

فصل (۷)

اسیدهای معدنی

اکثر مسائل حاد خوردگی در عمل شامل اسیدهای معدنی یا مشتقات آنها می باشند. در این فصل نحوه تولید، مصارف و اثرات اسیدسولفوریک، نیتریک، هیدروکلریک، هیدروفلوئوریک و فسفریک مورد بحث قرار می گیرد.

استفاده وسیع این اسیدها باعث می شود که از نظر هزینه و تخریب ناشی از خوردگی در موقعیت مهمی قرار بگیرند. دربرخی موارد با افزایش غلظت اسید خوردگی افزایش و در بعضی دیگر تقلیل می یابد. به همین دلیل داشتن تصویر خوبی از خوردگی بوسیله این اسیدها اهمیت دارد. اسیدسولفوریک، نیتریک و هیدروکلریک سه تا از مهمترین اسیدهای معدنی هستند. (اسیدهای سولفوریک و سولفامیک از نظر رفتار خوردگی تقریباً مشابه هستند).

اسیدسولفوریک

مقدار تولید اسیدسولفوریک در دنیا بیش از مقدار تولید هر ماده شیمیائی دیگر است. تقریباً در تمام صنایع، بطور مستقیم یا غیر مستقیم به کار برده می شود و یک کالای ضروری در اقتصاد ملی ماست. مقدار مصرف اسیدسولفوریک، مثل تولید فولاد یا برق، نشان دهنده وضعیت اقتصادی یک کشور است. کاربردهای اصلی اسیدسولفوریک مشتمل است بر: تولید اسید کلریدریک، تولید سایر مواد شیمیائی و مشتقات آنها، اسیدشویی فولاد و فلزات دیگر، تولید کود شیمیائی، رنگها و مواد رنگی^(۱)، داروها، مواد منفجره، سفیدکننده های مصنوعی، رایان^(۲) و پارچه های دیگر، تصفیه نفت، باتریهای ذخیره کننده، تصفیه فلز و تولید لاستیک. هنگام تولید این اسید و همچنین موقع مصرف آن در شرایط بسیار متنوعی در کارخانجات مختلف مسائل خوردگی بوجود می آیند.

اسیدسولفوریک به روش مجاورتی^(۳) یا روش محفظه سربی^(۴) تولید می شود. ۷۰ درصد کل تولید به روش مجاورتی است. در شکل ۱-۷ بطور شماتیکی یک کارخانه با روش مجاورتی نشان داده شده است. گوگرد، یا ترکیبات گوگرد مثل سنگ معدن سولفیدمس برای بدست آوردن SO_2 سوزانده می شود. در حضور یک کاتالیزور SO_2 به SO_3 تبدیل می شود. با جذب این گاز بوسیله آب، اسیدسولفوریک تولید می شود. اسیدسولفوریک دودکننده (اولثوم) با حل کردن SO_3 در ۱۰۰٪ اسید حاصل می شود و بر طبق مقدار SO_3 آزاد یا معادل H_2SO_4 آن مشخص می شود. مثلاً اسیدی که دارای SO_3 ۲۰٪ آزاد باشد، اولثوم ۲۰٪ یا اسیدسولفوریک ۱۰۴/۵٪ نامیده می شود. قسمت عمده اسید تولید شده در سه غلظت ۷۰٪، ۹۳٪ و دودکننده به بازار عرضه می شود.

۱-۷ فولاد

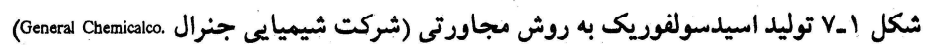
برای غلظتهای بالای ۷۰٪ اسیدسولفوریک، فولاد کربنی معمولی بسیار متداول است. تانکهای ذخیره، خطوط لوله، تانکهای حمل و نقل و بشکه های فولادی در مورد اسیدهای ۷۸٪، ۹۳٪، ۹۸٪ اولثوم بکار می رود. اکثر تجهیزات نشان داده شده در شکل ۱-۷ فولادی هستند.

1- Dyes & Pigments

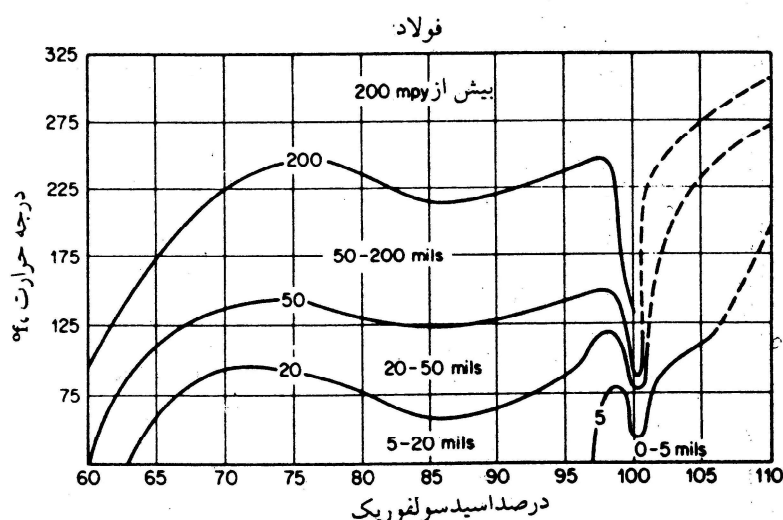
2- Rayon

3- Contact Process

4- Lead - Chamber



در شکل ۷-۲ خوردگی فولاد بوسیله اسیدسولفوریک قوی بر حسب درجه حرارت و غلظت داده شده است. در اسیدهای رقیق تر، فولاد خیلی سریعتر خورده می شود. شکل ۷-۲ یک منحنی "خوردگی یکسان"^(۱) است. این روش برای نشان دادن اطلاعات خوردگی بوسیله پروفیسور فوتانا پیشنهاد شد، لکن برای تعیین دقیق خطوط روی منحنی فقط موقعی از این روش می توان استفاده کرد که مقدار زیادی اطلاعات موجود باشد.



شکل ۷-۲ خوردگی فولاد بوسیله اسیدسولفوریک بر حسب غلظت و درجه حرارت

در شکل ۷-۲ خطوط خوردگی یکسان برای سرعت های ۵، ۲۰، ۵۰، ۲۰۰ mpy و نشان داده شده اند. به عبارت دیگر نواحی جدا شده بوسیله این خطوط نشان دهنده سرعت های خوردگی صفر تا ۵، ۲۰ تا ۵۰، ۵۰ تا ۲۰۰ و بیشتر از ۲۰۰ mpy می باشند. منحنی های شکل ۷-۲ نشان می دهند که سرعت خوردگی فولاد بوسیله اسیدسولفوریک قوی ثابت نیست و در حوالی غلظت ۱۰٪ سرعت افزایش می یابد.

