پیش بینی خوردگی با آکوستیک امیشن

(مطالعه موردی)

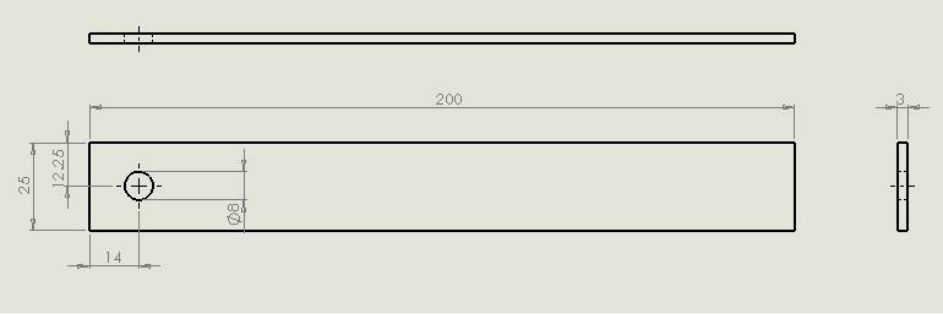
خوردگی یک پدیده طبیعی است که می توان آن را به عنوان تخریب مواد در اثر واکنش با محیط آن تعریف کرد. از منظر زیست محیطی، خوردگی یک اتفاق طبیعی است که هدف آن برگرداندن فلزات به حالت های پایدارترشان مانند اکسیدها و سولفیدها است. با این حال، از منظر مهندسی، فرآیند خوردگی مخرب است و به نوبه خود منجر به تلفات در یکپارچگی، بهره وری و مالی می شود. هزینه خوردگی تنها در ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۰۱، ۱۳۵ میلیارد دلار برآورد شد. اگر خوردگی شناسایی نشود و مطابق با آن عمل نشود، می تواند یکپارچگی هر دارایی را تضعیف کند و در نهایت منجر به شکست با عواقب شدید شود. خوردگی در هر جنبه ای از زندگی مدرن رخ می دهد، اما همیشه نمی توان شاهد وقوع این فرآیند بود و به همین دلیل است که لازم است به طور دوره ای دارایی ها از نظر خوردگی بازرسی و نظارت شود. محققان اثرات خوردگی را در سه حوزه اصلی دسته بندی کرده اند. اقتصاد، ایمنی و محیط زیست. چندین اثر اقتصادی ناشی از خوردگی وجود دارد (به عنوان مثال هزینه های مربوط به تعمیر و نگهداری مواد خورده شده). در موارد شدید، اگر هیچ اقدامی انجام نشود، در نهایت ساختارها ممکن است از کار بیفتند و در نتیجه باعث ایجاد عواقب شدید شود.

فرایندهای آزمایش

این بخش به جزئیات فرآیندهای انجام شده برای تکمیل بخش آزمایشی پروژه می پردازد. این شامل توصیف طرح نمونه، ساخت نمونه ها و جزئیات مربوط به محل قرارگیری سنسور است. روش‌های انجام‌شده برای کالیبراسیون حسگر AE و آزمایش روی نمونه‌ها توضیح داده خواهد شد.

طراحی نمونه

چهار نمونه مستطیلی آلومینیومی در این مطالعه مورد آزمایش قرار می گیرند. طراحی مستطیلی به دلیل سادگی، سهولت استفاده از سنسور و به اندازه کافی طولانی برای دور نگه داشتن تجهیزات از محیط های خورنده انتخاب شده است. ابعاد نمونه ها در شکل ۱ نشان داده شده است. لبه‌های هر نمونه با استفاده از چرخ سنگ‌زنی صاف می‌شد تا لبه‌های تیز برداشته شود. از آنجایی که نمونه ها همگی از یک میله طول بلند بریده شده اند، می توان فرض کرد که ماده دارای خواص یکنواخت در سراسر آن است.



