

اثر غلظت ذرات ساینده بر میزان هم افزایی در رفتگی - خوردگی فولاد زنگ نزن AISI 420

محمد رضا سیاحی^۱، حمیدرضا قاسمی منفرد راد^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد، دانشگاه تهران

^۲ استاد، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد، دانشگاه تهران

* نویسنده مسئول: hghasemi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۳۰

چکیده

هدف از این تحقیق، بررسی اثر غلظت ذرات ساینده سیلیس موجود در محلول ۳/۵ درصد NaCl بر رفتار رفتگی - خوردگی فولاد زنگ نزن AISI 420 است. آزمون های رفتگی و خوردگی در غلظت های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ گرم بر لیتر ذره ساینده در محلول ۳/۵ درصد NaCl توسط دستگاه آزمون رفتگی - خوردگی برخورداری انجام شد و کاهش وزن نمونه ها پس از آزمون اندازه گیری گردید. همچنین آزمون پلاریزاسیون تافل برای بررسی رفتار خوردگی ساکن نمونه فولادی انجام شد. نتایج نشان می دهند که با افزایش غلظت ذرات ساینده از ۳۰ به ۹۰ گرم بر لیتر، نرخ رفتگی و خوردگی به ترتیب در حدود ۷۳ درصد و ۱۵۳ درصد افزایش پیدا می کند. تاثیر غلظت ذرات ساینده و نیز برهم کنش بین رفتگی و خوردگی توسط تصاویر بدست آمده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان هم افزایی که بیان گر برهم کنش بین رفتگی و خوردگی است، با افزایش غلظت ذرات ساینده افزایش می یابد.

کلمات کلیدی: رفتگی - خوردگی، هم افزایی، فولاد زنگ نزن مارتنزیتی، غلظت ذرات ساینده، محلول ۳/۵ درصد NaCl.

Effect of Sand Concentration on Erosion-Corrosion Synergism of AISI 420 Stainless Steel

Mohammad Reza Sayyahi¹, Hamid Reza Ghasemi^{*2}

1. M.Sc. Student, School of Metallurgy & Materials Engineering, University of Tehran

2. Professor, School of Metallurgy & Materials Engineering, University of Tehran

* Corresponding Author: hghasemi@ut.ac.ir

Submission: April 09, 2012

Acceptance: June 19, 2012

Abstract

In this paper, effect of particle concentration on the erosion-corrosion behavior of AISI 420 stainless steel was investigated. Erosion-corrosion tests were conducted using an impingement jet apparatus containing a solution of 3.5% NaCl and 30, 60 and 90 g/lit of SiO₂ particles and weight loss of samples were measured. Tafel polarization test was carried out to study the static corrosion behavior of steel samples. Scanning electron microscope was used to study the synergy between erosion and corrosion of the alloy. The results showed that by increasing the sand concentration from 30 to 90 g/lit, erosion and erosion-corrosion rates increased 73 and 153%, respectively. The results also showed that the increase of sand concentration the synergy rate between erosion and corrosion also increased.

Keywords: Erosion-corrosion, Synergy rate, SiO₂, Stainless steel.

۱- مقدمه

تشخیص صحیح مکانیزم‌های زوال به منظور جلوگیری از تخریب پیش از موعد قطعات صنعتی امری حیاتی می‌باشد. یکی از عوامل تخریب سازه‌های صنعتی، پدیده رفتگی - خوردگی است. این مشکل در مکان‌هایی رخ می‌دهد که سطح فلزی در معرض سیال خورنده حاوی ذرات سخت و ساینده معلق قرار گیرد [۱]. در حین رفتگی - خوردگی، اثرات همزمان سایش ناشی از برخورد ذرات ساینده و فرایندهای الکتروشیمیایی ناشی از وجود محلول خورنده، باعث ایجاد پدیده‌ای به نام هم‌افزایی می‌گردد. ماهیت برهم‌کنش بین رفتگی و خوردگی بسیار پیچیده است [۲]، به نحوی که تخریب ناشی از پدیده رفتگی - خوردگی الزاما با مجموع تخریب ناشی از رفتگی مکانیکی و خوردگی الکتروشیمیایی برابر نخواهد بود. این موضوع در رابطه ۱ به صورت ریاضی بیان شده است [۲]:

$$T = E + C + S \quad (1)$$

که T ، کاهش وزن ناشی از رفتگی - خوردگی، E کاهش وزن به دلیل رفتگی مکانیکی خالص، C کاهش وزن ناشی از خوردگی الکتروشیمیایی خالص و S نیز جمله اضافی به دلیل اثرات هم‌افزایی^۱ است. بنابراین هم‌افزایی طبق رابطه ۲ به عنوان اختلاف بین رفتگی - ذخوردگی و مجموع این دو جزء تعریف می‌شود.

