



تأثیر بازدارندگی سطح فعال کاتیونی بر خوردگی فولاد در محیط اسیدی و اثر مشارکتی یون کلرید و الکل‌ها

دورنا آصفی^۱، مختار آرامی^{۲*}، علی اصغر سرابی^۳، نیازمحمد محمودی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۳۵-۱۱۳۶۵

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۴

۳- استادیار، دانشکده پلیمر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

۴- کارشناس ارشد، گروه پژوهشی رنگ و محیط زیست، پژوهشکده صنایع رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۱/۵ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۲/۲۷ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۸۷/۱۲/۲۸

چکیده

اثر بازدارندگی سطح فعال کاتیونی DTAB (دودسیل تری متیل آمونیوم برمید) بر خوردگی فولاد کم کربن در محلول 1M HCl، با استفاده از روش کاهش وزن مورد بررسی قرار گرفت. جذب مولکول‌های سطح فعال بر سطح فولاد باعث ایجاد مانعی بر سطح فلز می‌شود و از کاهش وزن فلز بر اثر خوردگی در محلول اسیدی جلوگیری می‌کند. بازدارندگی ماده DTAB بر خوردگی فلز، با افزایش غلظت ماده فعال سطحی در محلول اسیدی، افزایش می‌یابد. همچنین با افزودن چند الکل بلند زنجیر، C₇OH (1-هپتانول)، C₁₂OH (1-دودکانول) و C₁₅OH (1-پنتادکانول) به محلول بازدارنده، اثر مشارکتی و اثر طول زنجیر الکل‌ها در بازدارندگی خوردگی مورد مطالعه قرار گرفت. اثر مشارکتی یون کلرید با افزودن NaCl به محلول اسیدی حاوی DTAB بررسی شد. اثر بازدارندگی سطح فعال، با افزودن NaCl، به مقدار قابل توجهی افزایش یافت. افزودن NaCl به محلول بازدارنده، غلظت DTAB برای رسیدن به اثر بازدارندگی مطلوب را تا حدود ۱۰۰ برابر کاهش می‌دهد و باعث کاهش قیمت نهایی سیستم بازدارنده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تأثیر بازدارندگی خوردگی، سطح فعال کاتیونی، محیط اسیدی، الکل.

Corrosion Inhibition Effect of Cationic Surfactant on Steel in Acid Medium and Synergistic Effect of Chloride Ion and Some Alcohols

D. Asefi¹, M. Arami^{2*}, A. A. Sarabi³, N. M. Mahmoodi⁴

¹ Polymer Engineering Department, Azad University South Branch of Tehran, P.O.Box: 11365-4435, Tehran, Iran

² Textile Engineering Department, Amirkabir University of Technology, P.O.Box: 15874-4413, Tehran, Iran

³ Polymer Engineering Department, Amirkabir University of Technology, P.O.Box: 15875-4413, Tehran, Iran

⁴ Department of Environmental Research, Institute for Colorants, Paint and Coatings, P.O.Box: 16765-654, Tehran, Iran

Abstract

Corrosion inhibition effect of cationic surfactant DTAB (dodecyl three methyl ammonium bromide) on low carbon steel in 1M HCl was studied using weight loss method. Inhibition efficiency increased with the increase of surfactant concentration. The adsorption of the surfactant on the steel surface forms a barrier layer on the surface and it was the main reason of its inhibition effect. Effect of three long chain alcohols C₇OH (1-heptanol), C₁₂OH (1-dodecanol), C₁₅OH (1-pentanol) on inhibition efficiency of DTAB was studied considering chain length compatibility. Also synergistic effect between surfactant and chloride ions in 1M HCl was investigated with the presence of different concentration of NaCl. The inhibition efficiency increased with the increase of NaCl concentration and reached the maximum value near 0.1 M. This composite inhibitor system containing cationic surfactant and chloride ions was efficient and low-cost for steel corrosion inhibition in HCl medium. J. Color Sci. Tech. 2(2009), 257-263. © Institute for Colorants, Paint and Coatings.

Keywords: Corrosion inhibition effect, Cationic surfactant, Acid medium, Alcohol.

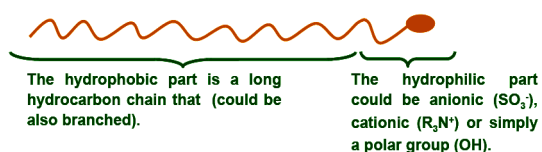
۱- مقدمه

کاهش می‌دهد [۱۸].

