

## Elektropolerowanie stali nierdzewnych



## Euro Inox

Euro Inox jest stowarzyszeniem zajmującym się rozwojem europejskiego rynku stali nierdzewnych. Członkami Euro Inox są następujące organizacje i instytucje:

- europejscy producenci stali nierdzewnych
- krajowe organizacje zajmujące się rozwojem stali nierdzewnych
- stowarzyszenia zajmujące się wprowadzaniem dodatków stopowych

Głównym celem działania Euro Inox jest rozwijanie świadomości na temat wyjątkowych własności stali specjalnych i propagowanie ich szerszego zastosowania oraz zdobywanie nowych rynków. Aby osiągnąć ten cel, Euro Inox organizuje konferencje i seminaria oraz wydaje przewodniki w formie drukowanej i elektronicznej, dla umożliwienia architektom, projektantom, zaopatrzeniowcom, producentom oraz użytkownikom lepszego zaznajomienia się z tym materiałem. Euro Inox wspiera również techniczne i rynkowe prace badawcze.

ISBN 978-2-87997-316-6

978-2-87997-310-4	wersja angielska
978-2-87997-311-1	wersja niemiecka
978-2-87997-312-8	wersja fińska
978-2-87997-313-5	wersja francuska
978-2-87997-314-2	wersja włoska
978-2-87997-315-9	wersja duńska
978-2-87997-317-3	wersja hiszpańska
978-2-87997-318-0	wersja szwedzka
978-2-87997-319-7	wersja czeska
978-2-87997-320-3	wersja turecka

## Członkowie zwyczajni

### Acerinox

[www.acerinox.es](http://www.acerinox.es)

### ArcelorMittal Stainless Belgium

### ArcelorMittal Stainless France

[www.arcelormittal.com](http://www.arcelormittal.com)

### Outokumpu

[www.outokumpu.com](http://www.outokumpu.com)

### ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni

[www.acciaiterni.it](http://www.acciaiterni.it)

### ThyssenKrupp Nirosta

[www.nirosta.de](http://www.nirosta.de)

## Członkowie stowarzyszeni

### Acroni

[www.acroni.si](http://www.acroni.si)

### British Stainless Steel Association (BSSA)

[www.bssa.org.uk](http://www.bssa.org.uk)

### Cedinox

[www.cedinox.es](http://www.cedinox.es)

### Centro Inox

[www.centroinox.it](http://www.centroinox.it)

### Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

[www.edelstahl-rostfrei.de](http://www.edelstahl-rostfrei.de)

### International Chromium Development Association (ICDA)

[www.icdachromium.com](http://www.icdachromium.com)

### International Molybdenum Association (IMOA)

[www.imoa.info](http://www.imoa.info)

### Nickel Institute

[www.nickelinstitute.org](http://www.nickelinstitute.org)

### Paslanmaz Çelik Derneği (PASDER)

[www.turkpasder.com](http://www.turkpasder.com)

### Polska Unia Dystrybutorów Stali (PUDS)

[www.puds.pl](http://www.puds.pl)

### SWISS INOX

[www.swissinox.ch](http://www.swissinox.ch)

Elektropolowanie stali nierdzewnych  
 Wydanie pierwsze 2009  
 (Materiały i zastosowania, zeszyt 11)  
 © Euro Inox 2009

#### **Wydawca**

Euro Inox  
 Diamant Building, Bd. A. Reyers 80  
 1030 Bruksela, Belgia  
 Tel.: +32 2 706 82 67  
 Fax: +32 2 706 82 69  
 E-mail: info@euro-inox.org  
 Internet: www.euro-inox.org

#### **Autor**

Alenka Kosmač, Bruksela (B)  
 Polskie tłumaczenie Zbigniew Brytan  
 CTP, Warszawa, Polska

#### **Podziękowania**

Euro Inox pragnie złożyć podziękowania Panom Siegfriedowi Pieslinger– Schweiger, Poligrat (D) i Johnowi Swainowi, Anopol (UK) za ich wkład w przygotowanie publikacji.

#### **Zdjęcia**

Zdjęcie na okładce: Packo Surface Treatment, Diksmuide (B)

#### **Zastrzeżenie**

Euro Inox dołożył wszelkich starań, aby informacje zawarte w tej publikacji były technicznie poprawne. Jednakże, zwraca się uwagę czytelnika, że materiał zawarty w niniejszym opracowaniu stanowi tylko ogólną informację. Euro Inox, jego członkowie, personel i konsultanci nie ponoszą żadnej odpowiedzialności za jakiegokolwiek straty, zniszczenia lub szkody wynikające z zastosowania informacji zawartych w niniejszym opracowaniu.

## **Spis treści**

1. Wstęp	2
2. Podstawy procesu	4
3. Etapy procesu	6
3.1 Przygotowanie powierzchni	7
3.2 Elektropolowanie	7
3.3 Obróbka końcowa	8
4. Elektropolowanie kontra inne metody wykańczania powierzchni	9
4.1 Polerowanie mechaniczne	9
4.2 Powlekanie galwaniczne	10
5. Specyfikacja wykończeń elektropolowanych	11
6. Typowe zastosowania	12
7. Słownik	15
8. Literatura	17

#### **Uwagi o prawie autorskim**

Opracowanie niniejsze jest objęte prawem autorskim. Euro Inox zastrzega sobie wszelkie prawa do tłumaczenia na wszystkie języki, przedruku, użycia ilustracji, cytowania lub rozpowszechniania. Żadna część tej publikacji nie może być powielona, przechowywana w systemach wyszukiwawczych ani przekazywana w żaden inny sposób: elektroniczny, mechaniczny, za pomocą fotokopii czy nagrań bez uprzedniej pisemnej zgody właściciela praw autorskich tj. Euro Inox, Luksemburg. Naruszenie tych praw może podlegać procedurze prawnej w zakresie odpowiedzialności za wszelkie szkody pieniężne wynikające z tego naruszenia jak również poniesienia kosztów i opłat prawnych oraz podlega ściganiu w ramach przepisów luksemburskiego prawa autorskiego oraz przepisów obowiązujących w Unii Europejskiej.