$$S = T - (E + C) \quad (2)$$

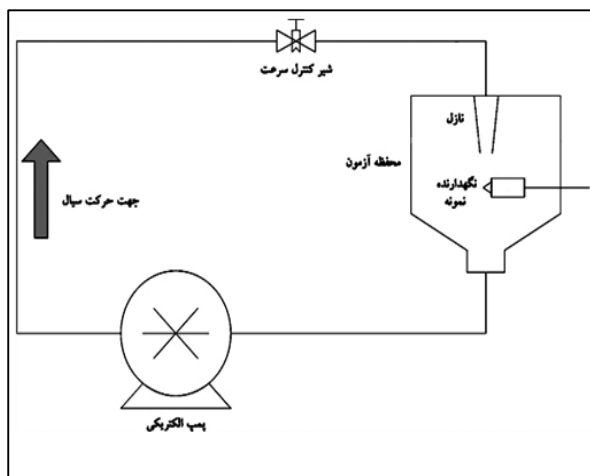
هم‌افزایی می‌تواند مقادیر مثبت یا منفی داشته باشد. هم‌افزایی مثبت به معنای اثرات تقویتی رفتگی و خوردگی بر یکدیگر و افزایش شدید میزان رفتگی - خوردگی نسبت به مجموع خوردگی ساکن و رفتگی مکانیکی است. هم‌افزایی منفی به معنای کمتر شدن نرخ رفتگی - خوردگی نسبت به مجموع نرخ رفتگی مکانیکی و خوردگی الکتروشیمیایی است. به عبارت دیگر، در حین رفتگی - خوردگی، ایجاد یک فیلم چسبنده و بادوام باعث کاهش نرخ رفتگی - خوردگی نسبت به رفتگی شده است [۳].

غلظت ذرات ساینده یکی از عوامل موثر در شدت تخریب ناشی از رفتگی - خوردگی است. تحقیقات انجام شده تاکنون در ارتباط با اثر غلظت بر نرخ رفتگی - خوردگی، نشان دهنده افزایش شدت تخریب فلزات مختلف با افزایش غلظت ذرات ساینده است [۴]. به نظر می‌آید که دلیل این موضوع، افزایش تعداد ذرات برخوردی به سطح ماده هدف باشد [۵]. هو^۲ نشان داد که برای غلظت ذرات ساینده حدود آستانه‌ای پایین و بحرانی بالا وجود دارد، به نحوی که در غلظت‌های کمتر از حد آستانه‌ای، ذرات ساینده توانایی انجام رفتگی سطحی را نداشته و میزان تخریب بسیار اندک است. همچنین در غلظت‌های بیشتر از حد بحرانی بالایی، برهم‌کنش بین ذرات افزایش یافته و ذرات بازتاب شده از سطح مانع از برخورد دیگر ذرات به سطح نمونه شده و نرخ کاهش وزن با افزایش غلظت ذرات ساینده تغییر چندانی نمی‌کند [۶].

همچنین مشخص شده است که افزایش غلظت ذرات ساینده در پدیده رفتگی - خوردگی فولادهای زنگ‌نزن، منجر به افزایش برداشت لایه روپین سطحی و به تبع آن، افزایش دانسیته جریان خوردگی شده است [۷]. مقاومت به خوردگی فولادهای زنگ‌نزن به دلیل تشکیل لایه‌ای چسبنده و مقاوم از ترکیبات حاوی کروم است که همچون سدی در برابر انحلال آندی فلز زیرلایه خود مقاومت می‌کند [۸]. فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی دسته‌ای از فولادهای زنگ‌نزن هستند که از خواص مکانیکی عالی و مقاومت متوسط به خوردگی برخوردارند [۹]. این خواص منجر به استفاده از این آلیاژها در مکان‌هایی شده است که نمی‌توان از دیگر انواع فولادهای زنگ‌نزن بهره گرفت. از کاربردهایی سخت همچون پره‌های توربین‌های بخار، مخازن تحت فشار، پره‌های هم‌زن‌های مورد استفاده در صنایع معدنی، ابزارهای برشی و قطعات مورد استفاده در سازه‌های دریایی مرتبط با استخراج نفت می‌توان به عنوان انواع کاربردهای فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی نام برد [۹-۱۲]. ساختار فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی در حالت آنیل حاوی کاربیدهای کروی در

