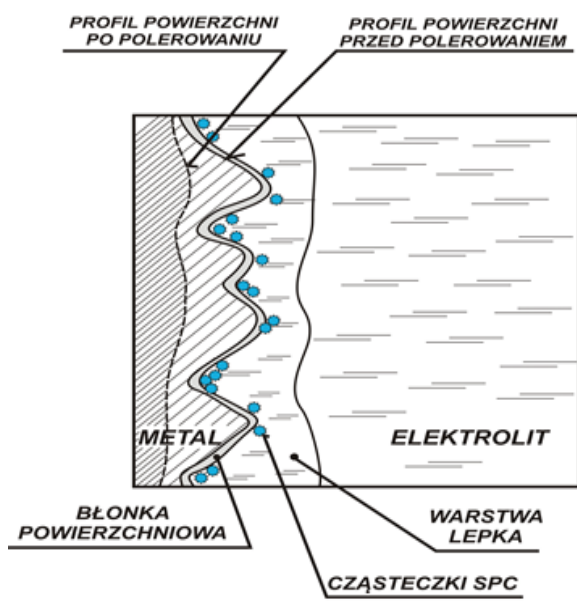
Środki powierzchniowo czynne mają obecnie bardzo szerokie zastosowanie zarówno w technice jak i w życiu codziennym. Detergenty, mydła, proszki do prania i płukania zawierają SPC [5].

Zastosowanie środków powierzchniowo czynnych w polerowaniu elektrochemicznym

Opierając się na źródłach literaturowych i badaniach własnych [5] przyjęto założenie, że dodatek środków powierzchniowo czynnych do elektrolitu zastosowanego w procesie polerowania elektrochemicznego może mieć istotne znaczenie w tworzeniu i właściwościach warstwy lepkiej oraz błonki powierzchniowej. Zmiana ich właściwości ma istotny wpływ zarówno na przebieg jak i na efekty polerowania elektrochemicznego. W poprzednich pracach również wykazano wpływ na proces polerowania takich czynników jak mieszanie elektrolitu, zastosowanie ultradźwięków, czy zastosowanie prądu impulsowego, które również wpływają na warstwę lepki i błonkę powierzchniową [6].

Dodatek środków powierzchniowo czynnych do elektrolitu powoduje zmiany we właściwościach zarówno elektrolitu jak i powstającej w procesie polerowania warstwy lepkiej. Środki powierzchniowo czynne mają za zadanie poprawić wygładzenie przedmiotu i zwiększyć połysk. W procesie elektrochemicznym dodatek SPC zwiększa energię aktywacji roztwarzanej elektrody. Cząsteczki SPC ulegają adsorpcji na powierzchni w określonym obszarze potencjałów, zależnym od potencjału ładunku zerowego. Kationy adsorbowane są głównie na powierzchni o ładunku ujemnym, aniony na powierzchni o ładunku dodatnim. Cząsteczki obojętne gromadzą się w obszarze potencjału ładunku zerowego. Adsorpcja jonów organicznych na powierzchni z dużym ładunkiem jest niemożliwa [2]. Cząsteczki SPC gromadzą się we wgłębieniach mikronierówności przedmiotu obrabianego, zwalniając roztwarzanie wgłębieni materiału. Schematycznie działanie SPC przedstawia rys.2.

Na rysunku 2 widoczne są cząsteczki SPC zaadsorbowane głównie we wgłębieniach mikronierówności. Takie ich nagromadzenie spowalnia roztwarzanie polerowanego materiału we wgłębieniach, przez co powierzchnia wygładza się szybciej.



Rys.2. Powierzchnia elektropolerowana z dodatkiem SPC

Badania doświadczalne

Do badań doświadczalnych przyjęto elektrolity oznaczone E1 i E2 (tabl.1.). Właściwości tych elektrolitów zostały uprzednio przebadane i opisane we wcześniejszej pracy [8].