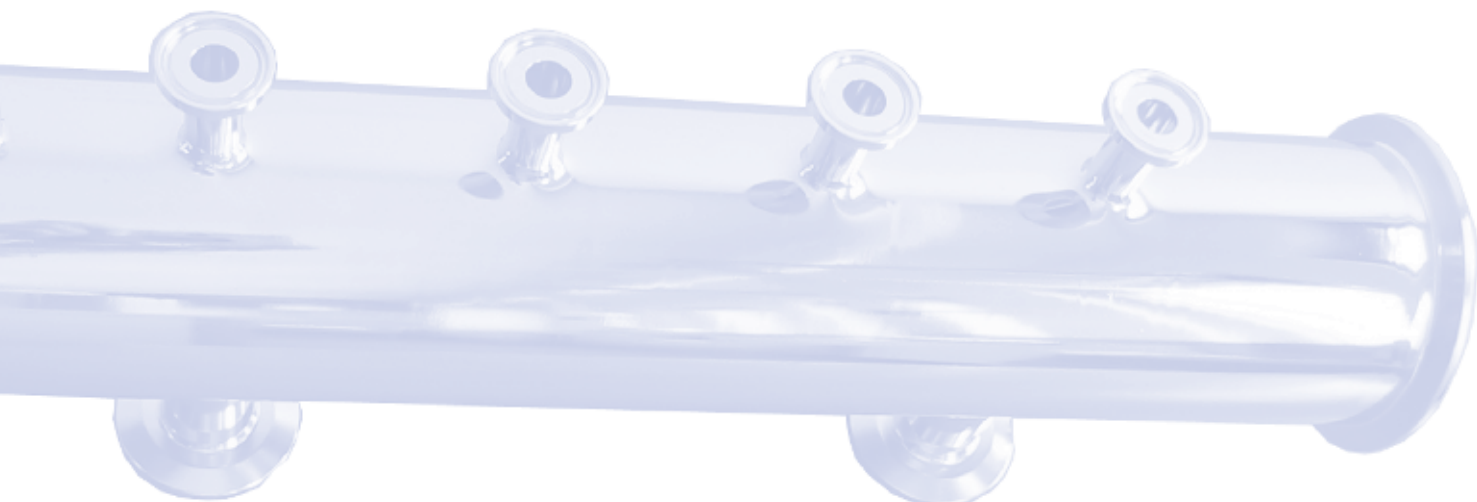
## 1 Wstęp

Elektropolerowanie (polerowanie elektrolityczne) jest chemiczną metodą wykańczania powierzchni (zob. ramka), w której metal usuwany jest elektrolitycznie jon po jonie z powierzchni przedmiotu metalowego [1]. Jego podstawowym celem jest zmniejszenie mikrochropowatości powierzchni, co wydajnie redukuje niebezpieczeństwo przylegania brudu lub osadów i polepsza podatność do czyszczenia powierzchni. Elektropolerowanie jest także stosowane w celu gratowania, rozjaśnienia i pasywacji powierzchni.

Proces elektropolerowania odstawia jednolitą, metalurgicznie czystą powierzchnię metalu. Unika się przy tym lub eliminuje możliwe niepożądane efekty polerowania mechanicznego takie jak naprężenia mechaniczne i cieplne, cząstki wbite w powierzchnię i zwiększenie jej chropowa-

tości. Zostaje także w pełni zachowana wrodzona odporność korozyjna danego gatunku stali nierdzewnej. Z tych przyczyn proces elektropolerowania staje się powszechną obróbką stali nierdzewnych w zastosowaniach, gdzie odporność korozyjna i podatności do czyszczenia są szczególnie wysokie. Do typowych przykładów należy przemysł farmaceutyczny, biochemiczny i spożywczy.

Ze względu na fakt, że elektropolerowanie nie oddziałuje mechanicznie, cieplnie oraz nie pozostawia chemicznego wpływu na powierzchnię można tą metodą obrabiać drobne i delikatne elementy. Elektropolerowanie można stosować dla elementów o prawie każdym kształcie i rozmiarach.



## *Chemiczna obróbka powierzchni: kiedy stosować i dlaczego*

Istnieje szeroka gama chemicznych metod obróbki powierzchni. Wszystkie z nich przyczyniają się do otrzymania czystej metalicznej powierzchni, ich oddziaływanie pokrywa się, lecz są stosowane w wyraźnie różnym celu:

### **Wytrawianie**

Wytrawianie usuwa tlenki, zwłaszcza barwę nalotową (powstałą w wyniku spawania) i inne przebarwienia lub produkty korozyjne. Tworzy czystą metaliczną powierzchnię, która zapewnia warunki odpowiednie dla wystąpienia naturalnej samoczynnej pasywacji stali nierdzewnej. Typowe środki do wytrawiania zawierają kwas azotowy i fluorowodorowy. Czas obróbki zależy od temperatury roztworu i stopnia jego koncentracji.

### **Pasywacja**

Samoczynna pasywacja stali nierdzewnej zwykle zachodzi spontanicznie w obecności tlenu zawartego w powietrzu lub w wodzie. Proces ten jednak może trwać kilka dni zanim warstwa pasywna osiągnie pełną grubość. Chemiczna pasywacja powierzchni w kontrolowanych warunkach procesu

przyśpiesza powstawanie warstwy pasywnej i zapewnia jej szybki wzrost do pełnej wytrzymałości. Pasywację wykonuje się w roztworze rozcieńczonego kwasu azotowego, a czas obróbki zawiera się od 15 minut do 1 godziny.

### **Dekontaminacja lub czyszczenie kwasem**

Usuwa cząsteczki żelaza, które ulegają korozji, jeżeli znajdują się na powierzchni stali nierdzewnej – na przykład, kiedy element ze stali nierdzewnej został wystawiony na oddziaływanie zanieczyszczeń od żelaza (pył z szlifowania, skorodowane cząstki obrabianej w pobliżu stali węglowej, ścierniwo z narzędzi, itd.)<sup>1</sup>

### **Elektropolerowanie**

Elektropolerowanie jest stosowane w celu oczyszczenia powierzchni metalicznej, zmniejszenia mikrochropowatości i uzyskania wielu innych pożądaných efektów, opisanych w tej publikacji. Proces kieruje się zasadami elektrolizy i wymaga przepływu prądu i zastosowania elektrolitu, głównie roztworu kwasu siarkowego i ortofosforowego. Czas obróbki zawiera się zwykle między 2 a 20 minut.

<sup>1</sup> Por. CROOKES, Roger, Wytrawianie i pasywacja stali nierdzewnej, Luksemburg: Euro Inox, wydanie drugie 2007 (Seria: Materiały i zastosowania, zeszyt 4) – [http://www.euro-inox.org/pdf/map/Passivating\\_Pickling\\_PL.pdf](http://www.euro-inox.org/pdf/map/Passivating_Pickling_PL.pdf)

## 2 Podstawy procesu

Elektropolerowanie, w wyniku przepływu prądu elektrycznego, usuwa warstwę metalu z powierzchni obrabianego elementu zanurzonego w elektrolicie o określonym składzie chemicznym. Elektropolerowanie jest zasadniczo odwrotnością procesu galwanizacji. W układzie powlekania galwanicznego jony metalu pochodzące z roztworu osadzają się na obrabianym elemencie. W układzie elektropolerowania sam obrabiany element jest rozpuszczany oddając jony metalu do roztworu.

Typowa instalacja do elektropolerowania jest podobna w wyglądzie do linii powlekania galwanicznego. Źródło zasilania przekształca prąd zmienny (AC) w prąd stały (DC) o niskim napięciu. Jako zbiorniki procesowe (wanny), w których znajduje się chemiczna kąpiel używa się zbiorników plastikowych lub wyłożonych ołowiem. W zbiorniku znajduje się szereg płyt wykonanych z ołowiu, miedzi lub stali nierdzewnej, które stanowią katodę i są przyłączone do ujemnego bieguna (-) źródła zasilania. Element lub grupa elementów obrabianych jest z kolei mocowana na wieszakach wykonanych z tytanu, miedzi

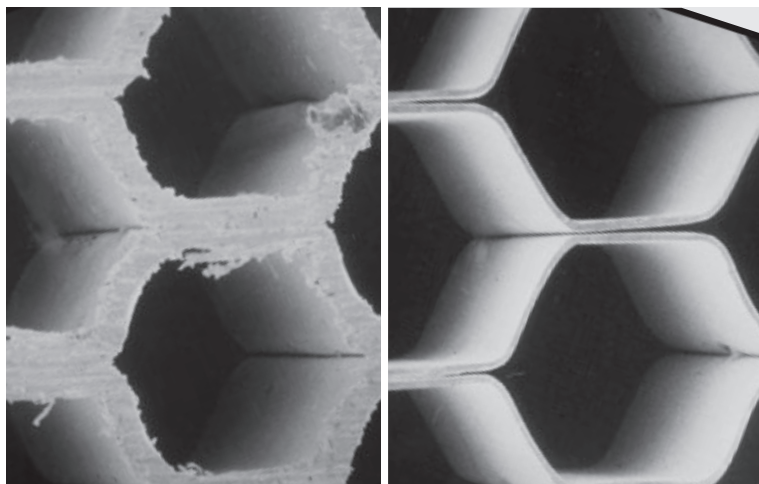
lub brązu, które są połączone z biegunem dodatnim (+) źródła zasilania.

Element obrabiany jest połączony do dodatniego zacisku (anoda), a zacisk ujemny (katoda) jest połączony do odpowiedniego przewodnika. Oba zaciski, dodatni i ujemny są zanurzone w elektrolicie tworząc pełny obwód elektryczny. Obwód zasilany jest prądem stałym (DC).

