

به نام خدا



# مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

[www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)



# م탈ورژی سطوح و پوششها



Figure 5. Automated spray painting of a car body in a BMW plant

تألیف : ایراهیم نجفی بیرگانی

## مقدمه ای بر زیانهای خوردگی

خوردگی یکی از پدیده های مخرب است که سازه های فلزی را مورد تهاجم قرار می دهد . انسان فلزات را از ترکیبات معدنی استخراج کرده و با آلیاژهای حاصله قطعات و ادوات مورد نیاز خود را می سازد . خوردگی سعی می کند تا مواد حاصله را به شکل ترکیب طبیعی آنها برگرداند و این موضوع با مبانی ترمودینامیکی پشتیبانی شده و سرعت آن به سینتیک واکنشهای خوردگی ربط پیدا می کند . خوردگی بخشی از ثروتهای ملی را به این صورت می بلعد . از جهات دیگر خوردگی می تواند حوادث توأم با خسارات مالی و جانی غیرقابل جبران بیافریند . انفجار خطوط نفت یا گاز علاوه بر هدر رفتن سرمایه ها ، آلودگی محیط زیست را بدنبال دارد.

## اهداف حفاظت

همانگونه که پدیده خوردگی در تلاش مدام برای غارت ثروت ملی است ، متخصصان هم در صدد مبارزه با آن هستند . روشهای مختلفی برای این منظور بکار گرفته شده است که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد :

۱. استفاده از مواد مقاوم تر
  ۲. تغییر محیط خورنده یا پارامترهای مخرب آن
  ۳. کاربرد ممانعت کننده ها
  ۴. حفاظت کاتدی و آندی
  ۵. تغییر طراحی
  ۶. پوشش دادن
- پوشش های محافظ خوردگی باعث جداکردن فلز پایه از محیط خورنده می شوند . اگرچه حجم زیادی از پوشش ها برای حفاظت از خوردگی بکار می روند ، ولی پوشش دادن اهداف دیگری نیز دارد . بهتر است این موضوع را بیشتر بررسی کنیم .

مهندسی سطح فعالیتی مبتنی بر چند رشته مهندسی است تا خواص سطحی اجزاء مهندسی را طوری متناسب سازد که عملکرد و قابلیت ارائه خدمت در آن ها بهبود یابد .  
**تعریف مهندسی سطح:** عملیات بر روی سطح یا نواحی نزدیک به سطح یک ماده بطوریکه سطح را قادر سازد تا عملکردهایی متفاوت با آنچه از ماده اصلی انتظار می رود از خود نشان دهد .

### خواص مطلوب مواد مهندسی سطح شده

۱. بهبود مقاومت خوردگی از طریق عملکرد سدی یا فدا شوندگی
  ۲. بهبود مقاومت در برابر اکسایش و/یا سولفیداسیون
  ۳. بهبود مقاومت سایشی
  ۴. کاهش اتلاف انرژی ناشی از اصطکاک
  ۵. بهبود خواص مکانیکی بطور مثال مقاومت در برابر خستگی یا افزایش چقرمگی
  ۶. بهبود خواص الکترونیکی یا الکتریکی
  ۷. بهبود در عایق حرارتی بودن
  ۸. بهبود نمای ظاهری از جنبه های زیبایی شناسی
- خواص اشاره شده را می توان از طرق متالورژیکی ، مکانیکی ، شیمیایی ، یا با اضافه کردن پوشش بهتر کرد .

## پرداخت

پرداخت عملیاتی نهایی است که به سطح یک قطعه فلزی یا گاهی غیرفلزی اعمال می شود تا خواصی را به آن بدهد که در شکل پرداخت نشده ندارد ، بدون اینکه تغییراتی جدی در خواص کلی آن بوجود آورد .

در عملیات ساخت شکل مطلوب به قطعه داده می شود ولی ممکن است که سطح قطعه برای کاربرد مورد نظر مناسب نباشد .

پرداخت ممکن است که یک صیقل کاری ساده بمنظور صاف یا براق کردن قطعه باشد و یا اعمال پوشش یا پوششهایی از یک یا چند فلز ، رنگ آمیزی یا لاک زدن ، پوششهای سرامیکی ، پوشش های تبدیلی ( اکسیدی ، فسفات ، کروماته و .. مثل سیاهکاری فولاد یا آندایزینگ آلومینیم ) و نظائر آن را شامل گردد .

عملیات پرداخت در مورد اغلب قطعات انجام می شود ولی در بعضی از محصولات مانند قطعات بزرگ ریختگی ، میخ ، پیچ و مهره ، سیم و .. معمولاً نیازی به پرداخت نیست .

## علل پرداخت فلزات

علل پرداخت فلزات بر اساس نوع کاربردی که دارد متفاوت و بسیار متنوع است . در زیر به بخشی از رایج ترین علل پوشش دادن اشاره می شود :

۱. حفاظت در برابر خوردگی
۲. ایزوله کردن فلز از محیط پیرامون بدلیل غیر خوردگی ( مانند پوشش قلع در قوطی های فولادی محتوی مواد غذایی یا دارویی بمنظور آلوده نشدن آنها )
۳. مقاصد تزئینی (پوششهای ساعت ، حواهرات بدلی ، اجزاء اتومبیل ، لوازم خانگی و ...)
۴. حفظ یا افزایش قابلیت هدایت الکتریکی و/یا لحیم کاری ( پوشش قلع یا قلع - سرب بر روی مدارات چاپی )
۵. بهبود ویژگیهای اتصال الکتریکی ( پوشش طلا بر روی رله ها و کلیدهای الکتریکی )
۶. انعکاس نور ( پوشش نقره یا رودیم )
۷. هدایت الکتریکی بالا (پوشش نقره در موج بر رادار)
۸. ویژگیهای یاتاقانی (پوشش قلع - سرب یا ایندیم در بیرینگ ها )
۹. مقاومت سایشی بالا ، افزایش سختی ( پوشش کروم یا نیکل )
۱۰. سد حرارتی ( پوشش سرامیکی بر روی پره های توربین گازی )
۱۱. عایق الکتریکی
۱۲. ممانعت از تشعشع
۱۳. مانع عملیات حرارتی ( پوشش مس برای جلوگیری از کربوره شدن موضعی فولاد )
۱۴. پایه برای سایر پوشش ها ( مانند مس برای نیکل در سپر اتومبیل )

در پاسخ به اینکه چرا محصولات را از ابتدا مقاوم نمی سازند می توان افزایش هزینه تولید و مشکل دسترسی به مواد مقاوم را دلیل آورد .

مثال ۱ . مخازن تیتانیومی یا پلاتینی در یک کارخانه شیمیایی در مقایسه با مخازن فولادی با پوشش نازکی از تیتانیم یا پلاتین که همان کار را انجام می دهد ، بسیار گران و غیر اقتصادی خواهند بود .

مثال ۲. اگر قوطی مواد غذایی از قلع خالص ساخته شود ، قیمت قوطی از مواد غذایی داخل آن گرانتر خواهد شد . در ضمن قلع بسیار نرم است و استحکام کمی دارد .  
مثال ۳. اگر سپرهای اتومبیلها را از نیکل خالص بسازند ، بدون در نظر گرفتن قیمت بالای آنها ، این مقدار نیکل از معادن موجود قابل تهیه نخواهد بود.

## انواع پوشش‌ها

الف) پوشش‌های معدنی

ب) پوشش‌های آلی

ج) پوشش‌های فلزی

### پوشش‌های معدنی

۱- لعاب‌ها

۲- بتون

### پوشش‌های آلی

۱- رنگ و لاک

۲- لاستیک و پلاستیک

۳- پوشش‌های قیری

۴- روغن - گریس - موم

### پوشش‌های فلزی

۱- پوشش‌های رسوب الکتریکی و غیرالکتریکی

۲- پوشش‌های پاششی

۳- پوشش‌های غوطه‌وری گرم

۴- روکش دادن

۵- پوشش‌های تبدیلی

۶- پوشش‌های نفوذی

۷- پوشش دادن در خلأ

## الکتروشیمی

الکتروشیمی دانشی است که به تبدیلات بین انرژی های الکتریکی و شیمیایی مربوط می شود.

## موارد کاربرد تکنولوژی الکتروشیمیایی

### آبکاری الکتریکی ( Electroplating )

بطور مثال يك محلول سولفات مس ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) را در نظر بگیرید. با عبور جریان مستقیم ( DC ) از این محلول، مس روی الکترود منفی (کاتد) رسوب می‌کند. اگر رسوب حاصله نازک، براق و چسبنده باشد فرآیند آبکاری الکتریکی می‌باشد.

### شکل دادن الکتریکی ( Electroforming )

اگر رسوب حاصله همه ویژگی‌های رسوب آبکاری الکتریکی بجز چسبندگی به کاتد را داشته باشد فرآیند مربوطه الکترو فرمینگ می‌باشد.

### تصفیه الکتریکی ( Electrefining )

اگر هدف ایجاد رسوب زیاد و بدون در نظر گرفتن شکل یا یکنواختی آن باشد و آند الکترودی از مس ناخالص باشد، فرآیند مذکور تصفیه الکتریکی می‌باشد (مس، نیکل، نقره، طلا، قلع و ...).

### استخراج الکتریکی ( Electrowinning )

اگر با استفاده از آند غیر قابل حل محلول فوق را الکترولیز کنیم و مس خالص به دست آوریم فرآیند مربوطه استخراج الکتریکی می‌باشد و با حل کردن مواد معدنی در اسید و الکترولیز محلول انجام می‌شود (مس، روی، قلع ثانویه از بازیافت).

