

استاندارد تعیین مواد و محل بکارگیری فلزات فداشونده در سازه‌های دریایی

یوسف ذوالفقاری کیان - صنایع دریایی فجر
آدرس: تهران - خ فرجام - خ ملک لو - پلاک ۱۸۳
پست الکترونیکی: yusef_kian @ yahoo.com

چکیده

هدف مقاله ارائه شده در وهله اول شناسایی دقیق سازه‌های دریایی از حیث اهمیت نوع فلزبکار گرفته شده در آنها می‌باشد. پس از این شناسایی تعیین بهترین فلزی است که نسبت به سازه مد نظر الکترون دهی بهتری را داشته باشد. سپس با توجه به ابعاد سازه و آبخوری که دارا می‌باشد به محاسبه وزن آند می‌پردازیم و وزن آند مد نظر و همچنین بهترین مکانهای نصب آنرا تعیین می‌نماییم. البته آنچه در این مقاله ارائه شده است بیان بسیار مختصر و گذرایی از این شناسایی می‌باشد که مباحث و محاسبات آن در این مقوله نمی‌گنجد.

کلمات کلیدی

خوردگی - آند - حفاظت کاتدیک

مقدمه

یکی از پدیده‌های مهم علمی و فنی و اقتصادی که کمتر از یکصد سال است که توجه عده‌ای از پژوهشگران و دانشمندان را به خود جلب کرده است و مطالعات زیادی بر روی آنها صورت گرفته مسئله خوردگی میباشد. خوردگی پدیده مخرب و هزینه‌آفرینی است که همه ساله موجب هدر رفتن مبالغ هنگفتی از سرمایه کشورها میگردد. مصرف رو به تزاید مواد خورنده و لزوم برقراری شرایط عملیاتی مختلف و بحرانی در واحدهای صنعتی زیانهای مالی و جانی را با روند فزاینده‌ای رو برو ساخته است.



این پدیده در صنایع دریایی به صورت چشمگیرتری مشاهده می شود زیرا وسایل و تجهیزات (شناورها و سکوها و...) که دائماً با الکترولیت چون آب دریا در تماس می باشند. شناخت نوع سازه دریایی (از نظر جنس، خواص مکانیکی و شکل هندسی و...) همچنین آگاهی از محیطی که سازه باید در آن به کار گیری شود گام مقدماتی و مهمی می باشد. که طراح باید در نظر داشته باشد، و این بدین معنی است که تعداد پارامترهای مجهول برای حل مسئله رو به کاهش می باشد. بنابراین باتوجه به موارد ذکر شده باید به تعیین مجهولات اصلی مسئله که چگونگی مقابله با این شرایط است بپردازیم. که در مقاله حاضر مختصراً بدان اشاره شده است.

شناسایی سازه دریایی و عوامل موثر بر آن

قبل از آنکه ساخت سازه دریایی را شروع نماییم ابتدا باید در مورد فلزات یا موادی که بکارگیری خواهد شد اطلاعات جامعی را داشته باشیم. این کار از آن حیث اهمیت پیدا می کند که پس از ساخت سازه، سازه باید عمر مفیدی را داشته باشد همچنین هر چه اطلاعات در مورد مواد بکار گرفته شده جامعتر و وسیعتر باشد محافظت آن نیز آسانتر خواهد بود و نتیجه آن حفظ و نگهداری سازه و صرفه اقتصادی می باشد. هنگامی که سازه دریایی در محیط خورنده ای چون دریا قرار می گیرد با انواع خوردگیها مواجه می شود که برخی از آنها عبارتند از: خوردگی یکنواخت، گالوانیکی، حفره ای، شیاری، بین دانه ای، تنش، سایشی، میکروبی و خوردگی ناشی از خستگی که بر اثر اعمال بارهای دینامیکی پدید می آید. از میان انواع خوردگی های یاد شده خوردگی گالوانیکی و میکروبی از اهمیت بسزایی برخوردار هستند. چنانچه خوردگی میکروبی که ناشی از وجود موجودات تک سلولی، گیاهان، قارچها، خزها و... می باشد بتنهایی ۲۰ درصد کل خوردگی ها را به خود اختصاص داده است.