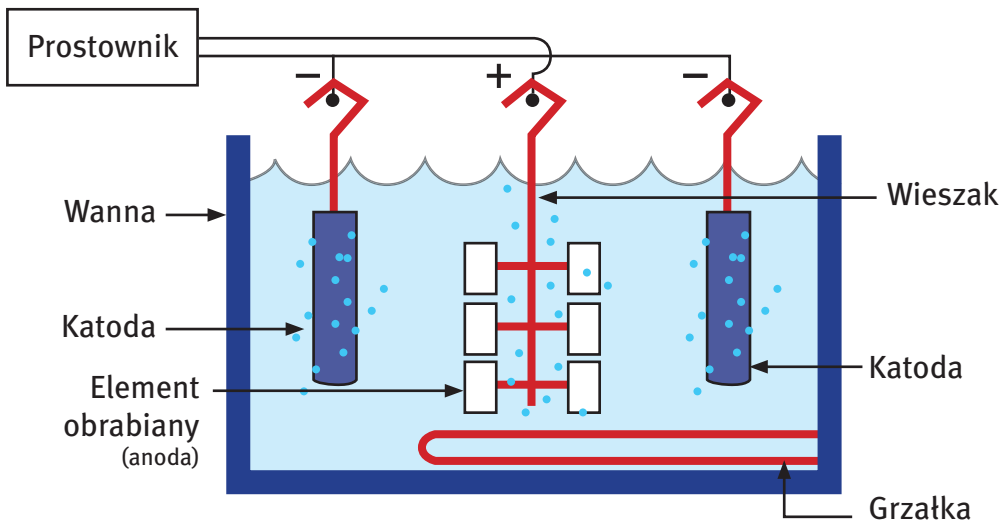
Zgodnie z poniższym schematem, zanurzony w chemicznej kąpeli metalowy element jest ładowany dodatnio (anodowo). Po przyłożeniu prądu elektrycznego elektrolit pełni funkcję przewodnika „narzędzia”, które umożliwia usuwanie jonów metalu z powierzchni. Jony metalu usunięte z katody w większości pozostają w roztworze. Niektóre jony odkładają się w formie osadu na katodach, co wymaga ich regularnego czyszczenia dla utrzymania efektywności całego procesu. Na powierzchni metalu występuje wydzielanie się gazu w formie tlenu, ułatwiając mechanizm elektrolityczny.

Udział metalu usuniętego z powierzchni elementu obrabianego jest proporcjonalny do przyłożonego prądu, efektywności elektrolitu i czasu trwania procesu. W trakcie elektropolerowania wszystkie zadziory i wierzchołki chropowatej powierzchni stają się miejscami o wyższej gęstości prądu, przez co preferencyjnie są rozpuszczane. Sterowanie parametrami procesu umożliwia kontrolę udziału usuwanej warstwy metalu, więc i zachowanie tolerancji wymiarowych.

*Elektropolerowanie jest wydajną metodą stępiania ostrych krawędzi – nawet dla elementów trudnych w obróbce mechanicznej. Zdjęcie: Poligrat, Monachium (D)*







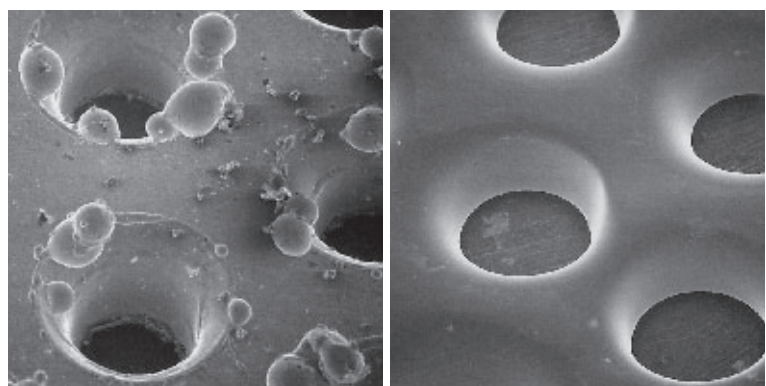
*Element obrabiany stanowi anodę w procesie elektrochemicznym i materiał jest usuwany z jego powierzchni [3].*

W przypadku stali nierdzewnych istotny wpływ mają różnice w szybkości usuwania poszczególnych składników stopu. Atomy żelaza i niklu są łatwiej ekstrahowane z sieci krystalicznej niż atomy chromu. Proces elektropolerowania preferencyjnie usuwa żelazo i nikiel pozostawiając powierzchnię bogatą w chrom. Zjawisko takie przyspiesza i poprawia pasywację powierzchni elektropolerowanych [2].

Często zapomina się, że elektropolerowanie jest procesem, który nie powoduje odkształceń powierzchni. Elementy elektropolerowane nie są poddawane żadnym naprężeniom zarówno mechanicznym jak i cieplnym w wyniku kontaktu z medium polerującym, a także uderzenia przez medium lub jego toczenia po powierzchni [4].

Rezultaty procesu są powtarzalne z dużym stopniem dokładności, więc można bezpiecznie obrabiać elementy o ciasnych tolerancjach wymiarowych<sup>2</sup>.

*Obraz mikroskopowy powierzchni przed i po procesie elektropolerowania przedstawia, jak w wyniku procesu uzyskiwana jest czysta powierzchnia metaliczna. Zdjęcie: Poligrat, Monachium (D).*



<sup>2</sup> Właściwa kontrola parametrów procesu i procedur jego wykonywania nie spowoduje żadnych niebezpiecznych zagrożeń, jeżeli wytwórca zapewni odpowiednią wentylację podczas procesu. Operator powinien także zadbać o usuwanie odpadów włącznie ze zużyтыми roztworami kwasów, przestrzegając przy tym przyjętych zasad bezpieczeństwa pracy.

### 3 Etapy procesu

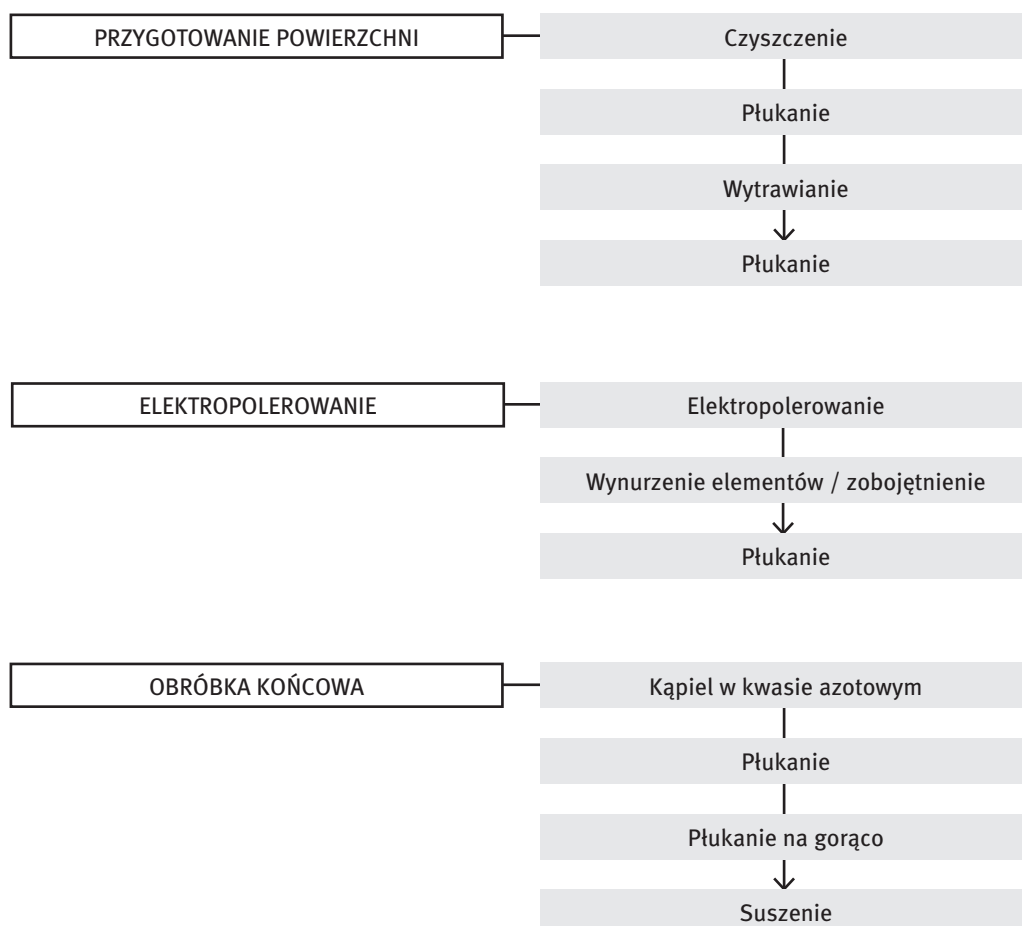
Otrzymanie wysokiej jakości elektropolerowanych powierzchni, dla większości stali nierdzewnych wymaga wykonania trzech podstawowych etapów [5]:

- Przygotowanie powierzchni: usunięcie z powierzchni olejów, tłuszczów, tlenków i innych zanieczyszczeń, które mogą przeszkadzać w jednolitości elektropolerowania,
- Elektropolerowanie: wygładzenie, wybliszczenie lub stępienie ostrych krawędzi powierzchni,

- Obróbka wykańczająca: usunięcie pozostałości elektrolitu i produktów reakcji elektropolerowania oraz osuszenie powierzchni, aby zapobiec przebarwieniom.

Dla otrzymania pożądanego efektu końcowego każdy z tych głównych etapów może wymagać kilku stanowisk zbiornikowych.

Schemat technologiczny typowego procesu elektropolerowania:





### 3.1 Przygotowanie powierzchni

Przygotowanie powierzchni metalu obejmuje dwa etapy: czyszczenie / odtłuszczenie za pomocą zasad lub rozpuszczalników z kolejnym wytrawianiem miejsc, gdzie występują przebarwienia powierzchni (po spawaniu) – kolorowe tlenki.

Zadaniem czyszczenia w zasadach lub rozpuszczalnikach jest usunięcie z powierzchni pozostałości olejów, tłuszczów, brudu osadzonego w warsztacie, odcisków palców lub podobnych warstw pozostawionych na powierzchni po procesie produkcji. Zanieczyszczenia obecne na elementach podczas elektropolerowania mogą obniżyć jakość otrzymanego wykończenia, które jest szczególnie ważne dla produktów medycznych, farmaceutycznych i półprzewodnikowych. Po wyciągnięciu elementów ze środka czyszczącego należy zachować szczególną ostrożność, aby nie doszło do niepotrzebnego kontaktu z rękoma lub elementami wyposażenia. Zachowanie czystości powinno być podstawową zasadą wszystkich operacji wykańczania powierzchni elementów metalowych. Niewłaściwe lub niewystarczające czyszczenie powierzchni jest częstą przyczyną powstawania wybrakowanych elementów.

Wanny z kąpielą płuczącą spełniają dwie główne funkcje: usuwają chemiczne osady z poprzednich operacji przez ich rozcieńczenie oraz działają, jako bariera, która zapobiega przed zanurzeniem elementu do kolejnego etapu.

Usuwanie warstwy zgorzeli kwasem / wytrawianie usuwa lekkie utlenienia powierzchni powstałe w wyniku obróbki np. procesów cięcia oraz eliminuje warstwę zasadową pozostawioną po operacji czyszczenia.

Główny cel operacji płukania w kąpeli kwasowej usuwającej zgorzelinę jest zasadniczo taki sam jak czyszczenia w kąpeli zasadowej. Główna różnica polega na tym, że roztwory kwasów są łatwiejsze w usunięciu z powierzchni przez płukanie niż pozostałości kąpeli zasadowych, można stosować niższe natężenie przepływu oraz krótszy czas płukania.

### 3.2 Elektropolerowanie

Podczas elektropolerowania, metal rozpuszczany od anody, przechodzi do roztworu i tworzy rozpuszczalne sole metalu. Wszystkie składniki stali nierdzewnej - żelazo, chrom i nikiel - ulegają tej reakcji równocześnie, co powoduje równomierne wygładzanie powierzchni. Występuje ponadto kilka innych reakcji tworzących produkty uboczne, które także muszą być kontrolowane dla uzyskania możliwie najwyższej jakości procesu.

*Korzystanie z usług wyspecjalizowanych przedsiębiorstw wykonujących elektropolerowanie zapewnia, że wszystkie wymogi bezpieczeństwa takiego procesu będą spełnione. Zdjęcie: Anopol, Birmingham (UK)*



Typowa kąpiel do elektropolerowania składa się z mieszaniny w równym udziale objętościowym kwasu siarkowego 96 % i kwasu ortofosforowego 85 %. Proces odbywa się przy następujących warunkach pracy:

- gęstość prądu: od 5 A/dm<sup>2</sup> do 25 A/dm<sup>2</sup>,
- temperatura: od 40 °C do 75 °C,
- czas: od 2 minut do 20 minut,
- katody: stal nierdzewna, miedź, ołów.

Po wynurzeniu elementów zbiorniki zatrzymują kąpiel z poprzedniej operacji elektropolerowania. Elektrolity stosowane dla stali nierdzewnych zwykle wymagają neutralizacji za pomocą sody kaustycznej (wodorotlenku sodu lub mleka wapiennego) i wytwarzają relatywnie dużą objętość osadów. Korzystanie z usług wyspecjalizowanych przedsiębiorstw wykonujących elektropolerowanie zapewnia spełnienie wszystkich wymogów środowiskowych, zdrowotnych oraz norm bezpieczeństwa.

Podczas płukaniu należy brać pod uwagę, że kąpiele do elektropolerowania są zawiesiste i nie mieszają się chętnie z wodą. Należy także przeciwdziałać wysychaniu roztworu na powierzchni, ponieważ jako kwas, zalegając na powierzchni będzie on powodować przebarwienia i trawienie powierzchni podczas składowania. Z tego powodu płukanie na gorąco dla wysuszania powierzchni powinno być stosowane tylko po tym, jak cały zalegający na niej elektrolit zostanie zupełnie splukany.

### 3.3 Obróbka końcowa

Celem obróbki końcowej w kwasie azotowym po elektropolerowaniu jest rozpuszczenie warstwy chemicznych produktów ubocznych, która powstała podczas reakcji elektrochemicznej. Takie produkty uboczne, głównie składające się z fosforanów i siarczanów metali ciężkich są trudne w usunięciu tylko za pomocą płukania. Gruntowne oczyszczenie powierzchni ma decydujące znaczenie pod względem zapewnienia jednorodności, odporności na korozję oraz higieniczności powierzchni podczas dalszego magazynowania i użytkowania.

Pozostałości po kąpielach zawierających kwas azotowy mogą być usunięte za pomocą zimnej wody, ponieważ łatwiej rozpuszczają się w wodzie niż osady zasadowe.

Na powierzchni elementów nie powinno być żadnych śladów substancji chemicznych przed wprowadzeniem ich do kąpeli z gorącą wodą, ponieważ gorąca kąpiel wodna stopniowo będzie zanieczyszczana. Celem płukania w gorącej wodzie jest także podniesienie temperatury metalu na tyle, aby spowodować błyskawiczne osuszenie elementów przed zdjęciem z wieszaków.

