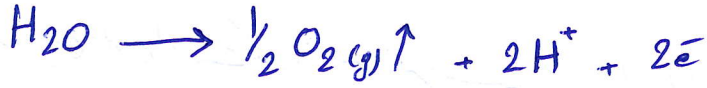


دو نیم واکنش گاهش در کاتد واکنش ذکر شده به صورت زیر است:



دو نیم واکنش اکسایش در آنده به صورت زیر می باشد:



به طور کلی یک واکنش ردوکس ممکن به صورت زیر انجام می شود:



که در تکران آن را به صورت دو نیم واکنش زیر نوشت:



اکسایش

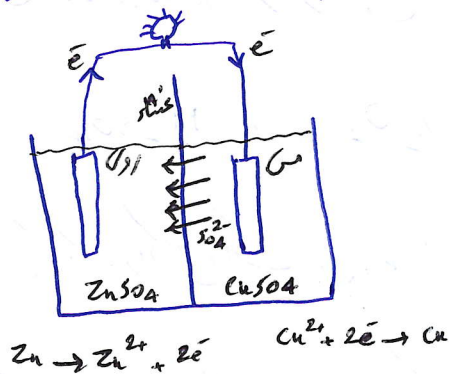


گاهش

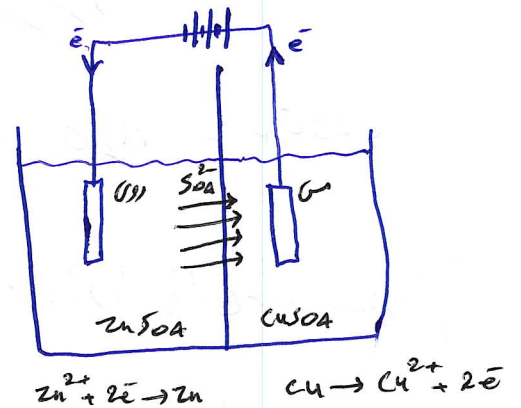
در واکنش های ردوکس ممکن، الکترون ها به طور مستقیم از گونه (D) دهنده (A) بگونه گیرنده (A) منتقل می شوند.

در واکنش های الکتروشیمیایی، واکنش های اکسایش و گاهش نا همگن هستند و در موقعیت های متفاوتی روی الکترودها

انجام می شوند، به طوری که با انتقال الکترون ها از آنده کاتد در یک مدار الکتریکی خارجی قرار به وجود می آید.



سلول گالوانی



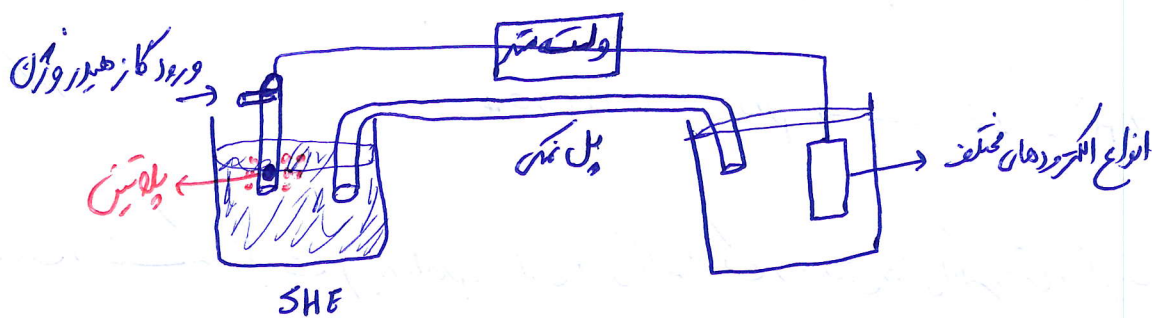
سلول الکترولیز

امکان پذیر باشد، فرایندی که واقعاً اتفاق می افتد به وسیله پتانسیل استاندارد تعیین می شود. واکنش هایی که در طی الکترولیز در سطح الکتروانجام می شوند، ممکن است شامل اکسید و کاهش حلال نیز باشند. مگر اینکه گونه هایی که راحت تر از حلال اکسید یا کاهش می شوند در حلال وجود داشته باشند.

برای مشخص این که چه گونه ای اکسید و چه گونه ای کاهش می یابد از جدول E° یا سری الکتروشیمیایی باید استفاده کرد. در واقع برای بدست آوردن سری الکتروشیمیایی، یک الکتروانساندار در نظر گرفته شد و مقدار E° آن را صفر در نظر گرفتند پس با استفاده از این الکتروانساندار و شرایط مختلف، مقادیر الکتروانساندار دیگر را محاسبه کردند و در یک جدول که واکنش های آن همه به صورت کاهش می باشند گزارش شدند.

الکتروانساندار هیدروژن شامل یک الکتروانساندار است که در یک محلول اسیدی با $pH=0$ (محلول که در آن $[H^+] = 1 M$) قرار دارد و گاز هیدروژن با فشار $1 atm$ از روی آن عبور داده می شود.

$SHE \pm$ Standard Hydrogen Electrode



به کمک جدول E° می توان واکنش پذیری فلزها را با هم مقایسه و انجام پذیر بودن یا نبودن واکنش های میان آن ها را پیش بینی کرد. در جدول E° (سری الکتروشیمیایی) هر چه E° بیشتر باشد یعنی کاهش گونه مورد نظر مشکل تر است یا برعکس. اگر E° را کمتر از E° دیگر قرار دهیم، جهت تراشه ها را می توانیم تعیین کرد و از رابطه زیر E_{cell} را محاسبه کرد:

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

قانون اهم و هدایت الکترولیت ها

هر مدار الکتریکی شامل مقاومتهای اهمی است. در فلزها الکترون ها به عنوان حامل بار عمل می کنند، در حالی که در الکترولیت ها، یون ها حامل بار الکتریکی هستند. هدایت فلزها با افزایش دما کاهش می یابد در حالی که هدایت یون الکترولیت ها با افزایش دما به علت کاهش گرانشیون اگر حلال ها، افزایش می یابد.

افت ولتاژ به علت عبور جریان از یک مقاومت با قانون اهم (ohm's law) بیان می شود: ρ اهم \rightarrow $(\frac{\Delta V}{L}) E = IR$ \rightarrow ①

برای یک مقاومت: طول L و سطح مقطع A ، R به صورت زیر تعریف می شود: ρ اهم. cm \rightarrow $R = \rho \left(\frac{L}{A} \right)$ \rightarrow ②

هدایت طبق تعریف، عکس مقاومت است، بنابراین: σ هدایت \rightarrow $C = \frac{1}{R} = k \left(\frac{A}{L} \right)$ \rightarrow ③

از ترکیب معادلات 2 و 3 افت پتانسیل اهمی بدست می آید:

$$\left(\frac{\Delta V}{L} \right) \Delta E_n = \frac{L}{A} \frac{I}{k} = \frac{I}{A} \left(\frac{L}{k} \right) = i \frac{L}{k}$$

افت پتانسیل اهمی \rightarrow ④

$$i = \frac{I}{A} \text{ شدة جریان در واحد سطح است.}$$

کمیت دیگر در هدایت نسبی، هدایت اکی والان (Equivalent conductance) است که عبارت است از هدایت یک گرم اکی والان از جسم حل شده در موصوع بین دو الکترود که به فاصله یک سانتیمتر از یکدیگر قرار دارند.

ب) اگر سلول فوق برای اسید تریک خالص (36N) هدایت برابر $5.3 \times 10^{-4} \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ نشان دهد.
 هدایت ویژه و هدایت اکی والان اسید را حساب کنید.

$$\theta = \frac{k}{C} = \frac{12.856 \times 10^{-3}}{653 \times 10^{-6}} = 19.7 \text{ cm}^{-1} \quad (\text{الف})$$

$$k = C \theta = 5.3 \times 10^{-4} \times 19.7 = 1.04 \times 10^{-2} \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1} \quad (\text{ب})$$

$$\Lambda = \frac{1000}{N} C \theta = \frac{1000}{36} \times 1.04 \times 10^{-2} = 0.29 \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

هدایت اکی والان در رقت بی نهایت

هدایت اکی والان یک جسم با رقتی شدن محلول زیاد می شود. به طور کلی می توان گفت که تحرک یون ها در درون سلول های هدایت از چهار نیروی متفاوت متأثر می شود:

1. نیروی الکتریکی (Electrical). یعنی هر چه یون های موجود با بار بزرگتری داشته باشند، تأثیر پتانسیل الکترود بر تحرک آن ها بیشتر است.