البته مطابق استاندارد های دریایی هنگامیکه وسایل نقلیه دریایی سرعتی بیش از چهار گره را داشته باشند اثرات این خوردگی بر آنها بسیار کم خواهد شد. پس از شناسایی مواد اولیه ای که ساختار سازه را تشکیل می دهد آگاهی از انواع خوردگی و مکانیزم عملکرد آنها باید با توجه به شرایط عملکرد سازه از میان انواع خوردگیهای یاد



شده موثرترین آنها را بترتیب (الویت بندی) تعیین نمود و سپس به بررسی عوامل موثر بر آن پرداخت، که از جمله این عوامل می توان به موارد ذیل اشاره نمود :

- اثرات گالوانیکی، که ناشی از اختلاف پتانسیل بین فلزات غیر همجنس می باشد و با وجود الکترولیت قوی چون آب دریا شدت آن بیشتر می شود.

- اثرات اتمسفری : شدت خوردگی اتمسفری که به دما ، رطوبت و آلودگی هوا و منطقه مد نظر ارتباط دارد. مثلاً در نزدیکی سواحل دریا بیشترین خوردگی از اتمسفر خشک می باشد و کندانس بخار در نزدیک دریا اثرات هدایتی در فلزات را به همراه دارد.

- اثرات فاصله : اثرات گالوانیکی معمولاً در نزدیکی محل اتصال دو فلز شدیدتر است و با دور شدن از این نقطه خوردگی نیز کاسته می شود. فاصله ای که لحاظ می شود به مقاومت محلول بستگی دارد که باید آنرا مد نظر قرارداد.

- اثرات سطح : اثر سطح یعنی نسبت سطح کاتد به سطح آند. نسبت سطحی نامناسب مشتمل بر کاتد بزرگ و آند کوچک است. هر مقدار که دانسیته جریان در یک منطقه آندی بزرگتر باشد سرعت خوردگی بیشتر است .

خوردگی نواحی آندی ممکن است ۱۰۰ الی ۱۰۰۰ برابر بیشتر از حالتی باشد که سطح آند با کاتد برابر هستند .

$$(>>1) \text{ (سطح آند / سطح کاتد)}$$

اثرات و عوامل مهم دیگر نیز مطرح می باشند که در اینجا فقط به نام آنها اشاره می شود که عبا رتند :

- تاثیر اکسیژن حل شده در آب و اکسیدکننده ها
- اثر سرعت سیال
- تاثیرات غلظت الکترولیت و PH محلول
- اثرات رطوبت و مواد معدنی
- اثرات اغتشاش بیش از حرکت جسم و اثر متلاطم جریان سیال
- اثرات کاویتاسیون
- اثرات بیولوژیکی
- اثر ترک موجود در سطح مایع
- اثر نوع پوششهای مورد استفاده بر سازه دریایی
- اثر زمان

- اثرات بیولوژیکی باکتریها که خود شامل

۱- ماکرو بیولوژیک (فارچها و خزه ها...)

۲- میکروبیولوژیک شامل باکتریهای هوازی و باکتریهای بی هوازی می باشد.

شناسایی تعیین فلز آند

مسئله استفاده آند قبل از بوجود آمدن علم الکتروشیمی (سال ۱۸۲۴ میلادی) توسط H.Davy در کشتیهای انگلیسی بکار گرفته می شد. قبل از استفاده آند در سازه های دریایی به چند مطلب توجه نمود که بشرح زیر می باشند:

۱- آشنایی با عملکرد فلز آند

قبل از نصب طراح یا گروهی که آند گذاری را برعهده دارند باید کاملاً با عملکرد شیمیایی آن آشنایی داشته باشند. بررسیها نشان می دهد که با دادن الکترون به فلز ، انحلال آن تقلیل می یابد و اگر فرض کنیم جریان از قطب مثبت منفی می رود جریان از الکترولیت وارد سطح فلز گردیده و باعث محافظت فلز خواهد شد.

۲- روشهای موجود استفاده از آند

معمولاً استفاده از آند به دو گونه انجام می گیرد. روش اول : بوسیله یک مولد برق. روش دوم : بوسیله ایجاد یک زوج گالوانیکی است. بطور مثال در صورت داشتن یک مخزن زیرزمینی می بایست آنرا به قطب منفی مولد جریان برق مستقیم (DC) وصل نمود و قطب مثبت به یک آند متصل می گردد ، و محل اتصال کابل و تانک والکتروود (آند) باید به دقت عایق شود تا از نشت جریان جلوگیری نمود. البته یکی از اشکالات این روش وجود جریانهای سرگردان می باشد که بین آند و تانک (مخزن) صورت می گیرد که با استفاده از فلز سومی می توان از آن جلوگیری نمود.

