

# اندازه‌گیری میزان خوردگی فلزات و آلیاژها با استفاده از اکتیواسیون سطحی

نوشته :

حسین پناهنده ( Ph. D )

استادیار مرکز اتمی دانشگاه تهران

چون میزان خوردگی فلزات و آلیاژها در محیط‌های خوردنده ، اعم از اینکه این خوردگی ناشی از خوردگی‌های شیمیائی ( corrosion ) و یا ناشی از فرسایش مکانیکی ( erosion ) و یا در نتیجه ایجاد حباب‌های بخار یا گاز ناشی از تقلیل فشار موضعی در سیالات ( cavitation ) باشد ، بستگی به عوامل زیادی از قبیل دما و سرعت سیال ، pH محیط ، گرادیان دما در فلز ، ساختمان بلورین و ناخالصی‌های موجود در محیط خوردنده ، میزان اکسیژن محلول در مایع و ده‌ها عامل دیگر دارد ، بنابراین برای اندازه‌گیری میزان خوردگی ناگزیر باید از روش‌های عملی استفاده کرد ، چه از طریق محاسبه نمی‌توان هرگز عوامل فوق و اثرات آنها را بر روی میزان خوردگی در نظر گرفت و به نتیجه مطلوب رسید . از جمله روش‌های عملی برای اندازه‌گیری میزان خوردگی فلزات یا آلیاژها میتوان از روش‌های شیمیائی ، مکانیکی ، رادیوگرافی و در مقیاس وسیع از روش توزین نام برد .

در روش اخیر که شاید متداول‌ترین روش اندازه‌گیری باشد ، قطعه فلز مورد آزمون قبل از قرار گرفتن در معرض یورش جسم خوردنده ، بدقت توزین می‌شود و پس از خورده شدن نیز مجدداً توزین می‌گردد و با این ترتیب مقدار جسم خورده شده به ازاء واحد سطح تماس بدست می‌آید .

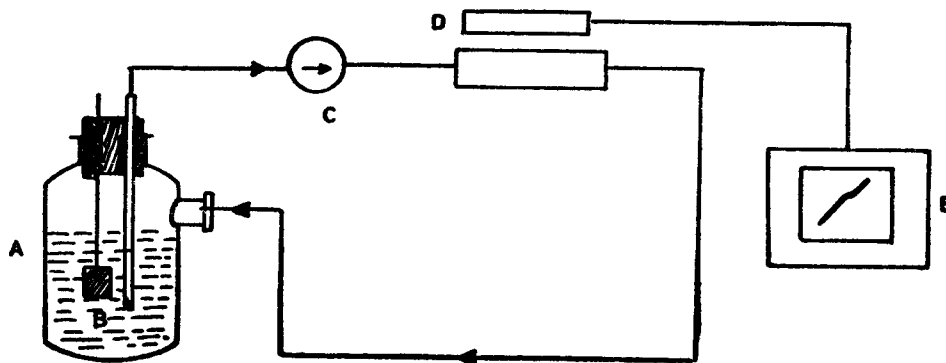
این روش و سایر روش‌های مذکور در بالا اگرچه از نقطه نظر سهولت ، روش‌های مناسبی هستند ولی هیچ یک از آنها این امکان را بدست نمی‌دهد که بتوان چگونگی خوردگی را در حین انجام عمل مطالعه نمود و اثر عوامل مختلف مذکور در بالا و تغییرات آنها را مورد بررسی قرارداد .