### تعیین آنالیز شیمیایی توسط روش الکتریکی ( Electroanalysis )

اگر بخواهیم میزان مس محلول سولفات مس مورد بحث را بدست آوریم از الکترود خنثی که معمولاً پلاتین است بعنوان کاتد استفاده می‌کنیم و شرایط را طوری مهیا می‌نماییم که تمام مس محلول بر روی کاتد رسوب کند. مقدار افزایش وزن الکترود پلاتین، میزان مس موجود در محلول را نشان می‌دهد. این روش الکترو آنالیز است.

بررسی فرآیندهای خوردگی ( که اغلب منشأ الکتروشیمیایی دارند )، تولید جریان الکتریکی توسط واکنشهای شیمیایی ( پیل‌های گالوانیکی، پیل خشک، پیل‌های قابل شارژ، و پیل‌های سوختی ) و بالاخره الکتروشیمی نظری که طیف گسترده‌ای از بررسی مکانیسم فعل و انفعالات یونها در محلول، تعیین روابط ریاضی حاکم بر هدایت الکترولیتی، واکنشهای آند و کاتد و ... را شامل می‌شود، شاخه‌های دیگر از الکتروشیمی را تشکیل می‌دهند.

### مبانی رسوب الکتریکی

#### روابط جریان

عبور جریان مستقیم از يك محلول، از طریق حرکت ذرات باردار (یون‌ها) انجام می‌شود.

**الکترودها** وظیفه انتقال جریان به، و از محلول را بر عهده دارند. قطبی که واکنش شیمیایی اکسایش (اکسیداسیون) در آن رخ می‌دهد **آند** و قطبی که واکنش کاهش یا احیاء در آن رخ می‌دهد **کاتد** نامیده می‌شود.

در يك پیل الکترولیتی که جریان خود را از منبع خارجی مانند باتری یا رکتیفایر می‌گیرد، آند الکترود مثبت و کاتد الکترود منفی است. یون‌هایی که بطرف آند حرکت می‌کنند **آنیون** و

دارای بار منفی و یون هایی که بسمت کاتد حرکت می کنند دارای بار مثبت هستند و **کاتیون** نام دارند.

محلول حاوی یون های فوق را **الکترولیت** می گویند. بخش از الکترولیت که بلافاصله در اطراف آند قرار گرفته **آنولیت** و بخش مشابه در اطراف کاتد **کاتولیت** نامیده می شود. فرآیند کلی تجزیه حاصل از عبور جریان ، **الکترولیز** نام دارد.

### هادی ها

جریان الکتریسیته در مواد به دو شکل حرکت می کند: ۱. **فلزی یا الکترونی** و ۲. **الکترولیتی**

در هدایت فلزی یا الکترونی ، الکترون های آزاد وظیفه انتقال الکتریسیته را بعهده دارند. در صورت اعمال پتانسیل، الکترونهاى آزاد حرکت خواهند کرد.

در هادی های الکترولیتی ، هدایت با حرکت یونها از میان محیط و واکنش شیمیایی در الکترودها همراه است. ذرات باردار در اثر اعمال پتانسیل حرکت می کنند. هادی های الکترولیتی شامل محلول اسیدها ، بازها ، نمک ها و نمک های مذاب ، و برخی مواد جامد و گازهای داغ هستند.

نیمه هادی های نوع سوم از هادی ها هستند که رفتاری بین دو نوع هدایت الکتریکی مذکور از خود نشان میدهند .

در اثر انتقال الکترودها به داخل الکترولیت، واکنش شیمیایی در فصل مشترك الکترودها و الکترولیت رخ میدهد.

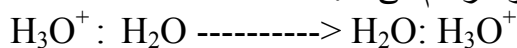
### هدایت الکترولیتی

یونها تحت تأثیر ولتاژ اعمالی بطرف الکترودها حرکت می کنند. هر یون سرعت خاصی دارد که از ویژگیهای ذاتی آن است. این سرعت تحت تأثیر شرایط خاص ( مانند ولتاژ اعمالی واحد ) قابلیت حرکت یون یا موبیلیته نامیده می شود.

هدایت کلی محلول از مجموع موبیلیته های یون های موجود در آن بدست می آید. با این استثناء که نیروهای الکتریکی بین یونها در فرض ساده فوق مداخله می کند، مگر اینکه محلول بسیار رقیق باشد. قابلیت حرکت یون های گوناگون با هم اختلاف زیادی دارد. نسبت جریان کلی حمل شده توسط يك یون خاص، عدد انتقال آن نامیده می شود ( Transference یا Transport Number).

معمولاً یون ها بصورت منفرد توسط مولکول های حلال محاصره شده و در حالیکه تحت اثر ممانعتی یون های با بار مخالف اطراف خود هستند، در داخل محلول حرکت می کنند.

مکانیزم حرکت یون های  $H_3O^+$  ،  $OH^-$  متفاوت است. در آنها انتقال یون  $H^+$  به ذره مجاور، موجبات حرکت را فراهم می کند.



این فرآیند بسیار سریعتر از انتقال یون  $H_3O^+$  است . بنابر این حرکت یون های فوق الذکر در محلول بطور میانگین ۵ تا ۲/۵ برابر سریعتر از سایر یونها است. در نتیجه محلول های آبی قدرت هدایت کنندگی بسیار بهتری دارند.

در فرآیندهای الکترولیتی ، اسید یا باز آزاد برای بهبود قابلیت هدایت محلول ها بکار می روند.

### روابط الکتریکی

مایکل فاراده در سال ۱۸۳۳ میلادی قوانین الکترولیز خود را بیان کرد که تاکنون بدون تغییر مانده اند :

۱. میزان تبدیل شیمیایی حاصل از جریان الکتریکی ، با میزان الکتریسیته عبور داده شده متناسب است.

۲. مقدار مواد مختلف که توسط مقدار مشخصی الکتریسیته آزاد میشود ، متناسب با اوزان اکی والان شیمیایی ( هم ارز شیمیایی ) آنها است.

**اکی والان شیمیایی** از تقسیم وزن اتمی عنصر بر تغییر ظرفیت آن در واکنش بدست می آید. واحد الکتریسیته کولن ( کولمب C ) ، مقدار الکتریسته ناشی عبور یک آمپر جریان در مدت زمان یک ثانیه است ( این مقدار الکتریسته ۰,۰۰۱۱۱۸ gr ، نقره را رسوب میدهد ). عدد فاراده ( F ) مقدار الکتریسته لازم برای راسب شدن یک گرم نقره است که معادل  $96485\text{ C}$  و به طور تقریبی  $96500\text{ C}$  میباشد.

قانون فاراده را میتوان به صورت رابطه زیر نوشت :

$$g = Iet/96500$$

$g$  = وزن ماده در حال واکنش است .

$I$  = شدت جریان بر حسب آمپر ( Amp )

$e$  = وزن هم ارز شیمیایی ( gr )

$t$  = زمان بر حسب ثانیه ( s )

**دانسیته جریان (i)** عبارت است از شدت عبور جریان از واحد سطح یا  $i = I/S$  ، که در آن I شدت جریان بر حسب آمپر و S مساحت سطح بر حسب  $\text{mm}^2$  یا  $\text{m}^2$  می باشد. دانسیته یا چگالی جریان در سطح کاتد را با C.C.D و در سطح آند را با A.C.D نشان میدهند. در آبکاری الکتریکی معمولاً "C.C.D بکار می رود.

**سرعت واکنش الکتروشیمیایی ( $K_c$ )**

$$K_c = i/zf (\text{mol.cm}^{-2}.\text{s}^{-1})$$

Z تعداد الکترون های مبادله شده در واکنش

F عدد فاراده

$$K_c = mi/zf (\text{kg.cm}^{-2}.\text{s}^{-1})$$

m وزن اتمی بر حسب Kg

**محاسبه مقدار الکتریسته ای که از پیل عبور کرده است:**

برای محاسبه مقدار الکتریسته ای که از پیل عبور کرده است روشهای زیر معمول است:

۱. حاصلضرب میانگین شدت جریان مصرفی در زمان عبور جریان که روش تقریبی است (A.h).

۲. استفاده از کولومتر که یک پیل الکتروشیمیایی است و بصورت سری با پیل مورد آزمایش قرار می گیرد. بهترین این پیل ها ، کولومترهای مس، نقره و ید هستند.



در پیل‌های مس و نقره ، میزان رسوب مس و نقره مشخص میشود و در پیل ید ، میزان ید آزاد شده توسط تیتراسیون تعیین می گردد. مقدار الکتریسته عبور کرده از قانون فاراده بدست می آید و چون کولومتر با پیل مجهول بصورت سری قرار دارد ، مقدار حاصله با مقدار پیل مجهول معادل خواهد بود.

در کولومتر مس، الکترودها از ورق مس خالص ، و الکترولیت شامل ۱۵۰ gr سولفات مس پنج آبه ، ۵۰ gr اسید سولفوریک غلیظ و ۵۰ ml اتانول در یک لیتر آب مقطر است. کولومتر پیش از این بخاطر Alessandro Volta ، ولتامتر نامیده می شد.