² X. Hu¹ Synergy

هر آزمون در محلول استون شستشو داده شدند و توسط ترازویی با دقت ۰/۱ میلی گرم توزین گردیدند. برای نرماله کردن داده ها بر حسب تعداد ذرات برخوردی، کاهش وزن نمونه ها بر $\sin \alpha$ زاویه برخورد دوغاب با سطح نمونه (است) تقسیم شدند. به منظور شناسایی مکانیزم های رفتگی و خوردگی، از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روشی استفاده گردید.



شکل ۱: تصویر شماتیک دستگاه آزمون رفتگی - خوردگی.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آزمون خوردگی ساکن

به منظور بررسی خواص خوردگی آلیاژ مورد استفاده در این تحقیق، از آزمون پلاریزاسیون تافل برای تخمین نرخ خوردگی ساکن آلیاژ در محلول ۳/۵ درصد NaCl استفاده شد. شکل ۲ منحنی پلاریزاسیون تافل آلیاژ AISI 420 را در محلول ۳/۵ درصد NaCl ساکن نشان می دهد. با استفاده از استاندارد ASTM G 102 نرخ خوردگی (C) برای این آلیاژ، برابر با 10^{-5} میلی گرم بر سانتی متر مربع ساعت ($\text{mg/cm}^2 \cdot \text{h}$) به دست می آید.

۳-۲- آزمون های رفتگی خالص

به منظور بررسی اثر غلظت ذرات ساییده بر نرخ رفتگی نمونه های فولادی، آزمون های رفتگی خالص تحت حفاظت کاتدی توسط دستگاه آزمون رفتگی برخوردی در غلظت های

زمینه ای فریتی است [۱۳]. تحقیقات نشان داده اند که کاربیدهای موجود در آلیاژ AISI 420 از نوع $M_{23}C_6$ است [۱۴]. هدف از تحقیق پیش رو، بررسی اثر غلظت ذرات ساییده بر نرخ رفتگی و رفتگی - خوردگی آلیاژ AISI 420 و نیز بررسی وابستگی شدت هم افزایی به غلظت ذرات ساییده است.

۲- مواد و روش تحقیق

ترکیب شیمیایی و سختی نمونه های تهیه شده از فولاد AISI 420 مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ آورده شده است. نمونه های آزمون به صورت استوانه هایی با قطر و ارتفاع ۵ میلی متر تهیه شد و سطحی که در معرض برخورد قرار می گیرد تا سناده ۱۲۰۰ پرداخت گردید. ذرات ساییده مورد استفاده، ذرات سیلیس (SiO_2) طبیعی با محدوده اندازه ذرات ۵۰۰-۲۵۰ میکرومتر بود. سختی ذرات ساییده در حدود ۱۰۰۰ و یکرز تخمین زده می شود [۴]. آزمون ها توسط دستگاه رفتگی - خوردگی برخوردی که توانایی انجام همزمان آزمون های الکتروشیمیایی را دارد انجام شد. شکل ۱ تصویر شماتیک دستگاه آزمون به کار گرفته شده در این تحقیق را نشان می دهد. زاویه بین سطح نمونه و جهت برخورد سیال، برابر با ۵۰ درجه ثابت نگاه داشته شد. آزمون های رفتگی - خوردگی و رفتگی خالص در محلول ۳/۵ درصد NaCl تحت سرعت برخورد ۶/۵ متر بر ثانیه در غلظت های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ گرم بر لیتر ذرات ساییده به مدت ۴۵ دقیقه صورت گرفت. آزمون های رفتگی تحت شرایط حفاظت کاتدی انجام شد. برای اعمال حفاظت کاتدی طبق استاندارد ASTM G5، پتانسیلی حدود یک ولت منفی تر از پتانسیل مدار باز مشاهده شده برای نمونه های آزمایش استفاده شد. در این آزمون ها از الکترودهای نقره/نقره کلرید به عنوان الکتروود مرجع و گرافیت به عنوان الکتروود کمکی استفاده شد. آزمون خوردگی ساکن توسط دستگاه پتانسیواستات/گالوانواستات مدل EG&G 273A بر روی نمونه فولادی در محیط آبی ۳/۵ درصد NaCl با سرعت روبش پتانسیل ۳ mV/s انجام گردید. نمونه ها قبل و بعد از