در روش دوم باید پس از شناسایی و آشنایی کامل با خواص مکانیکی فلز سازه باید مناسبترین فلز از لحاظ اختلاف پتانسیل ، هزینه های اقتصادی و... بررسی نمود و سپس با استفاده از جداول الکترون دهی مواد و اختلاف پتانسیل آنها نسبت به هم، فلز قربانی شونده را در مقایسه با فلز استفاده شده در سازه انتخاب نمود . البته ابعاد آند باید دقیقاً مورد بررسی و محاسبه قرار گیرد.

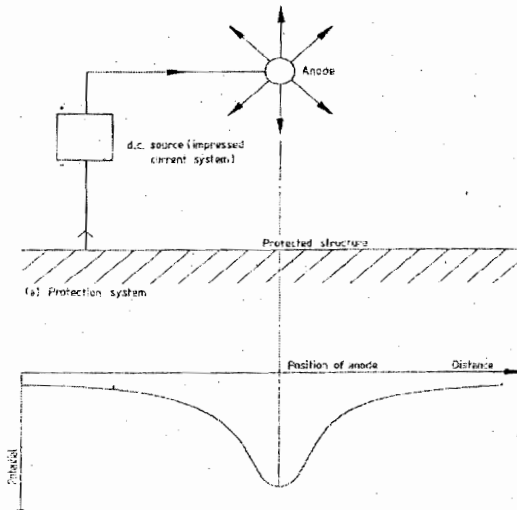
۳- توازن الکترون دهی در سطح

در استانداردهای نظامی و غیر نظامی به مطلب مهمی به نام توازن الکترون دهی آند اشاره شده است.

توزیع پتانسیل الکتریکی در این سطح به صورت یکنواخت نمی باشد علت این امر موارد ذیل میباشد:

- فاصله یا جدایش بین سازه و آند مربوطه
- مقاومت زیاد الکترولیت و الکترون دهی
- نیاز به دانسیته جریان بالا برای محافظت سازه
- مقاومت الکتریکی بالا میان بخش های مختلف سازه
- کیفیت نامناسب رنگ کاری (پوشش) غیریکنواخت سطح سازه.

شکل زیر سیستم محافظ کاتدی و توزیع آن را در یک سازه نمایش میدهد.



۴- شعاع الکترون دهی

شعاع الکترون دهی یک فلز آند یکی از مهمترین پارامترهای مدنظر در طراحی و انتخاب فلزات آند می باشد. برای تعیین سطحی که یک می تواند آنرا حفاظت کند می توان از روابط زیر استفاده نمود. فرض کنید طبق استاندارد آندی با وزن W_{1a} انتخاب شده باشد که W_{1a} برابر با :

$$W_{1a} = (\bar{I}_{av} \cdot A_{1a} \cdot L \cdot 8760) / C$$

W_{1a} = وزن یک آند بر حسب کیلو گرم

\bar{I}_{av} = میانگین دانسیته جریان خواسته شده از طرف بدنه (A/m^2)

L = عمری که طراح برای آند در نظر گرفته است.

A_{1a} = سطحی که یک آند می تواند آنرا محافظت نماید.



برای سادگی مسئله در مرحله اول فرض کنید آند یک فضای کروی شکل را محافظت خواهد نمود، و فرض دوم اینکه جرم آند را بصورت متمرکز در مرکز این سطح (کره) در نظر می گیریم. لذا خواهیم داشت :

$$S = 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot r^2 = A1a = C \cdot W1a / (I_{av} \cdot L \cdot 8760) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow r = \frac{1}{2} \left(C \cdot W1a / \left(\frac{1}{4} I_{av} \cdot L \cdot 8760 \right) \right)$$

بنا بر این فاصله آندها در این مورد نباید از $2r+2a$ بیشتر باشد و لزوماً برای پوشش کامل بدنه باید به مقدار مناسبی از این مقدار کمتر باشد. (a شعاع متوسط آند می باشد)

توجه داشته باشیم برای محاسبات دقیقتر می توان از هندسه بیضی گون نیز استفاده نمود فقط به این نکته باید دقت داشت که شعاعهای الکترون دهی در فاصله طولی $2A+2a$ و عرضی $2B+2b$ در نظر گرفته می شوند که A و B به ترتیب قطرهای بزرگ و کوچک بیضی می باشند.

