

« بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ »

الکترونیکی صفحہ

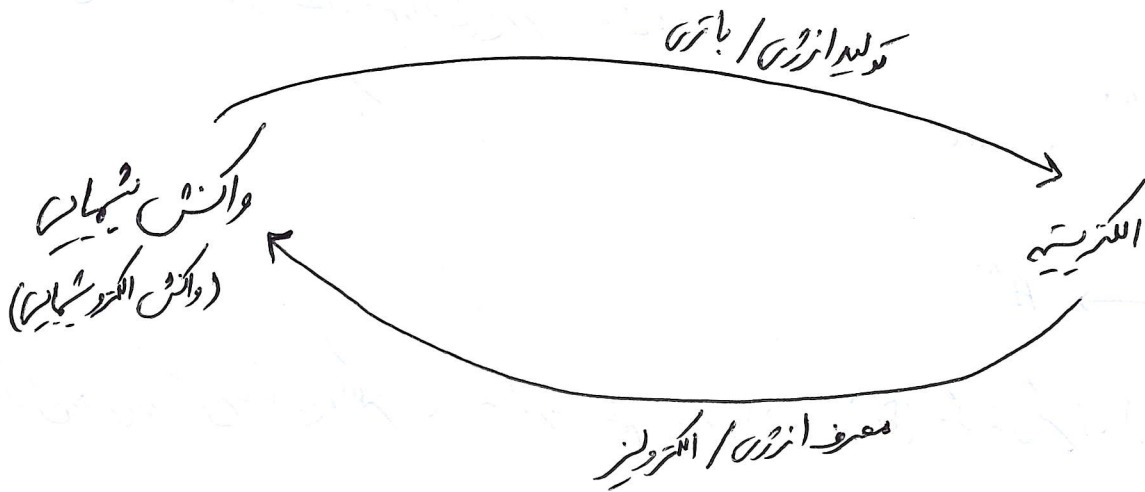
دکتر علی الممانی



فصل اول: مقدمه‌ای بر الکتروشیمی

۱. مقدمه

الکتروشیمی علم است که بین علوم الکتریسته و شیمی ارتباط برقرار می‌کند. انرژی برق از واکنش‌های شیمیایی از جمله یون‌ها را می‌توان به نیروی الکتروموتوری تبدیل کرد، همچنین می‌توان با به کار بردن نیروی الکتروموتوری در محلول محلول یون‌ها یا نمک‌های مذاب، واکنش‌های شیمیایی انجام داد.



2. استوکیومتری واکنش‌های الکتروشیمیایی

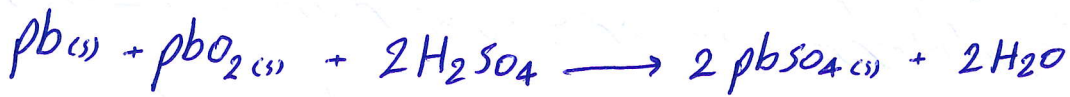
یک واکنش الکتروشیمیایی ماده الکترولیت محلول سولفات مس (II) را در نظر بگیرید:



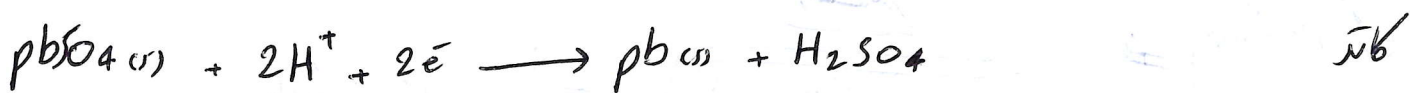
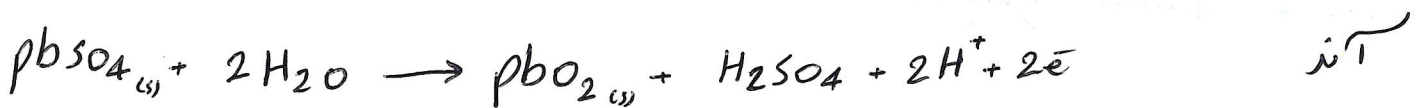
واکنش فوق که یک واکنش اکسایش-کاهش (ردوکس redox) می‌باشد را می‌توان به صورت دو نیم واکنش

اکسایش و کاهش هم نوشت. در واقع اکسایش یعنی از دست دادن الکترون و واکنش اکسایش در آنجا انجام می‌شود و کاهش یعنی گرفتن الکترون و واکنش کاهش در آنجا صورت می‌گیرد.

طبق قوانین ترمودینامیک، در یک واکنش خود بخود تغییرات انرژی آزاد گیبس منفی است (ΔG < 0). اگر چنین اتفاقی در یک سلول الکتروشیمیایی پیش آید، با معرف انرژی شیمیایی، انرژی الکتریکی تولید می شود مانند باتری ها و سلول های سوختی. به سلولی که چنین واکنش در آن صورت گیرد سلول گالوانیک یا ولتایی گفته می شود. باتری ها سری، یعنی متصّل از یک سلول گالوانیک هستند، واکنش کلی در یک باتری سری به صورت زیر است:



اگر در یک سلول الکتروشیمیایی تغییرات انرژی آزاد گیبس مثبت باشد (ΔG > 0) بدین معنایست که واکنش به صورت غیر خود بخود می باشد و برای انجام این واکنش ها در یک سلول الکتروشیمیایی نیاز به پمپ الکتریکی از یک منبع خارجی تأمین می شود. به این گونه سلول ها که در آن ها توسط جریان الکتریکی یک واکنش الکتروشیمیایی صورت می گیرد سلول های الکترولیز گفته می شود مانند شارژ کردن مجدد باتری ها سری:



باید دقت داشت که قطبیت (polarity) سلول ها، گالوانیک و سلول های الکترولیتی متفاوت است. در یک سلول گالوانیک، کاتد قطب مثبت و آنود قطب منفی را تشکیل می دهد در حالی که در سلول های الکترولیتی کاتد قطب منفی و آنود قطب مثبت است.

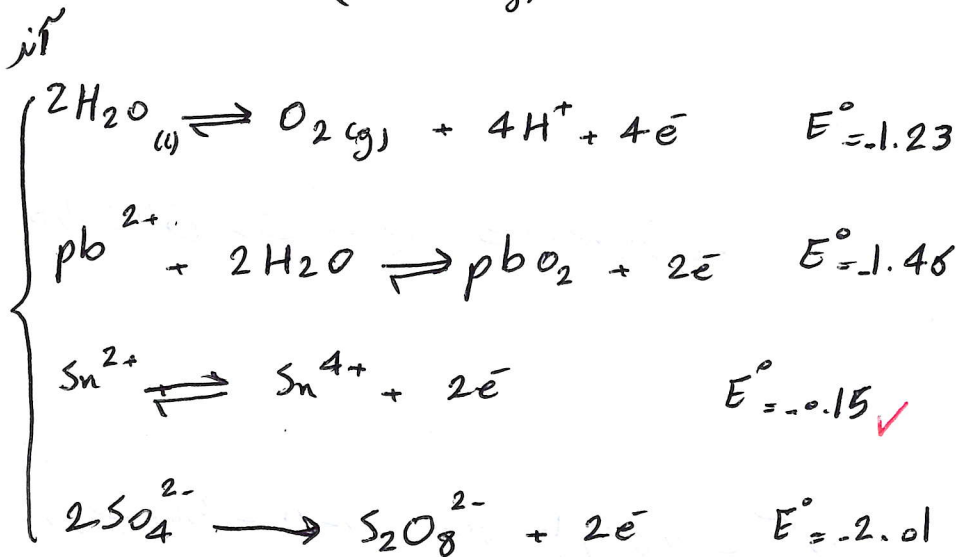
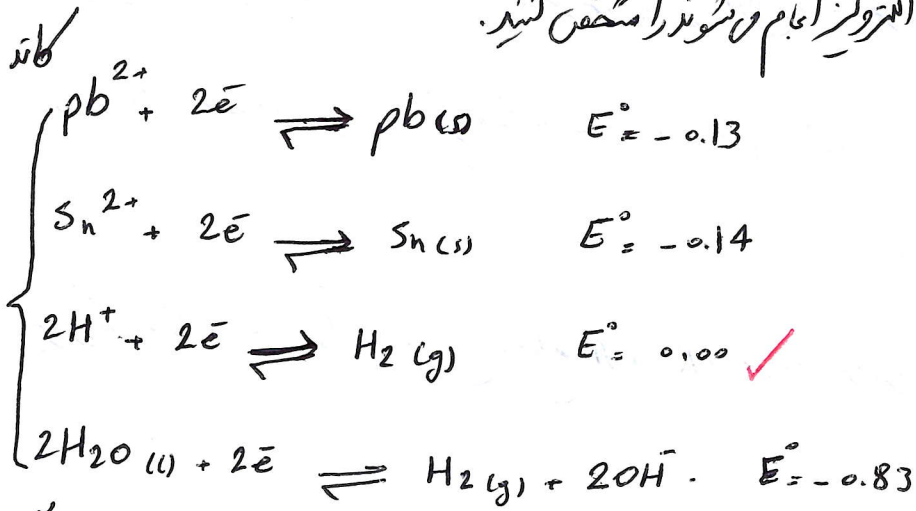
اصول الکترولیز

