



بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه شهیدباهنر کرمان

دانشکده فنی مهندسی

بخش مواد و متالورژی

عنوان پروژه:

خوردگی انتخابی آلیاژهای برنج

پژوهشگران:

شهرزاد رستمی زاده ۹۵۱۴۶۰۳۲

رویا زنگی آبادی ۹۵۱۴۶۰۴۲

استاد راهنما:

خانم دکتر بقایی

چکیده

خوردگی یا رفتگی یکی از فرآیندهای طبیعی است که یک فلز تصفیه شده را به حالت شیمیایی پایدارتر مانند اکسید یا سولفید تبدیل میکند. پدیده خوردگی معمولاً واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی بین فلز و محیط اطراف آن می‌باشد که به تغییر خاصیت های آن ماده منجر خواهد شد. این تحقیق از سه فصل تشکیل شده است. در فصل اول مقدمه‌های کوتاه در مورد خوردگی و به اصول و مبانی آن پرداخته شده است. فصل دوم به بیان انواع خوردگی فلزات و آلیاژها می‌پردازد که شامل خوردگی یکنواخت یا سراسری، خوردگی گالوانیکی یا دو فلزی، خوردگی موضعی، خوردگی سایشی، خوردگی تنش، و جدایش انتخابی می‌باشد. در فصل سوم به تفصیل در مورد خوردگی انتخابی آلیاژهای برنج پرداخته شده است. در این فصل در مورد آلیاژ برنج، مکانیسم زدایش روی، عوامل موثر بر زدایش روی در آلیاژ برنج و بررسی کارهای تحقیقاتی انجام شده در مورد خوردگی انتخابی آلیاژهای برنج توضیح داده شده است.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ای بر خوردگی

۲	۱-۱- پیشینه تاریخی
۳	۱-۲- تعاریف
۴	۳-۱- اصول خوردگی
۴	۱-۴- محیط های خورنده
۵	۵-۱- روش های جلوگیری از خوردگی
۵	۱-۵-۱- انتخاب مواد
۵	۱-۵-۲- تغییر محیط خورنده
۶	۳-۵-۳- طراحی مناسب تجهیزات و ادوات
۶	۳-۵-۶- حفاظت کاتدی
۶	۳-۵-۷- حفاظت آندی

فصل دوم: انواع خوردگی: مواد و محیط

۸	۲-۱- مقدمه
۹	۲-۲- انواع خوردگی
۹	۲-۲-۱- خوردگی یکنواخت
۱۰	۲-۲-۲- خوردگی گالوانیکی
۱۲	۲-۲-۳- خوردگی موضعی
۱۵	۲-۲-۴- خوردگی سایشی
۱۶	۲-۲-۵- خوردگی تنش

۱۷	۶-۲-۲- جدایش انتخابی
	فصل سوم: خوردگی انتخابی آلیاژهای برنج
۱۹	۳-۱- مقدمه
۱۹	۳-۲- انواع حملات
۲۰	۳-۳- مکانیسم زدایش روی
۲۳	۳-۴- فاکتورهای موثر بر زدایش روی برنج
۲۳	۳-۴-۱- محتوای روی
۲۴	۳-۴-۲- اثرات افزودنی های آلیاژ
۲۴	۳-۴-۳- کلرید و قلیایی بودن
۲۵	۳-۴-۴- شیمی آب
۲۵	۳-۴-۵- فاکتورهای فیزیکی
۲۷	۵-۳- روش های جلوگیری از جدایش انتخابی
۲۷	۶-۳- بررسی مقالات درباره جدایش انتخابی برنج
۳۶	منابع و مآخذ

فصل اول

مقدمه ای بر خوردگی

۱-۱- پیشینه تاریخی

کلمه خوردگی به قدمت زمین است اما با نامهای مختلفی شناخته شده است. خوردگی معمولاً به عنوان زنگ زدگی شناخته میشود، پدیده‌های نامطلوب که درخشندگی و زیبایی اشیا را از بین میبرد و عمر آنها را کوتاه میکند. یک فیلسوف رومی، پلینی (۷۹-۲۳ میلادی) در مقاله خود در مورد نابودی آهن نوشت: خوردگی از زمان های بسیار قدیم نه تنها بر کیفیت زندگی روزمره مردم بلکه بر پیشرفت فنی آنها نیز تأثیر داشته است. سند تاریخی در مورد مشاهده خوردگی توسط چندین نویسنده، فیلسوف و دانشمند وجود دارد، اما کنجکاو کمی در مورد علل و مکانیزم خوردگی وجود داشت تا اینکه رابرت بویل "منشا مکانیکی خوردگی"^۱ خود را نوشت. فلاسفه، نویسندگان و دانشمندان این خوردگی را مشاهده کردند و آن را گزارش کردند:

■ پلینی بزرگ (۷۹-۲۳ میلادی) درباره آهن پوسیده شده نوشت.

■ هرودوت (قرن پنجم قبل از میلاد) استفاده از قلع را برای محافظت از آهن پیشنهاد کرد.

■ آستین (۱۷۸۸) متوجه شد که آب خنثی وقتی روی آهن اثر میکند، قلیایی می شود.

■ تنارد (۱۸۱۹) اظهار داشت که خوردگی یک پدیده الکتروشیمیایی است.

■ هال (۱۸۲۹) ثابت کرد که آهن در غیاب اکسیژن زنگ نمی‌زند.

■ دیوی (۱۸۲۴) روشی را برای محافظت آهن توسط روی پیشنهاد کرد.

■ De la Rive (۱۸۳۰) وجود سلولهای ریز در سطح روی را پیشنهاد کرد

مهمترین مشارکت ها بعداً توسط فارادی (۱۸۶۷-۱۷۹۱) انجام شد [۱] که ارتباط کمی بین عمل شیمیایی و جریان الکتریکی برقرار کرد. قوانین اول و دوم فارادی اساس محاسبه میزان خوردگی فلزات است. ایده‌های مربوط به کنترل خوردگی از ابتدای قرن نوزدهم شروع شدند. ویتنی (۱۹۰۳) مبنای علمی برای کنترل خوردگی بر اساس مشاهده الکتروشیمیایی فراهم کرد. در اوایل قرن هجدهم مشاهده شد آهن به سرعت در اسید نیتریک رقیق خورده می شود اما در اسید نیتریک غلیظ بدون حمله باقی میماند. شنباین در سال ۱۸۳۶ نشان داد که میتوان آهن را بی‌اثر کرد [۲]. در سالهای اخیر ، علم و مهندسی خوردگی به بخشی جدایی ناپذیر از آموزش مهندسی در سطح جهانی تبدیل شده است

۱-۲- تعاریف

¹ Mechanical Origin of Corrosiveness

خوردگی، با یک تفاوت عمده، یک فرایند طبیعی و پرهزینه تخریب مانند زمین لرزه، گردباد، سیل و فوران آتشفشان است، در حالی که میتوانیم فقط یک بیننده ساکت در برابر فرآیندهای تخریب فوق باشیم، میتوان از خوردگی جلوگیری کرد یا حداقل آن را کنترل کرد. تعاریف مختلفی از خوردگی ارائه شده است که برخی از آنها در زیر آورده شدهاند [۲]:

(الف) خوردگی به هدر رفتن سطح گفته می شود وقتی فلزات در معرض محیط واکنش پذیر قرار میگیرند.

(ب) خوردگی نتیجه تعامل بین یک فلز و محیط است که منجر به تخریب تدریجی آن میشود.

(ت) خوردگی جنبه‌های از پوسیدگی مواد توسط عوامل شیمیایی یا بیولوژیکی است.

(ث) خوردگی زوال مواد در نتیجه واکنش با محیط آن است.

(ج) خوردگی حمله تخریبی فلز در اثر واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی با محیط است.

با وجود تعاریف مختلف، میتوان مشاهده کرد که خوردگی اساساً نتیجه تعامل بین مواد و محیط آنها است. تا دهه ۱۹۶۰ اصطلاح خوردگی فقط به فلزات و آلیاژهای آنها محدود میشد و سرامیک، پلیمرها، کامپوزیتها و نیمه هادیها را شامل نمیشد. اصطلاح خوردگی اکنون انواع مختلفی از مواد طبیعی و ساخته شده توسط انسان را شامل مواد زیستی و نانومواد میکند و فقط به فلزات و آلیاژها محدود نمیشود. دامنه خوردگی با تغییرات انقلابی در توسعه مواد در سالهای اخیر مطابقت دارد.

خوردگی یا رفتگی یکی از فرآیندهای طبیعی است که یک فلز تصفیه شده را به حالت شیمیایی پایدارتر مانند اکسید یا سولفید تبدیل می کند [۳]. پدیده خوردگی معمولاً واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی بین فلز و محیط اطراف آن می باشد که به تغییر خاصیت‌های آن ماده منجر خواهد شد. پدیده خوردگی در تمامی دسته‌های اصلی مواد از جمله آلیاژها اتفاق می افتد، اما وقوع آن در فلزات آنقدر شایع و فراگیر بوده و اثرات مخربی به جای می گذارد که هرگاه صحبت از خوردگی به میان می آید، ناخودآگاه خوردگی یک فلز به ذهن متبادر می شود. اگرچه گاهی اوقات خوردگی مفید واقع می شود برای مثال آلودگی محیط به محصولات خوردگی و آسیب دیدن عملکرد یک سیستم از جنبه‌های زیان آور خوردگی و تولید انرژی در یک باتری و حفاظت کاتدی سازه‌های مختلف از فواید آن هستند، اما تأثیرات مخرب و هزینه‌های به بار آمده بواسطه این فرایند به مراتب بیشتر است [۴].

۱-۳- اصول خوردگی

به طور کلی پایه و اساس اینکه چه عواملی منجر به خوردگی فلزات میشوند را تحت عنوان اصول خوردگی در پنج بخش ذیل میتوان بررسی نمود [۵]:

• الکترو شیمیایی

• شیمیایی

- متالوژی
- فیزیکی
- ترمودینامیک

درباره این موضوع که در بیشتر اشکال خوردگی چه فاکتورهای موثر هستند مباحث کمی وجود دارد ولی اعتقاد فراگیر درباره خوردگیهای معمول و مشخص با قاطعیت بر اساس تئوری الکتروشیمی استوار میباشد. اساساً خوردگی برپایه الکتروشیمی به چهار فاکتور ابتدایی نیاز دارد: آند، کاتد، الکترولیت و جریان الکتریکی.

۴-۱- محیطهای خورنده

خوردگی را نمی توان بدون اشاره به محیط تعریف کرد. همه محیط ها تا حدی خورنده هستند. در زیر لیستی از محیط های خورنده معمول وجود دارد [۶, ۷]:

(۱) هوا و رطوبت

(۲) آب شیرین، مقطر، نمک و دریایی

(۳) اتمسفرهای طبیعی، شهری، دریایی و صنعتی

(۴) بخار و گازها ، مانند کلر

(۵) آمونیاک

(۶) سولفید هیدروژن

(۷) دی اکسید گوگرد و اکسیدهای نیتروژن

(۸) گازهای سوختی

(۹) اسیدها

(۱۰) مواد قلیایی

(۱۱) خاک ها

بنابراین، می توان مشاهده کرد که خوردگی نیرویی قدرتمند است که اقتصاد را از بین میبرد، منابع را تخلیه میکند و باعث خرابی های پرهزینه و نابهنگام نیروگاه ها و تجهیزات میشود.

۱-۵- روشهای جلوگیری از خوردگی

روشهای کلی جلوگیری از خوردگی را میتوان به هفت بخش مجزا بیان نمود:

۱-۵-۱- انتخاب مواد

متداولترین روش جلوگیری از خوردگی، انتخاب فلز یا آلیاژ مناسب برای کاربرد مورد نظر است.