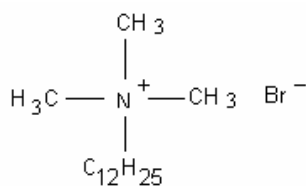
در تحقیقات محدودی که در زمینه بهبود اثر بازدارندگی سطح فعال‌ها صورت گرفته است، ثابت شده است که حضور یون‌های هالید [۲۸-۱۹]، دیدید [۲۴، ۲۷، ۲۸]، برمید [۲۰]، کلرید [۲۰، ۲۲] و فلورید [۲۵] در محلول اسیدی حاوی سطح فعال، با اثر مشارکتی خاصی، اثر بازدارندگی سطح فعال بر خوردگی فلز را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد.

در این تحقیق اثر بازدارندگی سطح فعال DTAB (دودسیل تری متیل آمونیوم برمید) بر خوردگی فولاد کم کربن در محلول یک مولار HCl مورد بررسی قرار گرفت و اثر حضور چند الکل بلند زنجیر، C₇OH (۱- هپتانول)، C₁₂OH (۱- دودکانول) و C₁₅OH (۱- پنتادکانول) در میزان بازدارندگی ماده DTAB بررسی شد. همچنین اثر مشارکتی بین یون کلرید و ماده DTAB با افزودن غلظت‌های متفاوتی از NaCl به محلول اسیدی حاوی ماده DTAB مورد مطالعه قرار گرفت. ساختار مولکولی سطح فعال مورد استفاده، در شکل ۲ ارائه شده است.

لازم به ذکر است که در زمینه بررسی اثر سطح فعال‌ها در خوردگی فلزات و اثر مشارکتی یون کلرید، در ایران هیچ تحقیقی ثبت نشده است و در جستجوهای صورت گرفته روشن شد که تا کنون در مورد اثر ماده DTAB بر خوردگی فولاد کم کربن و اثر مشارکتی بین NaCl، الکل‌های بلند زنجیر و DTAB، در مقالات ثبت شده، تحقیقی صورت نگرفته است.



شکل ۱: ساختار شیمیایی سطح فعال‌ها.



شکل ۲: ساختار شیمیایی سطح فعال کاتیونی DTAB.

هزینه‌های خوردگی یکی از صدمه‌های بزرگ اقتصادی در کشورهای جهان می‌باشد. طبق اسناد موجود، سالانه میلیاردها دلار در هر کشور صرف تعویض و ترمیم قطعات تخریب شده بر اثر خوردگی می‌شود. همراه با پیشرفت فناوری پوشش‌ها، تحقیقات برای یافتن روش‌ها و مواد مناسب برای جلوگیری از خوردگی در حال گسترش است و مانند تمام طرح‌های صنعتی، اهداف اصلی، رسیدن به بهترین کارایی، پایین‌ترین قیمت تمام شده و کمترین آسیب به محیط زیست می‌باشد [۱]. یکی از روش‌های جلوگیری از خوردگی، استفاده از مواد بازدارنده می‌باشد. سطح فعال‌ها یکی از بازدارنده‌های بسیار مؤثر در خوردگی فلزات می‌باشد که تحقیقات محدودی در ۱۰ سال اخیر در مورد اثر بازدارندگی این مواد صورت گرفته است.

سطح فعال‌ها مولکول‌هایی هستند که به دلیل وجود یک زنجیر آبگریز و یک سر آبدوست در مولکول‌های خود (شکل ۱)، دارای خواص منحصر به فردی می‌باشند. دامنه کاربرد این مواد بسیار وسیع است به طوری که می‌توان گفت صنعتی وجود ندارد که از این مواد در آن استفاده نشود. تحقیقات در زمینه بهبود ساختار و استفاده بیشتر از این مواد، روز به روز در حال افزایش است. در این میان تحقیقات محدودی به بررسی خواص بازدارندگی سطح فعال‌ها در خوردگی فلزات انجام شده است. دلیل اصلی بازدارندگی این مواد، جذب مولکول‌های سطح فعال بر سطح فلز و تشکیل لایه‌ای آبگریز بر سطح می‌باشد که از نزدیک شدن آب و یون‌های خورنده به سطح فلز جلوگیری می‌کند. اثر بازدارندگی سطح فعال با افزایش غلظت ماده افزایش می‌یابد و این روند افزایشی در محدوده غلظت بحرانی تشکیل تجمع‌های مولکولی سطح فعال (CMC)^۱، بسیار سریع می‌باشد [۱۷-۲].

