

ترمیم سازه ها

فصل پنجم:

محافظت در برابر خوردگی



محافظت در برابر خوردگی

جهت محافظت فولاد در برابر خوردگی باید از نفوذ رطوبت، نفوذ کلریدها و نفوذ دی اکسید کربن به بتن جلوگیری کرد.

① غشای ضد آب

② آب بندی کردن سطح

③ پوشش اندود

① روش هایی که از رسیدن عوامل خوردگی به میلگرد ها جلوگیری می کنند

روش های محافظت فولاد

① محافظت میلگردها با اندود روی یا اپوکسی

② خنثی کردن اثر یون های کلرید با افزودنی های شیمیایی

③ حفاظت کاتدی

② روش هایی که از زنگ زدن فولاد حتی در صورت نفوذ، جلوگیری می کنند

۱- پوشش اپوکسی

مهمترین ویژگی های یک پوشش موثر:

- ① مقاومت شیمیایی بالا در برابر محلول های آلی مهاجم که بتن با سیمان پرتلند با آن ها مواجه می شود.
- ② پیش نیاز محافظت، دوام فیزیکی خوب است. پوشش باید زبری قابل قبول داشته باشد. دوام نسبی پوشش را با آزمایش مقاومت سایشی و ضربه ای بر ورق های فولادی، خمش میلگرد پوشش شده و سختی آنها می سنجند.
- ③ ضخامت قشر پوشش و یکپارچگی آن نکته مهمی است. چرا که حفره های ریز و فواصل پوشش نشده مناطق بالقوه بروز خوردگی هستند.
- ④ مقاومت پیوستگی خوب با فولاد
- ⑤ مقاومت ذاتی بتن در برابر نفوذپذیری یون های کلر بسیار مهم است.

۱- پوشش اپوکسی

پوشش اپوکسی از دهه ۱۹۷۰ برای عرشه پل ها، سازه های دریایی و... به کار گرفته شد. پوشش اپوکسی میلگردها، نفوذپذیری اندکی نسبت به یون های کلرید دارد و از نظر الکتروشیمیایی غیرفعال است.

* در پوشش اپوکسی با افشانه الکترواستاتیک، ابتدا میلگردهای تمیز شده تا حدود 230°C پیش گرم می شود. سپس از اتاقک مجهز افشانه پاش الکترواستاتیکی می گذرد که پودر خشک باردار را روی میلگرد می پاشد و پیوند هم جوش با فولاد ایجاد می کند. پیوند همجوش، پوشش محکمی ایجاد می کند که مقاومت ضربه ای و سایشی آن بسیار عالی است و به خوبی به فولاد می چسبد.

* محدودیت ضخامت پوشش اپوکسی، $0/3-0/125$ mm است. آزمون های آزمایشگاهی انجام شده برای تعیین مقاومت پیوند، انعطاف پذیری، خصوصیات خزشی و حداقل محافظت در برابر خوردگی نشان می دهد که ضخامت بهینه پوشش $0/225-0/125$ mm است. حد نهایی ضخامت $0/3$ میلیمتر نیز برای میلگرد با نقص سطحی در نظر گرفته می شود که در آن هیچ گونه عدم پیوند محسوس با بتن و ترک خوردگی در طی نصب وجود ندارد. بیشتر پوشش کاران می کوشند که ضخامت پوشش را نزدیک به حداقل ($0/125$ mm) نگه دارند و معمولاً به ضخامت $0/175$ mm در محصول خود می رسند.

۱- پوشش اپوکسی

5

نکات اجرایی در مورد میلگردها با پوشش اپوکسی:

- باید احتیاط کرد تا ضمن جابجایی، حمل و ریختن بتن حداقل آسیب به پوشش وارد شود.
- جابجا کردن و بلند کردن میلگردهای پوشش دار با دقت انجام شود.
- از طناب نایلونی برای بالا بردن آن ها استفاده شود.
- با لایه گذاشتن بین میلگردها، از ساییدگی و خراشیدگی آنها جلوگیری شود.
- این میلگردها را نباید روی زمین کشید.
- بعد از کار گذاشتن نباید روی آن راه رفت و ابزار و وسایل سنگین روی آن گذاشت.
- باید از بست پیوند پوشش شده در محل اتصال میلگردها استفاده کرد.