### اکی والان الکتروشیمیایی یا هم ارز الکتروشیمیایی ( C )

مقدار ماده رسوب کرده بر اثر هر آمپر ساعت الکتریسته است و برحسب  $\frac{mgr}{C}$  و یا  $\frac{gr}{A.h}$  بیان می شود.

$$C = \frac{e}{26.8} \text{ یا } C = \frac{M}{n \times 26.8}$$

که در آن C هم ارز الکتروشیمیایی ، M وزن اتمی ، n ظرفیت و e هم ارز شیمیایی است.

$$۱ F = ۹۶۵۰۰ C = ۲۶,۸ A.h = \text{یک اکی والان}$$

$$\Rightarrow ۱ A.h = ۳۶۰۰ C$$

مثال - هم ارز الکتروشیمیایی روی چقدر است؟ (  $M_{Zn} = ۶۵,۳۸$  و  $n = ۲$  )

$$C_{Zn} = \frac{65.38}{2 \times 26.8} = 1.21978 \frac{gr}{A.h} \quad \text{پاسخ:}$$

### بازده جریان ( R )

بازده جریان نسبت وزن فلز رسوب کرده بر روی قطعه به مقدار نظری آن است و به درصد بیان می شود . دو نوع بازده جریان وجود دارد:

۱. بازده جریان آند (A.C.E)

۲. بازده جریان کاتد (C.C.E)

در آبکاری معمولاً از بازده جریان کاتد استفاده می شود. غالباً بازده جریان کاتد و آند با هم برابر نیست. اگر بازده جریان کاتد بیشتر باشد ، غلظت نمک فلزی در الکترولیت کم می شود و اگر بازده جریان آند بیشتر باشد ، غلظت نمک فلزی افزایش میابد.

معمولاً برای حفظ غلظت نمک فلزی در حمام آبکاری ، سطح آند را دوبرابر سطح قطعات مورد آبکاری می گیرند ( بجز در مورد الکترودهای نامحلول برای آبکاری کروم و رودیم ).

اگر بازده جریان را نیز در قانون فاراده دخالت دهیم در آن صورت :

$$m = C.I.t.R$$

روابط پتانسیل

مقدار ولتاژ لازم برای اعمال يك جريان مشخص به يك هادی ( الكترونی و یا الكترولیتی ) توسط قانون اهم بدست می آید:

$$E=I.R$$

$E$  ولتاژ بر حسب ولت  
 $I$  شدت جريان بر حسب آمپر  
 $R$  مقاومت بر حسب اهم

از آنجائیکه مقاومت الكترولیت معمولاً "بیشتر از مقاومت های فلزی است ، لذا اغلب از مقاومت های فلزی در پیل ها صرف نظر می شود ( مقاومت محلول کلرید سدیم ۵۰ میلیون برابر مقطع مشابه از مس است ). پس روابط ولتاژ - جريان به الكترولیت و سطح مشترك آن با دو الكتروود محدود می شود.  
 روابط پتانسیل در فصل مشترك الكتروود - الكترولیت ، بر خلاف روابط شدت جريان كاملاً واضح نیستند ( به علت مسائلی مانند ولتاژ اضافی و ...).

### دانشیه جريان (چگالی جريان i)

ضخامت میانگین رسوب به میزان کلی فلز رسوب کرده و مساحت کلی که رسوب بر روی آن توزیع شده بستگی دارد.

دانشیه جريان بصورت جريان بر واحد سطح تعریف شده و بر حسب  $\frac{Amp}{ft^2}$  یا  $\frac{Amp}{cm^2}$  یا  $\frac{Amp}{m^2}$  اندازه گیری می شود (  $i = \frac{I}{S}$  که در آن  $I$  شدت جريان و  $S$  سطح می باشد).

دانشیه جريان متغیر بسیار مهمی در آبکاری الكتریکی است. مشخصات رسوب، توزیع رسوب، بازده جريان و شاید حتی اینکه رسوبی تشکیل می شود یا خیر، به میزان چگالی جريان بکار رفته بستگی دارد.  
 مساحت حقیقی الكتروود ممکن است با آنچه در ظاهر محاسبه می شود تفاوت داشته باشد.

### توزیع جريان

دانشیه جريان از تقسیم شدت جريان بر مساحت ظاهری قطعه بدست می آید بجز در پیلهایی که دارای ساده ترین شکل هندسی هستند (مانند وقتی که آند و کاتد هم مرکز هستند) توزیع جريان بر روی سطح الكتروودها یکنواخت نیست . معمولاً " در گوشه ها و نقاط برجسته جريان بیشتری متمرکز می شود. جريان اغلب در نقاط نزدیک به الكتروود مخالف تجمع می کند. در نتیجه ضخامت رسوب الكتریکی بر روی سطح قطعه یکنواخت نخواهد شد. گاهی با طراحی مناسب الكتروودها میتوان اختلاف ضخامت رسوب بر روی نقاط مختلف قطعه را به حداقل رساند.  
 افزایش قدرت پرتاب محلول آبکاری به یکنواختی رسوب كمك می کند.

### پتانسیل های الكتروودی

وقتی يك الكترود فلزی در محلول حاوی یون های خود قرار می گیرد ، تعادلی بین عایق فلز به حل شدن و تمایل یون ها به تخلیه با رسوب بر روی الكترود برقرار می شود. در لحظات اولیه ممکن است سرعت انحلال فلز و یا سرعت رسوب یونها بیشتر باشد، در نتیجه اختلاف پتانسیلی بین فلز و محلول بوجود می آید که به آن پتانسیل الكترود می گویند. میزان پتانسیل بین يك فلز و محلول یون های آن از معادل زیر بدست می آید:

$$E = E^0 - \frac{RT}{ZF} \ln \alpha \quad \text{OR} \quad E = E^0 - \frac{RT}{ZF} \ln \frac{\alpha}{aM}$$

aM در فلزات خالص يك است.

R ثابت عددی گازها می باشد.

$E^0$  پتانسیل استاندارد

$E^0$  پتانسیل استاندارد الكترود، پتانسیلی است که از الكترود غوطه ور در محلولی از یونهای خود با اکتیویتی واحد بدست می آید . طبق تعریف پتانسیل استاندارد الكترود هیدروژن در تمام درجه حرارت ها صفر است. از لحاظ تئوری میتوان از نیمه پیل های مرجع مانند الكترود هیدروژن، الكترود کالومل اشباع ( یا الكترود نقره - کلرید نقره ) و نظایر آن برای اندازه گیری پتانسیل الكترود استفاده نمود. اغلب نمیتوان چنین اندازه گیری ها را بطور مستقیم انجام داد. از حرارت های واکنش یا دیگر روشهای ترمودینامیکی برای محاسبه پتانسیل الكترودی استفاده می شود.

جدول از  $E^0$  ها برای برخی از عناصر در زیر ملاحظه می شود.

**Table 16.1** Standard Electrochemical Series for Some Common Metals and Reactions

	Reaction	Standard Reduction Potential V (SHE)
↑ Noble	$\text{Au}^{3+} + 3e^- = \text{Au}$	+1.498
	$\text{Pt}^{2+} + 2e^- = \text{Pt}$	+1.200
	$\text{Pd}^{2+} + 2e^- = \text{Pd}$	+0.987
	$\text{Ag}^+ + e^- = \text{Ag}$	+0.799
	$\text{Hg}_2^{2+} + 2e^- = 2\text{Hg}$	+0.788
	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- = 4\text{OH}^-$	+0.401
	$\text{Cu}^{2+} + 2e^- = \text{Cu}$	+0.337
	$2\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_2$	0.000
	$\text{Pb}^{2+} + 2e^- = \text{Pb}$	-0.126
	$\text{Sn}^{2+} + 2e^- = \text{Sn}$	-0.136
	$\text{Ni}^{2+} + 2e^- = \text{Ni}$	-0.250
	$\text{Co}^{2+} + 2e^- = \text{Co}$	-0.277
	$\text{Cd}^{2+} + 2e^- = \text{Cd}$	-0.403
	$\text{Fe}^{2+} + 2e^- = \text{Fe}$	-0.440
Active ↓	$\text{Cr}^{3+} + 3e^- = \text{Cr}$	-0.744
	$\text{Zn}^{2+} + 2e^- = \text{Zn}$	-0.763
	$\text{Al}^{3+} + 3e^- = \text{Al}$	-1.662
	$\text{Mg}^{2+} + 2e^- = \text{Mg}$	-2.363
	$\text{Na}^+ + e^- = \text{Na}$	-2.714
	$\text{K}^+ + e^- = \text{K}$	-2.925

هر فلز بالاتر ( منفی تر) در سری میتواند با فلز زیر خود در محلول جایگزین شود که البته ضرورتاً در هر شرایطی صدق نمیکند. در شرایط تجربی ندرتاً یونهای فلز دارای اکتیویتی واحد بوده و عوامل سینتیکی نیز می توانند مانع از واکنشی شوند که از لحاظ ترمودینامیکی

قابل انجام است. قابلیت استفاده از سری emf نیز تابع تاریخچه فلز الکتروود، ویژگیهای سطحی و کریستالی فلز الکتروود میباشد.

