

نشر آوایی در مطالعات و بررسی‌های خوردگی

محمد احمدزاده
دانشجوی دکتری، گروه خوردگی و حفاظت از مواد
بخش مهندسی مواد، دانشگاه تربیت مدرس
m.ahmadzadeh@modares.ac.ir

محمود علی‌اف خضرایبی*
استادیار گروه خوردگی و حفاظت از مواد
بخش مهندسی مواد، دانشگاه تربیت مدرس
khazraei@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۳۱

چکیده

روش نشر آوایی در بررسی عیوب در حال پیشرفت در مواد و قطعات اهمیت بسیاری دارد. این روش توانایی بررسی رشد ترک، تغییر شکل پلاستیک و دیگر تغییراتی که سبب ایجاد امواج فراصوتی می‌شوند، مانند خوردگی فلزات و شکست فیلم‌های پسیو^۱، را دارد. همچنین در کاربردهای صنعتی برای بازرسی قطعات در حال کار و سرویس برای رشد ترک، خستگی و خوردگی به کار می‌رود. برای استفاده کاربردی از این روش در خوردگی قطعات صنعتی، لازم است تا به صورت آزمایشگاهی انواع گوناگون خوردگی در مواد مختلف مورد بررسی و کالیبراسیون قرار گیرد. از سال ۱۹۷۸ م، درباره انواع گوناگون خوردگی مطالعاتی به صورت آزمایشگاهی آغاز شده است. در این مطالعات با ارتباط پارامترهای مختلف فیزیکی این روش مانند زمان ادامه، دامنه و شمارش سیگنال نشر آوایی به بررسی خوردگی مواد پرداخته می‌شود. خوردگی تحت تنش، خوردگی حفره‌ای و شیاری از انواع خوردگی مورد مطالعه‌اند که چکیده‌ای از مطالعات انجام شده برای روشن شدن چگونگی تخمین خوردگی با این روش و دیگر مزایای این روش در مکان‌یابی خوردگی در این مقاله بررسی شده است.

واژگان کلیدی: نشر آوایی، خوردگی، خوردگی تنشی، خوردگی حفره‌ای

۱. مقدمه

انجمن آزمون و مواد آمریکا^۲ اصطلاح نشر آوایی به فرایند تولید موج گذرای الاستیک با ره‌اشدن سریع انرژی از سرچشمه‌های موضعی درون ماده گفته می‌شود [۲]. در مطالعات شکست و رفتار مکانیکی مواد، سیستم‌های دارای نشتی تحت فشار و مطالعات خوردگی به صورت صنعتی و آزمایشگاهی از این روش استفاده می‌شود. مهم‌ترین کاربردهای صنعتی این روش در بازرسی از سازه‌هاست؛

نشر آوایی از جمله مهم‌ترین روش‌های آزمون غیرمخرب است که در بررسی مواد، سازه‌ها و ماشین‌آلات به کار می‌رود. مهم‌ترین ویژگی‌های این روش در مقایسه با دیگر آزمون‌های غیرمخرب، قرارگیری منشأ سیگنال درون ماده و تشخیص حرکت عیوب است. در روش‌های مرسوم عموماً منشأ سیگنال خارجی است و ناهمگونی‌های هندسی مواد تشخیص داده می‌شود [۱]. بر اساس واژگان استاندارد

برای مثال بازرسی پل‌ها و سازه‌های بتنی، بازرسی مخازن سی. ان. جی.^۳، مخازن تحت فشار، مخازن نگه‌داری، سازه‌های دما بالا و مخازن برودتی.

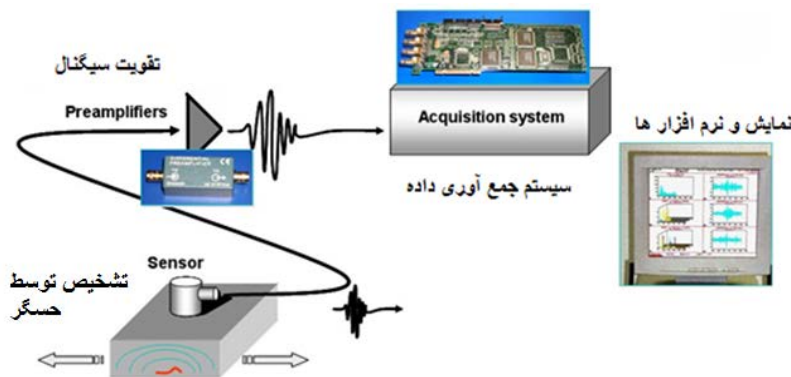
۲. اصول روش

تغییرات میکرومتری در مواد می‌توانند سبب ایجاد امواج صوتی در فرکانس‌های فراصوت شود. پدیده‌هایی عمدتاً مکانیکی همچون رشد ترک، تغییر شکل پلاستیک و حتی تشکیل حباب مسبب این نشر انرژی هستند. در مطالعات خوردگی منابع ایجاد انرژی عبارت‌اند از شکست فیلم پسیو، تولید حباب، رشد ترک در خوردگی تحت تنش و هیدروژنی.

همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، سیستم‌های نشر آوایی از تشخیص‌دهنده یا حسگر^۴، تقویت‌کننده^۵ و سیستم‌های اکتساب داده تشکیل شده‌اند. همچنین از نرم‌افزارهایی برای بررسی داده‌های به‌دست‌آمده استفاده می‌شود. وظیفه تشخیص‌دهنده‌ها، که حسگرهای

پیزوالکتریک هستند، تبدیل امواج نشر آوایی به سیگنال‌های الکتریکی است. از تقویت‌کننده به‌منظور تقویت سیگنال‌های ضعیف برای انتقال به سیستم‌های جمع‌آوری داده استفاده می‌شود. سیستم‌های اکتساب داده امروزی پیچیده‌تر از انواع قدیمی بوده و مجهز به سیستم‌های چندکاناله برای جمع‌آوری اطلاعات چندین حسگر به‌صورت همزمان هستند [۳].

به‌طور کلی در نشر آوایی دو نوع سیگنال انفجاری^۶ و پیوسته^۷ وجود دارد. در شکل ۲ یک نشر آوایی انفجاری، که سیگنال معمولی نشر آوایی خوردگی از آن نوع است، نمایش داده شده است. پارامترهای شکل موجی که عموماً در پیش‌بینی شدت خوردگی استفاده می‌شوند در ادامه تشریح می‌شوند. شمارش^۸ تعداد دفعاتی است که یک سیگنال از آستانه^۹ از پیش تعیین‌شده عبور می‌کند. این مثال ساده‌ای از اندازه سیگنال است، چون سیگنال‌های بزرگ‌تر معمولاً شمار بیشتری دارند، از نظر الکترونیکی این اندازه‌گیری بسیار راحت و اولین مورد فراگیر است.

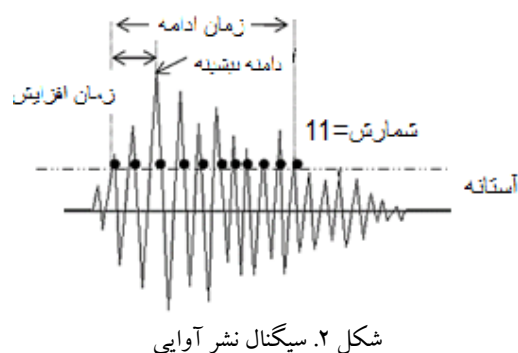


شکل ۱. سیستم آزمون نشر آوایی [۱]

ماده یا فعالیت مکانیکی و در نتیجه آن نشر آوایی است. انرژی نشر آوایی^{۱۱} انرژی محتوای یک سیگنال نشر آوایی است که از زیر منحنی تابع ولتاژ به توان ۲ برحسب زمان به‌دست می‌آید. زمان ادامه^{۱۲} زمان میان نقطه‌ای است که نخستین بار از آستانه عبور انجام می‌شود تا زمانی که باز به

ریشه دوم میانگین نشر آوایی^{۱۰} ریشه دوم میانگین مجذور مقدار سیگنال ورودی است. چون فعالیت نشر آوایی منسوب به رهایی شدید انرژی در مواد است، میزان انرژی سیگنال نشر آوایی را می‌توان به این آزاد شدن انرژی منسوب کرد. رخداد نشر آوایی وقوع یک تغییر موضعی در

زیر آستانه بازمی‌گردد. این فاکتور به‌صورتی نزدیک با شمارش رابطه دارد به‌طوری‌که بیشتر برای تمیز گذاشتن و تشخیص به‌کار می‌رود تا اندازه‌گیری. برای مثال رخداد‌های طولانی (تا چند میلی‌ثانیه) در کامپوزیت‌ها نشان‌دهنده ورقه‌شدن است. سیگنال‌های ناشی از اختلالات الکترومغناطیسی عموماً زمان ادامه بسیار کمی دارند، به این صورت می‌توان از آن برای فیلترکردن استفاده کرد. فاکتورهای دیگری مانند زمان رشد^{۱۳}، زمان زوال^{۱۴} و دیگر پارامترها نیز در صورت نیاز استفاده می‌شوند [۴].