۱-۵-۲- تغییر محیط خورنده

تغییر محیط خورنده یک روش عمومی برای تقلیل خوردگی است. نمونه تغییراتی که غالباً به کار برده میشود عبارتند از: کاهش درجه حرارت، تقلیل سرعت، خارج ساختن اکسیژن یا اکسید کنندهها و کم کردن غلظت.

۳-۵-۳- طراحی مناسب تجهیزات و ادوات

طراحی یک سیستم غالباً به اندازه انتخاب مواد و مبارزه با خوردگی اهمیت دارد. در طراحی باید نیازهای مکانیکی و استحکام را به همراه سهم خوردگی در این رابطه در نظر گرفت.

۳-۵-۴- کاربرد ممانعت کنندهها

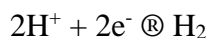
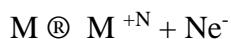
ممانعت کنندهها موادی هستند که وقتی به مقادیر کم به یک محیط خورنده اضافه شوند سرعت خوردگی را کم میکنند. در واقع ممانعتکننده را میتوان یک کاتالیزور بازدارنده فرض کرد.

۳-۵-۵- پوششها

بطور کلی موادی هستند که جهت ایجاد مانع بین محیطهای خورنده و جسم مورد نظر به کار برده میشوند.

۳-۵-۶- حفاظت کاتدی

اساس حفاظت کاتدی را میتوان با در نظر گرفتن خوردگی فلز M در یک محیط اسیدی توضیح داد، واکنشهای الکتروشیمیائی انحلال فلز و آزاد شدن گاز هیدروژن است.



بنابراین با فراهم نمودن الکترون برای فلزی که باید محافظت شود حفاظت کاتدی انجام میشود.

۳-۵-۷- حفاظت آندی

این روش بر اساس اصول سینتیک الکتروود و نظریه‌های مدرن تئوری الکتروشیمی میباشد. به طور خلاصه حفاظت آندی بر اساس تشکیل یک پوسته سطحی محافظ روی فلزات با اعمال جریانهای آندی میباشد.

فصل دوم

انواع خوردگی: مواد و محیط

خوردگی پدیده مخرب و هزینه آفرینی بوده که هر ساله موجب هدر رفتن مبالغ هنگفتی از سرمایه کشورها میشود. مصرف روز افزون مواد شیمیایی خورنده همراه با فرایندهای مختلف و بحرانی در واحدهای صنعتی، موجب افزایش رو به رشد زیان های مالی و جانی شده است. هزینههای تحمیلی و ضررهای اقتصادی ناشی از خوردگی میتواند مستقیم و غیر مستقیم باشد.

برخی از هزینه های اعمالی مستقیم عبارتند از:

- هزینههای سرمایه‌های: تعویض قطعات اتومبیل
- هزینههای کنترل: تعمیر و نگهداری
- هزینه طراحی: پوششهای محافظ، ممانعت کننده های خوردگی و هزینههای اضافی ناشی از استفاده از آلیاژهای مقاوم در برابر خوردگی

برابر خوردگی

علاوه بر رخداد پدیده خوردگی در صنایع و قطعات و تجهیزات صنعتی، سلامت و ایمنی انسان نیز تحت الشعاع این پدیده قرار داشته و خوردگی در قطعاتی که به سلامت و ایمنی انسانها مربوط می باشد، به هیچ عنوان مجاز نبوده و نمیتوان از آن چشم پوشید. حتی خوردگی در بخشهایی که غیر مستقیم به سلامتی انسانها مربوط میشود نیز می بایست کنترل شود. با توجه به رشد سریع جمعیت و نیاز روزافزون بشر به تولیدات صنعتی، مصرف مواد اولیه افزایش یافته و در پی آن، استخراج و تولید مواد نیز روند صعودی داشته است. این در حالی ست که محدودیت ذخایر جهانی و کاهش تدریجی آنها به علت استخراج بی رویه، موجب افزایش قیمت و از بین رفتن منابع طبیعی شده که نگرانی ها و مخاطرات بسیاری را در آینده نه چندان دور، در پی خواهد داشت. لذا، جلوگیری از اتلاف مواد و کاهش منابع ذخیره آنها، بسیار ضروری به نظر می رسد.

۲-۲- انواع خوردگی

انواع خوردگی² را به روشهای مختلفی طبقه بندی میکنند. دسته بندی که در ذیل آمده است بر اساس ظاهر و شکل فلز خورده شده میباشد. از این رو تنها با مشاهده فلز خورده شده می توان نوع خوردگی را مشخص نمود. برای تشخیص نوع خوردگی در اکثر موارد

چشم غیر مسلح کافیت، اما در بعضی موارد نیز استفاده از ذره بین یا میکروسکوپهای با بزرگنمایی کم میتواند مفید باشد. بر اساس ظاهر ماده، خوردگی را به ۶ دسته اصلی تقسیم بندی می کنند:

1- خوردگی یکنواخت یا سراسری

2- خوردگی گالوانیکی یا دو فلزی

3- خوردگی موضعی

4- خوردگی سایشی

5- خوردگی تنشی

6- جدایش انتخابی

۲-۱- خوردگی یکنواخت

خوردگی یکنواخت³ معمول ترین نوع خوردگی است که در بین مواد رخ میدهد. فرایندهای خوردگی یکنواخت بسیاری از پدیده های خوردگی را در ارتباط با علم و مهندسی خوردگی بر میگیرد [۸]. این خوردگی توسط یک واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی که بطور یکنواخت در سراسر سطحی که در تماس با محلول خورنده قرار دارد، دیده میشود و هیچ مکانی به مکان دیگر ارجح نمیشود، مانند؛ زنگ زدن فولاد. فلز مورد نظر نازک و نازکتر شده و در پایان کاملاً فلز و یا تجهیزات مورد نظر از بین رفته و تخریب میشود. مانند خورده شدن قطعه فولادی یا روی در محلول اسید سولفوریک.



شکل ۲- ARABIC. Error! No sequence specified. ۱ خوردگیهای یکنواخت [۸].

نکته قابل ذکر این است که این خوردگی از لحاظ اقتصادی و میزان فلز خورده شده اهمیت داشته و بالاترین رقم را دارد ولی از نقطه نظر فنی چندان اهمیت ندارد زیرا می توان با آزمایش های ساده ای، عمر تجهیزات مصرفی را دقیقاً محاسبه کرد. این خوردگی را میتوان با انتخاب مواد و پوشش مناسب، ممانعت کننده ها و یا با استفاده از حفاظت کاتدی متوقف یا کم کرد.

۲-۲-۲- خوردگی گالوانیکی

خوردگی گالوانیکی⁴ از نوع خوردگی الکتروشیمیایی میباشد. زمانی که دو فلز غیر هم جنس در تماس با یکدیگر و در یک محیط هادی یا خورنده قرار بگیرند، اختلاف پتانسیل بین آن دو موجب برقراری جریان الکترون بین آنها میشود. در مقایسه با حالتی که این دو فلز در تماس یکدیگر نیستند، خوردگی فلزی که مقاومت کمتری دارد، افزایش یافته و برعکس، خوردگی فلز مقاومتر، کاهش می یابد. از نظر خوردگی در کوپل گالوانیکی، فلز مقاوم تر کاتدی شده و فلز با مقاومت کمتر، آندی می شود. فلز کاتدی معمولاً یا خورده نمی شود یا خیلی کم دچار خوردگی می شود [۹]. سه شرط اساسی وقوع خوردگی گالوانیکی:

۱- وجود دو فلز ناهمسان از لحاظ الکتروشیمیایی

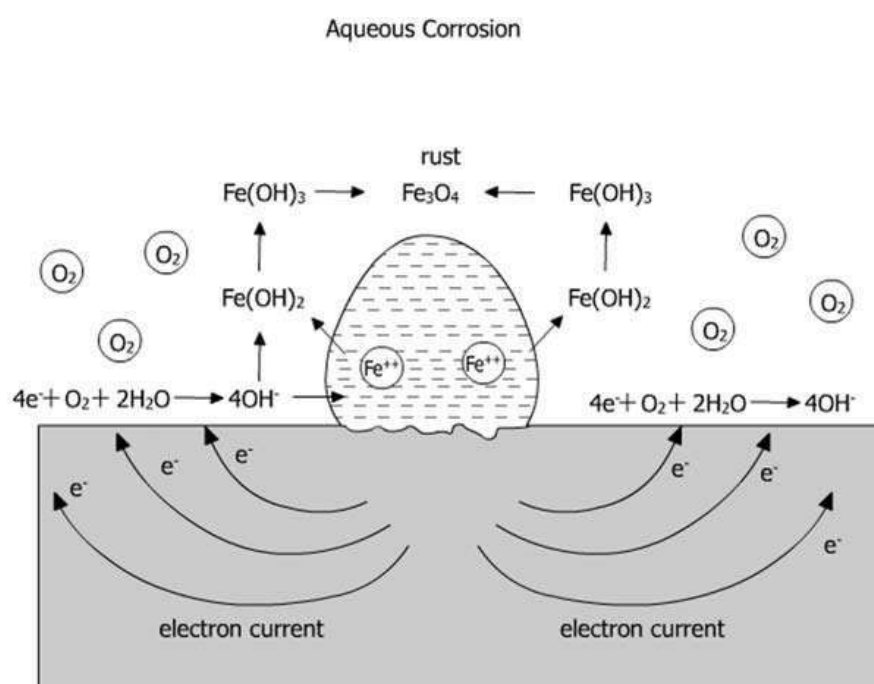
۲- وجود مسیر هدایت الکتریکی بین دو فلز

۳- وجود مسیر هادی برای آنیونهای فلزی جهت حرکت از فلز آندتر به فلز کاتدتر

که اگر هر یک از شرایط فوق موجود نباشد، خوردگی گالوانیکی رخ نمیدهد. شکل زیر نمونه ای از خوردگی گالوانیکی بین فولاد و برنج را نشان می دهد.



در یک سطح فلزی که در معرض اتمسفر است، فقط مقدار محدودی از آب و یونهای محلول وجود دارد، در حالی که دسترسی به اکسیژن موجود در هوا نامحدود است. محصولات خوردگی در نزدیکی سطح فلز تشکیل می شوند و ممکن است با عمل به عنوان یک مانع فیزیکی بین سطح فلز و محیط، از خوردگی بیشتر جلوگیری کنند، به خصوص اگر مانند ماده مس یا سرب نامحلول باشند. در زیر مکانیسم ساده خوردگی آبی آهن وجود دارد (شکل ۳-۳):



شکل ۲- Error! No sequence specified. ARABIC خوردگی آهن در محیط آبی [۹]

۲-۲-۳ خوردگی موضعی

خوردگی موضعی^۵ به شکل رخداد خوردگی در موقعیت های مجزا در ماده بیان میشود که خود به چهار دسته تقسیم میشود:

۱- حفره دار شدن

۲- رشته ای

۳- شیاری

حفره‌دار شدن⁶ یکی از مخرب ترین انواع خوردگی و شدیدترین نوع خوردگی موضعی می‌باشد. این پدیده باعث سوراخ شدن فلز میشود. این حفره‌های ایجاد شده میتواند اندازه‌های مختلفی داشته باشد ولی در بیشتر موارد، قطر آنها کوچک است. گاهی حفره‌ها کاملاً از هم مجزا بوده و گاهی هم بسیار نزدیک هم به طوری که سطح زبری به وجود می‌آورند. حفره‌دار شدن در اثر یک واکنش آندی منحصر به فرد بوده و اتوکاتالیک است. یعنی واکنش های خوردگی در داخل حفره، شرایطی را ایجاد می کنند که محرک ادامه خودشان هستند. این حفره‌ها به دلیل کوچک بودن به سختی دیده میشوند و اغلب توسط محصولات خوردگی پوشیده میشوند. آلیاژهای فولاد زنگ نزن برای حفره‌دار شدن مستعدتر از بقیه گروه‌های فلزی و آلیاژی می‌باشند. حفره ها معمولاً در جهت جاذبه زمین رشد میکنند. اکثر حفره ها روی سطح افقی تشکیل شده و به پایین رشد میکنند. محیط‌های حاوی یون کلر بدترین محیط خورنده برای حفره دار شدن می باشند. کلرورها در مقادیر مختلف در اکثر محلول های آبی وجود دارند و این در حالی است که اکثر تجهیزات در آب دریا و آب های نمک دار کار میکنند.