غلظت مؤثر سطح فعال برای رسیدن به اثر بازدارندگی بهینه در حدود CMC سطح فعال در محلول ۱ M اسیدی می‌باشد. در بررسی‌های صورت گرفته در مورد محلول‌های حاوی چند سطح فعال، یکی از مهمترین عوامل مؤثر در بهبود خواص این محلول‌ها، یکسان بودن طول زنجیر هیدروکربنی در مواد آلی موجود در محلول می‌باشد. این موضوع به تجمع‌های حاصل از مواد فعال سطحی مختلف بر می‌گردد. در هنگام تشکیل تجمع‌های مولکولی (مایسل)، اگر طول زنجیر هیدروکربنی در مولکول‌های موجود در مایسل برابر نباشند، مقدار زنجیر اضافی مولکول‌ها در محلول آزادانه حرکت می‌کند و تحرک زیاد مولکول‌ها باعث کاهش پایداری مایسل می‌شود. همچنین در هنگام تشکیل لایه تک مولکولی حاصل از جذب مولکول‌های سطح فعال روی سطوح مختلف مثل فلز، فاصله بین مولکول‌های جذب شده بیشتر می‌گردد و نفوذ یون‌ها و مولکول‌های تشدیدکننده خوردگی در محلول آسان می‌شود که نفوذ این یون‌ها، اثر بازدارندگی سطح فعال را

1- Critical micelle concentration

جدول ۱: آنالیز عناصر موجود در فولاد کم کربن.

عناصر	Cu	Mo	Cr	Ni	S	P	V	Mn	Si	C	Fe
درصد wt%	۰,۰۲	۰,۰۰۲	۰,۰۰۴	۰,۰۱۵	۰,۰۱۲	۰,۰۰۱	۰,۰۰۵	۰,۷	۰,۶	۰,۰۶	۹۹,۱۲

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد شیمیایی و وسایل

سطح فعال DTAB (٪۹۹) و NaCl (٪۹۹) از محصولات شرکت مرک آلمان، اسید HCl (۳۷٪) و چگالی (۱,۱۹ g/ml) از شرکت قطران شیمی ایران تهیه شد. فولاد کم کربن با ترکیب شیمیایی که در جدول ۱ آمده است استفاده شد. برای تهیه تمام محلول‌ها از آب دو بار تقطیر شده استفاده شد. برای اندازه‌گیری وزن ترازویی با دقت ۰,۰۰۱ g مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲- روش کار

به منظور اندازه‌گیری کاهش وزن، قبل از آزمایش، نمونه‌های فولاد با اندازه‌هایی در حدود ۳۰ mm × ۳۰ mm × ۱,۵ mm آماده‌سازی شدند. آماده‌سازی مکانیکی با استفاده از کاغذهای سمباده به ترتیب با درجه‌های ۱۸۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۱۲۰۰ انجام شد. نمونه‌ها برای چربی‌زدایی با استن و بعد از آن دو بار با آب مقطر شستشو شدند. سپس نمونه‌ها در محلول ۰,۵ M اسید (به منظور زدودن محصولات خوردگی باقیمانده با روش شیمیایی) به مدت ۱۰ ثانیه غوطه‌ور و دوبار با آب مقطر شستشو شدند و در نهایت خشک شدند. بعد از اندازه‌گیری دقیق وزن نمونه‌ها توسط ترازویی با دقت ۰,۰۰۱ g در ۱۰۰ ml از محلول‌های حاوی یک مولار HCl در حضور و غیاب غلظت‌های متفاوتی از سطح فعال (۰-۰,۰۱ M) غوطه‌ور شدند. بعد از گذشت سه ساعت، نمونه‌ها از محلول خارج شده و بعد از شستشو با آب مقطر و خشک کردن، وزن دقیق آنها اندازه‌گیری شد. تمام آزمایشات سه بار تکرار شدند و نتایج نهایی میانگین نتایج سه آزمایش می‌باشد.

برای محاسبه اثر بازدارندگی سطح فعال (E%) از فرمول زیر استفاده شد [۳]:

$$E\% = \left(1 - \frac{r_{corr}}{r'_{corr}}\right) \times 100 \quad (1)$$

$$r_{corr} = \frac{(m_1 - m_2)}{St} \quad (2)$$

r_{corr} و r'_{corr} به ترتیب سرعت خوردگی فولاد در حضور و غیاب سطح فعال در محلول اسیدی، m_1 و m_2 وزن نمونه (g) قبل و بعد از غوطه‌وری در محلول می‌باشد. S سطح نمونه (m_2) و t زمان غوطه‌وری (h) می‌باشد [۱۹].