زمانی که یک جریان الکتریکی از یک محلول الکترولیت می گذرد، واکنش های شیمیایی هم در سطح آند و هم در سطح کاتد رخ می دهند. استوکیومتری این واکنش ها از قوانین فارادی تبعیت می کند. زمانی که چندین واکنش مختلف در سطح الکترود یک سلول الکترولیتی

اگر مقدار E_{cell} مثبت باشد واکنش در جهت یارنده انجام پذیرد و به صورت خود بخود انجام می شود در حال
که اگر E_{cell} منفی باشد در آن جهت انجام پذیر نیست و در جهت عکس آن خود بخود انجام می شود

* یک محلول آب شامل $PbSO_4$ ، $SnSO_4$ و H_2SO_4 است، اگر غلظت یون های Pb^{2+} ، Sn^{2+} و H^+

هر کدام یک مولار باشد، واکنش های که به هنگام الکترولیز انجام می شود را مشخص کنید.



واکنش ها به صورت کاهش می باشد زیرا
شوند. ←
وقت واکنش کاهش باشد علامت E° ها
عوض می شود یعنی مثبت می شود.

در کاتد، یون های پر یوتن احیاء می شوند زیرا E° آن ها از همه پیرایه های راست تر احیاء می شود و در آن
یون طبع (III) (Sn^{2+}) اکسید می شود زیرا در آنده E° پیرایه بدین معادله که گونه مورد نظر راست تر اکسید می شود، پیرایه



$$E_{cell} = E_c - E_a = 0.00 - 0.15 = -0.15$$

هدایت الکر وال

مراتب و غیر

عقلمت بر حسب ان وادان

من شود. بطرح این الکترودها معمولاَ از پلاستین سیاه پوشیده شده و دارای فاصله ای ثابت از یکدیگر می باشند، به طوری که بین

معنا نمند در سلول های هالیت و شیب $\frac{L}{A}$ به نام ثابت سلول نامیده می شود و با θ نشان داده می شود.
(cell constant)

باجائز کر دین مقدار کا (رابطہ 3) در معادہں بالا (رابطہ 5) میں توان نوشت:

$$\Lambda = \frac{1000}{N} \text{ C } \left(\frac{L}{A} \right) = \frac{1000}{N} \text{ C } \theta$$

در آفرینشگاه برای تعیین نامیت مسلسل، ابتدا آن را در جدول هائی استاندارد که مقدار ک آن هاء معلوم است، کما در صحنه

ج. رائدینہ کٹر سے کہتے ہیں مقدار ثبات معلول الزر الطبیعی زیر محاسبہ سے کہتے ہیں۔

$\theta = \frac{L}{A} = \frac{k}{C}$

* محلول آب 7.4589 گرم / لیتر (مات) 25 °C هدایت ویژه، 12.856 mS/cm دارد. وزن یک سلول ^{شماره}

هدایه در این محفل قرار گیرد و قیمت برابر با 653 مکر و زمین برای هدایت الکتریکی 100 (ده)

الفصل ثانیہ رسول را برای رسول هدایتی و اسیر کنید.

در رقت بهر نحایت، جاذبه بین یون‌های با بار مخالف برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود. از این رو هدایت اِکِ وِالِ محلول با مجموع هدایت‌های اِکِ وِالِ یون‌های موجود در محلول برابر می‌شود:

هدایت اِکِ وِالِ کاتیون \rightarrow هدایت اِکِ وِالِ آنیون

$$\Lambda_0 = \Lambda_0^+ + \Lambda_0^-$$

هدایت اِکِ وِالِ یون‌ها در رقت بهر نحایت برای یون‌های مختلف تعیین شده و در جدولی تهیه شده اند.

مثال: هدایت ویژه محلول اشباع AgCl در 25°C پس از کسر هدایت ویژه آب برابر $k = 2.28 \times 10^{-6} \text{ ohm}^{-1} \cdot \text{cm}$ است حاصل ضرب حلالیت در سوب AgCl را محاسبه کنید.

$$\Lambda_0(\text{Ag}^+) = 61.9$$

$$\Lambda_0(\text{Cl}^-) = 76.3$$

هدایت اِکِ وِالِ در رقت بهر نحایت برای نمک کم محلول AgCl برابر است با:

$$\Lambda_0 = \Lambda_0(\text{Ag}^+) + \Lambda_0(\text{Cl}^-) = 61.9 + 76.3 = 138.2$$

چون حلالیت AgCl ناچیز است. هدایت اِکِ وِالِ محلول اشباع آن با هدایت اِکِ وِالِ در رقت بهر نحایت تقریباً برابر است:

$$\Lambda \approx \Lambda_0 = \frac{1000 k}{N} \Rightarrow N = \frac{1000 k}{\Lambda_0} = \frac{1000 \times 2.28 \times 10^{-6}}{138.2} = 1.65 \times 10^{-5} \text{ eq. lit}^{-1}$$

حاصل ضرب انحلال برابر خواهد بود با:

$$K_{sp} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = (1.65 \times 10^{-5})^2 = 2.72 \times 10^{-10}$$

قطب‌شدن (polarization)

پدیده قطب‌شدن که همراه با عبور جریان از یک سلول ظاهر می‌شود به شرایطی گفته می‌شود که در آن پتانسیل الکترود یا سلول در حین عبور جریان از پتانسیل حساب شده براساس معادله نرنست و قانون اهم انحراف پیدا می‌کند. چنین مقاومتی ممکن است از کند بودن سرعت انتقال الکترود یا بار، بین گونه‌های الکترولیز شونده و الکترود، وجود آید که به آن قطب‌شدن پستیکی گفته می‌شود و یا از کاهش غلظت ترکیب الکترولیز شونده در نزدیکی سطح الکترود، که به دلیل کاهش جریان انتقال مان از درون محلول

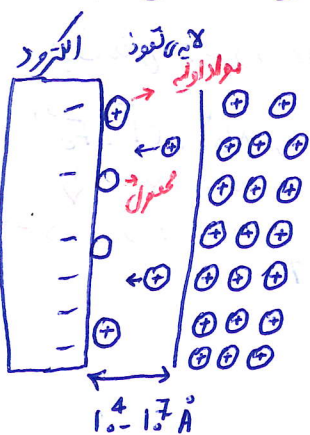
انتقال ماده

با شروع فرایندهای الکترونی، غلظت انواع گونه‌های شرکت‌کننده در واکنش‌های الکترونی تغییر می‌کند. مواد اکسند در سطح کاتد و مواد کاهش‌دهنده در سطح آنود مصرف می‌شوند، بنابراین برای استمرار واکنش‌های الکترونی و ادامه عبور جریان نیاز است که به کمک پدیده‌های انتقال ماده، جایی مواد مصرف‌شده پر شود و محصول‌های تولیدشده نیز از سطح الکترودها دور شوند.

انتقال ماده به سه روش نفوذ، مهاجرت و هفرت انجام می‌شود.