تغییرات شدید سرعت خوردگی در حوالی این غلظت نشان می‌دهد که برای بدست آوردن اطلاعات خوردگی معتبر، غلظت اسیدسولفوریک بایستی دقیقاً تعیین شود. افزایش سرعت خوردگی در غلظت حدود ۸۵٪ بطئی‌تر است و تعیین آن آسان‌تر می‌باشد.

شکل ۲-۷ نشان می‌دهد که در غلظتهای کمتر از ۶۵٪، در هیچ درجه حرارتی فولاد مناسب نخواهد بود. در غلظتهای بالاتر از ۷۰٪، بسته به درجه حرارت، از فولاد می‌توان استفاده کرد. بطور کلی فولاد برای درجه حرارتهای بالاتر از ۱۷۵ درجه فارنهایت تا غلظت ۱۰۰٪ مناسب نیست.

در کاربردهایی که سرعت خوردگی بین ۵۰ تا ۲۰۰ mpy قرار دارد، عمر فولاد نسبتاً کوتاه خواهد بود و بایستی بدقت مورد توجه قرار گیرد، فقط در صورتی بایستی از فولاد استفاده شود که استفاده از آن علیرغم نیاز به تعویض مکرر قطعات، از نظر اقتصادی مجاز باشد. در حوالی غلظت ۱۰۱٪، سرعت خوردگی فولاد نسبتاً بالاتر خواهد بود. اطلاعات خوردگی فراوانی در این منطقه وجود ندارد، لذا قسمت سمت راست فرورفتگی منحنی دقیقاً روشن نیست. خط چین‌ها کم و بیش تخمینی هستند و در این موارد اطلاعات خوردگی بیشتری مورد نیاز است. منحنی ۲۰۰ mpy در غلظت ۱۰۰٪ قطع شده است، رسم این قسمت از منحنی بطور حدسی کار صحیحی نیست.

سرعت حرکت بالا باعث افزایش سرعت خوردگی فولاد در اسید سولفوریک قوی می‌گردد. مثلاً در این محیطها پمپ‌های فولادی مناسب نخواهند بود. در مورد تأثیرات سرعت حرکت اطلاعات کمی وجود دارد، لکن می‌توان گفت که سرعت حرکت چند فوت بر ثانیه، تغییری در وضعیت نمی‌دهد. جامدات معلق نیز ممکن است باعث خوردگی سایشی گردند.

هوا دهی به خودی خود بر سرعت خوردگی فولاد بوسیله اسید سولفوریک قوی تأثیر کمی دارد، زیرا این اسیدها اصولاً اکسید کننده هستند. در اسیدهای قوی هوای وارد شده در سیستم ممکن است تأثیر مخربی بر فولاد داشته باشد. یک خط لوله فولادی حاوی اسیدسولفوریک ۹۳٪ در اثر تشکیل شیارهایی در سطح داخلی فوقانی لوله بسرعت سوراخ شد. شیارها خیلی تیز و عمیق بودند و قسمتهای دیگر سطح داخلی فاقد این نوع خوردگی بودند. انهدام لوله به جابهجایی هوایی که در بالای لوله در حرکت بودند نسبت داده شد. هوا از طریق منافذ پمپی که برای انتقال اسید بکار می‌رفت وارد

سیستم می‌شد. مسئله انهدام سریع این خط لوله با هواگیری یا با جلوگیری از وارد شدن هوا بداخل پمپ حل شد.

انهدامهایی در اسید سولفوریک غلیظ اتفاق افتاده است که به سمیتیت‌کروی شده در فولاد نسبت داده شده است. ساختمان پرلیتی معمولی خوردگی خیلی کمی نشان می‌دهد. در حالت فوق عملیات حرارتی نرماله کردن در حدود ۱۵۵۰ درجه فارنهایت مقاومت خوردگی را به فلز بر می‌گرداند.

۷-۲ چدن

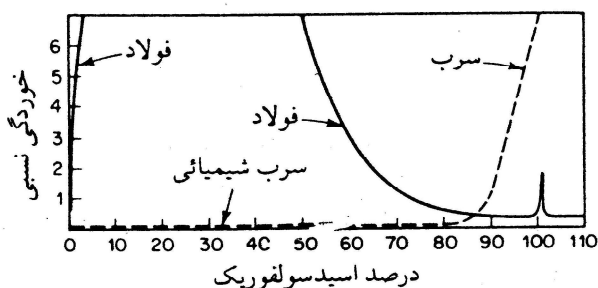
معمولاً چدن خاکستری معمولی در اسید سولفوریک شبیه فولاد عمل می‌کند. برای نشان دادن منحنی‌های خوردگی یکسان در چدن‌ها کوششی نشده است. زیرا ترکیب شیمیایی چدن‌های خاکستری معمولی بطور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند. چدن‌ها در اسیدهای داغ قوی مقاومت خوردگی بهتری نشان می‌دهند و در اسیدهای خیلی داغ و خیلی قوی بهتر از اکثر فلزات و آلیاژها از جمله آلیاژهای زنگ‌زن می‌باشند، ولی دارای سرعت خوردگی بالایی هستند. مقاومت بهتر در این مورد احتمالاً در اثر مداخله شبکه گرافیتی در واکنش بین اسید و زمینه فلزی می‌باشد.

در اولئوم یک پدیده خاص اتفاق می‌افتد و معمولاً چدن خاکستری معمولی برای این کاربرد توصیه نمی‌شود. تقلیل وزن یا سرعت خوردگی پائین است ولی موقع کار، شکافهایی روی سطح فلز ایجاد می‌شود. ظاهراً اسید در طول پولک‌های گرافیتی بداخل فلز نفوذ می‌کند و خوردگی خیلی کم در این نواحی بسته باعث فشار برای ایجاد شکاف‌های سطحی می‌شود. این حالت شبیه تاثیر گوه مانند^(۱) است که در قسمت خوردگی توام با تنش در فصل ۳ بحث شده است. یک نمونه چدن خاکستری که در درجه حرارت محیط در معرض اولئوم قرار گرفته باشد، افزایش وزن خواهد داشت. اگر این نمونه شسته و خشک شود پس از اندک زمانی، اسید روی سطح دوباره ظاهر می‌شود به بیان دیگر فلز مثل یک اسفنج عمل می‌کند. عقیده بر آن است که وجود پولک‌های گرافیتی برای ایجاد این ترک‌ها ضروری است. چدن چکش خوار و نشکن برای کار در اولئوم بایستی مناسب باشند. شواهدی مبنی بر وجود خوردگی گالوانیکی بین چدن و فولاد در اسید سولفوریک تقریباً ۱۰۰٪ وجود دارد.

