

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

موضوع :

مقاومت به خوردگی برای ۳ نوع فولاد میکروآلیاژی و

۲ نوع فولاد ساده تقویت شده

چکیده :

در این پروژه مقاومت به خوردگی برای ۳ نوع فولاد میکروآلیاژی و ۲ نوع فولاد ساده تقویت شده ارزیابی می شود. فولاد میکروآلیاژ محتوی غلظتی از کرم و مس و فسفر به مقدار کم می باشد. که گران و مهم تر از کاربرد فولاد معمول تقویت شده می باشد. مقدار فسفر فولاد میکروآلیاژ از مقداری که استاندارد ASTM اجازه می دهد تجاوز می کند و دیگر فولاد میکروآلیاژی ما محدوده نرمالی از فسفر را دارا می باشد. این ۳ نوع فولاد میکروآلیاژی، یکی از فولادهای معمولی عملیات حرارتی پذیرند که توسط پروسه های دمایی به شکل کوئینچ کردن و تمپر کردن بر روی فولاد که مستقیماً پس از نورد می باشد و بر روی دیگر فولاد معمولی نورد گرم انجام شده است. در مطالعه این پروژه متوجه می شویم که خورده شدن فولاد میکروآلیاژی فقط نصف سرعت خوردگی فولاد تقویت شده معمولی می باشد. اگر فولادها پوشش های epoxy داشته باشند کاهش نرخ نسبی خوردگی تا یک دهم می باشد.

در این پروژه آزمایش های سریع ای بر روی فولادها انجام می شود، پتانسیل خوردگی، ماکروسل خوردگی و ۳ آزمایش Bench scale:

Southern Exposure و Cracked Beam و G109. برای ارزیابی فولاد از پتانسیل خوردگی و سرعت خوردگی استفاده می کنیم. برای خاصیت مکانیکی فولاد از آزمایش های خمشی و کشش استفاده می کنیم. نتایج نشان می دهد که پتانسیل خوردگی این ۵ فولاد تقریباً تمایل یکسانی به خورده شدن دارند. در آزمایش Bench – Scale فولاد میکروآلیاژ با محتوی فسفری منظم (CRT) پایین ترین خسارت خوردگی را از خود نسبت به فولاد معمولی نشان می دهد. اگرچه در آزمایش G109 فولاد CRT مقاومت به خوردگی بیشتری از خود نسبت به فولاد ساده نشان میدهد. در آزمایش Cracked beam بعد از ۷۰ هفته فقط ۴٪ خسارت خوردگی در فولاد معمولی داریم. در آزمایش Southern exposure فولاد CRT نسبت به فولاد معمولی از یک دوره مناسب ۱۱٪ خسارت خوردگی داریم.

خاصیت مکانیکی فولاد میکروآلیاژی مشابه دیگر فولادهای ساده می باشد و فسفر زیاد تأثیری روی خاصیت مکانیکی ندارد.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

.....	چکیده
.....	فصل اول: مقدمه
.....	۱-۱- تعریف خوردگی
.....	۱-۲- محیط های خوردنده
.....	۱-۳- فولادهای کم آلیاژ
.....	۱-۳-۱- اثرات افزودنی های میکروآلیاژ کننده
.....	۱-۳-۲- انواع گوناگون فولادهای فریت - پرلیت میکروآلیاژ شده
.....	۱-۳-۲-۱- فولادهای میکرو آلیاژ شده وانادیم
.....	۱-۳-۲-۲- فولادهای میکروآلیاژ شده نیویوم
.....	۱-۳-۲-۳- فولادهای میکروآلیاژ شده وانادیم_ نیویوم
.....	۱-۳-۲-۴- فولادهای میکروآلیاژ شده مولیبدن_ نیویوم
.....	۱-۳-۲-۵- فولادهای میکروآلیاژ شده وانادیم_ نیتروژن
.....	۱-۳-۲-۶- فولادهای میکروآلیاژ شده تیتانیوم
.....	۱-۳-۲-۷- فولادهای میکروآلیاژ شده نیویوم_ تیتانیوم
.....	۱-۳-۲-۸- فولادهای میکرو آلیاژ شده تیتانیوم وانادیم
.....	فصل دوم : مروری بر منابع
.....	۲-۱- خوردگی فولاد در بتن
.....	۲-۲- روش های نمایش خوردگی

..... ۲-۲-۱- پتانسیل خوردگی

..... ۲-۲-۲- سرعت خوردگی ماکروسل

..... ۲-۲-۳- مقاومت پلاریزاسیون

..... ۲-۲-۳- آزمایش های خوردگی

..... ۲-۳-۱- آزمایش های ارزیابی سریع

..... ۲-۳-۲- Bench – Scale آزمایش

..... ۲-۴- روش کار

..... ۲-۵- فولاد تقویت شده

..... ۲-۶- آزمایش ارزیابی سریع

..... ۲-۶-۱- شرح آزمایش

..... ۲-۶-۱-۱- آزمایش پتانسیل خوردگی

..... ۲-۶-۲- خاصیت نمونه های آزمایش

..... ۲-۶-۳- برنامه آزمایش

..... ۲-۷- آزمایشات Bench – Scale

..... ۲-۷-۱- روش آزمایشات

..... ۲-۷-۱-۱- Southern Exposure

..... ۲-۷-۱-۲- Cracked beam نمونه

..... ۲-۷-۱-۳- نمونه ASTM G109

..... ۲-۷-۱-۴- روش کار آزمایش های Cracked Beam و Southern Exposure

.....ASTM G109 روش آزمایش ۲-۷-۱-۵

..... آماده سازی نمونه های آزمایش ۲-۷-۲

..... موادهای مورد نیاز ۲-۷-۳

..... آزمایش مکانیکی ۲-۸

..... آزمایشات ارزیابی سرعت ۲-۹

..... آزمایش پتانسیل خوردگی ۲-۹-۱

..... آزمایش خوردگی ماکروسل ۲-۹-۲

..... Bench- Scale آزمایشات ۲-۱۰

..... Southern Exposure آزمایش ۲-۱۰-۱

..... Cracked beam آزمایش های ۲-۱۰-۲

..... ASTM G109 آزمایش های ۲-۱۰-۳

..... مشاهده و نمایش نمونه ها ۲-۱۰-۴

..... آزمایش های مکانیکی ۲-۱۱

فصل سوم: نتیجه گیری و پیشنهاد

..... نتایج ۱-

..... پیشنهاد ۲-

..... خلاصه ۳-

..... منابع و مآخذ

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
.....	۲-۱- آزمایش یک پتانسیل خوردگی بر روی نمونه ی بتنی
.....	۲-۲- آزمایش ماکروسل بر روی میله های ساده
.....	۲-۳- آزمایش ماکروسل بر روی نمونه ی بتنی
.....	۲-۴- آزمایش ماکروسل برای خواندن پتانسیل خوردگی
.....	۲-۵- نمونه ملاتی
.....	۲-۶- نمونه southern Exposure
.....	۲-۷- a - نمونه cracked Beam
.....	۲-۷- b - نمونه G109
6 1	۲-۸- مقدار پتانسیل متوسط الکتروود اشباع کلومل برای میله های ساده در یون NaCl 1. 6 مولار
.....	۲-۹- جعبه ترمیتال برای آزمون Bench-Scale
.....	۲-۱۰- مقدار پتانسیل متوسط خوردگی الکتروود اشباع شده کلومل برای میله هایی که در بتن فرو رفته (در یون 0.4 NaCl مولار)
.....	۲-۱۱- مقدار پتانسیل متوسط خوردگی الکتروود اشباع شده کلومل برای نمونه های ملاتی در بتن فرو شده (در یون 1.6 NaCl مولار)
.....	۲-۱۲- سرعت خوردگی متوسط آزمایش ماکروسل برای میله های ساده در یون 1.6 NaCl مولار
.....	۲-۱۳- سرعت خوردگی متوسط آزمایش ماکروسل برای نمونه های در ملات فرو برده شده با سر پوش پلیمری در انتهای میله ها در یون 0.4 NaCl مولار
.....	۲-۱۴- سرعت خوردگی متوسط آزمایش ماکروسل برای میله های در بتن فرو برده شده با سرپوش پلیمری در یون 1.6 NaCl مولار
.....	۲-۱۵- سرعت متوسط خوردگی آزمایش ماکروسل برای نمونه های در ملات فرو برده شده بدون سرپوش در یون 0.4 NaCl مولار
.....	۲-۱۶- سرعت متوسط خوردگی آزمایش ماکروسل برای میله های فرو برده شده در بتن سرپوش در یون 1.6 NaCl مولار
.....	۲-۱۷- آزمایش Southern Exposure _ سرعت متوسط خوردگی
.....	۲-۱۸- آزمایش Southern Exposure _ سرعت متوسط خوردگی برای فولادهای μix شده

- ۱۹-۲- آزمایش Southern Exposure _ مجموع خسارت خوردگی
۲۰-۲- آزمایش Southern Exposure _ مجموع خسارات خوردگی برای فولادهای ترکیب شده.....
۲۱-۲- آزمایش Southern Exposure - پتانسیل متوسط خوردگی برای قسمت بالای نمونه های فولادی.....
۲۲-۲- آزمایش Southern Exposure - پتانسیل متوسط خوردگی برای قسمت بالای فولادهای ترکیب شده.....
۲۳-۲- آزمایش Southern Exposure - پتانسیل متوسط خوردگی برای قسمت پایین نمونه ها با حضور الکتروود مس _ مس.....
۲۴-۲- آزمایش Southern Exposure - پتانسیل متوسط خوردگی برای قسمت پایین (نمونه های ترکیب شده) با حضور الکتروود مس _ مس.....
۲۵-۲- آزمایش Southern Exposure - مقاومت متوسط ماده به ماده.....
۲۶-۲- آزمایش Southern Exposure - مقاومت متوسط ماده به ماده برای نمونه های μ ix شده.....
۲۷-۲- آزمایش Cracked beam - سرعت متوسط خوردگی.....
۲۸-۲- آزمایش Cracked beam - مجموع خسارت متوسط خوردگی.....
۲۹-۲- آزمایش Cracked beam - پتانسیل متوسط خوردگی برای قسمت بالای نمونه ها با حضور الکتروود مس - مس.....
۳۰-۲- آزمایش Cracked beam - پتانسیل متوسط خوردگی برای قسمت پایین نمونه ها با حضور الکتروود مس - مس.....
۳۱-۲- آزمایش Cracked beam - مقاومت متوسط ماده به ماده.....
۳۲-۲- آزمایش G109 - سرعت متوسط خوردگی.....
۳۳-۲- آزمایش G109 - مجموع خسارت خوردگی.....
۳۴-۲- آزمایش G109 - پتانسیل متوسط خوردگی برای قسمت بالای نمونه ها با حضور الکتروود مس - مس.....
۳۵-۲- آزمایش G109 - پتانسیل متوسط خوردگی برای قسمت پایینی با حضور الکتروود مس - مس.....
۳۶-۲- آزمایش G109 - مقاومت متوسط ماده به ماده.....

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۵۱۱ تماس حاصل نمایید

-SE-CRPT2-1-۳۷-۲-سطح نمونه
-SE - CRPT1 / N-3-۳۸-۲-ضخامت ترک بر روی نمونه
-SE-N-3-۳۹-۲-تولید خوردگی بر روی قسمت بالایی نمونه
-SE-CRPT2-1-۴۰-۲-تولید خوردگی بر روی بالای میله ی نمونه
-SE-CRT-1-۴۱-۲-تولید خوردگی بر روی بالای میله ی نمونه (نمای جانبی)
-SE-CRPT2-1-۴۲-۲-تولید خوردگی بر روی پایین میله ها برای نمونه

فهرست جداول

صفحه	عنوان
.....	۲-۱- الکترودهای استاندارد مرجع.....
.....	۲-۲- توضیح نیم سلول (ASTM C876).....
.....	۲-۳- حالت های شیمیایی فولادهای تقویت شده (%).
.....	۲-۴- حالت های مکانیکی فولادهای تقویت شده.....
.....	۲-۵- مقادیر گوناگون پتانسیل خوردگی در روز ۴۰ م.....
.....	۲-۶- سرعت خوردگی آزمایش ماکروسل در مدت ۱۰۰ روز ($\frac{\mu m}{year}$).....
.....	۲-۷- سرعت خوردگی آزمایش Bench – Scale در ۷۰ هفته ($\frac{\mu m}{year}$).....
.....	۲-۸- خسارت خوردگی آزمایش Bench – Scale در ۷۰ هفته.....
.....	۲-۹- مقاومت ماده به ماده ی اندازه گیری شده در آزمایش Bench – Scale.....
.....	۲-۱۰- مقاومت ماده به ماده آزمایش Bench – Scale در مدت ۷۰ هفته.....
.....	۲-۱۱- مقدار ولتاژ پتانسیل خوردگی ماده ی بالایی با حضور الکتروود اشباع شده مس- مس در آزمایش Bench – Scale به مدت ۷۰ هفته.....
.....	۲-۱۲- پتانسیل خوردگی اندازه گیری شده در آزمایش Bench–Scale به مدت ۷۰ هفته.....
.....	۲-۱۳- آزمایش های مکانیکی.....

جهت خرید فایل word به سایت www.kandooon.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

فصل اول

مقدمه

۱- خوردگی

۱-۱- تعریف خوردگی

خوردگی را تخریب یا فاسد شدن یک ماده در اثر واکنش با محیطی که در آن قرار دارد تعریف می کنند و بعضی ها اصرار دارند که این تعریف بایستی محدود به فلزات باشد. ولی بایستی برای حل این مسئله هم فلزات و هم غیر فلزات را در نظر بگیریم.

مثلاً تخریب رنگ و لاستیک بوسیله نور خورشید یا مواد شیمیایی، خورده شدن جداره کوره فولاد سازی، و خوره شدن یک فلز جامد بوسیله مذاب یک فلز دیگر و حتی خورد شدن فولادی که در داخل تیرهای بتنی برق قرار دارد تماماً خوردگی نامیده می شوند.

۱-۲- محیط های خورنده:

عملاً کلیه محیط ها خورنده هستند، لکن شدت خوردگی آنها متفاوت است. مثالهایی در این مورد عبارتند از: هوا، رطوبت آبهای تازه، مقطر، نمکدار و معدنی. اتمسفرهای روستائی، شهری، صنعتی، بخار و گازهای دیگر مثل کلر- آمونیاک- سولفور هیدروژن، دی اکسید گوگرد و گازهای سوختنی، اسیدهای معدنی مثل اسید کلریدریک، سولفوریک و نیتریک، اسیدهای آلی مثل اسید نفتیک، استیک و فرمیک، قلیائی ها، خاکها، طلاها، روغنهای نباتی و نفتی و انواع و اقسام محصولات غذایی، بطور کل مواد «معدنی» خورنده تر از مواد «آلی» می باشند. مثلاً خوردگی در صنایع نفت بیشتر در اثر کلرور سدیم، گوگرد، اسید سولفوریک و کلریدریک و آب است تا بخاطر روغن، نفت و بنزین. کاربرد درجه حرارتهای فشارهای بالا در صنایع شیمیایی باعث امکان پذیر شدن فرآیندهای جدید با بهبود فرآیندها قدیمی شده است، به عنوان مثال (راندمان بالاتر) سرعت تولید بیشتر، یا تقلیل قیمت تمام شده. این مطلب همچنین در مورد تولید انرژی از جمله انرژی هسته ای، صنایع فضائی و تعداد بسیار زیادی از روشها و فرآیندها صادق است. درجه حرارتها و فشارهای بالاتر معمولاً باعث ایجاد شرایط خوردگی شدیدتر می گردند بسیاری از فرآیندها و عملیات متداول امروزه بدون استفاده از مواد مقاوم در برابر خوردگی غیر ممکن یا غیر اقتصادی می باشند.

زنگ لفظی است که برای آلیاژهای آهنی به کار برده می شود. زنگ از اکسیدهای آهن تشکیل شده و معمولاً اکسید نیتریک هیدراته است. موقعی که در یک آگهی تجاری ادعا می شود که یک آلیاژ غیر آهنی زنگ نمی زند، ادعایی بیش نیست و لکن بدان معنی نسبت که آن فلز خورده نخواهد شد

۱-۳- فولادهای کم آلیاژی:

فولادهای کربنی با یک یا چند عنصر کرم، نیکل، مس، مولیبدن، فسفر و انادیم، به مقادیر چند درصد یا کمتر از فولاد کم آلیاژی می نامند. مقادیر بالا از عناصر آلیاژی معمولاً برای خواص مکانیکی و سختی پذیری است. از نقطه نظر مقاومت در برابر خوردگی محدوده تا ماکزیمم ۲ درصد بیشتر مورد توجه است. در این محدوده استحکام فولادها بالاتر از فولادهای ساده کربنی بوده ولی مهمترین خاصیت آنها مقاومت خیلی بهتر در برابر خوردگی آتمسفیری است. گاهی اوقات در محیط های آبی نیز این فولادها دارای مزایائی می باشند

۱-۳-۱- اثرات افزودنی های میکروآلیاژ کننده:

این بخش بر روی فولادهای پرلیت - فریت میکروآلیاژ شده تاکید کرده است، که از افزودنی های عناصر آلیاژ کننده مثل نیوبیوم و وانادیوم برای بالا بردن کربن و یا محتوای منگنز استفاده می کند (و به این ترتیب توانایی حمل بار بالا می رود) بررسی های گسترده در طول دهه ۱۹۶۰ بر روی اثرات نیوبیوم و وانادیوم روی خصوصیات مواد یا مصالح درجه ساختمانی باعث کشف این موضوع گردید که مقادیر کم نیوبیوم، وانادیوم هر کدام (۰/۱۰٪) فولادهای استاندارد کربن - منگنز را بدون تداخل با بعمل آوری بعدی مستحکم و قوی می سازند مقدار کربن نیز می تواند کم شود تا هم قابلیت جوش را بالا ببرد و هم چقرمگی را، چون اثرات مقاومت دهندگی نیوبیوم و وانادیوم بخاطر کاهش در استحکام ناشی از کاهش در مقدار کربن جبران می شوند.

خصوصیات مکانیکی فولادهای کم آلیاژ دارای استحکام بالای میکرو آلیاژ شده، فقط در صورت افزایش عناصر میکرو آلیاژ کننده حاصل می شوند. لازمه ی وجود آستنیت که به اثرات پیچیده طرح آلیاژ و تکنیک های نورد کاری بستگی دارد، نیز یک فاکتور مهم در تصفیه دانه ای فولادهای کم آلیاژ دارای استحکام بالای نورد گرم است. تصفیه دانه ای در صورت وجود آستنیت با روش های نورد کاری کنترل شده، باعث چقرمگی بالا و استحکامهای تسلیم زیاد در رنج ۳۴۵ تا ۶۲۰ مگا پاسکال (۹۰ تا ۵۰ ksi) می شود. [۱]

این توسعه فرآیندهای نوردکاری کنترل شده همراه با طرح آلیاژ، سطوح استحکام تسلیم بالایی را تولید کرده است که با پایین آمدن تدریجی مقدار کربن توام می باشد بسیاری از فولادهای کم آلیاژ دارای استحکام بالا میکروآلیاژ شده اختصاصی، مقادیر کربن به کمی ۰/۶۰٪ و یا حتی کمتر دارند، با این حال هنوز می توانند استحکام تسلیم حدود ۴۸۵ مگا پاسکال (۷۰ ksi) را توسعه داده و ایجاد

نمایند. استحکام تسلیم بالا، با اثرات ترکیبی اندازه دانه ریز ایجاد شده و در طول نورد کاری گرم کنترل شده و استحکام دهندگی رسوب حاصل می شود که این خصوصیت ناشی از حضور وانادیوم، نیوبیوم و تیتانیوم است.

۱-۳-۲-۱ انواع گوناگون فولادهای فریت - پرلیت میکروآلیاژ شده عبارتند از:

۱-۳-۲-۱-۱ فولادهای میکروآلیاژ شده وانادیوم

۱-۳-۲-۱-۲ فولادهای میکروآلیاژ شده نیوبیوم

۱-۳-۲-۱-۳ فولادهای میکروآلیاژ شده وانادیوم - نیوبیوم

۱-۳-۲-۱-۴ فولادهای مولیبدن - نیوبیوم

۱-۳-۲-۱-۵ فولادهای میکروآلیاژ شده وانادیوم - نیتروژن

۱-۳-۲-۱-۶ فولادهای میکروآلیاژ شده تیتانیوم

۱-۳-۲-۱-۷ فولادهای میکروآلیاژ شده نیوبیوم - تیتانیوم

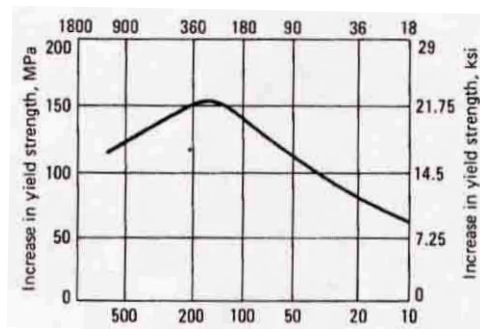
۱-۳-۲-۱-۸ فولادهای میکروآلیاژ شده تیتانیوم - وانادیوم

این فولادها ممکن است شامل عناصر دیگری هم باشند تا مقاومت خوردگی بالایی داشته باشند و مقاومت محلول جامد را بالا برده و قابلیت سخت کاری زیادی را در بر بگیرند (اگر محصولات تغییر شکل غیر از فریت - پرلیت بهینه باشند) [۱].

۱-۳-۲-۱-۱ فولادهای میکروآلیاژ شده وانادیوم:

تهیه و توسعه فولادهای حاوی وانادیوم مدت کوتاهی پس از تهیه فولادهای هوازدگی رخ می دهد و محصولات نورد شده صاف با بیش از ۱۰٪ وانادیوم بطور وسیعی در شرایط نورد گرم بکار می روند فولادهای حاوی وانادیوم نیز در شرایط نورد کنترل شده، نرمال شده و یا کوئنچ و تمپر شده بکار می روند.

وانادیوم با تشکیل ذرات رسوب ریز (با قطر ۵ الی ۱۰۰ نانومتر) V (CN) در فریت در طول سرد سازی پس از نورد گرم به قوی ساختن کمک می کند. این رسوبات وانادیوم، که به پایداری رسوبات نیوبیوم نیستند، محلول در همه دماهای عادی نورد کاری هستند که برای ایجاد فریت دانه ریز مفید می باشند (بخش فولادهای میکروآلیاژ شده نیوبیوم در این تحقیق را مشاهده نمایید) قوی ساختن به وسیله وانادیوم، بین ۵ تا ۱۵ مگا پاسکال (۲ و ۷ ksi) در هر ۰/۱ ترکیب شیمیایی وانادیوم است و این حد متوسط به مقدار کربن و سرعت سرد سازی حاصل از نورد گرم بستگی دارد (و بنابراین به ضخامت مقطع نیز بستگی دارد) سرعت سرد سازی که با دمای نورد گرم و ضخامت مقطع معین می شود بر روی قوی ساختن سطح رسوب در فولاد ۱۵٪ وانادیوم تاثیر می گذارد که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



شکل (۱-۱) - اثر میزان سرد کاری روی افزایش استحکام تسلیم ناشی از قوی ساختن رسوب در یک فولاد
۰/۱۵ درصد وانادیوم [۱]

در سرعت های سرد سازی بالا بیشتر ذرات V (CN) در محلول باقی می ماند و بنابراین بخش کوچکتري از ذرات V (CN) رسوب کرده و قوی ساختن نیز کاهش می یابد در مورد یک ضخامت مقطع داده شده و محیط سرد سازی ، سرعت های سرد سازی می توانند با افزایش یا کاهش دما قبل از سرد سازی به ترتیب افزایش یافته و یا کاهش یابند. افزایش دما باعث بزرگتر شدن اندازه دانه ای آستنیت می شود در حالیکه کاهش دمای نورد کاری را دشوار تر می سازد .

مقدار منگنز نیز بر روی استحکام دادن فولادهای میکروآلیاژ شده وانادیوم تاثیر می گذارد اثر منگنز روی فولاد وانادیوم نورد شده گرم در جدول (۱-۲) نشان داده شده است با افزایش ۰/۹ درصد منگنز که ناشی از قوی ساختن محلول جامد است . قوی کردن رسوب وانادیوم نیز افزایش می یابد چون منگنز دمای تغییر شکل آستنیت به فریت را پایین می آورد به این ترتیب باعث پراکندگی رسوب ریزتر می شود . این اثر منگنز روی قوی ساختن رسوب بزرگتر از اثرش در فولادهای نیوبیوم است با اینحال استحکام مطلق در یک فولاد نیوبیوم دارای ۱/۲ Mn٪ فقط حدود ۵۰ مگا پاسکال (۷ ksi) کمتر از فولاد وانادیوم است اما در سطح آلیاژی بسیار کمتری است (یعنی ۰/۰۶ nb٪ در برابر ۰/۱۴٪ وانادیوم) سومین عاملی که روی استحکام فولادهای وانادیوم تاثیر می گذارد اندازه دانه ای فریت تولید شده بعد از سرد سازی از دمای آستنیت کننده است . اندازه های دانه ای فریت ریزتر (که نه تنها باعث استحکام های تسلیم بالاتر شده بلکه چقرمگی و شکل پذیری را نیز بالا می برند) می توانند با دماهای تغییر شکل کمتر آستنیت به فریت و یا با شکل گیری اندازه های دانه ای آستنیت ریز تر قبل از تغییر شکل تولید شوند پایین آوردن دمای تغییر شکل که روی قوی ساختن سطح رسوب تاثیر می گذارد می تواند با افزودن آلیاژ و یا با سرعت های سردسازی افزایش یافته ایجاد

شود در مورد یک سرعت سرد سازی داده شده تصفیه اندازه دانه فریت و تصفیه اندازه دانه آستنیت در طول نورد کاری صورت می گیرد .