2. نیروی اصطکاکی (Frictional). این نیرو از جاذبه های آزار دهنه یون های حلال پوشیده از میان مولکول های حلال جلوگیری می کند.

3. نیروی الکتروفورزی (Electrophoretic). از تحرک یون های با بار مخالف که یون مورد نظر را احاطه کرده اند، ناشی می شود. یون های مخالف حلال پوشیده در درون میدان الکتریکی، در جهت عکس حرکت می کنند. بنابراین جاذبه های یون مورد نظر به واسطه حرکت یون های حلال پوشیده در جهت مخالف کاهش می شود.

4. نیروی است کشندگی (Relaxation). این نیرو باعث می شود که در پشت سر یون در حال حرکت، اتم های با بار مخالف به وجود آید که موجب است کشندگی در آن می شود.

به سطح الکترو دیا بالکس ایجاد می شود، نائس شود که آن قبل از آن غلظت گفته می شود

عوامل گوناگون نظیر شکل و اندازه، جنس الکترو د، ترکیب و غلظت الکترولیت و یا دما و چگالی و یا فرکانس در پدیده ای

قطر از آن موثر باشند

هدایت ویژه k ، یک الکترولیت شامل چندین گونه یون به صورت زیر بیان می شود:

$$k = \sum c_i z_i \lambda_i$$

λ_i : هدایت اکی والان

z_i : بار

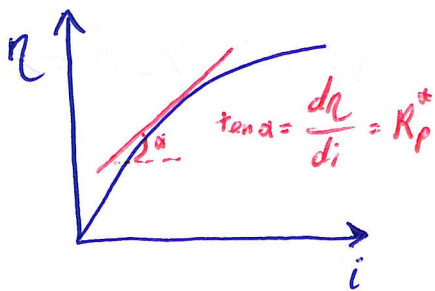
c_i : غلظت یون

برای غلبه بر مقاومت نائس از قطر از R_p^* و عبور دادن جریان معین از الکترو د (یا نیاز به پتانسیل اضافی $(\eta = iR_p^*)$)

است. وابستگی پتانسیل الکترو د به چگالی و یا از آن توان با منی قطبی شدن دارد. شیب این منحنی $\frac{d\eta}{di}$ مقاومت قطبی شدن را نشان می دهد.

$$R_p^* = \frac{d\eta}{di}$$

مقاومت قطبی شدن یک کمیت لحظاتی بوده و معمولاً با افزایش چگالی و یا دما کاهش می یابد.



قطبش سینتیک و قطبش غلظتی به طور همزمان اتفاق می افتد و مجموع آن ها برای هر الکترو د معادل پتانسیل اضافی (η) در نظر گرفته می شود.

$$E_{cell} = E_c - E_a - \eta - \sum IR$$

افتن پتانسیل اهمی پتانسیل اضافی

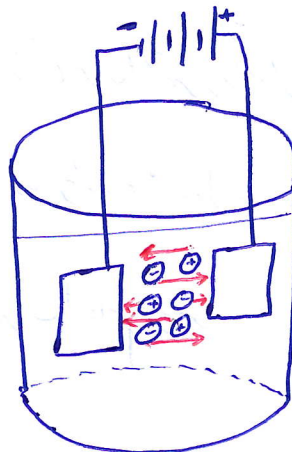
و بنا بر مسلول را می توان به صورت زیر تعریف کرد:

در نظر گرفتن که به آن عدد انتقال (t) گفته می شود:
(transition number)

بار الکتریکی \rightarrow هدایت الکتریکی و هدایت یونی

$$t = \frac{\lambda_i z_i c_i}{\sum \lambda_i z_i c_i} \rightarrow \text{نسبت مول یون}$$

نحیم هر یون در محلول



محلول عبارت است از حرکت یون ها از درون محلول در نتیجه جاذبه الکترود استاتیکی بین یون ها و الکترودها

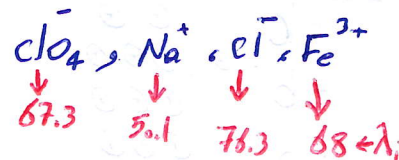
* محلول با مشخصات زیر را در نظر بگیرید:



که واکنش آند و کاتد را احیای Fe^{2+} به Fe^{3+} شکل می دهد. عدد انتقال را برای

$$t = \frac{\lambda_i z_i c_i}{\sum \lambda_i z_i c_i}$$

یون های موجود در محلول محاسبه کنید.



$$t_{\text{Fe}^{3+}} = \frac{68.4 \times 3 \times 10^{-3}}{(76.3 \times 1 \times (3 \times 10^{-3})) + (68.4 \times 3 \times 10^{-3}) + (67.3 \times 1 \times 10^{-1}) + (5.01 \times 1 \times 10^{-1})} = 0.017$$

12.173

$$t_{\text{Cl}^-} = \frac{0.2289}{12.173} = 0.019$$

$$t_{\text{ClO}_4^-} = \frac{6.73}{12.173} = 0.553$$

$$t_{\text{Na}^+} = \frac{5.01}{12.173} = 0.411$$

خوردگی (Corrosion)

خوردگی شامل فرایندهای الکتروشیمیایی می باشد که طی واکنش های اکسایش و کاهش، فلز خورد می شود. اساس خوردگی الکتروشیمیایی تشکیل پیل های الکتروشیمیایی می باشد. پیل های الکتروشیمیایی از چهار قسمت اصلی تشکیل شده اند که شامل کاتد، آنود، هادی الکترون و هادی الکترولیت می باشند. در طی فرایند خوردگی، فلز نقش آنود را بازی می کند و خورد می شود.

- | | | |
|---|---|-----------------------------|
| <p>1. پیل های گالوانیکی</p> <p>2. پیل های غلظتی</p> <p>3. پیل های با اختلاف دما</p> <p>4. پیل های موضعی</p> | } | انواع پیل های الکتروشیمیایی |
|---|---|-----------------------------|

1. پیل های گالوانیکی یا خورددهای غیر متجانس

در این نوع پیل ها جنس الکترودها، آنود و کاتد متفاوت می باشد و برای آن اختلاف پتانسیل که بین آن ها برقرار می شود واکنش های خوردگی انجام می شود. مانند اتصال لوله های مس به لوله های آهنی.

2. پیل های غلظتی

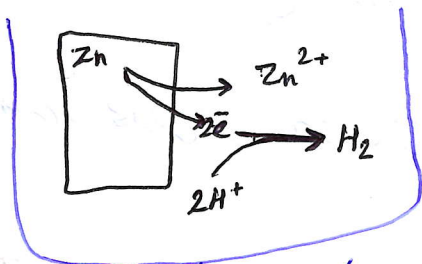
در این نوع پیل ها، جنس الکترودها یکسان می باشد و هر دو کاملاً در داخل محلولی با ترکیب شیمیایی مختلف و با غلظت های مختلف قرار دارند. پیل های غلظتی دو نوع می باشند: 1. پیل های غلظتی نمکی 2. پیل های اختلاف دما.

پیل های غلظتی نمکی: در این نوع پیل ها، الکترودها هم جنس و در داخل الکترولیت های یکسان ولی با غلظت متفاوت قرار گرفته اند. مانند قرار دادن الکترودهای مس در محلول های نیتروسولفات مس با غلظت های متفاوت. در این نوع از پیل ها، وقتی که مدار وصل می شود الکترونی که در داخل محلول رقیق قرار گرفته است نقش آنود را دارد و الکترونی دیگر کاتد می شود.



واکنش انجام نکرده به صورت زیر می باشد:

طایه واکنش های فوق، روی اکسید شده و تبدیل به یون های روی می شود و یون های هیدروژن با گرفتن الکترون های آزاد شده توسط روی، احیاء می شوند، و تبدیل به هیدروژن مولکولی می شوند. واکنش فوق به دو نیم واکنش زیر تقسیم می شود که به آن ها، نیمه واکنش های اکسایش و نیمه واکنش احیاء گفته می شود.