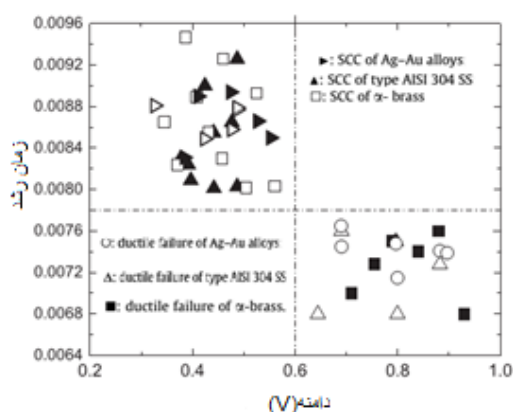


شکل ۲. سیگنال نشر آوایی

۳. مروری بر منابع در خوردگی

مطالعات خوردگی تنش با نشر آوایی به‌عنوان روشی مناسب برای بررسی این پدیده به‌صورت آزمایشگاهی پیشنهاد شده است [۵]. از سال ۱۹۷۸ م، که نیومن و سیرترکی خوردگی تنش را در برنج بررسی کردند، از این روش برای مطالعه خوردگی تنش استفاده می‌شود. مطالعات بلین و همکاران (۱۹۸۴) بر اساس مطابقت شمارش‌های نشر آوایی برحسب افزایش طول ترک آغاز شد [۶]. کاکر و همکاران (۱۹۹۹) نشر آوایی را مربوط به نشر تغییر شکل پلاستیک ناشی از شکست فیلم اکسیدی یا به‌دام افتادن گاز و افزایش فشار در حفره‌ها دانستند [۷]. جونز و فریزل (۱۹۹۲) نشر آوایی را مربوط به خوردگی تنشی درون‌دانه‌ای^{۱۵} ندانستند و آن را به حفرات نسبت دادند [۸]. جونز و همکاران (۱۹۹۱) ترک‌های با طول تقریبی ۲۰۰ میکرومتر را قابل شناسایی دانستند و آن را مربوط به ترک خوردن بین‌دانه‌ای خوردگی تنشی ارزیابی

نمودند [۹]. یویوما (۱۹۸۳) این روش را برای بررسی SCC فولاد زنگ‌نزن و خوردگی خستگی استفاده کرد. آنها نشر را به انحلال فلز، به‌وجود آمدن گاز هیدروژن، شکست، تغییر شکل پلاستیک و دوقلویی و ترک مرتبط دانستند و با فاکتورهای دامنه و فرکانس آنها را دسته‌بندی کردند [۱۰]. آلوارز و همکاران (۲۰۱۲) که به مقایسه نتایج تست SSRT نمونه‌های برنج آلفا، فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ و آلیاژ نقر - ۱۰ درصد طلا پرداختند، نتایج مشابهی در هر دو حالت بین‌دانه‌ای و فرادانه‌ای ترک خوردن مشاهده کردند، که در شکل ۳ نمایش داده شده است [۱۱].

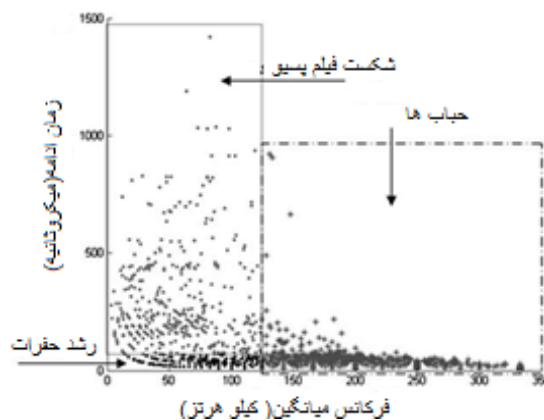


شکل ۳. نتایج نشر آوایی SCC

در نمونه‌های فولاد زنگ‌نزن، برنج و نقره [۱۱]