اندازه دانه آستنیت فولادهای نورد گرم با تبلور مجدد و رشد دانه ای آستنیت در طول نورد کاری معین می شود فولادهای نورد گرم وانادیوم معمولاً دستخوش نوردکاری قراردادی قرار می گیرند اما با نورد کنترل شده تبلور مجدد تولید می شود. با نورد کاری قراردادی فولادهای وانادیوم قوی ساختن مناسب رسوب را تهیه کرده و قوی ساختن نسبتاً کمی را از تصفیه دانه ایجاد می کنند استحکام تسلیم حداکثر فولادهای وانادیوم نورد گرم قراردادی با ۰/۲۵ درصد کربن و ۰/۰۸۷ درصد وانادیوم حدود ۴۵۰ مگا پاسکال (۶۵ ksi) است . حد عملی استحکام های تسلیم برای فولاد میکرو آلیاژ شده وانادیوم نورد گرم حدود ۴۱۵ مگا پاسکال (۶۰ ksi) است حتی وقتی تکنیک های نورد کاری کنترل شده بکار روند .

فولادهای وانادیوم که در معرض نورد کاری کنترل شده تحت تبلور مجدد قرار می گیرند نیاز به اضافه کردن تیتانیوم دارند بطوریکه رسوب ریزی از TiN تشکیل می شود که رشد دانه آستنیت را بعد از تبلور مجدد محدود می سازد . استحکام های تسلیم از نورد کاری کنترل شده قراردادی به حد عملی حدود ۴۱۵ مگا پاسکال (۶۰ ksi) محدود شده است که به دلیل فقدان تاخیر تبلور مجدد است وقتی هم استحکام و هم چقرمگی ضربه ای از جمله عوامل مهم باشند در این صورت فولاد نیویوم کم کربن و نورد کاری شده کنترل شده قابل ترجیح است (مثل ورقه مقاوم به ترک خوردگی تحریک شده هیدروژن X-۶۰) [۱]

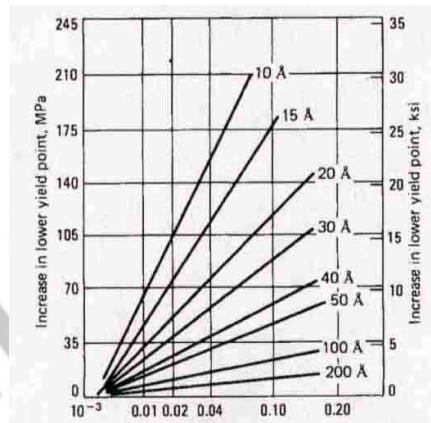
Vanadium content, %	Yield strength		Change in yield strength	
	MPa	ksi	MPa	ksi
0.3% Mn				
0.00	297	43	0	0
0.08	352	51	55	8
0.14	380	55	83	12
1.2% Mn				
0.00	331	48	0	0
0.08	462	67	131	19
0.14	552	80	221	32

جدول (۱-۱) - اثر مقدار منگنز روی قوی ساختن رسوب فولاد میکروآلیاژ شده وانادیوم با ترکیب پایه

۰/۰۸ درصد کربن و ۰/۳۰ درصد سیلیسیوم [۱]

۲-۳-۱- فولادهای میکروآلیاژ شده نیویوم :

مثل وانادیوم ، نیویوم استحکام تسلیم را با سخت کردن رسوب ، بالا می برد ، میزان افزایش به اندازه و مقدار کاربیدهای نیویوم رسوب کرده بستگی دارد .



شکل (۲-۱) - اثر کاربید نیویوم روی استحکام تسلیم برای اندازه های متفاوت ذرات کاربید نیویوم [۱]

با این حال نیویوم نیز یک تصفیه کننده دانه ای موثر از وانادیوم است . بنابراین اثر ترکیبی قوی کردن رسوب و تصفیه دانه فریت نیویوم، یک عمل قوی کننده موثرتر از وانادیوم می سازد . اضافه کردن نیویوم معمولاً حدود ۰/۰۴٪ تا ۰/۰۲٪ درصد است .

استحکام دهی با نیویوم ۳۵ تا ۴۵ مگا پاسکال (۶ تا ۶ ksi) در هر ۰/۰۱ درصد اضافه کردن است. این استحکام دهی با نقص قابل توجهی از چقرمگی فاز توام می باشد . تا اینکه روندهای نوردکاری ویژه ای تهیه شدند و مقادیر کربن برای جلوگیری از شکل گیری بینیت فوقانی پایین آورده شدند . بطور کلی دماهای پرداخت کاری بالا و عبورهای تغییر شکل نوری در مورد فولادهای نیویوم بکار می روند چون ممکن است باعث افزایش اندازه های دانه های مخلوط و یا فریت و یمن اشتاتن شود که چقرمگی را ناقص می کند . فولادهای نیویوم با نورد کاری کنترل شده و سرد کردن مستقیم تولید می شوند.

نوردکاری کنترل شده تحت تبلور مجدد فولاد نیویوم می تواند بدون تیتانیوم موثر باشد و این در حالی است که نورد کاری تحت تبلور مجدد فولادهای وانادیوم برای تصفیه ی دانه ای به تیتانیوم نیاز دارد . همچنین نیویوم بسیاری مورد نیاز است و فولادهای تیتانیوم - نیویوم می توانند در دماهای بالاتر نورد کنترل شده تحت تبلور مجدد بشوند. در حال حاضر فولادهای سطح ساحلی با ضخامت بیش از ۷۵ میلیمتر (۳ in) و با استحکام های تسلیم ۳۴۵ تا ۴۱۵ مگا پاسکال (۵۰ تا ۶۰ ksi) بطور معمول تولید می شوند . [۱]

۳-۲-۱- فولادهای میکروآلیاژ شده نیویوم - وانادیوم :

فولادهای میکروآلیاژ دارای نیویوم و وانادیوم استحکام بالاتری در شرایط نورد گرم بطور قراردادی نسبت به فولادهای موجود را دارد. مثل فولادهای نورد گرم، فولادهای وانادیوم - نیویوم تقریباً همه از استحکام افزایش یافته اشان به دلیل استحکام دهی به رسوب مشتق می شوند و بنابراین دماهای انتقال بالای شکل پذیر شکننده دارند. اگر فولاد نورد، کنترل شده باشد اضافه کردن نیویوم و وانادیوم با هم از جمله مزایایی برای افزایش استحکام تسلیم و پایین آوردن دماهای انتقالی شکل پذیر شکننده یا تصفیه دانه ای است.

معمولاً فولادهای نیویوم - وانادیوم با مقادیر کربن نسبتاً پایین شناخته می شوند. (کربن کمتر از ۰/۱۰٪) این مقدار پرلیت را کاهش می دهد و چقرمگی، شکل پذیری و قابلیت جوش را بالا می برد. این فولادها، معمولاً به عنوان فولادهای کاهش یافته پرلیت شناخته می شوند. [۱]

۴-۳-۲-۱- فولادهای میکروآلیاژ شده مولیبدن - نیویوم :

ممکن است میکروساختمان پرلیت - فریت داشته باشند و یا یک میکرو ساختمان فریت سوزنی داشته باشند، در فولادهای نیویوم، اضافه کردن مولیبدن، استحکام و تسلیم و استحکام کششی را حدود ۲۰ مگا پاسکال (۳ ksi) تا ۳۰ مگا پاسکال (۴/۵ ksi) به ترتیب در هر ۰/۱ درصد روی رنج تحقیق شده ۰/۲۷ درصد مولیبدن افزایش می دهد، اثر اصلی مولیبدن روی میکروساختمان تغییر مورفولوژی پرلیت و معرفی بینیت فوقانی به صورت جانیشینی جزئی برای پرلیت است. با این حال، چون مقادیر جداگانه استحکام پرلیت و بینیت تا حدی مشابهند از اینرو پیشنهاد شده است که افزایش استحکام ناشی از قوی ساختن محلول جامد و قوی ساختن زیاد رسوب Nb (CN) حاصله با نیویوم - مولیبدن باشد.

واکنش بین مولیبدن و نیویوم (یا وانادیوم) با اضافه کردن مولیبدن به صورت توزیعی برای افزایش قوی ساختن رسوب پیشنهاد شده است. این اثر به رسوب کاهش یافته در آستنیت به دلیل افزایش در قابلیت انحلال ناشی از کاهش در فعالیت کربن ایجاد شده با مولیبدن نسبت داده شده است. با رسوب کمتر در آستنیت، رسوبات بیشتری می توانند در فریت تشکیل شوند که باعث بالا رفتن استحکام می شود، همچنین مولیبدن در خود رسوبات شناسایی شده است، حضورش ممکن است، کارایی قوی شدن را با افزایش و تنش های چسبندگی (پیوستگی) و یا با افزایش کسر حجم رسوب، بالا برد، این فاکتور های متالورژیکی وقتی در رابطه با کارایی نورد کنترل شده برای دماهای

زیر دمای AR3 در نظر گرفته می شوند، منجر به تهیه فولاد خط لوله نیویوم-مولیبدن X-۷۰ مقرون
به صرفه تر می شوند. [۱]

۵-۲-۳-۱- فولادهای میکرو آلیاژ شده ی وانادیوم - نیتروژن :

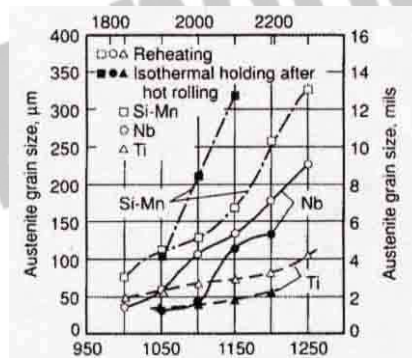
وانادیوم ، به طور قوی تر از نیویوم ، با نیتروژن ترکیب می شود و رسوبات نیتريد وانادیوم در فولاد نیتروژن - وانادیوم تشکیل می دهند. افزودنی های نیتروژنی به فولادهای دارای استحکام بالا و حاوی وانادیوم ، از لحاظ تجاری مهم شدند چون افزودنی ها ، سخت کاری رسوب را بالا می برند . سخت کاری رسوب ممکن است با کاهش در چقرمگی فاز همراه باشد ، اما این کاهش اغلب با کم کردن محتوای کربن دیگر صورت نمی گیرد ، رسوب نیتريد وانادیوم نیز به صورت یک تصفیه کننده دانه ای عمل می کند .

بعضی از تولید کنندگان از افزودنی های نیتروژن استفاده می کنند تا به قوی ساختن رسوب ورقه سرد و کنترل شده با ضخامت بالای ۹/۵ میلیمتر (۰/۳۷۵ in) کمک کنند ورقه های نورد گرم دارای وانادیوم و دارای ۰/۰۲۲٪ تا ۰/۰۱۸٪ درصد نیتروژن باسرد سازی کنترل شده با ضخامت بالای ۱۶ میلیمتر (۰/۶۲۵ in) و دارای استحکام های تسلیم ۵۵۰ مگا پاسکال (۸۰ ksi) تولید شده اند . با این حال ، ترک خوردگی به تاخیر افتاده ، یک مشکل اصلی در این فولادهاست . استفاده از نیتروژن ، برای فولاد هایی توصیه نمی شود که جوش پذیرند چون اثر مخربی روی چقرمگی فاز در ناحیه ی تحت تاثیر گرما دارد.[۱]

۶-۲-۳-۱- فولادهای میکروآلیاژ شده ی تیتانیوم :

تیتانیوم در فولاد های کم کربن به صورت ترکیباتی شکل می گیرد که تصفیه دانه ، قوی ساختن رسوب و کنترل شکل سولفید را فراهم می آورد . با اینحال ، چون تیتانیوم نیز یک دی اکسید کننده قوی است ، از این رو ، تیتانیوم می تواند فقط در فولادهای کاملاً کشته شده به کار رود (آلومینیوم دی اکسید شده) به طوری که تیتانیوم برای شکل دهی ترکیباتی غیر از اکسید تیتانیوم موجود است . از لحاظ تجاری ، رسوب فولاد های قوی شده با تیتانیوم با ضخامت بیش از ۵/۹ میلیمتر (۰/۳۷۵ in) و با استحکام تسلیم حداقل متغیر از ۳۴۵ تا ۵۵۰ مگا پاسکال (۵۰ تا ۸۰ ksi) با نورد کاری کنترل شده مورد نیاز برای به حداکثر رساندن استحکام و بالا بردن چقرمگی ، تولید می شوند .

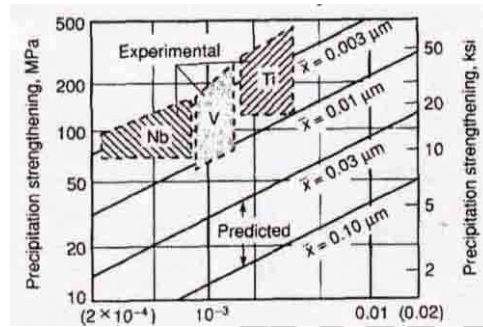
مثل فولادهای نیوبیوم و یا وانادیوم ، فولادهای میکروآلیاژ شده تیتانیوم ، با مکانیزم هایی مستحکم می شوند که با ترکیبی از تصفیه دانه و استحکام دهی رسوب توام می باشند ، ترکیبی که به مقدار افزودنی های آلیاژ و روشهای به عمل آوری بستگی دارد . در فولادهای ریختگی پیوسته و یا مجدداً حرارت داده شده ، مقادیر کمی از تیتانیوم (تیتانیوم ۰/۰۲۵ درصد) از جمله تصفیه کننده های دانه موثرند . چون ریشه دانه آستنیت با نیتريد تیتانیوم به تاخیر می افتد (شکل ۱-۳a).



شکل ۱-۳-a در زبری دانه آستنیت طی گرم کردن مجدد و بعد از نورد گرم برای نگهداری به مدت ۳۰ دقیقه که مقدار تیتانیوم بین ۰/۰۸۰٪ و ۰/۰۲۲٪ درصد می باشد. [۱]

مقادیر کم تیتانیوم در نورد کاری کنترل شده تحت تبلور مجدد نیز موثر است ، چون نیتريد تیتانیوم ، رشد دانه آستنیت باز متبلور شده را به تاخیر می اندازد . در نورد کاری کنترل شده قراردادی ، تیتانیوم ، تصفیه کننده دانه متوسط است ، که تصفیه کمتر از نیوبیوم را ایجاد می کند اما بیشتر از وانادیوم است .

بنابراین برای قوی کردن رسوب (شکل ۱-۳ b) مقدار کافی تیتانیوم برای تشکیل کاربید تیتانیوم مورد نیاز است، درصد های کم تیتانیوم (تیتانیوم ۰/۰۲۵ درصد <) اساساً نیتريد تیتانیوم تشکیل می دهند ، که روی رشد دانه آستنیت تاثیر دارند اما اثر کم روی قوی کردن رسوب دارند چون رسوب های تشکیل شده در مایع ، درشت و ناهموار هستند . افزایش مقدار تیتانیوم منجر به تشکیل آخال های سولفید منگنز حاوی تیتانیوم (Mn,Ti)S می شود و سپس کربوسولفیدهای کروی $Ti_4C_2S_2$ تشکیل می شوند (که کنترل شکل سولفید را انجام می دهند) [۱].



شکل b-۳-۱- وابستگی استحکام دهی رسوب روی اندازه متوسط رسوب (X) و کسر آن مطابق با تئوری و مشاهدات آزمایشی برای افزودنی های میکروآلیاژ کننده ی داده شده [۱]

شکل گیری $Ti_4C_2S_2$ همراه با شکل گیری کاربید تیتانیوم (TiC) است و با آن دنبال می شود، که می تواند برای قوی کردن رسوب فولادهای کم کربن به کار رود. برای تعیین مقدار تیتانیوم که برای قوی کردن رسوب موجود است، مقدار کامل تیتانیوم باید برای شکل گیری نیتريد تیتانیوم و کربوسولفیدهای نامحلول و درشت تنظیم شود. این نمونه ها در قوی ساختن رسوب، ته نشین نمی شود. استحکام مشاهده شده از لحاظ آزمایشی که از رسوب TiC افزایش می یابد، برای هر ذره بسیار ریزی (کمتر از ۳۰ آنگستروم) تا بالای ۴۴۰ مگا پاسکال متغیر است (شکل b-۳-۱). اگر مقدار کافی تیتانیوم به کار رود، تیتانیوم بعداً می تواند استحکام دهی رسوب بیشتر از نیوبیوم و یا وانادیوم فراهم کند. با این حال چون سطوح بالاتر استحکام دهی رسوب، معمولاً توام با چقرمگی کم شده است، از این رو تصفیه دانه برای توسعه و بالا بردن چقرمگی ضروری می شود. تیتانیوم یک تصفیه کننده دانه ای متوسط است (در مقایسه با نیوبیوم و وانادیوم در فولادهای نورد گرم شده) و سطوح بالای استحکام دهی رسوب فولادهای میکروآلیاژ شده تیتانیوم باعث کاهش شدید در چقرمگی می شود. استفاده از فقط تیتانیوم به عنوان یک استحکام دهنده در نوار نورد گرم پر استحکام منجر به تغییر پذیری غیر قابل قبول در خصوصیات مکانیکی می شود. (شکل b-۳-۱). [۱]

۷-۲-۳-۱- فولادهای میکروآلیاژ شده ی تیتانیوم - نیوبیوم :

گرچه فولادهای تیتانیوم رسوب قوی شده محدودیت هایی بنا بر چقرمگی و تغییر پذیری خصوصیات مکانیکی دارند، اما تحقیق نشان داده است که اضافه کردن تیتانیوم به فولادهای نیوبیوم کم کربن باعث پیشرفت در خصوصیات شان می شود. تیتانیوم، کارآیی نیوبیوم را افزایش می دهد. چون آن با نیتريد تیتانیوم تشکیل دهنده ترکیب نیتروژن است، بنابراین از شکل گیری نیوبیوم

جلوگیری می کند و قابلیت افزایش انحلال نیوبیوم را در آستنیت میسر می سازد که باعث رسوب افزایش یافته ای از ذرات $Nb(C,N)$ در فریت می شود اضافه کردن ۰/۰۴ درصد تیتانیوم به نوار فولاد حاوی مقادیر متفاوت نیوبیوم ، به طور ثابت ، افزایش استحکام حدود ۱۰۵ مگا پاسکال (ksi) (۱۵) را برای دمای ۶۷۵ درجه ی سانتیگراد (۱۲۵۰ درجه ی فارنهایت) تولید می کند. نوار فولاد تیتانیوم - نیوبیوم نورد گرم شده در ایجاد استحکام های تسلیم حدود ۵۵۰ مگا پاسکال (۸۰ ksi) موثر است . افزودن وانادیوم و یا مولیبدن می توان استحکام ها را تا ۶۹۰ مگا پاسکال (۱۰۰ ksi) بالا برد . [۱]

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

فصل دوم :

مروری بر منابع

یکی از مشکلات اصلی عمر ساختمان های بتنی خوردگی در فولادهای آن ساختمان می باشد.
فولاد میکرو آلیاژ دارای کربن معادل 0.3%، 0.4% می باشد و حاوی غلظتی از آلیاژهای کرم و مس و فسفر می باشد. [۲]

بر طبق گفته کمپانی TaTa (کمپانی فولاد در هند ۱۹۹۱) [۳] مس با کلراید واکنش داده و بر روی سطح فولاد یک لایه از $CuCl_2 \cdot 3Cu(OH)_2$ تشکیل میدهد و قابلیت انحلال را پایین می آورد و فرآیند خوردگی را به تعویق می اندازد و فسفر هم با اکسید شدن پروسه خوردگی را کند می کند و کرم هم با تشکیل یک لایه $(FeO \cdot Cr_2O_3)$ رسانایی ناچیز در الکترون ها دارد .

بسیاری از فولادها با فرآیندهای دمایی عملیات حرارتی پذیرند که شامل کوئینچ کردن و تمپر کردن پس از نورد می باشد. آزمایش در محیط های خوردگی در دوره هایی از ۲ ماه تا ۲ سال طول می کشد . به طور مثال آنالیز فولاد میکروآلیاژی CRPT1 به شرح زیر می باشد:
(مقادیر زیر به درصد می باشد)

0.12 ، 0.52 Cu ، 0.55 Cr ، 0.29 Si ، 0.025 S ، 0.117 P ، 0.960 Mn ، 0.180 C
Ni ، 0.009 Sn ، 0.036 Mo ، 0.019 V و آنالیز بقیه فولادها که این پروژه مورد مطالعه قرار می گیرد. در جدول ۱-۲ به طور کامل آمده است.

آزمایش هایی در ۶۰ سیکل در محلول نمکهای NaCl بر روی میله هایی که در بتن وجود دارد انجام می شود و در همه سیکل ها بلوک بتنی در محلول نمک دار فرو برده می شود و سپس در دمای اتاق به مدت ۴۸ ساعت خشک می شود. (با گردش هوا با دمای $10^{\circ}C$ [$14^{\circ}F$])
در مجموع سرعت خوردگی ماکروسل در آزمایش SE حدوداً برای فولاد میکروآلیاژی ، نصف سرعت خوردگی ماکروسل فولاد معمولی می باشد .

و در آزمایش bench-scale فولاد میکرو آلیاژ نورد گرم شده نسبت به فولاد معمولی بالاترین سرعت خوردگی را نشان میدهد ، اما در آزمایش ماکروسل سریع، نصف سرعت خوردگی فولاد معمولی را دارد و فولاد معمولی عملیات حرارتی شد مقاومت به خوردگی بهتری نسبت به فولاد معمولی نورد گرم شده دارد .

در این فولادهایی که بحث خواهد شد تقریباً پتانسیل خوردگی مشابهی را داریم وقتی که در معرض غلظتی از NaCl قرار بگیرند . پوشش های پلیمری در فولادهای میکروآلیاژ عملیات حرارتی پذیر بهتر از پوشش های پلیمری در فولادهای معمولی می باشد. [۲]

در جریان این پروژه ۲ ارزیابی سرعت داریم که یکی پتانسیل خوردگی و دیگری آزمایش ماکروسل می باشد و ۳ تا آزمایش bench Scale که شامل SE, CB, G109 می باشد که جلوتر به توضیح آن می پردازیم .
و همچنین آزمایش خمش و کشش که برای خاصیت مکانیکی و Ductility فولاد می باشد را داریم. [۲]

۱-۲- خوردگی فولاد در بتن :

موادها معمولاً از ترکیب شیمیایی (مواد معدنی - سنگ معدنی) و مقدار معینی انرژی که برای فرآیندهای آنها نیاز می باشد بدست می آیند.

خوردگی فولاد در بتن یک فرآیند الکتروشیمیایی می باشد که به ۴ فاکتور نیاز داریم .

(۱) آند

(۲) کاتد

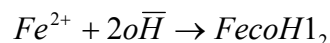
(۳) الکترولیت

(۴) جریان الکتریکی

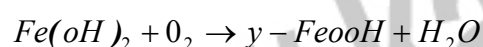
آند و کاتد دو محل متفاوت در فولاد می باشد که آنها محل های متفاوتی از فولادها را انتخاب می کنند. برای نمونه خوردگی ماکروسل را فرض می کنیم که آند و کاتد بر روی میله ها جای بگیرند یا در دو میله متفاوت در فولاد با وجود اکسیژن آهن با آن واکنش می دهد و تولید اکسید آهن داریم و از قسمت آند الکترون رها می شود [Eq.(1.1)] در کاتد اکسیژن با بخار آب ترکیب می شود و الکترون و هیدروکسید داریم [Eq.(1.2)].



آهن با هیدروکسید ترکیب می شود و تولید هیدروکسید آهن میکند .



هیدروکسید آهن با آب و اکسیژن ترکیب می شود و هیدروکسید آهن به اکسید آهن و آب احیاء می شود. خاصیت قلیایی بالا منجر به تشکیل یک لایه فیلم اکسید آهن γ بر روی سطح فولاد می شود که در برابر خوردگی محافظت می کند .

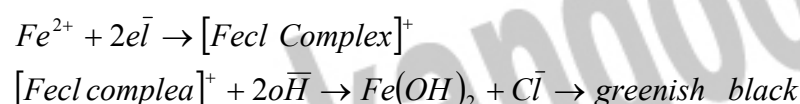


وجود فیلم محافظ ۲ مکانیزم مخرب دارد:

(۱) وجود کلراید آهن که نتیجه آن تجزیه فیلم محافظ می باشد .

۲) کربوره کردن که نتیجه آن کاهش PH بتن مثلاً کاهش Passivity (PH بتن و خمیر سیمان ۱۳ تا ۱۳/۵ می باشد).

به طور نمونه بر روی یک قسمت از بتن ، کلراید ها از بالای سطح وارد می شوند که وقتی که کلرایدها به قسمت بالای فولاد می رسد پتانسیل خوردگی به مقدار منفی ای می رسد و در قسمت پایین فولاد مقدار پتانسیل نسبی را داریم که این تفاوت پتانسیل، نتیجه تشکیل سلول گالوانیکی در پروسه خوردگی می باشد که در نهایت چنین واکنش هایی را داریم [۲].



۲-۲- روش های نمایان شدن خوردگی :

شامل اندازه گیری پتانسیل خوردگی ، سرعت خوردگی ماکروسکل ، مقاومت پلاریزاسیون طولی ، طیف الکتروشیمیایی و مشاهده چشمی می باشد. [۲]

۲-۲-۱- پتانسیل خوردگی :

میزان پتانسیل خوردگی بین یک میله و الکتروود مرجع برای یک میله مقدار متفاوتی می باشد. الکتروود مرجع بدون توجه به محیط یک مقدار ثابتی از پتانسیل را دارا می باشد (uhlig1985) [۲۵] واکنش الکتروود استاندارد هیدروژن $2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2$ که پتانسیل آن صفر در نظر گرفته می شود. دیگر الکتروودها مثل الکتروودهای استاندارد Calomel (SCE) و الکتروود سولفات مس - مس (CSE) که غالباً بیشتر از SHE استفاده می شود. [۲] در جدول ۲-۱ تفاوت پتانسیل این دو الکتروود نسبت به SHE داده شده است.

جدول ۲-۱ الکتروود های استاندارد مرجع

Electrode	Half – Cell reaction	Potential vs. she(V)
Copper- copper Sulfate (CSE)	$CuSO_4 + 2e^{-} \rightarrow Cu + SO_4^{2-}$	+0.318
Saturated calomel(SCE)	$HgCl_2 + 2e^{-} \rightarrow 2Hg + 2Cl^{-}$	+0.241
Standard hydrogen	$2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2$	0.000

جدول ۲-۲-۲- توضیح نیم سلول (ASTM C876)

Half – cell Reading (V)	Interpretation
CSE SCE <-0.200 <-0.125	greater than 90% probability that Corrosion is not occurring
-0.200 to – 0.350 -0.125 to – 0.275	Corrosion activity is uncertain
>-0.350 >0.275	Greeter than 90%probability that corrosion is occurring

۲-۲-۲- سرعت خوردگی ماکروسل

سرعت خوردگی یک میله تقویت شده در آزمایش خوردگی را می توان طبق فرمول زیر محاسبه و اندازه گیری کرد [۲]:

$$Rate = K \cdot \frac{i_c \cdot a}{n \cdot f \cdot D}$$

سرعت بر حسب $\mu m / year$ می باشد.