جدول ۱: ترکیب شیمیایی و سختی آلیاژ AISI 420

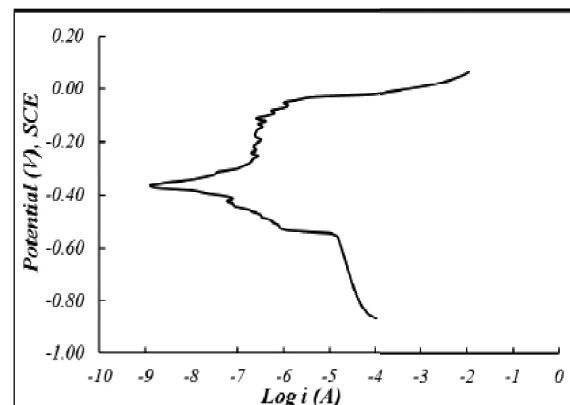
سختی (ویکرز)	%W	%Al	%Ni	%Si	%Mn	%Cr	%Cu	%C	%Fe
۳۲۰±۱۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۲۷	۰/۵۸	۰/۸۱	۱۲/۶۰	۰/۱۱	۰/۱۸	باقیمانده

از برخورد ذرات ساییده به سطح است [۱۵]. این لبه‌ها در نرخ‌های کرنش شدید (به دلیل سرعت بالای برخورد ذرات ساییده) تشکیل شده‌اند و به وسیله برخوردهای بعدی به سهولت کنده خواهند شد [۱۶]. در حین رفتگی برخوردهای زیادی صورت گرفته و لبه‌ها و حفرات متعدد و روی هم قرار گرفته‌ای تشکیل می‌گردد [۱]؛ به عبارت دیگر زمانی که سطح صاف نمونه اولیه در معرض برخورد ذرات ساییده قرار می‌گیرد، به دلیل مکانیزم‌های برشی^۱ و پارویی^۲، تعداد بسیار زیادی لبه و حفره و ناهمواری تشکیل می‌شود [۱۵]. برخوردهای بعدی ممکن است در مناطق صاف بدون برخورد و یا در همان مکان‌های برخورد قبلی صورت گیرد. اگر ذره به مکان بکر برخورد کند، تولید لبه و حفره می‌کند، اما اگر به مکانی برخورد کند که پیش از آن توسط ذره‌ای دیگر ناهموار شده، ذره تمایل دارد که عمق حفره را بیشتر کرده و ماده تغییر شکل یافته کمتری تولید کند [۱]. همچنین ذرات برخوردی بعدی تمایل به جدا کردن لبه‌های تغییرشکل یافته‌ای که در برخوردهای پیشین تشکیل شده‌اند را دارند. به همین دلیل است که به نظر می‌آید لبه‌های نمونه شکل ۴-ب کوچکتر از لبه‌های نمونه ۴-الف است، زیرا غلظت بالاتر ذرات برخوردی به نمونه ۴-ب، علی‌رغم تشکیل لبه و ناهمواری بیشتر، کندگی و جدا کردن بیشتر را نیز به همراه خواهد داشت.

