

## آب کاری صنعتی

هدف های رفتاری: پس از پایان این فصل از هنرجو انتظار می رود که بتواند :

- آب کاری را تعریف کند و کاربردهای آن را نام ببرد.
- اجزای مختلف یک دستگاه آب کاری را شرح دهد.
- مشخصات عمومی حمام های آب کاری را شرح دهد.
- نقش آند و کاتد در عملیات آب کاری را شرح داده و اکسید عمومی آب کاری را تعریف کند.
- مراحل آماده سازی «قطعه کار» قبل از آب کاری را شرح دهد.

### ۱-۵- مقدمه

آب کاری<sup>۱</sup> یکی از انواع روش های ایجاد پوشش های فلزی است. طبق تعریف، آب کاری عملیاتی است که در آن به روش الکترولیز سطح یک شیء را با فلز مورد نظر پوشش می دهند. این پوشش فلزی باید چسبندگی زیادی به سطح داشته باشد و تا پایان عمر مفید شیء از سطح آن جدا نشود. قطعه ای که سطح آن پوشش داده می شود می تواند از جنس فلز یا نافلز باشد. در صورتی قطعه ی نافلز قابلیت آب کاری پیدا می کند که قبلاً پوششی از یک لایه ی نازک رسانا به طریقی روی سطح آن نشانداده باشند.

آب کاری در صنعت کاربردهای فراوان دارد. بعضی از مهم ترین اهداف آب کاری عبارتند از :

**جلوگیری از خوردگی قطعه:** در صنایعی که با مواد شیمیایی بسیار خورنده سرو کار دارند، غالباً ظروف و دستگاه ها را از جنس های نسبتاً ارزان – مثلاً فولاد معمولی – می سازند که مقاومت زیادی در برابر خوردگی ندارند. سپس با پوشش دادن سطح داخلی ظروف و دستگاه ها با یک فلز مقاوم در مقابل خوردگی، نظیر نیکل، از خراب شدن و سوراخ شدن ظروف و دستگاه ها جلوگیری می شود. بدیهی است اگر تمام دستگاه را از جنس نیکل بسازند، قیمت آن بسیار گران خواهد بود.

در صنایع غذایی معمولاً شدت خوردگی زیاد نیست اما حتی مقدار کم آن نیز مجاز نمی باشد. بسیاری از مواد غذایی اثر نامطلوب و خورنده بر روی فولاد دارند اما چون حتی مقادیر ناچیز از یون های آهن مزه و کیفیت غذا را تغییر می دهند، داخل قوطی های کنسرو را با فلزاتی نظیر قلع پوشش می دهند.

**سؤال:** چرا قوطی های کنسرو مواد غذایی را تماماً از قلع نمی سازند؟

**جواب:** زیرا اولاً قلع استحکام و مقاومت مکانیکی لازم را ندارد و ثانیاً قیمت آن نسبتاً گران است.

**بهبود ظاهر قطعه:** در بسیاری از موارد تنها دلیل یا حداقل یکی از دلایل آب کاری، ایجاد ظاهری زیبا برای قطعه است. برای مثال در آب کاری زیورآلات بدلی که با یک لایه ی بسیار نازک طلا پوشش داده می شوند، فقط ظاهر زیبا مد نظر است. البته در اکثر موارد، هم جنبه ی «زیبایی» و هم جنبه ی «مقاومت در مقابل خوردگی» دلیل انجام آب کاری است. وسایل آشپزخانه که با کروم

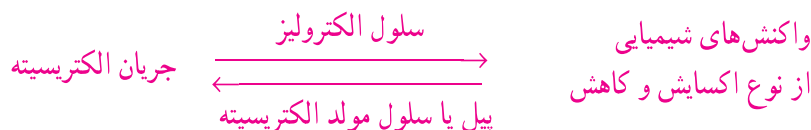
آب کاری می‌شوند نه تنها ظاهری زیبا دارند بلکه در طول سال‌ها در مقابل اثرات محیط و مواد غذایی مقاومت نموده و زنگ نمی‌زنند. افزایش مقاومت مکانیکی: در پاره‌ای موارد نیاز است که سطح یک قطعه در مقابل سایش مقاومت بیش‌تری داشته باشد. در این حالت با انجام نوعی آب کاری نیکل یا کروم سختی لازم در سطح پدید می‌آید.

افزایش هدایت الکتریکی: مس یک رسانای خوب برای جریان برق است و به همین منظور در وسایل برقی و مدارهای الکتریکی به شکل گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. به مرور زمان روی سطح مس لایه‌ی تیره‌ی نازکی تشکیل شده و باعث می‌شود در نقاط لحیم کاری شده و در اتصالات، هدایت الکتریکی سطح مس به شدت کاهش یابد. در دستگاه‌های الکتریکی حساس، به منظور افزایش هدایت الکتریکی سطح مس غالباً از پوشش بسیار نازک طلا استفاده می‌شود.

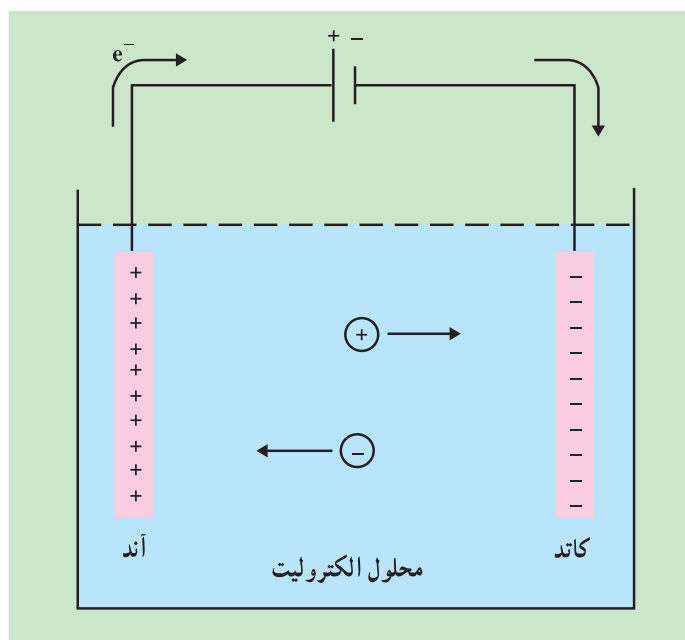
ایجاد خواص سطحی متنوع: علاوه بر خواصی که در بالا ذکر شد، آب کاری می‌تواند خواص متنوع دیگری را نیز در سطح یک قطعه ایجاد کند. برای مثال به منظور ایجاد قدرت انعکاس نور در یک قطعه، آن را با نقره پوشش می‌دهند. آب کاری نقره، همانند آب کاری طلا، در افزایش هدایت الکتریکی سطح قطعات (مثلاً قطعات دستگاه رادار) مؤثر است.