برای بررسی اثر مشارکتی یون کلرید نیز از همین روش استفاده شد و برای محاسبه اثر بازدارندگی سطح فعال به همراه غلظت‌های متفاوت NaCl از معادلات ۱ و ۲ استفاده شد، با این تفاوت که r_{corr} و r'_{corr} به ترتیب سرعت خوردگی فولاد در حضور و غیاب NaCl در نظر گرفته شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر غلظت سطح فعال

سرعت خوردگی فولاد در حضور و غیاب غلظت‌های متفاوتی از ماده DTAB در محلول یک مولار HCl در دمای $1 \pm 20^\circ\text{C}$ اندازه‌گیری شد. اطلاعات مربوط به کاهش وزن نمونه‌ها و سرعت خوردگی در جدول ۲ ارائه شده است. سرعت خوردگی فولاد با افزایش غلظت ماده DTAB، کاهش می‌یابد. روند کاهش سرعت خوردگی در نزدیکی CMC در محلول یک مولار اسید ($16 \times 10^{-4} \text{M}$) (CMC ماده DTAB بر اساس مرجع [۳۳] $[16 \times 10^{-3} \text{M}]$) می‌باشد که طبق همان مرجع در محلول اسیدی ۰,۱ برابر کاهش می‌یابد، بسیار سریع می‌باشد.

جدول ۲: اطلاعات مربوط به میانگین کاهش وزن نمونه‌ها و سرعت خوردگی.

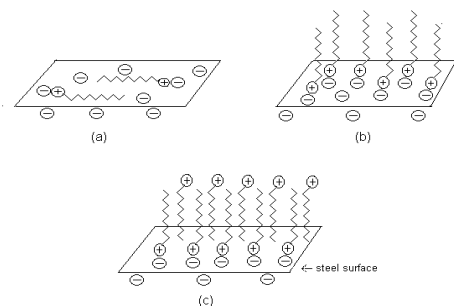
DTAB (mM)	Δm (mg)	r (g/m ² h)
۰	۵۵	۸,۳۶
۰,۰۰۱	۴۳	۵,۰۲
۰,۰۰۵	۴۰	۴,۴۲
۰,۰۱	۳۰	۴,۱
۰,۰۵	۲۱	۳
۰,۰۶۵	۱۵	۲,۱۲
۰,۱	۴	۰,۶
۱	۲	۰,۳
۱۰	۲	۰,۳

۳. در غلظت‌های بالا از ماده فعال سطحی ($1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-6}$)، دو لایه تک‌مولکولی از یون‌های سطح فعال که از زنجیرهای آبگریز به هم چسبیده‌اند بر روی سطح فلز تشکیل می‌شود. کاهش روند افزایش اثر بازدارندگی در غلظت‌های بالا به دلیل اشباع شدن سطح از جذب یون‌های سطح فعال می‌باشد (شکل ۷c) [۷].

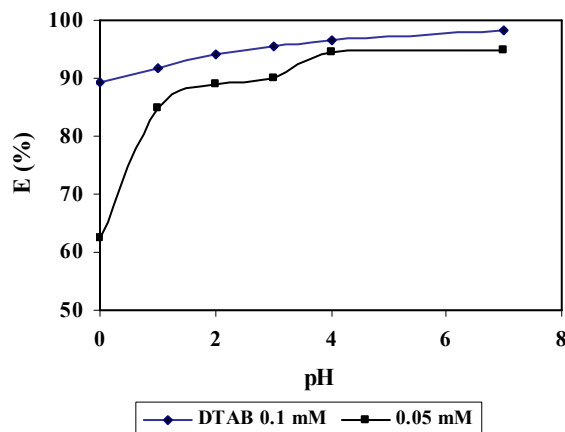
۳-۲- بررسی اثر pH

به منظور بررسی عملکرد بازدارندگی خوردگی DTAB در pH متفاوت (۷-۰)، با تغییر غلظت HCl در محلول، اثر بازدارندگی ماده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این آزمایشات در شکل ۵ ارائه شده است.

شکل ۵ نشان می‌دهد که اثر بازدارندگی ماده DTAB در هر pH با افزایش غلظت ماده، افزایش می‌یابد ولی با افزایش pH، به دلیل کاهش یون‌های اسیدی تشدیدکننده خوردگی و کاهش سرعت خوردگی سطح فولاد، اثر بازدارندگی ماده DTAB افزایش می‌یابد.



شکل ۴: حالت‌های جذب مولکول‌های سطح فعال کاتیونی DTAB در غلظت‌های مختلف بر روی سطح فولاد در محیط اسیدی.