ضعف های میلگرد با پوشش اپوکسی:

① پوشش اپوکسی موجب کاهش سرعت خوردگی می شود ولی در عمل محافظت کاملی به وجود نمی آورد. در عمل خوردگی فولاد، از گسستگی قشر پوشش در اثر وجود فواصل اندود نشده یا ترک های ناشی از خمش در موقع نصب کارگاهی شروع می شود و با وقوع خوردگی در زیر پوشش، باعث جدا شدن پوشش و گسترش خوردگی می شود.

② در بررسی کف تعدادی از پارکینگ های نوساز که از این میلگردها استفاده شده، ترک های خیلی زیادی یافته شد که احتمالاً به علت کاهش چسبندگی بین فولاد و بتن در اثر پوشش اپوکسی است. وقوع این ترک خوردگی ها موجب نفوذ آب و کلریدها به داخل بتن و حتی سیکل یخ زدن و آب شدن متوالی نیز می شود.

اندودها دو نیاز اساسی را مرتفع می کنند: ① جلوگیری از نفوذ آب و ② پیشگیری از تماس مواد مهاجم با بتن

آماده سازی سطح

- ① معمولاً عمل آوری ۳۰ روزه بتن قبل از کاربرد اندود لازم است.
- ② رطوبت کمتر از ۵ درصد وزنی جهت اندود کشی مناسب است. رطوبت با برداشت قطعه ای از سطح انجام می شود. در واقع قرائت سطح اشباع، به خطا درون بتن را خشک نشان می دهد.
- ③ اندودها را باید در دمای هوای بین ۱۰ تا ۳۲ درجه سانتیگراد اجرا کرد و هیچ اندودی را نباید در رطوبت نسبی بیش از ۹۰٪ کشید.
- ④ نقص های سطحی (مانند حفره های خالی، سوراخ های هوادار، بافت کرمو، روزنه ها، زائده ها و لکه ها) برطرف شود. بافت سطحی پیوسته و یکدست جهت چسبندگی مناسب پوشش ایجاد شود.
- ⑤ پر کردن نقص های سطحی با ملات سیمانی یا ماسه یا ملات اپوکسی انجام می شود. مواد اپوکسی و سیمانی زودگیر به حدود ۴۸ تا ۷۲ ساعت برای عمل آوری نیاز دارند.
- ⑥ آغشتگی های آلوده نظیر گریس، رنگ، قیر و ... با برس کشی و دستگاه مکنده تمیز شود.
- ⑦ به کار بردن اندودهای امولسیون بر روی سطح مرطوب، امکان نفوذ بیشتر و بهتر اندود را ایجاد می کند و از مکیده شدن سریع آب و رزین امولسیون به داخل بتن خشک جلوگیری می کند.

① افشانه پاشی (اسپری کردن)

② غلتک کاری

③ برس کشی

④ ماله کشی یا پارویی

روش های اجرای اندودها و غشاها

۱-۲- افشانه پاشی (اسپری کردن)

این روش به دلیل هزینه تجهیزات در کارهای کوچک مقرون به صرفه نیست و برای منطقه اندود کاری وسیع به کار می رود.

* اسپری کردن به دو شیوه ① افشانه پاشی به کمک هوا و ② افشانه پاشی بدون هوا انجام می شود.

* اسپری کردن بدون هوا با پمپ کردن مواد از منفذ بسیار کوچک با فشار خیلی زیاد ($20/6 - 12/4$ MPa) انجام می شود و برای مواد با لزجت زیاد یا جایی که پمپ کردن مشکل است، استفاده می شود. افشانه پاشی بدون هوا توانایی پمپ کردن چندین لیتر در دقیقه را دارد و می تواند منطقه وسیعی را با سرعت و با حداقل نیروی کارگر اندود کاری کند.

محدودیت های افشانه پاشی بدون هوا

- ① گرفتگی پستانک افشانه در مواردی که مواد اندود درشت باشد.
- ② ساییدگی پمپ با مواد سایش دهنده
- ③ به علت سرعت زیاد، برای پرداخت ظریف مناسب نیست.