در مواردی که شکست و پارگی در خطوط لوله‌ها باعث تماس اسید با انسان می‌گردد، عمدتاً به دلایل امنیتی فولاد ارجح‌تر از چدن است. خطوط لوله‌های چدنی بخاطر ترد بودن این فلز، بایستی بخوبی نگهداری شوند.

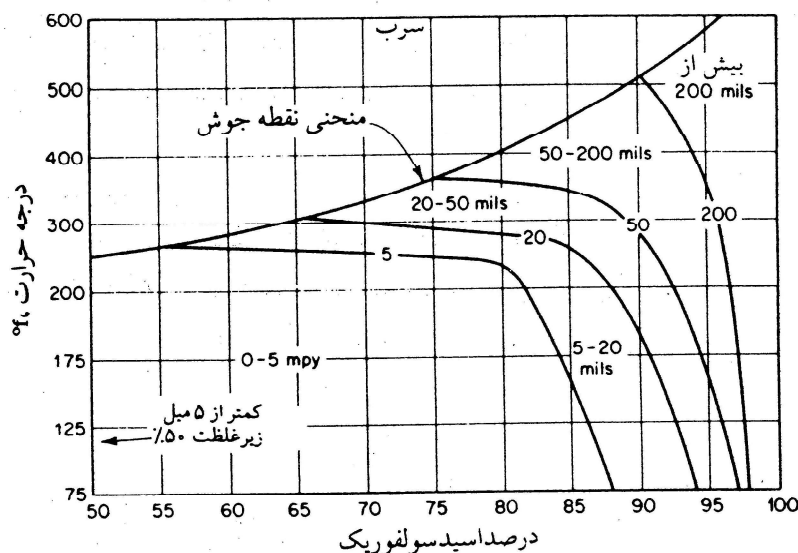
۷-۳ سرب شیمیایی

سرب بطور وسیعی برای اسید سولفوریک با غلظت‌های پائین‌تر بکار می‌رود. همانطور که در شکل ۷-۳ نشان داده شده است، سرب و فولاد مکمل یکدیگرند. در غلظت‌های کمتر از ۷۰٪ که فولاد خورده می‌شود، سرب بکار می‌رود و برعکس.



شکل ۷-۳ خوردگی فولاد و سرب شیمیایی در درجه حرارت محیط.

در شکل ۷-۴ منحنی خوردگی یکسان سرب نشان داده شده است. در غلظت‌های پائین خوردگی تقریباً صفر است، ولی با افزایش غلظت و درجه حرارت افزایش می‌یابد. در اسید غلیظ بخاطر محلول بودن سولفات سرب، خوردگی شدید است. این منحنی برای سرب شیمیایی (ASTM B29-55) حاوی ۰/۰۶٪ مس می‌باشد. این سرب برای مقاصد مشتمل بر خوردگی بکار می‌رود. سرب با خلوص بالا مقاومت کمتری دارد، مخصوصاً در اسیدهای قوی‌تر و داغ‌تر و همچنین خواص مکانیکی ضعیف‌تری دارد. بر اساس مطالعات آزمایشگاهی و نتایج عملی وسیع، سرب تلوریم‌دار در اسیدهای داغ و غلیظ مقاوم‌تر است ولی در تمام غلظت‌های دیگر معادل یا ضعیف‌تر از سرب شیمیایی است. سرب خشک (شامل ۴ تا ۱۵ در صد آنتیموان) در مواقعی که استحکام بالاتری نسبت به سرب شیمیایی مورد نیاز است بکار می‌رود، مثلاً در قطعات ریختگی. لکن



شکل ۷-۴ خوردگی سرب شیمیائی بوسیلهٔ اسید سولفوریک بر حسب غلظت و درجه حرارت

اختلاف استحکام در ۱۹۰ درجهٔ فارنهایت از بین می‌رود. در اسیدهای رقیق‌تر مقاومت خوردگی سرب خشک خوب است، ولی سرب شیمیائی در شرایط خورنده‌تر شامل اسید سولفوریک بهتر است.

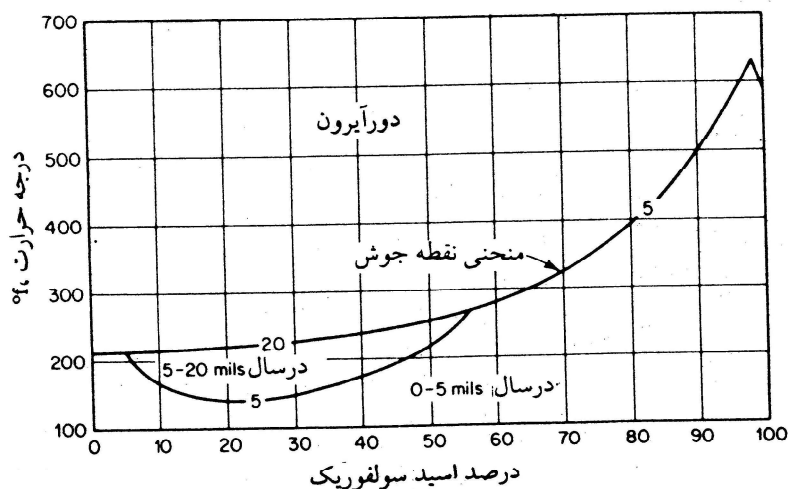
مهمترین فاکتوری که رفتار نشان داده شده در شکل ۷-۴ را تغییر می‌دهد، خوردگی سایشی است. اسید با سرعت حرکت بالا و جامدات معلق پوستهٔ محافظ سولفات سرب را از بین می‌برد (به شکل ۳-۴۱ رجوع شود). سرب نرم بوده و بسهولت سائیده می‌گردد. به همین دلیل سرب بندرت برای ساخت پمپها استفاده می‌شود و همچنین برای ساخت والوها نیز خیلی متداول نیست. روکش سریبی محفظه‌ها در شرایطی که درجه حرارت‌های بالا و سایش وجود دارد بوسیلهٔ یک لایهٔ داخلی آجر ضد اسید محافظت می‌شود.