شکل ۵: تغییرات اثر بازدارندگی DTAB نسبت به تغییرات pH

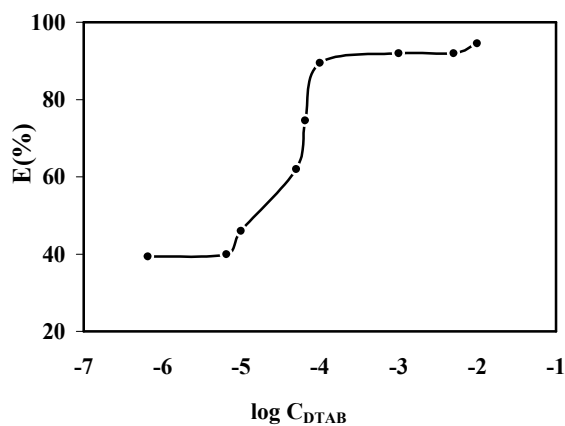
نمودار تغییرات اثر بازدارندگی DTAB برحسب غلظت ماده در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت DTAB، اثر بازدارندگی افزایش می‌یابد و تا نزدیکی ۱۰۰٪ در غلظت 1×10^{-2} M می‌رسد. روند افزایشی اثر بازدارندگی در نزدیکی CMC بسیار سریع مشاهده می‌شود.

دلیل فعالیت بازدارندگی DTAB در محلول HCl جذب فیزیکی (الکترواستاتیک) یون مثبت $C_{12}H_{25}N(CH_3)^+$ به سطح منفی فولاد در محلول اسیدی می‌باشد. منفی بودن سطح فولاد نیز به دلیل تجمع یون‌های کلرید در اطراف آن می‌باشد. نحوه جذب یون‌های مثبت $C_{12}H_{25}N(CH_3)^+$ بر سطح فولاد باعث تغییر روند افزایش اثر بازدارندگی با افزایش غلظت DTAB می‌باشد [۴].

در تحقیقات انجام شده نحوه جذب مولکول‌های سطح فعال (با توجه به نوع ماده)، با مدل‌های جذب لانگمویر، فرامکین و ... مطابقت داده و با روش‌های ریاضی اثبات شده است [۴-۷]. بر اساس مدل بررسی شده برای یک سطح فعال مشابه DTAB در مرجع ۷، چنین نتیجه‌گیری شده است که ظاهر S شکل نمودار شکل ۳، سه حالت مختلف جذب مولکول‌ها در سطح را نشان می‌دهد:

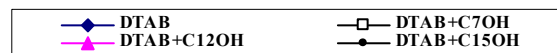
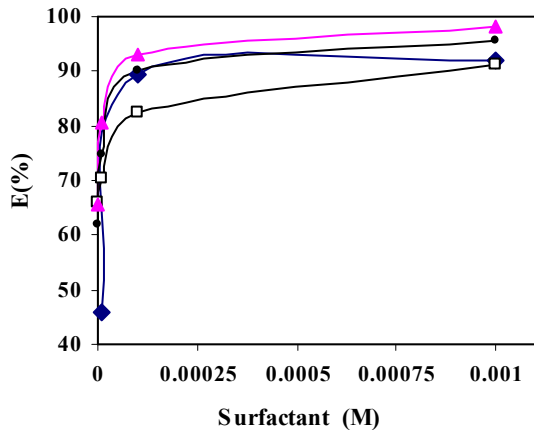
۱. در غلظت‌های کم ($1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-5}$ M)، یون‌های $C_{12}H_{25}N(CH_3)^+$ تقریباً به حالت افقی بر سطح فلز جذب می‌شوند. جذب یون‌های مثبت به دلیل نیروی جاذبه بین گروه آمونیوم (N^+) و مکان‌های کاتدی از طرفی و یون‌های Cl^- از طرف دیگر می‌باشد (شکل ۴a).

۲. با افزایش غلظت سطح فعال ($1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-5}$ M)، یون‌ها به صورت عمودی جذب می‌شوند و این به دلیل نیروی متقابل بین زنجیرهای آبگریز می‌باشد. با افزایش تعداد یون‌ها در سطح فلز، این نیروی متقابل بین زنجیرها بیشتر می‌شود و باعث ایجاد حالت عمودی در یون‌های جذب شده، می‌گردد (شکل ۴b).