* اسپری کردن به کمک هوا، کندتر است اما ضخامت قشر اندود را بهتر کنترل می کند.

محدودیت های افشانه پاشی به کمک هوا

- ① اسپری کردن به کمک هوا، نیاز به کاهش لزجت دارد. بدین منظور می توان از تینر و یا گرم کردن توسط گرم کننده های ضمن اجرا استفاده کرد. البته استفاده از تینر (به عنوان رقیق کننده) در افشانه پاشی با فشار هوا سبب افشانه پاشی بیش از حد و افزایش احتمال انفجار می شود.

② در روش اسپری کردن به کمک هوا، مقدار زیادی بخار تولید می شود و تهویه محوطه افشانه پاشی ضروری است. البته در محوطه محصور، نیاز به دمیدن هوا برای تامین هوای تنفس مجریان است.



*At the Lab. In the Field.
By Your Side.*

**CONCRETE WATERPROOFING
With Krystol[®] Technology**

۲-۲- غلتک کاری

غلتک کاری برای اندود کاری بتن، به خصوص در نواحی در دسترس مثل دیوارها و کف مناسب است. این روش محدودیت های اندکی داشته و برای اندودکاری سطوح بتنی بسیار رایج است.

* سرعت کار در غلتک کاری حدود ۵۶ متر مربع در ساعت است.

* مواد اندود با فشار غلتک در بی نظمی های سطحی وارد می شوند و قشرهای نازکی از مصالح بسیار چسبنده به وجود می آورد.

معایب روش برس کشی: آهسته ترین روش اندود کشی است و نیاز به کارگر زیادی دارد.

مزیت های روش برس کشی: آماده سازی سطح در این روش آسانتر است و از آنجایی که ماده اندود با اعمال نیرو درون ترک ها وارد می شود، پوشش ایجاد شده، در مقابل رطوبت و نفوذ آب بهتر عمل می کند.

* معمولاً برس کشی همراه با غلتک کاری انجام می شود و در مناطقی که دسترسی به آنها سخت است (مثل گوشه ها)، بایستی اول برس کشی انجام داد.

* سرعت برس کشی حدود ۷/۵ متر مربع در ساعت دارد.

۲-۴- ماله کشی و پارویی

اندوذهای دگر روان شونده بدون حلال که برای ایجاد سطح کاملاً یکدست طراحی شده اند را می توان با پاشنده مخزن دار به کار برد و با ماله آن را پخش کرد. ماله کشی سطحی چگال با ضخامت یکنواخت ایجاد می کند که پرداخت حاصل به میزان ماله کشی بستگی دارد.

* اجرا با پارو معمولاً برای پخش اندوذهای خود تراز شونده با قوام خمیر سیمان کاربرد دارد.

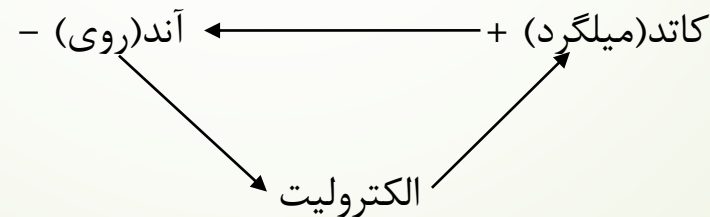
* بتن به ندرت یک لایه اندودکاری می شود و حتی در اندوذهای بسیار مرطوب، یک آستر برای درزبندی بستر لازم است. به طور کلی سیستم های چند لایه اندود دارای ضخامت بیشتر و پوشش کاملتری هستند.