Niektóre elementy nie będą wysychać całkowicie po kąpeli płuczącej w gorącej wodzie. W tym przypadku dla wymuszenia szybkiego parowania pozostałości wilgoci i zapobiegnięcia przebarwieniom powierzchni mogą być wymagane suszarki wirówkowe, komory gorącego powietrza oraz inne stanowiska suszenia.

## 4 Elektropolowanie kontra inne metody wykańczania powierzchni

Pomimo, że wygląd zewnętrzny materiału elektropolerowanego, polerowanego mechanicznie i powlekanego galwanicznie może być całkiem podobny to ich obszary zastosowania są zasadniczo inne.

### 4.1 Polerowanie mechaniczne

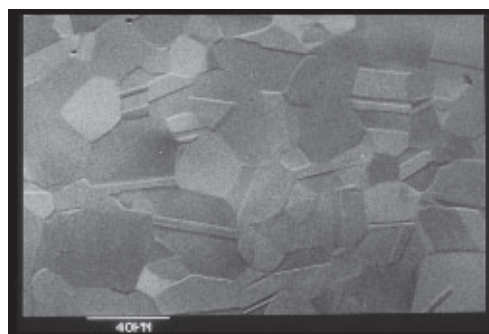
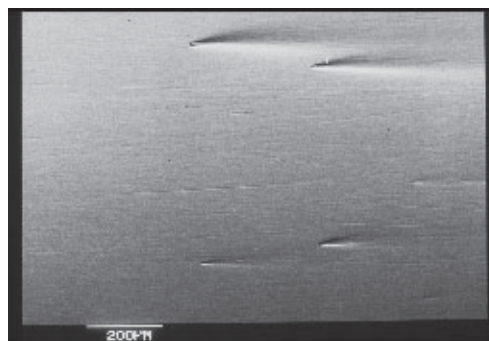
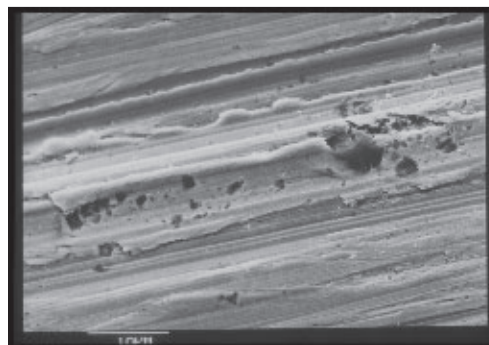
Mechaniczne szlifowanie i polerowanie stali nierdzewnych jest typowo stosowane dla uzyskania atrakcyjnego wykończenia na połysk lustrzany towarów konsumpcyjnych lub dekoracyjnych elementów architektonicznych. Operacje polerowania mechanicznego mogą być łatwo wykonane w warsztacie lub bezpośrednio w trakcie montażu oraz podczas naprawy.

Jednak taki proces może wywołać powstanie naprężeń w warstwie powierzchniowej, co pogorszy własności metalurgiczne i sprawi, że będą mniej odpowiednie dla szczególnie wymagających środowisk eksploatacji. Mechaniczna obróbka może być również bardziej pracochłonna.

Powierzchnia polerowana mechanicznie posiada mikroskopijne zadrapania, odkształcenia oraz osadzone na podłożu cząstki materiału ściernego. Dla porównania powierzchnia elektropolerowana niczym się nie wyróżnia. Ujawnia ona pierwotną strukturę krystaliczną metalu bez zniekształceń powstałych w wyniku umocnienia przez zgniot, które zawsze towarzyszy mechanicznej obróbce wykańczającej.

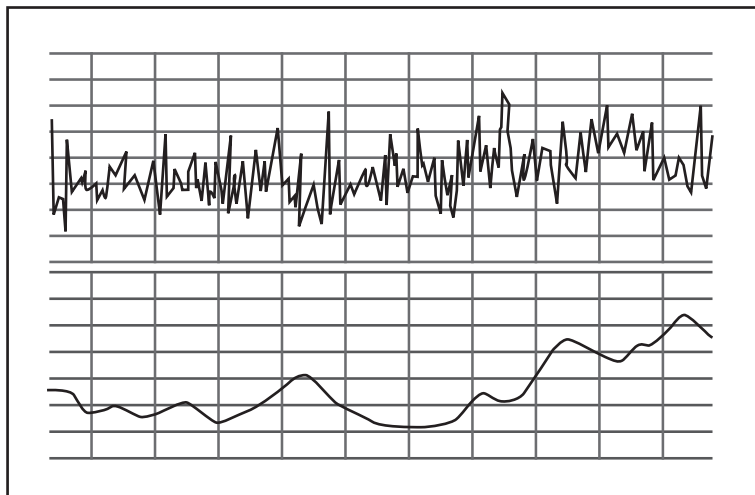
Różnica między elementem elektropolerowanym a wykańczanym mechanicznie często nie jest oczywista na pierwszy rzut oka szczególnie, jeżeli oba są wypolerowane do tej samej chropowatości.

Zalety powierzchni wykańczanej przez elektropolowanie stają się widoczne, gdy przyjrzymy się jej w dużym powiększeniu. Dla porównania procesy wykańczające z



*Powierzchnia stali nierdzewnej: szlifowanej mechanicznie (powyżej), polerowanej mechanicznie (w środku), elektropolerowanej (poniżej)  
Zdjęcia: Poligrat, Monachium (D)*

<sup>3</sup> Por. VAN HECKE, Benoit, Mechaniczne wykończenia powierzchni dekoracyjnych ze stali nierdzewnej, Luksemburg: Euro Inox, 2005 (Seria: Materiały i zastosowania, zeszyt 6) – [http://www.euro-inox.org/pdf/map/MechanicalFinishing\\_PL.pdf](http://www.euro-inox.org/pdf/map/MechanicalFinishing_PL.pdf)



*Chropowatość powierzchni stali nierdzewnej polerowanej mechanicznie; na górze wielkość ziarna 400, na dole ziarno 120 oraz elektropolerowanie. Obie powierzchnie wykazują identyczną wartość  $R_a$ . Zdjęcie: Poligrat, Monachium (D)*

użyciem materiałów ściernych lub inne procesy skrawania lub nagniatania zawsze odkształcają powierzchnię metalu bez względu na to jak mały jest ich nakład pracy.

Różnice są znacznie większe niż tylko pod względem topografii powierzchni. Zmiany we własnościach materiału związane z umocnieniem przez zgniot oddziałują dużo poniżej samej powierzchni materiału. Oprócz tego cząstki materiału ściernego mogą być osadzone w podłożu. Wytrzymałość mechaniczna powierzchni zostaje zwiększona lokalnie przez umocnienie przez zgniot, które towarzyszy występowaniu mechanicznego nacisku na powierzchnię.

Za pomocą elektropolerowania można uzyskać gładką i pozbawioną wad powierzchnię przez dobór optymalnej gęstości prądu, temperatury oraz właściwego zestawu kąpeli chemicznych. Proces ten przewyższa pod względem technicznym polerowanie mechaniczne, ponieważ nie zanieczyszcza

*Elektropolerowanie może być także stosowane dla elementów o złożonych kształtach. Zdjęcie: Packo Surface Treatment, Diksmuide, (B)*

powierzchni przez obce ciała, a powierzchnia otrzymana przez elektropolerowanie jest pasywna i odporna na korozję [6].

#### 4.2 Powlekanie galwaniczne

Wysoko odbłaskowe wykończenie powierzchni można również uzyskać powlekając galwanicznie za pomocą niklu lub chromu (niklowanie, chromowanie) powierzchni innych materiałów, takich jak np. stal węglowa. Takie warstwy są jednak rzadko pozbawione wad powierzchni. Ponadto mogą się zużywać lub odpadać odsłaniając materiał podłoża, który następnie koroduje [3].

Błyszczące elementy dekoracyjne z elektropolerowanej stali nierdzewnej są stosowane w przemyśle motoryzacyjnym. W takim przypadku chromowanie jest zastosowane dla dopasowania wyglądu elementów ze stali nierdzewnej z elementami z chromowanej stali węglowej. Chromowanie stali nierdzewnej nie zwiększa jej odporności korozyjnej.





