

مروری بر خوردگی آلومینیوم :

خوردگی ( Corrosion ) :

خوردگی اصطلاحی است که به فساد فلزات از طریق ترکیب فلز با اکسیژن و سایر مواد شیمیایی انجام می شود.

زنگ زدن ( Rusting ) :

زنگ زدن فقط در مورد اکسید شدن آهن و آلیاژهای آهنی در هوای خشک یا مرطوب به کار می رود که محصول خوردگی از جنس هیدرات فریک یا اکسید فریک است .

اکسید شدن ساده فلزات سبک :

این فلزات شامل فلزات قلیایی و قلیایی خاکی هستند که وقتی اکسید شوند حجم قشر اکسید تشکیل شده متخلخل بوده و مانعی جهت نفوذ اکسیژن به داخل قشر اکسید نیست و اکسید خاصیت چسبندگی به فلز ندارد. به طور خاص سدیم و پتاسیم در حرارت های عادی و متعارفی میل ترکیبی شدیدی با اکسیژن دارند ولی در درجات حرارت خیلی کم اکسید شدن به تاخیر می افتد و اکسید تشکیل شده در این حالت خاصیت چسبندگی دارد.

آلومینیوم و آلیاژهای آن :

آلومینیوم ، فلزی نرم و سبک ، اما قوی است، با ظاهری نقره‌ای - خاکستری، مات و لایه نازک اکسیداسیون که در اثر برخورد با هوا در سطح آن تشکیل می‌شود، از زنگ خوردگی بیشتر جلوگیری می‌کند. وزن آلومینیوم تقریباً یک سوم فولاد یا مس است . چکش خوار ، انعطاف پذیر و به راحتی خم می‌شود. همچنین بسیار بادوام و مقاوم در برابر زنگ خوردگی است. بعلاوه ، این عنصر غیر مغناطیسی ، بدون جرقه ، دومین فلز چکش خوار و ششمین فلز انعطاف‌پذیر است.

#### خواص فیزیکی

حالت ماده	جامد
نقطه ذوب	۹۳۳,۴۷ K (۱۲۲۰,۵۸ °F)
نقطه جوش	۲۷۹۲ K (۴۵۶۶ °F)
گرمای تبخیر	۲۹۳,۴ kJ/mol
گرمای هم جوشی	۱۰,۷۹ kJ/mol
فشار بخار	۲,۴۲ E-۰۶ Pa at _ K
سرعت صوت	۵۱۰۰ m/s at ۹۳۳ K

خواص اتمی	
۲۶,۹۸۱۵۳۸ amu	وزن اتمی
۱۲۵ (۱۱۸) pm	شعاع اتمی (calc)
۱۱۸ pm	شعاع کووالانسی
اطلاعات موجود نیست	شعاع وندروالس
$[\text{Ne}] 3s^2 3p^1$	ساختار الکترونی
۲, ۸, ۳	e-بازای هر سطح انرژی
۳ (آمفوتریک)	درجه اکسیداسیون اکسید
مکعبی (face centered)	ساختار کریستالی

آلومینیوم از جمله جدیدترین مصالح ساختمانی است که در آغاز قرن ۲۰ یک فلز نسبتاً کمیاب بود و این روزها از متداولترین فلزات است که به صورت آلیاژی و غیر آلیاژی به کار می رود .

#### ویژگی های عمومی خوردگی :

آلومینیوم یک فلز پست ( فعال ) است که با محیط اطراف میل ترکیبی شدیدی دارد . یعنی سطح آلومینیوم در معرض هوا به سرعت از یک لایه نازک اکسید آلومینیوم حدود ۰,۰۱ میکرومتر پوشیده می شود که فلز را از حمله بعدی خوردگی محافظت می کند . معادله زیر به معادله لگاریتمی معکوس معروف است که در مورد خوردگی و اکسید شدن فلزاتی نظیر آلومینیوم به کار می رود :