خوردگی رشته ای⁷ نوعی خوردگی شیاری بوده اگرچه در ظاهر شباهتی به آن ندارد. در بیشتر موارد، در زیر پوشش های سطحی رخ داده و به همین دلیل به آن خوردگی زیر پوشش⁸ هم میگویند. در ظاهر به شکل رشته های بسیار باریک که در جهات مختلف گسترش یافته‌اند، دیده میشود. این رشته‌ها بدون میکروسکوپ هم دیده میشوند. مهمترین عامل محیطی موثر بر خوردگی رشته ای، رطوبت نسبی اتمسفر بوده که عمدتاً بین رطوبت ۶۵ تا ۹۰ درصد اتفاق می‌افتد. اگر رطوبت کمتر از ۶۵ درصد باشد، خوردگی اتفاق نیفتاده و اگر بیشتر از ۹۰ درصد باشد، به صورت تاول زدن رخ میدهد.

خوردگی شیاری⁹ اکثراً در شیارها و مناطقی از سطح فلز که حالت مرده دارند و در معرض محیط خورنده قرار دارند، رخ میدهد. معمولاً با مقادیر کمی از محلول یا مایع که در اثر وجود شیار حالت سکون و مرده را پیدا کرده است، همراه است. این شیار هم باید به اندازه کافی باز باشد تا مایع بتواند داخل آن شود و هم آنقدر باریک باشد تا یک منطقه ساکن به وجود آورد. عوامل محیطی مانند رسوب ها و محصولات خوردگی به عنوان سدی عمل کرده که در زیر آنها، محلول به حالت ساکن در می‌آید.

⁶ Pitting
⁷ Filament Corrosion⁸ Underfilm Corrosion⁹ Crevice Corrosion

طبیعت مرزدانه نسبت به خود دانه فعال تر می باشد، اگر فلزی در شرایط خاص ناپایدار باشد و خورده شود، از آنجایی که مرزدانه کمی فعالتر از خود دانه ها می باشد، خوردگی یکنواختی ایجاد میشود. اما در بعضی شرایط، مرز دانه ها نسبت به دانه ها خیلی فعال تر شده و به خوردگی بین دانه‌های¹⁰ حساس می شوند. این نوع خوردگی موضعی و متمرکز در مرز دانه‌ها یا نواحی نزدیک به آنها را که در آن، خود دانه اصلاً خورده نشده یا خوردگی جزئی دارد، خوردگی بین دانه ای میگویند.



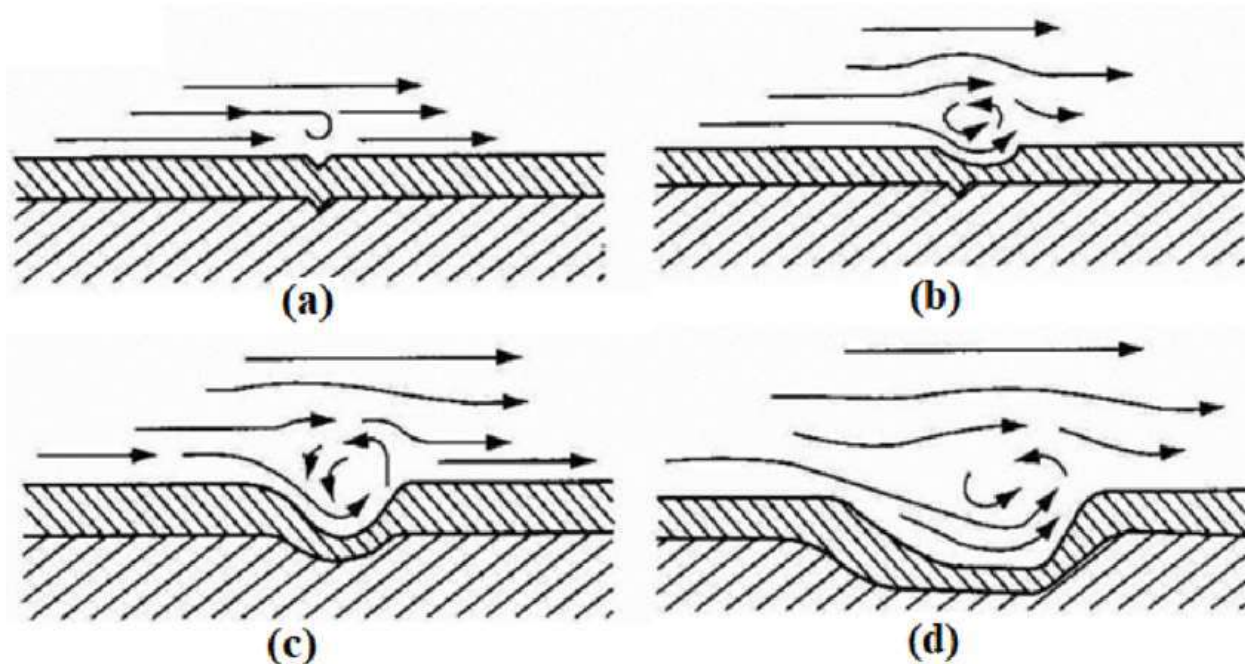
شکل ۲-۴- Error! No sequence specified. ARABIC (الف) خوردگی حفره دار شدن، (ب) خوردگی رشته‌ای، (پ) خوردگی شیار و (ت) خوردگی بین دانه‌ای [۹].

۲-۲-۴- خوردگی سایشی

خوردگی سایشی¹¹ عبارت است از افزایش سرعت خوردگی و یا از بین رفتن فلز در اثر حرکت نسبی بین یک مایع خورنده و سطح فلز. معمولاً این حرکت بسیار سریع بوده و اثرات سایش مکانیکی وجود دارد. ظاهر خوردگی سایشی، شیاردار و موجی شکل و یا به صورت سوراخ های کروی و ناهمواره بوده که معمولاً در جهت خاصی قرار گرفته اند. شماتیک این نوع خوردگی در شکل زیر دیده

¹⁰ Intergranular Corrosion
¹¹ Erosion Corrosion

میشود. اکثراً تخریب های ناشی از این نوع خوردگی در زمان های کوتاه رخ می دهد. اکثر فلزات و آلیاژها مستعد به این خوردگی بوده و مقاومت به آن، بستگی به نوع پوسته سطحی دارد مانند؛ آلومینیوم، سرب و فولاد زنگ زن. زمانی که این پوسته های سطحی صدمه دیده و یا ساییده شوند، خوردگی سایشی اتفاق می افتد. نکته قابل توجه اینکه فلزاتی که سختی پایینی دارند و به راحتی آسیب می بینند و یا به روشهای مکانیکی، زود ساییده میشوند مانند مس و سرب بسیار مستعد خوردگی سایشی هستند.



شکل ۲-۵. Error! No sequence specified. مراحل خوردگی سایشی.

۵-۲-۲- خوردگی تنش

خوردگی تنش¹² یا خوردگی توام با تنش، ترک خوردن ناشی از اعمال همزمان تنش کششی و محیط خورنده روی فلز را، گویند. بسیاری از منابع، تخریبهای ناشی از تردی هیدروژنی را نیز در این دسته قرار میدهند اما این دو نوع ترک خوردن با تغییر دادن عوامل محیطی، رفتارهای مختلفی نشان میدهند. به عنوان مثال؛ حفاظت کاتدی راهی موثر برای جلوگیری از خوردگی تنش بوده حال آنکه تردی هیدروژنی را تسریع میکند. برای رخداد خوردگی ناشی از تنش میبایست سه شرط اولیه وجود داشته باشد: ماده

حساس و مستعد، محیط خورنده، تنش کششی آستانه. هر یک از این سه شرط وجود نداشته باشد، خوردگی تنشی رخ نمی دهد. در این پدیده، فلز یا آلیاژ تقریباً اصلاً خورده نمی شود در حالی که ترک های ریزی به داخل آن پیشرفت میکند.



شکل ۲- ARABIC. Error! No sequence specified. ۶ خوردگی تنشی.

۲-۲-۶- جدایش انتخابی

جدایش انتخابی¹³ به جداشدن یکی از عناصر آلیاژی از آلیاژ جامد در فرایند خوردگی میگویند. معروف ترین این رخداد، جداشدن روی از آلیاژهای برنج است که به زدایش روی معروف است. آلیاژ برنج زرد معمولی از حدود ۳۰ درصد روی و ۷۰ درصد مس تشکیل شده است. زدایش روی را به راحتی میتوان با چشم غیر مسلح تشخیص داد زیرا در نتیجه آن، آلیاژ قرمز رنگ مسی بدست آمده که از رنگ زرد اصلی آلیاژ قابل تمایز است. زدایش روی بر دو دسته میباشد: لایه ای یا یکنواخت و موضعی. نوع لایه ای یا یکنواخت در برنج هایی که درصد روی آنها بالاتر است و در محیط های اسیدی قرار دارند، رخ میدهد. نوع موضعی، در برنج هایی که مقدار روی آنها کم بوده و در شرایط خنثی، قلیایی یا کمی اسیدی قرار دارند، اتفاق میافتد. ساختمان فلز و ترکیب

¹³Selective leaching

شیمیایی در رخداد این پدیده مهم می باشد. در بعضی برنج ها که حاوی بیشتر از ۳۵ درصد روی هستند، فاز غنی از روی به وجود می آید و خوردگی موضعی می تواند رخ دهد. گاهی در ابتدا فاز β تحت زدایش روی قرار گرفته و در ادامه به فاز زمینه α می رسد.



شکل ۲- ARABIC. Error! No sequence specified. خوردگی جدایش انتخابی [۹]

فصل سوم

خوردگی انتخابی آلیاژهای برنج

نوعی خوردگی است که در آن روی در آلیاژهای حاوی روی مانند برنج به طور انتخابی مورد حمله قرار می گیرد. عمدتاً در آلیاژهای حاوی کمتر از ۸۵٪ مس رخ میدهد. جدایش آلیاژ زدایی و انتخابی اصطلاحات گسترده تری هستند که به خوردگی یک یا چند ماده تشکیل دهنده آلیاژ محلول جامد اشاره دارد. جدایش روی¹⁴ نوعی آلیاژ زدایی است. همان طور که این پدیده اولین بار در برنج مشاهده شد که در آن روی با انحلال از مس جدا میشود، اصطلاح زدایش روی هنوز هم استفاده می شود. برنج معمولی از حدود ۳۰٪ روی و ۷۰٪ مس تشکیل شده است. جدایش روی را می توان با چشم غیرمسلح مشاهده کرد، زیرا آلیاژ از زرد به قرمز تغییر رنگ میدهد.