۷-۴ چدن پرسلیسیم

چدن حاوی ۱۴/۵٪ سیلیسیم در اسید سولفوریک بین صفر تا ۱۰۰٪ بهتر از تمام

فلزات و آلیاژهای تجارتي ديگر عمل مي‌کند. اين چدن بطور وسيعي براي بسياري از کاربردهاي مشتمل بر اسيدسولفوریک مورد استفاده قرار مي‌گيرد. اين چدن داراي خواص زير است: ترد بوده، بشدت در برابر شوکهاي حرارتي ضعيف است، تنها بصورت ريختگي مورد استفاده قرار مي‌گيرد، نسبتاً ارزان است، حاوي عنصر آلياژي " استراتژيک " نيست، با هوادهي خورده نخواهد شد، و بواسطه سختي ذاتي بالاي آن در برابر خوردگي سايشي خيلي مقاوم است، مخصوصاً موقعي که در محيط جامدات معلق وجود داشته باشند. بعضي تجهيزات که از اين آلياژ ساخته مي‌شوند عبارتند از: پمپها، والوها، مبدلهاي حرارتي، لوله‌هاي تغليظ اسيد سولفوریک، دمنده‌ها^(۱)، پروانه هواکش‌ها، تانکهاي کوچک، خروجي تانکها، لوله و اتصالات، آندهاي حفاظت کاتدي با اعمال جريان خارجي، در پوشهاي حبابي^(۲)، و مقاطع برجها^(۳). اين آلياژ با اسم تجارتي دور آيرون^(۴) به بازار عرضه مي‌شود.

در شکل ۷-۵ منحنی خوردگی یکسان دور آيرون نشان داده شده است. در اين منحنی خطوط ۵ و ۲۰ mpy منطبق بر منحنی نقطه جوش می‌باشند. اين مطلب



شکل ۷-۵ خوردگی دور آيرون بوسیله اسيدسولفوریک بر حسب غلظت و درجه حرارت

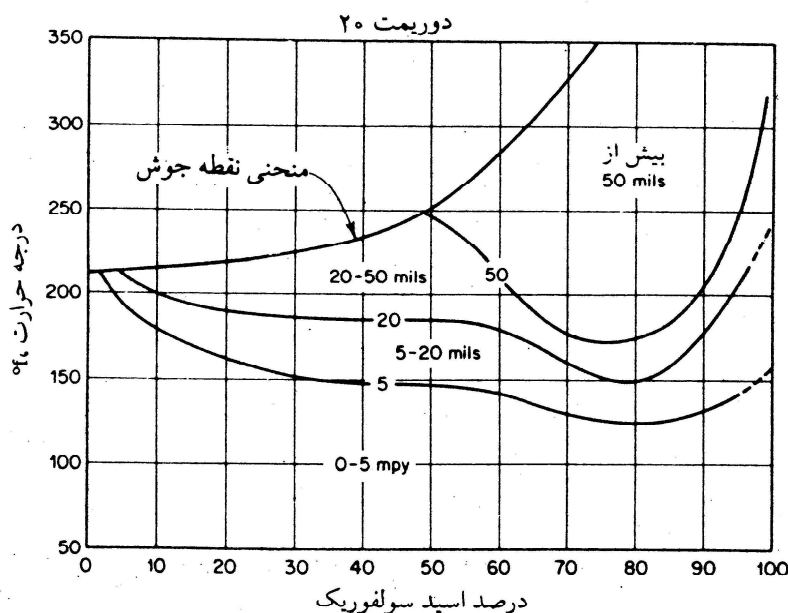
- 1- Spargers
- 2- Tower sections

- 2- bubble caps
- 4- Duriron

نشان‌دهنده مقاومت خوب تا درجه حرارت جوش و همچنین در درجه حرارت جوش می‌باشد. سرعت خوردگی در اسیدهای داغ و غلیظ کمتر از ۵ mpy و معمولاً صفر است. مثل چدن‌ها خاکستری دیگر، دورآیرون برای اسیدهای دودزا و یا غلظتهای بالاتر از ۱۰۰٪ توصیه نمی‌شود. موقعی که اسید سولفوریک شامل دی‌اکسید گوگرد و فلوریدها باشد، باعث افزایش قابل ملاحظه خوردگی می‌گردد. دورآیرون در درجه حرارتهایی تا ۱۰۰۰ درجه فارنهایت بکار رفته است، لکن برای جلوگیری از شوک حرارتی بایستی به آهستگی گرم و سرد گردد.

۷-۵ دوریمت ۲۰

در شکل ۷-۶ منحنی خوردگی یکسان آلیاژی که بطور وسیعی برای کاربردهای مشتمل بر اسید سولفوریک بکار می‌رود، نشان داده شده است. (برای ترکیب شیمیائی



شکل ۷-۶ خوردگی دوریمت ۲۰ بوسیله اسید سولفوریک بر حسب غلظت و درجه حرارت

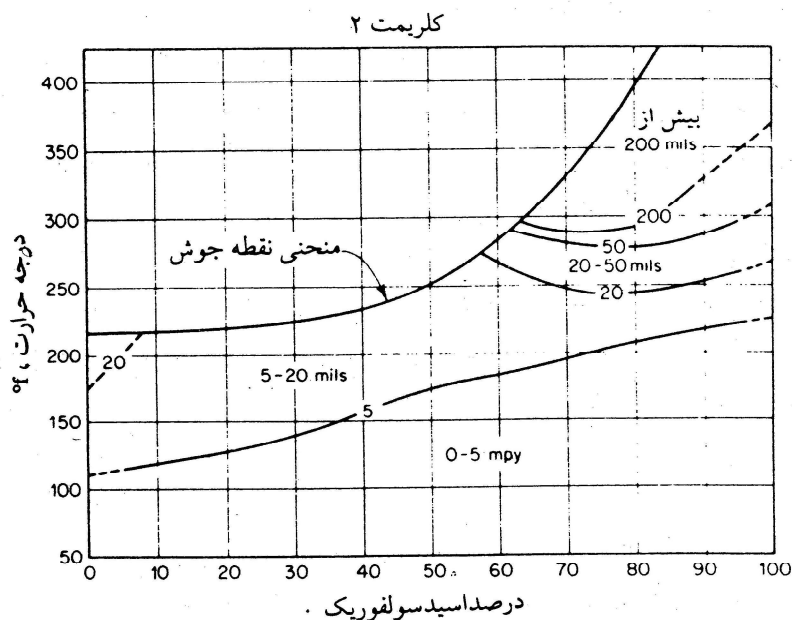
این آلیاژ به جدول ۵-۲ رجوع شود). این آلیاژهای در اصل برای استفاده در اسیدسولفوریک طراحی شد، ولی در محیطهای دیگر نیز بکار می‌رود. بالاترین تناژ از این آلیاژ بوسیله شرکت دورآیرون تحت اسم دوریمت ۲۰ ریخته شده است. شرکت‌های دیگر هر کدام اسم تجارتي مربوط به خود را در مورد این آلیاژ بکار برده‌اند، ولی همواره عدد ۲۰ در اسم آلیاژ وجود دارد (مثل اسکو ۲۰، Esco ۲۰). در حالت نوردی به اسم کارپنتر ۲۰ معروف است. آلیاژ ۲۰-FA یک آلیاژ آستنیتی است با خواص مکانیکی شبیه فولاد زنگ‌نزن ۱۸-۸. این آلیاژ از این جهت که در تمام غلظتها بکار می‌رود با سرب و فولاد اختلاف دارد. مقاومت خوردگی در اولئوم خیلی خوب است. بالاترین سرعت خوردگی در اسید سولفوریک ۷۸٪ اتفاق می‌افتد. سولفات فریک و سولفات کوپریک در اسید مثل ممانعت کننده عمل می‌کنند و خوردگی را کاهش می‌دهند، لکن در غلظتهای بالا از این مواد حفره‌دار شدن واقع می‌شود.