### چند مثال از کاربرد قوانین فاراده

۱. جریان 15 A از میان محلول سولفات مس برای 10 min عبود کرده است وزن مس رسوب کرده در بازدهی ۱۰۰٪ بر روی کاتد را محاسبه کنید. (وزن اتمی مس = 63.54)

$$15 \text{ A} * 10 \text{ min} * 60 \text{ s/min} = 900 \text{ c} = 0.0933 \text{ F}$$

$$z = 2 \rightarrow \frac{63.54}{2} = 31.77 \text{ gr Ci} \Rightarrow 0.0933 \times 31.77 = 2.964 \text{ gr Cu}$$

۲. در مثال يك مساحت قطعه کار در مخزن 1500 cm<sup>2</sup> بوده است. ضخامت متوسط رسوب مس چقدر است؟

$$(L u = 8.93 \text{ gr/cm}^3)$$

$$2.964 \text{ gr} / 1500 \text{ cm}^2 = 0.00198 \text{ gr/cm}^2 \text{ Cu}$$

$$e = \frac{m}{v} = \frac{m}{t * a} \Rightarrow 8.93 = \frac{0.00198}{t * 1 \text{ cm}^2} \rightarrow t = 2.2 * 10^{-4} = 2.2 \mu\text{m}$$

۳. در شدت جریان 15 A چه مدت باید قطعه در محلول سولفات مس آبکاری شود تا به ضخامت متوسط 5 μm رسوب Cu برسیم؟ با این فرض که بازده کاتد ۱۰۰٪ و مساحت قطعه کار 1000 cm<sup>2</sup> باشد.

$$\text{حجم کل مس } 5 \mu\text{m} * 1000 \text{ cm}^2 = 5 * 10^{-1} \text{ cm}^3$$

$$\text{وزن مس } 0.5 * 8.93 \text{ gr/cm}^3 = 4.465 \text{ gr}$$

$$\frac{4.465}{31.77} = 0.141 \text{ F} \times 96500 \text{ c} = 13562 \text{ c}$$

$$\frac{13562}{60} = 226 \text{ A min} \rightarrow \frac{22615}{15 \text{ A}} = 1508 \text{ min}$$

۴. سطح کلی قطعه کار در مخزن حمام 1.5m<sup>2</sup> و شدت جریان متوسط 1000 A ضخامت متوسط رسوب روی (ZN) در ۱۵ دقیقه ۲۵ میکرومتر میباشد. بازدهی جریان چقدر است؟ چگالی روی 7.14 gr/cm<sup>3</sup> حجم کلی رسوب روی حجم کلی رسوب روی 105m<sup>2</sup>\*25\*10<sup>-6</sup>m=37.5 \* 10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>

$$\text{وزن روی } 7.14 * 37.5 = 268 \text{ gr}$$

$$1500 \text{ A} * 15 \text{ min} * 60 \text{ s/min} = 1500 * 900 \text{ A.S} = 1.35 * 10^6$$

$$\frac{1.35 * 10^6}{96500} = 14 \text{ F}$$

این مقدار الکتریسیته میتواند مقدار 458 gr \* 14 روی را رسوب دهد.

$$\text{مقدار رسوب واقعی } 267 \text{ gr است پس } 59\% = \frac{268}{458} * 100 = \text{بازدهی}$$

۵. در آبکاری پیوسته تسمه ای به عرض ۰/۹ متر با قلع از يك محلول اسیدی (تغییر ظرفیت ۲) سرعت مطلوب تسمه  $500 \frac{x}{m/min}$  است. بازدهی جریان ۱۰۰٪ و ضخامت قلع  $0.4 \mu m$  در هر طرف تسمه میباشد. در دانسیته جریان  $5000 A/m^2$  در ازای مخزن چقدر باید باشد با فرض اینکه تسمه مستقیم حرکت می‌کند و خمیده نیست (چگالی قلع  $7.31 gr/cm^3$  و وزن اتمی قطع  $118.7$ )

الف -  $0.4 * 2 = 0.8 \mu m$ ؛ ضخامت کلی قلع

حجم قلع روی هر متر مربع از تسمه.  $1m^2 * 0.8 * 10^{-6} m = 0.8 Cm^3$

وزن قلع در هر متر مربع  $0.8 * 7.31 = 5.85 gr/m^2$

چون عرض تسمه  $0.9$  است پس بازدهی هر متر تسمه مقدار لازم قلع می‌شود.

$5.85 * 0.9 = 5.27 gr/m$

ب- برای رسوب  $5.27 gr$  قلع بر روی هر متر تسمه مقدار الکتریسیته لازم خواهد شد:  $\frac{5.27}{118.7} * 2 = 0.088F$

$0.0888 * 96500 = 8569 A.S = 143 A.min$

ج- اگر در ازای مخزن L سانتیمتر باشد در سرعت  $500 m/min$  هر متر از تسمه  $1/500 min$  دز مخزن است و به آن الکتریسیته در  $5000 A/m^2$  میرسد.

د- سطح هر متر از تسمه با احتساب دو طرف  $2 * 0.6 * 1 = 1.8 m^2$

میزان شدت جریان کلی بر ای این سطح می‌شود:  $5000 * 1.8 = 9000 A$

زمان لازم برای fvnk تسمه در مخزن

همان  $143 A.min \frac{L min}{500} = 0.016 min \div 9000 A$

$1/500 = 0.010 \rightarrow L = 8$

$t = \frac{KZRH i}{S}$

$t =$  وزن پوشش بر حسب  $gr/m^2$

H ثابت بر حسب نوع فلز پوشش

i چگالی جریان  $A/m^2$

R: بازدهی جریان بصورت کسری

L: طول در هر عبور

S: سرعت تسمه

۶. در آبکاری کروم آندهای حل نشدنی بکار می‌روند و فلز رسوب کرده با اضافه کردن اسید کرومیک ( $Cro_3$ ) به حمام جبران می‌شود. با فرض اینکه بازدهی کاتد ۱۸٪ بوده و از دو ریز حمام صرف نظر شود چقدر اسید کرومیک باید برای عبور هر ۱۰۰۰ A.L جریان به مخزن اضافه می‌شود؟

(اکی والان الکتروشیمیایی کروم  $8.67 = 52/6$ )

$0.323 Gr/A.h =$  اکی والان الکتروشیمیایی

برای ۱۰۰۰ A.h بازدهی ۱۰۰٪ می‌شود.

$$1000 * 0.323 = 323 gr$$

برای بازدهی ۱۸٪

$$0.323 * 0.18 = 58.1 gr$$

نسبت اسید به کروم

$$\frac{CrO_3}{cr} = \frac{100}{52} = 1.923$$

$$1.923 * 58.1 \text{ gr Cr} = 112 \text{ gr CrO}_3$$

۷. در بحث آزمایشگاهی برای تعیین بازده کاتد يك حمام آبکاری نیکل، کاتد کلومتر مس که با پیل مورد آزمایش سری شده است 1.025 gr اضافه وزن پیدا کرده است. در پیل آزمایشی وزن نیکل رسوب کرده 0.005 gr است. بازدهی حمام آبکاری نیکل را محاسبه کنید.

$$C = 1.025 \div \left(\frac{63.54}{2}\right) = 0.03226F$$

جریان کلی در بازدهی ۱۰۰٪ این جریان میتواند

$$\left(\frac{58.71}{2}\right) = 29.3558) 0.03226 = 0.947 \text{ gr gr Ni}$$

را رسوب دهد.

از آنجائیکه وزن نیکل رسوب کرده 0.905 gr است، پس بازدهی کاتد حمام آبکاری نیکل

$$\frac{0.905}{0.947} * 100 = 95.6\% \text{ می شود.}$$

### روشهای تمیزکاری غیر مکانیکی مانند صیقل کاری شیمیایی و الکتروشیمیایی

برای موفقیت در اجرای پوشش های زیر برای رسیدن به مقاصد مورد نظر ، ابتدا باید از تمیز بودن سطح اطمینان حاصل شود:

الف- آبکاری الکتریکی

ب- آبکاری الکترونس (electroless plating)

ج- پوشش های آلی

د- لعاب ها

ه- رسوبات تبخیری

و- غوطه وری گرم

ز- پوشش های پاششی

ح- آندایزینگ

ط- پوشش های تبدیلی

ی- سایر پوشش ها همچون : a. غلافی b. نفوذی c. سمناسیون

**توجه:** مهم است که بدانیم چه باید کرد تا به کاربرد مطلوب نهایی دست پیدا کنیم؟ چگونه کار را انجام دهیم و نیاز به چه عواملی داریم؟ سپس میتوان تصمیم گرفت که عملیات پوششی در کارخانه انجام شود و یا به پیمانکار واگذار گردد.

تمیز کاری (Cleaning) یا شرایط سازی (Conditioning) سطح فلزات به وسیله روش هایی مانند پاشیدن ماسه یا پرداخت با ذرات فولاد و یا شیشه، اکسید زدایی، چربی گیری در فاز بخار، اسید شویی و .... صورت می گیرد.

### تمیز کاری سطح

تمیز کاری سطح مشتمل بر بر طرف کردن آلودگیهای یا مواد ناخواسته مانند خاک و ... از روی سطح میباشد.

نوع تمیز کاری و میزان آن، به عوامل زیر بستگی دارد:

۱. نوع عملیات پوششی  
۲. نوع آلودگی سطح

۳. ویژگیهای محصول  
الف) ابعاد و شکل  
ب) جنس فلز  
ج) خواص فیزیکی

۴. ملاحظات عملی مانند مکان و نحوه انبارداری و نحوه حفاظت محصول  
۵. حجم و سرعت تولید  
۶. نوع تجهیزات  
۷. تخلیه پساب

#### تمیز کاری شیمیایی

این فرآیند شامل عمل مواد شیمیایی معینی است که آلودگی ها را از روی سطح قطعه کار جدا می کنند، به نحوی که بتوان آنها را توسط پاک کننده و یا شستن با آب برطرف نمود. سرعت و بازده عملیات، به درجه حرارت و میزان تلاطم بستگی دارد.

#### نحوه عمل دترجنت (شوینده)

دترجنت محلولی شیمیایی شامل مخلوطی از نمک های قلیایی نظیر سود سوزآور، تری سدیم فسفات، کربنات سدیم و ... است که با صابون ها یا مواد شبه صابون خاصی که مواد شوینده مصنوعی نامیده می شوند، ممزوج می گردند.

مواد شوینده مصنوعی بخاطر دو خاصیت نامناسب صابون ها بر آن ها ارجحیت دارند. این ویژگی های صابون ها عبارتند از:

۱. تمایل به تشکیل محصولات غیر قابل حل در آب سخت  
۲. قابلیت انحلال نسبتاً ضعیف آن در دماهای پائین

این دو خاصیت موجب ایجاد اشکال در شستشوی کامل سطح می شوند.