نفوذ (Diffusion)

هنگامی که یک تفاوت غلظتی بین دو ناحیه از محلول وجود داشته باشد، یون‌ها یا مولکول‌ها از ناحیه غلظت بیشتر به ناحیه رقیق‌تر حرکت می‌کنند. این فرایند را نفوذ می‌نامند. در نتیجه یک تغییر شیب در سطح الکترودها در مجاورت سطح الکترودها ایجاد می‌شود. نفوذ به وجود می‌آید که ضخامت آن 10^{-4} تا 10^{-7} م می‌باشد و غلظت مواد اولیه و محصول در آن تابعی از فاصله از سطح الکترودها است.



غلظت مواد اولیه در سطح الکترودها کمتر از درون محلول است، در حالی که غلظت محصول‌ها در سطح الکترودها بسیار بیشتر از درون محلول است. قانون اول فیک (Fick's law) برای ماده را

در یک سطح موازی با سطح الکترودها می‌توان نوشت:

$$J_i = -D_i \frac{dc_i}{dx}$$

ضریب نفوذ → ضریب نفوذ → مقاومت لایه نفوذ

مهاجرت (Migration)

فرایندهایی که با آن یون‌ها تحت تأثیر یک میدان الکتریکی حرکت می‌کنند مهاجرت نامیده می‌شود. سهم هر یون در پدیده مهاجرت با بار الکتریکی، غلظت و هدایت معادل آن متناسب است. برای هر یون، می‌توان سهمی از انتقال بار را به علت مهاجرت

پیل های اختلاف دما: این نوع پیل ها به دلیل اختلاف غلظت اکسین ایجاد می شوند و به علت وجود اختلاف پتانسیل
جریان الکتریکی از سمتی که مثبت به اکسین رقیق می باشد به سمتی که غلیظ می باشد، جریان دارد. این پیل ها علت اصلی خوردگی
حفه ای می باشند.

3. پیل های با اختلاف دما

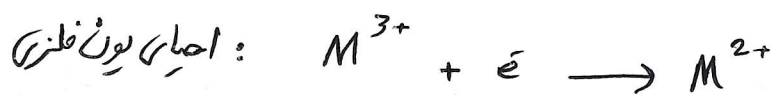
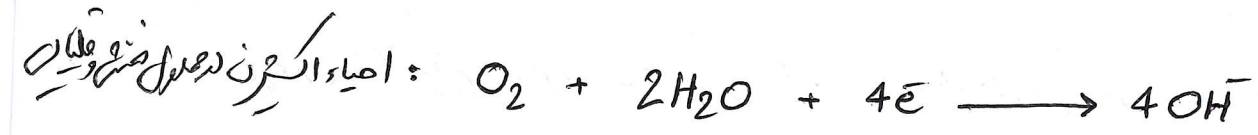
این پیل ها از الکترودهای هم جنس که در داخل الکترولیت های مشابه با ترکیب شیمیایی یکسان ولی با دماهای متفاوت
قرار گرفته است، تشکیل می شود. این پیل ها در مبدل های حرارتی و دیگ های بخار به وجود می آید. مثلاً وقتی که دو الکترود
مس در محلول از CuSO_4 قرار گرفته باشند، الکترود که دما کمتری دارد آن دو الکترود گرم تر نقش کاتد را دارد.

4. پیل های موضعی

پیل های موضعی پیل های می باشند که در آن ها، الکترودهای کاتد و آنود به طور همزمان در روی یک فلز تشکیل می شوند. علت
اصلی به وجود آمدن این نوع پیل ها، اختلاف پتانسیل می باشد که بین نقاط مختلف از سطح فلز به وجود می آید. مثلاً اصلی این
اختلاف پتانسیل، یا وجود ناخالصی های در سطح فلز و یا ایجاد پیل های اختلاف دما می باشد. در نتیجه پیل های موضعی
قسمتی از سطح فلز شروع به خوردگی می کند و قسمت دیگر نقش کاتد داشته و محافظت می شود.

الکروشیمی خوردگی

ماهیت الکروشیمی خوردگی را با واکنش های اکسیداسیون و احیاء که در فرایندهای خوردگی اتفاق می افتد، نشان می دهند.
در اینجا فرایند خوردگی را با خوردگی زین فلز روی به وسیله اسید کلریدریک نشان داده است. هنگامی که یک قطعه روی
را در داخل اسید کلریدریک وارد می کنیم، گاز هیدروژن آزاد شده و محلول کلرید روی (ZnCl_2) را تشکیل می دهند.



آزاد شدن هیدروژن کاتدی واکنش کاتدی که باید زیر محلول ها، اسید فراوان باشد. احیاء اکسین نیز در هر محلول آب که در یکس با هوا باشد، اتفاق می افتد. احیاء شدن یا راسب شدن یون فلزی واکنش های نادرتری بود. گو به ندرت در فلزها می یابیم اتفاق می افتد.

خوردگی ظروف الکترولیز

مواد فلزی به ویژه فولادهای ارزان قیمت، برای ساخت تجهیزات شیمیایی ترجیح داده می شوند، اما الکترولیت ها همیشه باعث خوردگی فلزات می شوند، چون با تشکیل سلول الکترودیمیایی موضعی، مثلاً با احیاء اکسین در کاتد و انحلال فلز در آنند خوردگی صورت می گیرد.

استیل ها، همی خورد می شوند و تمایل به خوردگی آن ها در الکترولیت ها شامل اکسین بیشتر است، مگر اینکه فلزات توسط آلیاژ مثلاً کروم (Cr)، مولیبدن (Mo) یا نیکل (Ni) پوشیده شوند، حتی مواد غیر فلزی با طبیعت کاملاً متفاوت مانند سرامیک ها و پلیمر ها، اگر، اغلب در الکترولیت ها گرم در مقابل تخریب مقاوم نیستند. سرامیک ها به این علت آسیب می بینند که اجزای یونی آن ها در الکترولیت ها آب به ویژه در محیط خفیه اسیدی یا بازی به بیرون ماده نفوذ می کنند.

مقاومت خوردگی هر ماده ای که برای ساخت ظرف الکترولیز استفاده می شود نسبت به بسیاری از خواص مکانیکی آن ماده کمتر، مقاومت کششی و الاستیته مهم تر است. در ساخت ظرف الکترولیز، استفاده از کامپوزیت ها و ترکیبات آن ها،

حفورگی الکترودها

انتخاب مواد برای ساخت الکترودهای صنعتی به هدایت زیاد آن‌ها، مقاومت در برابر خوردگی، روش‌های ساخت الکترود به همراه قیمت مواد اولیه و هزینه ساخت بستگی دارد.

برای فرایندهای الکترودینگ پتانسیل اضافی مناسب و محدوده انتخاب با انتخاب یک پوشش کاتالیتیک مناسب دور یک

بستر مقاوم در برابر خوردگی فراهم می‌کند. در محلول‌های آبی یا الکترولیت‌های پروتون دهنده (protic) دیگر مانند

متانول یا استیک اسید، عامل مهمی که برابر انتخاب مواد در ساخت الکترود باید در نظر گرفته شود، بالا بودن پتانسیل اضافی تولید

هیدروژن است. هرچند یک فرایند کاتدی مد نظر باشد و از شکل هیدروژن کاتدی اجتناب شود، پتانسیل اضافی زیاد برای

W, Mo, Ti

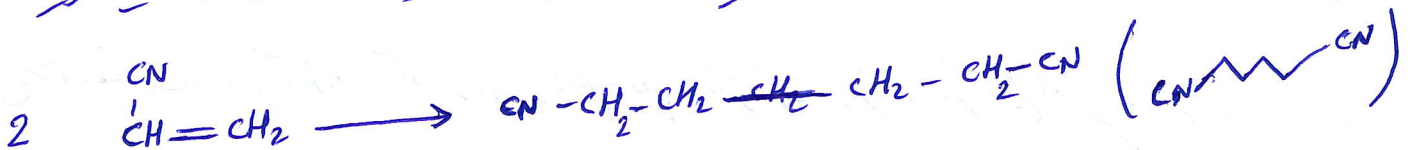
شکل هیدروژن ضروری است. به طور کلی فلزاتی مانند سرب (Pb)، کادمیوم (Cd)، تالیم (Tl) و ایندیم (In)

پتانسیل اضافی زیاد برای شکل H_2 کاتدی نشان می‌دهند در حالی که فلزاتی مانند پلاتین (Pt)

رئوم (Re)، رادوم (Rh) و ایریدیوم (Ir) پتانسیل اضافی کمی دارند.