شکل ۱: نمای شماتیک نمونه آزمایشی

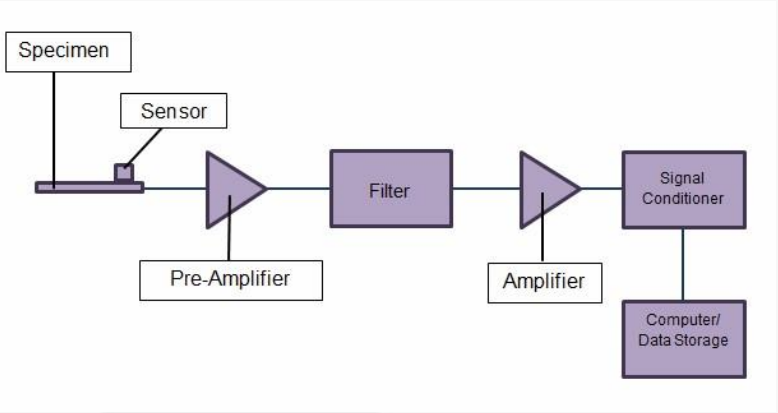
از پیچ و مهره های فولادی استفاده شد و یکی در سوراخ هر نمونه قرار داده شد. یک مهره فولادی برای محکم کردن پیچ در محل به منظور افزایش سرعت خوردگی با افزودن خوردگی گالوانیکی با طرح نمونه نهایی که در شکل ۲ نشان داده شده است استفاده شد.

شکل ۲: نمونه آلومینیومی با پیچ و مهره فولادی

آکوستیک امیشن

یک سنسور AE دیفرانسیل Micro-80D ساخته شده توسط Physical Acoustics Ltd در طول تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. این سنسور دارای پاسخ فرکانسی مفیدی در محدوده ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوهرتز است و دارای ایزوله الکتریکی بین عنصر حسگر و حفره به منظور افزایش توانایی سنسور در برنامه‌های دارای نویز پس‌زمینه بالا است. فرکانسی که در آن حسگر AE به بهترین نحو انرژی را تبدیل می کند، فرکانس تشدید، ۳۴۰ کیلوهرتز تعیین شد. قبل از چسباندن به سطح نمونه با استفاده از نوار الکتریکی، گریس سیلیکونی روی سنسور اعمال شد. گریس سیلیکون به منظور بهبود انتقال سیگنال AE بین سطح نمونه و سنسور AE اعمال شد. از این رو اتصال ناقص ناشی از شکاف های هوا بین سنسور و زبری سطح میکروسکوپی نمونه ها به حداقل رسیده است.

تنظیم AE (شکل ۳) شامل حسگر AE است که به یک پیش تقویت کننده متصل است که برای تقویت سیگنال های به دست آمده استفاده می شود و می تواند بین ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دسی بل متغیر باشد. پیش تقویت کننده به یک واحد تهویه سیگنال ۴ کاناله (SCU) داخلی متصل شد . (signal conditioning unit) SCU سیگنال تنظیم شده را به یک بلوک اتصال محافظ BNC-2120 National Instruments (NI)به منظور تکمیل انتقال سیگنال سیستم به کارت جمع آوری داده (DAQ) ارسال می کند. سیگنال ها از طریق یک کامپیوتر به منظور به دست آوردن داده های سیگنال خام تفسیر شدند.



شکل ۳: سیستم آکوستیک امیشن

به منظور به دست آوردن نتایج دقیق و قابل اعتماد در طول آزمایش، حسگر AE برای هر آزمایش در یک مکان قرار گرفت.

این مکان به منظور حفظ فاصله معقول بین سنسور و محیط خورنده برای جلوگیری از هرگونه آسیب رساندن به تجهیزات انتشار صوتی انتخاب شده است.