$$1/y = 1/y_0 - k_9 (\ln[a(t-t_0)+1])$$

y : ضخامت قشر اکسید در بدو آزمایش

t : زمان آزمایش در بدو شروع

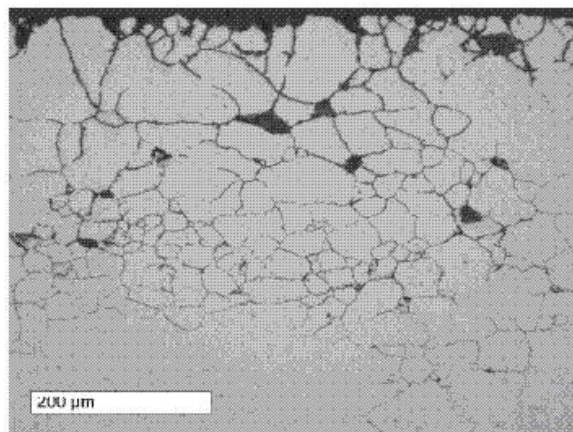
k<sub>9</sub> : ثابت

این معادله در مورد اکسید شدن آلومینیوم در درجه حرارت معمولی و اکسیژن خشک صادق است . هم چنین در این فلز و در فلز زیرکونیوم رشد فیلم به روش اکسید شدن آنودیک از این معادله پیروی می کند . وقتی آلومینیوم در مجاورت اکسیژن خالص و خشک قرار می گیرد بین اکسیژن و آلومینیوم یک نوع پیل الکتریکی موضعی تشکیل می شود که سبب رشد فیلم می شود .

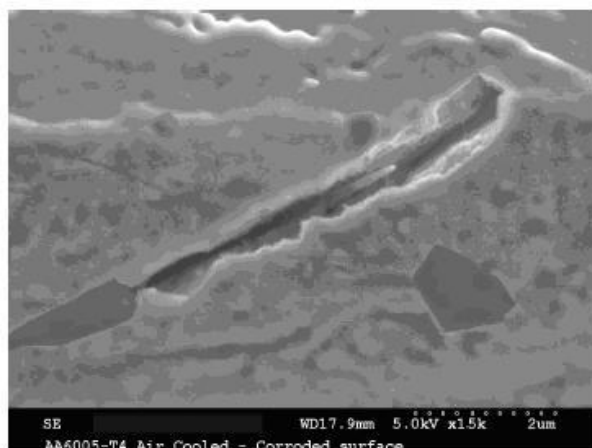
#### خوردگی یکنواخت :

خوردگی یکنواخت فلز آلومینیوم در فضای باز معمولاً قابل اغماض است . محلول های دارای PH خارج از دامنه اثر ناپذیری در نمودار پتانسیل PH سبب خوردگی مواد ساخته شده از آلومینیوم می شوند. ملاط تازه تهیه شده هم قلیایی است و لذا خورنده آلومینیوم است از این رو برای اجتناب از گسترش مناطق حک شده

در سطح فلز باید مراقبت شود که از پخش شدن ملاط جلوگیری شود. سطوح آلومینیومی که در تماس با بتون تازه هستند حتما در آغاز زدوده می شوند ولی به زودی با تشکیل اندود آلومینات کلسیم بر روی آن ها از خوردگی بعدی جلوگیری می شود.



Short transverse cross section showing IGC attacks on a AA6005 aluminium alloy exposed in acidic NaCl solution.