۳-۳- آزمون‌های رفتگی - خوردگی

آزمون‌های رفتگی - خوردگی در محلول ۳/۵ درصد NaCl و در غلظت‌های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ گرم بر لیتر ذرات ساییده به مدت ۴۵ دقیقه انجام شد. نتایج آزمون‌های رفتگی - خوردگی در

۳۰، ۶۰ و ۹۰ گرم بر لیتر انجام گردید. نرخ رفتگی آلیاژ در غلظت‌های مختلف ذرات ساییده در شکل ۳ نشان داده شده است. شکل ۳ نشان می‌دهد که نرخ رفتگی با افزایش غلظت ذرات ساییده افزایش می‌یابد که در توافق با تحقیقات پیشین صورت گرفته در ارتباط با اثر میزان ذرات ساییده بر نرخ رفتگی مواد است [۲، ۴ و ۶]. این افزایش در نرخ رفتگی ناشی از افزایش در تعداد ذرات برخوردی به سطح و در نتیجه میزان کندگی‌های بیشتر است. شکل ۳ نشان می‌دهد که با سه برابر شدن غلظت ذرات ساییده از ۳۰ به ۹۰ گرم بر لیتر، نرخ رفتگی کمتر از دو برابر (در حدود ۲۲٪) افزایش پیدا می‌کند که می‌تواند به دلیل افزایش نرخ کارسختی در غلظت‌های بالاتر ذرات ساییده باشد. کارسختی منجر به افزایش سختی سطح و در نتیجه مقاومت بیشتر در برابر برخورد ذرات می‌شود.

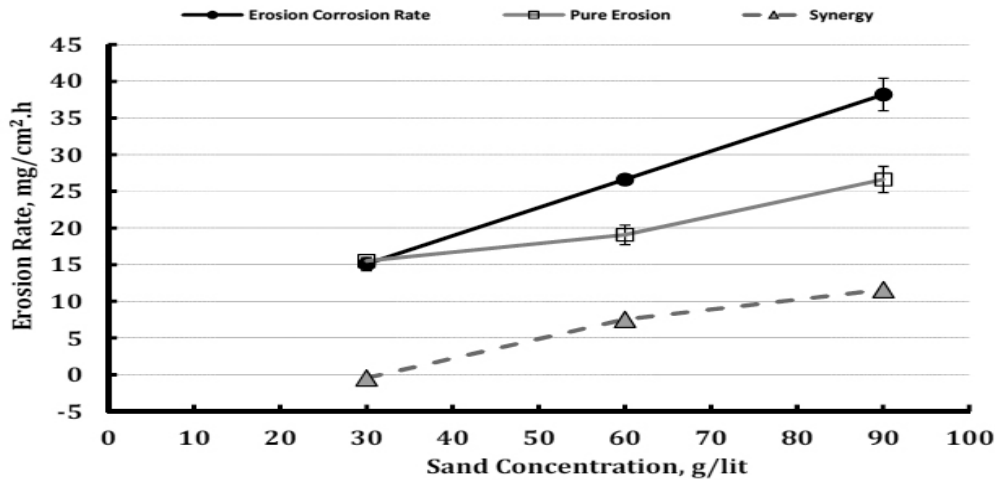


شکل ۲: منحنی پلاریزاسیون تافل آلیاژ AISI 420 در محلول ۳/۵ درصد NaCl.

شکل ۴ تصاویر بدست آمده از میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح نمونه‌های رفتگی در غلظت‌های ۳۰ و ۹۰ گرم بر لیتر را نشان می‌دهد. مهمترین ویژگی سطوح رفتگی مواد نرم، تشکیل لبه‌ها و برآمدگی‌ها و نیز اثرات برشی ناشی