روشی که می‌تواند تغییرات میزان خوردگی را نسبت به زمان بدست دهد و ضمناً برای اندازه‌گیری‌های

فوق العاده دقیق نیز مناسب است ، روش اکتیو کردن است . این روش که هم اکنون در اندازه گیری های مشابه دیگر مانند اندازه گیری میزان سایش قطعات متحرک موتورها مورد استعمال دارد (۲) ، اگرچه هنوز در مقیاس صنعتی برای اندازه گیری میزان خوردگی ناشی از یورش های شیمیائی ، الکتروشیمیائی ، مکانیکی و هیدرودینامیکی مورد استفاده قرار نگرفته است ولی انتظار می رود که به دنبال کاربردهای آزمایشگاهی آن (۳) بتواند بزودی جای روش های متداول اندازه گیری میزان خوردگی را اشغال کند . چگونگی این روش در زیر بطور خلاصه توضیح داده خواهد شد :

### روش اکتیو کردن

در این روش جسم مورد آزمون که قبلاً با استفاده از راکتورهای پژوهشی و یا شتاب دهنده ها اکتیو شده است، درمداری که بدین منظور طرح می شود (شکل ۱) ، در معرض اثر یورش مایع خورنده قرار می گیرد، مایع



شکل ۱

مدار بسته آزمایشی جهت اندازه گیری میزان خوردگی

A ظرف آزمایش B نمونه مورد آزمون C پمپ D آشکارساز E ثبات

خورنده بوسیله یک پمپ بطور دائم از جلوی آشکارسازی که برای اندازه گیری شدت اکتیویته مایع درمدار تعبیه شده است ، عبور داده می شود . بدیهی است در ابتداء که هنوز جسم مورد آزمون خورده نشده است ، مقدار اکتیویته ای که آشکارساز نشان میدهد عملاً صفر است که با خورده شدن فلز و یا بعبارت دیگر با جدا شدن اتم های اکتیو از جسم و شناور شدن آنها در مایع ، مقدار آن افزایش می یابد . میزان افزایش اکتیویته در مدار که نسبت به زمان بر روی دستگاه ثبات ثبت می شود با میزان خوردگی فلز در مایع رابطه مستقیم دارد . با استفاده از این روش می توان اثر عوامل مختلف را بر روی میزان خوردگی بطور جداگانه و بدون وابستگی به یکدیگر بدست آورد ، مثلاً در آزمایش بالا می توان اثر دما و pH و یا در آزمایش دیگری که نمونه مورد آزمون به شکل لوله در مسیر جریان مایع قرار می گیرد ، اثر سرعت ، درصد اکسیژن محلول در مایع ، گرادیان دما در دیواره لوله و غیره را اندازه گرفت .

برای اکتیو کردن قطعه مورد آزمون معمولاً از دو روش اکتیو کردن نوترونی و اکتیو کردن سطحی استفاده می‌شود که ذیلاً به هر یک از آنها بطور جداگانه اشاره خواهد شد.

### اکتیو کردن نوترونی Neutron Activation

در این نوع اکتیو کردن، تعدادی از اتم‌های فلز و یا آلیاژ مورد آزمون هنگام تابش دهی در رآکتورهای پژوهشی، یک نوترون جذب می‌کنند و ضمن ساطع کردن پرتوهای  $\gamma$  (به ندرت نیز  $\alpha$  و  $p$ ) به یک عنصر رادیواکتیو تبدیل می‌شوند. در این روش اکتیو کردن، باید تمام عناصر موجود در آلیاژ و یا ایزوتوپ‌های مختلف عنصری که تحت تابش نوترونی قرار می‌گیرد، دقیقاً مورد بررسی قرار گیرد، چه نیمه عمر عنصر رادیواکتیو حاصل از بمباران نوترونی یعنی زمانی که میزان اکتیویته آن به نصف مقدار اولیه تقلیل می‌یابد و همچنین اکتیویته ویژه نمونه مورد آزمون از جمله کمیت‌هایی هستند که باید همواره متناسب با زمان آزمایش و میزان خوردگی جسم باشد. مثلاً اگر نمونه مورد آزمون فولاد نیکل دار باشد، چون در نیکل همیشه از ۱.۰ تا ۰.۳٪ کبالت وجود دارد و کبالت طبیعی نیز از ۰.۹۹۸٪ کبالت  $^{60}\text{Co}$  تشکیل می‌شود، بنابراین با بمباران کردن این نوع فولاد با نوترون،  $^{60}\text{Co}$  رادیواکتیو با نیمه عمر ۳ سال حاصل می‌شود که انرژی‌های  $\gamma$  ساطع شده از آن تا ۱.۲۳ Mev و اکتیویته ویژه آن  $9/9\text{C/g}$  است و یا  $^{55}\text{Mn}$  که عملاً در تمام فولادها وجود دارد، تحت بمباران نوترونی به  $^{56}\text{Mn}$  تبدیل می‌شود که نیمه عمر آن ۲.۶ ساعت،  $\gamma$  ساطع شده از آن تا ۲.۰۶ Mev و اکتیویته ویژه آن  $39\text{C/g}$  است. علاوه بر ایزوتوپ‌های قابل اکتیوشدن از طریق واکنش‌های  $(n, \gamma)$ ، ممکن است تحت شرایطی با تابش دهی بوسیله نوترون‌های سریع، واکنش‌های  $(n, p)$  نیز انجام پذیرد. از جمله این واکنش‌ها، واکنش  $^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$  است که در آن  $^{54}\text{Fe}$  که ۵.۸۲٪ آهن طبیعی را تشکیل می‌دهد با جذب یک نوترون تولید  $^{54}\text{Mn}$  با نیمه عمر ۳.۳ روز می‌کند.