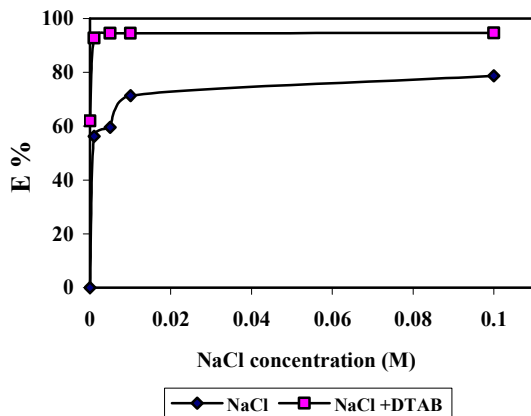


شکل ۳: تغییرات اثر بازدارندگی E برحسب log غلظت DTAB در محلول یک مولار HCl در $20 \pm 1^\circ C$.

می‌گردند و کاتیون‌ها بر سطح آنیون‌ها می‌نشینند. تحقیقات نشان دادند که جذب یون‌های کلرید و سطح فعال کاتیونی بر سطح فولاد در محیط HCl با اثر مشارکتی صورت می‌گیرد. به این معنی که ابتدا یون‌های کلرید ماده NaCl و برمید ماده DTAB بر روی سطح فولاد جذب می‌شوند سپس یون‌های $C_{12}H_{25}N(CH_3)^+$ روی سطح فولاد که با یون‌های منفی پوشیده شده است جذب می‌شود [۴].



شکل ۶: تغییرات اثر بازدارندگی ماده DTAB با افزودن الکل‌ها برحسب تغییرات غلظت DTAB در محلول یک مولار HCl.



شکل ۷: اثر مشارکتی و بازدارندگی NaCl بر خوردگی فولاد برحسب تغییرات غلظت NaCl در محلول یک مولار HCl در دمای $20 \pm 1^\circ C$.

۳-۳- بررسی اثر الکل‌ها

با افزودن هر یک از الکل‌ها به میزان ۰٫۰۱٪ به محلول حاوی یک مولار HCl و در حضور و غیاب ($0.5 \times 10^{-4} M$) DTAB، به ترتیب سرعت خوردگی فولاد اندازه‌گیری شد. سپس قدرت بازدارندگی محلول‌ها محاسبه شد که در شکل ۶ بر حسب غلظت DTAB ارائه شده است.

شکل ۶ نشان می‌دهد که $C_{12}OH$ (۱-دودکانول) بیشتر از $C_{15}OH$ (۱-پنتادکانول) اثر بازدارندگی را افزایش داده است زیرا طول زنجیر هیدروکربنی الکل (به عنوان سطح فعال کمکی) و DTAB یکسان می‌باشد و در $C_{15}OH$ زنجیر هیدروکربنی سه کربن بیشتر دارد و این باعث کاهش پایداری لایه محافظ تشکیل بر سطح فولاد می‌شود. در مورد C_7OH (۱-هپتانول)، زنجیر هیدروکربنی پنج کربن کمتر از DTAB دارد و این اختلاف زیاد باعث می‌شود که اثر بازدارندگی سطح فعال کاهش یابد زیرا حضور C_7OH باعث افزایش فضای بین مولکول‌ها در لایه محافظ روی سطح فولاد می‌گردد و همچنین باعث نزدیک شدن یون‌های تشدید کننده خوردگی به سطح فولاد می‌شود [۲۹-۳۳].

۳-۳- بررسی اثر مشارکتی NaCl و DTAB

با افزودن غلظت‌های متفاوتی از NaCl (۰٫۰۱-۰٫۱ M) به محلول حاوی یک مولار HCl و ($0.5 \times 10^{-4} M$) DTAB، (این میزان نمک در محلول آبی ۱۰۰٪ قابل انحلال می‌باشد) سرعت خوردگی فولاد با افزایش غلظت نمک کاهش یافت. شکل ۷ تغییرات اثر بازدارندگی برحسب تغییرات غلظت NaCl را نشان می‌دهد. با بررسی این مشاهده می‌شود که اثر بازدارندگی سطح فعال در محلول اسیدی حاوی که اثر بازدارندگی حدود ۶۲٪ بود که با افزودن $0.1 M$ NaCl به حدود ۹۴٫۶٪ افزایش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که افزودن $0.1 M$ NaCl به میزان قابل توجهی اثر بازدارندگی خوردگی ماده DTAB را با اثر مشارکتی، افزایش می‌دهد. بدین معنی که با افزودن NaCl به محلول بازدارنده، می‌توان میزان غلظت DTAB برای رسیدن به اثر مشارکتی بهینه را تا حدود ۰٫۰۱ برابر کاهش داد و در نتیجه قیمت نهایی سیستم بازدارنده کاهش می‌یابد.