¹ Cutting

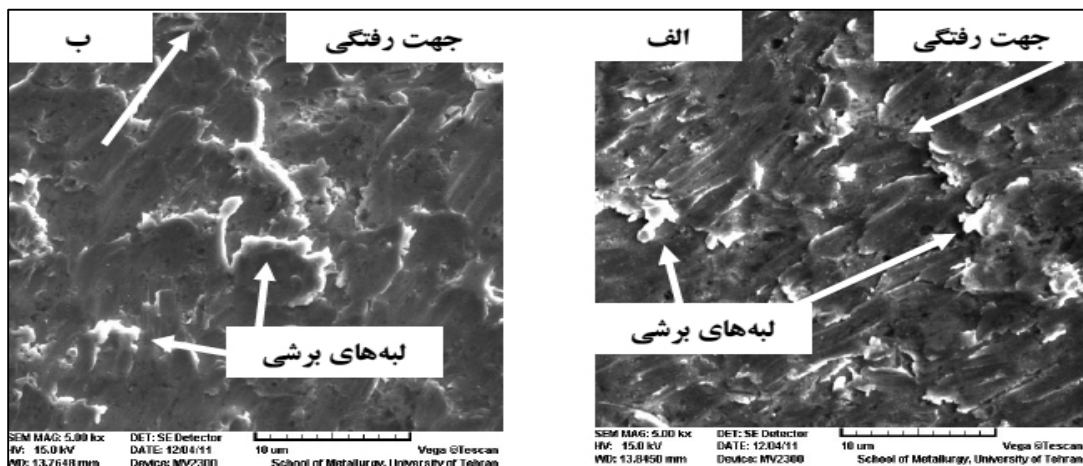
² ploughing



شکل ۳: تغییرات نرخ رفتگی، رفتگی - خوردگی و میزان هم افزایی بین رفتگی و خوردگی برای آلیاژ AISI420 با افزایش غلظت ذرات ساینده در محلول ۳/۵ درصد NaCl.

خوردگی نمونه بسیار کمتر از (نسبت یک به میلیون) کمترین نرخ رفتگی - خوردگی به دست آمده در این پژوهش است، می توان از نرخ خوردگی در مقابل نرخ رفتگی - خوردگی صرف نظر کرد. بنابراین اختلاف بین نرخ رفتگی و نرخ رفتگی - خوردگی با توجه به مقدار بسیار پایین نسبی C، ناشی از عبارت نرخ هم افزایی S است (روابط ۱ و ۲). برای بررسی بیشتر برهم کنش یا هم افزایی در پدیده رفتگی - خوردگی، میزان هم افزایی در غلظت های مختلف محاسبه و نتایج در شکل ۳ ارائه شده است که نشان می دهد در غلظت ۳۰ g/l ذرات ساینده، هم افزایی منفی و با افزایش غلظت ذرات به ۶۰ و ۹۰ گرم بر لیتر، هم افزایی مثبت ایجاد می شود.

شکل ۳ آورده شده است. همانند آزمون رفتگی، با افزایش میزان ذرات ساینده از ۳۰ به ۹۰ گرم بر لیتر نرخ رفتگی - خوردگی در حدود ۱۵۳٪ افزایش پیدا می کند. مقایسه شیب منحنی های نرخ رفتگی و نرخ رفتگی - خوردگی بر حسب غلظت ذرات ساینده بیان گر وابستگی بیشتر نرخ رفتگی - خوردگی به غلظت نسبت به نرخ رفتگی است. همچنین در غلظت های ۶۰ و ۹۰ گرم بر لیتر ذرات ساینده، میزان نرخ رفتگی - خوردگی به ترتیب ۳۶٪ و ۴۶٪ بیشتر از نرخ رفتگی است؛ در حالی که در غلظت ۳۰ گرم بر لیتر ذرات ساینده، نرخ رفتگی - خوردگی حدود ۳٪ کمتر از نرخ رفتگی است که در محدوده خطای آزمایش می باشد. با توجه با اینکه نرخ



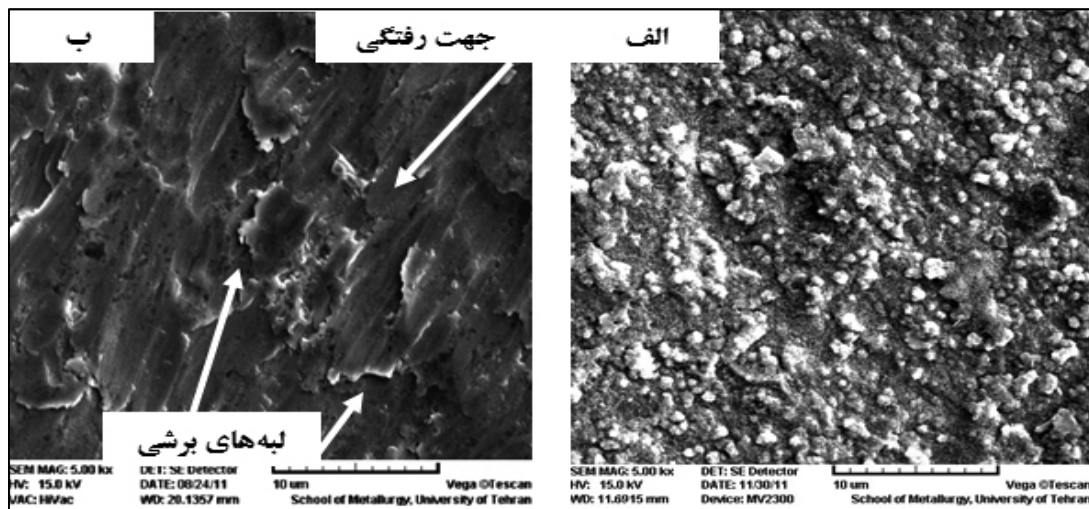
شکل ۴: تصاویر SEM سطوح رفتگی نمونه های فولادی در سرعت ۶/۵ m/s و زاویه برخورد ۵۰ درجه در غلظت های الف: ۳۰ g/l و ب: ۹۰ g/l ذرات ساینده.