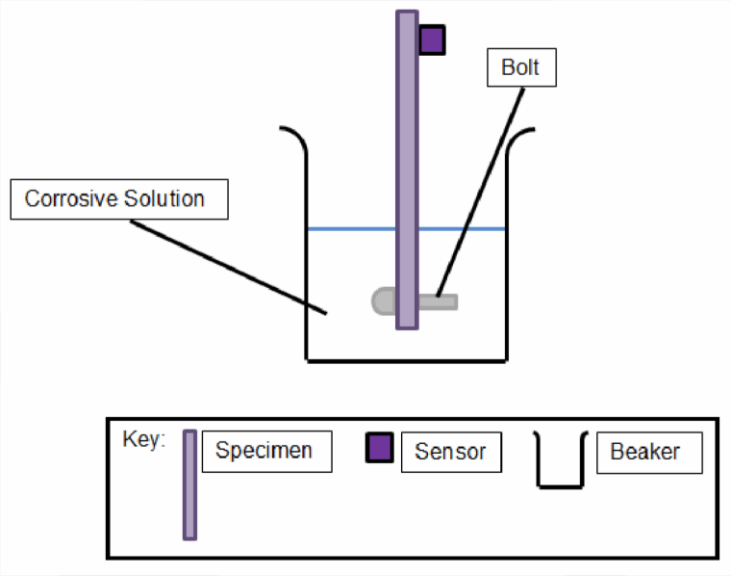
مراحل تست

به منظور آزمایش نمونه‌های آلومینیومی، دانستن اینکه چه نوع محیطی می‌تواند نمونه‌ها را در مدت زمان کوتاهی خورده کند تا نتایج کافی ارائه شود، مهم بود. آلومینیوم بیشترین کاربرد را در محیط های خورنده در سطح pH بین ۵ تا ۷ دارد و تحت شرایط بسیار اسیدی یا بسیار قلیایی دچار خوردگی سریع می شود. از این رو، اسید هیدروکلریک (PH بین ۱ تا ۲) برای القای خوردگی انتخاب شد. علاوه بر این، برای افزایش بیشتر نرخ خوردگی در نمونه آلومینیومی، از یک پیچ فولادی برای القای خوردگی گالوانیکی استفاده می شود.

برای ایجاد روندی بین میزان خوردگی در حال وقوع و آکوستیک امیشن ثبت شده، از چهار محیط خورنده مختلف استفاده شد. جدول ۱ چهار محلول مورد استفاده در آزمایش را نشان می دهد. برای انجام آزمایش از تنظیمات نشان داده شده در شکل ۴ استفاده می شود. این مجموعه شامل یک لیوان شیشه ای ۲۵۰ میلی لیتری، ۱۰۰ میلی لیتر محلول اسید هیدروکلریک، نمونه در حال آزمایش و سنسور است.

Percentage of Hydrochloric Acid Solution	Volume of Distilled Water (ml)	Volume of 37% Hydrochloric Acid Solution (ml)	Volume of Final Solution (ml)
No Solution	0	0	0
3.7 % Solution	90	10	100
18.5% Solution	50	50	100
37% Solution	0	100	100

جدول ۱: درصد و حجم محلول آزمایش



شکل ۴: تنظیم آزمایشی نمونه در محیط خورنده آن

نتیجه گیری

- نتایج بصری

برای محلول ۳,۷ درصد، حباب کوچکی در اطراف ناحیه نمونه پیچ مشاهده شد. فعالیت این حباب های در حال تولید / ترکیدن نسبتاً ثابت در طول آزمایش باقی مانده است. هنگامی که نمونه از محلول هیدروکلریک خارج شد، نمونه با مقدار بسیار کمی از باقی مانده خاکستری پوشانده شد و اسید کلریدریک شفاف و شفاف باقی ماند. برای محلول ۱۸,۵ درصد، آزمایش‌ها نسبتاً واکنش‌پذیر بودند، با فعالیت حباب‌ها به سرعت با گذشت زمان افزایش یافت و محلول شروع به تبدیل شدن به رنگ کثیف کرد. پس از حذف از مجموعه آزمایش، یک بقایای خاکستری در اطراف پایین نمونه وجود داشت، این ناحیه نمونه ای بود که در محیط خورنده قرار گرفته بود. برای محلول ۳۷ درصد، مخلوط به شدت شروع به کف کردن کرد و حباب های بزرگی تولید کرد که سپس می ترکید. محلول به خودی خود از شفاف و شفاف به رنگ زرد کثیف تبدیل شد و در عین حال بوی قوی تخم مرغی را آزاد کرد.

هنگامی که آزمایشات کامل شد و نمونه از محلول خورنده خارج شد، مشاهده شد که روی آلومینیوم آثار تاول مانند وجود دارد. برای اطمینان از اینکه خوردگی واقعاً برای همه نمونه ها اتفاق افتاده است، همه نمونه ها قبل و بعد از آزمایش وزن شدند. جدول ۲ مقادیر نمونه ها را قبل و بعد از قرار گرفتن در معرض یک محیط خورنده نشان می دهد.