## ۲-۵- مبانی آب کاری

الکتروشیمی شاخه‌ای از علم شیمی است که در خصوص تبدیل انرژی شیمیایی و الکتریکی به یکدیگر بحث می‌کند. در سلول‌های مولد الکتریسیته (پیل‌ها) بر اثر انجام واکنش‌های شیمیایی، از نوع اکسایش و کاهش، جریان الکتریسیته تولید می‌شود و برعکس در سلول‌های الکترولیز بر اثر عبور جریان الکتریسیته، واکنش‌های اکسایش و کاهش مورد نظر انجام می‌گیرد. به شکل خلاصه:



آب کاری یکی از انواع فرآیندهای الکترولیز می‌باشد که در آن به کمک جریان الکتریسیته، واکنش‌های اکسایش و کاهش مورد نظر انجام شده و بر اثر آن پوشش مناسب بر سطح قطعه‌ی مورد نظر می‌نشیند. شکل ۱-۵ اجزای اصلی یک سلول الکترولیز را به شکل ساده نشان می‌دهد. جریان برق مستقیم (DC)<sup>۱</sup> را می‌توان به کمک یک باتری یا تبدیل جریان برق متناوب (AC)<sup>۲</sup> تأمین کرد. در صورتی که منبع انرژی، جریان متناوب باشد، برای تبدیل آن به جریان مستقیم از یک سوکننده استفاده می‌کنند. تیغه‌هایی که جریان الکتریسیته را وارد محلول می‌نمایند الکترود نام دارند. الکترودی که به قطب مثبت باتری متصل است و در آن نیم واکنش «اکسایش» انجام می‌شود آند نام دارد. الکترودی که به قطب منفی باتری متصل است و در آن نیم واکنش «کاهش» انجام می‌شود کاتد نام دارد. محلولی که آند و کاتد در آن قرار گرفته‌اند و حاوی یون‌های مثبت و منفی است، الکترولیت نامیده می‌شود. حرکت یا به عبارت بهتر مهاجرت یون‌های مثبت و منفی به معنی عبور جریان الکتریسیته از داخل محلول می‌باشد. یون‌های مثبت که به سمت کاتد مهاجرت می‌کنند کاتیون و یون‌های منفی که به سمت آند مهاجرت می‌کنند آنیون نام دارند.

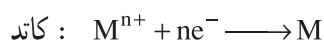


شکل ۱-۵ اجزای اصلی یک سلول الکترولیز. یون‌های مثبت (کاتیون‌ها) به سمت کاتد و یون‌های منفی (آنیون‌ها) به سمت آند مهاجرت می‌کنند.

شکل‌های ۲-۵ الف و ب به ترتیب شمای کلی یک دستگاه آب‌کاری و تانک آب‌کاری را نشان می‌دهند. در عملیات آب‌کاری فلز پوشش‌دهنده در موقعیت آند قرار می‌گیرد. در آند نیم واکنش اکسایش، غالباً به شکل انحلال آند انجام می‌شود:

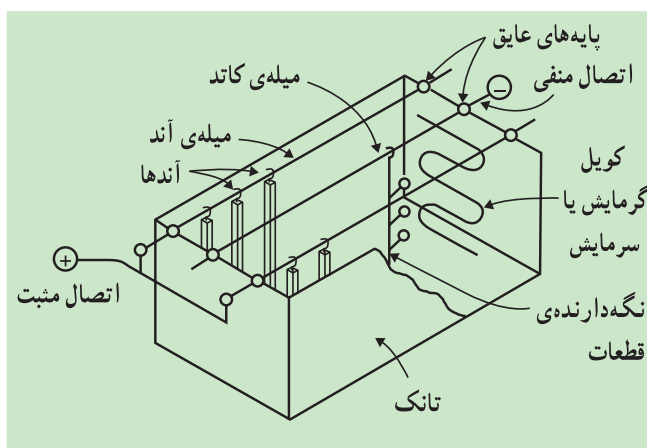


قطعه‌ای که باید پوشش داده شود و به آن «قطعه کار» یا «کار» می‌گویند در موقعیت کاتد قرار می‌گیرد. در کاتد نیم واکنش کاهش به شکل رسوب فلز بر سطح قطعه کار انجام می‌شود:

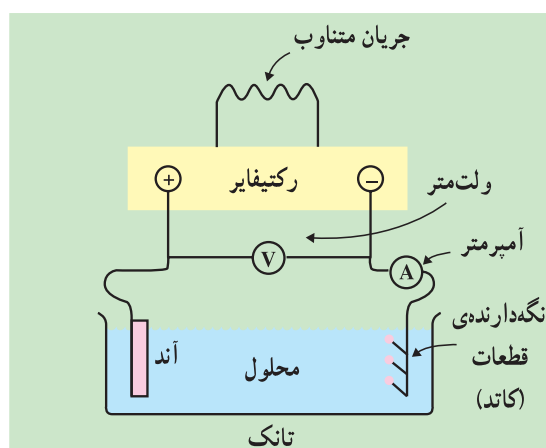


ممکن است لازم باشد عملیات آب‌کاری در یک دمای خاص انجام شود. به همین دلیل دمای مورد نیاز توسط یک کوئل حرارتی (سرمایش یا گرمایش) که در داخل محلول الکترولیت قرار می‌گیرد تأمین می‌شود (شکل ۲-۵ ب). همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، سه میله از جنس مس در بالای تانک بر روی پایه‌های عایق قرار گرفته‌اند. دو میله‌ی کناری که به قطب مثبت وصل شده‌اند، میله‌های آندی نام دارند. آن‌ها توسط قلاب‌هایی رسانا به این میله‌ها آویزان می‌شوند. میله‌ی وسط که به قطب منفی وصل شده است میله‌ی کاتدی نام دارد و تعدادی «نگه‌دارنده‌ی قطعات» به آن متصل است. این نگه‌دارنده‌ها که بسته به نیاز طرح‌های مختلف دارند به جز در محل تماس با میله‌ی کاتد و محل تماس با قطعه کارها، کاملاً عایق شده‌اند. چرا؟ قوانین فاراد: در سال ۱۸۸۳ میلادی مایکل فاراد که به پدر علم الکتروشیمی معروف است، براساس مشاهدات تجربی خود دو قانون مهم در مورد الکترولیز به دست آورد که می‌توان نتیجه‌ی آن‌ها را در معادله‌ی زیر خلاصه کرد:

$$m = \frac{q}{F} \times \frac{M}{n}$$



(ب)



(الف)

## شکل ۵-۲

الف) اجزای اصلی یک دستگاه آب کاری  
ب) نمونه‌ی یک تانک آب کاری و قسمت‌های مختلف آن

در این معادله

$m$  : جرم ماده‌ای است که در الکتروود مورد نظر تولید می‌شود و یا از بین می‌رود (برحسب گرم).

$q$  : مقدار الکتریسته‌ای است که از محلول یا از مذاب مورد الکترولیز عبور می‌کند و خود برابر با  $q = I \cdot t$  است که  $I$  جریان

الکتریکی برحسب آمپر و  $t$  زمان برحسب ثانیه است.

$F$  : ثابت فاراده است که بار یک مول الکترون را می‌رساند و آن برابر  $96486$  (تقریباً  $96500$ ) کولن است.

$M$  : جرم یک مول ماده‌ی مورد نظر برحسب گرم است.

$n$  : عبارت است از تعداد مول‌های الکترون به کار رفته برای تولید یا مصرف شدن یک مول ماده‌ی مورد نظر در الکتروود

مربوط.

در عمل مقدار ماده‌ای که در یک تانک آب کاری در کاتد رسوب می‌کند، کم‌تر از مقداری است که رابطه‌ی فاراده نشان

می‌دهد. به همین دلیل بازده جریان<sup>۱</sup>، که در مورد آب کاری «بازده کاتد<sup>۲</sup>» نام دارد، چنین تعریف می‌شود:

$$\text{بازده کاتد} = \frac{\text{جرم پوشش (واقعی)}}{\text{جرم پوشش (تئوری)}} \times 100$$

منظور از جرم پوشش تئوری، مقداری است که با استفاده از رابطه‌ی فاراده به‌دست می‌آید.

مسئله ۵-۱: الف) در یک تانک آب کاری مس، جریان ۱۵ آمپر از داخل محلول سولفات مس به مدت ۱۰ دقیقه عبور

می‌کند. اگر بازده کاتد ۱۰۰ درصد باشد، چه جرمی از مس بر روی قطعاتی که در کاتد قرار گرفته‌اند می‌نشیند؟ جرم اتمی مس ۶۳/۵

است. ب) اگر مجموع سطح آب کاری شده ۱۵۰۰ سانتی مترمربع باشد، ضخامت مس که بر روی قطعات نشست است به طور متوسط

چقدر است؟ جرم ویژه‌ی مس ۸/۹۳ گرم بر سانتی مترمکعب است.