$K = 31.5 \times 10^4 \text{ apm} \cdot \mu m \cdot Sec / \mu A \cdot cm \cdot Year$ فاکتور تبدیل

$I_c =$ دانسیته جریان خوردگی ($\mu A / cm^2$)

$a =$ وزن اتمی برای مواد آهنی $55.8 \text{ g} / \text{g-atom}$

$f =$ ثابت فارادی $F = 96500$

$n =$ ظرفیت معادل (2 برای آهن)

$D =$ چگالی مواد g / cm^3 ($D = 7.87 \text{ g} / \text{cm}^3$ برای آهن)

$$Rate = i_c \left(\frac{1 \text{ equiv}}{96500 \text{ amp} \cdot s} \right) \cdot \left(\frac{55.8 \text{ g}}{2 \text{ equiv}} \right) \cdot \left(\frac{\text{cm}^3}{7.87 \text{ g}} \right) \cdot \left(\frac{10^4 \mu m}{1 \text{ cm}} \right) \cdot \left(\frac{31.5 \times 10^6 \text{ s}}{\text{year}} \right) \quad (2-1)$$

$$Rate = 11.6 \cdot i_c \quad (2-2)$$

$$i_c = \frac{V}{R \cdot A}$$

$V =$ ولتاژ مقاومتی (Mv)

$R =$ مقاومت (ohm)

$A =$ سطح میله آندی (cm^2)

۳-۲-۲- مقاومت پلاریزاسیون

$$i_c = \frac{B}{R_p}$$

i_c = دانسیته جریان خوردگی ($\mu A / a^2$)

B = با مقدر ثابتی بین 26-52 (mv) برای آهن در بتن

R_p = مقاومت پلاریزاسیون ($K\Omega cm^2$)

۳-۲- آزمایش های خوردگی

آزمایش های ارزیابی سریع ای که بر روی فولاد انجام می شود شامل پتانسیل خوردگی و آزمایش ماکروسل خوردگی می باشد و ۳ آزمایش bench - scale می باشد [۲].

۱-۳-۲- آزمایش های ارزیابی سریع

آقای Martinez [۴] آزمایش های پتانسیل خوردگی ، ماکروسل خوردگی را بر روی فولاد در سال ۱۹۹۰ انجام داد . تحقیقات انجام شده شامل توسعه و ارزیابی نمونه های آزمایش استاندارد آن در پتانسیل خوردگی و ماکروسل خوردگی می باشد و تأثیر متفاوت غلظتهای آنها برای ۳ فاکتور (کلراید کلسیم - کلراید سدیم ، کلراید استات منیزیم^۱) بر روی خوردگی فولاد تقویت شده در ملات می باشد .

نمونه ای که در ارزیابی سریع استفاده می شود 127mm طول دارد با شماره 13 (No.4) میله تقویت شده که تا حدودی در ملات فرو برده می شود ، نمونه یک پوشش نازکی از ملات را دارد که کلراید در یک زمان کوتاه به فولاد می رسد . پتانسیل خوردگی یک جریان نسبی ای از مواد را مشخص می کند که در محیط خورده می شود.

آزمایش ماکروسل برای اندازه گیری سرعت خوردگی فولاد استفاده می شود . در اولین هفته آزمون پتانسیل خوردگی نتایج بیشتری را نسبت به آزمون ماکروسل نشان می دهد . نتایج نشان می دهد که کلراید کلسیم قدرت نفوذپذیری بیشتری نسبت به کلراید سدیم دارد در حالی که استات منیزیم کلسیم کمترین خوردگی را دارد [۲].

۲-۳-۲- آزمون Bench - Scale :

آزمون Bench- scale شامل آزمون های^۲ ASTM G109^۳ -CB^۳-SE^۴ می باشد

^۱ - calcium magnesium acetate

^۲ - AstmG109 [7]

^۳ -CB: Cracked beam

^۴ - S.E: Southern Exposure

نمونه Bench-scale عبارتست از یک تختال بتنی با محتوی ۲ ماده فولادی که جریان ماکروسول بین ۲ قسمت فولاد اندازه گیری می شود و سرعت خوردگی میله ها راهمین طور اندازه گیری می کنیم (قسمت ۲-۲-۲) و همچنین پتانسیل خوردگی قسمت بالائی و پایین ماده ها را گزارش می دهد. نمونه SE عبارتست از یک تختال بتنی با طول 805 mm (12in)-پهنای 305 mm (12in) و ارتفاع 179 mm (12in) ، نمونه CB طویل تر از نمونه SE می باشد و نصف پهنای SE را دارد.

یک ترک ماندی در بتن به طور خط موازی و حدوداً بالای میله قرار دارد (6in)152mm
0.3mm (0.012in) طول

نمونه ASTM G109 عبارتست از یک تختال بتنی با طول 279 mm (11in) و با پهنای 152mm (6in) و 114mm (4.5in) ارتفاع می باشد.

سیکلی که این آزمون ها را شامل می باشد نمونه ای می باشد که ۱۰۰ ساعت در محلول NaCl ۱۵٪ قرار می گیرد و سپس نمونه در اثر حرارت خشک می شود (100°F و به مدت ۶۴ ساعت) بعد از این دوره نمونه ها خشک می شوند و تا ۲ هفته این سیکل ادامه پیدا می کند تا جریان خوردگی بین ۲ قسمت فولاد به $10\mu A$ برسد .

آزمون های مکانیکی برای استحکام کششی و استحکام تسلیم و Elongation (درصد کشیدگی) بر روی فولاد میکروآپاژی انجام می شود و همچنین آزمون خمش [۲].

۲-۴- روش کار آزمایش

پتانسیل خوردگی ، ماکروسول خوردگی ، Southern Exposure ، Cracked beam و آزمون ASTM G109، برای مقایسه انواع مختلف فولاد تقویت شده استفاده می شود .
آزمونی که برای ارزیابی سریع انجام می شود آزمون Bench-Scale با ۳ فاکتور SE ، CB ، ASTM G109 می باشد .

این فصل احتیاجات و موادهای لازم و روش کار و استفاده آنها را برای ساختن نمونه ها توضیح می دهد و رفتار خوردگی را گزارش می دهد. [۲].

۲-۵- فولاد تقویت شده

در جدول ۱-۲ و ۲-۲ حالت های شیمیایی و خاصیت های مکانیکی فولاد توسط Gerdau Ameristeel گزارش شده است. [۲]

انواع این فولادها به شرح زیر است :

فولاد N: فولاد معمولی نرماله شده

فولاد T: فولاد معمولی عملیات حرارتی شده

فولاد CRT1: فولاد میکروآلیاژی با فسفر بالا حدود (0.117%)

فولاد CRPT2: فولاد میکروآلیاژی فسفردار (0.1%) عملیات حرارتی شده

فولاد CRT: فولاد میکرو آلیاژها با فسفر نرمال و عملیات حرارتی شده

۳-۲- حالت های شیمیایی فولادهای تقویت شده (%)

Designation	C	Mn	P	S	Si	Cr	Cu	Ni	Sn	Mo	V
N	0.400	1.010	0.022	0.032	0.220	0.200	0.300	0.200	0.010	0.040	0.003
T	0.360	0.770	0.018	0.040	0.160	0.180	0.310	0.140	0.004	0.042	0.004
CRPT1	0.180	0.960	0.117	0.025	0.290	0.550	0.520	0.120	0.009	0.036	0.019
CRPT2	0.160	1.010	0.100	0.033	0.290	0.650	0.560	0.140	0.010	0.035	0.013
CRT	0.190	0.940	0.017	0.031	0.390	0.710	0.450	0.110	0.009	0.040	0.002

۴-۲- حالت های مکانیکی فولادهای تقویت شده

Steel designation	Yield strength		Tensile strength		Elongation	Bending	Deformation height		Weight	
	(MPa)	(ksi)	(MPa)	(ksi)			(mm)	(in.)	(kg/m)	(lb/ft)
N	466.5	67.7	774.0	112.3	13.0%	OK	0.965	0.038	1.666	1.058
T	562.7	81.6	709.5	102.9	13.0%	OK	1.067	0.042	1.570	0.997
CRPT1	616.1	89.4	769.5	111.6	13.0%	OK	0.940/0.1.041*	0.037/0.041*	1.568/1.587*	0.996/1.008*
CRPT2	607.2	88.1	756.4	109.7	12.5%	OK	0.991/0.1.067*	0.039/0.042*	1.559/1.678*	0.990/1.066*
CRT	600.2	87.1	765.1	111.0	12.0%	OK	0.1.016/1.067*	0.040/0.042*	1.562/1.587*	0.992/1.008*

* Information for two different rollings

۲-۶- آزمون ارزیابی سریع

در این پروژه آزمون ارزیابی ای که استفاده می شود آزمون ماکروسل خوردگی و آزمون پتانسیل خوردگی می باشد میله هایی که مورد آزمایش قرار می گیرند با پوشش ملات یا شامل ۵۵ آزمون پتانسیل خوردگی و ۱۱۵ آزمون ماکروسل می باشد.
این قسمت شامل یک توضیحی از مواد لازم جهت آزمایشات و نمونه های مورد آزمایش می باشد. [۲]

۲-۶-۱- شرح آزمایش

۲-۶-۱-۱- آزمون پتانسیل خوردگی

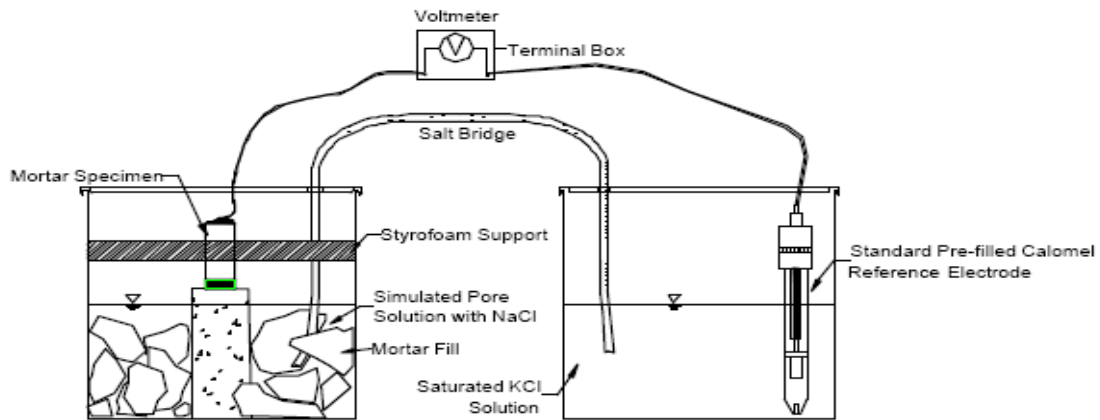
آزمون پتانسیل خوردگی با جریان نسبی از مواد که در محیط خورده می شود اندازه گیری می شود.

پتانسیل خوردگی میله های تقویت شده در محلول یونی NaCl با غلظتهای 0.4m, 1.6m اندازه گیری می شود که با الکتروود اشباع شده calomel در یک محلول اشباع شده کلراید پتاسیم تماس دارد. در شکل ۱-۲ نمونه ای را مشاهده می کنیم که در مرکز ظرف ثابت شده به کمک محافظی نگهداری می شود در این مورد نمونه ملاتی (در شکل ۱-۲ نشان داده شده است) نمونه ای می باشد که در به طور کامل از ملات پر شده است.

مشابه بتنی آن که با محلول NaCl که در ظرف می باشد 51 mm (2in) در بالای میله و 13mm ($\frac{1}{2}$ in) در بالای فولادی که سطح آن از ملات می باشد نمونه ای که با روکش از پایین آزاد می باشد با یک سیم مسی بسته شده است .

یک پل نمکی که به حلال اشباع شده متصل می باشد و ظرفی دیگر وجود دارد که در آن حلال اشباع شده کلراید پتاسیم می باشد. ولتاژی که خوانده می شود متصل است به الکتروود اشباع شده calomel که ولت متر مقادیر مثبت و منفی را نشان می دهد که به جعبه ترمینال^۱ متصل می باشد. [۲]

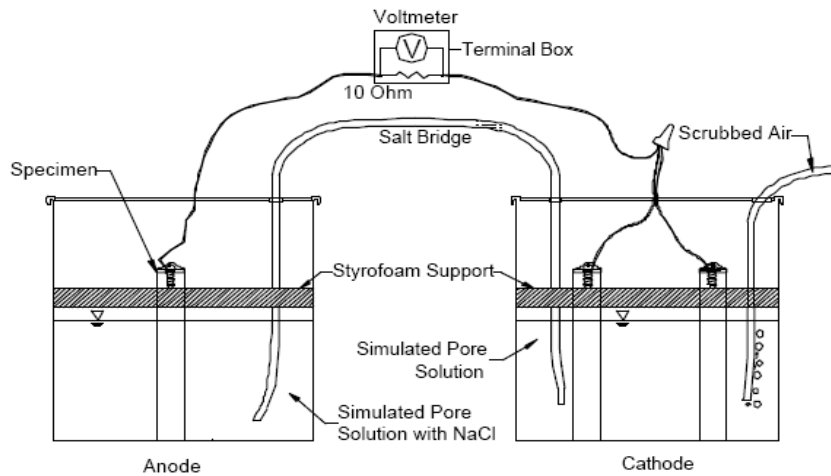
^۱ - Terminal box



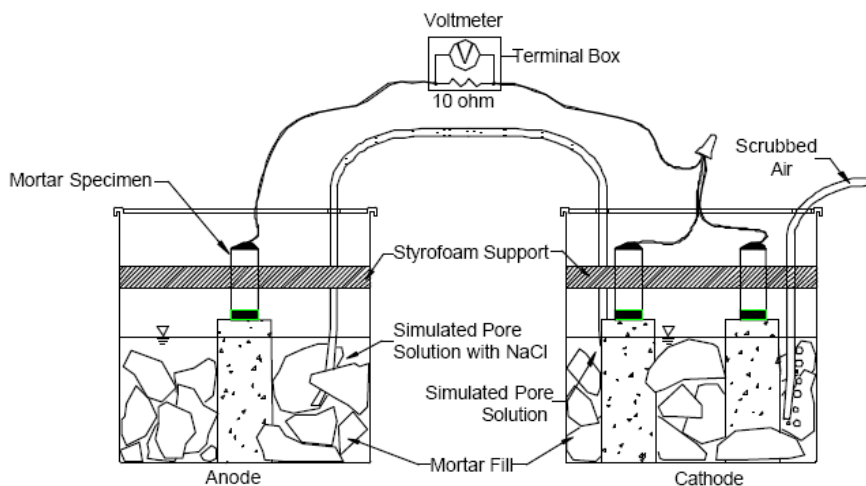
شکل ۱-۲- آزمایش پتانسیل خوردگی برای نمونه ملاتی

۲-۱-۲- آزمون پتانسیل خوردگی

با کاربرد آزمون پتانسیل خوردگی، میزان سرعت خوردگی فولاد مشخص می شود. شکل ۲-۲ و ۲-۳ ثابت ماکروسل را بر روی آندریک کاتد نشان می دهد. کاتد در یک محلول بتنی مانند ساخته می شود. ثابت آندی هم در یکی از نمونه ها در محلول بتن مانند با کلراید سدیم (با غلظت 0.4, 1.6M ساخته می شود. پتانسیل خوردگی آندی و کاتدی با الکتروود مرجع اشباع نشده Calomel در نظر گرفته می شود (SCE). این آزمون ها تا ۱۰۰ روز ادامه پیدا می کند. برای آند نمونه ای را در نظر می گیریم که در وسط ظرف می باشند و این نمونه روکش ملاتی دارد و به طور کامل از ملات احاطه شده است و بالای میله توسط محافظی نگهداری می شود. پل نمکی موجود، به محلولی که آند و کاتد را احاطه کرده است متصل است.

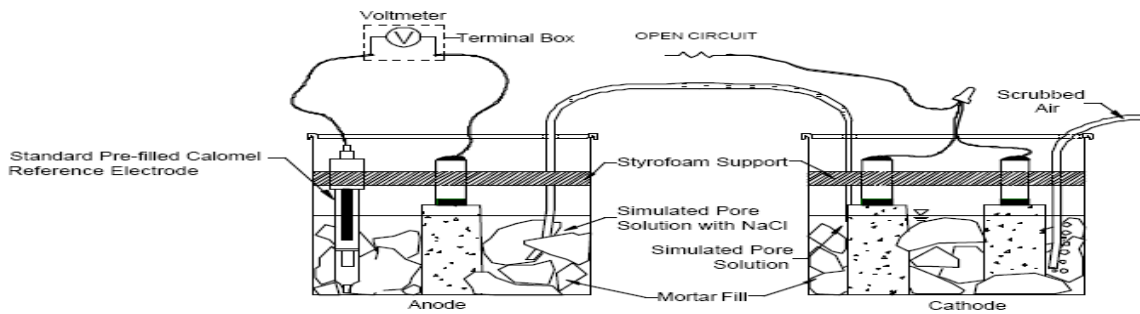


شکل ۲-۲- آزمایش ماکروسل برای میله های ساده



شکل ۲-۳- آزمایش ماکروسل برای نمونه های ملاتی

مقدار ولتاژ از مقاومت ۱۰ اهم کاسته می شود به طوری که تمام جریان ماکروسل به Red binding post^۱ , Black binding Post^۲ در جعبه ترمینال متصل می شود. ترمینال مثبت از Red binding post به Black binding Post متصل می شود. ترمینال منفی از ولتاژ به Terminal box جدا می شود. و بعد از کاهش ولتاژ مقدار آن خوانده می شود. آند از Terminal box جدا می شوند و پس از ۲ ساعت جدائی پتانسیل خوردگی آند و کاتد با الکتروود اشباع شده Calomel در محلول که میله را احاطه کرده است اندازه گیری می شود به ترمینال مثبت متصل می شود. شکل ۲-۴- آزمایش ماکروسل را نشان می دهد و قتیکه پتانسیل خوردگی در آن اندازه گیری می شود [۲].



شکل ۴-۲- آزمایش ماکروسل برای مطالعه پتانسیل خوردگی

$$R_{ote} = 11.6ic = \frac{11600V}{A.R}$$

i_c : شدت پتانسیل خوردگی

M_v سقوط ولتاژ مقاومت = V

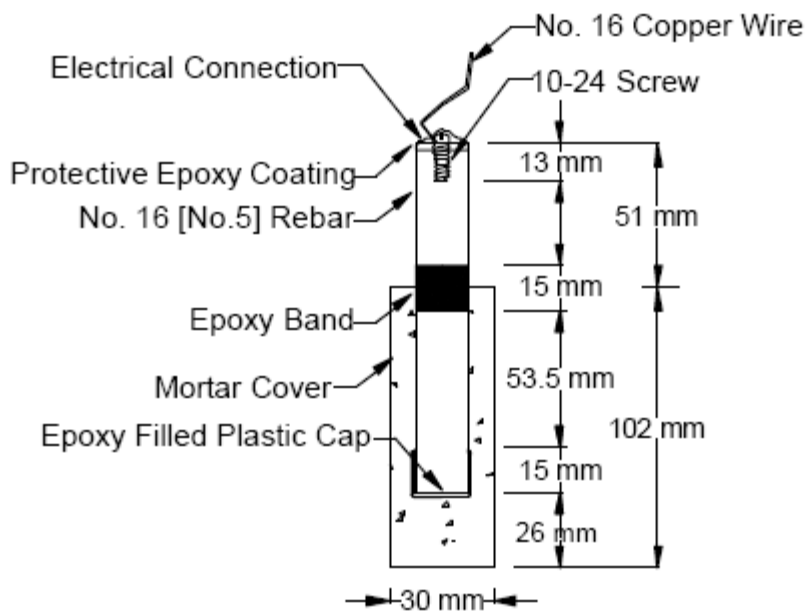
R = مقاومت (ohm)

A = Cm^2 سطح فلز میله‌ی آندی

۲-۶-۲- خاصیت نمونه های آزمایش

نمونه که در آزمایش پتانسیل خوردگی استفاده می‌شود دارای $127mm$ (5in) طول با شماره ۱۶ می باشد.

میله تقویت شده و جانی از میله که درمالات فرو برده می شود در شکل ۵-۲ آمده است بخشی از میله با Epoxy پوشش داده شده است با چسبیدن Epoxy سطح بهتری پیش بینی می شود. بعد از تمیز کردن کانال برداشته می شود و میله ها توسط استن (acetone) تمیز می شوند. Epoxy در ۲ نوع پوشش عمل می کنند. یک پوشش وقتی که اولین پوشش تقریباً بعد از ۲ ساعت چسبناک به نظر می رسد. بسیاری از نمونه ها از انتهایشان سرپوش پلاستیکی دارند. دراین مورد اولین پوششش Epoxy در Unthreaded^۱ پایین میله عمل می شود. شکل ۵-۲ یک طرحی از نمونه ماکروسل، سرپوش دار بر روی پایین نمونه میله ای را نشان می دهد [۲].



شکل ۵-۲- نمونه ملاتی

۳-۲-۶- برنامه آزمایش

در مجموع ۵۵ پتانسیل خوردگی انجام می شود این آزمایش ها شامل ۵ آزمون برای هر نوع از فولاد در محلول 1.6m NaCl و ۳ تای آن برای هر نوع فولاد با پوشش ملاتی در غلظت های (0.4m, 1.6m) NaCl می باشد در مجموع ۱۱۵ آزمون ماکروسکل انجام می شود که شامل آزمایش های ۵ میله ساده برای هر نوع از فولاد در یون NaCl با غلظت های 0.4m, 1.6m می باشد و شامل آزمایش هایی می باشد که با پوشش ملاتی برای هر نوع فولاد بدون سرپوش از غلظت های مختلف داریم. خلاصه برنامه آزمایش ها برای آزمایش های ارزیابی سرعت در جدول ۳-۲ و ۴-۲ آمده است [۲].

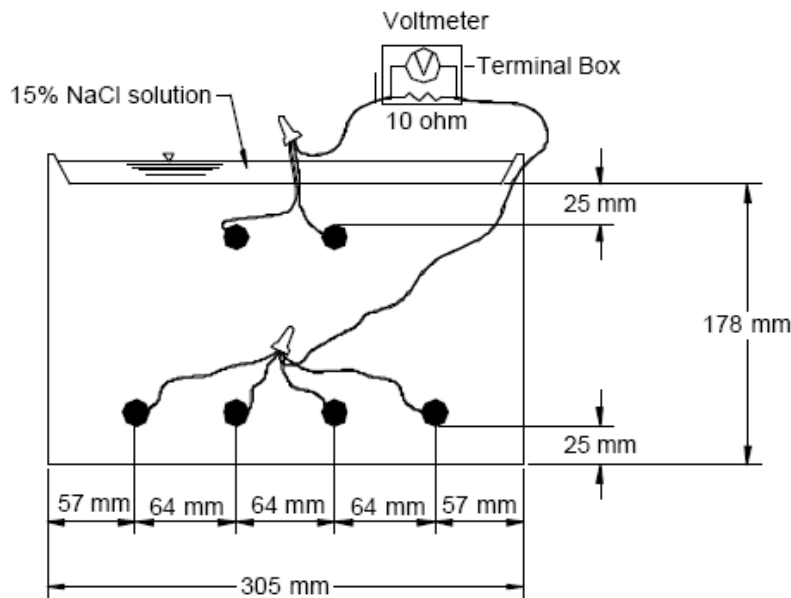
۷-۲- آزمایشات Bench – Scale:

آزمایش Bench-Scale شامل ۳ آزمایش SE و CB و ASTM G109 می باشد که در این پروژه مورد مطالعه قرار می گیرد در هر مرحله آزمایشات به مدت ۹۶ هفته طول می کشد . در آزمایشات ارزیابی سرعت ، نمونه ها به وسیله ارزیابی سرعت خوردگی و پتانسیل خوردگی میله ها نمایش داده شده است به اضافه اغلب مقاومت ماده به ماده ثبت شده است [۲] .

۲-۷-۱- روش آزمایشات

Southern Exposure-۲-۷-۱-۱

نمونه های SE (نمودار ۲-۷) شامل تختالهای بتنی به طول (12in)305mm، پهنای (12in)305mm و ارتفاع (7in)178mm می باشد. تختال ها حاوی ۲ جنس از فولاد می باشند که جریان الکتریکی با مقاومت 110Ω وصل می باشد یک بست حائل بتونی در بالای نمونه در برخی مواقع در مجاورت نمونه قرار می گیرد. پوشش بتن در بالا و پایین حدود (1in)25.4mm می باشد [۲].