۳-۲- انواع حملات

دو نوع زدایش روی اتفاق معمولاً مشاهده می شود:

(۱) نوع یکنواخت¹⁵ (نوع لایه) (شکل ۱-۳)

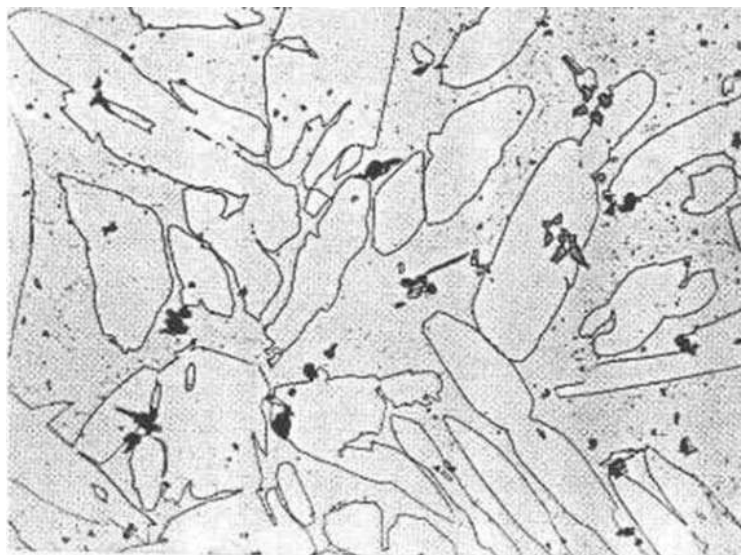
(۲) نوع پلاگین¹⁶ (شکل ۲-۳)

دو نوع حمله را می توان در شکل ۱-۳ و ۲-۳ مشاهده کرد. در نوع یکنواخت زدایش روی، منطقه فعال در ناحیه وسیعی از سطح شسته می شود و در نقطه خاصی از سطح قرار نمی گیرد. از طرف دیگر، در نوع پلاگین حمله به یک نقطه خاص از سطح و به صورت موضعی انجام می شود و مناطق اطراف تحت تأثیر قرار نمی گیرند. زدایش روی می تواند در مرزهای دانه، مانند برنج α - β رخ دهد (شکل ۱-۳).

Dezincification¹⁴

layer type¹⁵

Plug type¹⁶



شکل ۳-۱ زدایش روی از برنج $\alpha-\beta$ [۱۰] Error! No sequence specified.ABATIC



شکل ۳-۲ زدایش روی نوع پلاگین در ۷۰-۳۰ برنج در معرض NaCl [10] Error! No sequence specified.ABATIC

۳-۳- مکانیسم زدایش روی

زدایش روی به طور کلی در آب و در شرایط راکد انجام میشود. آلیاژهای مس-روی حاوی بیش از ۱۵٪ روی در معرض زدایش روی هستند. مکانیسم های اساسی که توسط آن زدایش رخ میدهد نسبتاً به خوبی درک شده است. ساده ترین مکانیسم منفرد است که در آن تنها واکنش آندی قابل توجه شامل اکسیداسیون و انحلال فلز روی از سطح برنج است (جدول ۳-۱).

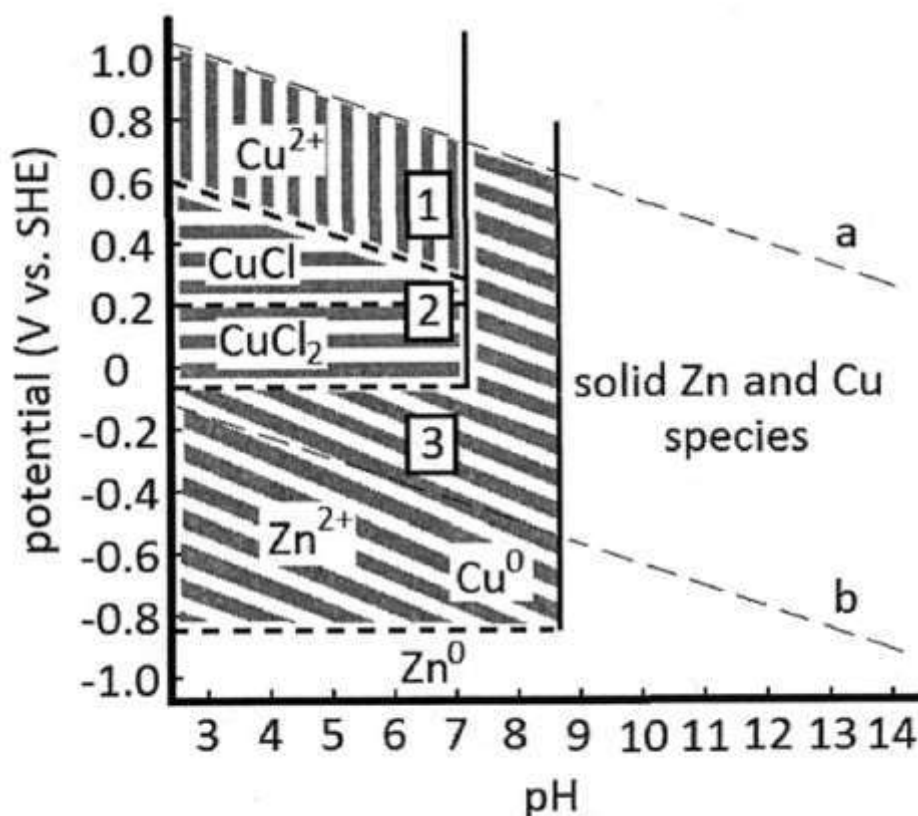
الکترون های آزاد شده توسط این واکنش توسط یک واکنش کاتدی از طریق کاهش اکسیژن یا کلر تأمین شده از الکترولیت توده‌ای (به عنوان مثال آب) مصرف میشوند [۱۰].

Half Reaction	Standard Potential (vs. SHE)	Name	Location
$Zn^0 \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$	0.762V	Zinc Oxidation	Dezincifying Surface
$\frac{1}{2}O_2 + 2e^- + 2H^+ \rightarrow H_2O$ $Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$	0.814V (pH=7) 1.36V	Oxidant Reduction	Cathodic Surface
$Cu^0 \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$	-0.340V	Copper Oxidation	Dezincifying Surface
$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu^0$	0.340V	Copper Deposition	Dezincifying Surface

جدول ۱-۳ نیمه واکنشهای الکتروشیمیایی کلیدی زدایش روی در برنج.

زدایش روی همچنین میتواند با مکانیسم دوتایی اتفاق بیفتد که در آن مس و روی هر دو اکسید شده و از سطح برنج حل میشوند. از آنجا که مس محلول در آب نزدیک سطح زدایش شده تجمع مییابد و اگر پتانسیل کاهش اکسیداسیون به اندازه کافی کم باشد، تعادل بین یون مس در آب و مس فلزی برقرار میشود. در آن صورت، بخش قابل توجهی از مس که حل میشود مجدداً رسوب میکند و یا مجدداً بر روی سطح فلزی زدایش شده قرار میگیرد و تلفات خالص مواد هنوز از طریق زدایش روی است (جدول ۱-۳). صرف نظر از اینکه زدایش روی از طریق مکانیسم منفرد یا دوگانه رخ میدهد، نکته اصلی این است که روی ترجیحاً نسبت به مس از فلز شسته میشود. اگر انحلال هر دو فلز بدون رسوب مجدد مس رخ دهد، خوردگی الکتروشیمیایی هنوز اتفاق میافتد اما به عنوان خوردگی برنج یکنواخت تعریف میشود و زدایش روی نیست.

مکانیسم خوردگی توسط هر دو پتانسیل اکسایش-کاهش و شیمی آب در سطح زدایش روی کنترل میشود. بنابراین، در نظر گرفتن شرایط پتانسیل pH که تحت آن پیش بینی میشود هر مکانیسم از نظر ترمودینامیکی رخ دهد، مفید است (شکل ۳).



شکل ۳- Error! No sequence specified. ARABIC ۳ دیاگرام pH-پتانسیل برای برنج ۳۰/۷۰ مس/روی در محلول سدیم کلرید. [۱۱]

از این نمودارها، مناطق زدایش انتخابی روی و مناطق انحلال روی و مس را میتوان مشاهده کرد. مناطقی که رسوب مس رخ میدهد نیز در شکل نشان داده شده است. از نمودار مشاهده میشود که در پتانسیلهای بین ۰/۰۰ تا ۰/۲۰۰ در مقابل الکتروستندارد هیدروژن^{۱۷}، روی و مس هر دو حل میشوند، اما در شرایط راکد مس بدون هیچ گونه شواهدی از زدایش انتخابی ممکن است روی نمونه رسوب کند. بالاتر از ۰/۲۰۰ ولت در مقابل SHE، هر دو آلیاژ حل می شوند اما رسوب مجدد مس وجود ندارد. اگر پتانسیل برای مدت طولانی بیش از ۰/۲۰۰ ولت نگه داشته شود و سپس به زیر ۰/۲۰۰ ولت کاهش یابد، رسوب مس رخ میدهد (CuCl + e → Cu + Cl).

۳-۴- فاکتورهای موثر بر زدایش روی برنج

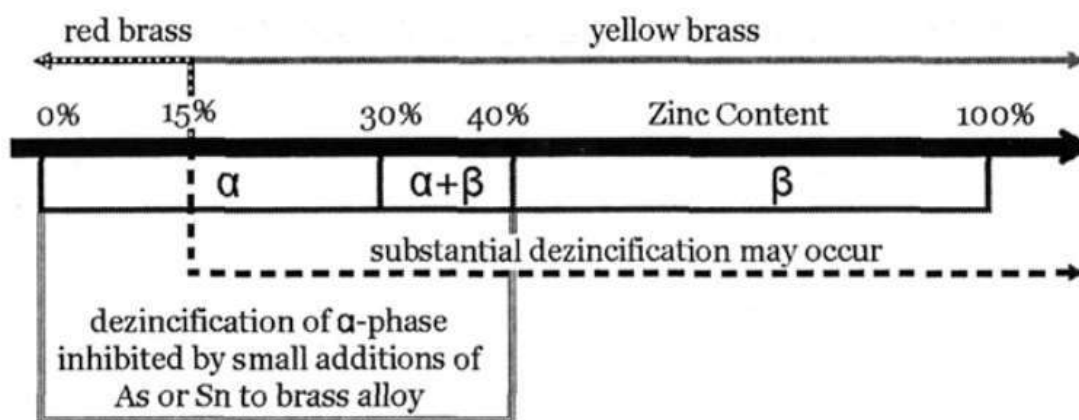
تجارب و ملاحظات الکتروشیمیایی نشان میدهد که عوامل کلیدی تعیین کننده نوع و میزان زدایش روی شامل نوع آلیاژ، شیمی آب و عوامل فیزیکی است. در بخشهای بعدی به طور جداگانه به هر یک از این موارد پرداخته شده است.