حل: الف)

$$m = \frac{q}{F} \times \frac{M}{n}$$

$$\left. \begin{array}{l} I = 15A \\ t = 10 \times 60 = 600s \end{array} \right\} \Rightarrow q = I \times t = 15 \times 600 = 9000C$$

$$\frac{M}{n} = \frac{63.5}{2} = 31.8 \text{ گرم} \quad (Cu^{2+} + \frac{2e^{-}}{n=2} \longrightarrow Cu \text{ نیم واکنش کاهش})$$

$$F = 96500C$$

$$m = \frac{9000}{96500} \times \frac{63.5}{2} = 2.97g$$

چون بازده کاتد ۱۰۰ درصد می باشد، جرم محاسبه شده (جرم تئوری) برابر جرم واقعی پوشش می باشد.

حل: ب)

ضخامت متوسط لایه ی مس بر روی قطعات،  $x = cm$

$x \times \text{سطح پوشش مس} = \text{حجم لایه ی مس}$

$$\text{جرم} = \frac{\text{حجم لایه ی مس}}{\text{جرم ویژه ی مس}}$$

$$x \times \text{سطح پوشش مس} = \frac{\text{جرم}}{\text{جرم ویژه ی مس}}$$

$$1500 \times x = \frac{2.97}{8.93}$$

$$x = \frac{2.97}{8.93 \times 1500} = 0.00022cm = 0.0022mm = 2.2\mu m$$

( $\mu m = \text{میکرومتر یا میکرون}$ ، یک میکرون برابر  $10^{-6}$  متر است)

مسئله ۵-۲: در یک تانک آب کاری روی، کل مساحت پوشش ۱/۵ متر مربع و متوسط ضخامت پوشش ۲۵ میکرون است.

اگر شدت جریان در مدت ۱۵ دقیقه به طور متوسط ۱۰۰۰ آمپر باشد، بازده کاتد را به دست آورید. جرم اتمی روی ۶۵ و جرم ویژه آن ۷/۱۴ گرم بر سانتی متر مکعب است.

حل:

ضخامت پوشش  $\times$  مساحت پوشش = حجم پوشش

$$= 1/5 \times 10^{-4} (cm^2) \times 25 \times 10^{-4} (cm) = 37/5 cm^3$$

جرم ویژه ی پوشش  $\times$  حجم پوشش = جرم پوشش (واقعی)

$$= 37/5 (cm^3) \times 7/14 (\frac{g}{cm^3}) = 267/75 g$$

$$m = \frac{q}{F} \times \frac{M}{n} = \text{جرم پوشش (تئوری)}$$

$$\left. \begin{aligned} I &= 1000 \text{ A} \\ t &= 15 \times 60 = 900 \text{ s} \end{aligned} \right\} q = I \times t = 900,000 \text{ C}$$

$$\frac{m}{n} = \frac{65}{2} \text{ g } (\text{Zn}^{2+} + 2e^{-} \xrightarrow{n=2} \text{Zn})$$

$$m = \frac{900,000}{96500} \times \frac{65}{2} = 303/11 \text{ g}$$

$$\text{جرم پوشش بر حسب گرم (واقعی)} \times 100 = \frac{\text{جرم پوشش بر حسب گرم (تئوری)}}{\text{بازده کاند}}$$

$$= \frac{267/75}{303/11} \times 100 = 88\%$$

**پتانسیل کاهش:** یکی دیگر از عواملی که در فرآیندهای الکترولیز و از جمله آب کاری نقش دارد، پتانسیل کاهش فلزات مختلف است. پتانسیل کاهش یک فلز عبارت است از توانایی یون آن فلز در گرفتن الکترون و تبدیل شدن به اتم، طبق نیم واکنش کاهش زیر:



**پتانسیل کاهش بر حسب ولت E =**

هرچه پتانسیل کاهش یک فلز بیش تر باشد، بدان معنی است که یون آن فلز در گرفتن الکترون و انجام نیم واکنش کاهش و رسوب کردن در کاند موفق تر است. پتانسیل کاهش یک فلز تابع عوامل مختلف از جمله غلظت یون آن فلز در محلول و دمای محلول است. جدول ۵-۱ پتانسیل کاهش استاندارد ( $E^{\circ}$ ) را برای بعضی فلزات نشان می دهد. منظور از کلمه ی استاندارد آن است که دمای محلول  $25^{\circ}\text{C}$  و غلظت یون فلز در داخل محلول آبی برابر یک مولار (مول بر لیتر) است. به کمک این جدول می توان فهمید که در شرایط استاندارد کدام فلز پتانسیل کاهش بزرگ تری دارد و آسان تر در سطح کاند (قطعه کار) رسوب می کند. **مثال ۵-۱:** در یک عملیات آب کاری که در شرایط استاندارد انجام می شود (یعنی در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  و غلظت همه ی یون ها برابر یک مولار) یون های پتاسیم و نیکل هر دو در حمام آب کاری حضور دارند و به سمت کاند (قطعه کار) مهاجرت می کنند. سطح قطعه کار با کدام فلز پوشش داده خواهد شد؟ **جواب:** از جدول ۵-۱ داریم:



چون پتانسیل با به عبارتی توانایی کاهش نیکل، بیش تر از پتاسیم است، در رقابت برای گرفتن الکترون، نیکل پیروز است، یعنی سطح قطعه کار با نیکل پوشیده خواهد شد. با این وجود تجربه ی عملی نشان داده است که حضور یون های سدیم و پتاسیم در آب کاری نیکل اثر نامطلوب بر کیفیت پوشش می گذارد.

برای به دست آوردن پتانسیل کاهش یک یون فلزی در شرایط غیر استاندارد، یعنی در غلظت C و دمای T از رابطه ی نرنست<sup>۱</sup> استفاده می شود:

<sup>۱</sup> Nernst Equation

جدول ۵-۱- پتانسیل کاهش بعضی از فلزات مشهور

پتانسیل (V)	الکترو د	پتانسیل (V)	الکترو د
-۰/۲۷۷	$\text{Co} \rightleftharpoons \text{Co}^{++}$	-۳/۰۴۵	$\text{Li} \rightleftharpoons \text{Li}^+$
-۰/۲۵۰	$\text{Ni} \rightleftharpoons \text{Ni}^{++}$	-۲/۹۳	$\text{Rb} \rightleftharpoons \text{Rb}^+$
-۰/۱۳۶	$\text{Sn} \rightleftharpoons \text{Sn}^{++}$	-۲/۹۲۴	$\text{K} \rightleftharpoons \text{K}^+$
-۰/۱۲۶	$\text{Pb} \rightleftharpoons \text{Pb}^{++}$	-۲/۹۰	$\text{Ba} \rightleftharpoons \text{Ba}^{++}$
-۰/۰۴	$\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}$	-۲/۹۰	$\text{Sr} \rightleftharpoons \text{Sr}^{++}$
۰/۰۰۰۰	$\text{Pt} / \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{H}^+$	-۲/۸۷	$\text{Ca} \rightleftharpoons \text{Ca}^{++}$
+۰/۱۵	$\text{Sb} \rightleftharpoons \text{Sb}^{3+}$	-۲/۷۱۵	$\text{Na} \rightleftharpoons \text{Na}^+$
+۰/۲	$\text{Bi} \rightleftharpoons \text{Bi}^{3+}$	-۲/۳۷	$\text{Mg} \rightleftharpoons \text{Mg}^{++}$
+۰/۳	$\text{As} \rightleftharpoons \text{As}^{3+}$	-۱/۶۷	$\text{Al} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+}$
+۰/۳۴	$\text{Cu} \rightleftharpoons \text{Cu}^{++}$	-۱/۱۸	$\text{Mn} \rightleftharpoons \text{Mn}^{++}$
+۰/۴۰	$\text{Pt} / \text{OH} \rightleftharpoons \text{O}_2$	-۰/۷۶۲	$\text{Zn} \rightleftharpoons \text{Zn}^{++}$
+۰/۵۲	$\text{Cu} \rightleftharpoons \text{Cu}^+$	-۰/۷۴	$\text{Cr} \rightleftharpoons \text{Cr}^{3+}$
+۰/۷۸۹	$\text{Hg} \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{++}$	-۰/۵۶	$\text{Cr} \rightleftharpoons \text{Cr}^{++}$
+۰/۷۹۹	$\text{Ag} \rightleftharpoons \text{Ag}^+$	-۰/۴۴۱	$\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}^{++}$
+۰/۹۸۷	$\text{Pd} \rightleftharpoons \text{Pd}^{++}$	-۰/۴۰۲	$\text{Cd} \rightleftharpoons \text{Cd}^{++}$
+۱/۵۰	$\text{Au} \rightleftharpoons \text{Au}^{3+}$	-۰/۳۴	$\text{In} \rightleftharpoons \text{In}^{3+}$
+۱/۶۸	$\text{Au} \rightleftharpoons \text{Au}^+$	-۰/۳۳۶	$\text{Tl} \rightleftharpoons \text{Tl}^+$