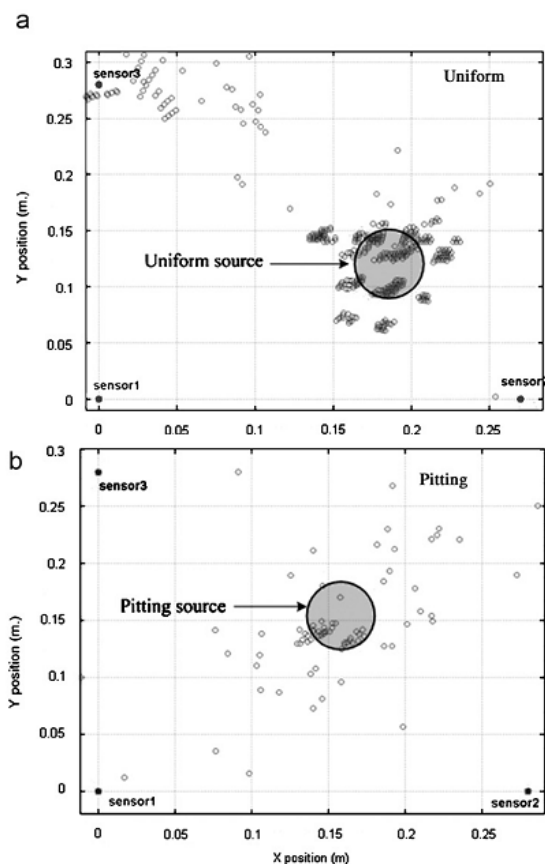
به‌جز خوردگی تنش از این روش در بررسی‌های خوردگی حفره‌ای و شیاری که سازوکار مشابهی دارند استفاده شده است. در سال ۱۹۷۹ م، منسفیلد و استاکر فعالیت‌های خوردگی و ایجاد حباب‌های هیدروژن را منشأ نشر آوایی در فرایندهای خوردگی دانستند [۱۲] که بعدها به‌صورت دقیق‌تر سرچشمه‌های خوردگی در فرایندهایی که سایش و تنش حضور ندارند به سه منشأ شکست فیلم پسیو، تشکیل حباب و رشد حفرات نسبت داده شد [۱۳]. در بررسی‌های خوردگی حفره‌ای پارامترهای گوناگونی از سیگنال‌های نشر آوایی استخراج می‌شود. مهم‌ترین آنها شمارش یا کانت، انرژی و rms سیگنال، هیت^{۱۶} و زمان ادامه سیگنال^{۱۷} است. برخی از این پارامترها را علاوه بر نسبت دادن به

خوردگی می‌توان در دسته‌بندی سرچشمه‌های سیگنال نشر آوایی استفاده کرد. همان‌گونه که در شکل ۴ نمایش داده شده است، جیرارنگستاتیان و همکاران (۲۰۱۰) به صورت آزمایشگاهی با تعیین مقادیر محدوده‌ای برای زمان ادامه و فرکانس، موفق به دسته‌بندی سیگنال‌های نشر آوایی حاصل از تشکیل حباب و شکست فیلم پسیو در خوردگی حفره‌ای شدند [۱۳].



شکل ۴. دسته‌بندی نشرهای مختلف در خوردگی حفره‌ای [۱۳]

سایشی و فرسایشی نیز از این روش استفاده شده است. در این پژوهش‌ها با استفاده از آنالیزهای فرکانس، منشأ سیگنال‌ها به ضربه‌های ذرات ساینده و حباب‌های گاز نسبت داده شد [۱۷].



شکل ۵. نتایج مکان‌یابی نشر آوایی خوردگی حفره‌ای [۱۴]

۴. جمع‌بندی

روش نشر آوایی کاربرد قابل توجهی در مطالعات خوردگی دارد. این روش، که می‌توان از آن در کنار روش‌های دیگر الکتروشیمیایی مانند پلاریزاسیون یا نوفه الکتروشیمیایی استفاده کرد، در مطالعات آزمایشگاهی انواع مختلف خوردگی مانند خوردگی تنشی، خوردگی حفره‌ای، خوردگی شیاری و جز این‌ها کاربرد دارد و پتانسیل کاربرد در موارد پایش خوردگی در صنایع، مانند رشد ترک خوردگی تنشی یا حفره دارشدن را دارد.

در پژوهشی دیگر از همان گروه، جمداکا و همکاران (۲۰۰۷) از مکان‌یابی توسط سه حسگر برای تعیین مکان پیتینگ در فولاد زنگ‌نزن به صورت دوبعدی استفاده کردند که تا حدود زیادی دقت داشت؛ تصویر آن نتایج در شکل ۵ نمایش داده شده است [۱۴].