مشابه با این واکنش،  $^{27}\text{Al}$  نیز تحت بمباران نوترون‌های سریع، از یک سوتولید  $^{27}\text{Mg}$  [واکنش  $(n, p)$ ] می‌کند که با نیمه عمر ۳.۳ دقیقه به  $^{28}\text{Si}$  پایدار تبدیل می‌شود و از سوی دیگر  $^{24}\text{Na}$  [واکنش  $(n, \alpha)$ ] تولید می‌کند که نیمه عمر آن ۱۴.۸h است.

با توجه به مثال‌های بالا اهمیت این مسئله روشن می‌شود که رادیوایزوتوپ ناشی از بمباران نوترونی باید نیمه عمری در حدود زمان آزمایش و اکتیویته ویژه‌ای متناسب با حجم مدار بسته آزمایشی و میزان درصد آن در فلز یا آلیاژ مورد آزمون داشته باشد. این روش اکتیو کردن ضمن اینکه اکتیویته ویژه یکنواختی در تمام قسمت‌های جسم تابش داده شده بدست می‌دهد ولی مقدار اکتیویته کل، بویژه در مواردی که قطعه مورد آزمون بزرگ باشد، نسبتاً زیاد است، بطوریکه برای جلوگیری از خطرات ناشی از پرتوها ناگزیر باید احتیاط‌های لازم را بعمل آورد تا کارکنان در معرض مستقیم پرتوها قرار نگیرند.

برای پیش‌گیری از بالا بودن میزان اکتیویته کل، اخیراً برای اکتیو کردن نمونه مورد آزمون از روش دیگری بنام اکتیواسیون سطحی استفاده می‌شود که در زیر بطور اختصار توضیح داده می‌شود:

## اکتیواسیون سطحی Thin - Layer Activation

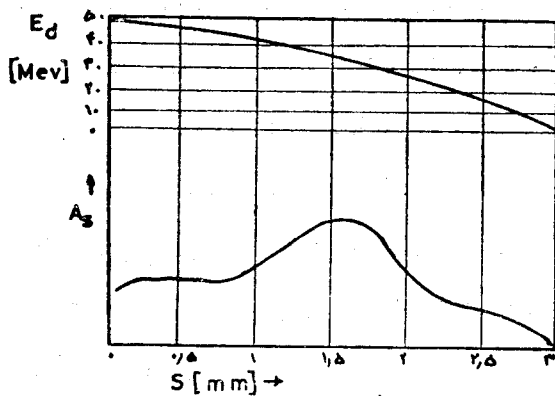
در این نوع اکتیو کردن بجای نوترون - با بار الکتریکی خنثی - از ذرات باردار سنگین مانند ذرات  $\alpha$  و دوترون استفاده می شود، چون ذرات باردار پس از برخورد به جسم مورد اصابت در میدان الکتریکی اتم های آن قرار می گیرد، لذا نمی تواند به مقدار زیاد در جسم نفوذ کند. بدیهی است طول متوسط مسیری که ذرات از لحظه ورود به جسم تا نقطه توقف می پیمایند، بستگی به نوع ذره و انرژی آن و همچنین بستگی به جسم مورد اصابت دارد. جدول ۱ برد متوسط ذرات  $\alpha$ ، پروتون و دوترون با انرژی های مختلف را در فلزات Al، Cu و Pb