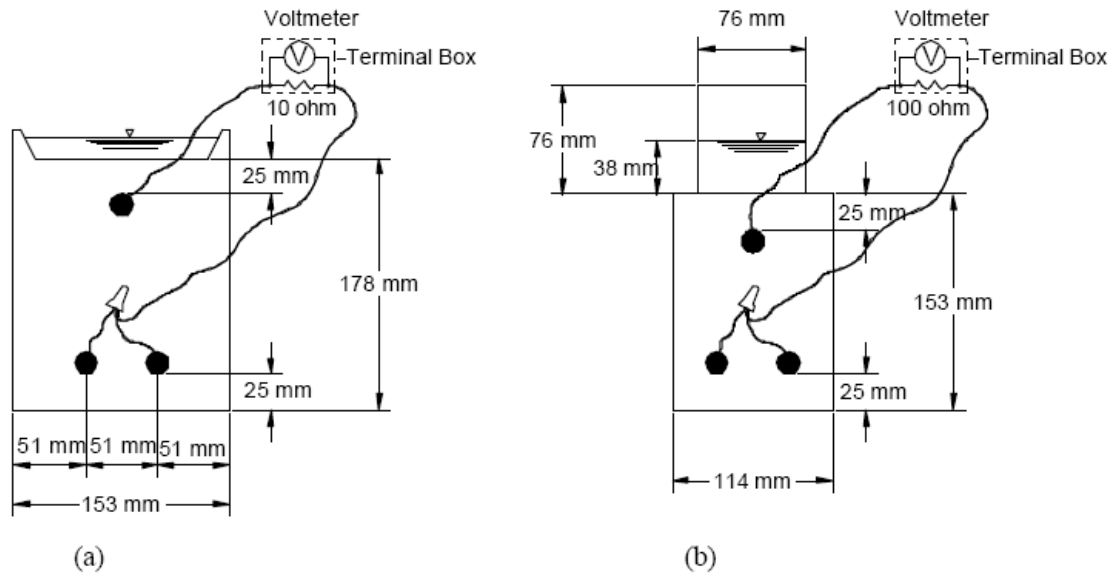
شکل ۲-۶- نمونه Southern Exposure

Cracked beam-نمونه ۲-۷-۱-۲

نمونه CB (شکل 2.8 a) دارای طول و ارتفاع مشابه نمونه SE را دارد البته با پهنای نصف آن می باشد که شامل یک میله در بالای ماده که جریان الکتریکی از آن عبور می کند با مقاومت ۱۰ اهم را داریم و ۲ میله در پایین ماده [۲].

ASTM G109-نمونه ۲-۷-۱-۳

این نمونه در شکل 2.8b با طول (11in)279mm و عرض (4.5in)114mm, (G16)mm153 ارتفاع می باشد این نمونه شامل ۲ لایه از میله می باشد که مقاومت 100Ω از آن عبور می کند [۲].



شکل ۷-۲-۷-ا- نمونه Cracked Beam

شکل ۷-۲-۷-ب- نمونه G 109

۴-۱-۷-۲- روش کار آزمایش های Southern Exposure و Cracked Beam

روش کار این آزمایشها طبق پروسه های زیر می باشد .

(۱) در روز اول نمونه ها در حوضچه ای با محلول 15% NaCl در دمای اتاق یعنی 20°C - 40°C (68-84 $^{\circ}\text{f}$) قرار می گیرند.

(۲) در یک چهارم روز ولتاژ پایین می آید در حالی که در قسمت فولادی به مقاومت 10Ω متصل است و سپس جریان قطع می شود. ۲ ساعت پس از جدا کردن نمونه ها ، محلول از روی نمونه بالائی برداشته می شود . پتانسیل خوردگی با در نظر گرفتن الکتروود سولفات مس - مس (CSE) در قسمت بالا و پایین فولاد گزارش می شود .

(۳) پس از روز سوم این اتاق حرارتی برداشته می شود و نمونه ها در حوضچه محلول 15% NaCl قرار می گیرند و این سیکل دوباره شروع می شود .

۵-۱-۷-۲- روش آزمایش ASTM G109

سیکل خشک کردن در G109 با کاربرد آزمایش های CB,SE متفاوت می باشد.

در آزمایش G109 نمونه را در حوضچه‌ای از محلول 15%NaCl برای ۲ هفته قرار می‌دهیم.
بعد از ۲ هفته محلول از نمونه ها جدا می شود و سپس نمونه خشک می شود و این سیکل برای تمام دوره های آزمون تکرار می شود.[۲]

۲-۷-۲- آماده سازی نمونه های آزمایش

- روش کار ، آماده سازی نمونه های bench- scale طبق زیر می باشد .
- ۱) میله ها برای نمونه های CB,SE به طول 305^{mm} (12in) بریده می شود. و برای نمونه G109 با طول 270^{mm} (11in) بریده می شود .
 - ۲) لبه تیزی که بر روی پایین نمونه‌ها وجود دارد با دستگاه سنگ برداشته می شود.
 - ۳) در طول عملیات توسط یک پیچ میله ها بسته می شوند و در طول آزمایش به یک جریان الکتریکی متصل می باشند .
 - ۴) میله ها توسط استن (Acetone) در روغن تمیز کاری می شوند. در آزمایش G109 این میله ها در محلول اسید سولفوریک ۱۰٪ برای ۱۰ دقیقه قرار می گیرد. و سپس خشک می شود . و سپس با برس سیمی روی آنها عملیات تمیز کاری انجام می شود .
 - ۵) میله ها را در قالبهای چوبی قرار می دهند که در این قالبها روغن معمولی وجود دارد.
 - ۶) برای نمونه های CB ، یک Shim^۱ فولاد ضد زنگ 0.3^{mm} بر روی قسمت پایینی قرار گرفته است. بنابراین Shim در زیر و موازی بالای میله قرار می گیرد.
- طرز کار نمونه‌ای که استفاده می شود طبق زیر می باشد :
- ۱- طرز کار بتنی که Mix شده است در ASTM G109 [5] توضیح داده شده است .
 - ۲- نمونه هایی که در دو لایه ریخته می شود هر لایه به مدت ۳۰ ثانیه به صورت و بیره بر روی میز ویبراسیون به پهنای 0.15^{mm} (0.006in) قرار می گیرد این نمونه ها برای همه فولادها به همین شکل عمل می کنند . تا اثر نوسان در بتن حذف گردد .
 - ۳- بعد از اینکه سطح نمونه دوم و بیره شد از آن به عنوان یک جسم شناور چوبی استفاده می کنند.
 - ۴- نمونه به مدت ۲۴ ساعت در هوا می ماند و بهبود پیدا میکند .
 - ۵- بعد از ۲۴ ساعت ، نمونه CB ، SE از قالب جدا می شود . shims فولاد ضد زنگ از نمونه CB جدا می شود .

نمونه هایی که در کیسه پلاستیکی قرار می گیرند، در ۴۸ ساعت آب آن تقطیر میشود سپس قالب را از کیسه جدا می کنند و در طول ۲۵ روز در هوا می ماند. بعد از ۲۴ ساعت نمونه G 109 از قالب جدا می شود و در دمای اتاق با دمای $(73.4 \pm 3.6^\circ F)$ $(23 \pm 2^\circ C)$ و با رطوبت نسبی حدود ۹۵٪ قرار می دهیم (به مدت ۲۶ روز).

۶- پس از پوشش دادن پلیمر به اطراف نمونه ها و برقراری اتصال الکتریکی از بروز خوردگی شیاری و گالوانیکی جلوگیری می شود.

۷- بالای نمونه ها را با ماسه سبک می پوشانیم.

۸- نمونه ها بر روی دو تکه چوب با ضخامت کم حدود 13^{mm} (2in) نگهداری می شوند و جریان هوا در زیر نمونه ها برقرار می باشد.

۹- بندهای Plexi glass^۱ به بالای نمونه های G109 وصل می شود که از Superglue^۲ استفاده می شود همچنین مفصل ها هم با سیلیکن (Silicone) پوشیده می شود.

۱۰- لایه بالایی فولاد با Outside red binding post^۳ روی جعبه ترمینال اتصال پیدا میکند در حالی که لایه پایینی فولاد با Outside Black binding post^۴ اتصال پیدا میکند

(شکل 2.9)

۳-۷-۲- موادهای مورد نیاز

برای آزمایش bench - scale مواد مورد نیاز به شکل زیر می باشد:

- ولت متر با مدل 3455A با $2M\Omega$ Impedance

- اهم متر با مدل 4338A

- ترکیب کننده با گنجایش $0.06m^3$ ($2Ft^3$)

- (SCE) الکتروود اشباع شده Calomel

از این الکتروود برای خواندن پتانسیل نمونه که در طول سیکل حوضچه قرار دارد استفاده می

شود.

- (CSE) الکتروود سولفات مس مس با مدل RE-5

از این الکتروود برای خواندن پتانسیل در طول دوره خشک کردن استفاده می شود.

- پوشش های پلیمری

۱-
۲-
۳-
۴-

از پوشش های پلیمری به عنوان یک پوشش در اطراف نمونه استفاده می کنند که اتصال الکتریکی به نمونه دارد .

- بتن که محتوای مواد زیر می باشد :

- آب : $\left(\frac{269 \text{ lb}}{\text{yd}^3} \right) 160 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

- سیمان : $\left(\frac{599 \text{ lb}}{\text{yd}^3} \right) 335 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

- مجموع صافی $\left(\frac{1436 \text{ lb}}{\text{yd}^3} \right) 852 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

- مجموع زبری $\left(\frac{1473 \text{ lb}}{\text{yd}^3} \right) 874 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

- چسب Vinsol $\left(\frac{70 \text{ ml}}{\text{yd}^3} \right) 90 \frac{\text{ml}}{\text{m}^3}$

بتن تا 3in ریزش (افت) ناگهانی دارد و شامل ۶۰٪ هوا می باشد و وزن آن $2241 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ یا

$\left(\frac{139.9 \text{ lb}}{\text{ft}^3} \right)$ می باشد.

- Plaxi glass : ضخامت 3mm Plaxi glass (0125in) می باشد و برای ساخت بند

پلاستیکی بروی بالای نمونه G109 استفاده می شود .

- اسید سولفوریک : برای آزمایش G109 از محلول اسید سولفوریک ۱۰٪ استفاده می کنند.

- جعبه ترمینال : جعبه ترمینال در آزمایش ماکروسول تهیه می شود و برای اتصال الکتریکی بین

نمونه ها ساخته می شود .

Binding post به شکل قرمز و سیاه وجود دارد که در شکل 2.9 آمده است .

بین خروجی قرمز Binding post و ورودی Binding post مقاومت ۱۰ اهم برای آزمایش

CB, SE وجود دارد و برای آزمایش G109 ۱۰۰ اهم می باشد .

لایه بالایی فولاد با خروجی قرمز Binding post اتصال پیدا می کند در حالی که لایه پایینی

آن با خروجی سیاه آن تماس دارد . در درون Binding post ، 'gage -16 مجزا سیم مسی با

خروجی سیاه تماس دارد. این سیم از درون Binding post زمانی که جریان وصل باشد جدا

می شود. از ۳ آزمایش CB, SE, G109 برای هر نوع از فولاد استفاده می کنیم .

در جدول ۲-۵ خلاصه آزمایش های Bench – scale آمده است . [۲]

۲-۸- آزمایش مکانیکی

با انجام آزمایش های کشش بر روی فولاد میکروآلیاژی همه عیوب حالت های مکانیکی اندازه گیری می شود نتایج شامل استحکام کششی و استحکام تسلیم و درصد کشیدگی (Elongation) می باشد [۲].

آزمایش خمش هم برای انعطاف پذیری فولاد انجام می شود .

۲-۹- آزمایشات ارزیابی سرعت

۲-۹-۱- آزمایش پتانسیل خوردگی

نتایج متوسط خوردگی در جدول ۳-۱ و شکل ۳-۱ تا ۳-۳ نشان داده شده است . آزمایشات شامل فرو بردن میله های ساده در یون NaCl با غلظت ۱/۶ مولار می باشد و همچنین میله های فرو برده شده در ملات که در یون NaCl با غلظت های ۱/۶ و ۰/۴ مولار می باشد.

۲-۵- مقادیر گوناگون پتانسیل خوردگی در روز ۴۰ م.

Steel Designation	Specimen					Average	Std. Deviation
	1	2	3	4	5		
Bare bars in 1.6 m ion NaCl							
N	-0.522	-0.261	-0.529	-0.518	-0.446	-0.455	0.114
T	-0.536	-0.541	-0.525	-0.526	-0.564	-0.538	0.016
CRPT1	-0.541	-0.501	-0.482	-0.501	-0.507	-0.506	0.022
CRPT2	-0.528	-0.509	-0.453	-0.521	-0.523	-0.507	0.031
CRT	-0.567	-0.579	-0.576	-0.519	-0.551	-0.558	0.025
Mortar-embedded bars in 0.4 m ion NaCl							
N	-0.545	-0.470	-0.469	-	-	-0.495	0.044
T	-0.517	-0.412	-0.470	-	-	-0.466	0.053
CRPT1	-0.424	-0.412	-0.490	-	-	-0.442	0.042
CRPT2	-0.495	-0.570	-0.572	-	-	-0.546	0.044
CRT	-0.452	-0.461	-0.405	-	-	-0.439	0.030
Mortar-embedded bars in 1.6 m ion NaCl							
N	-0.520	-0.487	-0.375	-	-	-0.461	0.076
T	-0.521	-0.284	-0.420	-	-	-0.408	0.119
CRPT1	-0.530	-0.520	-0.529	-	-	-0.526	0.006
CRPT2	-0.533	-0.511	-0.131	-	-	-0.392	0.226
CRT	-0.393	-0.280	-0.467	-	-	-0.380	0.094

جدول ۲-۵ پتانسیل متوسط خوردگی را در برابر یک الکتروود خالص Calomel در آخرین

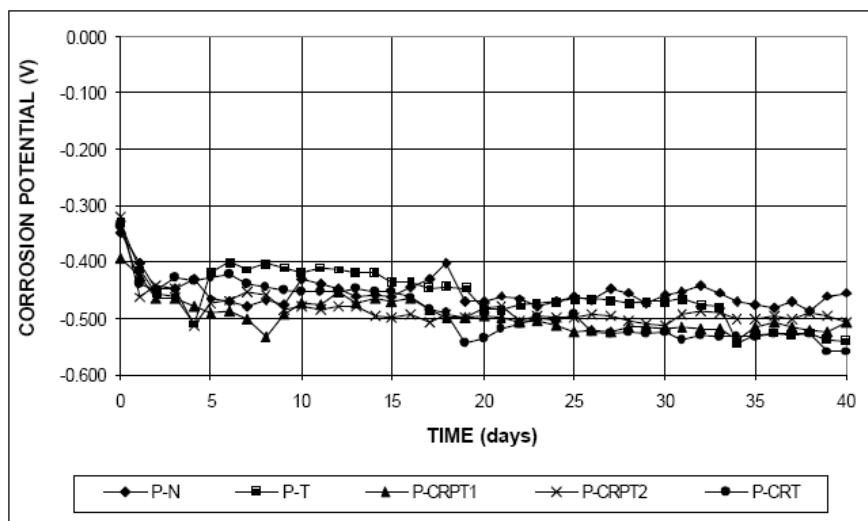
روز از دوره آزمایش نشان می دهد . پتانسیل خوردگی پایین تر ، احتمال خوردگی بیشتر نشان می دهد، چنان که در جدول ۱-۲ نشان داده شده است زمانی که پتانسیل خوردگی در برابر الکتروود خالص Calomel منفی تر (کمتر) از -0.275- ولت است ، بیشتر از ۹۰٪ احتمال این که خوردگی رخ ندهد وجود دارد و زمانی که پتانسیل بین -0.125- و -0.275- ولت باشد ، معلوم نیست خوردگی اتفاق بیفتد .

نتایج حاصل از آزمایش پتانسیل خوردگی نشان می دهد که ۵ فولاد مختلف تمایل مشابهی به خورده شدن دارند پس از پایان مدت آزمایش ، همه فولادها ، چه ساده چه فرو برده شده در ملات یک پتانسیل متوسط خوردگی دارند که پایین تر از -0.275 ولت است و نشان می دهد که احتمال اینکه خوردگی رخ دهد بالاست .

جدول ۵-۲ نشان می دهد که برای نمونه های ساده (معمولی) فولاد N کمترین تمایل به خوردگی را دارد در حالیکه فولاد CRT بیشترین تمایل به خوردگی را دارد . در مورد میله های فرو برده شده در ملات در محلول NaCl با غلظت $0/4$ مولار فولاد CRT و CRPT1 کمترین تمایل به خوردگی را دارند در حالیکه CRPT2 بیشترین تمایل به خوردگی را دارد . در نهایت برای میله های فرو برده شده در ملات ، در محلول NaCl $1/6$ مولار و CRT کمترین (پایین ترین) تمایل به خورده شدن را دارد ، در حالیکه CRPT1 بیشترین تمایل به خوردگی را دارد .

شکل ۸-۲ میانگین (متوسط) پتانسیل خوردگی در برابر الکتروود کلومل برای میله های ساده در $1/6$ مولاریون NaCl و محلول مشابه سازی شده خالص بتن را نشان می دهد . در بازخوانی اولیه کل مشاهدات متوسط پتانسیل زیر $0/300$ - ولت است و بعد از ۲ روز همه مشاهدات زیر -0.400 ولت می باشد و ویژگی مهم فولادها تمایل بالای آنها به خورده شدن می باشد.

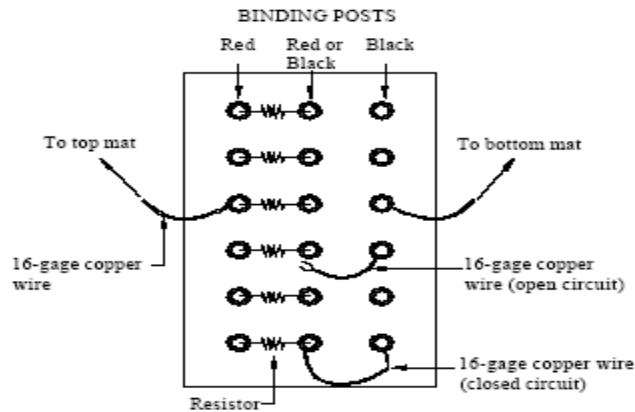
با رسیدن مقادیر بین 0.590 - ، -0.450 ولت در روز ۴۰ام، جریان پتانسیل به کندی کاهش می یابد . بین بیشترین مدت آزمایش فولادهای معمولی T, N بیشترین پتانسیل را نشان می دهند، اگر چه پتانسیل فولاد T در ۷ روز آخر منفی ترین می شود فولاد CRT, CRPT1 ، منفی ترین پتانسیل های خوردگی را بین بیشترین مدت آزمایش نشان می دهند و در پایان ۴۰ روز مدت آزمایش ، N، بیشترین ترین پتانسیل خوردگی را با -0.455 ولت نشان می دهد و سپس به دنبال آن CRPT1 با -0.506 ، CRRT2 با -0.507 ولت . و فولاد T -0.538 ولت و CRT -0.558 ولت را نشان می دهند.



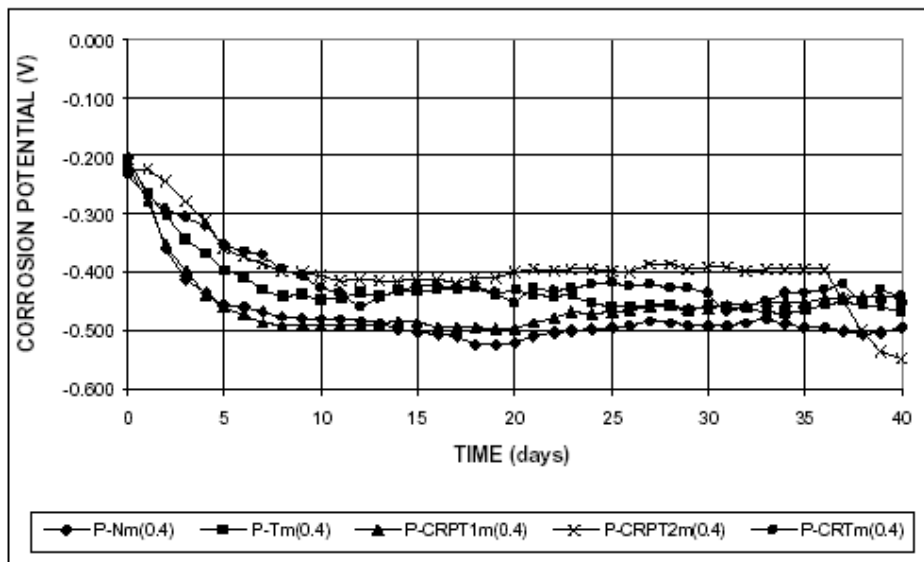
شکل ۸-۲- مقدار پتانسیل متوسط خوردگی الکتروود اشباع شده کلومل برای میله های ساده در یون NaCl ۱/۶ مولار

شکل ۱۰-۲ متوسط پتانسیل خوردگی را در برابر الکتروود کلومل برای میله های فرو برده شده در ملات در یون NaCl ۰/۴ مولار و محلول مشابه سازی شده خالص بتنی رانشان می دهد. مشاهدات متوسط پتانسیل در روز اول به -0.200 ولت رسید. به تدریج به مقادیری بین -0.500 تا -0.400 ولت می رسد، تا روز هشتم کاهش می یابد، تا جایی که به حالت تعادل در آزمایش باقی می ماند. در مدت آزمایش فولاد CRPT2 بیشترین پتانسیل خوردگی را در حدود -0.400 ولت در حالیکه فولاد N، کمترین پتانسیل خوردگی را در حدود -0.500 ولت نشان داد و فولادهای دیگر مقادیر متوسطی را نشان می دهند.

در روز ۳۷ ام، پتانسیل خوردگی فولاد CRPT2 منفی ترین می باشد و از -0.400 ولت می گذرد، در حالی که در پایان آزمایش به کمتر از -0.500 ولت می رسد در پایان ۴۰ روز مدت آزمایش، CRT با -0.439 ولت بیشترین پتانسیل خوردگی را دارد و سپس CRPT1 با -0.44 ولت و T با -0.44 ولت و CRPT2 با -0.546 ولت.



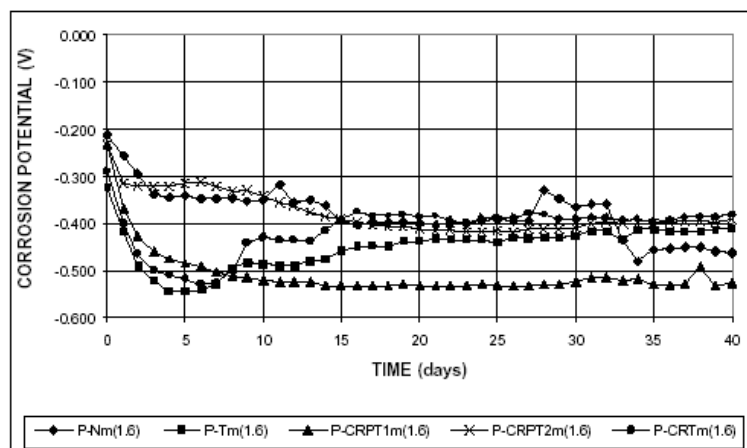
شکل ۹-۲- جعبه ترمینال برای آزمون Bench-Scale



شکل ۱۰-۲ متوسط پتانسیل خوردگی را در برابر الکتروود کلومل برای میله های فرو برده شده در ملات در یون 0.4 M NaCl و محلول مشابه سازی شده بتنی را نشان می دهد .

متوسط پتانسیل در روز اول ، برای پنج فولاد بین -0.200 و -0.300 ولت می باشد . پتانسیل خوردگی بتدریج پایین تر می آید و در روز هشتم پتانسیل متوسط خوردگی برای فولادهای CRPT2 , N در حدود -0.350 ولت می باشد در حالیکه برای فولادهای CRPT 1 , CRT و T در حدود -0.500 ولت می باشد .

پتانسیل مربوط به فولاد CRPT1 ادامه پیدا می کند تا به پایین ترین مقدار خود برسد و به مقداری حدود -0.525 ولت می رسد. بعد از ۸ روز متوسط پتانسیل خوردگی فولاد CRT, T, به مقادیر تقریبی -0.400 ولت، افزایش می یابد در حالیکه پتانسیل متوسط خوردگی فولاد CRPT1, N به مقدار تقریبی -0.400 ولت کاهش می یابد. در پایان ۴۰ روز آزمایش فولاد CRT بیشترین پتانسیل خوردگی یعنی -0.380 V را نشان می دهد و به دنبال آن CRPT2 با -0.392 V و فولاد T با -0.408 V و فولاد N با -0.461 V و فولاد CRPT1 با -0.526 V می باشد [۲].



۱۱-۲- مقدار پتانسیل متوسط خوردگی الکتروود اشباع شده کلومل برای نمونه های ملاتی در بتن فرو شده (در

یون 1.6 NaCl مولار)

۲-۹-۲- آزمایش خوردگی ماکروسل

نتایج مربوط به سرعت متوسط خوردگی در جدول ۶-۲ و اشکال ۱۲-۲ تا ۱۶-۲ نشان داده شده است.

جدول ۶-۲ سرعت های متوسط خوردگی را در روز آخر مدت آزمایش یعنی روز ۱۰۰ام (صدم) نشان میدهد. سرعت خوردگی فولاد CRT مشابه فولاد T در ۴۵ روز اول می باشد اما پس از آن کاهش می یابد.

چنانچه در جدول ۶-۲ نشان داده شده است در پایان مدت آزمایش فولاد T کمترین کنترل سرعت متوسط خوردگی را با $30.32 \mu\text{m}/\text{year}$ دارد به دنبال آن CRPT1 با 37.42 و فولاد N با 40.21 و فولاد CRPT با 44.84 و فولاد CRPT2 با 49.43 .