مثال

* فرایند هیدروژن زدایی الکترولیتیک به آدیونتریل را در نظر بگیرید. به نظر شما چه کاتدی باید در این فرایند استفاده شود؟



ماتوجه به فرایند کاتدی هیدروژن زدایی الکترولیتیک در سطح کاتدی باید از فلزاتی مانند سرب و کادمیوم استفاده کرد که پتانسیل

افزایش زیادی برای شکل H_2 کاتدی نشان می‌دهند. در صنعت معمولاً از کاتدهای فولاد ضد زنگ با پوشش کادمیوم

استفاده می‌شود.

فولادهای ضد زنگ

فولادهای ضد زنگ از آن رن‌های انتخابی برای کاتدها و آندهای هستند که در الکترولیت‌های آبی تقریباً خنثی یا قلیایی ملایم

2. امکان استفاده از پوشش‌های روتنیوم اکسید (RuO_2) یا دیگر اکسیدهای فلز گروه پلاتین، روی این فلز باعث می‌شود پتانسیل اضافه تولید کلر و اکسیژن آندی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد. این پوشش‌ها روی تیتانیوم پایدار کاملاً چسبده هستند.

3. قیمت Ti نیز در مقابل عملکرد آن مناسب است.

از تیتانیوم خالص به عنوان کاتد در فرایندهای که گاز H_2 مقادیر می‌شود استفاده کرده، زیرا تیتانیوم هم‌اندازه مبدلین (Mo) و تنگستن (W) پتانسیل اضافه زیادی برابر تشکیل H_2 کاتدی نمی‌دهد.

فلزات نجیب

فلزات نجیب به خصوص پلاتین، به علت گران بودن، به عنوان بهترین الکترود کاتر استفاده می‌شوند. این فلزات بیشتر به صورت پوشش روی بسترهای دیگر استفاده می‌شوند مانند آندهای تیتانیوم که سطح آن‌ها توسط RuO_2 فعال شده است. فلزات نجیب به ویژه پلاتین (Pt) را با استفاده از چسب‌های هادی ویژه‌ای به صورت لایه‌های نازک روی سطح الکترودهای کربن قرار می‌دهند.

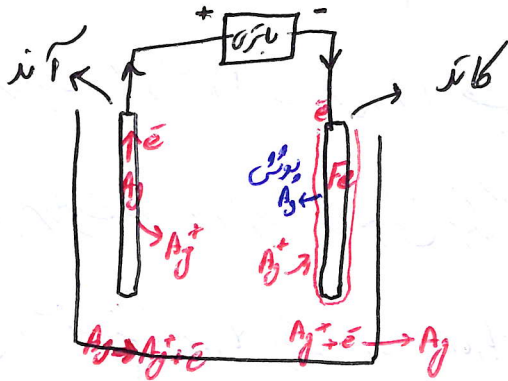
کربن (c)

الکترودهای کربنی در بسیاری از فرایندها، به خصوص در محیط‌های غریبی اهمیت فراوان دارند، در الکترولیت‌های آبی الکترودهای کربنی به علت ناپایداری، از اهمیت کمتری برخوردار هستند. مثلاً در تولید آلومینیوم، آندهای کربنی بر اثر اکسید به کربن دی‌اکسید (CO_2) تبدیل می‌شوند.

خواص مکانیکی و شیمیایی مورد نظر را نیرازسته باشد.

اصول آجکاری الکتریکی

اصول آجکاری الکتریکی شبیه یک سلول الکترولیز است که در آن قطعه ای که قرار است پوش داده شود، در نقش کاتد است. شکل زیر شماتیک از آجکاری را نشان می دهد.



برای انجام فرایند آجکاری الکتریکی به موارد زیر نیاز است:

- یک محلول الکترولیت که شامل یک نمک فلزی است و باید به صورت رسوب در سطح جسم مورد نظر کاهش کاتدی پیدا کند. در اغلب موارد لازم است تا به محلول الکترولیت، با افزودن مواد افزودنی اضافه شود. غلظت یون مورد نظر در الکترولیت باید زیاد باشد تا اندازه مناسب پلازما یون غلظتی جلوگیری شود. همچنین غلظت کل یون ها موجود در محلول نیز باید زیاد باشد تا محلول هدایت الکتریکی زیادی داشته باشد و افت اهمی (IR) ناچیز باشد. همین امر باعث شده تا نمک ها را از فلز مورد نظر انتخاب شوند که قابلیت انحلال و هدایت الکتریکی زیادی داشته باشند. مجموعه نمک های تیرات، کلراید و سولفات و یا مخلوطی از این املاح مناسب بودن و استفاده می شود.

- کاتد که باید رسانا باشد تا پوشش فلزی در سطح آن تشکیل شود. در آجکاری همیشه آساناب زیر سطح جسم مورد نظر از اهمیت خاصی برخوردار است. آنند که می توانند یک الکترود بی اثر یا الکترودی از جنس فلز مورد نظر باشد که در این صورت باعث عبور جریان حفره می شود و غلظت یون فلزی را ثابت نگه می دارد. حفظ غلظت ثابت برای یون ها

از پلاستین و در محیط های قلیایی از فولاد ضد زنگ به عنوان آند های بهای استفاده می شود. با اعمال ولتاژ، کاهش گونه ای که دارای پتانسیل بیشترین در شرایط موجود در هم آکنجاری است، در کاتد اتفاق می افتد. پتانسیل کاهش به علت یون مورد نظر، قدرت یون همدست جریا، درجه وارسی، سرعت همزدن و جنس الکترود بستگی دارد، در نتیجه شرایط هم باید به گونه ای انتخاب شود که فقط یون مورد نظر در کاتد کاهش یابد. اگر پتانسیل کاهش دو یون خیلی نزدیک باشند در این صورت هر دو یون کاهش می یابند. رسوب کردن مهبین دو فلز را آلیاژ کاری (Alloying) می نامند. چنانچه پتانسیل کاهش هیدروژن به یون های یک فلز نزدیک باشد گاز هیدروژن همراه با رسوب فلز آزاد می شود. این وضعیت در بسیاری از موارد اتفاق می افتد و باعث کاهش بازده کاتد می شود. از طرفی آزاد شدن هیدروژن باعث پیدایش حلال و فرج در پوشش ها می شود و در نتیجه رسوب ایجاد شده کیفیت پایینی خواهد داشت و می تواند باعث شکسته شدن روکش شود. بعضی از فلزات را به لحاظ پتانسیل خیلی متفرق خود می توان در محیط های اکسید در سطح مورد نظر پوشش داد. آلومینیوم از مهم ترین فلزات است که در این دسته قرار می گیرد.

انواع پوشش های آکنجاری را می توان به شرح زیر تقسیم بندی کرد:

- پوشش های که تفاوت میل یک فلز هستند که معمولاً این ها عبارتند از: قلع (Sn)، مس (Cu)، نیکل (Ni).
- کروم (Cr)، کادمیوم (Cd)، پالادیم (Pd)، نقره (Ag)، طلا (Au) و پلاستین (Pt).
- پوشش های آلیاژی که از چند فلز تشکیل شده اند نظیر آلیاژ های Cu-Zn ، Cu-Sn ، Sn-Ni ، Ni-Co.
- پوشش های کامپوزیتی که عبارتند از پوشش های فلزی که محصور در آنند از اجسام دیگر نظیر تفلون، Al_2O_3 ، SiC.
- C_3C_2 و یاکرافیت هستند.

انجام می شود. این ذرات بر روی سطح و در داخل روغن یا واکس می غلطند و یا خود لایه ای از سطح فلز را بر می دارند. باید توجه داشت که در عمل پرداخت علاوه بر سید شدن و تغییر ظاهر، ساختار کریستالی سطح فلز نیز تغییر می کند، بدین معنی که در عمل پرداخت، سطح اغلب فلزات ذوب شده و تبلورهای درشت آن ها به تبلورهای ریزتر تبدیل می شود.