## 5 Specyfikacja wykończeń elektropolerowanych

W wielu gałęziach przemysłu zalecanym wykończeniem końcowym licznych materiałów metalowych jest elektropolerowanie, ponieważ polepsza jakość zewnętrzną, nie wprowadza zanieczyszczeń, a powierzchnia jest niepyłczą i zapobiega przywieraniu lub po prostu ze względów dekoracyjnych. Jeżeli celem elektropolerowania jest uzyskanie estetycznie ładnego wykończenia to jego jakość można ocenić przez oględziny wzrokowe. Jeżeli wymagany jest najwyższy stopień jakości wykończenia to wymagane są badania mikroskopowe powierzchni i odpowiednie udokumentowanie warunków obróbki dla przyszłej oceny.

Na przykład powierzchnia z wykończeniem polerowanym (na połysk lustrzany Nr 8 wg ASTM, 2P wg EN) dla niedoświadczonego obserwatora może wyglądać dokładnie tak samo jak powierzchnia z wykończeniem elektropolerowanym. Mogą one dawać taki sam odczyt pomiaru chropowatości (np. parametru  $R_a^4$  lub  $R_q$  średniego kwadratowego odchylenia profilu). Jednak mikroskopowe zdjęcia obu powierzchni uwidocznia istotne różnice. Powierzchnia elektropolerowana nie będzie się niczym wyróżniać, podczas gdy na powierzchni polerowanej będą widoczne mikroskopijne zadrapania i osadzone w powierzchni cząstki materiału ściernego, a także ślady związków chemicznych użytych podczas polerowania.

Pomiary chropowatości nie dają informacji o tym czy powierzchnia elektropolerowana może być łatwo wyczyszczona po użyciu lub czy nie posiada zanieczyszczeń, czy

jest niepyłczą lub o zdolności do przywierania do niej obcych cząstek [1]. Wymagany wygląd powierzchni – np. jasny lub matowy – powinien być wyszczególniony przez nabywcę, chyba, że ustalono inaczej. Jasny połysk powierzchni jest zwykle dopuszczalny. W innym przypadku korzysta się z próbek wzorcowych pokazujących wymagane wykończenie lub zakres możliwych różnic w wykończeniu, dostarczanych przez dostawcę i zatwierdzanych przez nabywcę. Jeżeli jest to wymagane, dla uzyskania pożądanych własności końcowych powierzchni, przed elektropolerowaniem materiał wyjściowy może być poddany obróbce przez mechaniczne szlifowanie i polerowanie tarczą polerską [7].

W miejscach, gdzie przewidziano obróbkę powierzchni elementu przez wygładzenie i pasywację za pomocą elektropolerowania musi być ona pozbawiona widocznych defektów powierzchni takich jak wżery, chropowatości, sfałdowania lub przebarwienia określone wzrokowo w odległości ok. 0,5 m [8].

Gatunki stabilizowanych stali nierdzewnych, takie jak 1.4541 lub 1.4571 nie są stosowane na elementy do elektropolerowania.

Uwaga: Wady powierzchni materiału wyjściowego takie jak rysy, porowatości lub wtrącenia mogą niekorzystnie wpłynąć na końcowy wygląd zewnętrzny obrabianego artykułu.

<sup>4</sup>  $R_a$  - Średnie arytmetyczne odchylenie profilu od linii średniej.

### Informacje, które należy podać wykonawcy elektropolerowania

- Numer normy charakteryzującej proces elektropolerowania [8], oznaczenie gatunku stali, metody badań użyte do oceny wyrobu.
- Wymagany wygląd. Alternatywnie, próbka pokazująca wymagany wygląd wykończenia dostarczona lub zatwierdzona przez nabywcę.
- Wyszczególnienie obszarów wyrobu, gdzie dopuszczalny jest kontakt elektryczny.
- Tolerancje wymiarowe, jeżeli występują, muszą być podane w dokumencie zamówienia<sup>5</sup>.
- Wszystkie wymagania dla oceny pasywacji<sup>6</sup>.
- Wszystkie wymagania, co do protokołu z badań.

## 6 Typowe zastosowania

### Przewody rurowe

W ostatnich latach elektropolerowanie potwierdziło możliwość wytwarzania najwyższej jakości wykończeń powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej przewodów rurowych. Elektropolerowanie jest konieczne wszędzie tam, gdzie wymagana jest powierzchnia wolna od zanieczyszczeń,

niepyląca oraz odporna na porost mikroorganizmów. Dodatkowo przewody rurowe korzystają z minimalnego tarcia i wysokiej czystości powierzchni elektropolerowanych. Do głównych odbiorców takich przewodów rurowych należy przemysł petrochemiczny, jądrowy, farmaceutyczny, półprzewodników oraz przemysł spożywczy i napojów.



*Protezy i narzędzia chirurgiczne mają kontakt z korozyjnymi płynami ustrojowymi i są elektropolerowane w celu optymalizacji własności powierzchni pod względem odporności na korozję. Zdjęcie: Anopol, Birmingham (UK)*

### Zastosowania medyczne

Sektor medyczny od wielu lat korzysta z zalet elektropolerowania. Wszystkie elementy szpitalne, sprzęt medyczny i chirurgiczny (skalpele, klamry, piły, stenty, implanty kostne, protezy, itd.) powinny być elektropolerowane dla ułatwienia czyszczenia i osiągnięcia niskiego poziomu zanieczyszczeń powierzchni. Pierwszymi kandydatami do elektropolerowania są elementy metalowe wystawione na oddziaływanie promieniowania i wymagające regularnego czyszczenia.

<sup>5</sup> Podczas elektropolerowania z powierzchni usuwana jest warstwa metalu typowo o grubości od 5 do 10  $\mu\text{m}$ . Jednak dla dodatkowego wygładzenia powierzchni może być sunięte nawet do 50  $\mu\text{m}$ . Większa grubość materiału będzie usunięta z powierzchni rogów i krawędzi, (ponieważ są to obszary o wysokiej gęstości prądu) chyba, że w tych miejscach zastosuje się ekrany osłonowe lub pomocnicze katody.

<sup>6</sup> Więcej informacji można znaleźć w normie ISO 15730 lub ASTM B 912.

### Produkcja półprzewodników

Sterylnie pomieszczenia w fabrykach półprzewodników wymagają czystych, niepylących powierzchni bez zanieczyszczeń. Elektropolowanie jest idealnym wykończeniem dla elementów metalowych w takich pomieszczeniach, włącznie ze stołami, krzesłami, wyposażeniem szafek, instalacją dystrybucji płynów i gazów, zbiornikami na odpady, oświetleniem, odstłoniętymi kanałami przewodów elektrycznych, komorami próżniowymi oraz wyposażeniem procesowym.