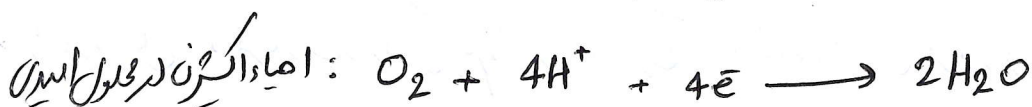
در حالت کلی هر واکنشی را که بتوان به دو یا چند واکنش جزئی اکسایش و احیاء تقسیم نمود، واکنش های الکتروشیمیایی نامیده می شود. کلیه انواع خوردگی را می توان در تعداد معدود از واکنش های عمومی خلاصه نمود. واکنش آندی در هر فرایند خوردگی، اکسیداسیون فلز به یون های مربوط می باشد. این واکنش ها در حالت کلی به صورت زیر می باشند.



مانند:



معادله در پدید، خوردگی که با چند تا از نیمه واکنش های احیاء زیر می تواند اتفاق بیفتد:



مثلاً پوشش‌های پلیمیری یا لاستیکی با مقاومت خوردگی بالا، روی فولاد معمولی که قدری مکانیکی بالایی دارد، معمول است.

آکمن (استیل غیر آلیاژی) فلز ارزانی است اما تمایل زیادی برای خوردگی دارد و به همین علت کاربرد آن محدود است.

این فلزات در الکترولیت‌های قلیایی غلیظ که فاقد یون‌های کربوکسیلات (COO^-) ، سولفات (SO_4^{2-}) ، نیترات (NO_3^-) و هالیدها (Cl^-, Br^-, I^-, F^-) هستند و در دماهای کمتر از $50^\circ C$ قابل استفاده است. امروزه در مهندسی ساخت

راکت‌های الکتریکی، استیل‌های آلیاژی و آلیاژهای نیکل نسبت به استیل‌های غیر آلیاژی اهمیت بیشتری دارند.

تخت‌نیکل خالص، تیتانیوم، زیرکونیوم یا هافنیم (Hf) می‌توانند در معرض الکترولیت‌های خفیف خوردند و در طوبی فعال

آلیاژهای در دماهای بالا مقاوم باشند. تیتانیوم و زیرکونیوم به عنوان فلزات گران قیمت و مقاوم که راحت‌تر با ایجاد

ZrO_2 و TiO_2 سطح غیر فعال (passive) و حتی پایداری در محیط‌های اکسید کننده شکل می‌دهند.

حضور یون Cl^- باعث خوردگی بسیار از فلزات و آلیاژها می‌شود، تا آنجا که به طور مخفی به فردی مقاومت خوردگی بالایی

حتی شرایط اکسید کننده و گاهنده بالا و هم‌چنین در حضور یون‌های Cl^- از خوردگی آن می‌دهد. ولی فلز بسیار گران‌قیمت می‌باشد.

اگر اسید سولفوریک در فرایند وجود داشته باشد ظروف سرب گزینشی بسیار مناسب می‌باشند زیرا سرب در چنین محیط‌هایی
لا به ازای $PbSO_4$ شکل می‌دهد و غیر فعال می‌شود.

برای الکترولیز نمک‌های مذاب مانند کربید Ti ، Mg یا Al ، گرافیت گزینشی مناسب برای پوشش سلول محسوب

می‌شود، زیرا که گرافیت نسبت به خوردگی نمک‌های مذاب داغ، گازهای خوردنده مانند Cl_2 و فلزها

مذاب (به جزء تیتانیوم) مقاوم است.

قرار دارند. فوایدی که با سرب یا کادمیوم پوشیده می شوند پتانسیل اضماع زیادی برای تشکیل (H_2) هیدروژن کاتدی دارند. این نوع الکترودها اغلب برای الکترود نشی ترکیبات آلی پیچیده می شوند.

نیکل (Ni)

الکترود نیکل به مراتب از پتانسیل گران کرب است، بنابراین نیکل را نه تنها برای الکترود پیچیده می دهند که لایه غیر فعال در سطح آن تشکیل شود. الکترودهای پوشیده با نیکل اغلب به همین منظور ساخته می شوند. در الکترولیت های اسیدی نیکل در محلول های قلیایی شامل عوامل کمپلکس دهنده، الکترودهای نیکل چندان غیر فعال نیستند. آندهای Ni در محیط قلیایی با اکسیژن O_2 تشکیل نده، ایجاد $Ni(OH)_2$ در سطح الکترود می کنند که اکسیژن را به طور متوالی به سطح می کشد.

سرب (Pb)

سرب به طور متوالی برای آندهای مقایسه کننده اکسیژن O_2 در محلول های آب خفیف اسیدی به خصوص در محلول های اسید سولفوریک مناسب است، زیرا در شرایط پتانسیل که اکسیژن مقایسه می شود، سرب با تشکیل اکسید سرب یک لایه غیر فعال ایجاد می کند.

آندهای غیر آلیاژی $Pb-PbO_2$ برای برخی از فرایندهای اکسیژن ترکیبات آلی یا معدنی به علت اضماع نقش واسطه یا تسهیل کننده مناسب هستند. آندهای آلیاژی $Pb-PbO_2$ با فلز نقره در فرایند الکترولیز استخراج فلزات در محیط اسید سولفوریک پیچیده می شود.

تیتانیوم (Ti)

تیتانیوم بهترین گزینه به عنوان آنود در فرایند کلرو-آلکالی است زیرا:

1. مقاومت فوق العاده زیاد تیتانیوم در مقابل خوردگی حفره ای و خوردگی سطحی در محلول های قلیایی و اسیدی که با نیکل و آلومینا قابل مقایسه نیست.

فصل دوم: آبخاری الکتریکی

مهندس سطح به کلیه فرایندهای (اطلاق) می شود که به منظور ایجاد، اصلاح و یا بالابردن عملکرد سطح اجسام در مقابل فرایندهای مخرب چون سایش، خشک، خوردگی، اتراسی قابلیت سازگاری، زیبایی و... به کار می رود. یکی از روش های مهندس سطح، پوشش دهی سطح است. پوشش دهی سطح فرایندی است که طی آن موادی به عنوان پوشش از طریق فرایندهای مختلف بر روی اجسام نشاند می شوند. اطلاق واژه آبخاری به انواع پوشش های الکتریکی و غیر الکتریکی بر روی سطح انواع اجسام فلزی و غیر فلزی قابل استفاده می باشد که متناظر با واژه های *Electroplating* و *plating* در زبان انگلیسی است.

اجسام (فلز، سرامیک، پلیمر، کامپوزیت و...) را به علل گوناگون با روش های نازک فلزی پوشش می دهند که عمده ترین علت آن، حفاظت در مقابل خوردگی است. به این وسیله یک راه اقتصادی برای ادغام خواص فلز پایه و روش فلزی به دست می آید و مادی مرکب حاصل می شود که هم دارای خواص مکانیکی مناسب بوده و هم در مقابل خوردگی مقادیر خوبی نشان می دهد. مثلاً فولاد معمولی به دلیل داشتن خواص مکانیکی مناسب به سادگی شکل گرفته و ارزان قیمت است ولی مقادیر آن، در اکثر محیط ها در برابر خوردگی بسیار ضعیف است، به این رفع این مشکل می توان فولاد را با فلزاتی مانند نیکل و کروم که در مقابل خوردگی مقاوم ترند، آلیاژ کرد و فولاد ضد زنگ بدست آورد که البته چنین آلیاژی نسبتاً گران است. یک روش اقتصادی که به طور گسترده ای برای تهیه روش های تزئینی مقاوم در برابر خوردگی به کار می رود ایجاد یک پوشش نازک نیکل پس کروم است.