۳-۴-۱- محتوای روی

¹⁷ Standard hydrogen electrode (SHE)

"برنج" به طور گسترده ای به طیف وسیعی از آلیاژها با نسبت های مختلف مس و روی اشاره دارد. برنج ها همچنین ممکن است حاوی عناصر متنوعی دیگر باشند که ممکن است به طور طبیعی وجود داشته باشند یا به عمد به آلیاژ اضافه شوند. قرارداد در نامگذاری آلیاژهای برنج اشاره به درصد نسبی آنها از مس و روی است. به عنوان مثال، برنج ۷۰-۳۰ به آلیاژی اطلاق می شود که تقریباً ۷۰٪ مس و ۳۰٪ روی است. ترکیب آلیاژ یک عامل حیاتی در تعیین حساسیت برنج به خوردگی زدایش روی است. محتوای روی برنج ها به طور معمول بین ۳ تا ۴۵ درصد است و درصد روی بسیاری از خصوصیات فیزیکی آلیاژ را کنترل میکند. با محتوای روی کمتر از حدود ۳۰٪، برنج به طور کلی در یک فاز آلفا وجود دارد، و هر دو مقاومت کششی و توانایی کشش با افزایش محتوای روی بهبود مییابد [۱۱، ۱۲]. هنگامی که محتوای روی بین ۳۰ تا ۴۰٪، مقاومت کششی و قابلیت تراشکاری با روی بالاتر بهبود مییابد، اما توانایی طولیل شدن کاهش مییابد. این نوع برنجهای به طور کلی دارای دو فاز هستند (به عنوان مثال آلفا و بتا) و بنابراین برنج "دوبلکس"^{۱۸} نامیده میشوند. وقتی مقدار روی به بالای ۴۵٪ میرسد، آلیاژ بسیار شکننده میشود که برای استفاده در سیستمهای لوله کشی مشکل ساز است.

محتوای روی همچنین یک عامل کلیدی در تعیین حساسیت برنج به زدایش روی است (شکل ۳-۴). برنج هایی با محتوای روی زیر ۱۵٪ به طور کلی در برابر زدایش روی مقاوم در نظر گرفته میشوند [۱۳]؛ این آستانه بیشتر بر اساس تجربه میدانی استوار است، اما به ندرت اتفاق میافتد که برنج با روی کمتر مشکلات جدی زدایش روی از خود نشان دهد. برنج هایی با محتوای روی بالاتر، از جمله برنج آلفا با ۱۵-۳۰ درصد روی و برنج دوبلکس ($< 30\%$ روی)، تحت برخی شرایط میتوانند در معرض حمله زدایش قرار بگیرند [۱۳].



۳-۴-۲- اثرات افزودنی های آلیاژ

مقدار قابل توجهی از تلاش برای جلوگیری از زدایش روی از طریق اضافه کردن موادی با مقدار خیلی کم به طور مستقیم به آلیاژ صرف شده است [۱۳]. در حالی که برخی از اجزا ممکن است برنج آلفا (و فاز آلفای برنج دوبلکس) را نسبتاً ایمن به زدایش روی ارائه دهند، مهار تمایل به زدایش روی در برنج بتا دشوارتر است [۱۴]. آرسنیک و قلع متداولترین مواد افزودنی آلیاژی هستند که میتوانند به طور عمیقی از زدایش روی برنج آلفا حتی در سطوح کمیاب جلوگیری کنند و مزایای این ترکیبات برای برنج دوبلکس نیز مشاهده شده است [۱۲].

۳-۴-۳- کلرید و قلیایی بودن

برای تهیه یک قاعده کلی، نسبت کلرید به سختی موقتی به عنوان یک عامل اصلی در توانایی آب معین برای حمایت از زدایش روی ذکر شده است. وابسته به شرایط، سختی موقت گاهی اوقات به خوبی با اقدامات شیمیایی مدرن که شامل قلیایی بودن یا سختی کل منبع تغذیه است ارتباط دارد. نسبت کلرید به سختی موقتی ابتدا توسط ترنر¹⁹ به عنوان معیار اصلی زدایش روی مطرح شد، وی مشاهده کرد که آبهایی با کلرید نسبتاً بالا و سختی موقتی کم و دارای pH حدود ۸/۳ یا بیشتر مستعد ایجاد مرنگ²⁰ (نوعی حالت کیک مانند) هستند [۱۵]. با استفاده از داده های آزمایشگاهی و عملی، ترنر به طور تجربی یک نمودار تهیه کرد تا رژیم های کیفیت آب را نشان دهد که در آن مشکلات زدایش روی فقط براساس کلرید و غلظت موقتی سختی رخ خواهد داد.

۳-۴-۴- شیمی آب

حتی اگر یک آلیاژ برنج بسیار حساس به زدایش روی باشد، شیمی آبی که فلز در معرض آن قرار دارد، نقشی اساسی در تعیین نوع و میزان مشکلات خوردگی خواهد داشت. اثرات اجزای جداگانه آب در زدایش روی مقدار قابل توجهی مورد توجه قرار گرفته است؛ اما اثرات هم افزایی و پیچیدگیهای مربوط به تشکیل فیلم (با مقیاس) هنوز تا حد زیادی تعریف نشده است. در واقع، تشکیل فیلم غیرفعال با واکنش با آب ممکن است کنترل قابل توجهی بر مکانیسم های خوردگی داشته باشد، در بعضی موارد به طور کامل از برنج محافظت میکند در حالی که در موارد دیگر به طور چشمگیری حمله را تسریع می کند [۱۶].

بررسی PH از مون های آزمایشگاهی بیشتر نشان می دهد که تجمع رسوب در pH نسبتاً بالا مورد توجه قرار می گیرد... بر اساس تجربه سیستم های آبی شهری استرالیا ، سیموندز توصیه کرد که مسئولان آب برای جلوگیری از تجمع مرنگ ، pH زیر ۸.۰ را حفظ کنند. در حالی که pH ۸.۳ معمولاً به عنوان سطحی ذکر می شود که بالاتر از آن رسوبات جدی مرنگ رخ خواهد داد .

محققان تمایل دارند در مورد مقدار دقیق اختلاف نظر داشته باشند احتمالاً به دلیل تفاوت چشمگیر در تکنیک های تجربی و آب های آزمایش شده است به عنوان مثال ، برخی از نویسندگان تشکیل تشکیل مرنگ در آبهایی با pH تنها ۷.۵ تا ۷.۸ را گزارش کرده اند. و اشاره کرد که در زیر این محدوده ، روی زدایی بدون مرنگ است. ژستر موافقت کرد که روی زدایی مرنگی فقط در PH ۷.۸ به بالا رخ میدهد.

در حال کلی که در مقاله های گوناگون بررسی کردیم به این نتیجه رسیدیم PH ۸.۳ یا کمتر را برای جلوگیری از روی زدایی مرنگی حفظ کنید.

بررسی دما: روی زدایی هم در سیستم های آب سرد و هم گرم رخ می دهد، با این حال ، بسیاری از نویسندگان اشاره کرده اند که نشت ناشی از روی زدایی نسبتاً بیشتر در سیستم های گرم است این ممکن است به این دلیل باشد که سیستم های آب گرم اغلب باعث تشدید مشکل رسوبات و افزایش PH مرنگ می شوند. محققان دیگر نیز مشاهده کردند که افزایش دما باعث سرعت بخشیدن به روی زدایی می شود. تحقیقات انجام شده توسط نیکلاس نشان داد که با افزایش دما از ۲۰ به ۷۰ درجه سانتیگراد ، میزان روی زدایی دو برابر شد.

بررسی وجود اکسیژن: هوادهی همچنین می تواند با مخلوط کردن و تأثیر بر غلظت اکسیژن محلول در آب ، به میزان قابل توجهی بر روی زدایی اثر میگذارد.

آزمایش های ترنر نشان داد که اکسیژن برای وقوع روی زدایی مرنگ لازم است ، و او دریافت که با جایگزینی هوای محلول در آب با گاز نیتروژن ، تشکیل مرنگ از بین می رود نشان داده شده است که حتی سطح پایین اکسیژن محلول از مقدار قابل توجهی از روی زدایی مرنگ را پشتیبانی می کند، خوردگی برنج را در محلول های اسید سولفوریک مطالعه کرده و همچنین دریافت که افزایش اکسیژن محلول باعث افزایش خوردگی می شود. اینگلسون و همکاران گزارش داد که دی اکسید کربن آزاد باعث ایجاد روی زدایی نیز می شود.

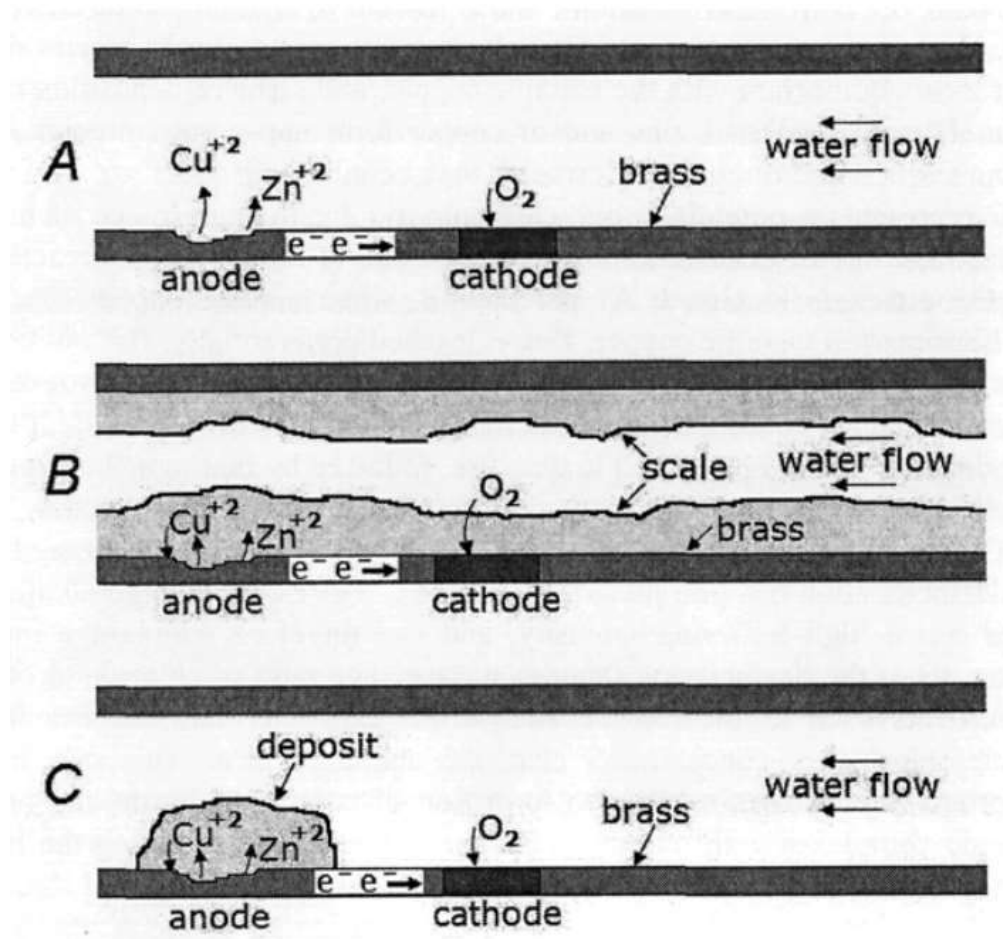
بررسی وجود کلر: علاوه بر سایر انواع خوردگی برنج ، ممکن است حفره در آب هایی که باقیمانده کلر زیاد است باعث روی زدایی مرنگ میشود.

بررسی جریان آب: افزایش سرعت جریان آب کلر شده و نرخ خوردگی یکنواخت از طریق افزایش رساندن اکسیدان به سطوح کاتدی باعث افزایش روی زدایی می شود.

شرایط جریان دیفرانسیل می تواند خوردگی سطوح برنج را تسریع دهد. [۱۶].