$$E = E^\circ + \frac{RT}{nF} \ln C$$

پتانسیل کاهش فلز در دمای T و غلظت C

$E^\circ$  = پتانسیل کاهش استاندارد، پتانسیل کاهش فلز در دمای  $25^\circ\text{C}$  و غلظت یک مولار

C = غلظت یون فلز در محلول، برحسب مول بر لیتر

T = دمای محلول برحسب درجه‌ی کلون

$$R = 8.3143 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = \text{ثابت گازها}$$

F = ۹۶۵۰۰ = عدد فاراده

n = تغییر عدد اکسایش

اگر دمای حمام آب کاری دمای محیط ( $25^\circ\text{C}$ ) باشد، با جاگذاری مقادیر معلوم و تبدیل لگاریتم طبیعی به لگاریتم در پایه‌ی

۱۰ رابطه‌ی نرنست به شکل ساده‌ی زیر تبدیل می‌شود:

$$E = E^\circ + \frac{0.059}{n} \log C$$

مثال ۵-۲: پتانسیل کاهش مس در یک محلول ۰/۱ مولار و دمای  $25^\circ\text{C}$  چه قدر است؟

جواب: به کمک جدول ۵-۱ می‌توان دریافت که پتانسیل کاهش استاندارد مس برابر ۰/۳۴ ولت و تغییر عدد اکسایش مس

برابر ۲+ است. بنابراین با جاگذاری این اعداد در معادله‌ی ساده‌شده‌ی نرنست داریم:

$$E = 0/34 + \frac{0/59}{2} \log 0/1$$

$$E = 0/31V$$

### ۳-۵- قسمت‌های مختلف دستگاه آب‌کاری

یک دستگاه آب‌کاری صنعتی از چهار بخش اصلی تشکیل شده است :

- ۱- مدار خارجی که جریان مستقیم (DC) را تأمین می‌کند.
- ۲- الکتروود کاتد که همان قطعه‌ای است که باید آب‌کاری شود و به آن «قطعه کار» یا «کار» نیز می‌گویند.
- ۳- الکتروود آند که غالباً از جنس فلز پوشش‌دهنده است و با انحلال خود یون‌های مورد نیاز محلول را تأمین می‌کند. گاهی اوقات آند فقط نقش هدایت‌کننده‌ی الکتریسته به داخل محلول را دارد. در این حالت کافی است آند رسانا باشد و لازم نیست از جنس فلز پوشش‌دهنده ساخته شود.
- ۴- محلول آب‌کاری که غالباً محلولی است آبی<sup>۱</sup>، حاوی یون‌های فلز پوشش‌دهنده و اصطلاحاً به آن «حمام آب‌کاری»<sup>۲</sup> نیز می‌گویند.

۱-۳-۵- مدار خارجی: معمولاً انرژی الکتریکی که در اختیار کارگاه‌های آب‌کاری قرار می‌گیرد به شکل جریان متناوب (AC) با فرکانس ۶۰ Hz و ولتاژ ۲۲۰ V و شدت جریان ۱۵ A تا ۳۰ A می‌باشد. معمولاً نمی‌توان در آب‌کاری از چنین انرژی الکتریکی استفاده نمود و باید آن را به جریان مستقیم (DC) با ولتاژی به مراتب کم‌تر از ۲۲۰ V و شدت جریانی به مراتب بیش‌تر از ۳۰ آمپر تبدیل کرد.

برای تبدیل جریان متناوب به جریان مستقیم راه‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این راه‌ها استفاده از دستگاه موتور-ژنراتور است. در این مجموعه که «موتورهای مولد جریان الکتریسته» نیز نامیده می‌شوند، ابتدا جریان متناوب یک موتور را به کار می‌اندازد و این موتور یک ژنراتور را که تولید جریان مستقیم با ولتاژ کم‌تر و آمپر بیش‌تر می‌نماید، به حرکت درمی‌آورد. این دستگاه‌ها عمر طولانی دارند و تعمیر و نگهداری آن‌ها نیز ساده است اما کیفیت جریان مستقیمی که تولید می‌کنند پایین‌تر از رکتیفایرها<sup>۳</sup> است.

طرز کار رکتیفایرها به این شرح است که وقتی جریان متناوب به داخل آن‌ها وارد می‌شود، عبور جریان در یک جهت امکان‌پذیر است ولی در جهت مخالف با مقاومت زیادی روبه‌رو خواهد شد، بدین ترتیب جریان متناوب به جریان مستقیم تبدیل می‌شود. علاوه بر آن رکتیفایرها ولتاژ جریان را تا حد مورد نظر کاهش داده و آمپر آن را افزایش می‌دهند. این دستگاه‌ها باید دائماً خنک‌شده و از گرد و غبار محافظت شوند، ضمناً تعمیر و نگهداری آن‌ها نسبتاً مشکل و هزینه‌بر است.

معمولاً هزینه‌ی برق مصرفی در یک فرآیند آب‌کاری را بر مبنای انرژی الکتریکی مصرف شده برحسب کیلووات ساعت (KWh) محاسبه می‌کنند :

$$\text{انرژی الکتریکی (KWh)} = \frac{W \times t}{1000}$$

$$W = \left( \frac{\text{ژول}}{\text{ثانیه}} \right) \text{ توان بر حسب وات}$$



### زمان آب کاری بر حسب ساعت $t =$

ولتاژی که باید در دو سر یک تانک آب کاری اعمال شود باید از اختلاف پتانسیل میان دو نیم واکنش اکسایش و کاهش بیش تر باشد. اگر ولتاژ اعمال شده کم تر از این حد باشد آب کاری انجام نمی شود و اگر خیلی بیش تر از این حد باشد مقاومت محلول افزایش یافته سبب اتلاف انرژی می شود. از طرفی طبق قانون کولن  $q = I.t$  هر قدر شدت جریان بیش تر باشد، وزن فلز رسوب کرده در مدت زمان معین، بیش تر خواهد بود. به عبارت دیگر با افزایش شدت جریان، مدت زمان لازم برای دستیابی به ضخامت معینی از پوشش کوتاه تر خواهد بود. اما نکته ی مهم آن است که سرعت دشارژ شدن یون های مثبت و رسوب کردن بر سطح قطعه کار از حد معینی نمی تواند بیش تر شود، بنابراین افزایش شدت جریان نیز دارای محدودیت است. شدت جریانی که با آن سرعت رسوب کردن یون های فلزی به حداکثر می رسد، «شدت جریان حد<sup>۱</sup>» نام دارد. هنگامی که دستگاه آب کاری با شدت جریان حد یا بیش تر از آن کار می کند، رسوب مرغوب به دست نمی آید و پوشش ایجاد شده پودری شکل یا اسفنجی شکل و تیره رنگ خواهد بود که در اصطلاح می گویند پوشش سوخته است. مقدار جریان حد به شرایط حمام و غلظت یون فلز پوشش دهنده بستگی دارد. معمولاً در عملیات آب کاری به جای شدت جریان (I، آمپر) از دانسیته ی جریان ( $\frac{I}{S}$ ، آمپر بر واحد سطح) نام می برند. دانسیته ی جریان در انواع آب کاری ها معمولاً از محدوده ی ۱ تا ۱۰۰ آمپر بر فوت مربع می باشد.