یک تمیز کننده قلیایی اغلب شامل ۸۰ تا ۹۰٪ نمک های قلیایی و ۵ تا ۲۰٪ مواد دترجنت مصنوعی است.

هر چه دترجنت بیشتر باشد:

الف. تمیز تر می شوید.

ب. در اثر تلاطم کف زیادتری ایجاد می شود.

ج. گران تر است.

دترجنت ها حاوی مؤلفه های قابل حل در آب و روغن هستند. بطوریکه بخش قابل حل در آب در فاز آبی، و قسمت قابل حل در روغن در فاز روغنی قرار می گیرد. بر روی سطح فلزی، مؤلفه قابل حل در آب، بر روی سطح جذب شده، و بخش قابل حل در روغن، در بیرون از سطح فلزی قرار می گیرد. قسمت قابل حل در روغن در داخل خاک آلوده به روغن وارد شده و خواص آن را به گونه ای تغییر می دهد که تمایل به بالا آمدن به اشکال کروی دارند و بنابراین با سهولت بیشتری از سطح فلز جدا می شوند. عوامل فعال کننده سطح تمایل بیشتری به جذب بر روی سطح فلز دارند و لذا جایگزین خاک موجود بر روی سطح آن می شوند.

### انواع دترجنت های صنعتی:

۱. قلیایی

۲. اسیدی

۳. حلال های امولسیون

### دترجنت های قلیایی

کاربرد آنها در مخازن، مبرد و ماشین می باشد و به دو شکل پودری و یا محلول در دسترس هستند.

نسبت کاری ۱۰ - ۱ Oz/Gal دترجنت به فاکتورهای متغیر بسیاری مانند میزان آلودگی خاک، درجه حرارت محلول، زمان تمیزکاری، روش اعمال و عملیات بعد از تمیز کاری بستگی دارد.

محدوده درجه حرارت بین ۲۰۰ - ۱۴۰ °F است. نباید مقادیر زیادی از دترجنت را یکباره به داخل مخزن ریخت.

ترکیب دترجنت های قلیایی شامل مخلوطی از نمک های مختلف سدیم مانند کربناتها، فسفاتها، سیلیکات ها و هیدروکسیدها، و عوامل فعال کننده سطح و یا عوامل تر کننده مانند رزینات سدیم، آلکیل آریل سدیم سولفانات، آلکیل آریل پلی اتر الکل و مواد نونیونیک با مقادیر بالای اکسید اتیلن می باشد.

### دترجنت های اسیدی

محلول های دترجنت اسیدی با زنگ اکسید پوسته و دیگر رسوبات مشابه واکنش می دهند تا ترکیباتی محلول در آب تشکیل داده و به راحتی شسته شوند.

برخی از دترجنت های اسیدی زنگ و چربی را تماماً در يك عملیات بر طرف می کنند و در همان حال سطح فلز را بطور میکروسکوپی حکاکی (اچ) می کنند تا چسبندگی رنگ به آنها زیادتر شود.



## برخی ترکیبات دترجنت های اسیدی

اسید فسفریک، سدیم پیروفسفات اسید ، بی سولفات سدیم، اسید سولفوریک

### سایر افزودنیها

عوامل تر کننده نونیونیک مانند اتیلن گلیکول ، آمونیاک و آب، ممانعت کننده ها تا ۱% ، شتاب دهنده نیترات سدیم برای فولاد نوردی و نیترات نیکل برای فولاد گالوانیزه

## دترجنت های حلال امولسیون کننده

در مواردی که نتوان حرارت را برای دترجنت های معمولی تأمین نمود از حلال های امولسیون<sup>۱</sup> کننده استفاده می شود که در دمای اتاق یا کمی بالاتر به کار می روند. این دترجنت ها حمله خود را روی روغن هایی متمرکز می کنند که باعث چسبندگی خاک ها بر روی سطح شده اند. زمانی که بقدر کافی دترجنت فعال کننده سطح، با لایه روغن تماس پیدا کند، روغن ویژگی خود را از دست می دهد و مانند مواد قابل حل در آب عمل می کند.

## ترکیب دترجنت های حلال امولسیون کننده

- الف- حلال های نفتی مانند کروزون
- ب- صابون های مانند رزین و یا دیگر اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه که توسط آمین های آلی یا هیدروکسید پتاسیم صابونی شده اند.
- ج- عوامل فعال کننده سطح نونیونیک مانند سولفات های نفتی با وزن مولکولی کم
- د- ممانعت کننده های زنگ زدن
- ه- گلیکول، گلیکول اتر
- و- مواد آروماتیک
- ز- آب و یا اسیدهای چرب یا هر دو برای تنظیم شفافیت و پایداری محلول غلیظ امولسیون بکار میروند.
- \* درجه حرارت عملیات  $140^{\circ}F - 180^{\circ}F$  تابع نقطه اشتعال مولکول های هیدروکربنی است.

## روش های اعمال دترجنت

### ۱. غوطه وری

پر مصرف ترین روشهای برقراری تماس مؤثر محلول با سطح آلوده فلز، غوطه ور کردن در مخزن است. **جنس مخزن:**

- جنس مخزن محتوی مواد قلیایی : آهن سیاه

<sup>۱</sup> امولسیون ، سوپانسیون از ذرات معلق روغن در آب میباشد.

- جنس مخازن محتوی مواد اسیدی : چوب، ظروف سنگی، فولاد زنگ نزن با آستر پلاستیک یا مونل

## ۲. تمیز کاری پاششی

در جایی که قطعات فلزی حجیم باید بر روی خط مونتاژ تمیز شوند، این کار با استفاده از پاشش محلول در يك محفظه شستشوی اتوماتيك یا نیمه اتوماتيك انجام می‌شود.

## ۳. شستشوی الکترولیتی

در کنار روشهای تمیز کاری مخزنی، برای افزایش کارایی و تسریع فرآیند، تقریباً منحصرأً پیش از آبکاری الکتریکی، بکار میرود. در جایی که بالاترین حد تمیزی سطح مورد نیاز باشد از این روش استفاده می‌شود.

## ۴. تمیز کاری مافوق صوت

انرژی اولتراسونیک امروزه در ترکیب با روشهای سنتی تمیز کردن فلز، برای پیروی از استانداردهای اجباری بکار میرود.

## روش های بر طرف کردن رنگ

زدایش رنگ بخش مهمی از بسیاری عملیات تمیز کاری قطعات است. در قطعات برگشتی، قطعاتی که باید تعمیر شوند یا تجهیزات در حال سرویس باید رنگ را بسرعت و به نحو اقتصادی و مؤثر بر طرف نمود. فرآیند کلیدی رنگ زدایی صابونی کردن (Saponification) نام دارد. صابونی کردن واکنشی شیمیایی است که در آن محلول های قلیایی قوی مانند سود سوزآور، روغن حیوانی و یا گیاهی و یا چربی را به صابون قابل حل در آب تبدیل می کنند. به محض اینکه روغن حیوانی و یا گیاهی حلال یا چسب به صابون تبدیل شد، پیگمنت<sup>۲</sup> های موجود در رنگ را می توان بر طرف نمود. در مواد رنگ زدای قلیایی جدید، ترکیب های تر کننده و نافذ به سود سوزآور اضافه شده اند تا موجب صدمه سریع تر به حلال های رنگ شود.

## روشهای رنگ زدایی

۱. استفاده از جریان محلول داغ کاربرد : قطعات با سطوح بزرگ

---

<sup>۲</sup> pigment رنگدانه

## روش های تمیز کاری

- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| A. روشهای شیمیایی                | C. اسید شویی (Pickling)                                      |
| الف - غوطه وری                   | D. استفاده از حمام نمک (Salt bath)                           |
| ب- پاششی                         | E. استفاده از دستگاه های غلتش و نوسان (tumbling & vibratory) |
| ج- گردشی                         | F. روش های پاشش تحت فشار (Pressure blasting)                 |
| د- اولتراسونیک                   | G. استفاده از برس کاری شدید (Power brushing)                 |
| ه- الکترولیتی                    |  |
| B. استفاده از حلال ها (Solvents) |  |

## چربی گیری در فاز بخار

دو حلال مهم برای این نوع چربی گیری ها عبارتند از:  
a. تری کلرواتیلن  
b. پرکلرواتیلن

## انواع روش چربی گیری در فاز بخار

- ۱- مستقیم    ۲- مایع - مایع - بخار    ۳- پاششی    ۴- مایع - بخار

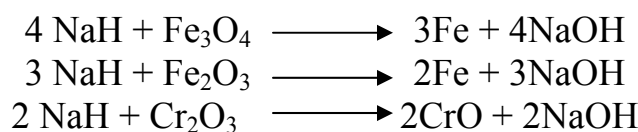
## تمیز کاری با حمام نمک

حمام نمک در فرآیندی اکسید کننده و یا احیایی تمیز ترین سطح را نسبت به هر يك از فرآورده های قلیایی بدست می دهد. به ندرت از این روش به تنهایی برای بر طرف کردن پوسته استفاده می شود. معمولاً عملیات پوسته زدایی بوسیله کوئیچ کردن و پیکلینگ با اسید رقیق انجام می شود. دمای عملیات بین  $700 - 1000^{\circ}\text{F}$  می باشد.

