



## 5. Galwanotechnika

*Justyna Gumieniak*

### 5.1 Wprowadzenie

Mianem **galwanotechniki** określa się dział elektrochemii przemysłowej, dotyczący elektrolitycznych metod wytwarzania powłok na podłożach oraz zajmujący się procesami, które zachodzą na elektrodach i są wymuszone zewnętrzną różnicą potencjałów. Są to między innymi:

- elektrolityczne nakładanie powłok metalicznych,
- elektrolityczne trawienie metali,
- polerowanie,
- barwienie metali,
- metaloplastyka,
- powlekanie tworzyw sztucznych metalami,
- wytwarzanie powłok metalicznych,
- utlenianie (głównie utlenianie anodowe aluminium).

**Definicja 5.1 — Galwanotechnika.** To dział elektrochemii zajmujący się osadzaniem metali z roztworów na powierzchni przedmiotów różnego przeznaczenia. Galwanotechnika dzieli się na galwanoplastykę i galwanizację (galwanostegia).

**Definicja 5.2 — Galwanoplastyka.** Polega na elektrolitycznym wytworzeniu powłok, które są znacznie grubsze, niż w przypadku

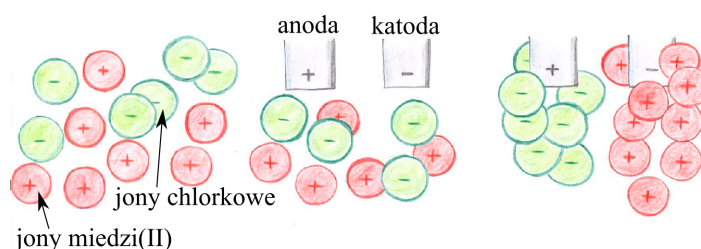
galwanizacji (do 1 mm) i w łatwy sposób można je oddzielić od pokrywanego przedmiotu. Są to samodzielne materiały użytkowe lub matryce służące do wytwarzania komponentów o skomplikowanych kształtach.

**Definicja 5.3 — Galwanizacja (galwanostegia).** Skupia się wokół elektrolitycznego wytwarzania cienkich warstw ( $0,5 - 50 \mu\text{m}$ ) metalowych oraz niemetalowych, które są silnie związane z podłożem i mają najczęściej za zadanie ochronić pokrywany metal przed korozją.

Do najpopularniejszych procesów używanych w galwanotechnice należą: chromowanie, cynkowanie, kadmowanie, miedziowanie, niklowanie oraz złocenie.

## 5.2 Elektroliza

**Elektroliza** polega na wymuszaniu reakcji chemicznej za pomocą prądu elektrycznego. W roztworze elektrolitu (substancja przewodząca prąd) umieszczone są metalowe lub grafitowe elektrody połączone ze źródłem prądu stałego. Wskutek różnicy potencjału na elektrodach, swobodne jony dodatnie przemieszczają się w kierunku katody, natomiast jony ujemne w kierunku anody. Wiąże się to z nieodwracalnymi reakcjami utleniania lub redukcji rozpuszczonych związków zachodzącymi zarówno na elektrodach, jak i w samym roztworze. Występowanie zjawiska przenoszenia substancji potwierdzają zmiany jej stężenia lub wydzielanie się jej w miejscach doprowadzania prądu do roztworu i odprowadzenia prądu z roztworu.



Rysunek 5.1: Elektroliza chlorku miedzi(II)

Przykładem może być chlorek miedzi(II), którego jony poruszają się swobodnie w roztworze. Po umieszczeniu w tym samym roztworze dwóch elektrod, jony z ładunkiem ujemnym (aniony chlorkowe) zostają

przyciągnięte do anody (elektroda dodatnia), natomiast jony o ładunku dodatnim (kationy miedzi(II)) do katody – elektroda ujemna (rys. 5.1).