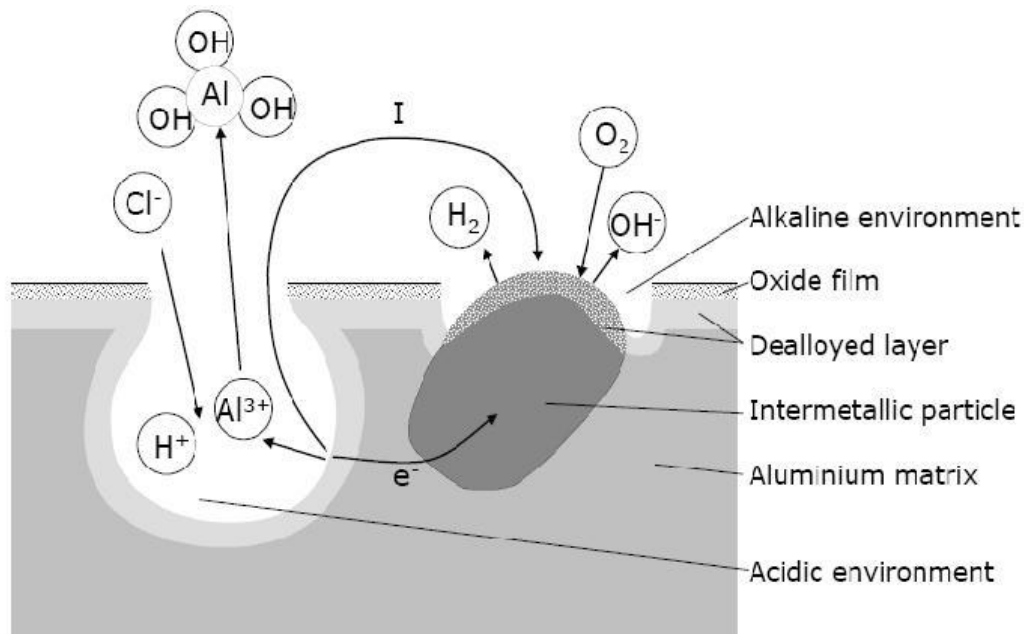
SEM image of IGC attack on a AA6005 aluminium alloy exposed in acidic NaCl solution. A noble particle remains in the grain boundary zone.

### تشکیل حفره :

در اتمسفرهای باز آلوده ، حفره های کوچکی تشکیل می شوند که با چشم قابل رویت نیستند . روی این حفره ها جرم های کوچک محصولات خوردگی معمولا اکسید آلومینیوم و هیدروکسید آلومینیوم هستند ، تشکیل می شوند . حفره های کم عمق معمولا اثر چندانی بر استحکام مکانیکی ساختمان ها ندارند ، با این وجود جلای درخشان فلز به تدریج از بین می رود و به جای آن اندود خاکستری - زنگاری محصولات خوردگی ظاهر می شود. اگر اتمسفر حاوی دوده فراوان باشد دوده توسط محصولات خوردگی جذب و رنگ زنگاری تیره ایجاد می شود .

اگر آلومینیوم به طور دائم در معرض آب قرار گیرد حفره دار شدن آن خیلی جدی خواهد بود . به خصوص اگر آب راکد باشد حضور اکسیژن و کلرید و یا یون های دیگر هالید ها تعیین کننده وجود حمله و شدت

حمله خواهد بود. اگر یون های  $\text{HCO}_3^-$  و  $\text{Cu}^{2+}$  وجود داشته باشند خطر حفره دار بودن بیشتر خواهد بود البته مشروط بر این که پتانسیل تشکیل حفره بالا رود. بیرون حفره واکنش کاتدی انجام می گیرد که کنترل کننده سرعت تشکیل حفره است.



### خوردگی دو فلزی :

چون آلومینیوم یک فلز پست است خطر خوردگی دو فلزی در تماس مستقیم آن با یک فلز نجیب تر مثل فولاد وجود دارد. ولی شرط وقوع حمله، حضور یک الکترولیت در نقطه تماس است. لذا خوردگی دو فلزی در فضای بسته خشک به وجود نمی آید و خطر حمله خوردگی دو فلزی در اتمسفر باز وجود دارد. البته این نوع خوردگی روی سطحی که با دوده آلوده شده باشد هم پیش می آید.

### خوردگی شکافی:

نوعی خوردگی شکافی در آلومینیوم در حضور آب پیش می آید نتیجه این خوردگی شکافی می تواند تشکیل اکسید آلومینیوم باشد که به صورت لکه های آب سبب بی رنگ شدن سطح می شود. زدودن لکه هاب آب دشوار و احتمالا غیر ممکن است.

### خوردگی لایه ای :

خوردگی لایه ای که به خوردگی پوسته شدن هم معروف است بیشتر به موادی که غلتک می خورند یا روزن ران می شوند از نوع  $\text{AlCuMg}$  و  $\text{AlZnMg}$  محدود می شود. مکان حمله در لایه های موازی نازک در جهت حرکت به جلو بوده است و سبب می شود که رویه های فلزی که مورد حمله قرار گرفته اند از هم جدا شده و یا تاول هایی بر سطح فلز ایجاد شود. خوردگی لایه ای با قرار گرفتن فلز در آب راکد و یا اتمسفر دریایی هم به وجود می آید و مقاومت در برابر خوردگی لایه ای هم از روی عملیات پیر سازی تعیین می شود.