### جدول ۱

برد متوسط ذرات باردار در اجسام به  $\mu = 10^{-4} \text{Cm}$

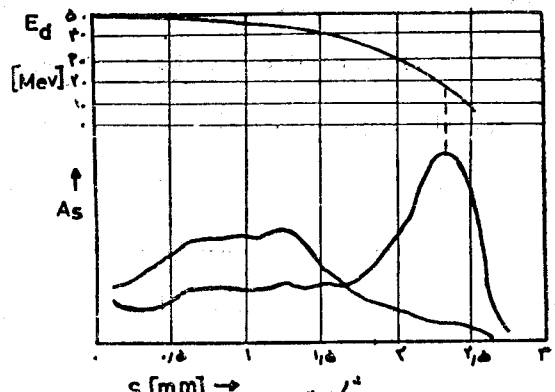
انرژی ذره ( Mev )					جسم تابش داده شده	ذره
۱۰	۵	۲	۱	۰.۵		
۶۲۰	۱۸۰	۳۸	۱۳	۴.۸	Al	پروتون
۲۳۸	۷۷	۱۶	۵	۲	Cu	
۳۰۰	۹۹	۲۲	۷	۲.۴	Pb	
۵۸	۲۰	۵.۵	۳	۱.۸۵	Al	آلفا
۲۴	۷	۲.۱	۰.۹		Cu	
۳۳	۱۱	۳.۳	۱.۷	۱.۱	Pb	
۳۷۰	۱۱۵	۲۵	۷.۸	۲.۶	Al	دوترون
۱۵۱	۵۰	۱۰			Cu	
۲۰۳	۶۳	۱۴			Pb	

نشان میدهد (۱). بدیهی است چنانچه بخواهیم عمق بیشتری از سطح مورد نظر را اکتیو کنیم باید ضمن انتخاب ذره مناسب که بتواند در اثر واکنش هسته ای با اتمهای جسم، عنصر رادیواکتیو مناسبی بدست دهد، انرژی آن را نیز طوری انتخاب کرد که بتواند تا عمق مورد نظر در فلز پیشروی کند. در اکتیو کردن سطحی با استفاده از ذرات باردار برخلاف اکتیو کردن نوترونی، اکتیویته ویژه در تمام عمق یکسان نیست. شکل های ۲ و ۳ به ترتیب اکتیویته ویژه آهن و سرب را نسبت به برد ذره دوترون با انرژی اولیه Mev نشان میدهند (۲). این اکتیویته ها به ترتیب متعلق به رادیوایزوتوپهای  $^{56}\text{Co}$  و  $^{206}\text{Bi}$  است که طبق واکنش های هسته ای زیر با بمباران کردن  $^{56}\text{Fe}$  است که طبق واکنش های هسته ای زیر با بمباران کردن  $^{56}\text{Fe}$  با دوترون حاصل می شود:



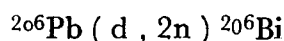
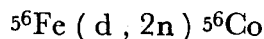
شکل ۳

اکتیویته ویژه سرب و انرژی ذره دوترون  
نسبت به برد ذره  
منحنی مربوط به  $^{206}\text{Bi}$

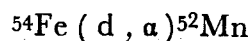


شکل ۲

اکتیویته ویژه آهن و انرژی ذره دوترون  
نسبت به برد ذره  
منحنی بالائی مربوط به  $^{60}\text{Co}$  و منحنی  
پائین مربوط به  $^{52}\text{Mn}$



بدیهی است چون مثلاً آهن طبیعی فقط از  $^{56}\text{Fe}$  تشکیل نمی‌شود بلکه مثلاً  $^{54}\text{Fe}$  آنرا نیز تشکیل میدهد، بنابراین با بمباران کردن آهن طبیعی با دوترون، واکنش‌های دیگری از جمله واکنش هسته‌ای زیر انجام می‌گیرد:



اگر نمودار توزیع اکتیویته ویژه  $^{52}\text{Mn}$  حاصل از آن در شکل ۲ نمایش داده شده است (ع).