۵-۴-۳- فاکتورهای فیزیکی

اغلب مشاهده میشود که اجزای برنج تقریباً یکسان در یک سیستم لوله کشی ساختمان معین میتوانند با زدایش روی با سرعت های کاملاً متفاوت از کار بیفتند، حتی اگر به طور واضح در معرض همان آب باشند. این نشان دهنده یک وابستگی ذاتی زدایش روی به عوامل فیزیکی و محیطی محلی است که میتواند شامل میزان جریان، اتصالات گالوانیکی بین برنج و سایر مواد، وضعیت سطح و ساختار برنج و حتی قرار دادن برنج در یک سیستم باشد. بیشتر تحقیقات قبلی در مورد زدایش روی در آب آشامیدنی بر نقش ترکیب آلیاژ و شیمی آب تأکید داشته است و کار نسبتاً کمی نیز انجام شده است که عوامل فیزیکی را به طور مستقیم به زدایش روی مرتبط میداند. اگر یک قطعه برنج تمیز درون آب هوادهی یا راکد قرار گیرد، ممکن است مس و روی از سطح برنج حل شوند تا تمام اکسیژن مصرف شود (شکل ۳-۵). واکنش های آندی و کاتدی نسبتاً یکنواخت در کل سطح رخ خواهد داد. با گذشت زمان و قرار گرفتن در معرض اکسیدان اضافی (به عنوان مثال، اکسیژن محلول یا کلر آزاد) در طول جریان، برنج به تدریج با پوشش مقیاس نسبتاً ضخیم روی و مس تکمیل میشود، که دسترسی اکسیژن به مکان های کاتدیک را بسیار محدود میکند و بنابراین میزان خوردگی کاهش می یابد [۱۶].



شکل ۳-۵. Error! No sequence specified. ARABIC. دستکاریهای پتانسیلی زدایش روی برای یک قطعه برنج در آب آشامیدنی. روی برنج تمیز با جریان یا بدون جریان، آند و کاتد در نزدیکی یکدیگر قرار دارند و خوردگی به طور یکنواخت پیش میرود (A). با گذشت زمان، رسوبات ممکن است رشد کرده و سطوح برنجی (B) را کاملاً بپوشانند، باعث کاهش انتشار اکسیدان به کاتد و کاهش میزان زدگی میشود. اما اگر رسوباتی به طور انتخابی در قسمتهای سطح تشکیل شود، میتوان به دلیل PH کم و کلرید زیاد نزدیک آند (C)، زدایش روی را تسریع کرد. عدم مقیاس در کاتد میتواند سرعت واکنش کاتدی بسیار بالایی را ایجاد کند [۱۷]

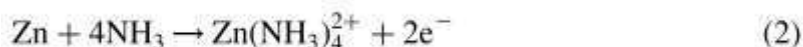
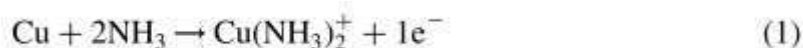
۳-۵- روش های جلوگیری از جدایش انتخابی

- کم کردن خوردگی محیط مثلاً حذف اکسیژن
- حفاظت کاتدی
- اضافه کردن فلزی دیگر به آلیاژ. مثلاً اضافه کردن ۱٪ درصد قلع به برنج ۷۰-۳۰
- استفاده از ممانعت کننده مانند افزودن مقادیر کمی آرسنیک و آنتیموان یا فسفر به آلیاژ برنج
- برای محیطهایی بسیار خورنده که زدایش روی در آنها اتفاق میفتد یا برای قطعاتی که از اهمیت بالایی برخوردارند و نباید به هیچ وجه خورده شوند از مس-نیکل استفاده میکنند.

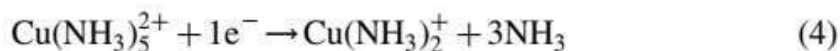
- مس-نیکل آلیاژ ۷۰٪ تا ۹۰٪ درصد مس و ۳۰٪ تا ۱۰٪ درصد نیکل میباشد [۱۷].

۳-۶- بررسی مقالات درباره جدایش انتخابی برنج

آسولی²¹ و همکاران انتشار آکوستیک (AE²²) همراه با اندازه گیری های الکتروشیمیایی (طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی و منحنیهای قطبش) برای مطالعه خوردگی انتخابی برنج α و β در محلول بافر آمونیاک را بررسی کردند [۱۸] که واکنش آندی برطبق معادلات زیر می باشد:

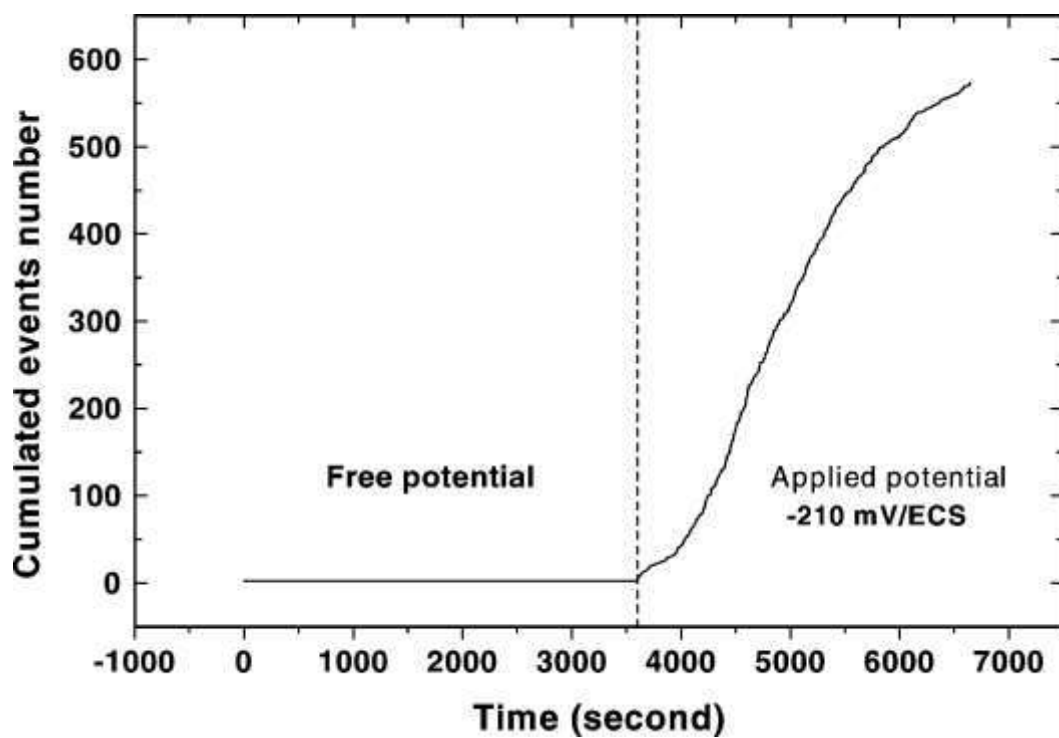


یون های کمپلکس جامد در حضور اکسیژن ناپایدار شناخته شده و با واکنش به حالت مس اکسید می شوند و سپس توسط واکنش کاتدی به $\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^+$ کاهش می شود:



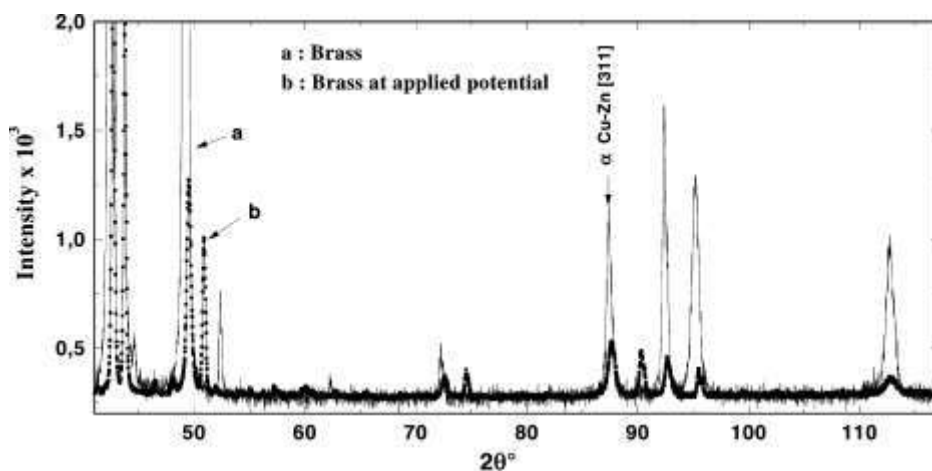
AE، در این کار، سه جمعیت مختلف از حوادث در طول خوردگی این آلیاژ را نشان میدهد. فرایند خوردگی از طریق کاهش اکسیژن به دنبال یک مکانیسم کنترل شده توسط نفوذ و انحلال انتخابی، برنج α و β توسط انتشار اتمهای روی از طریق فیلم اکسید کنترل میشود [۱۸].

AE حاصل از خوردگی برنج در شکل ۳-۶ نشان داده شده است که نشان میدهد، در پتانسیل خوردگی آزاد، نرخ AE ضعیف است. هنگامی که از یک پتانسیل آندی ثابت استفاده میشود، میزان حوادث به طرز چشمگیری افزایش می یابد، که منعکس کننده افزایش بارز سرعت انحلال است.



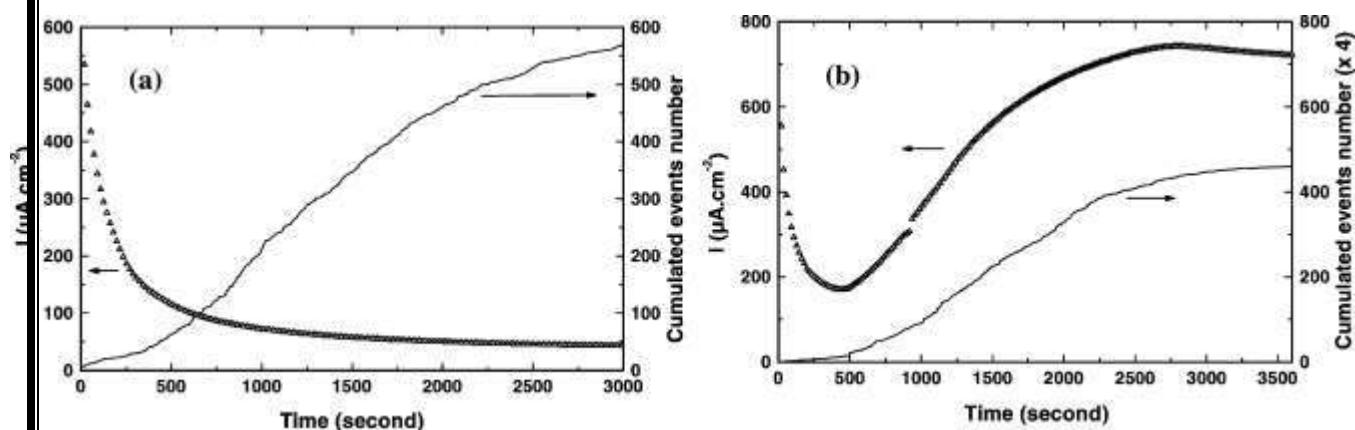
شکل ۳- ARABIC. Error! No sequence specified. شکل ۹. فعالیت صوتی برنج (۴۰/۶۰) در پتانسیل آزاد و اعمال شده در محلول بافر آمونیاک.

تجزیه و تحلیل پراش اشعه ایکس تنش های پسماند، قبل و بعد از خوردگی، نشان داد که زدایش روی فلزی دو نوع تنش پسماند ایجاد میکند: ماکرو و میکرواسترس ها (شکل ۳-۷).