آبخاری الکتریکی (*Electroplating*)، پوشش دهی فلزی یک قطعه رسانای الکتریکی با استفاده از جریان الکتریسیته است. هدف از پوشش های الکترولیتی تهیه روش های چسبده در سطح جسم مورد نظر است، ضمن این که پوشش

فلزی در الکترولیت به این عامل بستگی دارد که جریان های آند و کاتد را با یکدیگر برابر باشند. در بعضی شرایط واکنش آند باعث تولید اکسید در سطح فلز می شود که در چنین شرایطی، چنانچه آند غیر فعال گردد، پتانسیل الکترود تغییر می کند و آند آلوده می شود. برای یک آبکاری مناسب باید از غیر فعال شدن آندها جلوگیری نمود، چنین شرایطی را معمولاً با انتخاب الکترولیت و دما مناسب فراهم می کنند. جنس و خلوص آند نیز مهم است. تا آنکه با وان آبکاری که شامل محلول الکترولیت، کاتد و آند است می توان از جنس فولاد و یا فولاد پوشیده از مواد لاستیکی، پلی پروپیلن و یا PVC باشد. نوع الکترولیت، دما و حرکت و همچنین چگونگی گرم کردن الکترولیت در انتخاب جنس تا آنکه بسیار مهم است. منبع جریان مستقیم که معمولاً یکسو کننده (Rectifier) است که جریان متناوب را به جریان مستقیم با آمپر زیاد و ولتاژ کم تبدیل می کند. برابر آبکاری و سایر موارد نظیر به قطب مش (کاتد) منبع الکتریکی متصل می کنند. در حالی که یک الکترود معمولاً از یک فلز قطب مثبت (آند) را تشکیل می دهد. وقتی جریان الکتریکی مستقیم توسط یک باتری یا یکسو کننده تأمین می شود، یون های فلزی در سطح کاتد ترسیب می شوند. که نتیجه، تشکیل یک لایه فلزی در روی قطعه مورد نظر در کاتد خواهد بود. صاف که برابر صاف کردن محلول استفاده می شود. در وان های آبکاری، هر اندازه کیفیت محصول بهتر مورد توجه باشد به هم انداز محلول الکترولیت باید عاری از ناخالصی ها و ذرات کلوئیدی و معلق باشد. صاف کردن یا تصفیه می تواند از طریق پارچه یا تورهای فیلتر انجام می شود. دستگاه های که برابر تصفیه الکترولیت های آبکاری به کار می روند باید مناسب نوع محلول های صاف شوند باشند. بستگی به نوع غلظت یون فلزی، نوع و اندازه ذرات کلوئیدی، شکل و ساختن صاف ها متفاوت است. صاف های مورد استفاده ممکن است به صورت صافی، کپسول، نواری، تحت خلأ و یا صافی فیلتر باشند.

انتخاب آندها به اثر در فرایند آبکاری، بستگی کامل به نوع فرایند دارد، معمولاً در محیط های اسیدی از پتانسیل پوشیده

مراحل آبخاری

نکته قابل توجه در آبخاری این است که همیشه قبل از آبخاری، قطعه باید کاملاً تمیز باشد، زیرا آلودگی و چسبیدن مواد خارجی به سطح جسم زیاده می‌شود. مواردی که از سطح جسم باقی می‌ماند زودتر شنود عبارتند از:

• اکسیدها مانند زنگ فلزات، رسوبات و لکه‌ها

• مواد آلی مانند گریس، روغن و چربی

قبل از هر کاری باقی‌مانده گریس و چربی‌ها، سطح جسم را تمیز کرد تا در مرحله بعدی، شست‌و شوی اسیدی موثر واقع شود. آلودگی‌های روغنی اغلب را با محلول‌های قلیایی تمیز می‌کنند و اغلب اکسیدها را با محلول‌های سیانیدی و شونده‌ها از جسم می‌زدایند. برای تمیز کردن جسم عاری از گریس و روغن، معمولاً از حلال‌های چربی‌گیر مانند حلال‌های نفتی نیز استفاده می‌شود. مراحل مختلف که در یک فرایند آبخاری انجام می‌شود را می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی کرد:

• پرداخت مکانیکی (Mechanical polishing)

• پرداخت شیمیایی که شامل مراحل مختلف از جمله چربی‌گیر قلیایی، شست‌و شوی اسیدی، تمیز کردن با الکترولیت، فعال‌سازی در اسید و شست‌و شوی آب است.

• آبخاری

• فرایندهای آماده‌سازی بعد از آبخاری مانند فرایند کرومات

• خشک کردن و بسته‌بندی نمونه

پرداخت مکانیکی

آمادگی برای مکانیکی قطعه شامل پرداخت مکانیکی آن است. در عمل سباده‌کاری و استراحت سباده‌کاری زیر و پس از سباده‌کاری‌های نرم‌تر استفاده می‌شود. این کار اگر آب و سلیس‌کاری (SiC) یا اکسید آلومینوم

تمیزکاری الکترولیت با استفاده از الکترولیت های فلزی یا اسیدی

برای تمیز کردن قطعه ها با استفاده از الکترولیت ها، معمولاً از یک محلول فلزی قوی و یا محلول اسیدی (معمولاً H_2SO_4) به عنوان الکترولیت استفاده می شود. آن در محلول فلزی معمولاً یک سلبه آهنی و در محلول اسیدی معمولاً از جنس سرب می باشد. این که باید تمیز شوند به آهنی که در کاتد قرار دارد آویخته می شوند. شکل گاز هیدروژن باعث می شود سطح جسم در کاتد تمیز شود. به طور کلی تمیز کردن با الکترولیت اسیدی نسبت به فلزی، در حجم و هزینه کمتر نیاز دارد و سطح تمیزی بدست می آید.

روش تمیز کردن الکترولیتی به مراتب سریع تر از روش شیمیایی است. تمیز کردن رسوب ها ابتدا به روش الکترولیتی اسیدی و پس به روش الکترولیتی فلزی انجام می شود. در برخی موارد ابتدا در سستوی اسیدی، از آندها سرب استفاده می کنند تا فیلیم نازک و چندین بار از سرب روی جسم که باید تمیز شود قرار گیرد تا با این عمل تمام ذرات آلوده کشیده می شوند. و تمام سطح آبکاری شود، پس جسم را از حمام اسیدی خارج می کنند و آن را به طریقی که در یک الکترولیت تمیز کننده جاری می کنند (مثلاً (Na_2CO_3) ، سدیم کربنات (Na_2CO_3) و مقدار کمی سدیم فوسفات (Na_3PO_4)) در دمای $80-100^\circ C$ و کار می دهند تا پوشش فلزی مرحله اول حل شود. پس جسم را از حمام خارج می کنند، شستو می دهند و خشک می کنند.

نقشه مرحله

بعد از تمیزکاری و الکترولیتی، قطعه را آلوده به محلول است و باید شسته شود. این شستو باید در بین هر مرحله

شیمیایی، الکترولیتی، خشک کردن یا اسیدی کردن قطعه انجام گیرد.

ایجاد می‌کند. در آکبازی شبیه (بدون الکترود) شکل‌های پیچیده به خوبی روکش می‌شوند.

• مراحل بعد از ساخت قطعه

اگر جسم قرار است بعد از آکبازی مورد عملیات ساخت و پرداخت دیگری مانند تراشکاری، صافکاری، جوشکاری و... واقع شود، موقع انتخاب فلز روکش و روش آکبازی باید مطالعه دقیق‌تری انجام شود. مثلاً اگر قرار است قطعه مورد نظر ختم شود، روکش‌های کروم و بعضی نیکل‌ها فقط تغییر شکل جزئی را می‌توانند تحمل کنند.

آزمایش‌های مربوط به کیفیت روکش

یکی از اصول بسیار مهم تکنولوژی آکبازی، آزمایش‌های (تقو) و کامل کیفیت روکش است، تا از مشخصات مورد نظر برای روکش اطمینان حاصل شود و برآوردی در مورد کاردها و واقعی روکش پیش‌بینی و مطالعه شود. آزمایش‌های روکش‌ها را می‌توان به روش‌های زیر انجام داد:

① بازرس چشمی

ممکن است چشم یک وسیله ضعیف و با حساسیت کم جهت بازرسی به نظر آید ولی نباید نادیده گرفته شود، چون ازران‌ترین وسیله برای وسیله بازرسی و یافتن عیوب روکش (مانند ماتر و بزرگی، لکه، نقاط برهنه، وجود حفره یا چندگانه‌ها) است و می‌تواند اطلاعات مفیدی در اختیار بازرس و رزیده و با تجربه قرار دهد.