در تحقیقاتی که در این زمینه صورت گرفته است [۱۹-۲۸]، مشاهده می‌شود که حضور یون‌های هالید اثر بازدارندگی سطح فعال را افزایش می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، حضور NaCl در محلول اسیدی حتی بدون حضور سطح فعال اثر بازدارندگی بر خوردگی فولاد دارد. تأثیر بازدارندگی NaCl در حضور DTAB می‌تواند به دلیل رقابتی یا مشارکتی باشد. در اثر رقابتی، یون‌های آنیون و کاتیون در مکان‌های متفاوتی بر روی سطح فلز جذب می‌شوند و در اثر مشارکتی، آنیون‌ها با جذب شیمیایی روی سطح جذب

کربن باشد و با کم شدن اختلاف در زنجیر هیدروکربنی سطح فعال و الکل، اثر بازدارندگی افزایش می‌یابد. افزودن یون هالید مانند محلول NaCl به محیط اسیدی حاوی DTAB با اثر مشارکتی، اثر بازدارندگی سطح فعال را تا حد قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد و قیمت نهایی سیستم بازدارنده را کاهش می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که حضور سطح فعال کاتیونی DTAB در محیط اسیدی با غلظتی نزدیک به CMC ماده در حدود $10^{-4} \times 0.5$ M، اثر بازدارندگی مؤثری بر روی خوردگی فولاد کم کربن دارد. افزودن الکل‌های بلند زنجیر در صورتی اثر بازدارندگی سطح فعال را افزایش می‌دهد که اختلاف تعداد کربن‌های زنجیر هیدروکربنی کمتر از پنج