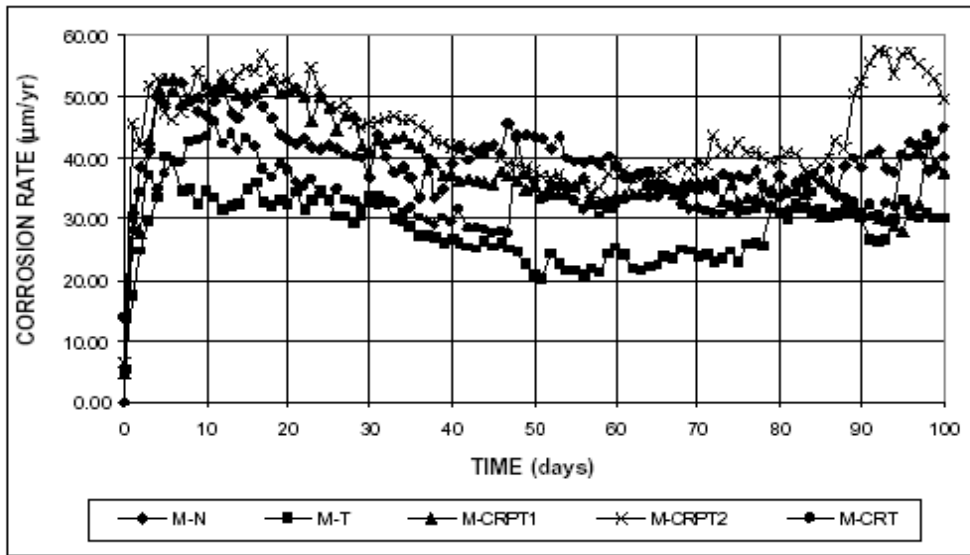
۲-۶- سرعت خوردگی آزمایش ماکروسول در مدت ۱۰۰ روز ($\frac{\mu m}{year}$)

Steel Designation	Specimen					Average	Std. Deviation
	1	2	3	4	5		
Bare bars in 1.6 m ion NaCl							
N	54.59	56.17	12.28	37.20	40.79	40.21	17.68
T	48.52	26.57	26.10	8.35	42.06	30.32	15.68
CRPT1	26.27	37.52	64.70	21.51	37.09	37.42	16.75
CRPT2	45.77	77.69	26.10	53.67	43.93	49.43	18.74
CRT	74.56	42.08	35.94	44.01	27.60	44.84	17.81
Mortar-embedded bars with caps in 0.4 m ion NaCl							
N	1.32	1.11	0.71	0.71	-	0.96	0.30
T	4.12	0.59	0.87	1.70	-	1.82	1.60
CRPT1	2.89	0.52	0.00	0.95	-	1.09	1.26
CRPT2	1.58	0.40	4.24	1.47	-	1.92	1.64
CRT	1.47	0.27	0.16	3.03	-	1.23	1.34
Mortar-embedded bars with caps in 1.6 m ion NaCl							
N	3.47	3.80	0.63	5.43	-	3.33	2.00
T	3.72	3.41	2.94	1.00	-	2.77	1.22
CRPT1	4.37	7.66	5.04	3.05	-	5.03	1.94
CRPT2	5.66	2.66	4.02	3.49	-	3.96	1.26
CRT	4.46	4.79	3.84	9.41	-	5.62	2.55
Mortar-embedded bars without caps in 0.4 m ion NaCl							
N	3.17	0.45	2.28	1.40	0.16	1.49	1.25
T	0.78	0.74	1.00	0.00	1.00	0.70	0.41
CRPT1	1.73	2.09	1.82	0.42	1.47	1.51	0.65
CRPT2	2.16	1.64	1.82	0.20	0.16	1.20	0.95
CRT	1.57	2.18	0.00	0.45	0.92	1.02	0.87
Mortar-embedded bars without caps in 1.6 m ion NaCl							
N	3.59	2.49	2.27	0.67	2.21	2.25	1.04
T	4.65	3.41	2.81	3.85	1.03	3.15	1.36
CRPT1	6.56	3.21	2.86	0.35	4.21	3.44	2.25
CRPT2	3.68	2.76	4.95	3.81	0.93	3.23	1.50
CRT	3.49	4.73	3.61	0.64	2.66	3.03	1.53

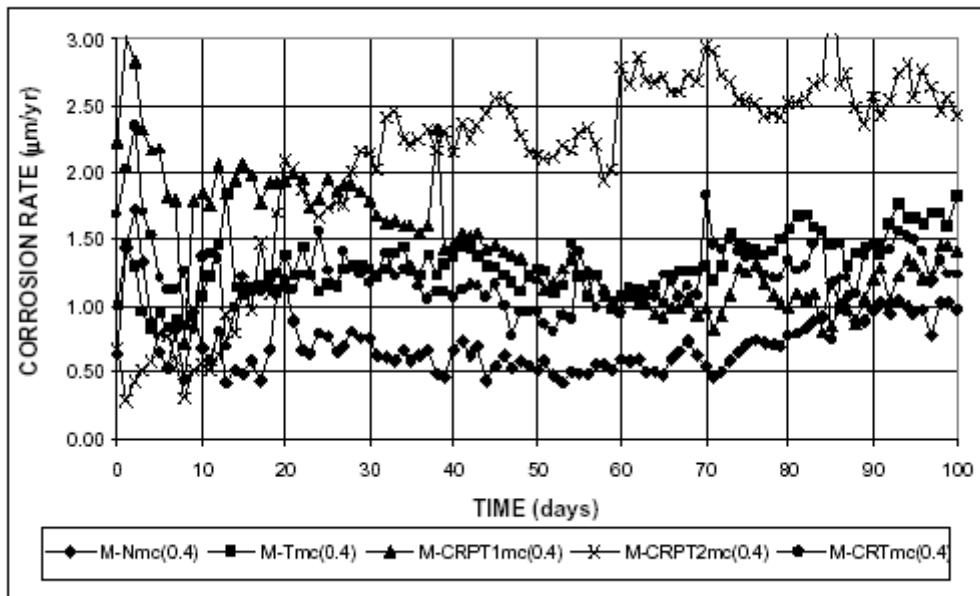
شکل ۱۳-۲ سرعت متوسط خوردگی را برای میله هایی که با سرپوش می باشد (سرآنها دارای چسب پلیمری می باشد) نشان می دهد.

سرعت متوسط خوردگی در بیشترین مدت آزمایش $0.5 \frac{\mu m}{year}$ می باشد. برای فولاد N تا

$2.5 \frac{\mu m}{year}$ می باشد و برای فولاد CRPT2 متغیر می باشد. بقیه فولادها مقادیر متوسطی



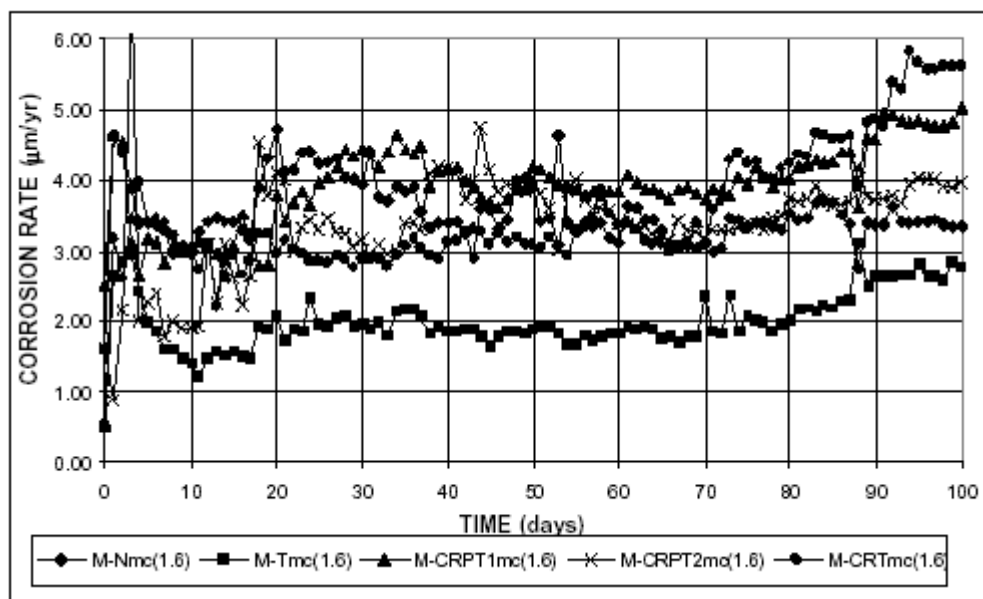
۱۲-۲- سرعت خوردگی متوسط آزمایش ماکروسل برای میله های ساده در یون NaCl 1.6 مولار.



۱۳-۲- سرعت خوردگی متوسط آزمایش ماکروسل برای نمونه های در ملات فرو برده شده با سر پوش پلیمری

در انتهای میله ها در یون NaCl 0.4 مولار

دارند، از 1.0 تا 1.75 $\mu\text{m}/\text{year}$ متغیر می باشد. چنانچه در جدول ۶-۲ نشان داده شده در پایان مدت آزمایش فولاد N کمترین سرعت متوسط خوردگی با $0.96 \mu\text{m}/\text{year}$ دارا می باشد و سپس CRPT1 با 1.09 و CRT با 1.23 و T با 1.82 و CRPT2 با 1.92 را دارا می باشد. شکل ۱۴-۲ سرعت متوسط خوردگی را برای میله هایی با سرپوش که سرآنها با چسب پلیمر پر شده، فرورده شده در ملات در محلول NaCl ۱/۶ مولار و محلول خالص مشابه سازی شده بتن را نشان می دهد.



۱۴-۲- سرعت خوردگی متوسط آزمایش ماکروسول برای میله های در بتن فرو برده شده با سرپوش پلیمری در

یون NaCl 1.6 مولار

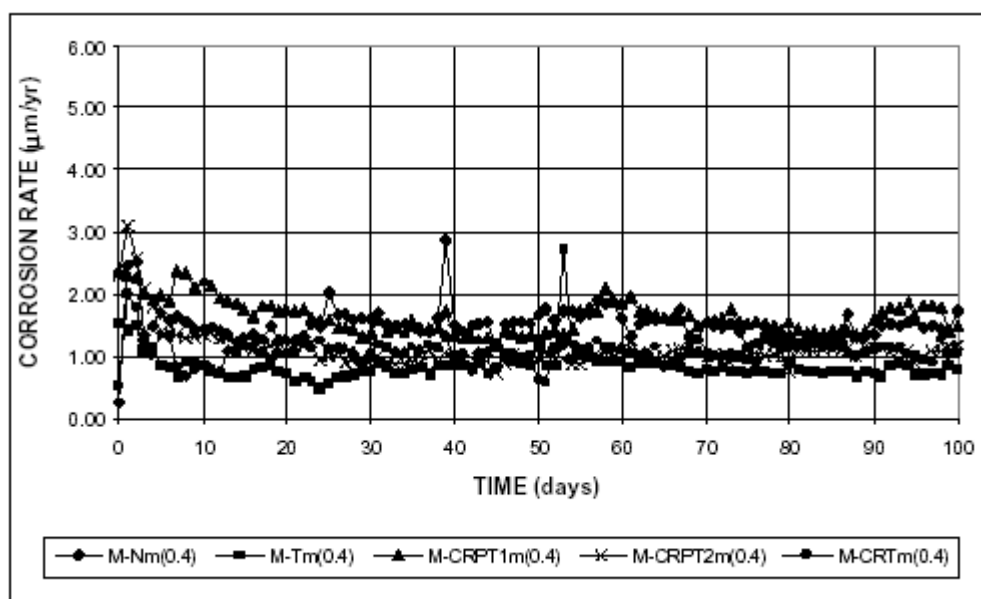
پس از ۲۰ هفته همه فولادها سرعتهای متوسط خوردگی نسبتاً ثابتی را متغیر از ۲ الی ۴ $\mu\text{m}/\text{year}$ نشان می دهد و فولاد T سرعت خوردگی ثابت، تقریبی $2 \mu\text{m}/\text{year}$ در بیشترین مدت زمان آزمایش را نشان می دهد که از لحاظ اهمیت پایین تر از فولادهای دیگر است که در بیشترین مدت زمان آزمایش سرعتهای خوردگی بالای 3 $\mu\text{m}/\text{year}$ را نشان می دهد. آزمایشات شامل میله های ساده ای می باشد که در محلول NaCl 1.6 مولار و محلول خالص مشابه سازی شده بتن در ملات فرو برده می شود. نمونه های ملاتی شامل میله هایی است که سرپوش آنها با چسب پلیمری می باشد.

جدول ۶-۲ نشان میدهد که برای میله های ساده، فولاد T پایین ترین سرعت خوردگی را در آخرین روز آزمایش دارد در حالیکه فولاد CRPT2 بالاترین سرعت خوردگی را دارد. در آزمایشات مختلف با میله های فرو برده شده در ملات، کمترین سرعت خوردگی مربوط به فولادهای معمولی را داریم و شکل ۱۲-۲ سرعت متوسط خوردگی را برای میله های ساده در محلول NaCl ۱/۶ مولار و محلول خالص مشابه سازی شده بتن را نشان می دهد. سرعتهای متوسط خوردگی در روز 0 (صفر) از 0.1 تا 13.7 $\mu\text{m}/\text{year}$ تغییر می یابد در روز دوم همه نمونه های فولادی سرعتهای خوردگی بالای 25 $\mu\text{m}/\text{year}$ را نشان میدهد. سرعت خوردگی بتدریج برای همه نمونه های فولادی تا زمانی که به ماکزیمم مقدار (متغیر از ۳۰ تا ۵۵ $\mu\text{m}/\text{year}$) می رسد، افزایش می یابد. و سپس به کندی کاهش می یابد.

فولادهای CRPT1، CRPT2 بالاترین سرعت خوردگی را در ۴۵ روز اول دارند. در طی دوره آزمایش فولاد T، کمترین سرعت خوردگی را در ۷۷ روزی که سرعت خوردگی کاهش یافت نشان داد و برای ۲۱ روز آخر فولاد T دارای سرعت خوردگی مشابه فولادهای CRT، CPRT1 می باشد.

در آزمایش خوردگی ماکروسکوپ فولاد CRPT1 به طور ثابت سرعت خوردگی بالاتری نسبت به فولادهای دیگر را دارد و فولاد N که یک سرعت خوردگی بالاتری را در ۵۰ روز اول نشان می دهد. فولاد CRT سرعت خوردگی تقریباً 3 $\mu\text{m}/\text{year}$ تا روز ۶۸ را نشان می دهد و بعد از آن سرعت خوردگی در بقیه مدت آزمایش با افزایش زمان افزایش می یابد و به مقادیری بیشتر از 4 $\mu\text{m}/\text{year}$ بعد از ۷۳ روز و به مقدار 5 $\mu\text{m}/\text{year}$ بعد از ۹۱ روز می رسد.

کمترین سرعت متوسط خوردگی را با 2.77 $\mu\text{m}/\text{year}$ و سپس فولاد N با 3.3 $\mu\text{m}/\text{year}$ و CRPT2 با 3.36 $\mu\text{m}/\text{year}$ و CRPT1 با 5.03 $\mu\text{m}/\text{year}$ و CRT با 5.63 $\mu\text{m}/\text{year}$ دارد. شکل ۱۵-۲ سرعت متوسط خوردگی برای میله های فرو برده شده در ملات بدون سرپوش، در 0.4 مولاریون NaCl و محلول خالص مشابه سازی شده بتن نشان می دهد.

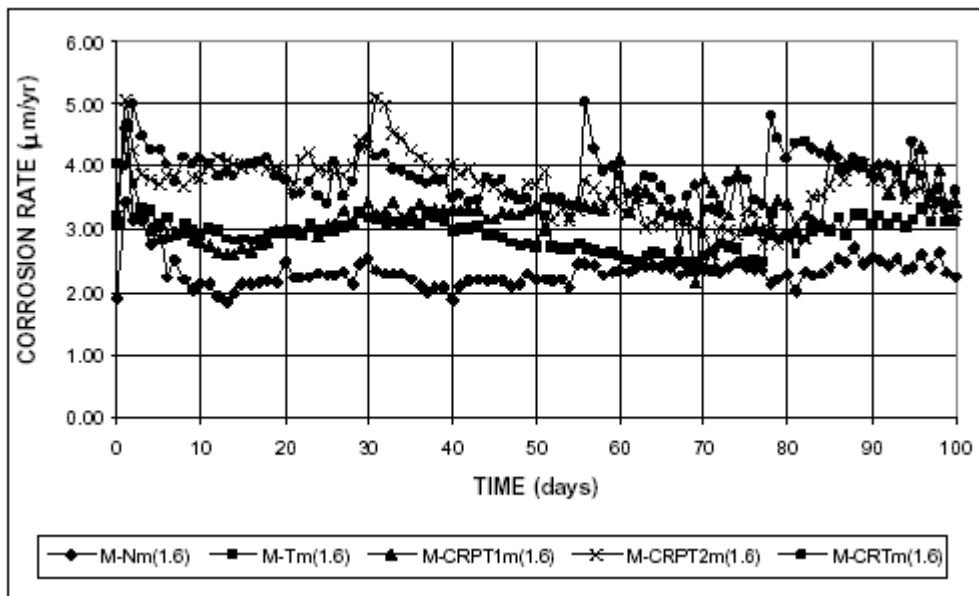


۱۵-۲- سرعت متوسط خوردگی آزمایش ماکروسول برای نمونه های درمات فروبرده شده بدون سرپوش در

یون NaCl 0.4 مولار

سرعت های متوسط خوردگی از 0.5 تا $2 \mu\text{m}/\text{year}$ متغیر می باشد که فولاد T سرعت خوردگی خیلی کمتری نسبت به بقیه میله ها در کل روزهای آزمایش نشان می دهد. فولادهای N, CRPT1 بالاترین سرعت های خوردگی را در طول کل دوره آزمایش نشان داد. همان طور که در جدول ۶-۲ نشان داده شد، در پایان مدت آزمایش، فولاد T پایین ترین سرعت متوسط خوردگی را با $0.7 \mu\text{m}/\text{year}$ دارد و سپس CRT با $1.02 \mu\text{m}/\text{year}$ و CRPT2 با $1.2 \mu\text{m}/\text{year}$ و N با $1.49 \mu\text{m}/\text{year}$ و CRPT1 با $1.51 \mu\text{m}/\text{year}$ را دارد.

شکل ۱۶-۲ سرعت متوسط خوردگی را برای میله های فرو برده شده در ملات، بدون سرپوش در 1.6 مولار یون NaCl و محلول خالص مشابه سازی شده بتن را نشان می دهد. سرعت های خوردگی از ۲ تا $5 \mu\text{m}/\text{year}$ متغیر می باشد و پایین ترین سرعت متوسط خوردگی مربوط به فولاد N بوده است.



۱۶-۲- سرعت متوسط خوردگی آزمایش ماکروسکل برای میله های فرو برده شده در بتن سرپوش دریون NaCl

1.6 مولار

CRT و CRPT2 بالاترین سرعت متوسط خوردگی را در بیشترین دوره آزمایش دارا می باشد. اگرچه سرعت خوردگی برای فولاد CRPT1 در طول ۱۵ هفته آخر به مقادیر تقریبی $1.75 \mu\text{m}/\text{year}$ افزایش می یابد.

همان طور که در جدول ۶-۲ نشان داده شده در پایان مدت آزمایش فولاد N پایین ترین سرعت متوسط خوردگی را با $2.25 \mu\text{m}/\text{year}$ دارد. سپس CRT با $3.03 \mu\text{m}/\text{year}$ با CRPT2 با $3.15 \mu\text{m}/\text{year}$ و CRPT1 با $3.44 \mu\text{m}/\text{year}$ [۲].

۱۰-۲- آزمایشات Bench-Scale

نتایج مربوط به آزمایشات Bench-Scale شامل سرعت خوردگی - کاهش خوردگی کل، پتانسیل خوردگی ماده بالائی و پایینی، مقاومت ماده به ماده (Mat to Mat Resistanse)، مشاهدات پتانسیل خوردگی در آزمایشات Bench-Scale در برابر الکتروود سولفات مس - مس گزارش شده است. همان طور که در جدول ۱-۲ مشخص می باشد پتانسیل خوردگی در برابر الکتروود سولفات مس - مس $0/34$ ولت می باشد.

احتمال بروز خوردگی تا ۹۰٪ وجود دارد زمانی که پتانسیل بیشتر از ۰.۲۰۰ V- باشد. و زمانی که پتانسیل بین ۰.۲۰۰- و ۰.۳۵- ولت باشد معلوم نیست خوردگی اتفاق بیفتد.
(ASTM C876). جداول ۷-۲ تا ۱۲-۲ مقادیر متوسط را برای ۶ نمونه از هر نوع فولاد در ۷۰ هفته تا ۹۶ هفته مدت آزمایش را نشان می دهد. هفته ۷۰ ام به عنوان نقطه پایان گزارش نتیجه ها انتخاب شده است.

بعضی نمونه ها به ویژه SE, CB, رفتار غیر واقعی از خودشان نشان دادند که در نتایج تاثیر گذاشت این رفتار شامل نمونه هایی با سرعت های خوردگی فوق العاده بالاست.
شکل ۱۶-۲ تا ۲۲-۲ میزان متوسط خوردگی را برای کل مدت آزمایش نشان می دهد.
علاوه بر آزمایشات برای ۵ فولاد، نتایج آزمایش Southern exposure شامل نمونه هایی با ترکیب معمولی و فولادهای میکروآلیاژ است. فولاد CRT پس از مقایسه با دیگر فولادهای میکروآلیاژی در آزمایش SE نسبت به دیگر فولاد میکروآلیاژی فرم خوردگی بهتری از خود نشان می دهد.

۷-۲- سرعت خوردگی آزمایش Bench - Scale در ۷۰ هفته ($\frac{\mu m}{year}$)

Steel Designation	Specimen						Average	Std. Deviation
	1	2	3	4	5	6		
Southern Exposure								
N	8.41	0.73	3.41	2.33	3.80	5.76	4.07	2.70
T	10.70	2.44	4.98	32.63	1.30	6.51	9.76	11.68
CRPT1	4.36	1.30	10.06	6.94	0.05	2.13	4.14	3.79
CRPT2	7.56	4.90	13.28	7.20	3.41	2.25	6.43	3.94
CRT	3.78	6.96	6.70	1.46	5.03	0.91	4.14	2.57
N/CRPT1	3.75	9.58	9.54	4.39	6.47	6.18	6.65	2.48
CRPT1/N	9.58	0.21	5.06	4.56	3.71	6.61	4.96	3.11
Cracked Beam								
N	9.55	4.55	2.22	3.92	17.61	6.22	7.34	5.61
T	9.43	3.14	2.27	9.85	4.16	1.57	5.07	3.65
CRPT1	2.41	1.50	1.00	6.88	12.27	4.93	4.83	4.27
CRPT2	1.54	1.64	0.56	9.61	1.76	9.39	4.08	4.22
CRT	1.30	4.64	0.00	5.99	9.81	3.30	4.17	3.51
ASTM G 109								
N	3.37	0.99	1.21	0.00	9.642	7.607	3.80	3.94
T	0.00	0.00	2.13	8.30	4.587	2.066	2.85	3.16
CRPT1	1.48	1.91	0.00	10.72	4.508	4.881	3.92	3.82
CRPT2	1.92	2.70	2.68	11.15	1.979	0.000	3.40	3.92
CRT	2.08	1.96	0.50	6.90	2.426	4.173	3.01	2.24

۸-۲- خسارت خوردگی آزمایش Bench - Scale در ۷۰ هفته

Steel Designation	Specimen						Average	Std. Deviation
	1	2	3	4	5	6		
Southern Exposure								
N	7.13	8.89	6.90	3.02	4.19	4.56	5.78	2.21
T	11.50	4.92	5.35	5.15	0.93	7.66	5.92	3.49
CRPT1	3.96	3.15	7.95	7.90	1.43	1.64	4.34	2.94
CRPT2	8.22	4.56	13.06	6.95	4.79	1.40	6.50	3.97
CRT	8.31	7.45	7.68	1.39	5.09	1.14	5.18	3.22
N/CRPT1	6.00	3.92	4.72	7.62	7.95	8.45	6.44	1.85
CRPT1/N	6.05	6.00	2.84	4.46	9.14	11.58	6.68	3.18
Cracked Beam								
N	10.36	7.75	4.98	8.57	7.61	5.78	7.51	1.93
T	9.59	7.42	8.86	10.96	10.48	4.99	8.72	2.21
CRPT1	9.08	5.80	5.17	12.34	9.67	6.97	8.17	2.70
CRPT2	7.20	5.96	4.14	13.04	5.79	8.88	7.50	3.14
CRT	5.57	8.52	5.47	8.09	8.29	7.47	7.24	1.37
ASTM G 109								
N	2.92	1.45	1.03	3.05	4.190	3.007	2.61	1.17
T	0.01	0.00	0.34	6.71	0.687	1.839	1.60	2.60
CRPT1	0.38	0.34	0.01	6.82	2.073	3.084	2.12	2.59
CRPT2	0.46	0.51	0.94	8.95	1.377	0.041	2.05	3.41
CRT	0.65	0.21	0.01	1.77	1.853	1.138	0.94	0.78

۹-۲- مقاومت ماده به ماده ی اندازه گیری شده در آزمایش Bench - Scale

Steel Designation	Specimen						Average	Std. Deviation
	1	2	3	4	5	6		
Southern Exposure								
N	-	-	-	158	147	139	148	10
T	-	-	-	154	176	119	150	29
CRPT1	-	-	-	150	174	124	149	25
CRPT2	-	-	-	144	131	123	133	11
CRT	-	-	-	164	131	136	144	18
N/CRPT1	111	150	149	124	120	121	129	16
CRPT1/N	116	113	152	130	122	125	126	14
Cracked Beam								
N	327	341	358	297	306	323	325	22
T	288	306	253	196	206	229	246	44
CRPT1	272	312	305	189	190	305	262	58
CRPT2	293	274	331	199	224	279	267	48
CRT	304	286	347	197	218	291	274	56
ASTM G 109								
N	158	168	163	145	143	138	159	10
T	327	325	20	139	128	155	182	121
CRPT1	320	-	261	144	148	158	206	80
CRPT2	312	222	255	138	155	159	207	68
CRT	316	229	270	130	164	164	212	72

۱۰-۲- مقاومت ماده به ماده آزمایش Bench - Scale در مدت ۷۰ هفته

Steel Designation	Specimen					Average	Std. Deviation	
	1	2	3	4	5			6
Southern Exposure								
N	514	362	1035	1509	1201	824	908	430
T	411	1390	833	523	6461	448	1678	2372
CRPT1	680	1985	359	400	6727	656	1801	2486
CRPT2	211	1234	280	580	890	2640	973	902
CRT	206	698	445	1659	563	2720	1048	959
N/CRPT1	390	466	497	405	377	377	419	51
CRPT1/N	339	1216	758	586	556	458	652	309
Cracked Beam								
N	909	2026	3603				2179	1354
T	581	1741	2904	641	1198	5455	2087	1859
CRPT1	3679	2369	3089	630	446	1818	2005	1301
CRPT2	4288	3402	1028	673	3938	918	2375	1673
CRT	1628	1564	3980	1578	487	2678	1986	1198
ASTM G 109								
N	632	1528	1690	563	484	536	906	549
T	1509	1135	1548	350	665	2086	1216	635
CRPT1	1420	1634	740	359	641	895	948	486
CRPT2	1301	1362	965	579	1815	734	1126	456
CRT	1196	1425	997	634	1619	827	1116	370

۱۱-۲- مقدار ولتاژ پتانسیل خوردگی ماده ی بالایی با حضور الکتروود اشباع شده مس- مس در آزمایش Bench - Scale به مدت ۷۰ هفته