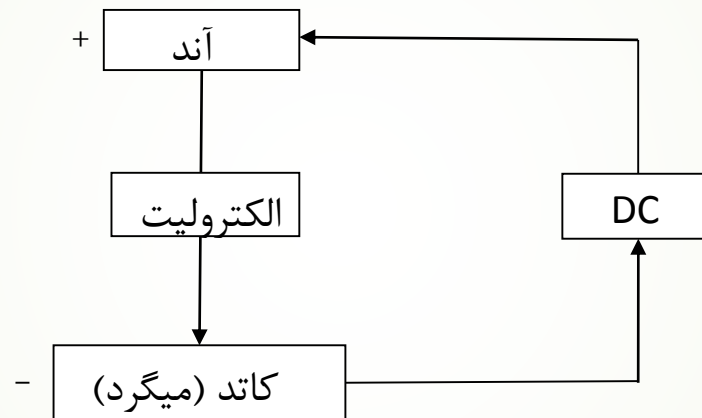
- * این روش قوی ترین روش مقابله با خوردگی فولاد است که میزان خوردگی را تا صفر کاهش می دهد.
- * خوردگی آرماتورها یک فرایند الکتروشیمیایی است که در آن، فولاد الکترون از دست داده و به یون فولاد تبدیل می شود. سپس طی فرایندهای شیمیایی در حضور آب و اکسیژن زنگ آهن تولید می شود.
- * اساس حفاظت کاتدی جلوگیری از، از دست دادن الکترون های فولاد یا تامین الکترون های فولاد می باشد. این الکترون ها یا توسط یک فلز فعالتر (مانند روی) یا توسط یک جریان اعمالی تامین می شود که مانع شروع فرآیند الکتروشیمیایی و زنگ زدگی فولاد می گردد.

روش های حفاظت کاتدی:

① روش آند از بین رونده (روش آند فدا شونده): در این روش فلزی فعالتر (آند) به آرماتورها (کاتد) وصل می شود که خاصیت الکترون دهی بالاتری دارد. این فلز به جای فولاد نقش آند را بازی می کند، الکترون های از دست رفته فولاد را جبران می کند و به جای فولاد دچار خوردگی می شود.