### 5.3 Krótka historia galwanotechniki

Pierwszą próbę pozłacania srebrnych medali wykonał w 1805 roku włoski chemik – Luigi V. Brugnatelli. Jego eksperyment nie został dobrze odebrany przez Napoleona Bonaparte i niestety nie otrzymał on zezwolenia na publikację efektów swojej pracy we Francji, dlatego podzielił się nimi ze światem w prasie belgijskiej.

Podstawy galwanotechniki opracował rosyjski fizyk pochodzenia niemieckiego Moritz Herman von Jacobi. W 1839 roku wykorzystał on elektrolizę do pokrycia przedmiotów cienkimi, metalowymi warstwami trwale związanymi z podłożem. Z kolei w 1839 roku elektroliza posłużyła mu do wykonania metalowych kopii przedmiotów. Jako pierwsza w galwanotechnice została wykorzystana miedź.

W 1840 roku opatentowano metody elektrolitycznego srebrzenia i złocenia przedmiotów. Wywołało to niemałe poruszenie wśród europejskich jubilerów. Twórcy tych metod – George R. Elkington i Henri de Ruolz-Montchal – sprzedali swoją technologię za 600 tys. franków. Od 1857 roku powszechnie stosowano powlekanie galwaniczne w celu uszlachetniania biżuterii.

Metodę chromowania z kolei wymyślił francuski fizykochemik Antoine Cézair Becquerel w 1843 roku. Na szeroką skalę zastosowano ją w 1920 roku.

Natomiast rok 1934 to początek produkcji przedmiotów niklowanych. Pierwsze powłoki z niklu uzyskano o wiele wcześniej, bo w 1864 roku.

W XX wieku nastąpił wzrost znaczenia przemysłowego galwanizacji. Pozwoliła ona na wyeliminowanie lub w znacznym stopniu ograniczenie podatności stali na korozję, a co za tym idzie poprawę trwałości stalowych przedmiotów.

### 5.4 Procesy galwaniczne

Galwanotechnika wykorzystuje proces osadzania metalu z wodnego roztworu jego soli, wskutek czego powstaje cienka, zwarta warstwa jednego metalu na powierzchni przedmiotu wykonanego z innego metalu.

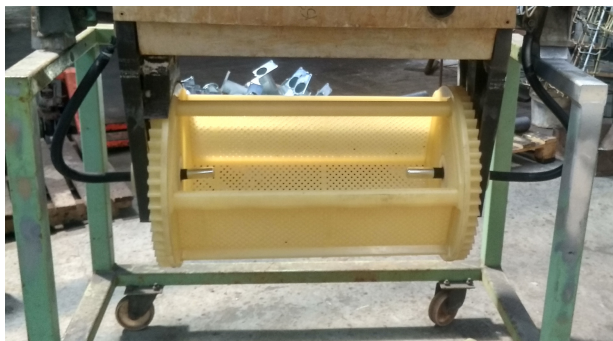
Powłoki galwaniczne powinny być nakładane na fizycznie czystą powierzchnię metalu, który ma być chroniony. Powierzchnia ta jest zazwyczaj zanieczyszczona i chropowata, dlatego wcześniej musi zo-

stać poddana obróbce mechanicznej polegającej na usunięciu tlenków, uszkodzeń w przypowierzchniowej warstwie (np. wżery, pęknięcia, rysy, plamy) oraz zaokrągleniu ostrych krawędzi, zmniejszeniu falistości i chropowatości powierzchni. W niektórych przypadkach wymagane jest także nadanie ozdobnej faktury.