Steel Designation	Specimen					Average	Std. Deviation	
	1	2	3	4	5			6
Southern Exposure								
N	-0.536	-0.503	-0.587	-0.592	-0.606	-0.618	-0.574	0.045
T	-0.627	-0.596	-0.618	-0.627	-0.492	-0.615	-0.596	0.052
CRPT1	-0.601	-0.603	-0.578	-0.597	-0.459	-0.606	-0.574	0.057
CRPT2	-0.611	-0.594	-0.588	-0.621	-0.617	-0.600	-0.605	0.013
CRT	-0.595	-0.610	-0.573	-0.512	-0.606	-0.580	-0.579	0.036
N/CRPT1	-0.529	-0.525	-0.587	-0.550	-0.392	-0.412	-0.499	0.079
CRPT1/N	-0.584	-0.599	-0.652	-0.402	-0.412	-0.478	-0.521	0.105
Cracked Beam								
N	-0.620	-0.576	-0.640	-0.516	-0.626	-0.639	-0.603	0.049
T	-0.666	-0.653	-0.640	-0.656	-0.614	-0.428	-0.610	0.091
CRPT1	-0.646	-0.625	-0.598	-0.619	-0.671	-0.590	-0.625	0.030
CRPT2	-0.629	-0.645	-0.581	-0.638	-0.378	-0.644	-0.586	0.105
CRT	-0.611	-0.603	-0.591	-0.623	-0.392	-0.655	-0.579	0.094
ASTM G 109								
N	-0.479	-0.512	-0.535	-0.475	-0.556	-0.536	-0.516	0.033
T	-0.112	-0.164	-0.405	-0.532	-0.502	-0.526	-0.374	0.189
CRPT1	-0.423	-0.407	-0.090	-0.514	-0.514	-0.515	-0.411	0.164
CRPT2	-0.410	-0.416	-0.446	-0.530	-0.519	-0.133	-0.409	0.144
CRT	-0.426	-0.387	-0.328	-0.541	-0.517	-0.516	-0.453	0.085

۲-۱۲- پتانسیل خوردگی اندازه گیری شده در آزمایش Bench-Scale به مدت

۷۰ هفته

Steel Designation	Specimen						Average	Std. Deviation
	1	2	3	4	5	6		
Southern Exposure								
N	-0.344	-0.453	-0.242	-0.327	-0.346	-0.375	-0.348	0.068
T	-0.399	-0.400	-0.437	-0.196	-0.186	-0.383	-0.334	0.112
CRPT1	-0.444	-0.552	-0.404	-0.244	-0.232	-0.306	-0.364	0.125
CRPT2	-0.541	-0.280	-0.349	-0.212	-0.341	-0.247	-0.328	0.117
CRT	-0.560	-0.378	-0.237	-0.234	-0.256	-0.365	-0.338	0.126
N/CRPT1	-0.254	-0.353	-0.349	-0.323	-0.233	-0.225	-0.290	0.059
CRPT1/N	-0.246	-0.186	-0.283	-0.208	-0.184	-0.240	-0.225	0.039
Cracked Beam								
N	-0.468	-0.280	-0.328	-0.562	-0.378	-0.505	-0.420	0.109
T	-0.545	-0.262	-0.369	-0.252	-0.431	-0.252	-0.352	0.120
CRPT1	-0.174	-0.344	-0.287	-0.365	-0.459	-0.311	-0.323	0.094
CRPT2	-0.358	-0.418	-0.291	-0.315	-0.208	-0.352	-0.324	0.071
CRT	-0.313	-0.255	-0.257	-0.440	-0.177	-0.359	-0.300	0.092
ASTM G 109								
N	-0.420	-0.280	-0.281	-0.485	-0.210	-0.225	-0.317	0.111
T	-0.105	-0.225	-0.191	-0.218	-0.229	-0.256	-0.204	0.053
CRPT1	-0.174	-0.172	-0.162	-0.205	-0.249	-0.229	-0.199	0.035
CRPT2	-0.162	-0.186	-0.167	-0.231	-0.245	-0.132	-0.187	0.043
CRT	-0.237	-0.178	-0.162	-0.246	-0.237	-0.224	-0.214	0.035

۲-۱۰-۱) آزمایش Southern Exposure

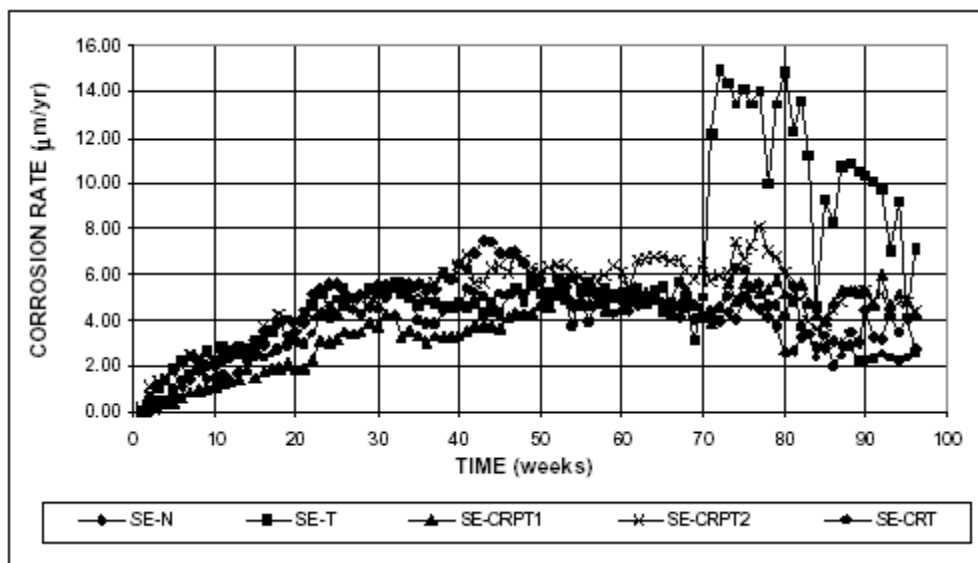
در جدول ۷-۲ نشان داده شده که در هفته ۷۰ م فولادهای CRT, CRPT1, N پایین ترین سرعت متوسط خوردگی را دارند (CRT, CRPT1, N) $4.14 \mu\text{m}/\text{year}$ و $4.07 \mu\text{m}/\text{year}$ در حالی که فولاد T با مقدار $9.76 \mu\text{m}/\text{year}$ بالاترین سرعت خوردگی را دارا می باشد.

مجموع متوسط خسارت خوردگی در جدول ۸-۲ نشان می دهد که در هفته ۷۰ م فولاد CRT, CRPT1 به ترتیب با مقادیر $5.18 \mu\text{m}$, $4.34 \mu\text{m}$ پایین ترین خسارت خوردگی را دارا می باشند. که مطابق می باشد با ۲۵٪ و ۱۱٪ خسارت نسبت به فولاد N در حالیکه خسارت خوردگی آن $5.78 \mu\text{m}$ می باشد فولاد CRPT2 بالاترین خسارت خوردگی را با $6.50 \mu\text{m}$ دارد یعنی ۱۲٪ فولاد N. مقاومت ماده به ماده برای همه نمونه ها بعد از یک هفته بین ۱۲۶-۱۵۰ اهم می باشد و افزایش این مقدار را بین مقادیر ۴۱۹-۱۸۰۱ در هفته ۷۰ م داریم.

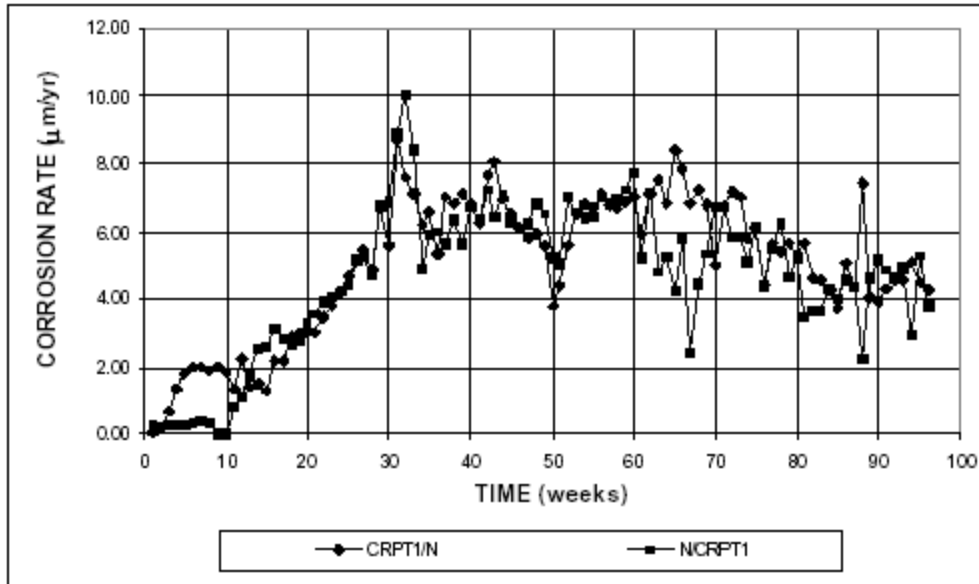
این افزایش مقاومت ماده به ماده نتیجه‌ای که می‌دهد این است که تولید خوردگی بر روی سطح و اطراف منطقه میله‌های تقویت شده را داریم. پتانسیل متوسط خوردگی در قسمت بالای همه فولادها پایین تر از $-0.49V$ می‌باشد. در حالی که جریان بالائی از خورده شدن را داریم. پتانسیل متوسط خوردگی برای قسمت پایینی از $-0.225V$ تا $0.364V$ می‌باشد در حالی که پایین ترین احتمال خوردگی را در این جریان داریم.

شکل ۱۷-۲ شروع افزایش سرعت خوردگی را در اولین هفته برای همه فولادها نشان می‌دهد و مقدار آن تقریباً به $8.4 \mu m/year$ می‌رسد. بعد از هفته ۸۰ م سرعت خوردگی به مقدار ناچیزی افت می‌کند.

فولاد CRPT1 در اول هفته ۵۰ م سرعت خوردگی پایین تری نسبت به بقیه فولادها دارد. سرعت خوردگی فولاد T بعد از ۷۰ هفته به بالای $15 \mu m/year$ اوج می‌گیرد. فولاد CRT نسبت به بقیه فولادها در ۲ هفته آخر یک افت چشم گیری دارد.



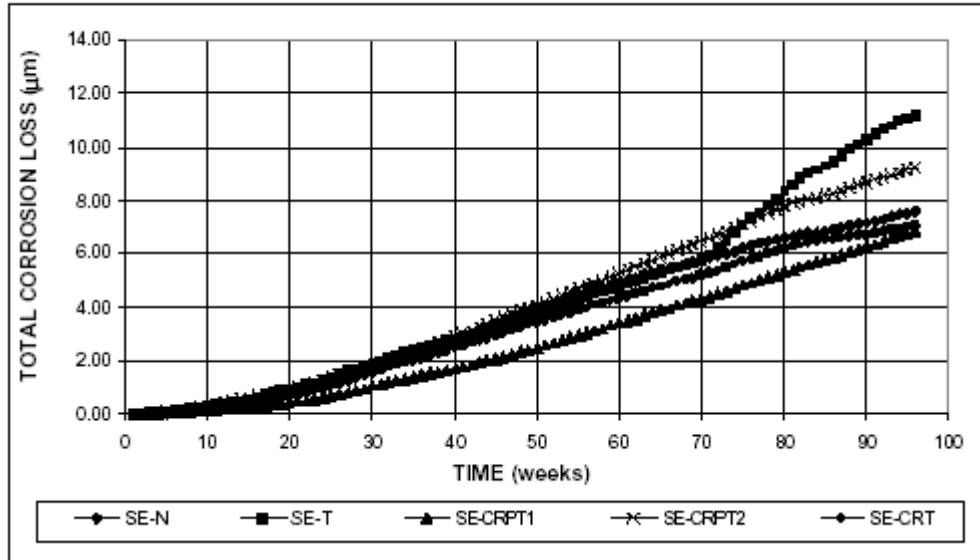
۱۷-۲- آزمایش Southern Exposure _ سرعت متوسط خوردگی



۱۸-۲- آزمایش Southern Exposure_ سرعت متوسط خوردگی برای فولادهای (mix) ترکیب شده.

شکل ۱۸-۲ سرعت خوردگی را برای نمونه هایی با فولادهای ترکیب شده نشان می دهد. بعد از ۱۰ هفته هر دو فولاد CRPT1, N؛ سرعت خوردگی مشابهی را نشان می دهد. در هفته ۳۲ م (سی و دوم) افزایش سرعت متوسط خوردگی را داریم، با افزایش زمان به Maximum مقدار خود یعنی ۸ و ۱۰ $\mu\text{m}/\text{year}$ می رسد و این سرعت خوردگی در هفته ۳۴ و ۶۰ به مقداری بین $8,6 \mu\text{m}/\text{year}$ می رسد. سپس شروع به افت خوردگی می کند. در پایان دوره آزمایش برای همه نمونه ها مقدار به حدود $5 \mu\text{m}/\text{year}$ می رسد.

شکل ۱۹-۲ مجموع خسارت خوردگی را برای آزمایش S.E برای همه نمونه ها نشان می دهد.



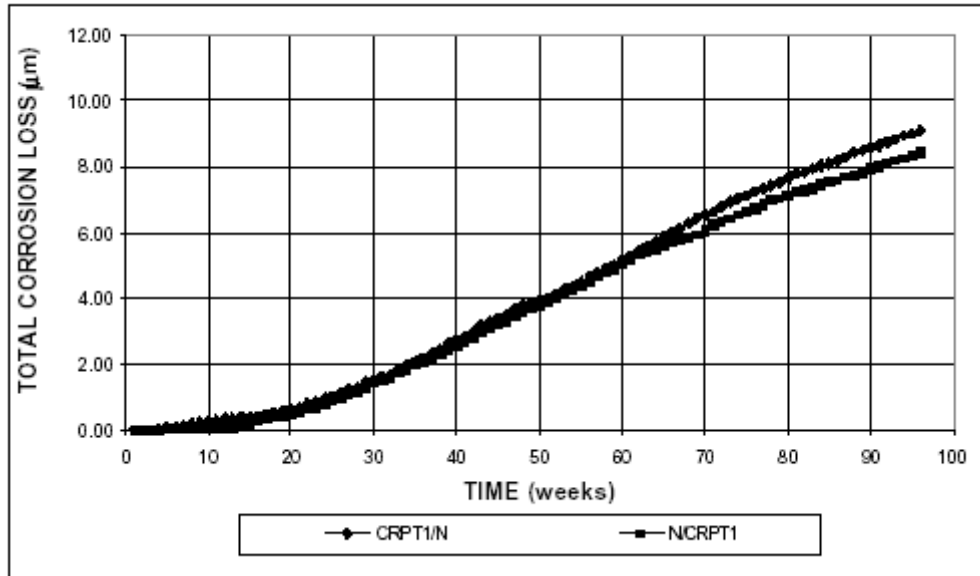
۱۹-۲- آزمایش Southern Exposure_ مجموع خسارت خوردگی

در طول هفته ۳۵ م (سی و پنجم) شیب نمودار با افزایش زمان، افزایش می یابد. در هفته ۱۰ (دهم) همه فولادها مجموع خسارت خوردگی مشابهی را نشان می دهند. بعد از ۱۰ هفته خسارت خوردگی در فولاد CRPT1 شروع به پایین آمدن می کند. و نسبت به بقیه فولادها با افزایش زمان مقداری افت دارد.

در فولاد T در هفته ۷۰ بنا به افزایش سرعت خوردگی با افزایش شیب در نمودار مواجه می شویم.

بعد از هفته ۷۰ فولاد CRPT1 که پایین ترین خسارت خوردگی را همچنان دارا می باشد به مقدار $3.34 \mu\text{m}$ می رسد. و سپس فولاد CRT با مقدار $5.20 \mu\text{m}$ و فولاد N با مقدار $5.79 \mu\text{m}$ و فولاد CRPT2 با مقدار 6.50 با بالاترین مجموع خسارت خوردگی می باشد.

نمودار ۲۰-۲ مجموع خسارت خوردگی را در نمونه های ترکیب شده نشان می دهد.



۲۰-۲- آزمایش Southern Exposure_ مجموع خسارات خوردگی برای فولادهای ترکیب شده.

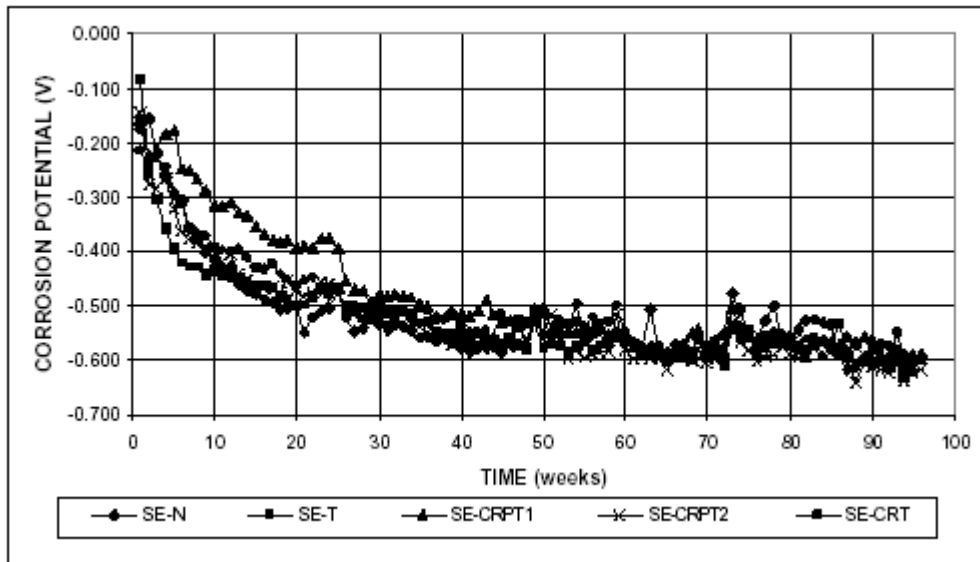
سرعت خوردگی خیلی مشابهی برای همه نمونه ها را داریم . بعد از هفته ۷۰ ام ارزیابی ، نمونه های فولادی به روی قسمت بالائی یک مجموع متوسط خسارت خوردگی حدود $6.08 \mu m$ را دارد و در نمونه فولاد CRPT1 بر قسمت بالائی حدود $6.51 \mu m$ می باشد.
نمودار ۲۱-۳ مقدار پتانسیل خوردگی الکتروود سولفات مس - مس را برای قسمت بالائی فولاد نشان می دهد .

بعد از هفته اول پتانسیل خوردگی قسمت بالائی برای همه فولادها بالای $V-0.250$ می باشد اما با کاهش خیلی سریع ای مواجه می شود . در هفته ۱۶ م پتانسیل خوردگی همه فولادها زیر $V-0.35$ می باشد . به استثناء فولاد CRPT1 چون فولاد CRPT1 پتانسیل خوردگی بالاتری را نسبت به دیگر فولادها تا اول هفته ۳۵ نشان می دهد .

از هفته ۴۰ تا آخر دوره ارزیابی پتانسیل خوردگی همه فولادها مقداری بین $-0.5V$ تا $-0.6V$ می باشد و در اینجا احتمال بالائی از خوردگی رخ می دهد . نمونه های فولادی Mixed شده رفتار

مشابه‌ای را نشان می دهند. پتانسیل خوردگی در قسمت بالائی نمونه ها تقریباً از $V-0.20$ با افزایش زمان شروع به کاهش می کند.

در هفته دوم پتانسیل خوردگی تقریباً به $-0.350V$ می رسد و در هفته ۴۰ پتانسیل خوردگی به نقطه‌ای بین $-0.500V$ تا $-0.600V$ می رسد.

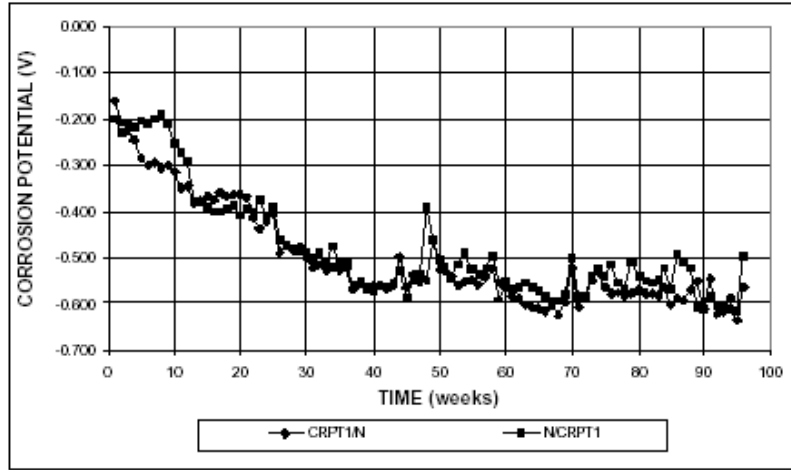


۲-۲۱- آزمایش Southern Exposure - پتانسیل متوسط خوردگی برای قسمت بالای نمونه های فولادی

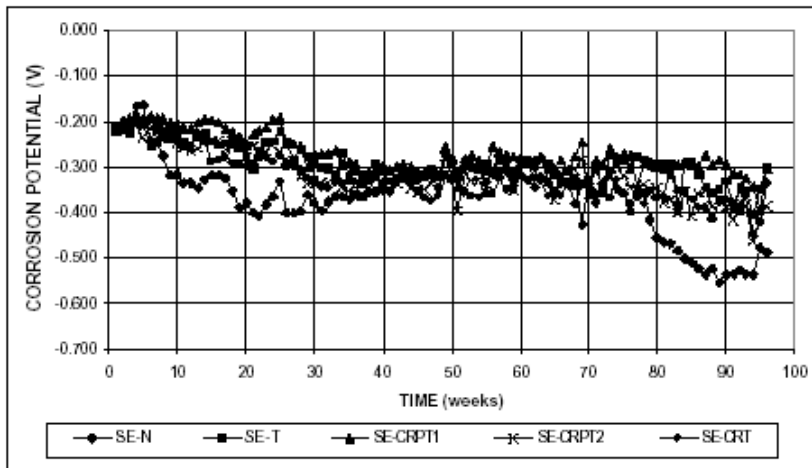
نمودار ۲-۲۳ و ۲-۲۴ مقدار پتانسیل متوسط خوردگی را با الکتروود سولفات مس - مس در قسمت پایین فولاد نشان می دهد در طول هفته اول پتانسیل خوردگی برای همه فولادها تقریباً 0.200 می باشد و به $-0.300V$, $-0.375V$ بعد از ۳۵ هفته کاهش می یابد.

در هفته ۷۰ پتانسیل فولاد N به -0.55 می رسد. برای نمونه های فولاد Mixed شده پتانسیل خوردگی قسمت پایین تقریباً $-0.200V$ می باشد در هفته ۹ م و تا هفته ۸۰ م به مقدار $0.300V$ سقوط می کند.

بعد از هفته ۸۰ م پتانسیل خوردگی قسمت بالائی منفی تر است و در هفته ۹۰ م مقدار پتانسیل خوردگی -0.400 می باشد در حالی که احتمال بالائی از کلرایدها را داریم که به قسمت پایینی فولاد رسیده اند. نمودار ۲-۲۵ و ۲-۲۶ مقاومت ماده به ماده را نشان می دهد.

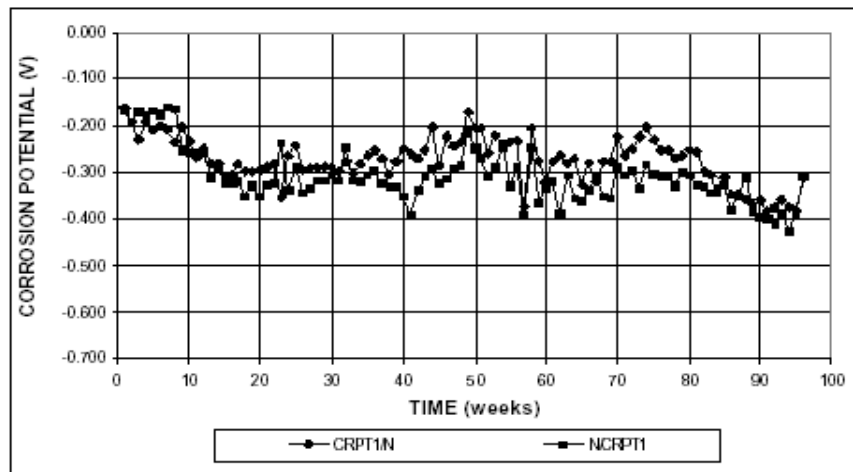


۲-۲۲- آزمایش Southern Exposure - پتانسیل متوسط خوردگی برای قسمت بالای فولادهای ترکیب شده.