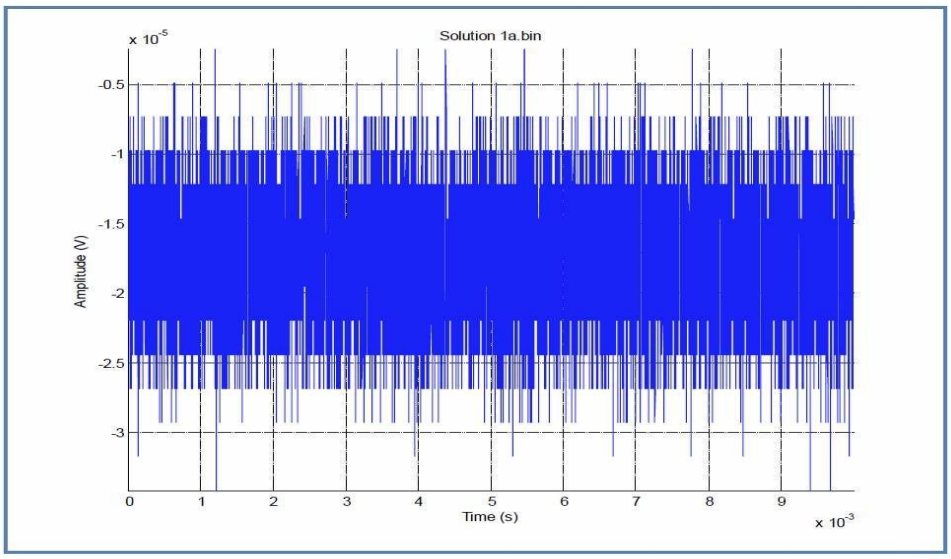
Specimen Type	Initial Weight (kg)	Final Weight (kg)	Weight Difference (kg)
Test 1 - No Corrosion	63.1	63.1	0.0
Test 2 - 3.7% Solution	62.9	62.8	0.1
Test 3 - 18.5% Solution	62.7	62.4	0.3
Test 4 - 37% Solution	62.9	61.8	1.1

جدول ۲: وزن اولیه و نهایی نمونه

- نتایجAE

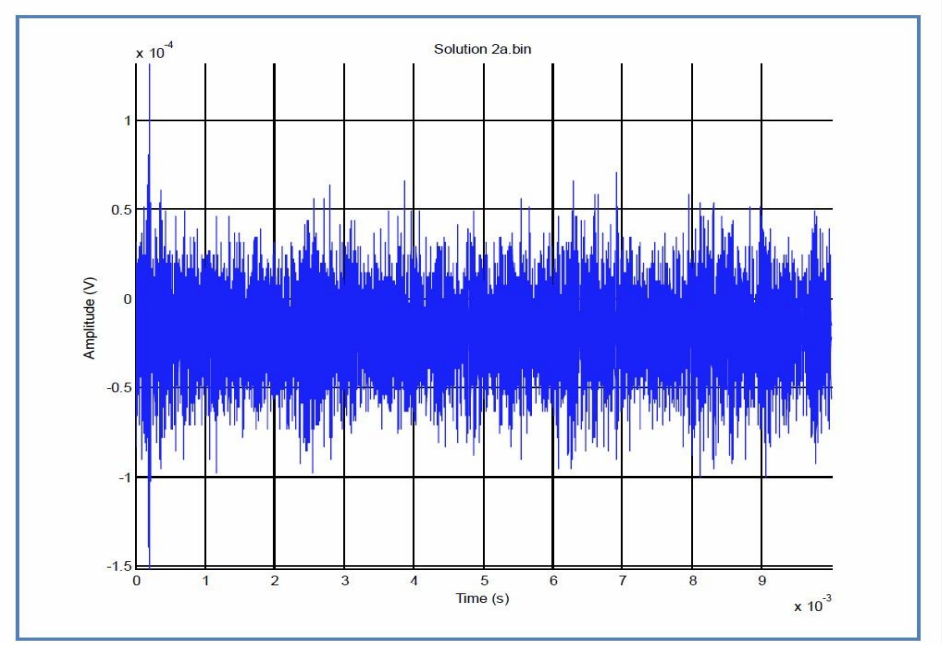
شکل ۵ سیگنال AE را برای تست A برای عدم خوردگی نشان می دهد. مشاهده می شود که یک سیگنال پیوسته با دامنه نشسته به طور کلی در حدود 0.5×10^{-5} ولت ثبت می شود.

این امر قابل انتظار است زیرا هر نویز پس‌زمینه‌ای که در تمام آزمایش‌ها دریافت می‌شود ثابت است و هیچ واکنش خوردگی برای ایجاد هرگونه تغییر در سیگنال وجود ندارد.