**۲-۳-۵- قطعه کار (کاتد):** قبل از آغاز عملیات آب کاری، غالباً عملیات «آماده سازی» بر روی سطح قطعه انجام می شود. منظور از انجام این عملیات پاک کردن سطح قطعه از گریس، چربی ها، گرد و غبار و پوسته های اکسید است. پاک بودن سطح قطعه کار نقش مهمی در چسبندگی و کیفیت پوشش دارد.

در مواردی که شیء مورد نظریک غیرهادی باشد، لازم است قبل از اجرای عملیات آب کاری سطح آن با یک لایه ی رسانای الکتریسته پوشیده شود. روش های مختلفی برای ایجاد این پوشش اولیه وجود دارد. «ذوب کردن پودر فلز در سطح جسم»، «غوطه ور کردن قطعه در فلز مذاب» و «انجام واکنش شیمیایی در سطح قطعه به منظور رسوب دادن فلز» از جمله مهم ترین روش های ایجاد پوشش رسانا در سطح نافلزات است. با استفاده از این روش ها می توان سطح بسیاری از قطعات شیشه ای، چوبی، سرامیکی و پلاستیکی را با فلز مورد نظر پوشاند.

یکی از عواملی که در کیفیت پوشش تأثیر دارد، آزاد شدن گاز هیدروژن در کاتد است. در محلول های آبی یون های  $H^+$  همواره حضور دارند. اگر این یون ها بتوانند هم زمان با یون های فلز پوشش دهنده الکترون گرفته و به صورت گاز هیدروژن آزاد شوند، پوشش به دست آمده در سطح قطعه حفره دار و متخلخل شده و کیفیت مطلوب را نخواهد داشت. این حفره ها به آن دلیل پدید می آید که حباب های هیدروژن به سختی از سطح قطعه جدا می شوند و در نتیجه در نقاطی که حضور دارند، اجازه نمی دهند فلز رسوب کند. ضمناً چون در این حالت بخشی از جریان الکتریسته صرف کاهش یون های  $H^+$  می شود، بازده کاتد صد درصد نخواهد بود. در آب کاری مس این مشکل وجود ندارد و بازده کاتد نیز صد درصد است.

فرض کنید عملیات آب کاری مس در دمای  $25^{\circ}C$  انجام می شود درحالی که غلظت یون های مس در محلول، یک مولار و pH محلول نیز برابر ۴ است. در این حالت داریم :



$$E_H = 0 + \frac{0.059}{1} \log 10^{-4} = -0.24V \quad \text{(از معادله ی نرنست):}$$

بدین ترتیب در رقابت برای گرفتن الکترون، برنده‌ی مطلق مس است و یون‌های  $H^+$  فرصت گرفتن الکترون و تبدیل شدن به H و سپس  $H_2$  را ندارند.

اما در آب‌کاری نیکل، مشکل آزادشدن گاز هیدروژن وجود دارد و بازده کاتد  $100^\circ$  درصد نیست. فرض کنید عملیات آب‌کاری نیکل در دمای  $25^\circ C$  انجام می‌شود و غلظت یون‌های نیکل در محلول یک مولار و pH محلول نیز برابر ۴ باشد. در این حالت داریم:

$$Ni^{2+} + 2e^- \longrightarrow Ni \quad E^\circ = -0.25V \quad \text{(از جدول ۵-۱)}$$

$$E_H = 0 + \frac{0.059}{1} \log 10^{-4} = -0.24V \quad \text{(از معادله‌ی نرنست):}$$

این اعداد، که بسیار به هم نزدیک‌اند، نشان می‌دهد که در رقابت برای گرفتن الکترون پیروز مطلق وجود ندارد و هم هیدروژن و هم نیکل می‌توانند الکترون بگیرند. به همین دلیل است که بازده کاتد در آب‌کاری نیکل به حدود  $79^\circ$  درصد تقلیل می‌یابد. در آب‌کاری نیکل برای جلوگیری از حفره‌دارشدن پوشش موادی به محلول آب‌کاری اضافه می‌کنند. این مواد که مرطوب‌کننده<sup>۱</sup> نامیده می‌شوند، ارتباط مولکول‌های هیدروژن با سطح قطعه را از بین برده و جداشدن آن‌ها را از سطح کاتد سرعت می‌بخشند. در صنعت به این مواد کفی (به معنی کف‌کننده) گفته می‌شود. زیرا با دمیدن هوا در داخل حمام یا حرکت یک همزن، این مواد به صورت کف و حباب در اطراف کاتد (قطعه کار) حرکت کرده جداشدن هیدروژن از سطح را تسریع می‌بخشند.

به‌طور کلی در کاتد واکنشی انجام می‌شود که پتانسیل کاهش بزرگ‌تری دارد. اگر اختلاف پتانسیل اعمال شده به حمام آن قدر بود که در محدوده‌ی پتانسیل کاهش دو یا چند یون باشد آن دو یا چند یون همزمان در کاتد دشارژ شوند.

**سؤال:** چرا نمی‌توان به کمک آب‌کاری، یک لایه از فلز آلومینیم را از محلول آبی بر سطح یک قطعه نشانده (با مراجعه به جدول ۵-۱ پاسخ صحیح را بیان کنید)

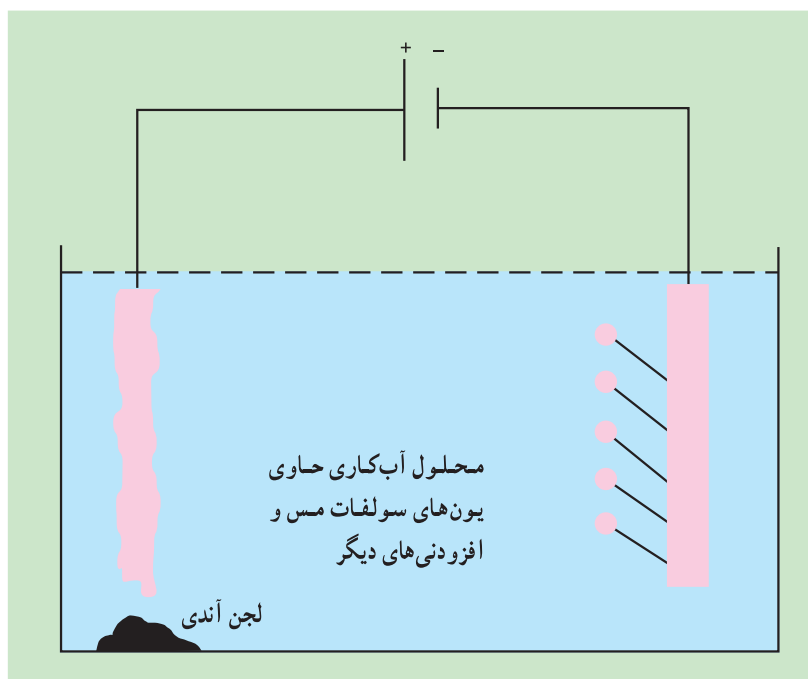
به هنگام آب‌کاری قطعات کوچک نظیر پیچ و مهره، آن‌ها را در داخل یک محفظه‌ی مشبک دوار ریخته تا بر اثر دوران، پوشش ایجاد شده بر روی قطعات یک‌نواخت باشد. به این گونه حمام‌ها، حمام‌های دوار می‌گویند. اگر کاتد قطعات بزرگ مثل جلو پنجره یا سپر خودرو باشد، قطعات در محل ثابت در داخل حمام آویزان می‌شوند. در مورد قطعات نسبتاً بزرگ، میله‌ی کاتد (شکل ۵-۲) به کمک یک موتور و گریکس حرکت رفت و برگشتی آرامی داشته تا بدین ترتیب تمام سطح قطعه به یکسان پوشش داده شود.