### Produkcja farmaceutyczna

Zakłady farmaceutyczne tak jak producenci półprzewodników, domagają się super czystych powierzchni materiałów metalowych. Obecnie powierzchnie wewnętrzne mikserów farmaceutycznych, układy transportu suchego produktu, filtry, sita, zbiorniki, suszarki, rębaki, węzownice chłodzące, płytowe wymienniki ciepła i inne elementy wyposaże-

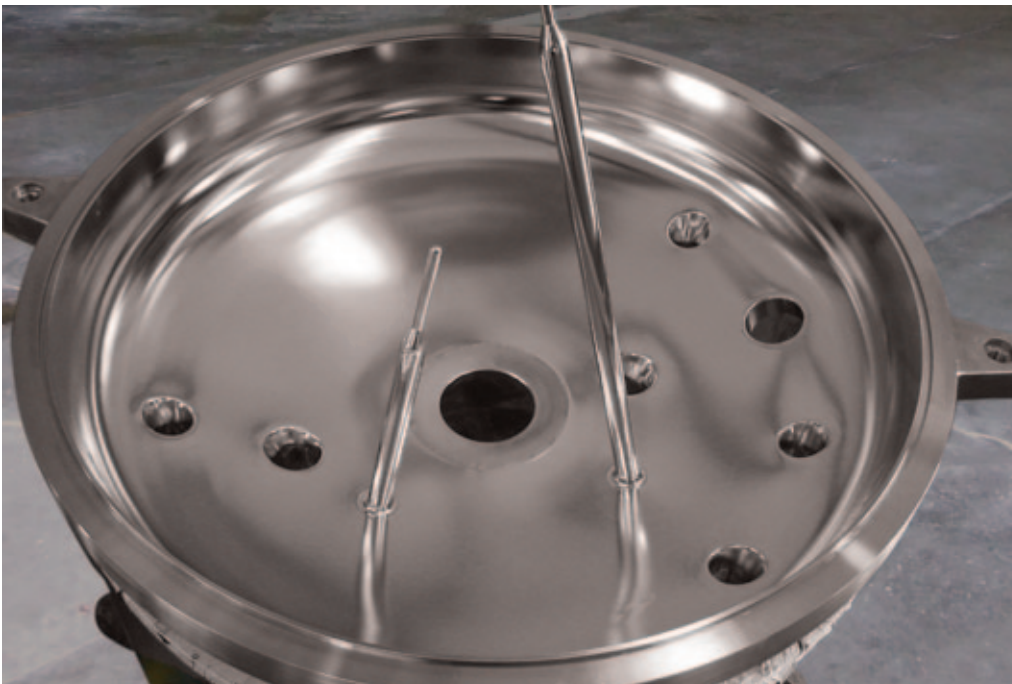


nia są całe elektropolowane. Ze względów mikrobiologicznych lub na inne zanieczyszczenia, elektropolowanie stanowi najlepsze rozwiązanie dla elementów farmaceutycznych ze stali nierdzewnej.

### Pozyskiwanie energii

Przemysł pozyskiwania energii z różnych źródeł jest nowym odbiorcą dla elektropolowania. Coraz to więcej elementów sprzętu wiertniczego jest elektropolowana, głównie w celu pasywacji powierzchni przeciw atakowi kwaśnych gazów. W dodatku wiele elementów przybrzeżnych urzą-

*Zapobieganie przywieraniu do powierzchni ciał obcych jest kluczową własnością powierzchni w urządzeniach dozujących stosowanych w przemyśle farmaceutycznym. Zdjęcie: Centro Inox, Mediolan / Delmet, Gorgonzola (I).*



*Zbiorniki procesowe w przemyśle farmaceutycznym są elektropolowane dla spełnienia najwyższych wymagań higienicznych. Zdjęcie: Centro Inox, Mediolan (I)*



dzeń wiertniczych włączając w to systemy rurociągów, pompy, zawory, skraplacze i studnie termalne są elektropolerowane dla ochrony przeciw słonej wodzie i powietrzu.

### Przemysł spożywczy i napojów

Elektropolerowanie zapewnia gładką, łatwą w czyszczeniu i estetycznie ładną powierzchnię wymaganą przez przemysł spożywczy w połączeniu z wysoką jakością pod względem czystości i sanitarności powierzchni. Proces zmniejsza utlenianie i zanieczyszczenie elementów ze stali nierdzewnej stosowanych w kuchniach, mleczarniach oraz automatycznych liniach przetwarzania pożywienia.

Generalnie elektropolerowanie wytwarza doskonale czystą powierzchnię, co zapewnia maksymalną odporność na odkładanie się na powierzchni warstwy bakterii i cząstek przetwarzanych produktów.

### Oczyszczanie wody

Przemysł oczyszczania i destylacji wody stosuje elektropolerowanie w celu poprawienia odporności korozyjnej elementów ze stali nierdzewnych oraz dla ograniczenia

zanieczyszczeń mikrobiologicznych, które mogą się zbierać wewnątrz takich instalacji. W przemyśle oczyszczania i destylacji wody elementami, które zwykle poddaje się elektropolerowaniu są filtry, przesiewacze i sita, pompy i zawory, skraplacze oraz instalacje rurowe.

### Przemysł papierniczy

Instalacje do transportu pulpy papierniczej oraz główne zbiorniki procesowe to jedynie dwa z wielu przykładów zastosowania elektropolerowania w przemyśle papierniczym.

### Miejsca publiczne

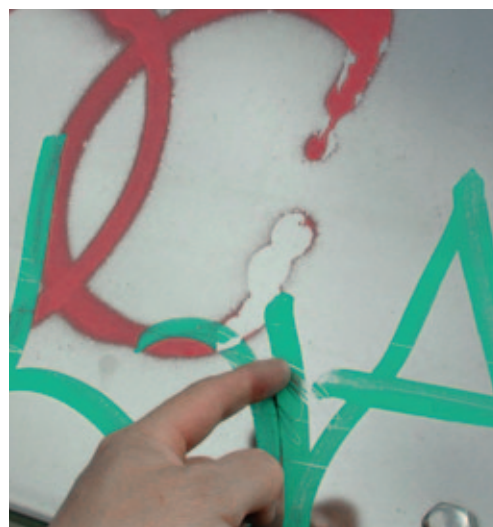
Elektropolerowanie zmniejsza zewnętrzną mikrochropowatość powierzchni i znacznie obniża przyleganie do powierzchni brudu, ułatwia także usuwanie graffiti z powierzchni stali nierdzewnej.

Po lewej:

Po dwudziestu latach eksploatacji w stacji metra, kombinacja mechanicznego polepowania i kolejnego elektropolerowania powierzchni okazał się być przyjaznym rozwiązaniem pod względem konserwacji.  
Zdjęcie: Euro Inox, Bruksela (B) / Rheinbahn AG, Düsseldorf (D)

Po prawej:

Elektropolerowanie bardzo ułatwia usuwanie z powierzchni graffiti.  
Zdjęcie: Packo Surface Treatment, Diksmuide (B)



## 7 Słownik

### Aktywacja

Eliminacja pasywnego stanu powierzchni.

### Czyszczenie

Usuwanie z powierzchni obcych cząstek takich jak tlenki, zgorzelina, olej, itd.

#### › Czyszczenie anodowe

Czyszczenie elektrolityczne, w którym czyszczony element jest anodą.

#### › Czyszczenie elektrolityczne

Czyszczenie, w którym prąd stały przepływa przez przekrój elementu, przedmiot czyszczony jest jedną z elektrod.

#### › Czyszczenie kwasem

Czyszczenie za pomocą roztworów kwaśnych.

#### › Czyszczenie zasadowe

Czyszczenie za pomocą roztworów alkalicznych.

### Elektrolit, roztwór elektrolitu

Medium o własnościach przewodzących, w którym przepływowi prądu towarzyszy ruch materii, jest najczęściej roztworem wodnym kwasów, zasad lub rozpuszczonych soli metalu, który ma być osadzony (powlekanie galwaniczne).

### Elektropolowanie, polerowanie elektrolityczne

Polepszanie gładkości i jasność powierzchni metalu przez proces anodowy w odpowiednim roztworze.

### Galwanizacja, powlekanie galwaniczne

Powlekanie powierzchni przyczepną warstwą metalu lub stopu metalu za pomocą procesu elektrolizy dla uzyskania odpowiednich własności powierzchni lub rozmiarów, które są różne od tych właściwych dla materiału podłoża.

### Gęstość prądu

Stosunek prądu na powierzchni elektrody do obszaru tej powierzchni.

*UWAGA: Gęstość prądu jest często wyrażana w amperach na decymetr kwadratowy ( $A/dm^2$ ).*

### Gratowanie

Usuwanie ostrych krawędzi i zadziorów przez obróbkę mechaniczną, chemiczną lub elektrochemiczną.