مثبت در غلظت‌های ۶۰ و ۹۰ گرم بر لیتر می‌شود. افزایش میزان هم‌افزایی در غلظت ۹۰ g/l نسبت به ۶۰ g/l مربوط به برخورد‌های بیشتر ذرات ساییده و همچنین برهم‌کنش شدیدتر بین رفتگی و خوردگی در غلظت‌های بالاتر ذرات ساییده است [۴].

۴- نتیجه‌گیری

- ✓ با افزایش غلظت ذرات ساییده موجود در محلول، نرخ رفتگی و رفتگی - خوردگی فولاد زنگ‌نزن مارتزیتی AISI 420 افزایش پیدا می‌کند.
- ✓ نتایج نشان دهنده هم‌افزایی مثبت در غلظت ۶۰ و ۹۰ گرم بر لیتر و هم‌افزایی منفی در غلظت ۳۰ g/l ذرات ساییده بود. همچنین با افزایش غلظت ذرات ساییده، میزان هم‌افزایی رفتگی و خوردگی افزایش یافت.
- ✓ لبه‌های برشی مهمترین مشخصه سطوح رفتگی است که این لبه‌های برشی در تصاویر SEM نیز مشاهده گردید.
- ✓ تنها در سطح نمونه رفتگی - خوردگی در غلظت ۳۰ g/l، محصولات خوردگی مشاهده گردید که عاملی برای ایجاد هم‌افزایی منفی در این شرایط بود.

شکل ۵ تصاویر SEM سطوح نمونه‌های رفتگی - خوردگی در غلظت‌های ۳۰ و ۹۰ گرم بر لیتر ذرات ساییده را نشان می‌دهد. سطح نمونه رفتگی - خوردگی در غلظت ۳۰ g/l در شکل ۵-الف پوشیده از محصولات خوردگی است، به نحوی که نمی‌توان جهت برخورد ذرات را تشخیص داد. وجود این محصولات و فیلم‌های ناشی از خوردگی که می‌تواند در برابر تعداد برخورد کمتر ذرات در این غلظت (۳۰ g/l) مقاومت کرده و باعث کاهش نرخ برداشت فلز نسبت به حالت رفتگی (تحت حفاظت کاتدی) گردند [۳]. این منجر به ایجاد هم‌افزایی منفی در غلظت ۳۰ g/l می‌شود. سطح نمونه رفتگی - خوردگی در غلظت ۹۰ g/l در شکل ۵-ب) نشان می‌دهد که علاوه بر مشخصه‌های رفتگی مکانیکی مانند لبه‌های برشی، نقاط تیره‌ای روی سطح وجود دارند که می‌تواند ناشی از خوردگی موضعی (حفره‌دار شدن) باشد [۱۸و۴]. همچنین اثری از فیلم‌های خوردگی مشاهده شده در سطح نمونه رفتگی - خوردگی در غلظت ۳۰ g/l بر سطح آن مشاهده نشد. این می‌تواند به دلیل افزایش در تعداد ذرات برخوردی به سطح باشد که منجر به کاهش پایداری فیلم‌های سطحی می‌شود. به عبارت دیگر نرخ برداشت فیلم از نرخ ایجاد آن بیشتر شده است. این باعث ایجاد هم‌افزایی



شکل ۵: تصاویر SEM از سطوح نمونه‌های رفتگی - خوردگی در سرعت برخورد ۶/۵m/s و زاویه برخورد ۵۰ درجه در غلظت‌های الف: ۳۰ g/l و ب: ۹۰ g/l.