**۳-۵-۳- آند:** آند در آب‌کاری دو نقش اساسی دارد:

- ۱- تکمیل مدار الکتریکی و هدایت الکتریسته به داخل محلول آب‌کاری.
  - ۲- تأمین یون‌های فلز پوشش‌دهنده. در اغلب فرآیندهای آب‌کاری، یون‌های فلزی که در کاتد رسوب می‌کند با انحلال آند (که از همان جنس فلز پوشش‌دهنده است) تأمین می‌شود. با توجه به شکل ۵-۳ که نیم‌واکنش‌های اُکسایش (انحلال آند) و کاهش (رسوب کردن) در آب‌کاری مس را نشان می‌دهد، می‌توان انحلال آند را مشاهده نمود.
- بنابراین می‌توان آن‌ها را به دو دسته تقسیم کرد: آند حل‌شونده یا فعال<sup>۲</sup> و آند خنثی<sup>۳</sup>. در آب‌کاری‌ها بیش‌تر از آند فعال

استفاده می‌شود. هریک از این دو نوع آند مزایا و معایبی به شرح زیر دارند :

– آند فعال یون‌های مورد نیاز محلول آب‌کاری را تأمین می‌کند ولی هنگام استفاده از آند غیرفعال باید غلظت یون‌ها با استفاده از دستگاه‌های خودکار کنترل شده و به صورت مستمر محلول آب‌کاری به تانک اضافه شود.



شکل ۳-۵- نیم واکنش‌های اکسایش و کاهش در آب‌کاری مس

بدیهی است به هنگام استفاده از آند غیرفعال، کنترل غلظت یون‌ها با استفاده از دستگاه‌های خودکار و اضافه کردن مستمر محلول آب‌کاری به تانک، که کاری است دشوار و پرهزینه، اجتناب‌ناپذیر است.

– آند خنثی مصرف نمی‌شود و لزوماً نیاز به تعویض ندارد. آند فعال به تدریج حل شده ناخالصی‌های همراه آن به صورت لجن وارد محلول می‌شود و آن را آلوده می‌کند. در صورتی که این مشکل در خصوص آند خنثی وجود ندارد.

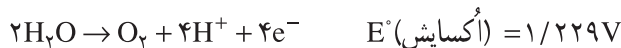
– همچنین احتمال دارد لایه‌های نازک نامحلول نظیر اکسید با دیگر نمک‌های فلزی که حتی به چشم دیده نمی‌شوند سطح آند فعال را پوشانده آن را غیرفعال نمایند.

آند به شکل‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. «آند یک پارچه» منظور آندی است که به صورت یک قطعه‌ای کامل به شکل میله در تانک آب‌کاری قرار می‌گیرد. (شکل ۲-۵- ب). همچنین آند می‌تواند به شکل «قطعات کوچک» مورد استفاده قرارگیرد. در این حالت قطعات آند را که به شکل گلوله یا پرک یا به اشکال نامنظم می‌باشد در داخل سبدهای متخلخل می‌ریزند. میله‌ای که در داخل این قطعات و در وسط سبد قرار می‌گیرد اتصال به قطب مثبت را امکان‌پذیر می‌سازد. سبد از جنس عایق است یا پوشش عایق دارد.

واکنش‌های آندی بر مبنای پتانسیل کاهش انجام می‌شوند. هر چه پتانسیل کاهش یک یون یا مولکول کوچک‌تر باشد، بدان معنی است که پتانسیل اکسایش آن بزرگ‌تر است. در آب‌کاری با آند فعال، واکنش اصلی همان انحلال آند است یعنی:



واکنش‌های جانبی نیز ممکن است در آند انجام شود برای مثال اکسایش آب در آند گاز اکسیژن آزاد می‌کند که احتمال دارد بر کیفیت آب‌کاری اثر گذارد.



**۴-۳-۵- حمام آب‌کاری:** محلول آب‌کاری محلولی است که از اجزای مختلف تشکیل شده است. هر کدام از اجزای سازنده‌ی حمام آب‌کاری خاصیت یا خواص معینی را در آن ایجاد می‌کنند. مواد سازنده‌ی یک حمام آب‌کاری باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

(الف) یون‌های فلز پوشش‌دهنده را در خود داشته باشد.

(ب) موادی داشته باشد که با یون‌های فلز پوشش‌دهنده تشکیل کمپلکس دهد.

به تجربه ثابت شده است که یون‌های فلز پوشش‌دهنده اغلب در شرایطی که تشکیل کمپلکس می‌دهند، پوشش بهتری ایجاد می‌کنند. البته تشکیل کمپلکس همواره مورد نیاز نیست. برای مثال یون سیانید ( $CN^{-}$ ) به شکل سدیم سیانید یا پتاسیم سیانید یکی از مهم‌ترین عوامل کمپلکس‌ساز است. این یون کمپلکس‌های نسبتاً پایداری با مس، نقره، طلا، پلاتین، آهن، نیکل، کبالت و روی می‌سازد. ماده‌ی دیگری که توانایی تشکیل کمپلکس را دارد و در حمام‌های آب‌کاری به کار می‌رود اتیلن دی‌آمین تترا استات (EDTA) می‌باشد. چون یون سیانید سمی است و باعث آلودگی محیط زیست می‌شود اغلب استفاده از EDTA ترجیح داده می‌شود.

(پ) محلول آب‌کاری باید هدایت الکتریکی کافی داشته باشد. معمولاً محلول‌هایی که حاوی یون‌های فلز پوشش‌دهنده هستند، هدایت الکتریکی کافی دارند. در غیر این صورت باید نمک‌هایی با هدایت الکتریکی بالا به آن‌ها اضافه نمود.

(ت) محلول آب‌کاری باید پایدار باشد. برای مثال اغلب فلزات نمک‌هایی دارند که در واکنش هیدرولیز شرکت نموده و رسوب تولید می‌کنند. همان‌طور که می‌دانید هیدرولیز واکنش یک نمک با آب است که محلولی با خاصیت اسیدی یا بازی تولید می‌کند:



برای جلوگیری از انجام چنین واکنش‌هایی، به محلول آب‌کاری مواد پایدارکننده اضافه می‌کنند.

(ث) pH محلول آب‌کاری باید ثابت باشد. حمام‌های آب‌کاری می‌توانند اسیدی، قلیایی یا خنثی (pH بین ۵ تا ۸) باشند. کنترل pH در حمام‌های آب‌کاری در کیفیت پوشش تأثیر دارد. به همین دلیل استفاده از محلول‌های بافر در حمام‌های آب‌کاری متداول است.