Rysunek 5.2: Przykładowe elementy poddane procesom galwanicznym

Uzyskanie powłok ochronno-dekoracyjnych o dobrej jakości i przyczepności wymaga bardzo dokładnego oczyszczenia powierzchni podłoża z olejów, tłuszczów oraz produktów korozji. Zanieczyszczenia mechaniczne stanowią pozostałość po obróbce mechanicznej. Dodatkowo na powierzchni mogą występować kurz, piasek, brud, sole oraz resztki ścierniwa z poprzedzających procesów. Zanieczyszczenia te mogą zostać usunięte w sposób mechaniczny (ścieranie), fizyczny (rozpuszczanie, emulgowanie), chemicznie (obróbka w solach stopionych, zmydlanie tłuszczów, rozpuszczanie), elektrochemicznie lub fizykochemicznie.



Rysunek 5.3: Bęben galwaniczny do obróbki drobnicy

Przed rozpoczęciem prac przygotowawczych części przeznaczone do obróbki galwanicznej powinny być wykończone pod względem mechanicznym (odpowiednie wymiary, stopień gładkości itp.). Od momentu założenia danej części na uchwycie, umieszczenia w bębnie lub kielichu nie można dotykać przedmiotu ani on nie może dotykać wyposażenia galwanizerni, aż do zakończenia procesu z osadzaniem powłoki włącznie.

Przygotowanie powierzchni przed osadzaniem powłok galwanicznych składa się najczęściej z następujących etapów:

1. odtłuszczenie wstępne zgrubne,
2. trawienie,
3. płukanie zimne,
4. odtłuszczenie chemiczne,
5. płukanie gorące i zimne,
6. odtłuszczenie elektrochemiczne,
7. płukanie gorące i zimne,
8. aktywacja, płukanie zimne.

W razie potrzeby procesy te mogą być powtarzane lub połączone z innymi metodami, np. odtłuszczenie z równoczesnym działaniem ultradźwięków.

Galwanizowany przedmiot zanurza się w specjalnej wannie i poddaje kąpieli galwanicznej (rys. 5.4). Pełni on rolę katody, natomiast czysty kawałek metalu, używany do powlekania stanowi anodę.



Rysunek 5.4: Wanny wykorzystywane w procesach galwanicznych

Pod pojęciem **kąpieli galwanicznej** rozumie się wodny roztwór związków chemicznych, w którego skład wchodzi sole nakładanego metalu oraz dodatkowe związki organiczne i nieorganiczne, mające wpływ na przewodność roztworu, a także jakość uzyskiwanych powłok. Kąpiel taka jest elektrolitem. Przez roztwór przepuszczany jest prąd elektryczny, a na zanurzonych w nim elektrodach następuje wydzielanie się np. metalu i powstawanie powłok galwanicznych.

Głównym zadaniem powłok galwanicznych jest ochrona pokrytych elementów przed korozją. Mogą one także mieć wpływ na zmianę właściwości mechanicznych elementu, wskutek czego dany przedmiot będzie np. mniej podatny na ścieranie, działanie wysokiej temperatury i bardziej twardy. Dodatkowym atutem procesów galwanizacji jest możliwość uzyskania efektów estetycznych (funkcje dekoracyjne). Powłoki ochronne znalazły zastosowanie w przemyśle okrętowym, maszynowym oraz przy produkcji przedmiotów codziennego użytku.

## Cynkowanie

Cynkowanie jest najpowszechniej wykorzystywanym procesem galwanicznym. Stosowane są w nim kąpiele kwaśne i alkaliczne. Rodzaj kąpeli uzależniony jest od kształtu wyrobu.



Rysunek 5.5: Anody wykorzystywane w procesie cynkowania

W przypadku elementów o prostych kształtach, stosowane są kwaśne kąpiele siarczanowe. Profilowane wyroby o skomplikowanych kształtach

wymagają alkalicznych kąpeli cyjankowych, które są trujące i wykonywane z użyciem urządzeń wyciągowo-wentylacyjnych.