Stanowisko badawcze składa się z zasilacza o napięciu regulowanym w zakresie 0-100V, zespołu przełączników sterowanych za pomocą komputera, które umożliwiają uzyskanie prądu impulsowego o impulsach nie mniejszych niż 0,1 s i dowolnej proporcji czasu impulsu do czasu przerwy. Możliwa jest również zmiana polaryzacji. Polerowanie elektrochemiczne przeprowadzono z zastosowaniem dwóch rodzajów prądu. Użyty został prąd stały oraz prąd impulsowy. Czas trwania impulsów, przerwy oraz odwrócenia polaryzacji dobrano doświadczalnie na podstawie oceny uzyskanych efektów polerowania. Wszystkie próbki polerowano w takim samym czasie, wynoszącym 3 min. Opisane wyniki uzyskano przy polerowaniu w elektrolicie E2, którego skład podano w tabeli 1. Na jego użycie zdecydowano się z powodu uzyskiwanej większej powtarzalności wyników. W

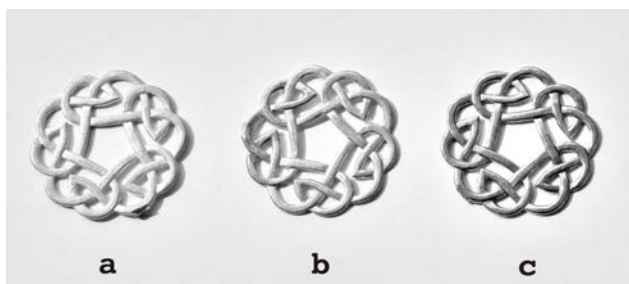
celu uniknięcia zanieczyszczenia elektrolitu zastosowano nierozpuszczalną elektrodę grafitową.

Tabela 1. Zestawienie przykładowych elektrolitów do polerowania elektrochemicznego stopów srebra

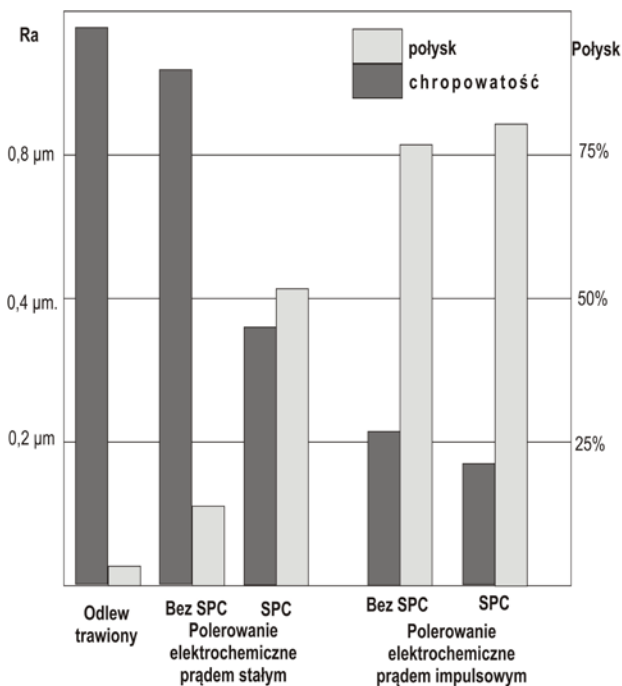
	Skład	Temperatura	Napięcie
E1	Tiomocznik 100 g Mocznik 10 g Glukoza 40 g Kwas amidosulfonowy 2 g Kwas ortofosforowy 100 ml Woda 1 l	80 - 90 ° C	3-10 V
E2	Tiomocznik 40 g Kwas ortofosforowy 20 ml Kwas siarkowy 20 ml Gliceryna 10 ml Woda 1 l	30 - 50 ° C	10 V
E3	Tiomocznik 200 g Dekstroza 200 g Mocznik 100 g Gliceryna 10 ml Kwas amidosulfonowy 5 g Woda 1 l	80 - 90 ° C	5-12V