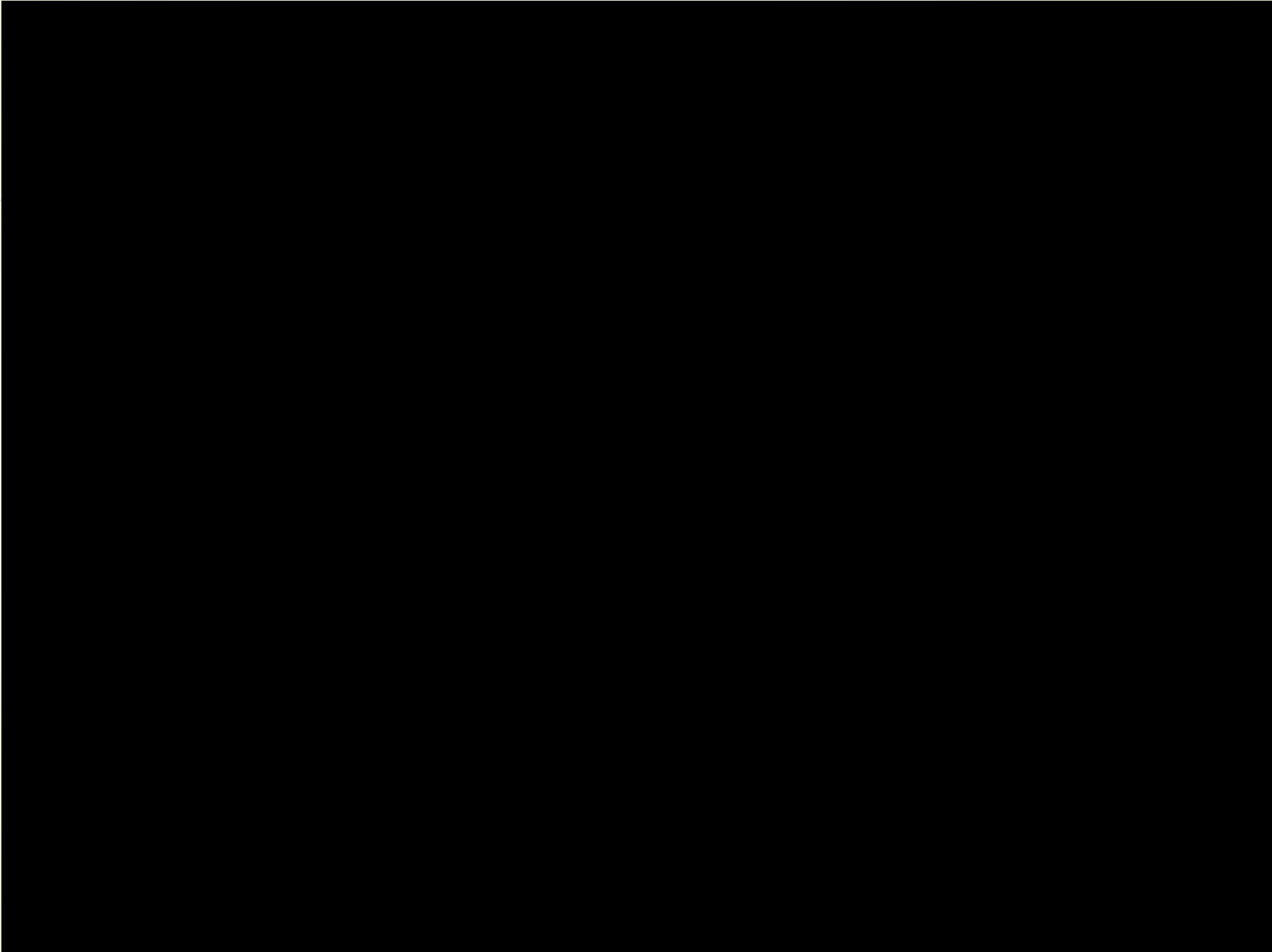


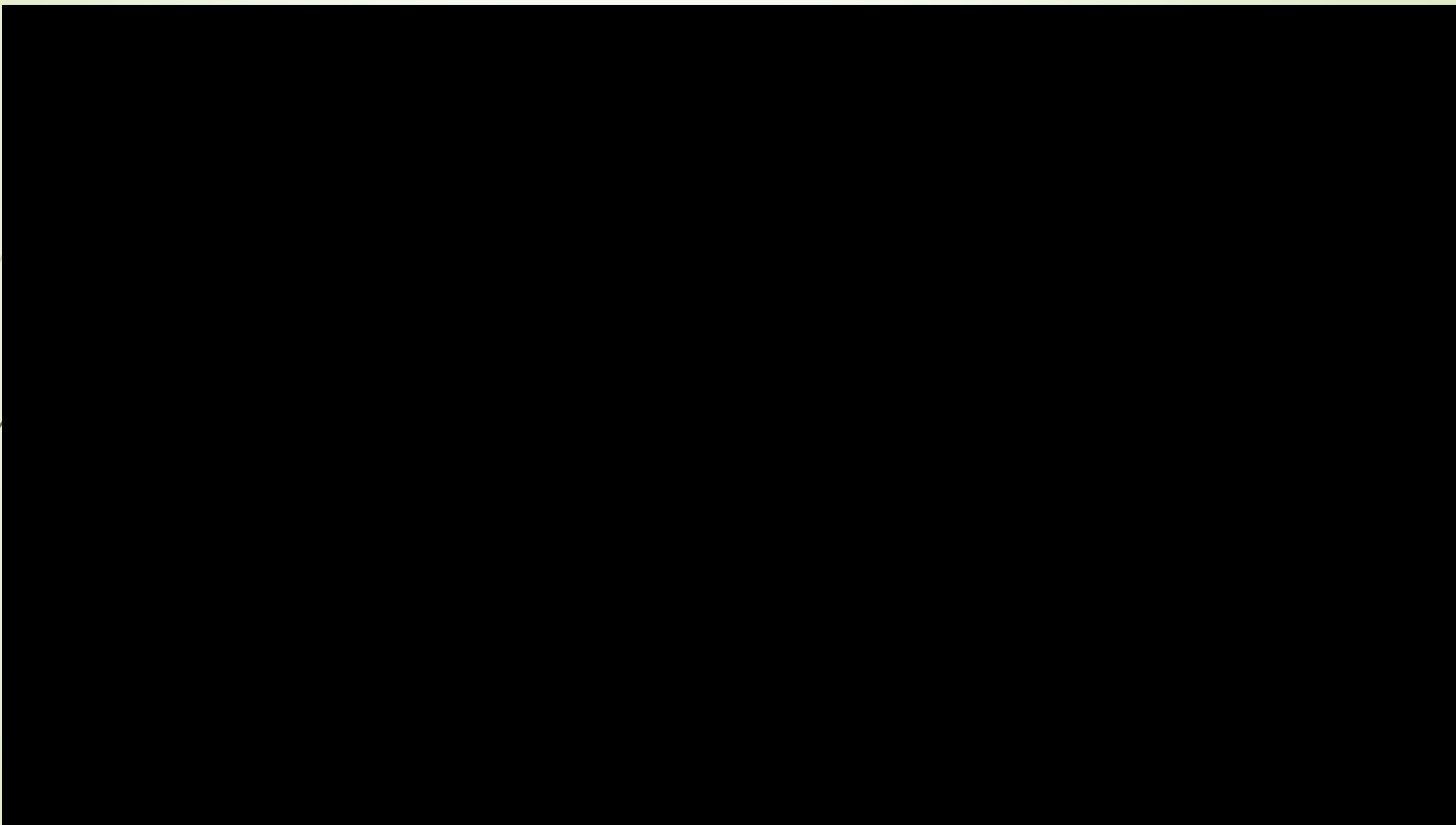
② روش سیستم جریان اعمالی (روش آند موثر): در این روش، یک جریان الکترونی توسط منبع تغذیه جریان ایجاد می شود که مانع از دست دادن الکترون های فولاد می شود. در واقع منبع تغذیه، سیستم های آند اولیه و ثانویه (آلیاژهای فلز خاص و ترکیبات پلیمری) و میلگرد (کاتد) یک مدار بسته تشکیل می دهند که با اعمال جریان، مانع از دست دادن الکترون و تشکیل یون فولاد می شوند.