Metal należy odłuścić w rozpuszczalnikach, a następnie wytrawić w kwasach (kwas solny lub siarkowy). Kolejne etapy to płukanie, odłuszczenie elektrolityczne, kolejne płukanie, cynkowanie w elektrolicie kwaśnym, amonowym lub alkalicznym cyjankowym. Po kolejnym płukaniu następuje rozjaśnienie powłoki w rozcieńczonym kwasie azotowym. Końcowy etap to suszenie. Do podstawowych składników kąpeli cyjankowych zalicza się tetracyjanocynkan sodu i cynkan sodu. Powstają one przy rozpuszczeniu tlenku cynku w roztworze cyjanku sodu i ługu sodowym. W celu poprawy wyglądu cynkowych powłok stosowane są dodatki, takie jak siarczek sodu i tiosiarczan sodu. Kąpiel przeprowadzana jest w zakresie temperatury od 340 do 400°C. Podstawowy składnik kwaśnych kąpeli siarczanowych stanowi siarczan(VI) cynku. By zwiększyć odporność korozyjną powłok cynkowych stosuje się chromowanie, polegające na wytworzeniu cienkiej warstwy, w której skład wchodzi zasadowe chromiany cynku i chromu.

Proces cynkowania wykorzystywany jest w przypadku elementów o bardzo małych rozmiarach, m.in. nakrętek, śrub lub wkrętów, a także do całych podzespołów, np. uchwytów, części roboczych narzędzi oraz fragmentów urządzeń. Cynkowaniu poddawane są także elementy ogrodzeń, całe profile stalowe, pręty i różnego rodzaju przedmioty wykonane z drutu.



Rysunek 5.6: Porównanie przedmiotów przed i po cynkowaniu

Podstawową zaletą stosowania metody cynkowania galwanicznego jest brak zmiany wagi i rozmiarów produktu z jednoczesnym zachowaniem jego walorów użytkowych.

## Cynowanie

Powłoki cynowane stosowane są najczęściej w procesie spożywczym. Dodatkowo wykazują dobrą odporność na działanie siarki, dlatego wykorzystywane są także w przemyśle kablowym w celu ochrony przewodów miedzianych izolowanych gumą zawierającą siarkę.

W procesie nakładania powłok cynowych stosowane są kąpiele kwaśne (podstawowy składnik to siarczan cyny(II)) i alkaliczne (podstawowy składnik to cynian sodu). Pierwsze mają wysoką trwałość, a drugie z kolei głębiej wnikają w metal. Anody są rozpuszczalne i wykonane z bardzo czystej cyny. Ozdobne pokrycie cyną określane jest mianem krystalitu, gdyż w końcowym etapie obróbki, na powierzchni tworzą się kryształy cyny, przypominające wzory na szybach okiennych w trakcie mrozu. Krystalit wymaga dwukrotnego cynowania i nikiowania.

## Kadmowanie

Zaletą powłok wykonanych w procesie kadmowania jest odporność w warunkach morskich. Pokrycia kadmowe stosowane są między innymi w celu zapewnienia ochrony przed korozją części wykonanych z żeliwa i stali. Mają również duże znaczenie dekoracyjne. Wykorzystywane są także do pokrycia wirników, niektórych części sprzętu elektronicznego. W przemyśle lotniczym warstwę kadmu nakłada się na elementy ze stopów miedzi, stali nierdzewnej i tytanu w celu ochrony przed korozją stykową, występującą podczas kontaktu tych metali z aluminium, stopami aluminium lub stopami magnezu.

Powłoki otrzymywane są z kąpeli siarczanowych, fluoroboranowych i cyjankalicznych. Podstawowy składnik kąpeli siarczanowej stanowi siarczek kadmu. Do kąpeli dodawane są również chlorki, w celu poprawy przewodnictwa elektrolitu oraz zwiększenia rozpuszczalności anod. W przypadku kąpeli fluoroboranowych, jako główny składnik, wykorzystywany jest fluoroboran kadmu. Nośnikiem metalu są kationy kadmu, które powstają wskutek dysocjacji fluoroboranu kadmu. Kąpiele te są bardzo trwałe, jednak posiadają jedną zasadniczą wadę – słabe wnikanie w pory metalu (tzw. wgłębność). Z tego względu nie mogą być stosowane do pokrywania elementów o skomplikowanych kształtach. W galwanicznym kadmowaniu najczęściej stosowane są kąpiele cyjankowe. Sole kadmowe rozpuszczane są w roztworze wodorotlenku sodu i cyjanku sodu.