Dla każdego rodzaju prądu przeprowadzono próby polerowania w elektrolicie niemodyfikowanym oraz z dodatkiem środków powierzchniowo czynnych. Zastosowano anionowe środki powierzchniowo czynne (sól sodowa siarczanu oksyetylowanego alkoholu laurylowego) oraz mydło potasowe. Ich dodatek do elektrolitu na podstawie przeprowadzonych badań wstępnych został ustalony na 0,25%. Próbkę po polerowaniu poddano ocenie połysku i pomiarom chropowatości. Połysk oceniony został na podstawie wzorców. Jako próbek użyto elementów biżuterii srebrnej wykonanych ze srebra próby 0,925. Przedmioty zostały odlane metodą traconego wosku, następnie odcięte od układu wlewowego i wytrawione w roztworze 10% H₂SO₄. Polerowanie w elektrolicie bez dodatku SPC wymagało zastosowania prądu impulsowego. Przy zastosowaniu prądu stałego nie uzyskano efektu wybłyszczania, a powierzchnia pokrywała się ciemnym nalotem związków chemicznych srebra i miedzi, uniemożliwiających polerowanie. Zastosowanie SPC spowodowało ułatwienie rozpuszczania powstającej powłoki. Możliwe nawet było uzyskanie niewielkiego wybłyszczania przedmiotu przy polerowaniu z użyciem prądu stałego, stosując jedynie intensywne mieszanie elektrolitu. Dodatek SPC w pewnych zakresach parametrów (temperatura, napięcie, prędkość przepływu elektrolitu) powodował osadzanie się na przedmiocie obrabianym białawej kleistej powłoki, hamującej całkowicie proces polerowania. Jest ona możliwa do usunięcia poprzez oddziaływanie mechaniczne, natomiast za pomocą mycia lub oczyszczania ultradźwiękowego nie można jej całkowicie usunąć. Na rysunku 3 przedstawione są wyroby które poddano polerowaniu. Powierzchnia po wytrawieniu jest jednolicie matowa w białoszarym kolorze. Na wykresie słupkowym (rys.4.) przedstawione zostały wyniki pomiarów chropowatości i oceny połysku dla badanych próbek. Dla porównania zamieszczone zostały również wyniki uzyskane przy polerowaniu prądem stałym.

Jak widać z wykresu próby polerowania elektrochemicznego z zastosowaniem prądu stałego i bez dodatku SPC nieznacznie poprawiają jakość powierzchni. Zastosowanie SPC znacznie zmienia efekt końcowy. Przy zastosowaniu prądu impulsowego różnice między efektami polerowania przy zastosowaniu SPC jak i bez nich nie są już tak wyraźne.



Rys. 3. Srebrne wyroby odlewane: a-wyrób surowy, b-wyrób polerowany elektrochemicznie, c-wyrób polerowany elektrochemicznie z dodatkiem SPC



Rys. 4. Zestawienie chropowatości i połysku uzyskanych w różnych wariantach polerowania elektrochemicznego

Podsumowanie

Zastosowanie środków powierzchniowo czynnych w polerowaniu elektrochemicznym stopów srebra umożliwiło uzyskanie niewielkiego wybliszczenia i poprawę chropowatości w przypadku zastosowania prądu stałego. W większości elektrolitów przy zastosowaniu prądu stałego, nawet przy intensywnym mieszaniu elektrolitu nie uzyskuje się istotnej poprawy jakości powierzchni.

Podczas polerowania prądem impulsowym dodatek SPC do elektrolitu poprawił o około 10% zarówno chropowatość powierzchni jak i jej połysk w porównaniu z powierzchnią polerowaną w elektrolicie o niezmodyfikowanym składzie.

Osiągnięte efekty polerowania elektrochemicznego stopu srebra w elektrolicie z dodatkiem środków powierzchniowo czynnych można uznać za satysfakcjonujące jako wstęp do dalszych badań.

LITERATURA

- Brepohl E., Theory and Practice of Goldsmithing, Hardcover, Trafalgar Square Books, Oct 11, 2001.
- Hryniewicz T., Fizykochemiczne i technologiczne podstawy procesu elektropolerowania stali. Wydawnictwo Uczelniane WSI.
- Kuhn A.T., Electropolishing of silver, Galvanotechnik 4/2006
- Marczenkow W.I. Juwielirnoje dieło, Wysszaja Szkoła, Moskwa 1984.
- Pszondo J., Związki powierzchniowo czynne i ich zastosowanie w produktach chemii gospodarczej, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2004.
- Rokosz K. Polerowanie elektrochemiczne stali w polu magnetycznym, Wyd. Ucz. Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2012
- Safarzyński S., Elektropolerowanie srebra, Polski Jubiler nr 1/1997-98 (1) s.38
- Zaborski S., Sudzik A. Wpływ rodzaju prądu elektrycznego na efekty polerowania elektrochemicznego metali szlachetnych. Artykuł SNOE, Warszawa 2008.
- Zaborski S., Sudzik A., Kołodziej M., Wspomaganie procesu polerowania elektrochemicznego stopów tytanu. Mechanik, 8-9, 476-485/706, 2013.