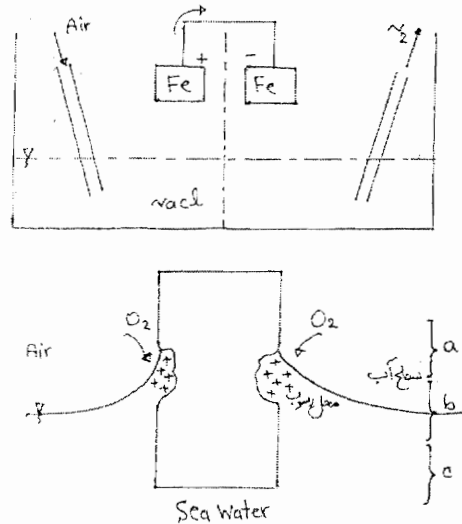
عوامل دیگری که در انتخاب آند باید بررسی شوند عبارتند از :

تاثیر عمق آب بر شعاع الکترون دهی آند ، تاثیرات دما در سطح و عمق ، تغییرات دانسیته آب و اثرات آن بر دانسیته جریان آند ، اثرات تغییر PH از سطح تا عمق ، اثر کلرولیتی ، اثر ترکیب کننده های میکروبیولوژیکی ، تاثیر حل شدن اکسیژن در سطح و عمق آب ، تاثیرات گازهای محلول و آلودگیهای آب ، تاثیر هندسه و شکل ظاهری آند ، اثر سرعت و اثر زمان و....

محل نصب آند

مشاهده شده است که سطح مشترک آب و هوا بر روی سازه های دریایی بیشترین خوردگی را نسبت به سایر نقاط دارا میباشد. البته خوردگی این نقاط علاوه بر خوردگی گالوانیکی بیشتر شامل خوردگی حفره ایی می باشد. در سطح مشترک مذکور نوعی پیل که به پیل اختلاف دمشی (Differential Aeration Cells) معروف است تشکیل ، و در نهایت فرایند خوردگی را تسریع می نماید . این فرایند در شکل زیر نشان داده شده است . مشاهده شده است که با دمیدن ازت در یک طرف پیل اختلاف در غلظت اکسیژن ایجاد شده و به علت اختلاف پتانسیل ، جریان الکتریکی ایجاد می گردد. پیل اختلاف دمشی در مورد فلزاتی نظیر فولادها، آلومینیم و سایر فلزاتی که در محیط

دریا قرار دارند باعث خوردگی حفره ای می شود. در واقع عامل اصلی ایجاد این نوع خوردگی اختلاف پتانسیل در غلظت محرک آند می باشد، که در اینجا نقش محرکه آند را اکسیژن بازی میکند.



غلظت اکسیژن در سطح آب به علت مجاورت با فاز هوا و حل شدن اکسیژن در آن نسبت به قسمت‌های پایینی بیشتر است. به همین علت لایه اکسید فلز در سطح مشترک آب و هوا بر روی فلز گسترش می یابد. در طرفین لایه اکسید فلز بصورت آند- کاتد عمل می نماید و چون اکسیژن یک اکسید کننده است قسمت **a** و سپس **b** بصورت یک **passive** در آمده و لایه فلز زیرین این اکسید نقش یک رسانا را بازی می کند و در نهایت این بخش کم کم احیا شده و بصورت یونهای فلز وارد آب دریا می شود.

لذا می توان چنین نتیجه گرفت که سطح جدایش آب و هوا بیشترین خوردگی را در فلز ایجاد می نماید. اما به علت اینکه آند باید در الکترولیت باشد باید آنرا از نظر ارتفاعی قدری پایین تر از سطح آب دریا قرار داد.

مطابق استاندارد فواصل طولی آندها باید (مبنا اندازه از ابتدای شناور در نظر گرفته می شود) در فواصل ۶ متری الی ۷/۵ متری قرار گیرند. البته با محاسبه شعاع الکترون دهی موثر این فواصل را می توان دقیقاً تعیین نمود. در بخش نرم افزاری این مقاله (البته بدلیل گستردگی بخش نرم افزار در اینجا از آن صرفه نظر می شود) چگونگی محاسبات و روش برنامه نویسی آن کاملاً شرح داده شده است.