### Katoda pomocnicza

Katoda umieszczona w taki sposób, aby przejąć w kierunku siebie pewną część prądu oddziałującą na element, który inaczej otrzymałby zbyt wysoką gęstość prądu.

### Nagiatanie

Wygładzanie powierzchni za pomocą tarcia, zasadniczo pod naciskiem raczej niż przez usuwanie warstwy powierzchniowej materiału.

### Obróbka powierzchniowa

Obróbka powierzchni w celu zmiany jej własności.

### Odtłuszczenie

Usuwanie tłuszczu lub olejów z powierzchni.

### Pasywacja

Wywołanie stanu pasywnego na powierzchni metalu bądź w warstwie powlekanej galwanicznie.

### Polerowanie mechaniczne

Wygładzanie powierzchni metalu w wyniku reakcji cząstek ściernych przytwierdzonych za pomocą spoiwa do powierzchni tarczy lub taśmy polerskiej, zwykle obracającej się z dużą prędkością.

Nawet duże elementy takie jak reaktory polimerizacyjne mogą być elektropolerowane.  
Zdjęcie: Poligrat, Monachium (D)



#### **Polerowanie tarczą polerską lub szmacianym krążkiem**

Wygładzanie powierzchni za pomocą elastycznych tarcz obrotowych, na których powierzchnię nanosi się cząstki materiału ściernego w formie zawiesiny w płynie, w formie pasty lub klejącej masy.

*Uwaga: Wygląd od połowicznie-jasnej do jasnej-lustrzanej powierzchni.*

#### **Powierzchnia pomiarowa**

Obszar powierzchni, który jest badany dla oceny zgodności z założonymi wymaganiami.

#### **Szlifowanie, polerowanie**

Usuwanie materiału z powierzchni przedmiotu obrabianego za pomocą środka ściernego zawartego wewnątrz lub przy-czepionego do powierzchni sztywnej lub elastycznej obsady, szlifowanie jest zwykle pierwszym etapem w operacji polerowania.

#### **Trawienie**

Nierównomierne rozpuszczanie części powierzchni metalu.

#### **Wieszak**

Rama do zawieszania za pomocą, której doprowadzany jest prąd do obrabianych

elementów podczas elektropolerowania lub powlekania galwanicznego.

#### **Wykończenie**

Wygląd zewnętrzny warstwy wierzchniej lub materiału podłoża (por. wykończenie na połysk, wykończenie matowe, matowanie, satynowanie).

#### **Wykończenie matowe**

Jednolite wykończenie o drobnym wzorze, praktycznie bez efektu lustra.

#### **Wykończenie satynowe**

Wykończenie, które zasadniczo nie wykazuje zarówno efektu rozpraszania światła ani efektu lustra.

#### **Wykończenie jasne (na połysk)**

Wykończenie o powierzchni jednolitej, gładkiej i odbijającej światło.

#### **Wynurzenie z kąpeli**

Usuwanie cieczy z kąpeli wraz z wyrobami, które były w niej zanurzone.

#### **Wytrawianie**

Usuwanie z powierzchni warstwy tlenków lub innych związków w wyniku chemicznej lub elektrochemicznej obróbki.

#### **Wydzielanie gazu**

Wydzielanie gazów na powierzchni elektrod podczas reakcji elektrolizy.

#### **Zanurzenie w kąpeli**

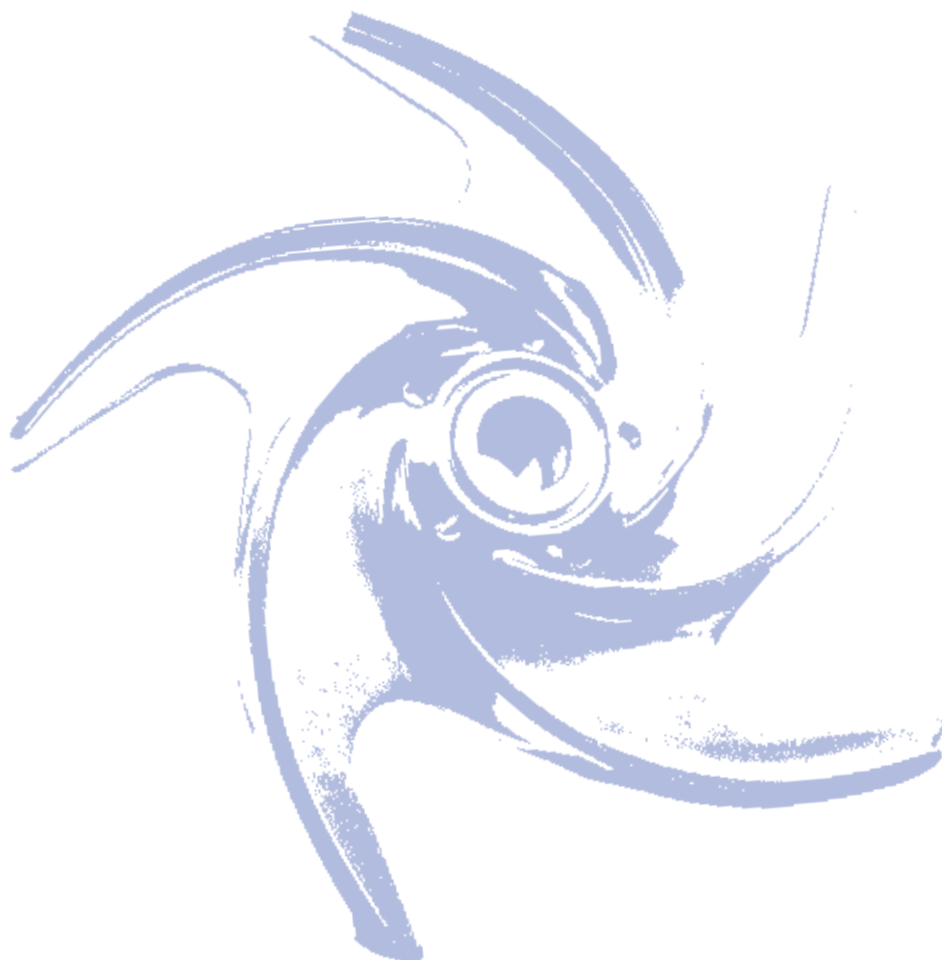
Wprowadzanie cieczy do kąpeli na zanurzone w niej wyroby.

#### **Zgorzelina**

Zwarta warstwa tlenków w postaci powłoki, jest grubsza niż warstwa tlenków odpowiedzialna za przebarwienia.

## 8 Literatura

- [1] [www.delstar.com](http://www.delstar.com), *“Electropolishing, A User’s Guide to Applications, Quality Standards and Specifications”*, 2003
- [2] <http://www.kepcoinc.com/?page=serviceselectropolishing>, Kalamazoo Electropolishing Company, *“What is Electropolishing?”*
- [3] <http://www.abccorporate.com>, Allegheny Surface Technology, *“Electropolishing”*
- [4] [http://www.ableelectropolishing.com/electropolishing\\_workbook.pdf](http://www.ableelectropolishing.com/electropolishing_workbook.pdf), Able Electropolishing, *“Looking for Solutions to Metal Surface Problems?”*
- [5] [http://www.electropolish.com/pubs/process\\_steps.pdf](http://www.electropolish.com/pubs/process_steps.pdf), *“The MCP System of Electropolishing, General Process Steps”*
- [6] MOHAN, S., KANAGARAJ, D., VIJAYALAKSHMI, S., RENGANATHAN, N. G., *“Electropolishing of Stainless Steel – a Review”*, Trans IMF 79, No.4, 2001
- [7] ASTM B 912-02 Standard Specification for Passivation of Stainless Steels Using Electropolishing
- [8] ISO 15730: 2000 Metallic and other inorganic coatings – Electropolishing as a means of smoothing and passivating stainless steel



ISBN 978-2-87997-316-6