## برخی از انواع حمام نمک

۱. فرآیند هیدرید سدیم (فرآیند احیایی) دما  $370^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس

برای کلیه فولادهای کربنی، فولادهای آلیاژی رایج، فولادهای زنگ نزن، کروم، نیکل، مس، اینکونل، نیکروم و مونل، کبالت، فولادهای تندبر و کبالت دار، فلزات گران بها واکنش های نمونه:



## ۲. حمام هیدروکسید سدیم

حمام هیدروکسید سدیم + ۴-۱٪ مواد شیمیایی دیگر مانند نیترات سدیم یا يك نمك كلرات، فلوئوریدهای مختلف مانند فلوئورید منیزیم و بروم.

## ۳. حمام الکترولیتی

در حمام هیدروکسید سدیم با اعمال جریان DC ابتدا قطعه کاتد و سپس آند قرار داده می‌شود.

کاربردها: (۱) جدا کردن لاستیک از قاب تایر (۲) اعمال فلاکس های گالوانیزه کردن

### روشهای مکانیکی برای تمیزکاری

#### الف. پرداخت با سب و نوسان دهنده

پرداخت با سب و پرداخت با نوسان دهنده، دو روش شاخص پرداخت مکانیکی هستند. در هر روش کلیه قطعه کارها با استفاده از تماس محیط جاری با سطح خود تمیز می‌شوند. نیاز به هیچ کار دستی نمی باشد.

#### ویژگیهای پرداخت با سب و نوسان دهنده

۱. یکنواختی
۲. قابلیت اطمینان
۳. کیفیت یکسان

#### ب. تمیز کاری با پاشش خشك

پاشیدن مواد ساینده به سطح با سرعت زیاد میباشد.

#### اهداف تمیز کاری با پاشش خشك:

۱. بر طرف کردن لایه های آلوده سطحی
۲. بر طرف کردن اکسیدها محصولات خوردگی و پوسته نوردی
۳. ایجاد سطح پرداخت چکشی یا مات
۴. بهبود سطح برای اتصال بهتر رنگ
۵. بر طرف کردن ترك ها، شیارها و ناهنجاری های سطحی
۶. بر طرف کردن رنگ و کثیفی خشك سطح

#### انواع مواد ساینده در روش پاشش

۱. ماسه (اکسید - سیلسیم): اخیراً بجای آن از اکسید آلومینیوم، کاربید سیلسیم و یا سرباره استفاده می‌شود.
۲. ساچمه‌های چدن تبریدی: عمر آنها تقریباً ۵ برابر ماسه ها می باشد. ساچمه‌های فولاد ریختگی یا بریده شده از سیم، عمر سایشی مفید را نسبت به ساچمه‌های چدن تبریدی ۵۰٪ بالاتر می برند.

۳. **گریت فلزی (grit):** گریت از شکستن ساچمه های فلزی بدست می آید و شکل گوشه داری دارد.

۴. **ساچمه های غیر آهنی:** عمدتاً آلومینیوم برای موارد خاص مانند تمیز کردن قطعات ریختگی برنجی یا قطعات ریختگی تحت فشار روی یا A1.

۵. **ساینده های غیر فلزی:** هسته میوه، ساقه برنج، ذرات شیشه یا پلاستیک و نظایر آن.

- **جنس نازل (برای روش خشك):** چدن سخت، کاربید کروم، اکسید آلومینیوم و کاربید تنگستن.

**نکته:** گریت در جائیکه پرداخت اچ شده مطلوب باشد بکار میرود بطور مثال برای بدست آوردن پیوند بهتر جهت رنگ آمیزی و یا لعاب کاری. حکاکی عمیق زبر توسط گریت های درشت ایجاد می شود در حالیکه حکاکی بسیار ریز توسط ابعاد کوچکتر بوجود می آید.

### روشهای تمیز کاری پاشش خشك

۱. با هوا
  - فشار مستقیم ( نوع مخزنی )
  - جاذبه ای ( نوع مکشی )
۲. بدون هوا
  - تـك بار
  - کابینتی
  - سیستم روبات- منوریل
  - جریان محوری

### زمان سیکل فرآیند

زمان سیکل فرآیند با روش سعی و خطا نسبت به هر قطعه خاص تعیین می شود. قطعاتی که چرب یا روغنی باشند باید قبل از ماسه پاشی چربی گیری و خشك شوند. سایر مواردی که باید قبل از ماسه پاشی حذف گردد عبارتند از :

۱. ترکیبات مورد استفاده در کشش
۲. جوهرها و گچ های علامت گذاری
۳. رنگ ها
۴. ممانعت کننده های خوردگی
۵. ترکیبات شوینده
۶. آب و یخ بمقدار زیاد روی سطح
۷. سایر مواد شیمیایی

### ج. تمیزکاری با پاشش تر

سه ملاحظه منجر به ابداع این فرآیند شده است:

۱. جلوگیری از ایجاد غبار

<sup>۳</sup> nozzle محل خروج جریان پاششی

۲. مطلوب بودن استفاده از ذرات ساینده ریز
۳. جلوگیری از اکسیداسیون فوری

### مزایا نسبت به روش خشك

۱. دستگاه سیستم جمع آوری غبار لازم نیست.
  ۲. فضای کاری مورد لزوم حداقل است.
  ۳. خطرات بهداشتی و آسیب دستگاهی بخاطر غبار حذف می‌شود.
  ۴. نیاز به اطاقك خاصی ندارد و میتوان آن را در خط تولید نصب کرد.
  ۵. می توان از هر نوع محیط ساینده غیر جاذب آب، تا ابعاد ذرات ساینده به  $3\text{ }\mu\text{m}$  برسد، استفاده کرد.
- از این فرآیند عموماً برای عملیات پرداخت دقیق استفاده می‌شود.

### مواد مورد استفاده در پاشش تر

ذرات ساینده معلق در آب با افزودنی هایی مانند ممانعت کننده های خوردگی، عوامل تر کننده، عوامل ضد تجمع و/ یا ضد رسوب.

### د. برس های موتوری

کاربرد برس های موتوری در صنعت، در چند دهه گذشته به مقدار قابل ملاحظه ای افزایش یافته است. بهبود کیفیت سیم، طراحی برس و فرآیندهای ساخت برس منجر به ابداع مؤثرترین ابزارهای تمیز کاری برای انجام کارهای زیادی در مجموعه صنعت شده است. برخی از ملاحظات مهم در طراحی برس برای يك کاربرد خاص عبارتند از: ماده پر کننده (فولاد کربنی، فولاد زنگ نزن، مواد مصنوعی و ...) طول رشته و دانسیته آنها.

### انواع برس ها

۱. شعاعی شامل نوع گره ای، نوع سیم کنگره ای (موجی)
۲. برسهای با سطح عریض (فلزی، غیر فلزی، تسمه ای)
۳. برسهای فنجانی
۴. برسهای بدون مرکز

### صیقل و جلاء دادن

صیقل کاری، عبارت از بر طرف کردن مقادیر کم فلز بوسیله يك تسمه ساینده یا چرخ ارتجاعی است و به عنوان مرحله میانی بین سنباده زنی و جلاء کاری بکار می رود. تفاوت اصلی جلاءکاری و صیقل کاری، در سرعت بر طرف کردن فلز می باشد. جلاء کاری به سطحی بدون شیار قابل مشاهده با چشم غیر مسلح منجر می‌شود.

## ترکیبات مورد استفاده در صیقل کاری و جلاء کاری

### ۱) تری پولی

یک سیلیکای آمورف است که در طبیعت وجود دارد. اگر چه برای فلزات آهنی بسیار نرم و شکننده است، اما برای جلاءکاری  $\text{Cu}$  ,  $\text{Al}$  و برنج و روی بسیار مناسب می باشد.

### ۲ - سیلیکای نرم

این ماده نیز ترکیبی طبیعی است، ولی بر خلاف تری پولی عاری از آهن بوده و رنگ آن سفید است و برای فلزات غیر آهنی بکار می رود.

### ۳ - اکسید آلومینیوم

ساینده ای مناسب برای فلزات آهنی و برای جلاء دادن فولاد زنگ نزن و روکش های کروم و نیکل است.

### ۴ - کاربید سیلسیم

### ۵ - گرد زنگ آهن

### ۶ - اکسید کروم

### ۷ - ترکیبات آهک برای روکشهای نیکل و برنج و مس و آلومینیوم

### ۸ - پولیس (سنگ پا)

## عوامل انتخاب جلاء و ترکیب آن

۱. شکل قطعه کار

۲. جنس قطعه کار

### سایر مواد جلاء کاری

- پلاستیک های ترموست: باکلیت ، کاتالین، بتیل و پلاکسون
- پلاستیک های ترموپلاست: سلولوئید، تنیت، لوسیت

## الکتروپولیش

جهت ایجاد سطوح مناسب قبل از آبکاری الکتریکی بکار می رود.

## عملیات آماده‌سازی سطح برای فلزات و آلیاژهای مختلف

### قطعات آهن و فولاد کار شده

**الف . چربی زدائی:** ابتدا از حلال های پاك کننده و سپس تمیز کننده های قلیایی مانند:  
سدیم هیدروکسی  $15 \text{ gr/lit}$  - سدیم کربنات  $30 \text{ gr/lit}$  - تری سدیم فسفات  $15 \text{ gr/lit}$  -  
سدیم تری سیلیکات  $15 \text{ gr/lit}$  - ماده فعال کننده سطح  $75, 00 \text{ gr/lit}$ ، دما  $80$  تا  $90$  درجه  
سلسیوس.  
**ب. صیقل کاری:** به روشهای مختلف مکانیکی، شیمیایی و الکتروشیمیایی انجام می‌شود.

### چدن

۱ - تمیز کاری: روش مکانیکی و چربیگیری در فاز بخار  
۲ - اسید شوئی: برای حذف لایه های سطحی و یا پوسته از اسید HF استفاده می‌شود.  
به علت تخلخل چدن، باید پس از انجام عملیات شیمیایی شستشوی آن با آب سرد و گرم به  
دقت انجام شود تا در حفره های آن اثری از مواد اسیدی یا قلیایی باقی نماند.