- ① سیستم آسفالت رسانا
 - ② سیستم شکاف اره بر
 - ③ سیستم اندود رسانا
 - ④ سیم ماری یا سیستم شبکه ای
- } روش های سیستم آند موثر

- * استفاده از روش حفاظت کاتدی در عرشه پل ها کاملاً جا افتاده و مرسوم است، اما در پارکینگ و گاراژها کاری جدید به حساب می آید.
- * از آنجایی که سیستم آند موثر کاربردی وسیع تر از سیستم آند فدا شونده دارد، بحث ما به این سیستم (جریان موثر) محدود می شود.
- * رمز موفقیت حفاظت کاتدی در ایجاد جریان یکنواخت در میلگردها است. به طوری که شدت جریان خیلی کم باعث خوردگی فولاد می شود و شدت جریان خیلی زیاد، خرابی بتن اطراف میلگرد را به همراه دارد.
- * تامین نیرو برای آند به شکل جریان مستقیم خیلی ملایم (حدود ۱ ولت) از یکسو کننده ای انجام می شود که این یکسو کننده به نوبه خود، به یک مولد اصلی وصل شده است.
- * در سیستم جریان اعمالی، آندهای اولیه (از جنس فلز) با مواد رسانای الکتریکی مثل ملات، پوشش یا آسفالت رسانا به هم وصل می شوند. در واقع این مواد، با جریان از آندهای اولیه به تمام سطح عرشه باعث ایجاد جریان در بتن و میلگرد می شوند و نقش آند ثانویه را جهت تکمیل مدار الکتریکی و انتقال جریان بازی می کنند.





۳-۱- سیستم آسفالت رسانا

آند گرد یا کلوچه ای (آند اولیه) در عرشه قرار داده می شود که از لحاظ الکتریکی به لایه ای از مخلوط زغال کک-آسفالت هادی (آند ثانویه) متصل می شود.

مزیت ها: ① مقاومت اندک مدار، ② توزیع یکنواخت جریان

ضعف ها: ① باعث افزایش وزن و سنگینی سازه می شود. ② پر هزینه است. ③ فقط قابلیت نصب در سطوح افقی را دارد.