استفاده اصلی دوریمت ۲۰ برای ساخت پمپ‌های و والوهای مورد استفاده برای اسید سولفوریک می‌باشد. تعداد زیادی صنایع شیمیائی از جمله واحدهای تولید اسید سولفوریک بوسیله روش مجاورتی، این آلیاژ را برای اقلام فوق استاندارد کرده‌اند. والوهای فولادی و چدنی بخاطر تشکیل سولفات و چسبندگی قسمت‌ها به یکدیگر باعث دردسر می‌شوند. سرب در پمپ‌ها و والوها در معرض خوردگی سایشی قرار می‌گیرد.

۷-۶ آلیاژهای نیکل - مولیبدن و نیکل - مولیبدن - کرم

در شکل ۷-۷ منحنی خوردگی یکسان برای کلریمت ۲ در حالت ریختگی نشان داده شده است. این آلیاژ تقریباً از دو سوم نیکل و یک سوم مولیبدن تشکیل شده است. هاستولی B در حالت ریختگی و نوردی دارای ترکیب مشابهی است. برای اطلاع از جزئیات بیشتر درباره ترکیب شیمیایی، خواص مکانیکی، و خواص فیزیکی این آلیاژها و آلیاژهای دیگر به فصل ۵ رجوع شود. برای اینکه این آلیاژها دارای بیشترین مقاومت در برابر خوردگی باشند، بایستی بطور صحیحی عملیات حرارتی شوند.

شکل ۷-۷ به دو دلیل جالب توجه است: به مقاومت خوردگی خوب در اسیدهای متوسط و قوی و همچنین مقاومت کم در اسید داغ و رقیق توجه شود. در اینجا یک تذکر وجود دارد: این آلیاژها مخصوصاً در برابر ناخالصیهای اکسید کننده مثل اسیدنیتریک، کلر، هیپوکلریت‌ها، کلروکوپریک و فریک، سولفات فریک، و حتی هوا دهی ضعیف



شکل ۷-۷ خوردگی کلریمت ۲ و هاستولی B بوسیله اسید سولفوریک بر حسب غلظت و درجه حرارت

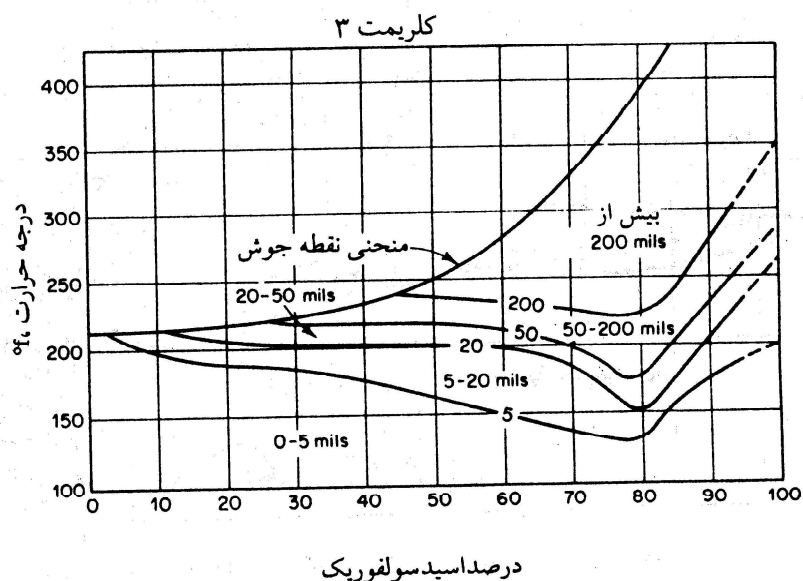
هستند. این آلیاژها را می توان پیرسخت نمود ولی در اثر این عملیات حرارتی ترد شده و مقاومت خوردگی آنها کم می شود.

در شکل ۷-۸ منحنی خوردگی یکسان کلریمت ۳، که یک آلیاژ نیکل حاوی ۱۸٪ مولیبدن و ۱۸٪ کرم است، نشان داده شده است. هاستولی C در حالت ریختگی و نوردی دارای ترکیب مشابهی است. این آلیاژ در تمام غلظت های اسید سولفوریک مقاوم است. شرایط اکسیدکننده بخاطر وجود کرم مضر نیستند. این آلیاژ مقاومت خوردگی بسیار خوبی در اسیدهای داغ و رقیق در شرایط احیاء کننده نشان می دهد، مثل حمام های انعقاد رایان^(۱).