پرداخت شیار

روش پرداخت شیار بیشتر برابر پرداختی ناهمواری ها حشی و زبر کردن سطح فلزات است. استفاده می شود زیرا با این روش سطح صیقلی مناسبی برای روکش ایجاد می شود. برابر پرداخت شیار از اسیدها و معدنی مثل اسید کلریدیک، سولفوریک، فسفریک یا آمونیاک های آکس استفاده می شود. قطعه های که پرداخت شیار می شوند جز برق را به خوبی هدایت می کنند.

چرب زایی

سطح قطعه بعد از پرداخت مکانیکی و شیار با سیسم چرب زایی و تمیز شود تا برابر آ بکاری آمان باشد. در آ بکاری برابر چرب زایی قطعه های توان از حلال های آکس یا چرب گیرهای گرم فلزات استفاده کرد. در هر صورت فعالیت چرب گیرها با وکس قطعه، (مدین هوا، استفاده از امواج التراسونیک (ultrasonic) و پاشیدن تحت فشار آن ها روی سطح قطعه، اقتضای می یابد.

اقتضای سوزن فلکانت های آئینه مانند آئین آریل سولفونات و اثرهای فضا به چرب گیرها می تواند کمک کرد. ضعیف آن ها در دماهای پایین جود گیر می کنند.

عامل مهم در چرب زایی دما است. اقتضای دمای حرکت ذرات معلق و کاهش جذب سطحی و ذوب چرب ها و روغن در سطح قطعه می شود و گرانروی محلول چرب گیر را کم و سبب تسهیل در عمل چرب گیری می شود.

انتخاب نوع روکش

انتخاب یک پوششی مناسب به عوامل زیادی بستگی دارد و باید این عوامل دقیقاً بررسی شوند تا اقتصاد در نوع پوشش انتخاب شود، هرچند که امروزه نوع پوشش بسیار از فلزات پایه مشخص است. برای انتخاب یک پوششی مناسب میتوان عوامل زیر را به ترتیب بررسی کرد:

• محیطی که قطعه در آن استفاده خواهد شد.

محیط مورد بهره برداری، بسیاری از پوشش های نامناسب را کنار می گذارد. مثلاً در محیط های خفایای قوی، آلومینیوم را نمیتوان به عنوان روکش به کار برد. مس و روی نیز در محیط های اسیدی به کار نمی روند.

• عمر قطعه

یک روکش بسیار مقاوم در جایی که عمر کوتاهی برای قطعه مورد نظر است غیر اقتصادی است.

• جنس قطعه

جنس قطعه در انتخاب روکش و همچنین روش آبکاری تأثیر به سزایی دارد. روی و کادمس روکش فلزی بسیار مناسب هستند، چون نسبت به فولاد در نقش آند بوده و اگر روکش بریده شود، حفاظت فولاد تأمین می شود. روکش های راکه نسبت به جسم پایه کاتدی هستند، باید به دقت ترسب کرد تا در روکش پارگی ایجاد نشود. روکش های کاتدی در صورت بریدن به شرطی میتوانند مورد استفاده قرار گیرند که ناصیه خوردگی جسم پایه سریعاً با تشکیل لایه های از محصول خوردگی تا محصول غیر فعال شوند یا سرعت خوردگی جسم پایه آنقدر ناچیز باشد که دوام روکش را تحت تأثیر قرار ندهد.

• شکل و اندازه جسم

قطعه ها با شکل های پیچیده به طور یکنواخت روکش نمی شوند، هرچند با صرف هزینه بیشتر و استفاده از آندهای گلی میتوان بخش و یا راس جسم یکنواخت کرد. در برخی موارد آب آبارهای گال خاص روکش غوطه ور را گرم نتایج مخیری

چون دوام اصنام روکش دار به صناعت روکش کن ها بستگی دارد. کنترل و آزمایش روکش ها اهمیت زیادی دارد. صناعت روکش را می توان به روش های بسیار با استفاده از دستگاه های که بر اساس روش های مختلف، روش های پودر القای، یا با استفاده از طیف نگاری پرتو X و روش پرتو برگشتی هم اندازه گیری کرد.

④ آزمایش تخلخل

وجود تخلخل در روکش تأثیر زیادی بر قابلیت حفاظتی آن دارد. عموماً تخلخل ها برای روکش ها نامناسب بوده و فقط در موارد محدودی (روکش های کرموم با تخلخل های ریز) کاربرد دارند. آزمایش های استاندارد زیادی وجود دارند که بیشتر آن ها بر اساس آزمایش های سریع خوردگی هستند که با تشکیل محصول های خوردگی رنگین در محل های ناپیوسته، تخلخل ها را آشکار می سازد. برخی از آزمایش های تخلخل معمول به قرار زیر است:

• آزمایش پریس (preece test)

در این روش قطعه فولاد روکش دار به مدت یک دقیقه در داخل محلول شامل 36 گرم دیترسولفات مس که با هیدروکسید مس خنثی شده فرو برده می شود. در نتیجه بار سوب شدن فلز مس در نقاط معیوب روکش، نقاط ناپیوسته روکش آشکار می شوند.

• آزمایش پریسولفات آمونیوم $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$

اگر قطعه مس با روکش قلع به مدت 10 دقیقه در محلول 10 گرم برتر پریسولفات آمونیوم که دارای هیدروکسید آمونیوم است فرو برده می شود، رنگ آب تیره در محلول، نشان دهنده ناپیوستگی در روکش قلع است.

• آزمایش فروکسل (Ferroxyl test)

تخلخل های روکش فولاد با این روش پدید می آید. کاغذهای صاف در محلول که شامل 5 گرم دیتر

• آزمایش کوئنچ (Quench test)

در این آزمایش روکش های نیکل، قلع و قلع-نیکل را $350 - 150$ درجه سانتیگراد (هندل میزان) در آب به جسم بایه سنجیده (دارد) پس در آب فروخته می شود. در این حالت نباید روکش خراب شود.

• آزمایش حکاکی (Scribe test)

چند گز روکش به جسم بایه موقع خوب وضاحت می آید که اگر روکش در امتداد خط های بریده شود تا به جسم بایه برسد روکش تکه تکه و پودره نشود.

• آزمایش سوهان (File test)

روکش برابر تعیین چند گز روکش های نیکل و کروم روی اجسام فلزی و پلاستیکی، با کشیدن سوهان در لبه بریده شده قطعه روکش در 45° تحت زاویه و در جهت عرض روکش، علامت بلند شدن و یا کند شدن و رفته روکش مشاهده شود. و بررسی می شود.

• آزمایش چرخه های حرارتی

این آزمایش مخصوص اجسام پلاستیکی روکش دار بوده و برای اندازه گیری پیوند بین روکش و جسم در درجه های متغیره کار می رود. قطعه روکش دار یک ساعت در دمای 400 قرار داده می شود پس به دمای محیط بر می گردد، سپس یک ساعت در دمای 80 گرم شده و بلاخره سرد شده و به دمای محیط بر می گردد. این آزمایش چهار بار تکرار می شود و قطعه در هر دوره برگشت به دمای محیط مورد آزمایش قرار می گیرد. طبق روش استاندارد چند گز روکش موقعی مورد قبول است که هیچ گونه عیب مانند ترک و پودره شدن لایه در آن دیده نشود.

④ آزمایش چکش خوار

در این آزمایش روکش فلزی، روی جسم نرم با چکش خوار خوب مانند برنج صقل شده، نشانه می شود و نمونه در یک قالب و یا روی شکل دهنده ها فلزونی محذیه می شود.

امید بوریک در به دست آوردن پوشش های سفید تر، صاف تر و نرم تر موثر است. برابر جدول زیر از تحلیل پوشش به محلول این روان ها، یک سورفکتانت آنیون اضافه می کنند تا یک نوع سطح پوشش بهتر شود. علت پیدایش تحلیل، آلودگی حباب های هیدروژن در کاتد هنگام آبکاری است. مواد مرطوب کننده، اضافه شده، کاهش سطح الکترولیت را کاهش داده و در نتیجه تمایل حباب های هیدروژن برابر جریان به سطح کاهش می یابد. یک نوع سورفکتانت آنیون که استفاده آن متداول است، سدیم لوریل سولفات است که به مقدار 0.1 تا 0.5 گرم در لیتر استفاده می شود. آب اکسیرنه نیز در این الکترولیت برابر جدول زیر از تحلیل بسیار مفید است. اما غلظت آن باید کنترل شود.

