

انواع خوردگی و معیارهای تقسیم بندی آن

دهمین کنگره ملی خوردگی طی اریبهاشت ماه جاری برپا شد و در طول روزهای برگزاری آن مباحث متعدد و گوناگونی در این زمینه مورد بررسی و بحث قرار گرفت. اهمیت روزافزون نقش دانش خوردگی در بهبود حفظ تاسیسات صنعتی و کاهش خطرات ناشی از آن، ضرورت آشنایی با مسایل پایه ای خوردگی را برای طیف های گوناگون دست اندرکاران صنعتی دو چندان می سازد.

مقاله ای که پیش رو دارید شرح مختصری است از انواع خوردگی و شاخص های گوناگون تقسیم بندی این پدیده که توسط مهندس نساء فرشته صنیعی یکی از کارشناسان مهندسی مواد از مراجع مختلف، جمع آوری و تدوین شده و در بیست و هفتمین شماره مجله زنگ ارایه شده است.

در طول سالیان گذشته، مهندسان و دانشمندان خوردگی دریافته اند که خوردگی در انواع گوناگونی که شباهتهای معینی به یکدیگر دارند و به گروههای مشخصی تقسیم شده اند، ظاهر می شود که بسیاری از آنها منحصر بفرد نیستند، ولی ساز و کارشان از نظر ویژگیها، شباهتهای زیادی دارند.

رایج ترین و آشناترین دسته بندی انواع خوردگی توسط فونتا و گرین ارایه شده است. اساس این طبقه بندی، شکل ظاهری فلز خورده شده است. در این تقسیم بندی هشت نوع خوردگی به شرح زیر به عنوان مهمترین انواع خوردگی برشمرده شده اند:

خوردگی یکنواخت: این نوع خوردگی به عنوان نوعی از خوردگی که به صورت یکنواخت از ضخامت ماده کم می کند تعریف شده است. برخی از انواع خوردگی ممکن است تحت تأثیر سازو کارهای دیگری اتفاق افتد، اما چون منجر به کم شدن ضخامت می شود، می توان آن را تحت عنوان خوردگی یکنواخت مطرح کرد.

خوردگی شیاری: این نوع خوردگی در بیشتر مواقع در شیارهایی که در معرض محیط خورنده قرار دارند منجر به خوردگی موضعی شدیدی می شود و معمولاً همراه با حجم های کوچک محلولها یا مایعاتی که در اثر وجود سوراخ، سطوح و اشهرها، محل رویهم قرار گرفتن دو فلز، رسوبات سطحی و شیارهای زیر پیچ، مهره ها و میخ پرچ ها ساکن شده اند یا به اصطلاح حالت مرده پیدا کرده اند، ایجاد می شود.

خوردگی دوفلزی (گالوانیک): زمانی که دو فلز غیر همجنس که در تماس الکتریکی با یکدیگر هستند، در معرض یک محلول هادی قرار می گیرند، فلز مقاومتر خورده نمی شود، اما آهنگ خوردگی فلز فعالتر که مقاومت خوردگی کمتری دارد، افزایش می یابد. به علت

وجود جریان های الکتریکی بین فلزات غیرهمجنس، این نوع خوردگی، گالوانیک یا دو فلزی نامیده می شود.

خوردگی بین دانه ای: در این نوع خوردگی مرز دانه نسبت به خود دانه از سطح انرژی بالاتری برخوردار بوده و در نتیجه از نظر شیمیایی فعال تر و نسبت به خوردگی حساستر است. خوردگی موضعی و متمرکز در مرز دانه ها یا نواحی نزدیک به آنها در حالیکه خود دانه ها اصلاً خورده نشده اند یا اینکه کم خورده شده اند، را خوردگی بین دانه ای می نامند.

جدایش انتخابی: جدایش انتخابی نوعی خوردگی است که در آن عناصر خاصی از آلیاژ، حل شده و از آن جدا می شوند. روی، آلومینیوم، کبالت، نیکل و کروم از معمولترین عناصری هستند که به این طریق از آلیاژ جدا می شوند.