Wadą procesu kadmowania jest wysoka cena oraz wydzielanie się toksycznych par związków kadmu i cyjanków. Z tych powodów w wielu



krajach kadmowanie jest zabronione. Dodatkowo kadmowanie wymaga anod o zawartości czystego kadmu, co najmniej 99,99%. Inne mogą wpływać na zaburzenia w eksploatacji kąpeli. Z kolei ze względu na wydzielające się zanieczyszczenia na katodach pomocniczych należy cyklicznie przepracowywać (oczyszczać) kąpiel. Efektami są strata cennego metalu, czasu oraz dodatkowe koszty. Ze względu na ryzyko szybszego rozkładu cyjanków i szybszego wzbogacania się kąpeli w węglany nie jest zalecane stosowanie nierozpuszczalnych anod pomocniczych.

## Chromowanie

Pierwsze elektrolityczne wydzielenie chromu przeprowadzono w 1843 roku. Chrom osadza się z roztworu kwasu chromowego (chrom występuje w anionie) z dodatkiem kwasów, np. siarkowego(VI), które pełnią rolę katalizatorów. Redukcja chromu uzależniona jest od atomów wodoru.

Powłoki chromowe wykazują wysoką twardość, odporność na ścieranie, jednak są też kruche. Znalazły zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym i precyzyjnym (przrządy pomiarowe). Chromowanie dekoracyjne odbywa się poprzez nałożenie cienkiej warstwy chromu na podwarstwę miedzi i niklu, a nie bezpośrednio na stali.



Rysunek 5.7: Zawieszona na uchwytnych przedmioty w kąpielach galwanicznych

## Miedziowanie

Elektrolityczne miedziowanie to najstarszy proces wykorzystywany w galwanotechnice. Po raz pierwszy zastosowano go w 1830 roku. Otrzymano wówczas pierwsze miedziane powłoki poprzez wydzielanie miedzi z kwaśnych roztworów siarczanu miedzi(II). W 1840 roku zastosowano po raz pierwszy kąpiel cyjankową.

Obecnie procesy miedziowania przeprowadzane są w kąpielach kwaśnych (siarczanowych i fluoroboranowych) oraz alkalicznych (polifosforanowych i cyjankowych). Ze względu na większą wgłębność, do kąpeli elementów o skomplikowanych kształtach, stosuje się kąpiele alkaliczne, zwłaszcza cyjankowe.



Rysunek 5.8: Kosze i uchwyty stosowane w procesach galwanicznych do umieszczania przedmiotów w kąpielach

W celu uzyskania powłok błyszczących stosowane są okresowa zmiana kierunku prądu (miedziany przedmiot staje się na przemian katodą i anodą) oraz dodatkowe substancje blaskotwórcze, takie jak tiocyjanian potasu. W kąpielach kwaśnych głównymi składnikami są siarczan miedzi(II) i kwas siarkowy(VI).

Ze względu na podatność miedzi do utleniania się, powłoki miedziane wykorzystywane są najczęściej jako podwarstwy przed nikiłowaniem stali, srebrzeniem, złoceniem oraz przy osadzaniu trójwarstwowych powłok pełniących rolę dekoracyjno-ochronną, np. miedź-nikiel-

chrom. Powłoki miedziane stosowane są również w galwanoplastyce, w procesach osadzania warstw o dużej grubości, takich jak np. miedziowanie rurek o skomplikowanych kształtach oraz miedziowanie drutów i taśm.