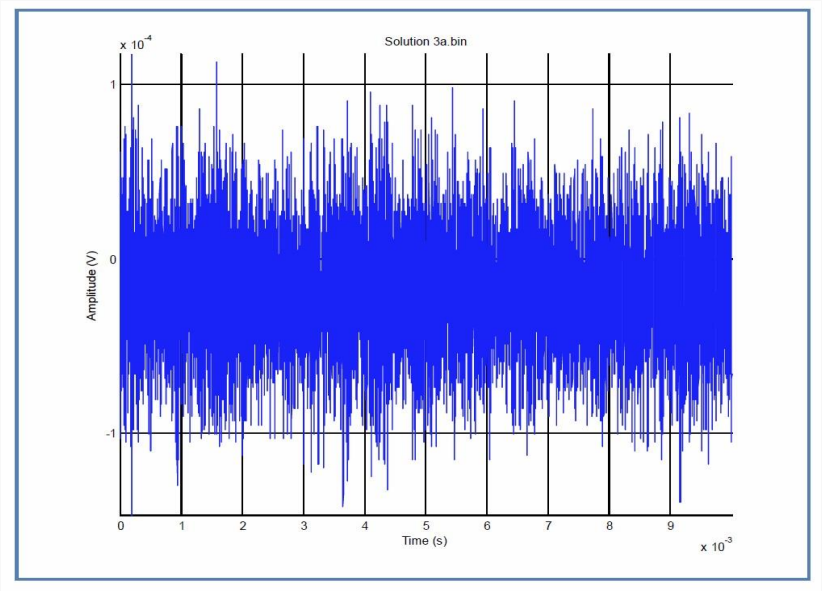
شکل ۵: سیگنال AE حوزه زمانی معمولی برای نمونه غوطه ور در آب

شکل ۶ یک سیگنال AE معمولی را برای ضعیف ترین محلول های اسید هیدروکلریک نشان می دهد که در آن برخی از پیک های مرتبط با دامنه بالاتر (1.5×10^{-4} ولت) در رکورد مشهود است، که نشان می دهد نوعی فعالیت انجام شده است.



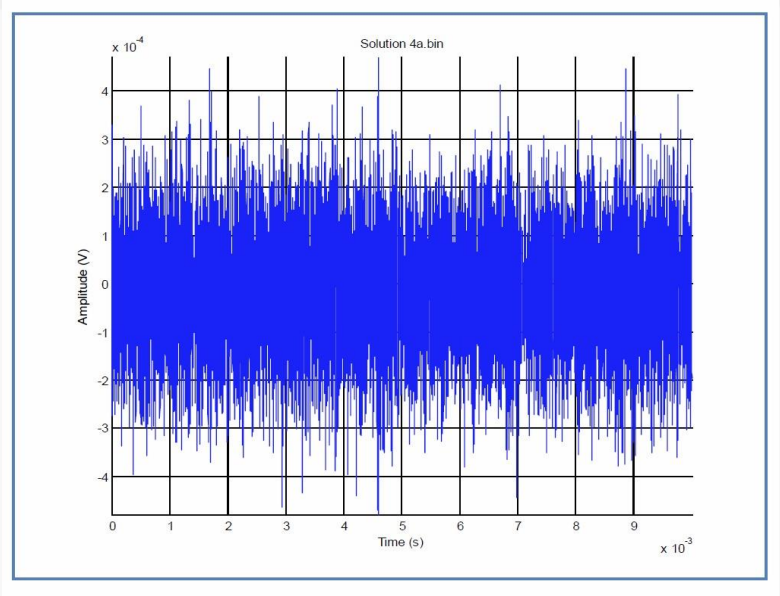
شکل ۶: سیگنال AE دامنه زمانی معمولی برای نمونه غوطه ور در محلول ۳,۷٪

پیک های مشابهی برای محلول ۱۸,۵ درصد (شکل ۷) مشاهده شد، اما این بار با فعالیت های بیشتر در طول رکورد AE، نشان می دهد که استفاده از دامنه AE تنها برای مشخص کردن سیگنال کافی نیست.



شکل ۷: سیگنال AE دامنه زمانی معمولی برای نمونه غوطه ور در محلول ۱۸,۵٪

شکل ۸ یک سیگنال AE معمولی را برای خورنده ترین محیط نشان می دهد. واضح است که فعالیت های AE از نظر دامنه (4 x 10^{-4} ولت) و شدت بالاتر هستند.