۷-۷ منحنی خوردگی یکسان چندتایی

اکثر تاسیسات یا تجهیزات مورد استفاده برای اسید سولفوریک از شش آلیاژ

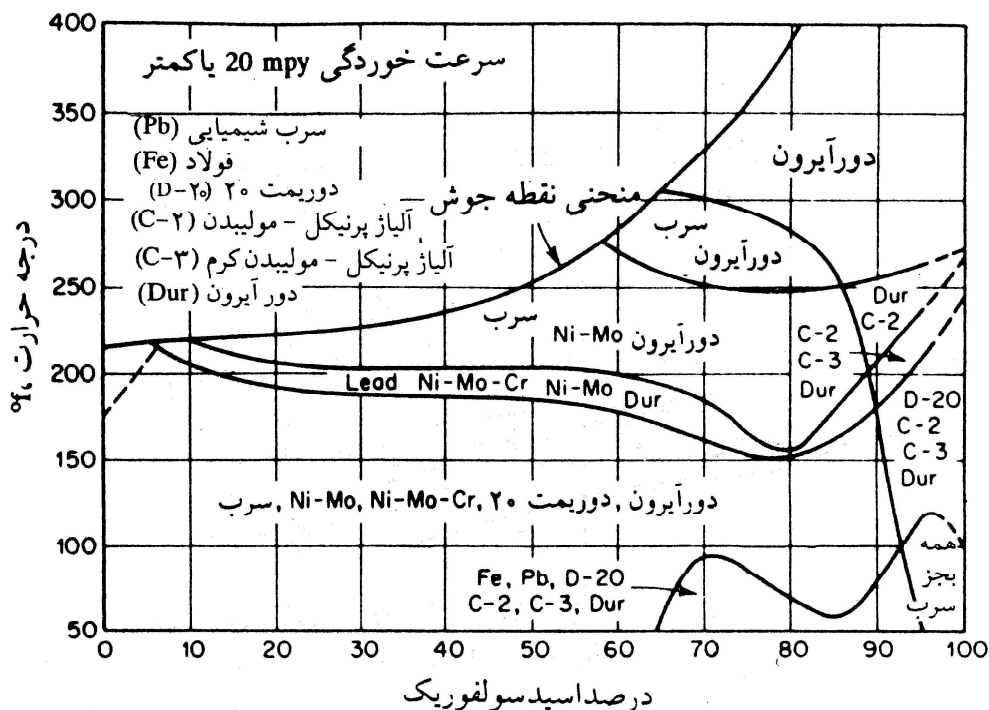
1- Rayon coagulating baths



شکل ۷-۸ خوردگی کلریمت ۳ بوسیله اسید سولفوریک بر حسب غلظت و درجه حرارت

(و چدن خاکستری) که در قسمتهای ۷-۱ تا ۷-۶ بررسی شدند، ساخته می‌شوند. همانطور که در شکل ۷-۹ نشان داده شده است، نمایش اطلاعات خوردگی با ترکیب کردن چند منحنی خوردگی یکسان آسانتر می‌شود. به این ترتیب که با رسم منحنی‌های خوردگی یکسان خاصی از هر شکل مثلاً خط ۲۰ mpy در شکل ۷-۹، اطلاعات در مورد چند فلز و آلیاژ را بوسیله یک شکل نشان می‌دهند. نواحی یا مناطق در این شکلها بوسیله فلزات مختلف نامگذاری می‌شوند. در نتیجه برای غلظت و درجه حرارتهای مختلف، فلزات یا آلیاژهایی که دارای سرعت خوردگی ۲۰ mpy یا کمتر هستند مشخص می‌شوند. در شکل ۷-۹ منطقه اسید رقیق در حدود ۲۰۰ درجه فارنهایت نامگذاری نشده است. در این گوشه، آلیاژ نیکل - مولیبدن ممکن است دارای سرعت خوردگی بیش از ۲۰ mpy باشد.

شکل ۷-۹ نشان می‌دهد که سرب، نیکل - مولیبدن، نیکل - مولیبدن - کرم، دوریمت ۲۰، و دورایرون در قسمت اعظم شکل مناسب هستند. با بالا رفتن درجه



شکل ۹-۷ خوردگی شش آلیاژ بوسیله اسید سولفوریک.

حرارت، دوریمت ۲۰ از دور خارج می شود و همانطور که بوسیله نوار باریک وسط شکل نشان داده شده، چهارتای بقیه باقی می مانند. با افزایش غلظت در این نوار باریک، در غلظت ۹۰٪ سرب نیز از دور خارج می شود و فقط نیکل - مولیبدن (C-۲) و نیکل - مولیبدن - کرم (C-۳) و دور آبرون (DUR) باقی می مانند. در اسیدهای غلیظ در درجه حرارتهای بالا، منطقه بالا و طرف راست شکل فقط دور آبرون مقاومت خوردگی لازم را داراست.

تمام شش آلیاژ فوق فقط در درجه حرارتهای پائین تر در غلظتهای ۶۵٪ تا ۹۵٪ مناسب هستند. بالاتر از ۹۵٪، سرب سرعت خورده می شود. به منطقه ای که در گوشه پائینی و سمت راست شکل وجود دارد توجه کنید که "تمام بجز سرب" نامگذاری شده است.

۷-۸ فولاد زنگ‌نزن معمولی

معمولاً فولادهای زنگ‌نزن معمولی برای کار با اسید سولفوریک بکار برده نمی‌شوند. گاهی اوقات برای محلولهای سرد خیلی رقیق حاوی مواد دیگر و تحت شرایطی که خیلی احیاء کننده نباشند از نوع ۳۱۶ استفاده می‌شود. این آلیاژ حالت غیر فعال مرزی از خود نشان می‌دهد و بدست آوردن نتایج معتبر و قابل تکرار مشکل است. منحنی خوردگی یکسان نوع ۳۱۶ در اسید سولفوریک تماماً از خط چین تشکیل شده! در اسیدهای قوی، فولادهای زنگ‌نزن مقاومت خوبی نشان می‌دهند، لکن نسبت به آهن معمولی قابل توجه نیستند، مگر آنکه آلودگی محصول مهم باشد. یک استثناً در این رابطه در مورد اسید با غلظت ۱۰٪ وجود دارد. انهدامهای اولیه خطوط لوله فولادی منجر به مطالعاتی شد که نتایج آن در شکل‌های ۷-۲ و ۷-۳ آمده است. این مسئله با کاربرد فولاد زنگ‌نزن نوع ۴۳۰ حل شد. تقریباً تمام انواع دیگر فولادهای زنگ‌نزن از عهده این غلظت بر می‌آیند.

۷-۹ مونل، نیکل، اینکونل، و نیکل-رزیست

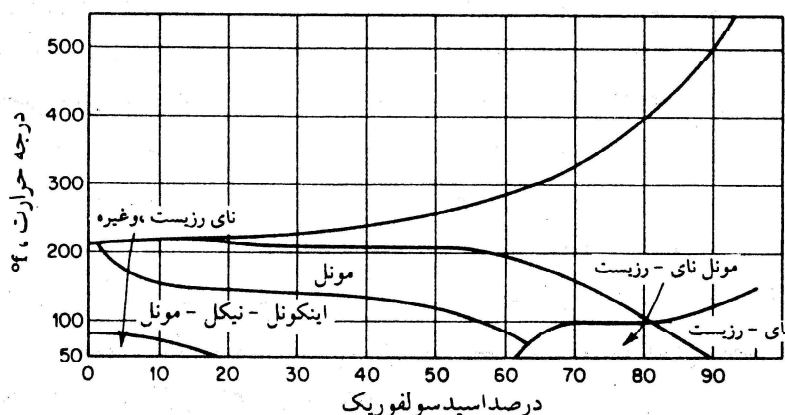
این آلیاژهای نیکلی و آلیاژهای نیکل‌دار در اسید سولفوریک در شرایط احیاء کننده و درجه حرارت‌های متوسط بکار می‌روند. در شکل ۷-۱۰^(۱) منحنی خوردگی یکسان (خطوط ۲۰ mpy) برای مونل، نیکل، اینکونل، و نیکل-رزیست نشان داده شده است. شرایط اکسیداسیون قوی وضعیت را بشدت تغییر می‌دهد.