مراجع

1. S. S. Rajahram, T.J. Harvey, R.J.K. Wood, "Electrochemical investigation of erosion-corrosion using a slurry pot erosion tester", *Tribology International*, 44, 2011, 232-240.
2. S.S. Rajahram, T.J. Harvey, R.J.K. Wood, "Evaluation of a semi-empirical model in predicting erosion-corrosion", *Wear*, 267, 2009, 1883-1893.
3. R.C. Barik, J.A. Wharton, R.J.K. Wood, K.S. Tan, K.R. Stokes, "Erosion and erosion-corrosion performance of cast and thermally sprayed nickel-aluminium bronze", *Wear*, 259, 230-242.
4. S.S. Rajahram, T.J. Harvey, R.J.K. Wood, "Erosion-corrosion resistance of engineering materials in various test conditions", *Wear*, 267, 244-254.
5. W. Tsai, J.A.C. Humphrey, I. Cornet, A.V. Levy, "Experimental measurement of accelerated erosion in a slurry pot tester", *Wear*, 68, 298-303.
6. X. Hu, A. Neville, "The electrochemical response of stainless steels in liquid-solid impingement", *Wear*, 258, 641-648.
7. H.X. Guo, B.T. Lu, J.L. Luo, "Study on passivation and erosion-enhanced corrosion resistance by Mott-Schottky analysis", *Electrochimica Acta*, 52, 1108-1116.
8. Revie, R. Winston, *Uhlig's Corrosion Handbook*, 2011, John Wiley & Sons.
9. D. López, J.P. Congote, J.R. Cano, A. Toro, A.P. Tschiptschin, "Effect of particle velocity and impact angle on the corrosion-erosion of AISI 304 and AISI 420 stainless steels", *Wear*, 259, 118-124.
10. A. Nasery Isfahany, H. Saghafian, G. Borhani, "The effect of heat treatment on mechanical properties and corrosion behavior of AISI420 martensitic stainless steel", *Journal of Alloys and Compounds*, 509, 3931-3936.
11. M.C. Tsai, C.S. Chiou, J.S. Du, J.R. Yang, "Phase transformation in AISI 410 stainless steel", *Materials Science and Engineering: A*, 332, 1-10.
۱۲. خلیل رنجبر، محمد پیرنیا، شاپور مرادی، ابراهیم حاجی دولو، "اثر پارامترهای آب تغذیه بر تخریب پره‌های توربین کم فشار در یک واحد نیروگاه بخار"، پنجمین همایش مشترک مهندسی و علم مواد، اصفهان، ایران، آبان ۹۰.
12. J.S Dubey, S.L Wadekar, J.K Chakravarty, "Elevated temperature fracture toughness of AISI 403 martensitic stainless steel", *Journal of Nuclear Materials*, 254, 271-274.
۱۳. علیرضا ناصری اصفهانی، حسن ثقفیان، غلامحسین برهانی و محمد علی سلطانی، "تاثیر عملیات حرارتی بر بهبود مقاومت به خوردگی - رفتگی فولاد AISI 420" دهمین سمینار ملی مهندسی سطح، اصفهان، ایران، اردیبهشت ۸۸.
13. I. Hutchings, *Tribology, Friction and Wear of Engineering Materials*, 1992, Cambridge.
14. R.C. Barik, J.A. Wharton, R.J.K. Wood, K.R. Stokes, "Electro-mechanical interactions during erosion-corrosion", *Wear*, 267, 1900-1908.
15. H. Zeisel, F. Durst, "Computations of erosion-corrosion processes in separated two-phase flows", *NACE Corrosion*, NACE 1990.
16. H. M. Ghasemi, M. Karimi, A. Pasha, M. Abedini, " Erosion-Corrosion Behavior Of 316-SS In Seawater Simulated Environment At Various Impingement Angles", *Regional Tribology Conference*, Bayview Hotel, Langkawi Island, Malaysia, 22-24 November 2011.