۳-۱- سیستم شکاف ااره بر

شکاف های ریز (به عرض ۱۰-۱۸mm و عمق ۱۰-۱۸mm) در عرشه پل ایجاد می شود و سیم های نازک نئوبیوم با پوشش پلاتین به عنوان آند اولیه در آن جایگذاری می شود. رزین رسانا نیز نقش آند ثانویه را بازی می کند. در نهایت سیم ها با دوغاب پوشانده می شود و روی دوغاب ماسه پاشیده می شود تا مقاومت لغزشی کافی تامین شود.

در این روش اندودی رسانا با برس، غلتک یا اسپری کردن روی بتن کشیده می شود. این اندود محلول پلیمری کربن آکنده ای است که در سطح زیرین سازه به کار می رود. این پوشش به صورت یک یا چند لایه به ضخامت خشک ۴/۰ میلیمتر اجرا می شود. سپس سیم های آند اولیه (از جنس نئوبیوم، تیتانیوم و یا فیبر کربنی با روکش پلاتینی) به فاصله حدود ۱۲۰cm در سطح اندود وارد شده و با نوارهای فیبر شیشه ای آغشته به یک پوشش هادی مسلح می شود.

* اتصال الکتریکی بین سیم های فلزی (آند اولیه) و اندود رسانا (آند ثانویه) موجب توزیع جریان یکنواخت در عرشه بتنی می شود. به طوری که منبع انرژی، جریان را در اندود رسانا ایجاد نموده و از میلگردها جمع شده و به منبع بر می گردد.

* مزیت این روش سهولت کاربرد در هندسه پیچیده و حداقل افزایش وزن سازه می باشد.

۳-۱- سیستم شبکه ای

این سیستم از پلیمر رسانای انعطاف پذیر با یک مغزی به شکل کابل ساخته شده است. این شبکه را با بست هایی به عرشه بتن متصل می کنند و با روکشی می پوشانند.

* به دو روش فرکس ۱۰۰ و روش الگارد و تکتروز در آمریکای شمالی و انگلستان در پل ها استفاده می شود.

* برای دال های نازک به ضخامت ۱۵-۲۰cm، مناسب نیست.

نکات اجرایی جهت جلوگیری از اتصال کوتاه

- ① پیوستگی الکتریکی بین آرماتورها وجود داشته باشد. در عمل این کار با اتصال مکانیکی میلگردها به وسیله سیم به یکدیگر صورت می پذیرد. معمولا چند موضع اتصال به زمین نیز در عرشه انتخاب می شود.
- ② آرماتورهای دال باید جدا از میلگردهای دیوار و ستون ها باشند تا کنترل ولتاژ امکان پذیر باشد.
- ③ بار پلاریزه باید در محدوده ولتاژ ۰/۸ تا ۱/۲۵ ولت باشد. به دلیل اینکه ولتاژ کمتر از ۰/۸ موجب حفاظت میلگرد نمی شود و ولتاژ بیش از ۱/۲۵ ولت موجب تولید گاز هیدروژن شده که احتمال شکست هیدروژنی عضو سازه ای بالا می رود.
- ④ در سیستم جریان موثر، آند سیمی و لایه های هادی باید از میلگردها، درزهای انبساطی، زهکش ها و پاشنه های فلزی نصب میلگرد جدا باشد تا اتصال کوتاه رخ ندهد.
- ⑤ با توجه به تراکم آرماتورها در سازه، بهتر است سازه ناحیه بندی شود و برای هر ناحیه منبع خاص خود بنابر ظرفیت و سطح فعالیت قرار گیرد.
- ⑥ تزریق اپوکسی برای تعمیر مناطق پوسته پوسته شده مناسب نیست. برای اینکه به علت نارسا بودن مانع عبور جریان می شود. به علاوه، همه اتصالاتی که می توانند الکتریسیته را تخلیه کنند (به جز اتصالات پلیمرهای هادی) باید در اپوکسی پوشیده شوند.

حفاظت کاتدیک در

سازه های دریایی

تهیه: مجید غفوری



Installation of Zebra conductive paint anode in a parking garage



September 2013
www.protector.no

پایان