۵- مراجع

1. M. Agustyn, Use of corrosion inhibitors in coatings, *European Coatings Conference* 19/2004.
2. L. G. Qiu, A. J. Xie, Y. H. Shen, Understanding the effect of the spacer length on adsorption of Gemini surfactants onto steel surface in acid medium. *Appl. Surf. Sci.* 246(2005), 1-5.
3. L. G. Qiu, A. J. Xie, Y. H. Shen, Understanding the adsorption of cationic Gemini surfactants on steel surface in hydrochloric acid. *Mater. Chem. Phys.* 87(2004), 237-240.
4. M. L. Fre, Understanding the effect of surfactant aggregation on corrosion inhibition of mild steel in acidic medium. *Corros. Sci.* 44(2002), 2865-2870.
5. L. Niu, H. Zhang, F. Wei, S. We, X. Cao, P. Liu, Corrosion inhibition of iron in acidic solution by alkyl quaternary ammonium halides. *Appl. Surf. Sci.* 252(2005), 1634-1642.
6. L. G. Qiu, A. J. Xie, Y. H. Shen, The adsorption and corrosion inhibition of some cationic gemini surfactants on carbon steel surface in hydrochloric acid. *Corros. Sci.* 47(2005), 273-278.
7. M. EL Achouri, M. R. Infante, F. Izquierdo, S. Kertit, H. M. Gouttaya, B. Nciri, Synthesis of some cationic gemini surfactants and their inhibitive effect on iron corrosion in hydrochloric acid medium. *Corros. Sci.* 43(2001), 19-35.
8. M. E. Achouri, S. Krtit, H. M. Gouttaya, B. Nciri, Y. Benouda, L. Perez, M. R. Infante, K. Elkacemi, Corrosion inhibition of iron in 1M HCl by some Gemini surfactants in the series of alkanidyl- α,ω -bis-(dimethyl tetradecyl ammonium bromide). *Prog. Org. Coat.* 43(2001), 267-273.
9. H. Mia, S. Chen, B. Yin, S. Zhao, X. Liu, Impedance spectroscopic study of corrosion inhibition of copper by surfactant in the acid solutions. *Corros. Sci.* 45(2003), 867-882.
10. R. Guo, T. Liu, X. Wei, Effect of SDS and alcohols on the inhibition efficiency of corrosion of nickel. *Colloid. Surface. A.* 209(2002), 37-45.
11. M. A. Migahed, E. M. S. Azzam, A. M. Al-Sabagh, Corrosion inhibition of mild steel in 1M sulfuric acid solution using anionic surfactant. *Mater. Chem. Phys.* 85(2004), 273-279.
12. M. A. Deyab, Effect of cationic and inorganic anions on the electrochemical behavior of carbon steel in formation water. *Corros. Sci.* 49(2007), 2315-2328.
13. V. Branzoi, F. Branzoi, M. Baibarac, The inhibition of the corrosion of Armco iron in HCl solution in the presence of surfactants of *N*-alkyl quaternary ammonium salts. *Mater. Chem. Phys.* 65(2000), 288-297.
14. S. T. Keera, M. A. Deyab, Effect of some organic surfactants on electrochemical behavior of carbon steel in formation water. *Colloid. Surface. A.* 266(2005), 129-140.
15. T. Y. Soror, M. A. El-Ziady, Effect of cetyl trimethyl ammonium bromide on the corrosion of carbon steel in acids. *Mater. Chem. Phys.* 77(2002), 697-703.
16. W. Huang, J. Zhao, Adsorption of quaternary ammonium gemini surfactants on zinc and inhibitive effect on zinc corrosion in vitriolic solution. *Colloid. Surface. A.* 278(2006), 246-251.
17. M. Bjelopavlic, J. Ralston, G. Reynolds, Adsorption of Monoalkyl Phosphates at the Zircon-Aqueous Solution Interface. *J. Colloid. Interf. Sci.* 208(1998), 183-190.
18. S. Y. Shiao, V. Chhabra, A. Patist, M. L. Free, P. D. T. Huibers, A. Gregory, S. Patel, D. O. Shah, Chain length compatibility effects in mixed surfactant systems for technological applications. *Adv. Colloid. Interfac.* 74(1998), 1-29.
19. L. G. Qiu, Y. M. Wang, X. Jiang, Synergistic effect between cationic Gemini surfactant and chloride ion for the corrosion inhibition of steel in sulfuric acid. *Corros. Sci.* 50(2008), 576-582.
20. Y. Feng, K. S. Siow, W. K. Teo, A. K. Hsieh, The synergistic effects of propargyl alcohol and potassium iodide on the inhibition of mild steel in 0.5 M sulfuric acid solution. *Corros. Sci.* 41(1999), 829-852.
21. M. Bouklah, B. Hammouti, A. Aouniti, M. Benkaddour, A. Bouyanzer, Synergistic effect of iodide ions on the corrosion inhibition of steel in 0.5 M H₂SO₄ by new chalcone derivatives. *Appl. Surf. Sci.* 252(2006), 6236-6242.
22. S. Shiri, M. Etman, F. Dabosi, Electro and physicochemical study of corrosion inhibition of carbon steel in 3% NaCl by alkylimidazoles. *Electrochim. Acta.* 41(1996), 429-437.
23. E. E. Ebenso, Synergistic effect of halide ions on the corrosion inhibition of aluminum in H₂SO₄ using 2-acetylphenothiazine. *Mater. Chem. Phys.* 79(2003), 58-70.
24. N. Caliskan, S. Bilgic, Effect of iodide ions on the synergistic inhibition of the corrosion of manganese-14 steel in acidic media. *Appl. Surf. Sci.* 153(2000), 128-133.
25. S. Bilgic, H. Yilmaz, Effect of alkaline metal halides on corrosion inhibition of steel in sulfuric acid containing benzoic acid. *Mater. Chem. Phys.* 79(2003), 5-8.
26. C. Jeyaprabha, S. Sathiyarayanan, G. Venkatachari, Influence of halide ions on the adsorption of diphenylamine on iron in 0.5 M H₂SO₄ solutions. *Electrochim. Acta.* 51(2006), 4080-4088.
27. S. A. Umoren, O. Ogbobe, I. O. Igwe, E. E. Ebenso, Inhibition of mild steel corrosion in medium using synthetic and naturally occurring polymers and synergistic halide additives. *Corros. Sci.* 50(2008), 1998-2006.

28. L. S. Hao, Y. Q. Nan, Salt- induced two- phase system of oppositely charged surfactant with excess anionic surfactant. *Colloid. Surface. A.* 325(2008), 186-193.
29. X. Li, S. Deng, G. Mu, H. Fu, F. Yang, Inhibition effect of nonionic surfactant on the corrosion of cold rolled steel in hydrochloric acid. *Corros. Sci.* 50 (2008), 420-430.
30. Meziani, D. Touraud, M. Clause, W. Kunz, Co-surfactant properties of ketones. *J. Mol. Liq.* 84(2000), 301-311.
31. Q. Yang, Q. Zhou, P. Somasundaran, NMR study of micellar microstructures of cationic single-chain and gemini surfactants and their mixtures with nonionic surfactant n-dodecyl- β -D-maltoside. *Colloid. Surface. A.* 322(2008), 40-46.
32. G. B. Ray, I. Chakraborty, S. Ghosh, S. P. Moulik, On mixed binary surfactant systems comprising MEGA 10 and alkyl trimethyl ammonium bromides. *J. Colloid. Interf. Sci.* 307(2007), 543-553.
33. F. M. Menger, J. S. Keiper, Gemini Surfactants, *Chem. Int. Ed.* 39(2000), 1906-1920.