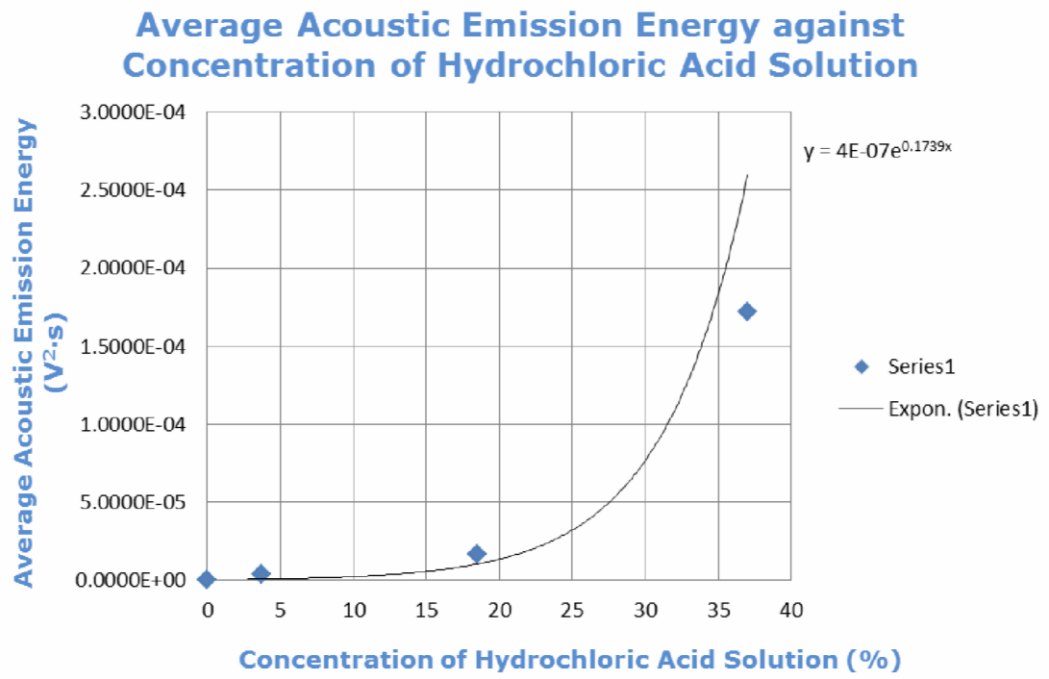


شکل ۸: سیگنال AE حوزه زمانی معمول برای نمونه غوطه ور در محلول ۳۷ درصد

شکل ۹ یک رابطه واضح (نمایی) را بین میانگین مقادیر انرژی AE تمام آزمایش ها و محیط خورنده مربوطه نشان می دهد.

روند نمایی به این معنی است که در هر نقطه از نمودار افزایش انرژی بیشتر و بیشتر می شود. انرژی AE بالاتر مشاهده شده از آزمایش ۴ را می توان به ایجاد تاول/ترک شدن مواد نسبت داد. فرض بر این بود که یک ترک در یک ماده فلزی باعث تشعشعات صوتی بیشتر از پارگی حباب می شود.

از این رو، اگر ترک‌های ماده مکرر و با سرعت بیشتری رشد می‌کردند، انرژی صوتی به مراتب بیشتر از مقادیر به‌دست‌آمده در این آزمایش بود.



شکل ۹: میانگین انرژی انتشار صوتی در مقابل غلظت اسید برای همه آزمایش‌ها

نتیجه گیری

روش AE برای نظارت بر فعالیت‌های خوردگی بر روی نمونه‌های آلومینیومی تحت چهار محیط خورنده مختلف با نتایج گسترده استفاده شده است.

- خوردگی ناشی از پاره شدن حباب ها بر روی سطح یک ماده یا ترک خوردن، انتشارات صوتی کافی ایجاد می کند.
- افزایش غلظت محلول اسید هیدروکلریک باعث افزایش دامنه سیگنال AE و فعالیت های فشرده تر می شود.
- یک رابطه نمایی بین انرژی AE و غلظت اسید ایجاد شده است، که امکان استفاده از AE را به عنوان تکنیک امیدوارکننده برای نظارت بر خوردگی نشان می دهد.