خوردگی سایشی: خوردگی سایشی عبارتست از افزایش سرعت خوردگی یا از بین رفتن یک فلز در اثر حرکت نسبی بین یک مایع خورنده و سطح فلز. در این فرایند یونهای فلزی حل شده روی سطح فلز، در اثر حرکت سیال روی سطح باقی نمانده و یا محصولات جامد حاصل از خوردگی از سطح فلز به طریق مکانیکی جدا می شوند.

خوردگی توأم با تنش: این پدیده عبارت است از ترک خوردن در اثر خوردگی توأم با تنش که نتیجه اعمال همزمان تنشهای کششی و محیط خورنده روی فلز است. در این شرایط ترک های ریزی که ناشی از فرایندهای خوردگی موضعی هستند، به داخل فلز یا آلیاژ پیشرفت می کنند.

خسارات هیدروژنی: خسارات هیدروژنی یک اصطلاح کلی است که دلالت بر خسارت مکانیکی وارد شده به فلز در اثر وجود یا واکنش با هیدروژن دارد که خود به چهار گروه تاول زدن هیدروژنی، تردی هیدروژنی، و خوردگی هیدروژنی تقسیم بندی می شود. این طبقه بندی بر مبنای شکل ظاهری حمله عوامل خورنده به سطح فلز صورت پذیرفته است.

لازم به یادآوری است که تعیین مرز مشخصی بین انواع خوردگی امکان پذیر نیست، زیرا تعداد زیادی از انواع خوردگی با هم فصل مشترک دارند.

به همین دلیل شماری از مؤلفان برجسته همچون یولیگ و اوانس از به کار بردن یک قالب طبقه بندی شده بخصوص اجتناب کرده اند و فقط به صورت کاملاً ساده انواع کلاسیک خوردگی را با توجه به فلز یا آلیاژ بخصوص مربوط بررسی کرده اند. به عنوان نمونه، یولیگ در کتاب مرجع خود انواع مختلف خوردگی را چنین برشمرده است:

- خوردگی دو فلزی

- خوردگی موضعی

- خوردگی توأم با تنش

- ترک ناشی از هیدروژن و ترک توأم با تنش در حضور سولفور: ترک خوردگی ناشی از هیدروژن نوعی از ترک است که توسط اتم های هیدروژن که به داخل فولاد نفوذ کرده و در داخل ساختار فلز ترکیب شده و مولکول های هیدروژن تشکیل داده اند، ایجاد می شود. ترک ناشی از سولفور یکی از انواع ترک ناشی از تردی هیدروژن سولفور، توأم با تنش کششی بوجود می آید.

- خوردگی توأم با خستگی: خستگی عبارت است از تمایل فلز به شکست در اثر تنش های متناوب، خوردگی خستگی، تقلیل مقاومت خستگی فلز، در اثر وجود محیط خورنده ایجاد می شود.

- خوردگی سایشی

- خوردگی ناشی از جریان: یک تفاوت بسیار روشن میان خوردگی ناشی از جریان و سایش مکانیکی وجود دارد. خوردگی ناشی از جریان در نتیجه شدت آشفتگی سیال و انتقال جرم ناشی از جریان سیال روی یک سطح به وجود آمده و تشدید می شود، در حالیکه سایش مکانیکی بوسیله برخورد فیزیکی سیال به عنوان فاز دوم با سطح به وجود می آید.

- خوردگی اتمسفری: این نوع خوردگی عمدتاً به خاطر رطوبت و اکسیژن است ولی بوسیله ناخالصی هایی نظیر ترکیبات گوگردی و نمک طعام حادث می شود.

- خوردگی در خاک: عوامل مؤثر بر خوردگی خاکها عبارتند از: رطوبت، قلیایی بودن، اسیدیته، قابلیت نفوذ آب و هوا، نمکها، جریانهای سرگردان و اکسیژن.

- خوردگی بیولوژیکی: از بین رفتن یا انهدام یک فلز بوسیله فرآیندهای خوردگی که به طور مستقیم یا غیر مستقیم، نتیجه فعالیت موجودات جاندار باشد را در گروه خوردگی بیولوژیکی دسته بندی کرده اند. این موجودات شامل انواع میکروسکوپی مثل باکتری ها و انواع ماکروسکوپی مثل جلبک ها و جانوران دریایی دیگر هستند.

از میان دیگر انواع مهم خوردگی- بدون ارایه تقسیم بندی مشخص و گروه بندی معین آنها- می توان به خوردگی های زیر اشاره کرد.