### فولاد زنگ نزن

#### ۱. اسید شوئی

##### محلول a:

$\text{H}_2\text{SO}_4$  :  $60-80$  میلی لیتر  
 $\text{HCl}$  :  $40-20$  میلی لیتر  
آب : يك لیتر  
دما :  $70-80$  درجه سلسیوس

##### محلول b:

$\text{HNO}_3$  :  $20$  میلی لیتر  
 $\text{HF}$  :  $40$  میلی لیتر  
آب : يك لیتر  
دما :  $60-70$  درجه سلسیوس

قطعه را جهت پوسته زدایی در محلول اول و سپس برای چند دقیقه در محلول دوم قرار میدهند  
تا سفید شود. برای شفاف تر شدن می توان از محلول زیر استفاده کرد:

$\text{HCl}$  :  $100$  میلی لیتر  
 $\text{HNO}_3$  :  $20$  میلی لیتر  
آب : يك لیتر  
دما :  $60-70$  درجه سلسیوس



## ۲. صیقل کاری

از ذرات اکسید الومینیوم برای صیقل کاری مکانیکی و اغلب بجای آن از صیقل کاری الکتریکی در محلول اسیدهای سولفوریک و مقدار کمی اسید کرومیک استفاده می شود.

### روش های تمیزکاری

#### ۱- غوطه وری در مخزن بصورت سرد یا گرم

کاربرد: قطعات کوچک ، پس از سست شدن زنگ، شستشو با فشار بالا زدودن

#### ۲- استفاده از پیستوله بخار

کاربرد: قطعات و دستگاه های بزرگ

#### ۳. تمیز کاری با حلال

تمیز کاری با حلال محدود به برداشتن روغن ها یا چربیهای معمولی از قطعات فلزی می شود و قادر به برداشتن زنگ یا پوسته نیست.

#### انواع اصلی تمیز کاری با حلال

الف – حلال سرد

ب- چربی زدائی در فاز بخار

#### تمیز کاری با حلال سرد

برای تولید کم در وضعیتهایی که هزینه های تجهیزاتی اولیه خیلی اهمیت داشته باشند بکار میرود. حلالهای یکار رفته عمدتاً عبارتند از:

۱. مشتقات نفتی آلیفاتیک

۲. هیدروکربن های کلرینه شده

۳. الکل ها

۴. گروه متفرقه شامل استرها، کتون ها و آروماتیک ها

## انواع پوشش

### پوشش مس

پوشش مس را با روشهای الکترولیز، الکترولس، پاشیدن فلز و روشهای مکانیکی (مانند غلاف کاری Cladding) ایجاد می کنند.

### مزایای پوشش مس

۱. نرمی و انعطاف پذیری
۲. هدایت الکتریکی و حرارتی
۳. آماده کننده سطح فلز یا پلاستیک برای پوشش دیگر
۴. قابلیت صیقل و جلاء کاری
۵. جلوگیری از شوک حرارتی در سیستم های چند لایه

### محدودیت های پوشش مس

۱. در تماس با اتمسفر رنگ سطح پوشش کدر و تیره می شود.
  - رنگ سیاه: اکسید مس
  - رنگ سبز: سولفات مس بازی (Patina)  $[CuSO_4 \cdot 3Cu(OH)_2]$ : در محیط های دریایی
- لذا سطح پوشش مس تزئینی را با لاک محافظت می کنند.

### حمام های آبکاری مس:

۲. حمام های اسیدی
۳. حمام پیروفسفات بازی
۴. حمام های قلیایی (سیانیدی – غیر سیانیدی)
۵. حمام پیروفسفات بازی
۶. حمام فلوئوربات

## حمام های اسیدی

**حمام سولفات مس:** اجزاء این حمام ها شامل سولفات مس، اسید سولفوریک و سایر افزودنی ها است و برای ایجاد لایه های ضخیم، پوششهای براق و الکتروفرمینگ بکار می روند. دمای عملیات ۲۰ تا ۵۰ درجه سلسیوس و برای برخی از محلول ها تا ۷۰ درجه سلسیوس است.

## معایب حمام های اسیدی سولفات مس

۱. توان پرتاب کم است.
  ۲. ایجاد پوشش مستقیم بر روی آهن و روی ناممکن است (بخاط سمناسیون و انحلال اسیدی)
  ۳. پوششهای با ضخامت بیشتر از  $25 \mu\text{m}$  نیاز به صیقل دادن دارند.
- از آند مس با چگالی جریان از ۰/۱ تا  $35 \text{ A/dm}^2$  و ولتاژ ۱۲-۶ ولت، با بازده کاتدی ۹۵-۱۰۰٪ استفاده می شود. ضخامت پوشش از  $50 \mu\text{m}$  برای زیر لایه تا  $500 \mu\text{m}$  یا بیشتر برای سایر مصارف متغیر است.
- برای قطعات پایه آهن یا روی، ابتدا از حمام سیانیدی و سپس از حمام سولفات مس استفاده می شود.

## حمام های سیانیدی

از مخلوط سیانورسدیم و مس تشکیل شده اند و انواع آن شامل؛ نرمال، راش، بارل و، سرعت زیاد و بازده زیاد (یا H.S.H.E) می باشد.

**توجه:** ترکیبات سیانیدی بسیار سمی اند و نباید با پوست تماس پیدا کنند یا بخار آن ها تنفس شوند. حتی اسیدهای ضعیف نیز باعث تولید گاز هیدروسیانیک اسید می شوند، لذا نگهداری و کار با هر نوع اسید در کارگاه هایی که سیانور وجود دارد، ممنوع است.

در حمام سیانید یونهای کمپلکس مانند  $\text{Cu(CN)}_4^{3-}$ ،  $\text{Cu(CN)}_2^-$ ،  $\text{Cu(CN)}_2^-$  عواملی که باید در حمام های سیانیدی کنترل شوند عبارتند از:

۱. مقدار سیانید حمام
  ۲. مقدار کربنات
  ۳. pH
  ۴. ناخالصی هایی مانند، سرب، آهن و روی
- برای اینکار از مواد افزودنی مانند نمک راشل (تارتارات سدیم پتاسیم  $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$  استفاده می شود.
- خواص نمک راشل شامل:
۱. تشکیل کربنات را به تأخیر می اندازد.
  ۲. اصلاح کننده ساختار دانه های رسوب و کمک به خوردگی آند

۳. بازده یکنواخت در چگالی جریان های مختلف
۴. ایجاد پوشش ضخیم تر
۵. افزایش سرعت رسوب و توان پرتاب
۶. عمل بافر کردن: مواد بافر کننده تغییرات pH را ثابت کرده و مانع از تغییر pH محلول می شوند.
۷. بهبود بازده جریان آند و پلاریزاسیون
۸. افزایش بازده جریان کاتدی
۹. نمک راشل به صافی سطح پوشش کمک نمی کند.

### سیانید آزاد ( $NaCN$ , $KCN$ )

مقدار اضافی یون سیانید برای کمک به انحلال آند و ثابت نگهداشتن یون های مس در محلول بکار می رود. اگر مقدار سیانید آزاد خیلی زیاد باشد، غلظت یون های مؤثر مس کاهش یافته و بازده کاتد نیز کم شده و گاز هیدروژن آزاد می شود. حد مناسب سیانید آزاد در حمام های معمولی  $10 - 3$  gr/lit و در حمام های با بازدهی زیاد  $7 - 5$  gr/lit است.

### کربنات

از اکسیداسیون سیانور و حل شدن گاز کربنیک هوا در حمام حاصل شده و آند را غیر قطبی می کند. مقدار آن باید در حد کمتر از  $50$  gr/lit نگهداری شود.

### pH

کنترل pH برای ثابت ماندن قابلیت هدایت الکتریکی محلول لازم است و با اضافه کردن مواد قلیایی مانند KOH یا NaOH به حمام انجام می شود. pH مناسب برای حمام های سیانیدی متفاوت و در فاصله  $8/12 - 9/5$  می باشد. بازده کاتدی حمام های سیانیدی کمتر از حمام های اسیدی است.

### حمام پیروفسفات

از پیرو فسفات مس  $P_2O_7$  Cu در این حمام استفاده می شود. پوشش مس حاصله شفاف، با باندهای ظریف است بازده کاتد  $90 - 100\%$  است.

### حمام فلوئوئوبرات

از انواع حمام های اسیدی محسوب می شود و ترکیبات آن شامل فلوئوئورید مس  $[Cu(BF_4)_2]$  و اسید فلوئوئوبوریک ( $HF_4$ ) می باشد. دانسیته جریان  $4/5 - 7/5$  A/dm<sup>2</sup> و بازده کاتد آن  $90 - 100\%$  است و برای لایه های ضخیم، سیم پیانو، قطعات کششی و الکتروفورمینگ بکار می رود.

### حمام سولفامید

از سولفامید مس و اسید سولفامیک برای ساخت این حمام استفاده می شود.

### ماده مناسب برای مخازن آبکاری مس

۱. فولاد معمولی با آستر P.V.C برای حمام های اسیدی (دمای مجاز ۴۳ درجه سلسیوس)
۲. فولاد کربنی ساده برای حمام قلیایی (دمای مجاز ۸۲ درجه سلسیوس)

### ساختار پوشش های مس

پوشش از بلورهای سوزنی عمود بر سطح قطعه و در جهت جریان تشکیل می شود. افزایش چگالی جریان سبب ریز تر شدن دانه ها و نامنظم تر شدن ساختار شده و در عوض پوشش محکم تر و سخت تر می شود. اضافه کردن سرب بین ۱-۰/۱ گرم بر لیتر به حمام های قلیایی مس سبب افزایش براقیت و کاهش تخلخل پوشش می شود. آبکاری متناوب با سیکل S ۲۱ آبکاری کاتدی و S ۱۵ آنودی، در حمام های سیانیدی باعث بهبود کیفیت صافی سطح، استحکام الاستیسیته و چگالی پوشش می شود. همچنین پوششهای ضخیم تری را می توان ایجاد کرد.