۷-۱۰ مس و آلیاژهای آن

مس و آلیاژهای مسی بطور محدودی برای کار با اسید سولفوریک بکار می‌روند، زیرا محلولهای اسید سولفوریک مستعد به هوادار شدن و ایجاد شرایط اکسیدان دیگر می‌باشند. خوردگی در فصل مشترک محلول اسید با هوا می‌تواند جدی باشد. برنجه‌ها در معرض زدایش روی قرار می‌گیرند. برنزهای قلع در محلولهای تا غلظت ۶۰٪ تا درجه حرارت‌های ۱۷۵ درجه فارنهایت، خوردگی قابل قبولی دارند. برنز سیلیسیم^(۲) می‌تواند

1- W. A. Luce, corrosion by sulfuric acid, proceedings of short course on process industry corrosion, OSU and NACE 81 (1960).

2- Everdur

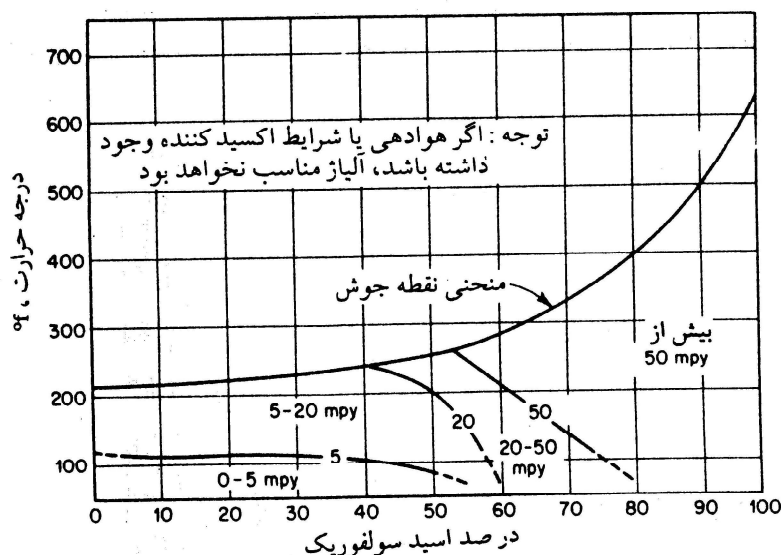


شکل ۷-۱۰ خوردگی چند آلیاژ نیکل بوسیله اسید سولفوریک بر حسب غلظت و درجه حرارت.

شرایط اندکی خورنده تر را تحمل کند. شاید برنز آلومینیم تنها آلیاژ در این گروه باشد که برای اسید سولفوریک بکار می رود. در شرایط خوردگی سایشی مقاومتر بوده و در شرایط اکسیدان نیز خیلی مستعد نیست. در شکل ۷-۱۱ منحنی خوردگی یکسان آلیاژ مس - ۱۰٪ آلومینیم نشان داده شده است. برنز آلومینیم برای کار در اسید سولفوریک حاوی لجن های کربناتی در پالایشگاه های نفت به خوبی عمل می کند.

۷-۱۱ فلزات و آلیاژهای دیگر

فلزات نجیب مثل طلا و پلاتین مقاومت بسیار خوبی در اسید سولفوریک دارند. این فلزات موقعی که خوردگی اصلاً مجاز نیست (مثل الیاف سازه های رایان) یا آلودگی محصول مجاز نیست (مثلاً جاذب های اسید سولفوریک خیلی خالص) بکار می روند. تانتال در این مورد عالی است بجز در اسیدهای خیلی غلیظ و خیلی داغ. زیرکونیم در درجه حرارت های جوش تا غلظت ۶۰٪ اسید سولفوریک تا حدود ۲۰۰ درجه فارنهایت



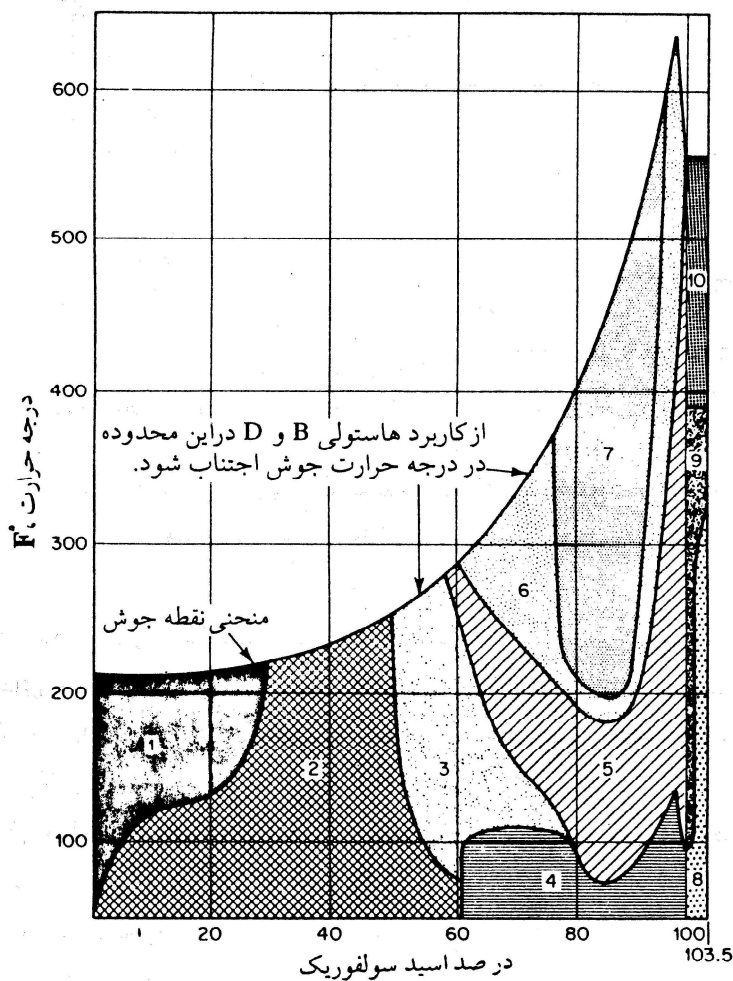
شکل ۷-۱۱ خوردگی برنز آلومینیم (۹۰-۱۰) بوسیله اسید سولفوریک فاقد هوا بر حسب غلظت و درجه حرارت.