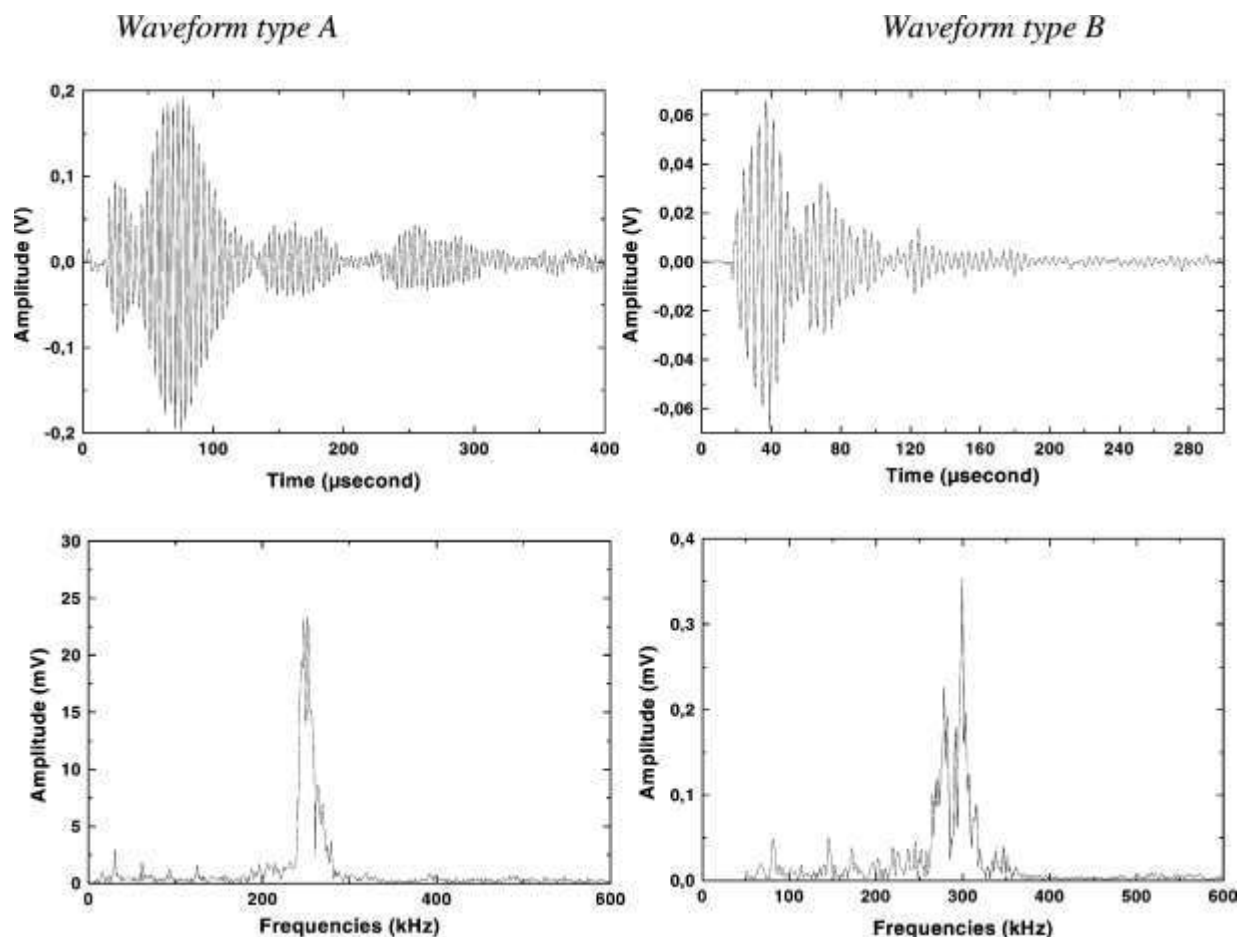
شکل ۳- ARABIC. Error! No sequence specified. ماکرو و میکرواسترس ناشی از زدایش روی که توسط پراش اشعه X اندازه گیری می شود.

مقایسه بین فعالیت صوتی و انحلال فعلی این آلیاژ نشان میدهد که افزایش فعالیت صوتی با روند زدایش روی این آلیاژ تحت کنترل انتشار ارتباط دارد (شکل ۳-۸). این فعالیت با متوقف شدن زدایش روی با جذب محصولات خوردگی و یا کاهش اتم روی در سطح انتشار روی به انرژی زیادی احتیاج دارد (شکل ۳-۸) کاهش می یابد [۱۸].



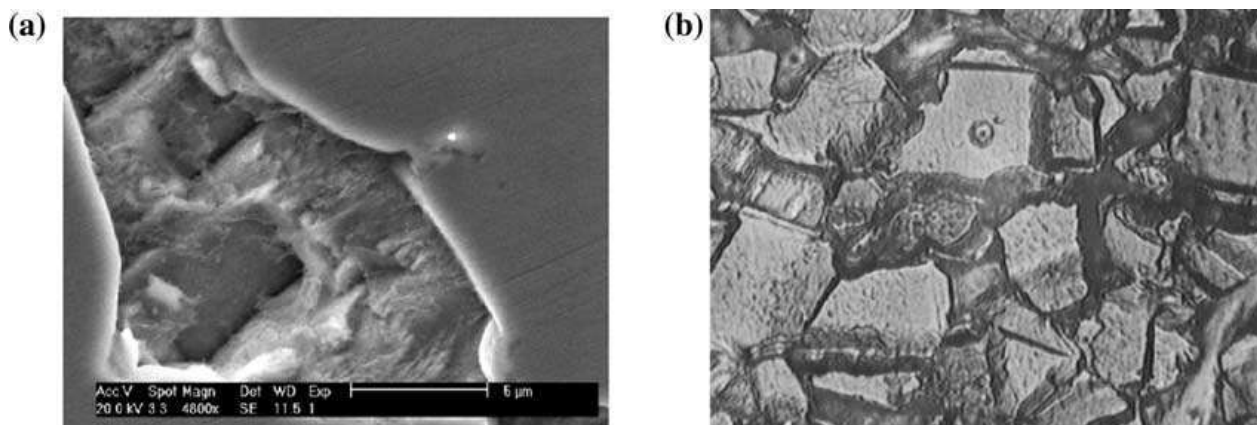
شکل ۳- ARABIC. Error! No sequence specified. همبستگی بین فعالیت صوتی و زدایش روی: (a) ۲۲۱۰ mV / SCE و (b) 0 mV / SCE.

نمودار هسته‌های فرکانسی²³ از میانگین تراکم طیفی جمعیت‌های A و B (شکل ۳-۹) نشان می‌دهد که آنها هر تعداد موج استفاده شده به سختی ثابت بمانند. شناسایی (FCOG) از دو نوع امواج تشکیل دهنده جمعیت A و B، ناشی از این ماکرو و میکرواسترس ها، اجازه می‌دهد تا این پدیده‌ها از سایر پدیده‌های گسیل کننده، که می‌توانند در سایت‌های صنعتی ظاهر شوند، جدا شوند.



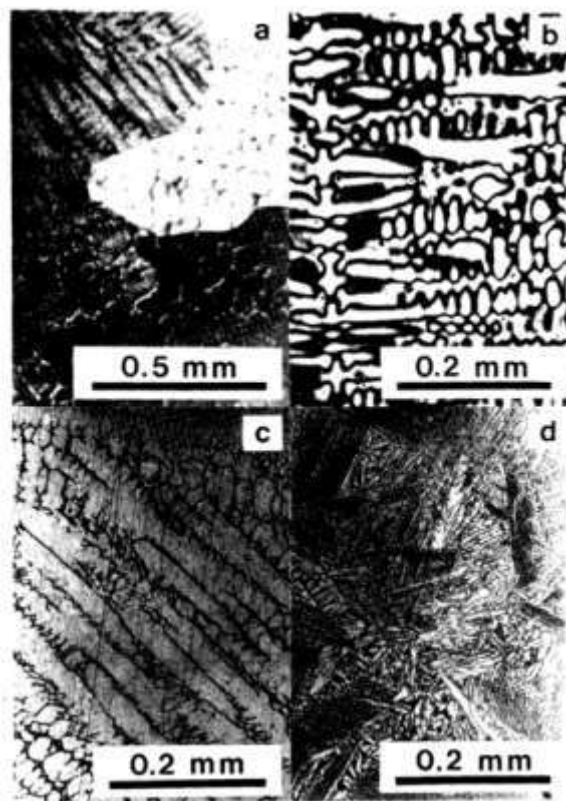
شکل ۳-۹. Error! No sequence specified. ARABIC. شکل ۱۷. شکل موج نمونه مشاهده شده برای برنج در محلول بافر آمونیاک [۱۸]

مشاهدات با SEM و OM نشان می‌دهد که یک فاز β ترجیحاً مورد حمله قرار می‌گیرد (شکل ۳-۱۰). این حمله در دانه‌های داخلی فاز β ادامه دارد. انحلال انتخابی (زدایش روی) مقادیر زیادی سوراخ و منافذ در سطح نمونه ایجاد می‌کند. این باعث ایجاد ماکرو و میکرواسترس‌های فاز β می‌شود. این تنش‌ها چنان انرژی را هستند که می‌توانند امواج الاستیک گذرا را که توسط AE شناسایی میشوند، تولید کنند [۱۸].

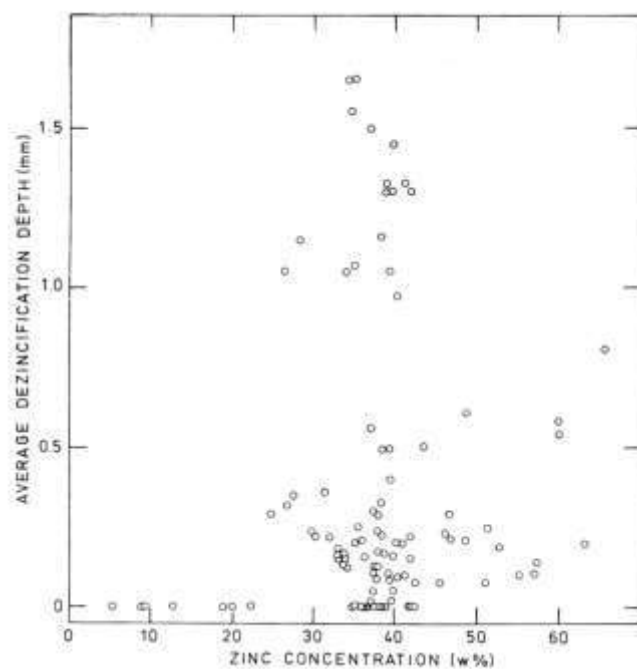


شکل ۳- ARABIC. Error! No sequence specified. ۱۰ مورفولوژی برنج روی زدایی شده: (a) MEB و میکروسکوپ نوری [۱۸]

در یک بررسی دیگر، تویوان و همکاران مقاومت در برابر خوردگی بیش از ۱۰۰ برنج ریختهگری شده را با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM²⁴)، تست های زدایش روی سریع و متالورژی نوری بررسی کردند [۱۹]. شکل ۳-۱۱ میکروسکوپ نوری میکروساختارهای چهار قالب برنج را نشان می دهد. نتایج نشان داد که آلیاژهای دندریمری (داشتن شاخه های مانند شاخه درختان) آلفا برنج، زمانی که حاوی ۰-۲۳٪ روی باشند، بیشترین مقاومت در برابر خوردگی دارند. در حالی که ساختارهای مشابه با مقدار روی ۲۳-۳۲٪، مقاومت در برابر زدایش روی کمتری داشتند. داده های مربوط به عمق زدایش روی در شکل ۳-۱۲ اطلاعاتی را درباره وابستگی ترکیب بندی مقاومت میانگین زدایش روی بیش از ۱۰۰ قالب برنج فراهم می کند. هر نقطه در شکل ۳ یک میانگین است، که نتیجه ای از افزودن ۴۰ اندازه گیری و تقسیم بر کل تعداد اندازه گیری می باشد. داده های برنج های تست شده نشان می دهد که آلیاژهای Cu-Zn، زمانی که غلظت روی کمتر از ۲۳٪ است، مقاومت در برابر زدایش روی عمق صفر میلی متر را می دهد. زمانی که غلظت روی حدود ۳۴-۳۵٪ می باشد عمق زدایش روی به سرعت افزایش می یابد و به ۱/۶۵ میلی متر می رسد. با ۴۲٪ غلظت روی سرعت زدایش روی کاهش می یابد و به ۰/۵ میلی متر می رسد.