## Niklowanie

Po raz pierwszy nikiel został otrzymany za pomocą elektrolizy w 1864 roku. Na skalę przemysłową powłoki niklowe uzyskiwane są od około 1934 roku. Pełną one funkcje dekoracyjne oraz ochronne. Wykazują dużą odporność korozyjną i są łatwe w obróbce.

Powłoka niklowa to powłoka katodowa chroniąca stal wyłącznie, gdy jest bardzo szczelna (nie stanowi elektrochemicznej ochrony stali). Z tego względu stosowane są grube, nieporowate warstwy oraz wielowarstwowe powłoki, np. miedź-nikiel-chrom.

Wykorzystywaną po dziś dzień kąpiel opracował Oliver Patterson Watts w 1916 roku. Zawiera ona siarczan niklu(II), chlorek niklu(II) oraz kwas borowy. Z kolei Max Schlötter uważany jest za pomysłodawcę kąpeli do niklowania z połyskiem, wykonanej po raz pierwszy w 1930 roku. Pokrycia błyszczące znalazły zastosowanie między innymi w przemyśle motoryzacyjnym jako pokrycia zderzaków, ozdoby karoserii, kierownic, ram i szprych motocykli, a także w przemyśle precyzyjnym jako pokrycia stalowych części armatury (czarny nikiel).

## Srebrzenie

Powłoki srebrne wykorzystywane są głównie jako powłoki dekoracyjno-ochronne na wyrobach jubilerskich, zastawie stołowej, instrumentach muzycznych oraz w przemyśle elektrotechnicznym (np. pokrycia kontaktów i elementów lamp elektronowych).

Srebrzeniu poddawane są przedmioty wykonane z mosiądzu, miedzi oraz stopów niklowo-miedziowych. Przed wykonaniem srebrzenia stalowe elementy wymagają miedziowania na grubość około kilkudziesięciu mikrometrów.

W procesach srebrzenia wykorzystywane są kąpiele cyjankowe, które zostały opracowane w 1840 roku. Stosowane są one zarówno do srebrzenia z połyskiem, matowego oraz do otrzymywania powłok o zwiększonej twardości. Podstawowymi składnikami takich kąpeli są cyjanek srebra, cyjanek potasu lub cyjanek sodu. W celu zwiększenia przyczepności, przedmioty przed procesem srebrzenia, poddawane są amalgamowaniu, czyli zanurzeniu na około od 3 do 5 sekund w roztworze tlenku rtęci(II) i cyjanku potasu. Do otrzymania matowych powłok wykorzystywany



Rysunek 5.9: Przedmioty poddane procesowi srebrzenia

jest cyjanek srebra, natomiast do powłok błyszczących środki zawierające siarkę, takie jak tiocyjanian potasu, tiosiarczki amonu oraz najefektywniejszy wybłyszczacz selenian sodu.

## Złocenie

Procesowi złocenia poddawane są np. instrumenty muzyczne, stalówki piór, a przede wszystkim wyroby jubilerskie, ze względu na odporność złota na warunki atmosferyczne.

Barwa otrzymanych powłok uzależniona jest od rodzaju soli metali dodawanych do kąpeli. Najczęściej stosowane są kąpiele cyjankowe. Mogą być one przeprowadzane w niskich stężeniach, co wpływa na obniżenie kosztów materiału. Ich głównymi składnikami są cyjanek złotawy-potasowy oraz cyjanek potasu. Fosforan(V) sodu dodawany jest w celu zwiększenia przewodnictwa kąpeli. W celu uzyskania błyszczących powłok stosowane są tiomocznik, nitroguanidyna oraz olej turecki.

## Brązowanie

Powłoki z brązu osadzane elektrolitycznie wykazują dużą odporność korozyjną ze względu na ich szczelność i nie różnią się od brązów hutniczych. Zawartość cyny w stopach miedzi i cyny wynosi od 8 do 15%.