در خصوص پاشنه شناور در نظر داشته باشید که ۲۰ درصد کل آندهای محاسبه شده باید در این مکان نصب شوند



محاسبات و طرح یک سیستم آند

برای محاسبات آندگذاری در مرحله اول باید سطح آبخور سازه مورد نظر را محاسبه نمود. این سطح از رابطه زیر محاسبه می شود :

$$100 / (\text{Break down} \% \times \text{سطح حاضر}) = \text{سطح خیس شده}$$

دزسد Break down با عمر سازه تغییر می نماید که جداول آن در استانداردهای خوردگی ارائه شده است. برای شناور ها رابطه تجربی وجود دارد که اشکال آن این است که سطح خیس شده را کوچکتر در نظر می گیرد این

$$\text{رابطه برابر است با : } (1.8.LBP.D) + (LBP.BC.B)$$

$LBP = \text{length between perpendicular} = D$ = آبخور $BC = \text{ضریب بالک}$
 $B = \text{عرض شناور}$

ضریب BC برای شناور های مختلف برابر است با :

Vessel name	Block coefficients	Vessel name	Block coefficients
Cargo vessel	0.75	Coasters	0.75
Trailer	0.55	Yachts	0.4 – 0.5
Tankers	0.8 – 0.9	Tugs	0.6
Naval vessel	0.55	Dredgers	0.8
Lunches	0.4	Passenger vessel	0.6

دانسیته جریان کاتدی

با توجه به فلز مد نظر و الکترولیت (آب دریا) و با در نظر گرفتن دما ، زاویه جریان هوا ، سطح محافظتی و عوامل دیگر می توان دانسیته جریان را از جداول مربوطه استخراج نمود.

تعیین طول عمر

سیستم حفاظت کاتدیک ممکن است برای عمر ۱ الی ۴۰ سال طراحی شود. البته با افزایش زمان حفاظت ، جرم آند نیز افزایش می یابد. لذا طراح با در نظر گرفتن کارایی سازه عمر مفید آنرا باید در این مرحله تعیین نماید.



محاسبه وزن و تعداد آند

ابتدا وزن کل آند لازمه را برای حفاظت سازه و طول عمر مد نظر را محاسبه نموده و سپس تعداد آندها را می‌یابیم .

$$W1a = (Iav.A1a.L.8760) / C$$

با محاسبه وزن کل آند باید جریان خروجی از آنرا نیز محاسبه نماییم . که بصورت زیر می باشد :

$$I = (E2 - E1) / R$$

$$I = \text{جریان خروجی آند (A)}$$

$$E1 = \text{پتانسیل بکارگیری (V)}$$

$$E2 = \text{پتانسیل محافظتی (V)}$$

$$R = \text{مقاومت آند (اهم)}$$

نکته قابل تامل این است که عمر آند را نیز می توان محاسبه نمود که عبارت است از :

$$L = (MU/IE)$$

$$L = \text{طول عمر برحسب سال}$$

$$M = \text{جرم آند برحسب کیلو گرم}$$

$$U = \text{تابعی از هندسه و ابعاد آند می باشد (kg/Ay)}$$

$$E = \text{نرخ زوال آند (V)}$$

$$I = \text{جریان خروجی (A)}$$

محاسبه تعداد آندها نیز از رابطه زیر استفاده می شود .

$$N = A1aw / I$$

این رابطه برای تعیین ۱۰ الی ۱۰۰۰ آند در صورت استفاده صحیح از فرمولها و توجه به نکات و فرضیات آنها جواب

گو خواهد بود . البته از تقسیم وزن کل آند بر تعداد آنها وزن هر آند بدست می آید . که در خصوص هندسه آند نیز

باید به دقت عمل نمود زیرا در صورت افزایش ضخامت از یک حد معین ممکن است نتایج با آنچه مورد انتظار است

تفاوت بسیاری نماید که در مقالات آتی به آن پرداخته می شود.



نتیجه

برای حفاظت از سازه هایی که در محیط دریا یا سواحل بکارگیری می شوند باید طبق یک برنامه علمی کاربردی اقدام نمود ، و شناسایی و مطالعه منطقه یا مناطق مد نظر ابتدایی ترین کار می باشد . بنابراین پس از مشخص شدن شرایط محیطی مناطق باید مطالعات خود را به سمت شناسایی نوع سازه های سازگار با محیط معطوف نمود و بعد از آن نوع خوردگی هایی که در منطقه روی می دهد را برحسب الویت دسته بندی نمود. همه هدف این مقاله در وهله اول تعیین یک روند برای مسئله فوق الذکر می باشد که پس از استخراج اطلاعات و روابط مد نظر بتوان برای تسریع در محاسبات آنها را بصورت نرم افزار تهیه نمود.

مراجع

- ۱- استاندارد ABS
- ۲- استاندارد BSI
- ۳- استاندارد NACE
- ۴- استاندارد دریایی DNV
- ۵- استاندارد دریایی Lloyd's
- ۶- Corrosion hand book 1,2