(ج) موادی داشته باشد که شکل فیزیکی پوشش را اصلاح کند. با عبور جریان مستقیم از داخل محلول، یون‌های فلز پوشش‌دهنده بر روی کاتد می‌نشینند. در حالت عادی کیفیت رسوب نامطلوب است، یعنی نه تنها ناصاف است و پستی و بلندی‌های زیادی دارد بلکه چسبندگی مطلوب را نیز ندارد. به منظور اصلاح شکل و خواص فیزیکی پوشش، از افزودنی‌های مختلف در حمام آب‌کاری استفاده می‌شود. برای مثال مواد سطح‌دهنده<sup>۱</sup>، ناصافی‌های پوشش را از بین می‌برد و مواد براق‌کننده<sup>۲</sup> (که در صنعت به آن‌ها براقی گویند)، جلای پوشش را افزایش می‌دهند و مواد مرطوب‌کننده (که در صنعت به آن‌ها کفی می‌گویند) از حفره‌دار شدن

پوشش جلوگیری می‌کند و مواد نرم‌کننده شکنندگی پوشش را کاهش داده آن را انعطاف‌پذیر می‌نماید. (ج) موادی داشته باشند که به انحلال آند کمک نماید. در شرایطی که آند فعال است انتظار می‌رود که بتواند یون‌های مصرف شده در کاتد را جایگزین نموده و ترکیب حمام را ثابت نگه‌دارد. در مورد بعضی از فلزات همان‌طوری که قبلاً اشاره شد احتمال دارد لایه‌های نازک نامحلول نظیر اکسید سطح فلز را بپوشاند و باعث غیرفعال<sup>۱</sup> شدن آن شود. در این نوع حمام‌ها موادی اضافه می‌کنند تا از وقوع چنین مشکلی جلوگیری به عمل آید. در آب‌کاری نیکل، یون‌های کلر چنین نقشی را ایفا می‌کنند. خلاصه: یکی از مهم‌ترین نکات در اجرای یک آب‌کاری موفق استفاده از محلول آب‌کاری مناسب است. محلول آب‌کاری مناسب آن است که افزودنی‌های مختلف با غلظت مناسب داشته باشد. برای مثال حمام آب‌کاری نیکل نیاز به «براقی نیکل» دارد ولی حمام آب‌کاری کروم نیازمند این نوع افزودنی نیست، زیرا کروم جلا و درخشندگی لازم را دارد.

#### ۴-۵- پلاریزاسیون<sup>۲</sup>

در انتقال الکتریسیته در داخل یک پیل شیمیایی، اختلاف پتانسیل بین دو الکترود قابل محاسبه است (به کتاب شیمی تجزیه مراجعه شود). موقعی که یک پیل شیمیایی در حال کار است و شدت جریانی از آن عبور می‌کند اختلاف پتانسیل بین دو الکترود از مقدار محاسبه شده کم‌تر است. این اختلاف بین دو مقدار محاسبه شده و اندازه‌گیری شده را پلاریزاسیون می‌نامند. پلاریزاسیون همیشه باعث اتلاف انرژی حاصل از پیل می‌گردد. پلاریزاسیون به سه صورت مقاومتی<sup>۳</sup>، غلظتی<sup>۴</sup> و فعالیتی<sup>۵</sup> ایجاد می‌شود.

پلاریزاسیون مقاومتی: در اثر عبور جریان از پیل شیمیایی مقداری از انرژی به حرارت تبدیل می‌شود ( $Q = RI^2T$ ) که باعث کاهش بازدهی پیل می‌گردد.

در مورد پیل الکترولیز (آب‌کاری) چون مقاومت مدار الکتریکی زیاد نیست این نوع پلاریزاسیون قابل ملاحظه نیست. پلاریزاسیون غلظتی: هنگامی به وجود می‌آید که غلظت یون فلز پوشش‌دهنده در اطراف الکترودها، با غلظت این یون در داخل محلول الکترولیت تفاوت داشته باشد. به هنگام عمل آب‌کاری، اگر سرعت انحلال آند (سرعت انجام نیم‌واکنش اکسایش) و یا سرعت نشست فلز در کاتد (سرعت انجام نیم‌واکنش کاهش) بیش‌تر از سرعت مهاجرت یون‌ها در داخل محلول باشد، همواره در اطراف آند با انبوهی از یون‌های مثبت فلزی روبه‌رو بوده و واکنش اکسایش یا به عبارت بهتر واکنش رفت در تعادل زیر به‌دشواری انجام می‌شود:



در اطراف کاتد نیز کمبود یون‌های فلز پوشش‌دهنده وجود خواهد داشت و واکنش کاهش (واکنش برگشت در تعادل فوق) به سختی انجام می‌شود. بدین ترتیب عملیات آب‌کاری کند شده و بازدهی کاهش می‌یابد. شکل ۴-۵ نحوه پدید آمدن پلاریزاسیون غلظتی در آب‌کاری مس را نشان می‌دهد. برای از بین بردن پلاریزاسیون غلظتی یا به حداقل رساندن آن بهترین راه هم‌زدن حمام آب‌کاری است به گونه‌ای که غلظت یون‌ها در تمامی نقاط مایع یکسان شود.

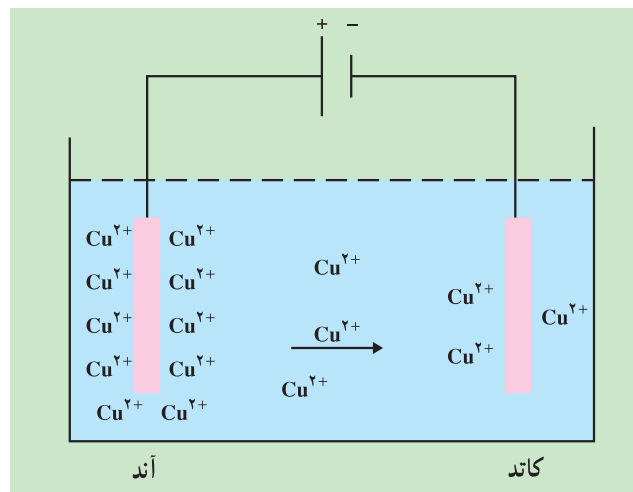
۱- Passive

۲- Polarization

۳- Resistance polarization

۴- Concentration polarization

۵- Activation polarization



شکل ۴-۵- نحوه‌ی پدید آمدن پلاریزاسیون غلظتی در آب‌کاری مس؛ کندترین مرحله مهاجرت یون‌های  $\text{Cu}^{2+}$  از سطح آند به سطح کاتد است.

**پلاریزاسیون فعالیتی:** برای انجام هر واکنش شیمیایی و یا الکتروشیمیایی، مواد اولیه‌ی واکنش باید دارای حداقل انرژی باشند. این حداقل انرژی به انرژی فعال‌سازی واکنش موسوم است (به فصل دوم همین کتاب یا به شیمی عمومی مراجعه کنید). بنابراین بخشی از انرژی الکتریکی لازم برای آب‌کاری باید صرف فعال ساختن اتم‌های فلز در آند و یون‌های فلز در کاتد گردد. پس تمام انرژی الکتریکی نمی‌تواند به مصرف نشست فلز در کاتد برسد (به این نوع پلاریزاسیون اور ولتاژ<sup>۱</sup> نیز می‌گویند). ازدیاد درجه حرارت حمام (در صورت امکان) و افزودن مواد فعال‌کننده آند به محلول آب‌کاری (نظیر یون‌های کلر در آب‌کاری نیکل) باعث کاهش این پدیده می‌شود.