W procesach brązowania stosuje się kąpiele cyjankowo-cyjanowe. Stopy cynowo-olowiowe, które charakteryzują się wysokim działaniem antykorozyjnym, wykorzystuje się do pokrywania panewek łożyskowych, kabli wysokiego napięcia, telefonicznych oraz podmorskich.

## Powłoki stopowe

Elektrolityczne osadzanie stopów stosuje się do celów przemysłowych. Wpływa ono na zmniejszenie zużycia kosztownych metali nieżelaznych przy nakładaniu powłok stopowych.

Za najstarszą galwaniczną powłokę stopową uznaje się powłoki mosiężne (stop miedzi i cynku), które charakteryzują się dobrą przyczepnością do metali, można je łatwo polerować i wykorzystywane są np. jako podkład pod niklowanie, cynowanie i srebrzenie. Zwiększają również przyczepność gumy, w związku z tym przed gumowaniem stosowane jest mosiądźowanie stali.

## 5.5 Podsumowanie wiadomości

Galwanotechnika to dział elektrochemii zajmujący się osadzaniem metali z roztworów na powierzchni przedmiotów różnego przeznaczenia.

Osadzanie metali może być prądowe lub bezprądowe. Pierwsze polega na wydzieleniu metalu z roztworu na powierzchni elementu pokrywanego pod wpływem przyłożonego z zewnątrz napięcia. Z kolei bezprądowe osadzanie metali to procesy nakładania powłok metalowych bez doprowadzania prądu ze źródła zewnętrznego. Obydwa rodzaje wymagają odpowiedniego przygotowania powierzchni pokrywanego przedmiotu poprzez zastosowanie szlifowania, polerowania, odtłuszczenia, płukania oraz trawienia.

Powłoki galwaniczne można podzielić ze względu na ich przeznaczenie na:

- ochronne,
- dekoracyjne,
- techniczne.

Najpopularniejszymi metalami, z których tworzy się powłoki galwaniczne są chrom, nikiel, cynk, złoto, cyna, miedź oraz kadm. Zastosowanie określonej powłoki jest uzależnione od celu, jakemu ma służyć, a jej jakość zależy od temperatury i czystości kąpeli, stężenia składników kąpeli, wartości pH, gęstości prądu i geometrii anody.

Procesy związane z galwanostegią to:

- barwienie metalu podłoża;
- nakładanie innego metalu w celach antykorozyjnych, ozdobnych lub technologicznych;
- odtłuszczenie (usunięcie tłuszczu oraz wyższych węglowodorów w specjalnych kąpielach);
- polerowanie (wygładzanie powierzchni metalu w kąpeli o ograniczonej agresywności, głównie w celu zwiększenia połysku pod-

łoża);

- trawienie (kąpiel agresywna – usuwanie tlenków metali oraz innych zabrudzeń);
- trawienie intensywne (zmatowienie podłoża – zwiększenie powierzchni styku z kolejną warstwą, wzrost przyczepności);
- wytwarzanie lub osadzanie związków chemicznych (ozdobne, antykorozyjne, powłoki porowate – podłoża o zwiększonej przyczepności dla powłok zabezpieczających).

Proces galwanizacji jest niezbędny do zachowania jakości oraz długowieczności przedmiotów o różnorodnych kształtach i przeznaczeniu.

## 5.6 Zrób to sam – doświadczenia

Doświadczenia związane z procesami galwanicznymi często wymagają kontaktu z substancjami niebezpiecznymi dla zdrowia. Każdy galwanotechnik, nawet ten, który wykonuje eksperymenty w domu, powinien zadbać o odpowiednie środki ochrony, takie jak fartuch, okulary, rękawice, a także maska ochronna. Bardzo ważne jest również zabezpieczenie substancji przed dostępem osób niepowołanych.