یکی دیگر از خواص مشخصه آلیاژهای آلومینیوم مقاومت در مقابل خوردگی است. آلومینیوم خالص وقتی که در هوا قرار گیرد بلافاصله با یک لایه چسبنده اکسید آلومینیومی پوشیده می‌شود، این لایه پوششی، مانع خوردگی می‌گردد. اگر در اثر سائیدگی این لایه کنده شود بلافاصله دوباره تشکیل می‌گردد. ضخامت این لایه نازک طبیعی در حدود  $0.25/0$  میکرون (یک میکرون = یک هزارم میلی‌متر) است، با این وجود بقدری محکم است که مانع موثری در مقابل اغلب مواد خورنده محسوب می‌گردد.

البته برخی از آلیاژهای خاص آلومینیوم نسبت به دیگران مقاومتر است. برای مثال گروه آلیاژهای Al-mg مخصوصاً در مقابل هوا و آب دریا مقاوم است. از طرف دیگر آلیاژهای آلومینیوم حاوی مس یا روی از نظر مقاومت خوردگی ضعیف‌تر و از نظر استحکام مکانیکی قویتر می‌باشد.

**روش های زیر در جلوگیری از خوردگی به کار می رود :**

### **حفاظت کاتدی:**

مصالح آلومینیوم غوطه ور در آب را می توان به روش حفاظت کاتدی در مقابل تشکیل حفره حفظ کرد. برای این کار پتانسیل الکترودی را تا مقدار زیر پتانسیل تشکیل حفره جسم در محیط مورد نظر پایین می آورند، با وجود این گاز هیدروژن می تواند در کاتد تشکیل شود که نتیجه آن بالا رفتن مقدار PH است . هرگاه PH بسیار بالا رود آلومینیوم احتمالاً مورد حمله قرار می گیرد لذا از حفاظت اضافی آن باید اجتناب کرد.

### **آندی کردن :**

لایه اکسید تشکیل شده در سطح آلومینیوم در معرض هوا از خصلت حفاظتی خوبی برخوردار است اما این لایه اکسید را می توان با برقکافت ضخیم تر کرد . این کار را آندی کردن می گویند و اکسیدی که به این ترتیب تشکیل می شود اندود اکسید آندی نامیده می شود . با آندی کردن فلز مقاومت در برابر خوردگی افزایش می یابد ضمن اینکه سطح با قرار گرفتن در فضای باز ظاهر جدیدی پیدا خواهد کرد . در موقع آندی کردن آلومینیوم شی فلزی اند پیل الکترولیتی را تشکیل می دهد . اندود اکسید آندی که طی برقکافت ایجاد می شود شامل یک لایه فشرده به صورت سد در نزدیک سطح فلز و لایه دیگری با منافذ ریز بر روی آن است .

### **رنگ کاری :**

مصالح آلومینیومی را برای فضای باز مثل ساختمان ها نیاز به رنگ مقاوم به خوردگی ندارند . خوردگی اتمسفری ان قدر شدید نیست که بر مقاومت ساختمان اثر گذارد . در هر حال رنگ کردن آلومینیوم بیشتر به منظور زیبا سازی انجام می شود.

اگر مقاومت طبیعی آلومینیوم برای بعضی از محیطها کافی نباشد در آن صورت روش هایی وجود دارد که بتوان مقاومت آن را افزایش داد. برخی از این روشها عبارتند از: پوشش دادن با آلومینیم ، آندایزه کردن یا آبکاری ، پوشش سخت دادن ومحافظت کاتدی .

## پوشش آلومینیومی دادن Alcladding :

بطور کلی آلیاژهای آلومینیوم با استحکام زیاد از نظر خوردگی کم مقاومترین آنها محسوب می‌گردند. این مطلب بخصوص در مورد آلیاژهای حاوی درصدهای زیاد مس یا روی صادق است. از طرف دیگر مقاومت به خوردگی آلومینیوم خالص بسیار زیاد است. پوشش آلومینیومی دادن یکی از روش‌های افزایش مقاومت خوردگی به یک آلیاژ با استحکام زیاد است. در این فرآیند یک لایه آلومینیوم خالص به سطح آلیاژ مورد نظر متصل شده و در نتیجه در مجموعه خواص مورد نظر حاصل می‌شود. این روش مخصوصاً در محصولات ورقه‌ای مناسب است.