آنطور که در شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، اکتیویته ویژه در عمق‌های مختلف از سطح جسم، یکسان نیست و نمودار تغییرات آن پس از گذشتن از یک ماگنیم، مجدداً تقلیل یافته به صفر میرسد. از سوی دیگر در همین شکل‌ها نیز مشاهده می‌شود که هر اکتیویته ویژه متعلق به یک انرژی معینی از ذره است، مثلاً اکتیویته ویژه  $^{56}\text{Co}$  در عمق ۲ تا ۳ میلی‌متر متعلق به انرژی ۱۰ MeV می‌باشد، بعبارت دیگر اگر دوترون با انرژی معادل ۱۰ MeV بر سطح خارجی  $^{59}\text{Fe}$  اصابت کند، اکتیویته ویژه تا عمق ۱ میلی‌متر ماگنیم و یکنواخت است و سپس با سرعت تقلیل می‌یابد و در عمق ۰.۵ میلی‌متر به صفر میرسد. بنابراین برای اکتیو کردن سطحی، مثلاً  $^{56}\text{Fe}$  و بدست آوردن اکتیویته ویژه یکنواخت در عمق ۱ میلی‌متر از سطح خارجی، می‌توان آنرا با دوترون ۱۰ MeV بمباران کرد.

با استفاده از اکتیواسیون سطحی می‌توان اولاً سطح کوچکی از نمونه مورد آزمون را (مثلاً یک سانتیمتر مربع) تا عمق مورد نیاز اکتیو کرد و باین ترتیب از زیاد بودن اکتیویته کل نمونه جلوگیری به عمل آورد، ثانیاً اگر بخواهیم در یک مدار بسته آزمایشی، میزان خوردگی چند فلز یا آلیاژ مختلف را

همزمان اندازه بگیریم می‌توانیم انرژی و نوع ذره‌ای که جسم را با آن بمباران می‌کنیم طوری انتخاب کنیم که رادیوایزوتوپهای حاصل از آنها مختلف بوده و در نتیجه با استفاده از طیف ۲ آنها، میزان هر یک از آنها را در مایع خورنده که متناسب با میزان خوردگی فلزات و یا آلیاژهای مربوطه می‌باشد، بدست آورد. در خاتمه لازم به تذکر است که استفاده از اکتیو کردن برای اندازه‌گیری میزان خوردگی فلزات و آلیاژها وقتی موفقیت‌آمیز خواهد بود که خوردگی همراه با انتقال قشراکسیده به داخل مایع خورنده باشد بعبارت دیگر سرعت جریان سیال باید آنقدر باشد که از تشکیل قشراکسیده کم و بیش چسبنده بر روی فلز جلوگیری نماید.

### منابع

- ۱ - کتاب «شناخت مواد ساختمانی در تکنولوژی هسته‌ای» تألیف ویلفرید اپرشت، ترجمه حسین پناهنده، انتشارات دانشگاه تهران (زیر چاپ)
- 2 - Andreas Gerve and Gustav Katzenmeier «Relationship Between Oil Film Thickness and Wear of Journal Bearings» Society of Automotive Engineers 700717 September 1970
- 3- Harry J. Close and D.B. Hines «Radioactive Tracer Technipue for Laboratory Corrsion Studies» Isotopes and Radiation Technology Valume 7 , Number 4 , 1970.
- 4 - W. Kaiser Die «Anwendung der Dünnschicht - Aktivierung für Verschleiss - messungen an Verbrennungsmotoren. Vortrag Wildbad Januar 1971