در بررسی خوردگی شیاری با این روش ابتدا مطالعات کلی در سال ۱۹۸۴ م توسط آرورا روی آلومینیم انجام شد [۱۵]. سپس به صورت مفصل‌تر کیم و همکاران (۲۰۰۳) این پدیده را بر فولاد زنگ‌نزن آستنیتی بررسی و مشاهده کردند که در مرحله اشاعه خوردگی شیاری نشر آوایی رشد می‌یابد و مشخصه سیگنال‌ها زمان افزایش و زمان ادامه بالاست [۱۶]. اگرچه در مرحله رشد و اشاعه میان رفتار نشر آوایی حفره‌دارشدن و خوردگی شیاری مشابهت‌های زیادی وجود دارد که نشان‌دهنده شباهت سازوکار آنهاست، اما در مرحله آغاز و رشد و تشکیل حباب‌ها این شباهت دیده نمی‌شود. در دیگر انواع خوردگی مانند خوردگی

- [1] Ziehl, P., A. Pollock, *Acoustic Emission for Civil Structures*, INTECH Open Access Publisher, 2012.
- [2] Standard, A., E1316, "Standard Terminology for Nondestructive Examinations", ASTM International, 2005.
- [3] Kalyanasundaram, P., C. Mukhopadhyay, S.S. Rao, *Practical acoustic emission*, Alpha Science International Limited, 2007.
- [4] Prateepasen, A., *Pitting Corrosion Monitoring Using Acoustic Emission*, INTECH Open Access Publisher, 2012.
- [5] Moran, G.C., P. Labine. "Corrosion monitoring in industrial plants using nondestructive testing and electrochemical methods." *Symposium*, ASTM International, 1986.
- [6] Blain, J., J. Masounave, J. Dickson. "A study of stress-corrosion crack propagation in 2024-T351 aluminium alloy by acoustic emission." *Canadian Metallurgical Quarterly*, 1984. 23(1):51-57.
- [7] Cakir, A., S. Tuncell, A. Aydin. "AE response of 316L SS during SSR test under potentiostatic control." *Corrosion Science*, 1999. 41(6):1175-1183.
- [8] Jones, R. M. Friesel. "Acoustic emission during pitting and transgranular crack initiation in type 304 stainless steel." *Corrosion*, 1992. 48(9):751-758.
- [9] Jones, R., M. Friesel, R. Pathania. "Evaluation of stress corrosion crack initiation using acoustic emission." *Corrosion*, 1991. 47(2):105-115.
- [10] Yuyama, S. T. Kishi. "AE analysis during corrosion, stress corrosion cracking and corrosion fatigue processes." *J. Acoust. Emiss.*, United States, 1983.
- [11] Alvarez, M., P. Lapitz, J. Ruzzante. "Analysis of acoustic emission signals generated from SCC propagation." *Corrosion Science*, 2012, (55):5-9.
- [12] Mansfeld, F. P. Stocker. "Acoustic emission from corroding electrodes." *Corrosion*, 1979. 35(12):541-544.
- [13] Jirarungsatian, C., A. Prateepasen. "Pitting and uniform corrosion source recognition using acoustic emission parameters." *Corrosion Science*, 2010. 52(1):187-197.
- [14] Jomdecha, C., A. Prateepasen, P. Kaewtrakulpong. "Study on source location using an acoustic emission system for various corrosion types." *NDT & E International*, 2007. 40(8):584-593.
- [15] Arora, A. "Acoustic emission characterization of corrosion reactions in aluminum alloys." *Corrosion*, 1984. 40(9):459-465.
- [16] Kim, Y.P., et al. "Ability of acoustic emission technique for detection and monitoring of crevice corrosion on 304L austenitic stainless steel." *NDT & E International*, 2003. 36(8):553-562.
- [17] Ferrer, F., et al. "On the potential of acoustic emission for the characterization and understanding of mechanical damaging during abrasion–corrosion processes." *Wear*, 1999. 231(1):108-115.

-
1. passive
 2. American Society for Testing and Materials (ASTM),
<http://www.astm.org> (accessed December 25, 2015)
 3. CNG
 4. detector or sensor
 5. amplifier
 6. burst
 7. continuous
 8. ring down
 9. threshold
 10. AE rms
 11. AE energy
 12. AE duration time
 13. rise time
 14. decay time
 15. TGSCC
 16. Hit
 17. duration time