در فرایند آبکاری، درجه حرارت، pH و حجم خوردگی محلول با دقت کنترل باشند، معمولاً در صورت امکان درجه حرارت زیاد انتخاب می شود زیرا که درجه حرارت بیشتر باعث می شود درازا، مصرف و لایه کمتر، شدت جریان بیشتر از محلول بگذرد و از سوراخ دیگر نهم پوشش ها کمتر و قابلیت خم شدن آن ها بیشتر شود. یا انتخاب pH کمتر، امکان عبور جریان های بیشتر فراهم می شود و هدایت الکترولیت افزایش یافته و مصرف و لایه کمتر می شود. به هم زدن محلول نیز باید در حد مطلوب باشد، هنرمند محلول باعث می شود تا حد مجاز چکانی جریان درون آبکاری افزایش یابد و از طرف دیگر درجه حرارت در کل محلول یک نقطه داشته شود.

الکترولیت های کلرید

در روان های حاوی الکترولیت های کلرید، از کلرید نیکل و امید بوریک استفاده می شود و الکترولیت فاقد سولفات نیکل است. شرایط امپان آبکاری، دمای حدود $55-70^{\circ}\text{C}$ ، pH حدود 2 و شدت جریان $1-3 \text{ A/dm}^2$ است. پوشش آبکاری حاصل از روان کلرید نسبت به روان سولفات، ریزش کمتر، با دوام تر و صاف تر است؛ ولی این پوشش ها تنفس داخلی بالتر و قابلیت جوش گیری دارند. از طرفی به علت خوردگی زیاد یون Cl^- ، کلیه وسایل مورد استفاده در آبکاری

برای کتده های نوع دوم

به منظور به دست آوردن پوشش های درختی و براق، مواد برای کتده نوع دوم را همراه با مواد برای کتده نوع اول به الکترولیت نخل اضافه می کنند. برای کتده های نوع دوم مواد اکسید کننده مانند پراکسید هیدروژن، کوپراسید و بوتیل دی ایل و امیدازول، داران عامل غشایی $C=O$ ، $C=C$ یا $C=N$ می باشند، که اثر قابل ملاحظه ای در رشد پوشش های نخل دارند.

آبکاری کروم

کروم در موارد بسیار گسترده ای به عنوان روکش تزئینی به کار می رود، به خاطر شفافیت زیاد کروم، پوشش های آن به ضخامت 0.1 تا 0.3 میکرون بر روی روکش های محافظه مانند نخل قرار می گیرد. این فلز پس از پرداخت، کاملاً شفاف و براق می شود و به صورت آب گزینش به نظر می رسد. کروم در اکثر محیط های خورنده خنثی، مقاوم است و مقاومت آن در مقابل عوامل مکانیکی و شیمیایی زیاد است. یک محلول آبکاری کروم شامل اسید کرومیک، آب و یک کاتالیزور مانند H_2SO_4 یا HF است. کاتالیزور به نسبت $\frac{1}{100}$ به آن اضافه می شود و بدون کاتالیزور کروم آب گزینش نمی شود. کروم بر حسب موارد مصرف به سه صورت مسطح، کروم تزئینی و کروم سخت آبکاری می شود.

کروم سیاه

کروم سیاه بیشتر در موارد تطای که هدف ایجاد پوشش های غیر قابل انعکاس است، استفاده می شود.

کروم تزئینی

کروم تزئینی را می توان روی سطح قطعه ای که قبلاً با نیکل برای پوشش داده شده، و نشاند و طبعاً است که پوشش نیکل برای زیرین باید بدون عیب باشد. روش کار به این صورت است که پوشش نیکل برای را بعد از شستشو، بلافاصله وارد الکترولیت کروم می کنند، هرگونه تأخیر باعث غیرفعال شدن سطح نیکل و در نتیجه جدا شدن پوشش کروم از سطح می شود.

کمپلیس زرهیدرکسیدیم که به عنوان الکترولیت و هدایت کننده ی جریان اضافه می شود. نسبت غلظت سیانید به فلز
روی در الکترولیت و آن آبکاری، بین 2 تا 3.5 تغییر می کند. پوشش روی بیشتر به عنوان محافظ در مقابل زنگ زدگی در
قطعه های ایزان و ترنسفر استفاده می شود.

آبکاری قلع

قلع فلز نفوذی زنگ، نرم و به طور نسبی در مقابل هوا، رطوبت و اسیدهای رقیق مقاوم ولی در مقابل قلیاها و اسیدهای قوی
نمایدار است. به طور نسبی تبدیل قلع بیشتر از آهن است، بنابراین پوشش قلع به عنوان محافظ فقط در جایی می تواند استفاده
شود که کاملاً به صورتی فشرده نشسته باشد و اگر پوشش قلع دچار یزدگی و شکستگی شود، آهن زیر پوشش زنگ می زند.
الکترولیت های قلع به دو گروه تقسیم می شوند: الکترولیت های اسیدی که فلز قلع به حالت دو ظرفیتی (Sn^{2+}) و الکترولیت قلیایی
که فلز قلع به حالت یون چهار ظرفیتی در محلول حضور دارند. به این ترتیب میزان مصرف جریان برای ایجاد پوشش با وزن مساوی
از فلز در الکترولیت قلیایی دو برابر الکترولیت های اسیدی است.

آبکاری طلا

از پوشش های طلا، علاوه بر هدف های تزئینی در تهیه جواهرات و در صنایع الکترونیک، به شکل وسیعی در صنایع الکترونیک
صفحه های چاپ، در اتصال الکتریکی، فضا نوردی و راکتورهای فضایی و همچنین در صنایع نظامی استفاده می شود. طلا فلز
نجیبی است که در برابر عوامل شیمیایی، جوی، محلول های قلیایی و اسیدی مقاوم است، ولی مقاومت مکانیکی آن در برابر
سایش بسیار ضعیف است.

آبکاری طلا معمولاً در محلول های سیانیدی انجام می شود هر چند از روان کار و اسیدی نیز استفاده می شود. با اضافه کردن
بعضی مواد به روان آبکاری، می توان درخشندگی روکش را افزایش داد. آندها باید از جنس طلا یا یک ماده ی خنثی مانند
گرافیت یا فوسه ضد زنگ انتخاب شوند.

آبکاری قطعه های پلاستیک

امتیاز کاربرد مواد پلاستیک نسبت به مواد فلزی، ارزانی، سبکی و عایق بودن آن ها است. دو خاصیت مهم قطعه های پلاستیک کاربرد روکش های فلزی را روی آن ها دشوار می کند. چون از نظر الکتریکی عایق هستند، مستقیماً قابل آبکاری نیستند و دیگر چون موادی آبگیر هستند، انجام عملیات آبکاری در محلول های شیمیایی روی آن ها دشوار است.

قدم اول در آبکاری قطعه های پلاستیک، این است که آن ها را باید در یک محلول اسیدی حاوی یک اکسید قوی (مانند محلول اسیدهای کرومیک، سولفوریک و متفریک) وارد کرد تا به مواد آب دوست تبدیل شوند. این عمل هم چنین به سطح ماده ی پلاستیک زبری بسیار ریزی می بخشد که چندین روکش فلزی را در مرحله ی بعدی بشیر می کند. پس لزومی مرحله سطح قطعه های پلاستیک را بالا به نازک از فلز پالادیم می پوشانند. برای این کار قطعه را در داخل محلول کلرور قلع (II) و کلرور پالادیم فرو می برند تا پالادیم به صورت فلزی روی قطعه نشیند و پس با فرو بردن قطعه در یک محلول آبکاری، روکش مس یا نیکل به طریق شیمیایی (بدون برق electrolless) روی آن صورت می گیرد.

روکش های بدون برق مس یا نیکل به ضخامت 1 تا 2 میکرون عمدتاً به طور مکانیکی به سطح قطعه پلاستیک می چسبند و باعث هادی شدن سطح قطعه های پلاستیک نمی شود. و عملیات بعدی آبکاری را میسر می سازند.