## آندایزه کردن (آبکاری) Anodizing :

در این روش از مقاومت زیاد در مقابل خوردگی لایه پوششی که بلافاصله بر روی سطح آلومینیوم تازه بریده شده تشکیل می‌گردد استفاده می‌شود. همانگونه که قبلاً ذکر گردید این لایه عامل مقاومت به خوردگی طبیعی این فلز است. آندایزه کردن در واقع یک نوع ضخیم کردن لایه اکسیدی به ضخامت تا چندین هزار برابر ضخامت لایه اکسید طبیعی است. نتیجه عمل، لایه‌ای است سخت با ضخامت حدود ۲۵/۵ میکرون بر تمام سطح آلومینیوم که علاوه بر مقاومت به خوردگی در مقابل سایش نیز استحکام کافی دارد. آندایزه کردن یک روش الکتریکی است که انواع مختلف آن اساساً از نظر محلولی که فلز در آن مورد عمل قرار می‌گیرد و ضخامت لایه اکسیدی حاصل، فرق می‌نماید. از این طریق پوشش دادن علاوه بر حفاظت سطحی گاهی به منظور تزئینی نیز استفاده می‌گردد اگر فلز آندایزه شده را با انواع رنگهای مختلف پوشش دهند رنگ حاصل تقریباً بصورت قسمتی از اکسید سطحی بدست می‌آید.

تاول زدن سطح قطعات آلومینیمی در هنگام عملیات حرارتی :

عواقب نفوذ هیدروژن بداخل مذاب از طریق واکنش سطحی مذاب با بخار آب در ریخته‌گری کاملاً مشخص است. یک چنین واکنشی ممکن است در خلال عملیات حرارتی انحلال نیز با آلومینیوم جامد انجام گیرد که منجر به جذب اتم‌های هیدروژن شود. این اتم‌ها می‌توانند در حفره‌های داخلی با هم ترکیب شده و تشکیل مجموعه‌های گاز ملکولی دهند. در اثر حرارت دادن ماده فشار گازی موضعی ایجاد می‌شود و با توجه به اینکه در این دماهای بالا فلز دارای پلاستیسیته نسبتاً زیادی است این امر منجر به تشکیل تاولهای غیر قابل جبران سطحی می‌گردد.

تاولهای ایجاد شده بر سطح قطعات آلیاژ آلومینیومی عملیات حرارتی شده در محیط مرطوب حفره‌های داخلی که این تاولها در آنجا ایجاد می‌شوند از تخلخل‌های اولیه شمش که از بین نرفته‌اند ترکیبات بین‌فلزی که در خلال تغییر شکل ترک خورده‌اند و احتمالاً خوشه‌های مکانهای خالی اتمی در شبکه که ممکن است در اثر حل شدن رسوبات یا ترکیبات حاصل شده باشند ناشی می‌شوند. در این گونه موارد وجود تاولی که باعث خرابی ظاهر سطحی قطعه می‌گردد ممکن است تاثیر بر روی خواص مکانیکی قطعات

بگذارد. در هر حال بیش از حد گرم کردن قطعه منجر به تاول زدن می گردد زیرا هیدروژن به آسانی می تواند توسط مناطق ذوب شده جذب گردد که در این صورت مساله جدی تر می شود و باعث مردود شدن قطعه کار می گردد.

از آنجائی که حذف کامل حفره های داخلی در محصولات کار شده مشکل است ، لازم است مقدار بخار آب موجود در محیط کوره را به حداقل رسانید. اگر این امر امکان پذیر نباشد در آن صورت ورود یک نمک فلورایدی بداخل کوره در خلال عملیات حرارتی قطعات حساس می تواند از طریق کاهش واکنش سطحی قطعه با بخار آب مفید واقع شود.

#### منابع :

- (۱) مبانی تکنولوژی خوردگی / اینار ماتسون / ترجمه عسگر هورفر
- (۲) خوردگی فلزات و جلوگیری از آن / مهندس محمد تقی علیزاده طوسی
- (۳) اینترنت

h.Daneshmandi