② ترکیب شبیه

ترکیب در حد عناصر در روکش‌های آکبازی ضرورت زیادی دارد، چون کوچکترین تغییر در ترکیب شبیه، روی مقاومت خوردگی تأثیر می‌گذارد. ترکیب شبیه روکش را می‌توان مستقیماً روی فلز پایه، با استفاده از پرکولا، پرکولترین و یا آزمون‌های برش به‌قطع به‌کار گرفته و از روکش به روش متالوگرافیک مشخص ساخت.

سرم کلرید و ... اگر کم در زیر است فروراهنده و پس خشک می شود. قبل از استخوان از کاغذها
آن ها را در محلول سرم کلرید خیس کرده و در قطعه لکه روکش نیکل دارد پس بچند و به مدت ۱۰ دقیقه نگه می دارند.
کاغذها پس از جدا شدن از قطعه در محلول ... اگر کم در زیر فرسایند بیایم فروراهنده می شوند تا محل های از کاغذ
که روی ناپیوستگی های روکش نیکل بوده اند که های آب ظاهر کنند.

۵) آزمایش چندگی

میوند بسیاری یا مثلاً لورنگ بین روکش و جسم پایه در روکش آبکاری با برق، از قدرت زیادی برخوردار است. در هر صورت
چندگی روکش فلزی به جسم پایه در اثر میوند ضعیف و یا در نتیجه روکش نادرست آبکاری کم می شود. اگر روکش های
که برابر آزمایش چندگی به کار می روند غیر مترب می باشند. این روکش ها فقط روی نمونه های که روکش آن ها چندگی
کافی ندارند مترب است.

آزمایش های چندگی روکش به قرار زیر است:

• آزمون جلا (Burshing test)

اگر سطح صاف یک قطعه روکش دار با یک جسم صاف گرد و صغیر فولادی یا گانچوی مالش داده شود، حرارت
ایجاد شده در اطراف لکه، روکش را در نقاطی که چندگی کافی ندارند، بلند می کند. این روکش برای آزمون چندگی
روکش کاسیم، طلا، نقره، قلع، قلع-نیکل و روی به کار می رود.

• آزمون خمشی (Bending test)

آزمون خمشی هم برای چندگی و هم برای بررسی نفوذ و چسبندگی حفرات روکش به کار می رود و برای هر دو
منظور این روکش یک است. در این روکش نمونه را دور یک قالب با ابعاد خاص خم می کنند. روکش های که چندگی
کافی نداشته باشند، در این آزمون از روی جسم پایه به صورت ورقه و پوسته جدا می شوند.

⑦ آزمائش استحکام کشش
تعیین استحکام کشش یک روکش فلزی می تواند به وسیله یک دستگاه کشش که به طور عمود عمود را تا حد پارگی کشد انجام شود.

⑧ آزمائش منحنی
منحنی یک روکش فلزی را می توان به وسیله آزمائش ضربه عمود بر سطح تعیین کرد. نتیجه این آزمائش زمانی درست است که ضخامت روکش از یک حداقل بیشتر باشد که این حداقل نیز به منحنی فلز روکش بستگی دارد.

⑨ آزمائش مقاومت خردگی
اگر روکش های فلزی برابر چگونگی خردگی به کار رفته باشد، آزمائش مقاومت آن ها در برابر خردگی لزوماً به آزمائش های دیگر پراهمیت نخواهد بود. بهترین آزمائش خردگی قرار دادن قطعه در محلولی است که جسم در آن مورد تجربه بردار قرار خواهد گرفت.

آبکاری نیکل

نیکل اولین فلزی است که در صنعت آبکاری به عنوان پوشش به کار رفته است. رنگ پوشش نیکل، تقریباً برون است و تقریباً در مقابل مواد شایسته و اسید های ضعیف و قلیا ها (به جز آمونیاک NH_3) مقاوم است. ولی در مقابل اسید نیتریک، آمونیاک و اسید کلریدریک غلیظ و همچنین بعضی نمک ها مثل آمونیوم پرفسولفات، سیانید سدیم مقاوم نیست.

اکترولیت های نیکل را می توان به صورت زیر تقسیم کرد:

اکترولیت های سولفات = (واتس)

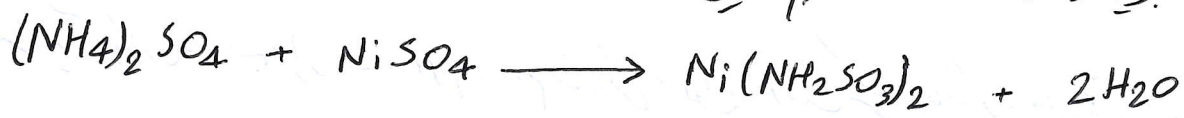
اکترولیت سولفات، حاوی نمک های سولفات نیکل، کلرو نیکل و اسید بوریک است. شرایط اجرای آبکاری دما: 45-65 °C و pH بین 3 تا 4 و چگالی جریان A/dm^2 1-3 است.

وزن جله وان الکترولیز و در این گریمن، با این مقاومت بیشتر دانسته باشند.

الکترولیت سولفات

اکسید و سولفات $(\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H})$ با نمک نیکل، نیکل سولفات $\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2$ می دهد که به آسانی در آب حل می شود و چون قدرت حلالیت آن زیاد است، الکترولیت می تواند از غلظت بالایی از نیکل برخوردار باشد. پوشش حاصل از این الکترولیت دارای حفره های مکانیکی بسیار خوبی است.

این الکترولیت با pH تقریباً 3 تا 4 و در دما 30 تا 50 درجه سانتیگراد کار می کند و در دمای بیشتر از 80 درجه نیکل سولفات به سرعت تجزیه شده و به سولفات آمونیوم تبدیل می شود.



الکترولیت های تولید نیکل براق

امروزه به علت شناخت براق کننده های (Brighteners) مناسب، پوشش های نیکل براق به طور وسیعی به کار می آیند. براق کننده های که به الکترولیت نیکل اضافه می شود، به دو دسته تقسیم می شوند: براق کننده های نوع اول و براق کننده های نوع دوم.

براق کننده های نوع اول و دوم از نظر ساختمان بسیار از دو خانواده مختلف می باشند.

پتانسیل کاتدی الکترولیت نیکل در حضور مواد اکس براق کننده، در زمان که یون فلز شروع به رسوب می کند، افزایش می یابد. بدین معنا که عمل رسوب فلز دیرتر شده و ولتاژ بالایی باید به الکترولیت اعمال شود.

براق کننده های نوع اول

مناسب ترین براق کننده های مقدماتی عبارتند از: کرباس سولفونامید، سولفونامید، تقالین در سولفونیک اسید.

این براق کننده ها به عمل اتصال کربن به عوامل سولفون (SO_2-C) هستند. حضور گوگرد نسبی و مقاومت در برابر کس و قابلیت خم شدن پوشش های نیکل را افزایش می دهد. براق کننده های نوع اول باعث ایجاد پوشش های ظریف نرم و نه چندان براق می شوند.

کروم سخت

اصولاً هر چه پوشش کروم براق تر باشد، سختی آن نیز بیشتر است، پوشش کروم ترشینه برخلاف تصویر سنت به کروم سخت استحکام بیشتری دارد اما به علت ضخامت کم، نمی تواند در برابر ضربه های مکانیکی مقاوم باشد. کروم سخت را در توان با ضخامت ۱-۵ میکرون و ضخامت ۱-۵ میکرون و در درون سطح فلزات پوشش های سخت ایجاد کرد که به پوشش کروم سخت معروف است.

کاربرد صنعتی کروم سخت بسیار متنوع است، صنعت خودرو و هواپیما از پر مصرف ترین صنایع محسوب می شوند و علت کاربرد زیاد پوشش های کروم سخت در این صنایع، مقاومت زیاد این پوشش ها در مقابل سایش و خوردگی است. کروم سخت در قطعه های فنای محرکه مثل میل پیستون موتور، کربن کبلی، دفرانسل، محور ها و... همچنین در ماشین ابزار و صنعت چاپ کاربرد دارد.