شکل ۳- ARABIC. Error! No sequence specified. ۱۱ تصاویر نوری به ساختارهای (a) آلیاژهای برنج ۱۷ درصد روی، (b) ۳۰ درصد روی، (c) ۳۶ درصد روی و (d) ۳۹ درصد روی ۱۸]]



شکل ۳- ARABIC. Error! No sequence specified. ۱۲ میانگین زدایش روی بیش از ۱۰۰ قالب برنجی به عنوان تابعی از غلظت روی [۲۰]

اخيراً برخی از اجزای برنج $\alpha + \beta'$ سیستم های توزیع آب آشامیدنی در مراکش دچار نقص اولیه شدند و برای ارزیابی ماهیت و میزان حملات خوردگی مورد بررسی قرار گرفتند [۲۰]. آنها اشکال مختلف خوردگی را به نمایش می گذارند، که اغلب با زدایش روی گسترده β' همراه است. به منظور ارائه گزینه های مناسب برای این مواد کم هزینه سنتی، رفتار خوردگی دو جز برنج $\alpha + \beta'$ نماینده با آلیاژهای برنج با ترکیبات اسمی CuZn36Pb2As و CuZn21Si3P مقایسه شد، که به عنوان مقاوم در برابر زدایش روی به بازار عرضه می شوند. CuZn21Si3P یک برنج سازگار با محیط زیست است که اخیراً ساخته شده و بدون هیچ گونه آرسنیک و سرب تولید میشود. آلیاژزدایی سطح محدود شده نیز در CuZn21Si3P یافت شد، که تحت انحلال سیلیکون و روی انتخابی و اکسیداسیون داخلی ناچیز از هر دو فاز تشکیل دهنده α و K قرار گرفت، احتمالاً به دلیل اثرات خاص گالوانیک است.

گروه اول شامل هفت نوع نمونه (۷-۱F) است که از سیستم های توزیع آب آشامیدنی در مراکش پس از خرابیهای اولیه استخراج شده است (عمر مفید از ۸ ماه تا ۵ سال). ترکیبات شیمیایی کمی این نمونههای بدست آمده از طیف سنجی انتشار نوری (OES²⁵) و زمان شکست آنها در جدول ۱ گزارش شده است. نمونه های ۷-۱F عمدتاً دارای ترکیباتی در محدوده ۵۴-۵۷٪ مس، ۳۷-۴۰٪ روی، ۲/۳-۴/۶٪ Pb و ۱/۴-۰/۵٪ Sn و دارای محتوای قابل توجه Ni ، Fe و Si هستند (به ترتیب تا ۰/۶، ۰/۴ و ۰/۰۸٪). گروه دوم نمونهها شامل دو آلیاژ مقاوم در برابر زدایش روی در میلها با ترکیب اسمی CuZn36Pb2As (کد ۱B) و CuZn21Si3P (کد ۲B) بودند. جدول ۳-۳ ترکیب آنها را که توسط OES ارزیابی شده گزارش میدهد: هر دو حاوی مقادیر کم، قابل اغماض آهن، منگنز و نیکل هستند. Si در ۱B وجود ندارد، در حالی که در ۲B محتوای Si ۳/۳ درصد است.

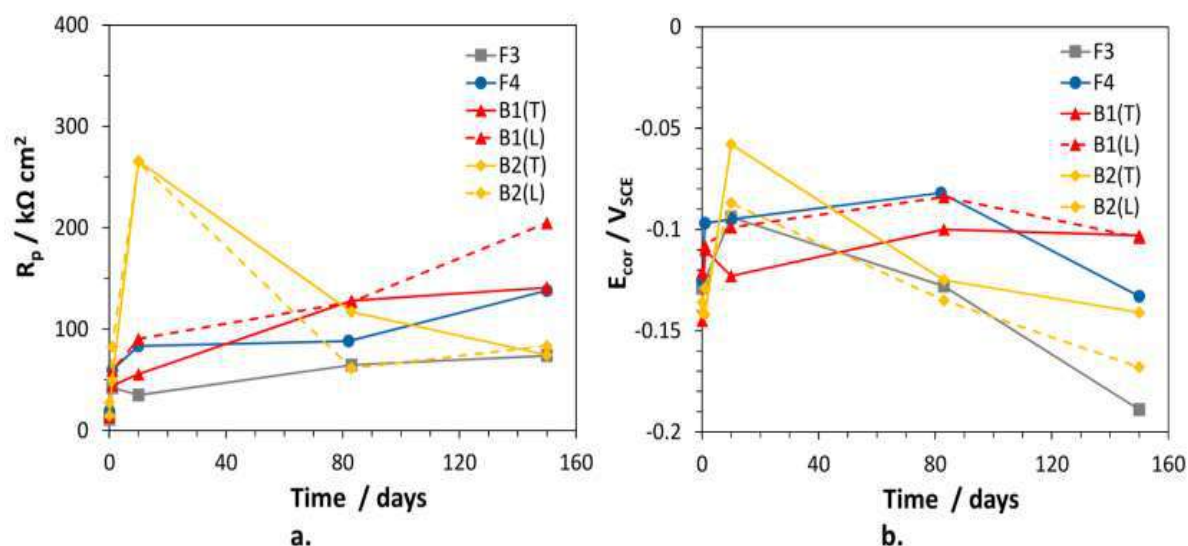
جدول ۲-۳ عمر سرویس (y = SL ؛ سال ؛ m = ماه) و ترکیبات شیمیایی (درصد وزنی) از اجزای برنج جعلی بررسی شده. ترکیبات با استفاده از طیف سنجی انتشار نوری (OES) به دست آمد.

Code	SL	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni	Si	As	Sb	Bi	Al	S
F1	3 y	57.42	38.89	2.63	0.450	0.0038	0.0080	0.388	0.208	0.0521	<0.0003	0.0310	0.00042	0.042	0.0011
F2	9 m	55.28	39.39	3.84	0.769	0.0058	0.0042	0.376	0.261	0.0095	<0.0003	0.0540	0.00278	0.072	0.0169
F3	8 m	54.34	40.49	3.57	0.509	0.0041	0.0160	0.379	0.225	0.0277	0.0217	0.0478	0.00227	0.476	0.0098
F4	5 y	57.42	37.63	2.39	1.127	0.0074	0.0380	0.605	0.325	0.0479	<0.0003	0.0537	0.00235	0.377	0.0019
F5	2 y	55.31	37.40	4.61	1.385	0.0066	0.0163	0.599	0.352	0.0436	<0.0003	0.1070	0.00490	0.271	0.0040
F6	2 y	56.59	40.33	2.28	0.370	0.0025	0.0073	0.259	0.129	0.0062	<0.0003	0.2310	0.00141	0.029	0.0287
F7	2 y	56.27	37.89	3.68	1.015	0.0057	0.0301	0.588	0.338	0.0348	<0.0003	0.0570	0.03543	0.270	0.0017

جدول ۳-۳ ترکیبات شیمیایی (در وزن) آلیاژهای مقاوم در برابر زدایش روی، ارزیابی شده توسط OES. ترکیب اسمی ۱B و ۲B به ترتیب CuZn36Pb2As و CuZn21Si3P است. (n.d. = تعیین نشده است)

Code	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Fe	Ni	Si	As	Al	Altro
B1	61.70	35.83	1.90	0.11	n.d.	0.120	0.030	<0.0010	0.09	0.02	<0.2
B2	77.10	19.52	0.00	0.01	0.05	0.02	0.00	3.3	0.00	0.00	-

آزمایش های الکتروشیمیایی در آب آشامیدنی شبیه سازی شده نشان داد که پس از ۱۰ روز غوطه‌پوری CuZn21Si3P بالاترین مقاومت در برابر قطبش (R_p) را نشان می‌دهد اما پس از دوره های غوطه وری بیشتر مقدار R_p آن قابل مقایسه یا کمتر از آلیاژهای دیگر است (شکل ۳-۱۳).



شکل ۳-۱۳ (a) مقادیر مقاومت به پلاریزاسیون (R_p) و (b) پتانسیل خوردگی (E_{cor}) در آلیاژهای برنج انتخاب شده در SDW اندازه‌گیری می‌شود. [۲۰]

منابع و مآخذ

- [1] F. Walsh, Faraday and his laws of electrolysis: an appreciation, Bulletin of Electrochemistry 7(11) (1992) 481-484.
- [2] Z. Ahmad, Principles of corrosion engineering and corrosion control, Elsevier 2006.
- [3] E. McCafferty, Introduction to corrosion science, Springer Science & Business Media 2010.
- [4] R.W. Revie, Corrosion and corrosion control: an introduction to corrosion science and engineering, John Wiley & Sons 2008.
- [5] N. Sato, Some concepts of corrosion fundamentals, Corrosion science 27(5) (1987) 421-433.
- [6] M.G. Fontana, N.D. Greene, Corrosion engineering, McGraw-hill 2018.
- [7] E.E. Stansbury, R.A. Buchanan, Fundamentals of electrochemical corrosion, ASM international 2000.
- [8] C. Jirarungsatien, A. Prateepasen, Pitting and uniform corrosion source recognition using acoustic emission parameters, Corrosion Science 52(1) (2010) 187-197.
- [9] R.D. Meyer, J. Meyer, L.J. Taloumis, Intraoral galvanic corrosion: literature review and case report, The Journal of prosthetic dentistry 69(2) (1993) 141-143.
- [10] J. Wang, X. Jiang, S. Li, Advances of Researches on the Dezincification Mechanism of Brass [J], CHINESE JOURNAL OF MATERIAL RESEARCH 1 (1999).
- [11] S. Selvaraj, S. Ponmariappan, M. Natesan, N. Palaniswamy, Dezincification of brass and its control-an overview, Corrosion reviews 21(1) (2003) 41-74.
- [12] R. Karpagavalli, R. Balasubramaniam, Development of novel brasses to resist dezincification, Corrosion science 49(3) (2007) 963-979.
- [13] D. Davies, A note on the dezincification of brass and the inhibiting effect of elemental additions, New York: Copper Development Association Inc (1993) 1-9.
- [14] R.H. Heidersbach Jr, E.D. Verink Jr, The dezincification of alpha and beta brasses, Corrosion 28(11) (1972) 397-418.
- [15] W.S. Holden, Water treatment and examination, Water treatment and examination. (1970).
- [16] E. Sarver, Y. Zhang, M. Edwards, Review of brass dezincification corrosion in potable water systems, Corrosion Reviews 28(3-4) (2010) 155-196.
- [17] B.N. Popov, Corrosion engineering: principles and solved problems, Elsevier 2015.

- [18] B. Assouli, A. Srhiri, H. Idrissi, Characterization and control of selective corrosion of α , β' -brass by acoustic emission, *NDT & E International* 36(2) (2003) 117-126.
- [19] R. Toivanen, V. Navratil, V. Lindroos, Selective Corrosion of Brasses, *Key Engineering Materials*, Trans Tech Publ, 1988, pp. 1643-1649.
- [20] J. Choucri, F. Zanotto, V. Grassi, A. Balbo, M. Ebn Touhami, I. Mansouri, C. Monticelli, Corrosion behavior of different brass alloys for drinking water distribution systems, *Metals* 9(6) (2019) 649.