- خوردگی یکنواخت

- خوردگی دوفلزی

- خوردگی توسط اکسیژن

- خوردگی بین دانه ای

- خوردگی انتخابی

- **خوردگی حبابی:** این نوع خوردگی نوعی خوردگی سایشی موضعی است که در اثر ترکیدن مکرر حبابهای بخار و به دنبال آن خسارت الکتروشیمیایی و تخریب موضعی سطح ایجاد می شود و معمولاً در منطقه صدمه دیده متمرکز می شود. خوردگی حبابی در مواردی مانند محل هایی که جریان آشفته مایع وجود دارد (برای مثال در نزدیکی پروانه کشتی ها و در پرده های پمپ های آب) رخ می دهد.

- خسارات هیدروژنی

- خوردگی توام با تنش

- خوردگی میکروبی

همانطور که ملاحظه می شود محققان و پژوهشگران مختلف، انواع مختلفی از خوردگی را به عنوان ساز و کارهای با اهمیت تر خوردگی معرفی کرده اند. چنانچه مشاهده شد، نحوه طبقه بندی انواع خوردگی توسط شماری از مؤلفان از به کار بردن یک طبقه بندی خاص اجتناب کرده و فقط به صورت ساده انواع خوردگی را بررسی کرده اند .

هر چند در برخی از مراجع تقسیم بندی انواع خوردگی بصورت بالا ارایه شده و بجای گروه بندی انواع خوردگی، تنها به معرفی ساز و کارهای مهم پرداخته شده است، برخی از محققان و نویسندگان سعی کرده اند تا ساز و کارهای گوناگون خوردگی را با توجه به شاخص های مختلف، تقسیم بندی کنند. یکی از مهمترین و معتبرترین مراجع علم خوردگی که چنین راهبردی را انتخاب کرده، کتاب مرجع خوردگی از انتشارات ASM است . در این کتاب مرجع، سازوکارهای مختلف خوردگی براساس منشاء و ظاهر آنها به پنج دسته اصلی به قرار زیر گروه بندی شده اند:

خوردگی یکنواخت: در این نوع خوردگی شامل خوردگی اتمسفری، خوردگی دوفلزی، خوردگی ناشی از جریانهای سرگردان، خوردگی یکنواخت در اثر فعالیت موجودات جاندار، خوردگی در نمک مذاب، خوردگی ناشی از فلز مذاب و خوردگی در درجه حرارت های بالا می شود.

خوردگی موضعی: که شامل خوردگی فیلامنتی، خوردگی شیار، خوردگی حفره ای و خوردگی موضعی در اثر فعالیت موجودات جاندار است.

خوردگی ناشی از عوامل متالورژیکی: شامل خوردگی مرزدانه ای، جدایش انتخابی یا آلیاژ زدایی و خوردگی شیار در فولاد کربنی است. خوردگی ناشی از عوامل مکانیکی: که شامل فرسایش، خوردگی مالشی یا اصطکاکی، خوردگی حبابی و برخورد قطرات آب،

خوردگی خستگی، خوردگی توأم با تنش، خسارات هیدروژنی و تردی در اثر تماس با فلز مذاب است .

خوردگی ناشی از عوامل محیطی: شامل خوردگی توأم با تنش، خسارات هیدروژنی، تردی در اثر تماس با فلز مذاب و ترک خوردن ناشی از فلز جامد است.

این تقسیم بندی با کمی تفاوت در گروه های اصلی، در استاندارد API Rp571 که مختص ساز و کارهای خوردگی در صنایع تصفیه نفت خام است نیز تکرار شده است: ساز و کارهای مکانیکی و متالورژیکی شکست شامل خوردگی فرسایشی و خسارت حبابی است.

- خوردگی یکنواخت یا موضعی: شامل خوردگی دوفلزی، خوردگی اتمسفری، خوردگی زیر مواد عایق، خوردگی ناشی از آب سردکننده، خوردگی ناشی از آب کندانس دیگ بخار، خوردگی ناشی از کربن دی اکسید، خوردگی زیر نقطه ای شبلم، خوردگی میکروبی، خوردگی در خاک، خوردگی قلیایی، جدایش انتخابی و خوردگی گرافیتی است. **خوردگی در درجه حرارت های بالا :** شامل اکسیداسیون، اکسیداسیون توسط گوگرد، جذب کربن توسط فلز در دماهای بالا، از دست دادن کربن، پودر شدن فلز، خوردگی خاکستر سوخت و جذب اتم نیتروژن توسط فلز می شود.