## ۵-۵- آماده‌سازی سطح قطعه

قبل از انجام آب‌کاری لازم است ابتدا سطح قطعه آماده شود. عملیات آماده‌سازی به همان اندازه‌ی عملیات آب‌کاری اهمیت دارد. اگر سطح قطعه آماده‌ی آب‌کاری نشده باشد، پوشش به وجود آمده، از نظر خواص فیزیکی و به خصوص چسبندگی، کیفیت مطلوب را نخواهد داشت. توصیه می‌شود در تمیز کردن سطوح قبل از آب‌کاری، دقت و زمان کافی صرف شود. هزینه‌هایی که در این خصوص صرف می‌شود به هیچ عنوان بیهوده نیست، زیرا اگر سطح به اندازه‌ی کافی تمیز نباشد، پوشش نهایی نامطلوب بوده و باید چندین برابر، زمان و هزینه صرف نمود تا این پوشش خراب را برداشته قطعه را مجدداً آماده‌ی آب‌کاری نمود. مراحل آماده‌سازی یک قطعه به شرح زیر است:

(الف) تمیز کردن به روش‌های مکانیکی، نظیر استفاده از سنباده، برس‌های سیمی و دستگاه‌های تمیزکاری دوآر که برای زدودن لایه‌های سنگین زنگ و آلودگی‌های سطح قطعه به کار می‌رود.

(ب) چربی‌گیری<sup>۲</sup> به کمک حلال‌های آلی، محلول‌های قلیایی و پاک‌کننده‌های غیر صابونی (دترجنت‌ها) به منظور زدودن روغن‌ها، چربی‌ها و گرد و غبار آمیخته با آن‌ها.

(پ) زنگ‌بری و پوسته‌زدایی که به کمک اسیدشویی<sup>۳</sup> انجام می‌شود، می‌تواند بعد از شست‌وشو با قلیاها به کار رود. اگر

<sup>۱</sup> Over Voltage

<sup>۲</sup> Degreasing

<sup>۳</sup> Acid Pickling

احتمال وجود چربی‌ها در زیر لایه‌های اکسید وجود داشته باشد، ابتدا عمل اسیدشویی و سپس عمل چربی‌گیری انجام می‌شود. در این حالت بعد از چربی‌گیری عمل اچ کردن (رجوع شود به بند ت همین قسمت) انجام خواهد شد. بعضی از مهم‌ترین اسیدها که در این خصوص کاربرد دارند عبارت‌اند از سولفوریک اسید، هیدروکلریک اسید، نیتریک اسید، فسفریک اسید، هیدروفلوئوریک اسید و کرومیک اسید. باید توجه داشت که استفاده از این اسیدها بدون بازدارنده‌ی خوردگی مناسب، سبب خوردگی شدید قطعه و حتی تغییر شکل آن می‌شود.

ت) اچ کردن<sup>۱</sup> آخرین مرحله‌ی آماده‌سازی قطعه قبل از آب‌کاری است. در این روش قطعه‌ی تمیز را به مدت چند ثانیه در داخل محلول یک اسید (معمولاً سولفوریک اسید به غلظت حدود ۵ تا ۱۰ درصد وزنی) قرار می‌دهند. بدین ترتیب سطح قطعه فعال‌شده آماده‌ی آب‌کاری می‌شود. اچ کردن سبب می‌شود که ذرات اکسید فلز که احتمالاً در مرحله‌ی چربی‌گیری پدید آمده است در اسید حل شود. بدین ترتیب چسبندگی پوشش بر سطح قطعه افزایش می‌یابد. در پایان باید تأکید کرد که به‌هنگام آماده‌سازی سطح قطعه، بعد از هر مرحله از عملیات مکانیکی یا شیمیایی، سطح قطعه باید با آب شست‌وشو داده شود. این آب‌کشی سبب می‌شود تا ذرات جامد یا محلول‌ها و مواد پاک‌کننده از سطح قطعه جدا گردند.

### تمرین



- ۱- هدف از انجام عملیات آب‌کاری چیست؟ ۵ مورد را با ذکر مثال برای هر کدام بنویسید.
- ۲- چهار قسمت یک دستگاه آب‌کاری را فقط نام ببرید.
- ۳- در آب‌کاری، آند دو نقش می‌تواند داشته باشد. آن دو را شرح دهید.
- ۴- سه روش را که به کمک آن‌ها می‌توان سطح قطعات نافلز را با یک لایه‌ی رسانا پوشش داد فقط نام ببرید.
- ۵- جریان حد را تعریف کنید و بگویید اگر در یک عملیات آب‌کاری شدت جریان اعمال شده برابر یا بیش‌تر از جریان حد باشد، کیفیت پوشش به دست آمده چگونه خواهد بود.
- ۶- اجزای تشکیل‌دهنده‌ی یک حمام آب‌کاری را فقط نام ببرید.
- ۷- پلاریزاسیون و انواع آن را به طور کامل شرح دهید.
- ۸- انواع عملیات آماده‌سازی سطح را فقط نام ببرید.
- ۹- علت انجام عملیات اسیدشویی را بنویسید.
- ۱۰- نقش یون‌های کلر در آب‌کاری نیکل را بنویسید.
- ۱۱- در آب‌کاری مس جریان ۱۵A از داخل محلول سولفات مس عبور می‌کند و مس بر روی قطعه کارها که مساحت مجموع آن‌ها  $100\text{ cm}^2$  است می‌نشیند. اگر بازده کاتده صد درصد باشد، چه مدت باید عملیات آب‌کاری را ادامه دهیم تا ضخامت پوشش مسی  $5\text{ }\mu\text{m}$  شود؟ جرم اتمی مس  $63/5$  و جرم ویژه‌ی آن  $\frac{8}{93}\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  است.

جواب : ۱۵ دقیقه



۱۲- هر یک از کلمات زیر را توضیح دهید.

(الف) کفی (ب) براقی (پ) نرم کن (ت) اِچ کردن

۱۳- از یک محلول نیترات نقره ( $\text{AgNO}_3$ ) جریان  $0.5\text{A}$  به مدت  $30^\circ$  دقیقه عبور می‌کند. در صورتی که بازده کاتد صددرصد باشد، چند گرم نقره در کاتد رسوب می‌کند؟ جرم اتمی نقره  $108$  است.

۱۴- در یک آبکاری، قطعه‌ای به مساحت یک متر مربع توسط روی ( $\text{Zn}$ ) پوشش داده شده است. اگر ضخامت متوسط پوشش  $2^\circ$  میکرون<sup>۱</sup> باشد، چند گرم فلز بر روی سطح قطعه نشست است؟ جرم ویژه روی  $\gamma \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  می‌باشد.

۱۵- در یک تانک آبکاری روی شدت جریان  $15\text{A}$  به مدت  $10^\circ$  دقیقه از محلول آبکاری عبور داده می‌شود. اگر بازده کاتد  $87\%$  درصد باشد تعیین کنید :

(الف) چند گرم روی در سطح قطعه رسوب می‌کند؟

(ب) اگر سطح قطعه  $1500\text{ cm}^2$  باشد، ضخامت پوشش چقدر است؟ جرم اتمی روی  $65$  و جرم ویژه آن  $\gamma \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  می‌باشد.

۱۶- پتانسیل کاهش کروم در محلول  $0.01\%$  مولار حاوی یون‌های  $\text{Cr}^{3+}$  در دمای  $25^\circ\text{C}$  چند ولت است؟

۱۷- کدامیک از حالت‌های زیر در آبکاری یک قطعه توسط کبالت ( $\text{Co}$ ) در دمای  $25^\circ\text{C}$  مناسب‌تر است؟ در هر مورد با محاسبه‌ی پتانسیل کاهش کبالت و هیدروژن و محاسبه‌ی اختلاف این دو عدد، سه حالت زیر را مقایسه کنید.

(الف) غلظت یون کبالت  $= 0.01\%$  مولار،  $\text{pH} = 2$

(ب) غلظت یون کبالت  $= 0.01\%$  مولار،  $\text{pH} = 7$

(ج) غلظت یون کبالت  $= 0.1\%$  مولار،  $\text{pH} = 7$

۱- یک میکرون برابر  $10^{-6}$  متر می‌باشد.