آبکاری روی

پوشش های روی در دینام الکتریسیته اسیدی و قلیایی انجام می شود و در تمام حالت ها، از آندهای روی خالص استفاده می شود.

الکترولیت اسیدی

وان اسیدی معمولاً سولفات روی دارد، هر چند نمک های کلرید یا فلورید و بورا را نیز مورد استفاده قرار می گیرد. (مایوان) ۳-۵ درصد باشد. پوشش های که از وان اسیدی بدست می آیند از روکش های حاصل از وان قلیایی نرم تر هستند، برای تهیه pH از نمک های مانند سولفات آمونیوم، کلرید آمونیوم یا اسید بوریک استفاده می شود. برای بدست آوردن یک پوشش صاف و براق معمولاً نمک کلرید، کلرید، و کترین، و لانتین یا ترکیبات آن می توان استفاده کرد. مایوان اضافه می شود.

الکترولیت قلیایی (سیانور)

الکترولیت های سیانوری به علت خصوصیات ویژه و قدرتی نجش خوبی که دارند در آبکاری کاربرد فراوانی دارند. ترکیبات این الکترولیت عبارتند از اکسید روی یا سیانور روی که ترکیب اصلی و محل کثرت فلز است، سیانور سدیم به عنوان عامل

آبکاری آلایژ Zn-Ni

موادی که مقاومت خوردگی بالایی دارند، محدود بوده و برخی نیز گرانند. برای مثال استفاده از پوشش‌های فولاد ضد زنگ و آب طلا برای برخی مصارف صنعتی توصیه اعتقاد در ندارد. از نظر الکتریکی و فنی که عناصر با هم آبکاری می‌شوند، نیکل خوردگی کم‌ترین تناسب به حالت آلایژ شده فرق می‌کند با مثال آلایژهای روی و نیکل پتانسیل کمتری لازم را برای حفاظت فولاد تأمین می‌کند. آلایژهایی که می‌توان از روی در آبکاری آلایژ محاسبه کرد، به آلایژهای Zn-Co ، Zn-Fe ، و Zn-Ni می‌گویند. این سه پوشش آلایژ Zn-Ni بهترین مقاومت خوردگی را دارد.

آبکاری الکتریکی روی-نیکل در صنعت خوردگی برای برش قطعات، خطوط سوراخ، آرماتور و مقاطع انتقال و اتصال، کاربرد دارد. آبکاری آلایژ روی-نیکل به من نوع اسیدی و قلیایی است.

الکترولیت اسیدی

این الکترولیت به من فیلوهای از رنگ‌های روی و نیکل، با فیلوهای براق کشته‌ها مجاز و دلخواه است. که معمولاً در pH های 4 تا 6 کار می‌کند. در اینجا از دو لیگاند کشته که یکی به آند روی و دیگری به آند نیکل اتصال دارد به عنوان منابع تأمین فلز استفاده می‌شود. مقدار جابجایی کار گرفته شده برای هر آند متصل از دیگر است و این جابجایی باید برای حفظ نسبت روی به نیکل در الکترولیت و همچنین در پوشش کنترل شود.

الکترولیت قلیایی

این الکترولیت به من جام‌های قلیایی روی است. این الکترولیت به من سود و آند روی برای تأمین یون روی است. نیکل به صورت یک همراه براق کشته‌ها اضافه می‌شود. مزیت جام‌های قلیایی، طبیعت ذاتی ضد خوردگی الکترولیت است آن برای قطعات آبکاری است. مزیت دیگر جام‌های قلیایی در عمل راحت کار با آن است. استفاده از یک منبع لیگاند و آندهای روی مرسوم، کار با این جام را آسان‌تر می‌کند.

علاوه بر مواد رسوب نشود، دیگر مانند هیدروکسید فلزات سنگین، سولفات کلسیم و... تبدیل می شوند. و به صورت لجن بویله صاف از آب جدا می شوند. در اثر این عملیات هم به مقدار از مواد فوق به صورت نمک در آب باقی می ماند لذا این که برای شکل تصفیه شد، است، فقط برابر معارف خاص به کار می رود.

روش های خنثی سازی سیاب ها

سیاب کروم

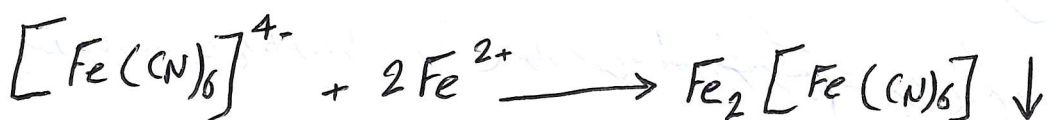
کروم موجود در سیاب ها، آجکاری ممکن است به دو صورت کروم به ظرفیت و کروم شش ظرفیت باشد. برای تصفیه این سیاب ها، ابتدا باید pH حدود 2 تا 3.5 تنظیم شود. پس با استفاده از یک ماده کاهنده، مانند به سولفیت سدیم عمل کاهشی کروم شش ظرفیت (Cr(VI)) انجام می شود. کروم به (Cr(III)) در pH های 4.5 تا 7.5 در حوضچه خنثی سازی به صورت هیدروکسید کروم (III) رسوب می کند.

سیاب سیانوری

سیانور خطرناک ترین سم در آجکاری است که به هر ترتیب باید از آب جدا شود. روش های مختلف برای تجزیه، تخریب و جدا سازی این سم وجود دارد که در عمل از دو روش استفاده می شود:

رسوب دادن سیانور به شکل کمپلکس غیر محلول سیانور آهن

رسوب دادن سیانور که در عمل به شکل کمپلکس غیر محلول در قاعده انجام می شود، به شرطی امکان پذیر است که محلول خیلی رقیق نباشد. در این روش مهمت اعظم سیانور به کمک نمک های آهن به شکل کمپلکس رسوب داده می شود. واکنش های خنثی سازی عبارتند از:



فصل سوم: صنعت کلرو-آکالین

مقدمه

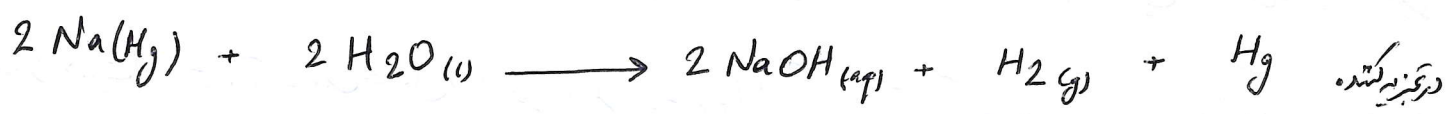
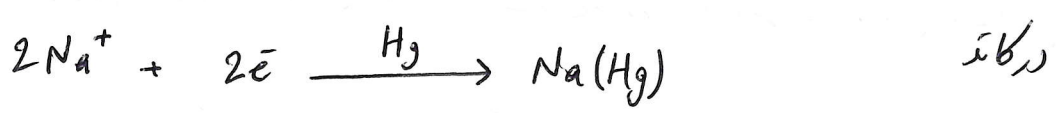
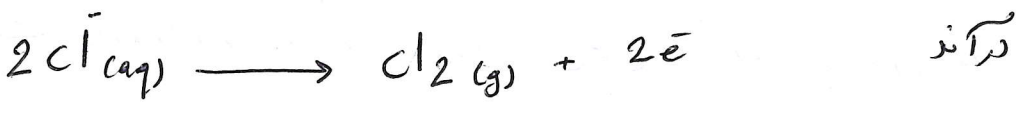
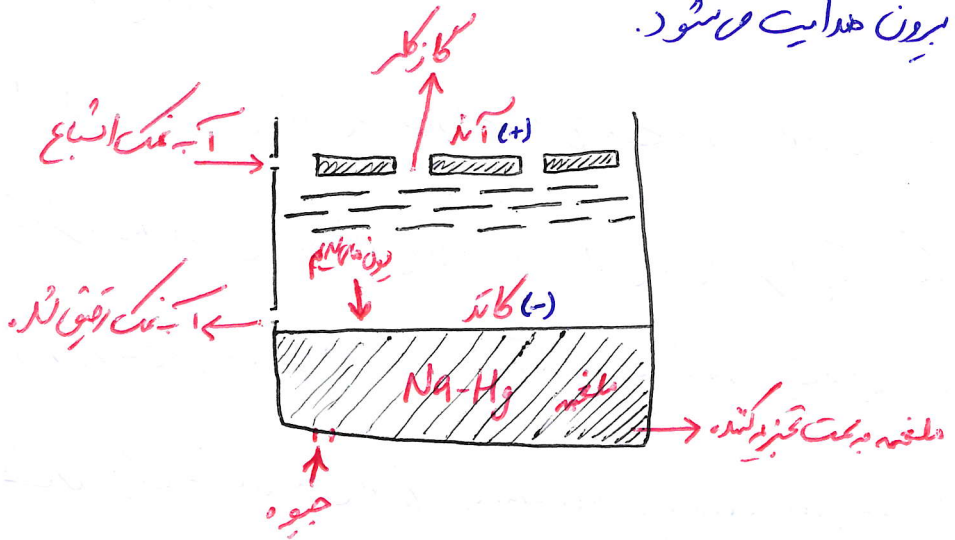
صنعت کلرو-آکالین یکی از بزرگترین صنایع الکترولیز در جهان است. کلرو-سود سوزآور (caustic) که به طور همزمان از الکترولیز محلول سدیم کلرید (NaCl) تهیه می‌شوند به همراه اسید سولفوریک و آمونیاک جزء مهم‌ترین مواد شیمیایی صنعت محسوب می‌شوند. در صنعت کلرو-آکالین بیش از ۵۰ سال از گراویتی به عنوان آند استفاده می‌شد. گراویتی به علت اکسایش جزئی کردن به CO_2 عواقب مانند افزایش افت اهمی الکترولیت و در نتیجه مصرف زیاد انرژی را به همراه دارد. در اواخر سال ۱۹۶۰ پروسه‌های اکسید فلزات نجیب در بریتانیسم مورد توجه واقع شد و انقلاب در این صنعت به وجود آمد. این اکسیدهای فلزی که عموماً اکسید روتنیوم (RuO_2) و اکسید تیتانیوم (TiO_2) بودند، پتانسیل مازاد کمی برای کلرین می‌دهند. از لحاظ ابعاد به کار رفته کاملاً پایدارند. در تمام سلول‌های مدرن امروزی از آن‌ها با ابعاد پایداری (Dimensionally Stable Anode) به نام تجاری DSA استفاده می‌شود. در سلول‌های دیافراگمی از استیل، در سلول‌های غشایی از نیکل و در سلول‌های حبابی از جنس کاتد استفاده می‌شود.

امروزه کلرو-هیدروکسید سدیم در مقادیر زیادی از فراورده‌های روزمره به کار می‌روند از جمله این فراورده‌ها می‌توان به مواد دارویی، شوینده‌ها، بوبرها، مواد ضد عفونی کننده، علف کش‌ها، حشر کش‌ها و پلاستیک‌ها اشاره کرد.

انواع صنایع کلرو-آکالین

کلر از الکترولیز محلول سدیم کلرید که معمولاً به آب نمک (Brine) معروف است، تهیه می‌شود. زمانی که سدیم کلرید در آب حل می‌شود به کاتیون‌های سدیم و آنیون‌های کلرید تفکیک می‌شود. یون‌های کلرید در سطح آند اکسید می‌شوند و گاز در آب حل می‌شود به کاتیون‌های سدیم و آنیون‌های کلرید. یون‌های کلرید در سطح کاتد کاهش می‌یابند تا این‌ها هیدروکسید و گاز هیدروژن تولید می‌شود. یون‌های کلرید می‌توانند موم‌نکوهای آب در سطح کاتد کاهش می‌یابند تا این‌ها هیدروکسید و گاز هیدروژن تولید می‌شود. یون‌های

و در سطح آنند الکترون نیزند و تولید گاز Cl_2 می کند. یون سدیم نیز با جیوه واکنش می دهد و ملغنه سدیم (آلیاژ سدیم-جیوه) $(Na(Hg))$ تولید می کند. از سمت پایین سلول به داخل یک تانک منتقل می شود. ملغنه سدیم در تجزیه کننده (Decomposer) با آب واکنش داده و تولید سود سوزآور و هیدروژن می کند. گاز هیدروژن به همراه بخار آب اشیاع از سمت بالا تجزیه کننده خارج می شود و سود سوزآور 5 درصد به سمت بیرون هدایت می شود.



این فرایند ملغنه به وولترهای کاتد جیوه ای یا ملغنه سدیم بستگی دارد. چون پتانسیل اضافی (over voltage) متغییر هیدروژن بسیار زیاد است، هیدروژن بسیار ناچیزی مقادیر شود و یون های سدیم می توانند به سرعت کاتد را کاهش یابند:



سرعت این فرایند سریع است. اما به طور عمده توسط نفوذ سدیم در جیوه کنترل می شود. در هر صورت اگر

کیفیت ضعیف یعنی از ترکیبات سود سوزا کم شود.

اکثر مهندسان گرافیت به دلیل فرایند الکترود کردن کربن خود را تحت محافظت می‌شوند و کم کم به دلیل واکنش الکترود، اکسید کربن خود را

به CO و CO_2 تبدیل می‌شوند.

در سلول های جیوه ای معمولا فاصله بین کاتد و آنود را به تنظیم می‌کنند تا ولتاژ برق مصرفی در واحد وزن سود تولیدی کاهش یابد.

در سلول های دیافراگمی به علت ساختار سلول دیافراگم فاصله بین الکترودها را نمی‌توان تنظیم کرد. به عبارت دیگر IR بین آنود و کاتد

بالا رفته و افتایش می‌یابد.

بریدن تحلیل دیافراگم از بسته با ذرات گرافیت و همچنین رسوب ترکیبات کلیم و منیزیم از جمله عوامل هستند که باعث افتایش

افت IR در سراسر دیافراگم می‌شوند. اگر از الکترودهای DSA استفاده شود، نیاز به تنظیم فاصله بین الکترودها نیست.

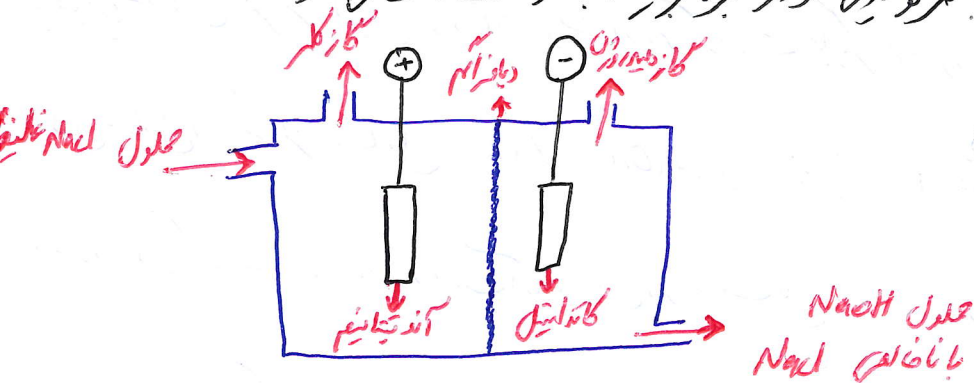
استفاده از یک بار به جلوی زیاد نیز باعث به حداقل رساندن افت IR در سراسر دیافراگم می‌شود. در هر صورت در محال

با فرایندهای دیگر، در فرایند دیافراگمی، سود سوزا کم و گاز کلر با کیفیت کمتری تولید می‌شوند. اکسیدیت (OH^-) با محلول یا