دومادین پلاستیک که بیشتر از همه برای آبکاری به کار می روند ABS (پلیمر اکریلونیتریل-بوتادین-استایرن) و پلی پروپیلن هستند. روکش های آبکاری مس و نیکل و کروم آبکاری آن ها روی مواد پلاستیک به منظورهای تزئینی و حفاظتی در صنایع مانند خودرو سازی، الکترونیک و لوازم لوکس مشتمل به کار می روند.

تصفیه آب - های خطوط آبکاری

خطی سازی آب - های صنعتی یکی از مسائل مهم در صنعت آبکاری است. برای این کار، مواد سمی را در فاضلاب تجزیه می کنند و یا رسوب می دهند. در این روش مواد سمی به صورت ترکیبات غیر سمی و کم خطر مانند سیانات و نیترات

روشن خنثی ساز سیانور به روش اکسایش

در این روش در pH بین ۱۰ تا ۱۲ به وسیله یک ماده اکسند مانند گاز کلر یا کلیم هیپوکلریت $Ca(ClO)_2$ سیانور به بیانات و در حالت اکسایش به N_2 و CO_2 تبدیل می شود. بیانات حدود هزار برابر سمیت کمتری نسبت به سیانور دارد.

فلزات سنگین

فلزات سنگین از لحاظ آلودگی به دو دسته تقسیم می شوند:

۱. فلزات بسیار سمی مانند آرسنیک، کادمیوم، جیوه، سرب، آنتیوان و کروم

۲. فلزات سمی مانند تیتانیم، نیکل، باریم، منگنز و مولیبدن

برای تصفیه این دو دسته، روش های مختلفی ارائه شده است ولی روش تنظیم pH مناسب و رسوب دادن آن ها به صورت

هیدروکسید آهن، کم هزینه ترین و مناسب ترین روش است. با تنظیم pH حوضچه خنثی ساز را روی عدد ۶.۵ تا

۷ اغلب فلزات سنگین به صورت هیدروکسید رسوب کرده که نهایتاً هر سه ماه یکبار رسوبات جمع آوری شده و به

وسیله لایه های آهک در محل های ویژه ای دفن می شوند.

سدیم محلول درون هال هیدروکسید تولید کند. در سطح کاتد اجزاء سدیم هیدروکسید را در طی الکترولیز سدیم کلرید تشکیل می دهند. کلرید صورت الکترولیز با سه نوع سلول مختلف تولید می شود:

1. سلول دیافراگمی

2. سلول غشایی

3. سلول حبه ای

اختلاف اصلی این فناوری ها مربوط به روشی است که برای جلوگیری از اختلاط گاز کلر و سدیم هیدروکسید استفاده می شود تا منجر به تولید محصول های خالص تر شود. در سلول های دیافراگمی، آب نمک از میان جداکننده دیافراگمی به سمت قسمت کاتد حرکت می کند. جداکننده ها از جنس آزبست یا کامپوزیت های از نوع آزبست پلیمری اصلاح شده اند. در سلول های غشایی از جنس غشای تبادل یون (Ion-exchange membrane) به عنوان جداکننده استفاده می شود، در حالی که در سلول های حبه ای نه غشاء وجود دارد و نه دیافراگم و حبه خودشان عمل جداکننده را انجام می دهد.

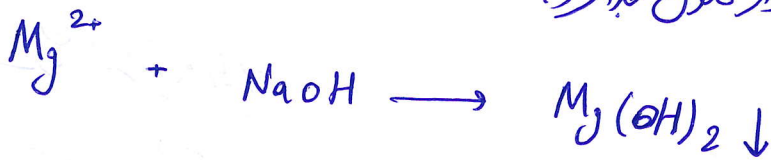
« بررسی ها نشان می دهد که هر یک از ماده های اولیه به صورت نمک جامد یا گدازه فرایند حبه ای اقتصاد در گزین راه تولید است و اگر ماده های اولیه به صورت آب نمک باشد فرایند دیافراگمی هزینه های کمتری دارد. فرایند غشایی به دلیل مسائل زیست محیطی بیار حائز اهمیت است. آب نمک حاصل از استخراج فلزات و فلزات از آب در کمربند های شمال باعث گسترش فرایند دیافراگمی شده، در حالی که فلزات از نمک جامد و حبه در اروپا به فرایند حبه ای را گسترش داده است. از این شیر نمک جامد وارد می کنند تا فرایند غشایی را گسترش بیشتری بدهد.»

سلول حبه ای در فرایند کلر-آلکال

کف سلول های حبه ای از جنس استیل و دیواره ها از جنس استیل با روکش لاستیک است. آند ها و کاتد ها (با کرافت) از بالای سلول آفران بوده و حبه، که نقش کاتد را دارد در پایین جریان دارد. آب نمک اسباع در انماک سلول حرکت می کند

به هر دلیلی فرایند کاندن تحت تأثیر قرار گیرد، اجزای فرایند کلرو-آلکال با مشکل مواجه می شود.

ناخالصی های مانند Ca^{2+} و Mg^{2+} و دیگر یون ها موجود در نمک می تواند در سطح کاتد کاهش می شود. بعضی از این کاتیون ها به صورت یک فیلم کلوئیدی رسوب می کنند به طوری که رسوب کاندن Na^+ و نفوذ سدیم را در توده حیوه مختل می کند. مجموع نمک خام، شامل مقدار شبنم و کلسیم به صورت کلرید و سولفات است. این ناخالصی ها را می توان با افزایش سود سوزآور یا کربنات سدیم به محلول اشیاع نمک، رسوب داد و از محلول جدا کرد.



صفت کلرو-آلکال با استفاده از سلول های دیافراگمی

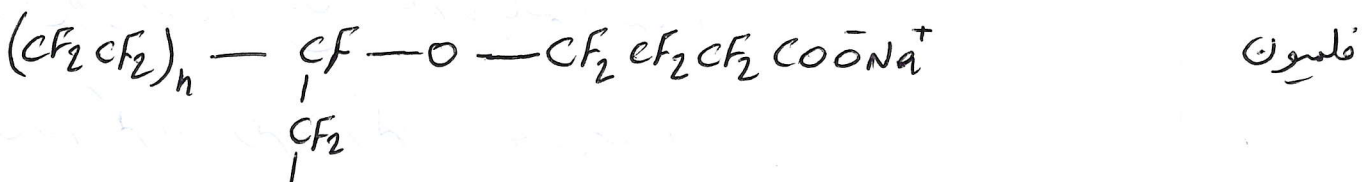
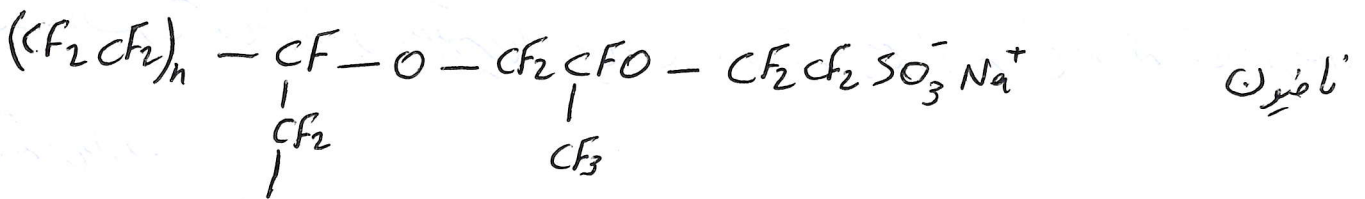
واحد های کلرو-آلکال نوع دیافراگمی شامل واحد تصفیه نمک، سلول الکترولیز، واحد تجزیه سود سوزآور و واحد فرایند گاز های کلرو هیدروکربن است.

نمک خام در آب حل شده و محلول غلیظ $NaCl$ بعد از خالص سازی به سلول الکترولیز فرستاده می شود. در واحد های حیوه ای محلول نمک ورودی قبل از الکترولیز با HCl تا $pH = 3-4$ اسیدی می شود در حالی که در اکثر واحد های دیافراگمی، محلول خنثی یا قلیایی به سلول الکترولیز وارد می شود تا اثر شیب برآزبست جلوگیری شود.