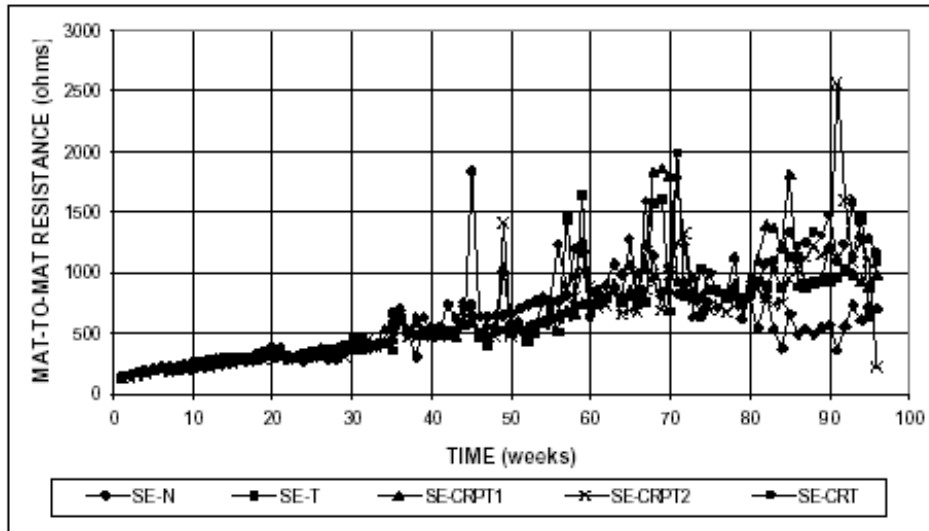


۲-۲۳- آزمایش Southern Exposure - پتانسیل متوسط خوردگی برای قسمت پایین نمونه ها با حضور

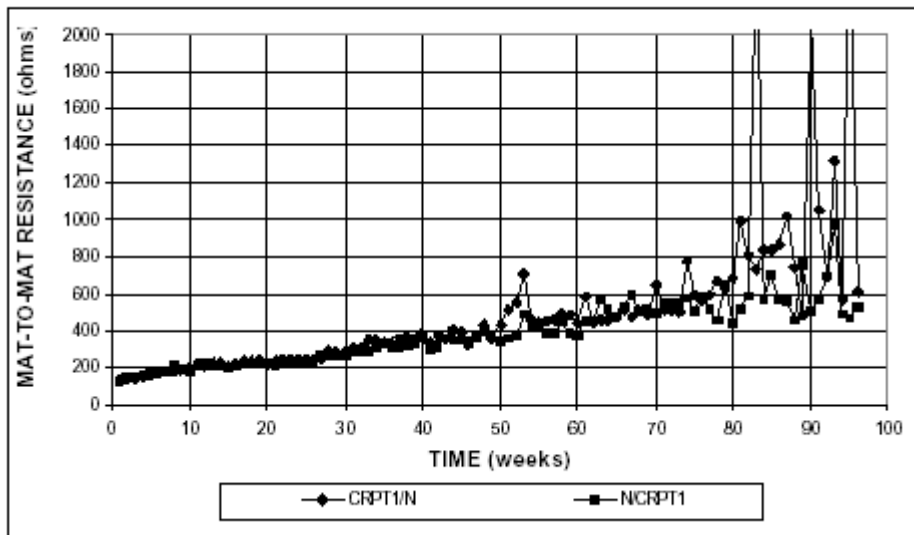
الکتروود مس_مس



۲-۴- آزمایش Southern Exposure - پتانسیل متوسط خوردگی برای قسمت پایین (نمونه های ترکیب شده) با حضور الکتروود مس_مس.



۲-۲۵- آزمایش Southern Exposure - مقاومت متوسط ماده به ماده



۲-۲۶- آزمایش Southern Exposure - مقاومت متوسط ماده به ماده برای نمونه های ترکیب شده.

مقاومت ماده به ماده برای هفته های اول و ۷۰م دوره داده شده است. مقاومت ماده به ماده برای همه فولادها از ۱۵۰ اهم شروع می شود و با افزایش زمان زیاد می شود.

مقاومت ماده به ماده در فولاد N سقوطی را بعد از ۸۰ هفته نشان می دهد که امکان وجود یک ترکی را در نمونه می رساند مقاومت متوسط ماده به ماده برای هفته ۷۰م نشان می دهد که فولاد N و فولاد CRPT2 پایین ترین مقاومت را دارند به ترتیب ۹۰۷ و ۹۷۵ اهم. بالاترین مقاومت ماده به ماده برای فولاد T با ۶۷۸ اهم می باشد و فولاد CRPT1 با ۱۸۰۱ اهم. برای فولاد CRT مقاومت ماده به ماده در هفته ۷۰م، ۱۰۴۸ اهم می باشد. مقاومت ماده به ماده نمونه های فولادی mixed شده تقریباً از ۱۳۰ اهم شروع می شود. در هفته ۷۰م مقدار آنها ۶۵۲ و ۴۱۹ را نشان می دهند. [۲]

۲-۱۰-۲) آزمایش های Cracked- beam

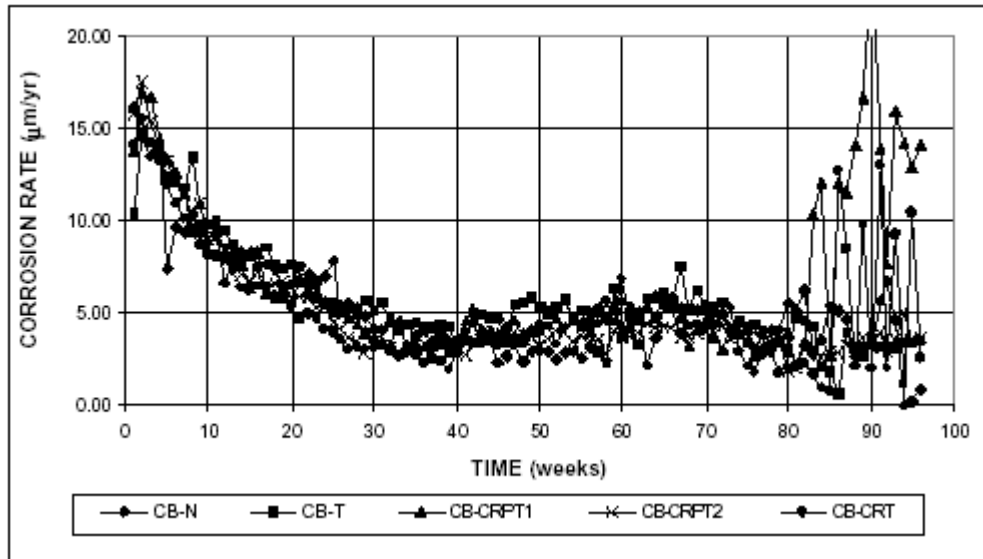
جدول ۷-۲ در هفته ۷۰م نشان می دهد که فولاد CRT, CRPT2 نرخ متوسط خوردگی پایینی را دارد ($4.17 \mu\text{m}/\text{year}$ for CRT, 4.08 for CRPT2) فولاد N بالاترین سرعت متوسط خوردگی را با مقدار $7.34 \mu\text{m}/\text{year}$ دارد.

فولادهای T, CRPT1 مقدار متوسطی از خوردگی را دارند. خسارت متوسط خوردگی را جدول ۴-۸ نشان می دهد که در هفته ۷۰م فولاد CRT پایین ترین خسارت خوردگی را با مقدار $7.24 \mu\text{m}/\text{year}$ و ۴٪ کمتر از فولاد معمولی با خسارت حدود $7.51 \mu\text{m}/\text{year}$ فولاد T، بیشترین خسارت خوردگی را با $8.72 \mu\text{m}$ دارد. فولادهای CRPT1, CRPT2 به ترتیب خسارت خوردگی $7.50 \mu\text{m}$, $8.17 \mu\text{m}$ را دارند مقاومت ماده به ماده بعد از یک هفته خورده شدن از ۲۴۶ به ۳۲۵ اهم می رسد. در هفته ۷۰م به مقداری بین ۱۹۸۰-۲۳۷۵ اهم می رسد که از آزمایش CB بدست می آید بالاتر از چیزی که در آزمایش SE دیده می شود.

این نسبت در حقیقت در فولاد با کلراید به قسمت بالائی می رسد و بر روی نمونه CB در عرض اولین روز از ارزیابی شروع تولید خوردگی را داریم پتانسیل خوردگی برای قسمت بالایی در عرض ۷۰ هفته خورده شدن از -0.507 به -0.630 V می رسد که بر روی فولاد یک خوردگی فعال دیده می شود.

قبلاً مطرح شد منفی ترین مقدار از -0.35 V به بالاترین جریان خوردگی می رسد. این اتفاق برای قسمت پایینی فولاد می باشد که یک بار کلراید به آنجا می رسد مقدار پتانسیل خوردگی آن از -0.35 V بالاتر می باشد.

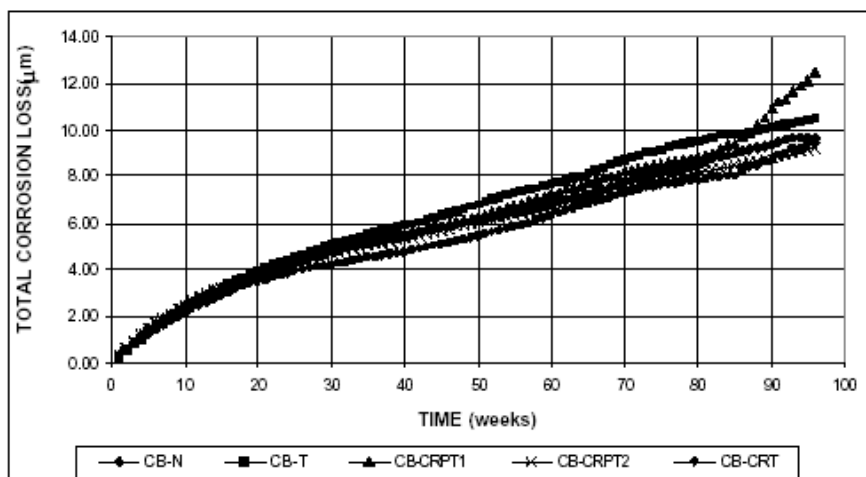
سرعت متوسط خوردگی برای نمونه CB در نمودار ۲۷-۲ نشان داده شده است و مجموع خسارت خوردگی تا هفته ۷۰م در جدول ۴-۳ خلاصه شده است.



۲۷-۲ - آزمایش Cracked beam - سرعت متوسط خوردگی

از زمانی که ترک اجازه دسترسی سریع به محلول نمک در میله ها را دارد نرخ متوسط خوردگی در طول اولین هفته مقداری حدود $15 \mu\text{m}/\text{year}$ را نشان می دهد. کاهش سرعت خوردگی را با افزایش زمان داریم و در هفته ۳۰م برای همه فولادها مقداری پایین تر از $5 \mu\text{m}/\text{year}$ را نشان میدهد. بعد از ۸۰ هفته فولاد CRT و CRPT1 شروع به نشان دادن افزایش سرعت خوردگی می کند.

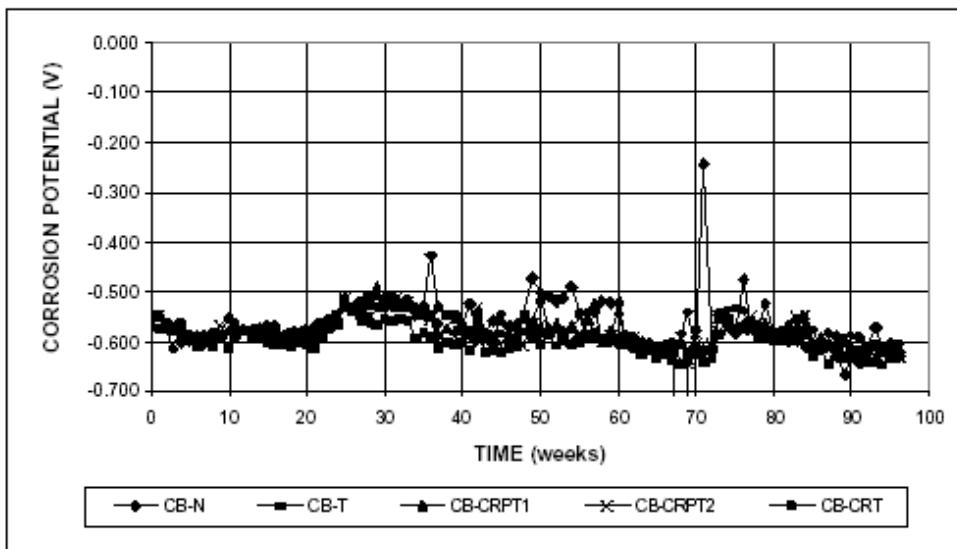
مجموع خسارت متوسط خوردگی نشان داده شده در نمودار ۲۸-۲ برای همه فولادها مشابه می باشد. بعد از هفته ۳۰ فولاد CRT پایین ترین مقدار را نسبت به بقیه فولادها نشان می دهد به دلیل نگهداری در هفته ۹۰م پایین ترین خسارت خوردگی را در فولاد CRPT2 داریم.



۲-۲۸- آزمایش Cracked beam - مجموع خسارت متوسط خوردگی

بعد از هفته ۴۰ فولاد T نسبت به بقیه فولادها بالاترین مقدار را نشان می دهد. بعد از هفته ۸۵ نمودار فولاد CRPT1 را با افزایش شیب زیادی نشان می دهد. با پایان هفته ۷۰ فولاد CRT پایین ترین خسارت خوردگی را نشان می دهد، با مقدار $7.25 \mu m$ و سپس فولاد CRPT2 با مقدار $7.40 \mu m$ و فولاد N با مقدار $7.75 \mu m$. بیشترین خسارت خوردگی برای فولاد T با $8.81 \mu m$ و فولاد CRPT1 با $8.73 \mu m$ می باشد.

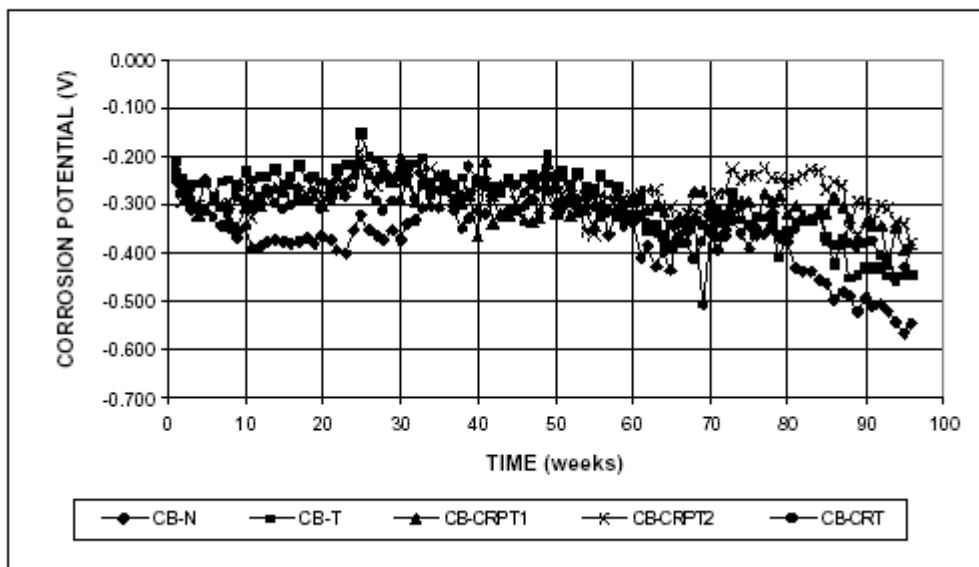
نمودار ۲-۲۹ پتانسیل خوردگی را در مقابل الکتروود Calomel اشباع شده برای قسمت بالائی فولاد نشان می دهد در شروع هفته اول همه پتانسیل خوردگی را قسمت بالائی پایین تر از $V-0.5$ می باشد و همه فولادها مقدار مشابهی را نشان می دهد به طوری که همه آنها شدت جریان خوردگی مشابهی دارند.



۲-۲۹- آزمایش Cracked beam - پتانسیل متوسط خوردگی برای قسمت بالای نمونه ها با حضور الکتروود

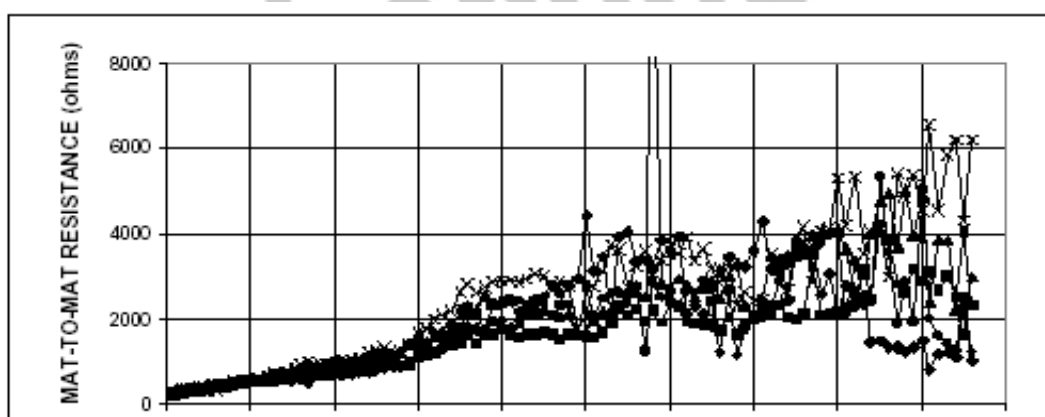
مس - مس

شکل ۳۰-۲ مقدار پتانسیل متوسط خوردگی، الکتروود Calomel اشباع شده را نشان می دهد
برای قسمت پایین فولاد، پس از یک هفته آزمایش های مختلف روی همه فولادها پتانسیل خوردگی
قسمت پایین بین V-0.20 و V-0.25 را داریم. تا هفته ۶۰م برای همه فولادها پتانسیل خوردگی
باقیمانده حدود -0.35 می باشد به استثناء فولاد در حالی که مقداری که نشان می دهد از V-0.4 از
هفته ۱۱ تا هفته ۳۰م می باشد.
بعد از هفته ۶۰م همه نمونه ها یک کاهش ناچیزی از پتانسیل خوردگی را در قسمت بالایی
نشان می دهد.



۳۰-۲- آزمایش Cracked beam - پتانسیل متوسط خوردگی برای قسمت پایین نمونه ها با حضور الکتروود
مس - مس

فولاد N پتانسیل خوردگی پایین تری را نشان می دهد در هفته ۹۰م مقدار آن به پایین تر از
-0.5V می رسد. فولاد CRPT2 پتانسیل خوردگی را در طول هفته های آخر ارزیابی نشان می دهد.
شکل ۳۱-۲ مقاومت ماده به ماده را نشان می دهد. مقاومت متوسط ماده به ماده برای هفته
اول ارزیابی در جدول ۹-۲ داده شده است.



۳۱-۲- آزمایش Cracked beam - مقاومت متوسط ماده به ماده

همه فولادها با افزایش زمان شروع به بسته شدن مقاومت ماده به ماده روی ۳۰۰ اهم می کنند. در آزمون SE بالای ۵۰ هفته همه فولادها مقاومت ماده به ماده مشابهی با پراکندگی خیلی محدودی از خود نشان می دهند.

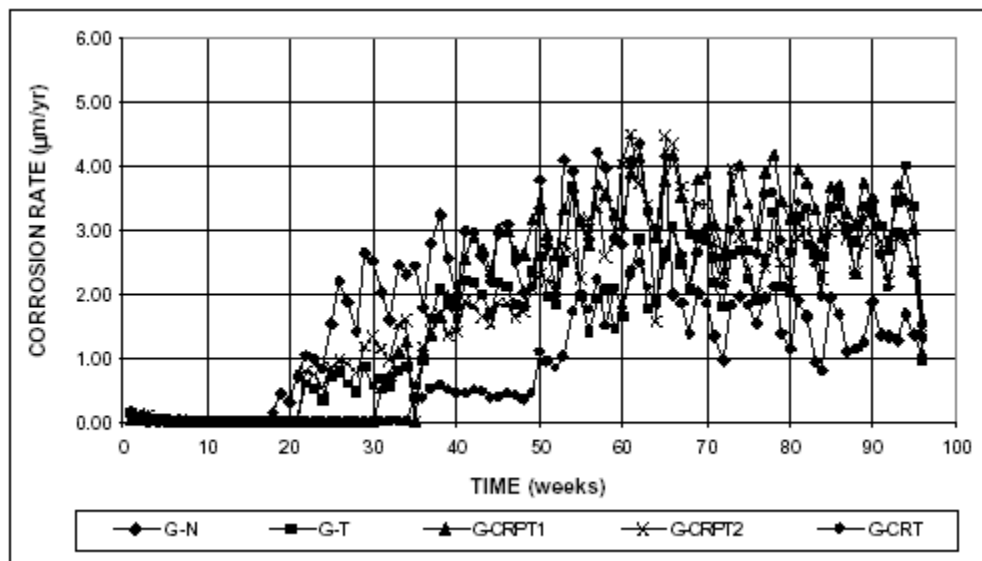
به طوری که پس از این دوره نقشه به طور متوسط بیشترین پراکندگی را نشان می دهد. اما به طور کل با افزایش زمان مقدار آن ادامه پیدا می کند. مطابق با آزمون SE فولاد N بعد از ۸۰ هفته یک افتی در مقاومت ماده به ماده نشان می دهد. مقاومت ماده به ماده برای هفته ۷۰م در جدول ۶-۳ آمده است. این جدول نشان می دهد که فولاد CRT پایین ترین مقاومت ماده به ماده را دارا می باشد حدود ۱۹۸۶ اهم و سپس فولاد CRPT1 با ۲۰۰۵ اهم و فولاد T با ۲۰۸۷ اهم، بالاترین مقاومت ماده به ماده در پایان دوره ارزیابی برای فولاد CRPT2 با ۲۳۷۵ اهم و فولاد N با ۲۶۰۳ اهم می باشد. [۲]

۳-۱۰-۲) آزمایش های ASTM G109

جدول ۷-۲ نشان می دهد که در هفته ۷۰م، فولاد T، CRT پایین ترین سرعت متوسط خوردگی را دارا می باشد (3.01 $\mu\text{m}/\text{year}$ for T steel, 2.85 $\mu\text{m}/\text{year}$) به طوری که فولاد N و فولاد CRPT1 بالاترین سرعت خوردگی را نشان می دهند (3.92 $\mu\text{m}/\text{year}$ for N Steel, 3.80 $\mu\text{m}/\text{year}$) و فولاد CRPT2 سرعت خوردگی 3.4 $\mu\text{m}/\text{year}$ را نشان می دهد.

مجموع متوسط خسارت خوردگی در جدول ۸-۲ نشان داده شده است که بعد از ۷۰ هفته فولاد CRT، کمترین خسارت خوردگی را با 0.94 μm نشان می دهد فقط ۳۶ درجه برای فولاد N می باشد در حای که بیشترین خسارت خوردگی با 2.61 μm می باشد. مقاومت ماده به ماده برای همه نمونه ها بعد از یک هفته بین ۲۱۲-۱۵۹ اهم می باشد؛ و با افزایش این مقدار بین ۱۲۱۶-۹۰۶

در عرض هفته ۷۰ م روبرو هستیم پتانسیل متوسط خوردگی در قسمت بالائی برای همه فولادها از -0.374V تا -0.516V می باشد که شامل جریان بالائی از خوردگی می باشد . پتانسیل متوسط خوردگی در قسمت پایینی از -0.187V تا -0.317V می باشد .

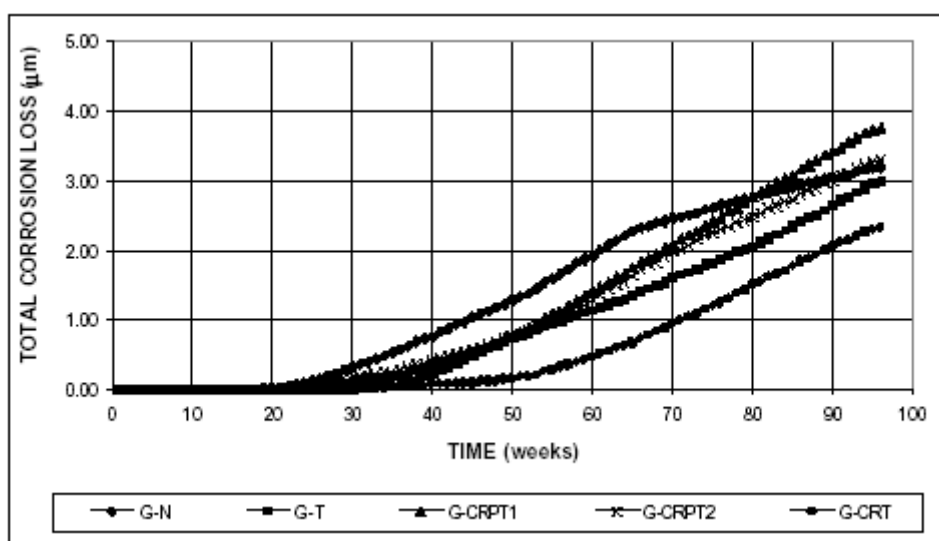


۲-۳۲- آزمایش G109 - سرعت متوسط خوردگی

شکل ۲-۳۲ سرعت متوسط خوردگی را برای نمونه G109 نشان می دهد ، سرعت متوسط خوردگی در هفته ۷۰ م در جدول ۲-۹ نشان داده شده است . برای چندین ماه سرعت خوردگی در آزمون های SE و CB بر روی نمونه ها روی صفر مانده است . اولین فولادی که فعالیت خود را نشان داد فولاد N می باشد که در هفته ۱۸ م شروع به فعالیت کرد و سپس فولاد T, CRPT2 در هفته ۲۲ م و فولاد CRPT1 در هفته ۳۱ م و فولاد CRT در هفته ۳۹ م سرعت خوردگی برای همه فولادها پس از ۶۰ هفته به یک مقدار ثابت می رسد و مقدار خوردگی از ۲ تا ۴ $\mu\text{m}/\text{year}$ می رسد . فولاد N پایین ترین مقدار خوردگی را بعد از ۷۰ هفته با مقداری بین ۱ و ۲ $\mu\text{m}/\text{year}$ نشان می دهد . شروع اول خوردگی نمونه G109 بیشترین تفاوت را در سرعت خوردگی از هفته ای به هفته دیگر نشان می دهد این نوسان به مدت ۸ هفته می باشد .

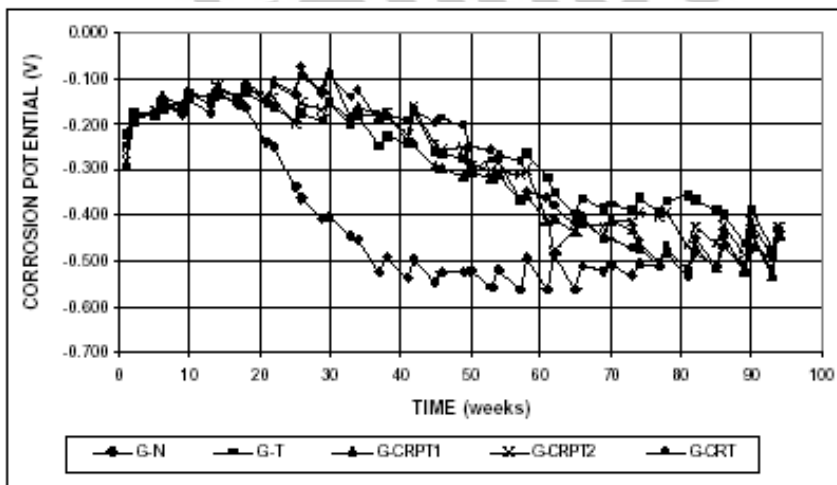
شکل ۲-۳۳ مجموع خسارت خوردگی را بر حسب زمان کشیده و مقدار آن در جدول ۲-۸ در ۷۰ هفته آمده است .