ترک خوردگی ناشی از محیط : که شامل خوردگی توأم با تنش در حضور کلراید، خوردگی خستگی، خوردگی توأم با تنش در محیط قلیایی، خوردگی توأم با تنش در حضور آمونیاک، تردی یا ترک خوردن در اثر تماس با فلز مذاب و تردی هیدروژنی است.

در این تقسیم بندی ها، انواع خوردگی از نظر شکل ظاهری و همچنین منشاء بروز آن گروه بندی شده اند. علاوه بر گروه بندی های یاد شده، برخی از پژوهشگران، شاخصها و معیارهای دیگری را برای تقسیم بندی انواع خوردگی مدنظر قرار داده و با نگاه به این مسئله از زاویه ای متفاوت، گروه بندیهای دیگری را ارایه کرده اند. برای نمونه، خوردگی را می توان از نظر محیطی که در آن اتفاق می افتد، به خوردگی در محیط خشک و خوردگی در محیط تر تقسیم بندی کرد. انواع مختلفی از ساز و کارهای خوردگی که در این دو گروه عمده جای می گیرند را می توان به صورت زیر برشمرد:

ساز و کارهای مختلف خوردگی در محیط مطلوب: شامل خوردگی دوفلزی، خوردگی انتخابی، خوردگی حفره ای و شکافی، پیلهای غلظتی، خوردگی مرزدانه ای، خوردگی بین دانه ای، جدایش انتخابی، خوردگی سایشی (سرعت تلاطم و برخورد، خوردگی حبابی)، خوردگی تنشی شکافی (تمرکز تنش، خستگی، ترک برداشتن محیطی) می شود.

ساز و کارهای مختلف خوردگی در محیط خشک شامل اکسیداسیون در دمای بالا و خوردگی در درجه حرارت بالا می شود که (خوردگی در درجه حرارت بالا خود به 3 دسته مختلف تقسیم شده است: دمای پایین (دمای کمتر از 180 درجه سلسیوس که سبب خوردگی داغ در مسیر خروجی از دیگ بخار می شود)، دمای متوسط (دمای حدود 600-500 درجه سلسیوس که دمای گازهای محفظه احتراق است و سبب خوردگی لوله های سوپرهیتر دیگ های بخار در سمت آتش می شود)، دمای بالا (دمای حدود 1200 درجه سلسیوس که سبب خوردگی سوپر آلیاژهای پره توربین های گازی می شود) علاوه بر این گروه بندی ها، نوع متفاوتی از تقسیم بندی خوردگی، تقسیم بندی برپایه تجهیزات مورد نیاز برای ارزیابی و شناسایی خوردگی است.

بر این اساس، خوردگی به چند گروه عمده زیر تقسیم بندی شده است:

- خوردگی های قابل شناسایی توسط بازرسی معمولی با چشم غیر مسلح مثل: خوردگی یکنواخت، خوردگی حفره ای و خوردگی دوفلزی.
- خوردگی هایی که ممکن است برای شناسایی به ابزار تکمیلی احتیاج داشته باشند مثل: خوردگی فرسایشی، خوردگی حبابی و خوردگی مرزدانه ای.
- خوردگی هایی که برای بازرسی احتیاج به بررسیهای دقیق تر با میکروسکوپ (نوری یا الکترونی) دارند مثل: پوسته پوسته شدن، جدایش انتخابی، خوردگی توأم با تنش و خوردگی خستگی.

همانگونه که در این مقاله ملاحظه شد تقسیم بندی های مختلفی برای انواع ساز و کارهای خوردگی ارایه شده است که هر یک از زاویه ای خاص و با دیدگاهی متفاوت موضوع را مورد بررسی قرار می دهد. هدف از این مقاله تایید یا مردود دانستن یک تقسیم بندی مشخص نیست و سعی شده است تا دیدگاههای مختلف در این زمینه مطرح شود.

منابع در دفتر مجله موجود است.