محلول حاصل از الکترولیز شامل ۱۲٪ $NaOH$ و ۱۵٪ $NaCl$ به تجزیه کننده ارسال می شود تا نمک بلورین آن از سود سوزآور جدا شود. سود به دست آمده در این مرحله شامل ۱٪ $NaCl$ است که تقریباً برابر خلالت $NaCl$ در محلول سود سوزآور ۵٪ در دمای اتاق است. این آلودگی باعث مشکلاتی از قبیل خوردگی موضعی دستگاه ها و

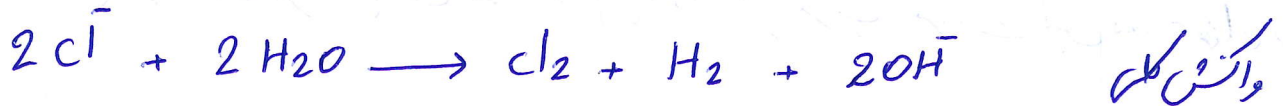
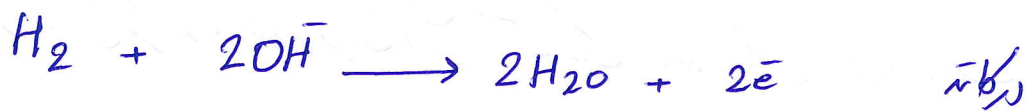
فرایند کلرو-آکالسی از نوع عشا

با تولید عشا، هاله تبادل یون متخلخل و مقاوم در مقابل گاز کلر و سود سوزا که در داغ و غلظت را، جدیدی برای توسعه فرایندهای کلرو-آکالسی با استفاده از عشا، هاله تبادل یون کشف شد. امروزه این فرایند با سرمایه گذاری و مصرف انرژی کمتر، قادر به تولید سود، گاز هیدروژن و گاز کلر با کیفیت قابل مقایسه با فرایند جیوه ای است. عشا، در فرایند کلرو-آکالسی از یک طرف در معرض گاز کلر و از طرف دیگر در معرض سود سوزا که در داغ است، مشخص شد. که تنها پلیمرهای پرفلوئورو در چنین شرایطی باید باشد. بنابراین با انتقال گروه هاله مناسب به این پلیمرها، خواص تبادل یون مورد نظر نیز، بر این ترکیب به دست می آید. در جدول عشا، مجموعاً یک عشا، دو لایه از جنس پلیمرهای پایه اسیدی، فلوئوروکربوکسیلا و فلوئورو سولفوناته استفاده می شود که در نقش یک عشا، تبادل کاتیون بین کاتد و آنز قلمرو می کنند. برای اولین بار شرکت دوپانت (Dupont) عشاها، تبادل یون پایدار در محیط های شیمیایی را به نام تجاری ناضیون (Nafion) تولید کرد. ساختار این نوع عشاها از پلیمرهای پرفلوئورو سولفوناته تشکیل شده اند. گروه دیگر از عشاها به نام تجاری فلمیون (Felmion)، رفتار بهتر برای جلوگیری از مهاجرت برگشتی یون های هیدروکسید از آن می دهند، هر چند که مقادیر الکتریکی بیشتری نسبت به ناضیون دارند. این نوع عشاها از پلیمرهای پرفلوئوروکربوکسیلا ساخته شده اند.



- به یون‌های هیدروکسید اجازه عبور ندهد.
- مقاومت الکتریکی (R) پایین داشته باشد.
- دارای حوصله مکانیکی و شیمیایی مناسب باشد.

فرایند الکتروسیس در یک سلول غشایی، شبیه سلول دیافراگمی است:



در هر صورت در سلول غشایی، کاتولیت مثل محلول NaOH خالص، بدون یون‌های Cl است. در صورتی که در سلول دیافراگمی کاتولیت، محلول NaCl و NaOH است.

فرایندهای خالص سازی

خالص سازی نمک

در هر یک فرایند، صرفه نظر از این که ماده اولیه به صورت سنگ نمک یا آب نمک طبیعی است نیاز به خالص سازی ماده اولیه وجود دارد.

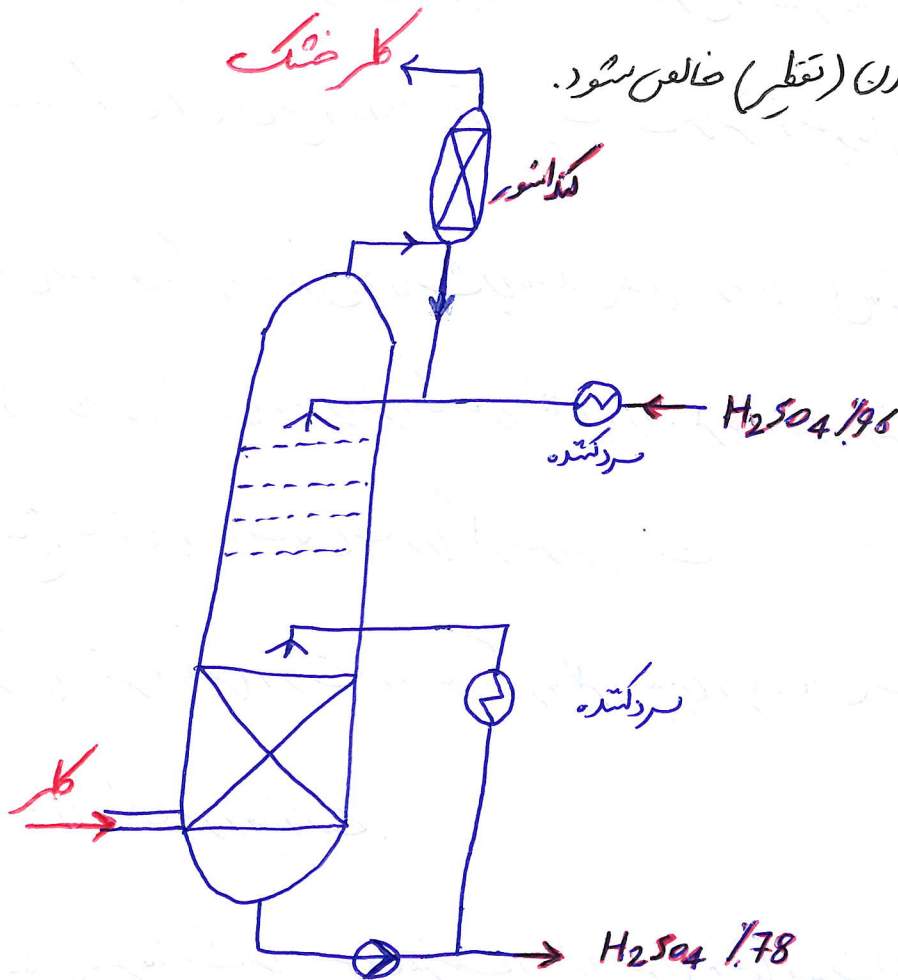
در نمک مورد مصرف، منیزیم و کلسیم (و در حد کم آهن) باید حذف شوند، چون تشکیل رسوب‌های کلسیم و منیزیم روی جیوه، ممکن است باعث ایجاد بلغمه‌های جامد شود. این دو یون همچنین می‌توانند روی دیافراگم رسوب کنند و باعث مسدود شدن دیافراگم شوند. در فرایند غشایی نیز این یون‌ها ممکن است، باعث خراب شدن غشای تبادل کاتیون

عمل و نقل می شود. در هر صورت باید توجه داشت که دمای گاز در این سلنیدها هیچ موقع به 150°C نرسد.

زیرا باعث خوردگی ظرف می شود.

کلر تولید شده توسط فرایندهای دیافراگمی و غشایی شامل 2-3٪ اکسیرن است، و برای بسیاری

از کاربردها، باید توسط روش متیج کردن (تقطیر) خالص شود.



خالص ساز هیپروژن

هیپروژن سلول های غشایی و دیافراگمی در خلوص 99.9٪ و یا بیشتر دارد و فقط به خشک کردن نیاز دارد.

این کار با سوزن آب سرد برای متراکم کردن بخار آب موجود در پیچ های جذب به روش وین مختلف انجام

می شود.