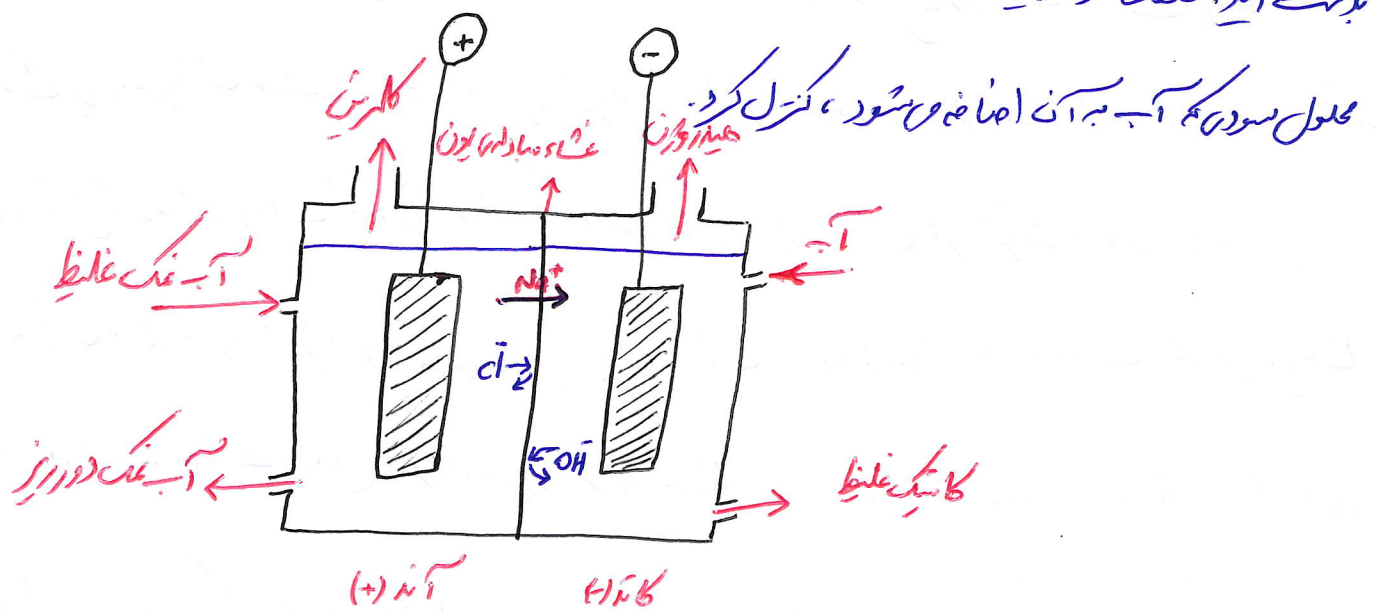
چون محلول به سرعت به اکسید، اکسید می‌شود و به همین دلیل برابر با این نکته دانسته غلظت یون هیدروکسید باید به

طور پیوسته، اسید کلریدریک به محلول اضافه شود تا pH کمتر از 7 نگه داشته شود. اگر HCl به محلول اضافه نشود و pH

تا حدود 5 افتایش یابد، اکسید منتهی با کلر تولید می‌شود و عبور جریان به شدت افت می‌کند.



در این فرایند، آب نمک اشباع به داخل قیتم آندی (آنولیت) وارد می شود، گاز کلر در سطح آند مساعده می شود و یون های سدیم به سمت کاتولیت محلول می کشند. برخلاف دیافراگم در فرایند دیافراگمی، نمک تبادل کاتیون از محلول به یون های کلرید به سمت کاتولیت جلوگیری می کند و فقط یون های سدیم و مولکول های آب هدایت می کنند. $(Na^+ \cdot 4H_2O)$ می تواند از غشای عبور می کشد. یون های کلرید در سطح آند اکسید می شوند تا جایی که مقدار $NaCl$ به کمترین مقدار برسد. در انتهای فرایند $NaCl$ واکنش ندارد و دیگر یون های بر اثر در آنولیت باقی می ماند. آب در سطح کاتد الکترولیز می شود تا سود سوزآور 32-35٪ بدست آید. غلظت سود تولید شده را می توان با کمترین سرعت آب که به طور مستقیم به قیتم کاتولیت اضافه می شود و یا با کمترین



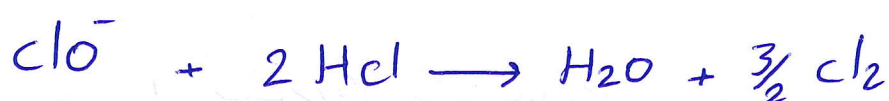
باقی به نفوذپذیری جزئی بین هیدروکسید، مقدار کمی از یون های هیدروکسید ممکن است از کاتولیت به آنولیت نفوذ کنند و باعث تولید اکسیرن آندی شوند. برای جلوگیری از این عمل pH آنولیت را با افزودن پیوسته HCl در حدود 3 ثابت نگه می دارند.

نکته: تبادل یونی باید آل در فرایند کلر-آلکال باشد دارای ویژگی های زیر باشد:
 - کمترین پذیرش خوب برای یون های سدیم یا پتاسیم داشته باشد.
 - به یون های کلرید، هیدروکسید و کلر از اجازت عبور ندهد.

به وسیله می‌تواند با گروه‌های اکسوز سولفوناته شوند، که در این صورت نقش این گروه‌ها برای مبارزه با آزادانی کاتیون‌ها و هیدراته که منجر به هدایت یونی زیاد و کنترلی پذیرفتنی می‌شوند، از بین می‌رود.

بازیابی آب نمک برگشتی از سلول الکترولیز

در فرایندهای غشایی و جیوه‌ای، غلظت نمک در آنولیت کاهش و غلظت ناخالصی‌ها افزایش می‌یابد. این محلول در مین‌ها، هیپوکلیت و کلرکات و باید همیشه مکرر موصود در آب نمک در تمام شکل‌ها موصود، از جمله آب نمک حذف شود. این فرایند با اسیدی کردن در آب نمک با مقدارکان HCl و رساندن pH به 2 و انتقال الکترولیت اسیدی شد. به یک کلرزدا در تحت خلأ انجام می‌شود. هیپوکلیت و کلرکات طبق معادله‌های زیر به کلر تبدیل می‌شوند:



خالص سازی کلر

گاز کلری که از الکترولیت به روش کلرزدا در تحت خلأ بازیابی می‌شود، بسته به دما و غلظت محلول شامل 40-60٪ حجمی بخار آب است که در لوله‌ها سردکنند. از جنس تیتانیوم (Ti)، بخارکن حذف می‌شود. برای خالص سازی بیشتر گاز کلر توسط اسید سولفوریک غلیظ خشک می‌شود. در شکل صفحه بعد، فرایند جریان مخالف (Counter current) برای خشک کردن گاز کلر آمده می‌شود. در این فرایند گاز کلر ابتدا توسط سولفوریک اسید 78٪ پس توسط سولفوریک اسید 96٪ خشک می‌شود. گاز کلر خشک شده توسط سلیندرهای چدن نگهداری و

مقایسه فرایند

از مزایای فرایند حیوه ای می توان به خلوص کمر سود سوزاک و در وهله نخست تولید سریع و یک مرحله ای سود سوزاک و غلظت نسبت به فرایندهای دیگر است که در دل بازاریابی حیوه از محصول، خصوصاً از هیدروژن، مشکلی جدی بوده که باعث افزایش سرمایه گذاری برای این نوع واحدها می شود. عیب اصلی فرایند حیوه ای مربوط به مشکل = زیست محیطی است. در خلوص سود سوزاک و در سلول های غنی با سلول های حیوه ای قابل مقایسه است، اما در سلول های غنی سود سوزاک 35-30٪ وزنی تولید می شود که نیاز به تغلیظ دارد. کمر تولید شده در فرایند غنی شدن اکسیژن است و یک مرحله مایع سازی برای خالص سازی کمر ضروری است. فرایند یا فراکتیو از نظر ناخالصی و رقت سود سوزاک و کمر، معایب دارد، با این حال اجرای این فرایند در کنار فرایندهای غنی و حیوه ای امکان پذیر و مفید است. از نظر اقتصادی، فرایند غنی بهترین مزیت را دارد چون نه تنها مصرف انرژی برای این فرایند کم است، بلکه هزینه سرمایه گذاری نیز نسبت به دو فرایند دیگر کمتر است.