Podstawowe przyrządy, które mogą przydać się do wykonania doświadczeń w domowym zaciszu to: wanienska na elektrolit, multimetr elektroniczny, zasilacz prądu stałego z regulacją natężenia, zestaw anod i katod (w zależności od procesu) oraz zestaw odpowiednich odczynników.

### Ćwiczenie 5.1 — Miedziowanie chemiczne w domu - sposób I.

Do wykonania doświadczenia potrzebne będą:

- kwasek cytrynowy,
- woda,
- kawałki pokrytej patyną miedzi, np. blaszki, kawałki rurki, monety,
- gwóźdź stalowy,
- papier ścierny,
- mydło,
- naczynie szklane, np. słoik, dzbanek.

Sposób wykonania:

1. Do szklanego naczynia wlać pół szklanki wody. Następnie wsypać zawartość jednego opakowania kwasu cytrynowego (20 g). Składniki wymieszać aż do rozpuszczenia kwasu.
2. Do przygotowanego roztworu wrzucić miedziane elementy.

3. Poczekać około 60 minut.
4. Wyczyścić gwóźdź papierem ściernym. Pozostałe zabrudzenia usunąć przy użyciu mydła i wody (jest to proces odtłuszczenia).
5. Wyjąć miedziane przedmioty z roztworu kwasu cytrynowego.
6. Do tego samego roztworu włożyć na kilka godzin wyczyszczony wcześniej gwóźdź.

Po wyjęciu z roztworu miedziane przedmioty powinny być czyste i błyszczące.

W przypadku gwoździa można zaobserwować powstanie cienkiej warstwy w kolorze brązowym (przypomina rdzę), w której skład wchodzi czysta miedź. Nalot tworzy się wskutek przemieszczenia się cząsteczek miedzi do roztworu kwasu cytrynowego, ich naładowania się elektrycznie, a następnie ich osadzenia się na powierzchni żelaza, z którym trwale się łączą. ■

### Ćwiczenie 5.2 — Miedziowanie chemiczne w domu - sposób II.

**UWAGA!** Eksperyment z miedziowaniem należy przeprowadzić w dobrze wentylowanym pomieszczeniu, a w razie potrzeby poprosić o pomoc osobę dorosłą.

Do wykonania doświadczenia potrzebne będą:

- dowolny przedmiot miedziany,
- przedmiot metalowy, który zostanie pokryty miedzią,
- szklany pojemnik z pokrywką,
- dwa przewody z zaciskami krokodylkowymi,
- zasilanie (najlepiej z regulowanym napięciem),
- ocet (jest to 10% kwas octowy),
- opcjonalnie narzędzie do polerowania elementu po miedziowaniu.

Sposób wykonania:

1. Zacisnąć miedziany przedmiot krokodylkami, a następnie umieścić go w pojemniku tak, by zaciski się nie dotykały.
2. Do pojemnika wlać ocet, aż większa część miedzianego elementu będzie w nim zanurzona (krokodylki nie mogą mieć kontaktu z octem).
3. Następnie należy podłączyć przewody krokodylkowe do zasilania, ustawić napięcie o wartości 12 V i podłączyć blok do sieci na około 30 minut (jedna część miedzianego drutu będzie pokryta bąbelkami - jest negatywna).

4. Odłączyć zasilacz i ujemny zacisk (po stronie bulgoczącej miedzi). Kolejno podłączyć do tego krokodyla metalowy przedmiot. Ustawić napięcie zasilacza na najniższe (na początek). Ponownie podłączyć blok do sieci i obserwować, jak metalowy przedmiot pokrywa się miedzią. Pozostawić go w roztworze na około 30 minut.
5. By przedmiot błyszczał, należy go delikatnie wypolerować, zachowując ostrożność, ponieważ na platerowanym przedmiocie występuje tylko cienka warstwa miedzi.

Można wykonać eksperyment kilka razy zmieniając wartości napięcia (zalecane maksymalnie do 12 V) oraz czas, a następnie porównać wygląd i jakość otrzymanych powłok. ■