### آبکاری نیکل

نیکل ۲۴ مین عنصر سازنده پوسته زمین است منابع عمده نیکل در کشورهای کانادا (نصف تولید دنیا)، آفریقای جنوبی، روسیه، فنلاند و اخیراً در کوبا و کالدونیای جدید قرار دارد.

### کاربرد نیکل

بطور عمده از نیکل بعنوان عنصر آلیاژی در آلیاژهای آهنی و غیر آهنی استفاده می شود. نیکل خالص به تنهایی یا بصورت فلز روکش در ظروف واکنش شیمیایی و برخی از تجهیزات صنایع غذایی بکار می رود.

۱۷-۱۵٪ نیکل دنیا برای آبکاری مصرف می شود. (مصرف نیکل آمریکا سالانه ۱۶۰۰۰۰ تن است که ۲۰۰۰۰ تن آن برای آبکاری است) نیکل در زیر ۳۵۳ درجه سلسیوس فرو مغناطیس و بالاتر از این دما — (دمای کوری) پارا مغناطیس است و لذا در موقع اندازه گیری ضخامت پوشش نیکل توسط دستگاه ضخامت سنج مغناطیسی باید به این نکته توجه داشت.

سختی و استحکام نیکل متوسط و چقرمگی و قابلیت انعطاف آن خوب است. هدایت حرارتی خوب و هدایت الکتریکی آن متوسط می باشد، براحتی ساخته شده و قابلیت صیقل کاری و حفظ جلای آن مناسب است. نیکل مقاومت شیمیایی بسیار خوبی در غالب محیطهای خورنده دارد. نیکل در اتمسفر آلوده کدر می شود و لذا برای حفظ براقیت، آن را با کروم پوشش می دهند. پوشش ضخیم نیکل برای تعمیر قطعات مهم و آستر دادن ماشین آلات شیمیایی بکار می رود.

پوششهای نازک تر در لایه های سه گانه مس - نیکل - کروم برای قطعات گوناگون، محافظت از خوردگی و ایجاد سطوح براق استفاده می شود.

### انواع حمام های آبکاری نیکل

۱. حمام وات
۲. حمام سولفاتی
۳. حمام کلرید
۴. حمام نیکل سولفامات
۵. حمام نیکل فلوئوبورات

### حمام وات

حمام عمومی برای ایجاد پوشش نیکل است و از سولفات نیکل، کلرور نیکل، اسید بوریک و مواد افزودنی گوناگون تشکیل می شود. پوشش با ضخامت حدود  $50 \mu m$ ، مقاومت به خوردگی آلیاژهای ریختگی تحت فشار روی، آلومینیوم و منیزیم را افزایش می دهد. با افزایش چگالی جریان، تخلخل پوشش زیاد و با افزایش دما و pH، تخلخل کم می شود. در کاتد هیدروژن آزاد می شود و جایی که هیدروژن هست، رسوب شکل نمی گیرد.

### حمام کلرور بالا

پوشش حاصله صاف و خاکستری است. بیشتر از این حمام برای پیش آبکاری استفاده می کنند و برای فولاد زنگ نزن، مونل و برنز بکار می رود.

### چند حمام نمونه

حمام نیکل سخت		حمام نیکل سیاه		آلیاژ Ni-P	
۱۸۰ g/l	سولفات نیکل	۷۵ g/l	کلرید نیکل	۱۷۵-۱۵۰ g/l	سولفات نیکل
۲۵ g/l	کلرید آمونیوم	۳۰ g/l	کلرید آلومینیوم	۴۵-۵۰ g/l	کلرید نیکل
۳۰ g/l	اسید بوریک	۱۵ g/l	سدیم تیوسیانات	۵۰ g/l	اسید فسفریک
۵٫۶ - ۵٫۹	pH	۵	pH	۱۳-۴۰ g/l	اسید فسفرو
۴۳ - ۶۰°C	دما	- ۳۲°C ۲۴	دما	۷۵ - ۹۵ °C	دما
۲۰۰ - ۱۰۰۰ A/m <sup>2</sup>	دانسیته جریان	۱۵ A/m <sup>2</sup>	دانسیته جریان	- ۳۵۰ A/m <sup>2</sup> ۴۵۰	دانسیته جریان
				طلا + ۱۲٪ - ۱۰٪ کروم	طلا سفید
				۰/۵ - ۱	pH

## کروم

۲۱ مین عنصر تشکل دهنده سطح زمین است و منابع آن در کشورهای روسیه، آفریقای جنوبی، فیلیپین، ترکیه، رودزیای جنوبی و کالدونیای جدید وجود دارد. کاربرد آن در متالورژی، دیرگذاها (کرومیت) و صنایع شیمیایی است. به عنوان رنگدانه در رنگ، در قطعات الکتریکی، پوششهای نفوذی، تبدیلی و ... کاربرد دارد.

کروم سفید، درخشان، سخت و ترد است. در اغلب محیط های خورنده، مقاومت خوردگی بالایی دارد. کروم و نیکل از مهم ترین فلزات برای آبکاری هستند. بطور عمده از کروم برای پوششهای تزئینی یا ضد سایش استفاده می کنند. (تخلخل و ترکهای میکروسکوپی در پوشش کروم از جنبه روانکاری مناسب است. اما باعث نفوذ مواد خورنده به سطح فلز پایه می شود).

### حمام های پوشش کروم

۱. حمام سولفات - کرومیک اسید
۲. کروم سیاه
۳. کروم سه ظرفیتی
۴. فلوئورید کروم
۵. کروم سخت

### کروم سیاه

برای ابزارهای اندازه گیری، ادوات نظامی و مقاصد خاص در الکترونیک استفاده می شود.  
برای نمونه:

اسید کرومیک gr/lit ۴۰۰ - ۲۵۰، اسید استیک gr/lit ۵، چگالی جریان  $A/dm^2$  ۱۰۰ - ۸۰، دما: ۲۵ درجه سلسیوس

### کروم سخت

برای مصارف مهندسی مانند تعمیرات، پوشش دادن اجزاء مکانیکی یا ابزارآلات بخاطر مقاومت سایشی بکار می رود.  
برای نمونه:

حمام رقیق	حمام غلیظ	
۲۵۰ gr/lit	۴۰۰	اسید کرومیک
۲,۵ gr/lit	۴	یون سولفات
۳۱- ۶۲ $A/dm^2$	۱۶ - ۵۴	دانشیته جریان
۵۲ - ۶۳ °C	۴۳ - ۶۳	دما

### حمام کروم سه ظرفیتی

امروزه برای جایگزینی یون کروم ۶ ظرفیتی ( $\text{Cr}^{6+}$ ) که از لحاظ سمی و سرطان زا بودن خطرناک است، از محلول های حاوی یون  $\text{Cr}^{3+}$  استفاده می کنند. برای نمونه:

یون $\text{Cr}^{3+}$	۵ - ۲۰ g/l
pH	۲,۳ - ۴
دما	۲۷ - ۵۰ °C
چگالی جریان	۴۳۰ - ۱۴۰۰ A/m <sup>2</sup>

### حمام فلئورید کروم

برای ایجاد پوشش ضخیم کروم استفاده می شود. برای نمونه:

اسید کرومیک	۳۰۰ gr/l
فلئورید (بصورت HF)	۵,۲۵ g/l
دما	۱۰۰ - ۱۰۲ °C
چگالی جریان	۱۲۷ A/dm <sup>2</sup>
بازده جریان	۴۵ - ۴۰٪

در حمام های آبکاری کروم از آند سرب یا آلیاژ سرب بصورت میله چهار گوش، تسمه یا صفحات موج دار استفاده می شود.



## منابع:

۱. پوشش دادن فلزات - دکتر محمد قربانی - مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف - ۱۳۷۹
۲. اصول خوردگی و حفاظت فلزات - دکتر جمشید مفیدی - انتشارات دانشگاه تهران - ۱۳۷۷
۳. پوششهای تبدیلی - دکتر عبدالله افشار - مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف - ۱۳۷۹
۴. فسفاتکاری و آماده سازی سطوح فلزی - دکتر اردشیر کامکار - انتشارات آزان - ۱۳۷۷
۵. صنعت لعاب سازی و رنگهای آن - دکتر میرمحمد عباسیان - انتشارات گوتنبرگ - ۱۳۷۹
۶. الکتروشیمی خوردگی - دکتر محمدعلی گلعداز - مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان - ۱۳۷۸
۷. مهندسی آبکاری فلزات - مهندس اسرافیل بشارت - نشر طراح - ۱۳۸۲
۸. فرهنگ رنگ - دکتر ابراهیم بیگدلی - انتشارات رنگ کیمیای قم
9. Metals Handbook - 9<sup>th</sup> Edition - Vol 5 : Surface Cleaning ,  
Finishing and coating
10. Electroplating (AES) - Lowenheim - McGraw-Hill- 1978
11. The Canning Handbook Surface finishing Technology - 1989
12. Surface Preparation and finishes for Metals, Editor: Morphy -  
(SME - AES) 1971
13. Surface Engineering for Corrosion and wear resistance, Edited by :  
J.R. Davis, ASM International, 2001