فولاد N بیشترین خسارت خوردگی را در طول دوره های ارزیابی نشان می دهد که شروع به زود خورده شدن نسبت به دیگر فولادها می کنند . فولاد CRT پایین ترین خسارت خوردگی را پس از خورده شدن دارد . بالاترین آستانه خوردگی آن شامل یک مقدار ناچیزی می باشد . این شیب ها برای ۵ نمونه یکسان می باشد . زیرا سرعت خوردگی آنها مشابه می باشد وقتی که فولاد ها شروع به خورده شدن می کنند فولاد N در پایان زمان دوره شروع به تغییر شیب می کند .



۲-۳۳ - آزمایش G109 - مجموع متوسط خسارت خوردگی

با این توضیح که در بالاتر ذکر شد سرعت خوردگی در پایان دوره آزمون پایین آمده ، این کاهش منطبق شده باافزایش آن در مقاومت ماده به ماده می باشد. این نوشته می گوید پس از تولید خوردگی کافی ؛ کاهش سرعت خوردگی داریم و مقاومت به خوردگی زیادی در آن فولاد نداریم و بعد از ۷۰ هفته فولاد CRT پایین ترین خسارت خوردگی را با عدد ۰/۹۴ نشان می دهد و فولاد T با $1.61 \mu\text{m}$ و فولاد CRPT2 با مقدار $1.98 \mu\text{m}$ و فولاد CRPT1 با مقدار $2.1 \mu\text{m}$ و فولاد N بالاترین خسارت خوردگی را با مقدار $2.46 \mu\text{m}$ نشان می دهد .
در شکل ۲-۳۴ و ۲-۳۵ پتانسیل خوردگی با الکتروود سولفات مس - مس برای قسمت بالا و پایین فولاد نشان داده شده است .



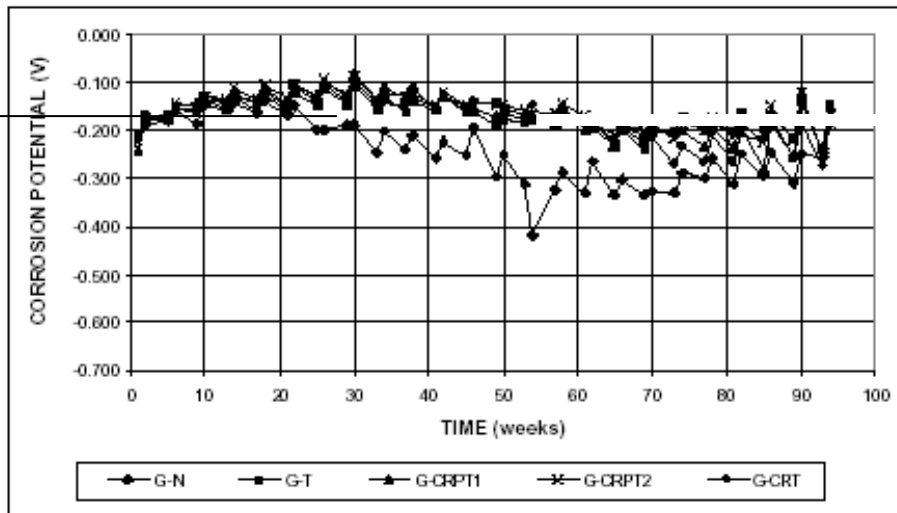
۳۴-۲- آزمایش G109 - پتانسیل متوسط خوردگی برای قسمت بالای نمونه ها با حضور الکتروود مس - مس

پتانسیل در قسمت بالائی فولاد برای همه نمونه ها از $V-0.2$ بیشتر است و در طول ۳۰ هفته اول از آزمون به استثناء فولاد N برای شروع شیب پتانسیل آن در هفته ۲۱ م مواجه هستیم. در هفته ۳۶ م پتانسیل بر روی قسمت بالائی فولاد N به پایین تر از $V-0.5$ می رسد. در حالی که برای بقیه فولادها بالای $V-0.25$ می باشد پتانسیل خوردگی برای قسمت پایینی همه فولادها مقدار بالای $V-0.2$ می باشد تا هفته ۶۰ م به استثناء فولاد N که در هفته ۳۰ م به مقدار پایین تر از $V-0.2$ می رسد در هفته های آخر آزمایش مقدار پتانسیل خوردگی در ماده پایینی^۱ برای همه فولادها بین $0.2V$ تا $0.3V$ می باشد.

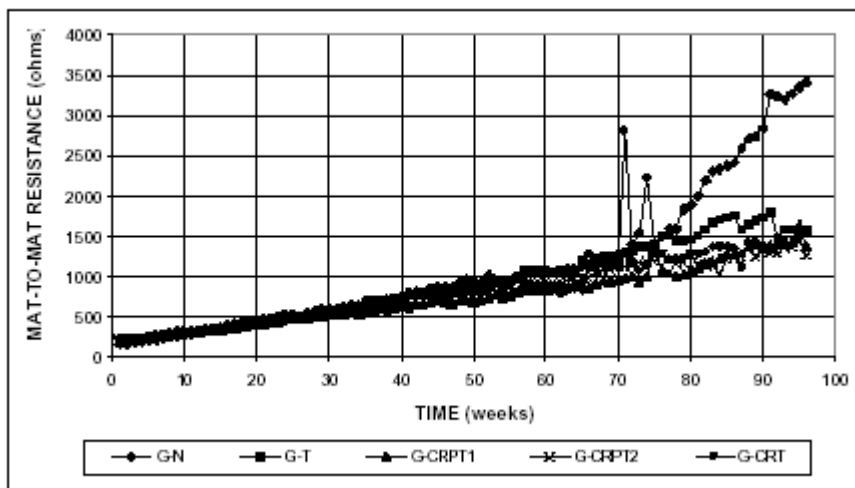
شکل ۳۶-۲ مقاومت ماده به ماده رانشان می دهد. جدول ۹-۲ و ۱۰-۲ مقاومت متوسط ماده به ماده را تا ۷۰ هفته نشان داده است نمونه ها با مقاومت ماده به ماده بین ۱۵۰-۲۲۰ اهم شروع می شود (با افزایش زمان) اگرچه در تمام دوره های آزمون مقاومت ماده ماده یکسانی را نشان می دهد در

^۱ - Bottom mat

طول هفته های آخر ارزیابی مقاومت ماده به ماده نمونه N افزایش شدیدی دارد در مقایسه با دیگر فولادها مقاومت متوسط ماده به ماده تا هفته ۷۰ در جدول ۳-۵ داده شده است این توضیح نشان می دهد که فولاد CRPT1 پایین ترین مقاومت را دارد یعنی ۹۴۸ اهم . برای فولاد CRT، 1116 اهم و فولاد CRPT2 با 1162 اهم بیشترین مقاومت هم برای فولاد T می باشد با 1244 اهم فولاد N هم با 1283 اهم می باشد. [۲]



۲-۳۵- آزمایش G109 - پتانسیل متوسط خوردگی برای قسمت پایینی با حضور الکتروود مس - مس



۲-۳۶- آزمایش G109 - مقاومت متوسط ماده به ماده.

۲-۱۰-۴- مشاهده و نمایش نمونه ها

پس از پایان هفته ۹۶م پس از یک بازرسی چشمی بر روی کارهای انجام شده قسمت هایی از نمونه ها که خراب شده است را عکس برداری کرده است (شکل ۳۷-۲)
لکه زنگ زده شده در سطح که مشاهده می شود در شکل ۳۹-۲ از نمونه آزمایش SE می باشد .

سطوح نمونه CB به طور کامل زده شده چون با وجود ترک تولید خوردگی بر روی سطح نمونه داشتیم خیلی از این ترک ها در میله های تقویت شده به طور موازی می باشد که در شکل ۳۸-۲ نشان داده شده است . و همچنین بر روی نمونه های SE نشان داده شده است . در نمونه های G109 ترک ها و لکه زنگ زده شده بر روی بتن دیده نمی شود .
شکل ۳۹-۲ و ۴۲-۲ تولید خوردگی را بر روی بسیاری از نمونه ها با فولادهای مختلف را نشان می دهد .

شکل ۳۹-۲ و ۴۰-۲ نمونه های SE برای میله ای فولادی CRPT1, N, CRPT2 را به ترتیب نشان می دهد که از بلند کردن سرپوش بتنی دچار تولید خوردگی شده اند و شکل ۴۱-۲ یک دید عرضی از بالای نمونه SE-CRT-1 را نشان می دهد در ۳ نمونه نشان داده شده که تولید خوردگی داشتیم یک ترکیبی از تولید 'red- brown' و 'greenish black' را داریم .

در تولید خوردگی greenish- black هیدروکسید آهن داریم و در تولید خوردگی red-brown اکسید آهن داریم.

طوری که هیدروکسید آهن با اکسیژن واکنش می دهد پس از چندین ساعت greenish

black به red - brown تغییر پیدا می کند. [۲]



جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۵۱۱ تماس حاصل نمایید

SE-CRPT2-1 -۲-۳۷ سطح نمونه



SE - CRPT1 / N-3 -۲-۳۸ ضخامت ترک بر روی نمونه



جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۵۱۱ تماس حاصل نمایید

۲-۳۹- تولید خوردگی بر روی قسمت بالایی نمونه SE-N-3.



۲-۴۰- تولید خوردگی بر روی بالای میله ی نمونه SE-CRPT2-1



۲-۴۱- تولید خوردگی بر روی بالای میله ی نمونه SE-CRT-1 (نمای جانبی)



۲-۴۲- تولید خوردگی بر روی پایین میله ها برای نمونه SE-CRPT2-1

۲-۱۱- آزمایش های مکانیکی

خاصیت مکانیکی برای ۴ فولاد CRPT1,T, CRTP2, CRT طبق استاندارد
ASTMAG15 نشان داده شده است و نتایج هم در جدول ۱۳-۲ آمده است.
همه فولادها با گرید 420 احتیاج به استحکام کششی و استحکام تسلیم و درصد کشیدگی در
استاندارد ASTM AG15 دارند.

نتایج نشان می دهد که فولادهای میکروآلیاژی برای کاربردی شدن می توانند جایگزین شوند.
. آزمایش پتانسیل خوردگی به ما شرایطی از شدت جریان مواد خورنده می دهد که در قسمت
۱-۱۰-۲ آمده است. این ۵ فولاد پتانسیل خوردگی مشابه ای دارند وقتی که در معرض یک سری
شرایط قرار بگیرند .

آزمایش هایی که بر روی این ۵ فولاد در شرایط معمولی انجام می شود با پوشش ملات در محلول NaCl که مشابه یک حلال خلل - فرج دار بتنی می باشد ، در روز ۴۰م از آزمایش پتانسیل خوردگی که در همه ارزیابی مشاهده می شود کمترین پتانسیل منفی خوردگی حدود V-0.38 می باشد .

آزمایش پتانسیل خوردگی فقط احتمال خوردگی را می دهد اما سرعت خوردگی را نشان نمی دهد . آزمایش ماکروسکل همیشه سرعت خوردگی را بر روی اندازه میله ها نشان میدهد و مدتی که در معرض NaCl می باشد مانند یک حلال نفوذ کننده بتن عمل می کند نتایجی که آزمایشهای مختلف نشان می دهد این است که این 5 فولاد سرعت خوردگی مشابهی دارند.

۱۳-۲- آزمایش های مکانیکی

Steel Designation	Yield Strength		Tensile Strength		Elongation in 202.3 mm (8 in.)	Bending
	(MPa)	(ksi)	(MPa)	(ksi)		
T	561.3	81.4	715.0	103.7	14.8%	OK
	559.9	81.2	716.4	103.9	13.3%	OK
	573.7	83.2	727.4	105.5	12.5%	OK
	564.9	81.9	719.6	104.4	13.5%	OK
CRPT1	568.1	82.4	746.0	108.2	10.9%	OK
	591.6	85.8	746.0	108.2	10.9%	OK
	590.9	85.7	755.0	109.5	12.5%	OK
	583.5	84.6	749.0	108.6	11.4%	OK
CRPT2	577.8	83.8	775.7	112.5	13.3%	OK
	581.9	84.4	768.8	111.5	13.3%	OK
	579.2	84.0	770.9	111.8	14.1%	OK
	579.6	84.1	771.8	111.9	13.6%	OK
CRT	566.1	82.1	728.1	105.6	14.1%	OK
	517.1	75.0	727.4	105.5	12.5%	OK
	499.2	72.4	715.0	103.7	11.7%	OK
	527.5	76.5	723.5	104.9	12.8%	OK

CRT به عنوان یک فولاد میکروآلیاژ به طور جد نشان می دهد که بعد از ۷۰ هفته پایین ترین خسارت خوردگی را دارا می باشد. نسبت به فولاد معمولی اگرچه در ارزیابی G109 در فولاد CRT ، مقاومت به خوردگی بیشتری دیده می شود نسبت به فولاد ساده. (بعد از ۷۰ هفته ۶۴٪ مجموع خسارت خوردگی می باشد)

در آزمایش CB بعد از ۷۰ هفته فقط ۴٪ خسارت خوردگی در فولاد معمولی داریم . در آزمایش SE فولاد CRT با ۱۱٪ پایین ترین خسارت خوردگی را نسبت به فولاد معمولی دارا می باشد.

در همه آزمایش های bench- Scale افزایش مقاومت ماده به ماده را با زمان لازم داریم که در نتیجه در سطح تولید خوردگی داریم پتانسیل خوردگی بر روی میله ها در هفته ۷۰م پایین تر است از -0.35V.

برای همه فولادها با الکتروود سولفات مس - مس شامل یک جریان بالائی از خورده شدن می باشد. نمونه های G109 خسارت خوردگی کمتری نسبت به ۲ آزمون دیگر را نشان می دهد. پتانسیل خوردگی ماده پایینی فولاد در هفته ۷۰م با مقدار -0.187V تا -0.420V خورده می شود. (با وجود الکتروود سولفات مس - مس).

همه فولادها برای استحکام کششی و استحکام تسلیم درصد Elongation برای گریدهای ۴۲۰ فولاد ASTM G615 مینیمم نیاز را به خمش دارند و به ویژه فسفر که تأثیری روی Ductility فولاد ندارد نتیجه اینکه فولاد میکروآلیاژ می تواند استفاده شود یا جایگزین شود برای تقویت در استاندارد A615.[۲]

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

فصل سوم:

نتیجه گیری و پیشنهاد

۱- نتایج

در فصل اول مقاومت به خوردگی ۳ فولاد میکرو آلیاژ و ۲ فولاد تقویت شده معمولی ارزیابی شد. این ۵ فولاد تقویت شده شامل فولاد معمولی نرماله شده فولاد معمولی عملیات حرارتی شده - فولاد میکروآلیاژی عملیات حرارتی شده با فسفر بالا، فولاد میکروآلیاژی عملیات حرارتی شده با فسفر بالا، فولاد میکروآلیاژی با فسفر نرمال می باشند.

۲ آزمون ارزیابی سریع ای که انجام شد پتانسیل خوردگی و آزمون ماکروسل می باشد و ۳ آزمایش ASTM G109, CB, SE: Bench Scale می باشد که برای ارزیابی فولاد تقویت شده انجام می شود. [۲]

در فصل ۲ نتایج بدست آمده در آزمایشات پتانسیل خوردگی , CB, ASTM G109 ماکروسل خوردگی، Southern Exposure ارائه داده شد. آزمایشات بر روی دو فولاد معمولی (N,T) و ۳ تا فولاد میکروآلیاژ (CRPT1, CRPT2, CRT) می باشد که در این فصل به طور کامل توضیح داده شد همچنین ویژگی های مکانیکی شامل استحکام کششی و تسلیم، خاصیت کش آمدن و نتایج آزمایشات خمشی برای فولادهای CRT, CRPT2, CRPT1, T می باشد.

نتایج حاصل از آزمایش پتانسیل خوردگی ثابت کرده که پنج فولاد مختلف، تمایل مشابه ای به خورده شدن دارند. نتایج آزمایش ماکروسل، برتری فولادهای میکروآلیاژ را نسبت به فولادهای معمولی نشان نمی دهد. در حالیکه طبق آزمایشات Bench-Scale برتری نسبتاً ثابتی برای فولاد CRT نشان داده شده است. [۲]

خاصیت مقاومت به خوردگی بر روی ۳ فولاد میکروآلیاژ و ۲ فولاد ساده بررسی شد. فولادهای میکروآلیاژ شامل مقدار کمی از کرم، مس و فسفر که از مقداری که ASTM گفته تجاوز می کند.

یکی از فولادهای معمولی و ۳ فولاد میکروآلیاژ که با فرآیند دمایی، عملیات حرارتی پذیرند شامل کوئینچ کردن، تمپر کردن فولاد می باشد که مستقیماً پس از نورد می باشد و دیگر فولاد معمولی که نورد گرم می شود. ارزیابی که بر روی این ۵ فولاد انجام می شود پتانسیل خوردگی، ماکروسل خوردگی و ASTM G109, CB, SE می باشد و آزمایشی که برای ارزیابی پتانسیل خوردگی فولاد استفاده می شود سرعت خوردگی می باشد.

آزمایش کشش و خمش بر روی میکروآلیاژی بودن و عملیات حرارتی پذیر بودن فولاد و بر روی خاصیت مکانیکی فولاد تأثیر می گذارد. [۲]

۵ نوع فولاد مورد آزمایش :

- ۱) فولاد معمولی نورد گرم شده (N steel)
- ۲) فولاد معمولی عملیات حرارتی شده (T Steel)
- ۳) فولاد میکروآلیاژی عملیات حرارتی شده با فسفر بالا (CRPT1(0.117%))
- ۴) فولاد میکروآلیاژی عملیات حرارتی شده با فسفر بالا (CRPT2(0.100%))
- ۵) فولاد میکروآلیاژی عملیات حرارتی شده با فسفر نرمال (CRT (0.017%))

۱- پتانسیل خوردگی در ۵ فولاد تقریباً شدت جریان مشابه ای را نشان می دهد که برای آخرین روز ارزیابی مقدار پتانسیل خوردگی که در برابر الکتروود Calomel برای همه فولادها پایین تر از مقدار -0.38V می باشد که احتمال بالائی از خوردگی را دارد .

۲- سرعت خوردگی بر روی ۵ فولاد تقریباً مقداری نزدیک به مقدار خوردگی در آزمایش ماکروسکل می باشد که شامل بهبود نیافتن تولید خوردگی فولاد میکروآلیاژ نسبت به فولاد ساده می باشد.

۳- در آزمایش Bench-Scale فولاد میکروآلیاژ با محتوی فسفر نرمال (CRT) پیوسته پایین ترین خسارت خوردگی را نسبت به فولاد معمولی دارد .

۴- فسفر بالا در فولادهای میکروآلیاژی روی خاصیت مکانیکی و ductility فولاد تأثیر می گذارند .
۵- مشاهده ای که در فولاد معمولی عملیات حرارتی شده و فولاد معمولی نورد گرم شده دیده می شود تولید خوردگی بهبود نیافته ای می باشد.

۶- نسبت به نمونه های فولادی دیگر فولاد CRPT1 و فولاد N بیشترین خسارت خوردگی را داشته است .

۷- با افزایش مقاومت ماده به ماده نسبت به زمان؛ برای همه نمونه ها تولید خوردگی بر روی سطح میله را داریم .

۸- در آزمایش Bench- Scale مقدار پتانسیل خوردگی با الکتروود سولفات مس - مس در هفته ۷۰ م برای همه فولادها پایین تر از -0.374V می باشد که شامل احتمال بالائی از خوردگی می باشد .

۹- در نمونه های Bench- Scale پتانسیل خوردگی در قسمت بالای نمونه ها پایین تر است. [۲]

۲- پیشنهاد

با توجه به نتایج آزمایش ها و گزارش های دیده شده، پیشنهاد می شود فولاد میکروآلیاژ نباید در سیستم های تولید خوردگی استفاده شود .

۳ فولاد میکروآلیاژ در ارزیابی ماکروسکل نشان داد که نسبت به فولاد معمول مزیتی ندارد و ارزیابی که بر روی این ۵ فولاد انجام شده پتانسیل خوردگی مشابهی دارند و تقریباً یک جریان دانسیته‌ای مشابه ای دارند .

در آزمایش Bench-Scale نشان داده شده که فولاد CRT پایین ترین خسارت خوردگی را نسبت به فولاد N دارد اما در آزمایش SE متفاوت از این بود یعنی فقط ۱۱٪ این خسارت و آزمایش CB فقط ۴٪ خسارت فولاد N را دارا می باشد. [۲]

REFERENCES

- [1] High – Strength low –Alloy steels
- [2] ASTM A 615/A 615M-00, (2001). “Standard Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement,” *2001 Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 03.01, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [3] ASTM C 150-00 (2002). “Standard Specification for Portland Cement,” *2002 Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.01, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [4] ASTM C 192/C 192M-00 (2002). “Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory,” *2002 Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.04, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [5] ASTM C 305-99, (2002). “Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency,” *2002 Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.01, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [6] ASTM C 778-00, (2002). “Standard Specification for Standard Sand,” *2002 Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.01, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [7] ASTM C 876-91, (2002). “Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete,” *2002 Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 03.02, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [8] ASTM G 109-99a (2002). “Standard Test Method for Determining the Effects of Chemical Admixtures on the Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environments,” *2002 ASTM Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.02, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [8] Darwin, D. (1995). “Corrosion-Resistant Reinforcing Steel,” SL Report 95-2, University of Kansas Center for Research, Inc., Lawrence, KS, 22 pp.
- [9] Darwin, D., Locke, Browning, J.P, Nguyen, T.V., Carl E., Jr., (2002). “Mechanical and Corrosion Properties of a High-Strength, High Chromium Reinforcing Steel for Concrete”. SM Report No. 66, University of Kansas Center for Research, Inc., Lawrence, KS, 142 pp.

- [10] Farzammehr, H., (1985). "Pore Solution Analysis of Sodium Chloride and Calcium Chloride Containing Cement Pastes," Master of Science Thesis, University of Oklahoma, Norman, OK.
- [11] Federal Highway Administration (FHWA) (1999), "1999 Status of the Nation's Highways, Bridges, and Transit: Conditions and Performance Report", FHWA website: <http://www.fhwa.dot.gov/policy/1999cpr/index.htm>.
- [12] Kahrs, J., Darwin, D., and Locke, Carl E., Jr., (2001). "Evaluation of Corrosion Resistance of Type 304 Stainless Steel Clad Reinforcing Bars," SM Report No. 65, University of Kansas Center for Research, Inc., Lawrence, KS, 76 pp.
- [13] Hausmann, D. A., (1965). "Steel Corrosion in Concrete", Materials Protection, Vol. 6, November 1967, pp. 19-23.
- [14] Jones, D.A. (1996). *Principles and Prevention of Corrosion*, Macmillan Publishing Company, New York, 572 pp.
- [15] Pfeifer, D. W., and Scali, M. J., (1981). "Concrete Sealers for Protection of Bridge Structures", National Cooperative Highway Research Board Program Report 244, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 138 pp.
- [16] Martinez, S. L., Darwin, D., McCabe, S. L., and Locke, Carl E., Jr., (1990). "Rapid Test for Corrosion Effects of Deicing Chemicals in Reinforced Concrete," SL Report 90-4, University of Kansas Center for Research, Inc., Lawrence, KS, 61 pp.
- [17] McDonald, D. B., Pfeifer, D. W., and Sherman, M. R., (1998). "Corrosion Evaluation of Epoxy-Coated, Metallic-Clad and Solid Metallic Reinforcing Bars in Concrete," Publication No. FHWA-RD-98-153, Federal Highway Administration, McLean, VA, 127 pp.
- [18] Nmai, C. K., Bury, Mark, A., and Farzam, H., (1994). "Corrosion evaluation of a sodium thiocyanate-based admixture," Concrete International: Design and Construction, v 16, n 4, Apr, 1994, p 22-25.
- [19] Senecal, M. R., Darwin, D., and Locke, Carl E., Jr., (1995). "Evaluation of Corrosion-Resistant Steel Reinforcing Bars," SM Report No. 40, University of Kansas Center for Research, Inc., Lawrence, KS, 142 pp.
- [20] Smith, J. L., Darwin, D., and Locke, C. E., Jr., (1995). "Corrosion-Resistant Steel Reinforcing Bars Initial Tests," SL Report 95-1, University of Kansas Center for Research, Inc., Lawrence, KS, 43 pp.

- [21] Schwensen, S. M., Darwin, D., and Locke, Carl E., Jr., (1995). "Rapid Evaluation of Corrosion-Resistant Concrete Reinforcing Steel in the Presence of Deicers," SL Report 95-6, University of Kansas Center for Research, Inc., Lawrence, KS, 90 pp.
- [22] Steinbach, O. F., and King, C. V. (1950). *Experiments in Physical Chemistry*, American Book Company, New York, 250 pp.
- [23] Tata Iron and Steel Co., (1991). "Development of New Corrosion Resistant Steel (CRS) Reinforcing Bars at Tata Steel," Report, Tata Iron and Steel Co., Jamshedpur, India, 32 pp.
- [24] Tourney, P., and Berke, N., (1993). "Call for standardized tests for corrosion inhibiting admixtures," *Concrete International: Design and Construction*, v 15, n 4, Apr. 1993, pp. 57-62.
- [25] Uhlig, Herbert H. and Revie, Winston R. (1985). *Corrosion and Corrosion Control. An Introduction to Corrosion Science and Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 441 pp.

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoocn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۵۱۱ تماس حاصل نمایید

Filename: Document1
Directory:
Template: C:\Documents and Settings\hadi tahaghoghi\Application
Data\Microsoft\Templates\Normal.dotm
Title: چکیده
Subject:
Author: 1
Keywords:
Comments:
Creation Date: 4/15/2012 11:34:00 AM
Change Number: 1
Last Saved On:
Last Saved By: hadi tahaghoghi
Total Editing Time: 0 Minutes
Last Printed On: 4/15/2012 11:34:00 AM
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 83
Number of Words: 12,066 (approx.)
Number of Characters: 68,782 (approx.)