برای اسیدهای قوی تر مناسب است. تیتانیم بوسیله تمام غلظت‌های اسید سولفوریک بجز اسیدهای خیلی رقیق خورده می‌شود. لکن ناخالصیها ممکن است مثل ممانعت کننده عمل کنند. مثلاً بیشترین تناژ تیتانیم در واحدهایی که برای حل کردن سنگ معدن نیکل از اسید سولفوریک استفاده می‌کنند مصرف می‌شود. در جدول ۱-۱۰ اطلاعاتی درباره خوردگی تیتانیم و آلیاژهای آن داده شده است. آلومینیم فقط در مواردی که اسید رقیق وجود دارد بکار می‌رود.

مولیبدن مقاومت بسیار زیادی در اسید سولفوریک از خود نشان می‌دهد. در محلولهای ۱۰٪ تا ۹۵٪ اسید در ۱۶۰ درجه فارنهایت سرعت خوردگی آن کمتر از ۱ mpy و در بیش از ۵۰٪ اسید جوشان کمتر از ۵ mpy می‌باشد، هوا دهی در این مورد تأثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد. سرعت خوردگی مولیبدن در اسید ۱۰٪ در ۴۰۰ درجه فارنهایت کمتر از ۱ mpy و در اسید ۲۰٪ کمتر از ۴ mpy می‌باشد.

۷-۱۲ منحنی خوردگی یکسان چندتایی جامع

جامع‌ترین منحنی خوردگی یکسان برای فلزات و آلیاژها و بعضی غیر فلزات در اسید سولفوریک بوسیله نلسون^(۱) تهیه شده است. این منحنی در شکل ۷-۱۲ نشان داده



شکل ۷-۱۲ مقاومت خوردگی مواد مختلف در برابر اسید سولفوریک

- سرعت خوردگی کمتر از ۲۰ mpy

1- George A. Nelson, "Corrosion Data Survey" Shell Development Co., Emeryville, Cal., 1960.

ادامه شکل ۷-۱۲ کدهای منحنی اسید سولفوریک

موادی که در مناطق هاشور خورده قرار دارند دارای سرعت خوردگی کمتر از ۲۰ mpy می باشند.

منطقه ۱

گرافیت بدون تخلخل	۱۰٪ برنز آلومینیم (بدون هوا)
تانال	ایلم B
طلا	شیشه
پلاتین	هاستولی B و C
نقره	دوریمت ۲۰
زیرکونیم	ورتیت
نیونل	سرب
تنگستن	مس (بدون هوا)
مولیبدن	مونل (بدون هوا)
فولاد زنگ نزن ۳۱۶ (تا ۱۰٪ هوادار)	لاستیک (تا ۱۷۰°F)

منطقه ۲

نیکل رزیست (تا ۲۰٪ در ۷۵°F)	شیشه
گرافیت بدون تخلخل	چدن پرسیلیسیم
تانال	هاستولی B و D
طلا	دوریمت ۲۰ (تا ۱۵۰°F)
پلاتین	ورتیت (تا ۱۵۰°F)
نقره	سرب
زیرکونیم	مس (بدون هوا)
نیونل	مونل (بدون هوا)
تنگستن	هاوگ ۴۳
مولیبدن	لاستیک (تا و ۱۷۰°F)
فولاد زنگ نزن ۳۱۶ (تا ۲۵٪ در ۷۵°F هوادار)	۱۰٪ برنز آلومینیوم (بدون هوا)

منطقه ۳

گرافیت بدون تخلخل	شیشه
تانال	چدن پرسیلیسیم
طلا	هاستولی B و D
پلاتین	دوریمت ۲۰ (تا ۱۵۰°F)
زیرکونیم	ورتیت (تا ۱۵۰°F)
مولیبدن	سرب
	مونل (بدون هوا)

ادامه شکل ۷-۱۲ کدهای منحنی اسید سولفوریک

منطقه ۴

فولاد	نیکل رزیست
شیشه	فولاد زنگ‌زن ۳۱۶ (بیش از ۸۰٪)
چدن پرسیلیسیم	گرافیت بدون تخلخل (تا ۹۶٪ اسید سولفوریک)
هاستولی B و D	تانال
سرب (تا ۹۶٪ اسید سولفوریک)	طلا
دوریمت ۲۰	پلاتین
ورتیت	زیرکونیم

منطقه ۵

شیشه	سرب (تا ۱۷۵°F و ۹۶٪ اسید سولفوریک)
چدن پرسیلیسیم	گرافیت بدون تخلخل (تا ۱۷۵°F و ۹۶٪ اسید سولفوریک)
هاستولی B و D	تانال
دوریمت ۲۰ (تا ۱۵۰°F)	طلا
ورتیت (تا ۱۸۰°F)	پلاتین

منطقه ۶

شیشه	تانال
چدن پرسیلیسیم	طلا
هاستولی B و D (۲۰-۵۰ mpy)	پلاتین

منطقه ۷

شیشه	طلا
چدن پرسیلیسیم	پلاتین
تانال	

منطقه ۸

شیشه	ورتیت
فولاد	هاستولی C
۱۸ Cr-۸ Ni	طلا
دوریمت ۲۰	پلاتین

منطقه ۹

شیشه	ورتیت
۱۸ Cr-۸ Ni	طلا
دوریمت ۲۰	پلاتین

منطقه ۱۰

شیشه	پلاتین
طلا	

شده است و کدهای مورد استفاده در آن در جدول مربوطه آمده است. این منحنی برای برای سرعتهای خوردگی کمتر از ۲۰ mpy می باشد. این منحنی نتیجه جمع آوری اطلاعات بی شمار و تجارب عملی بسیار زیاد می باشد. ترکیب شیمیایی فلزات و آلیاژها در فصل ۵ آمده است. خواننده بایستی توجه نماید که این منحنی نیز مثل منحنی های دیگر از این قبیل نشان دهنده فلزات و آلیاژهایی هستند که ممکن است در مورد یک مسئله مورد نظر قابل استفاده باشند. فاکتورهایی مثل خوردگی سایشی و ناخالصیهای موجود در اسید می تواند تصویر را بکلی دگرگون سازد.

۷-۱۳ تجهیزات مورد استفاده در درجه حرارتهای معمولی

جدول ۷-۱ خلاصه ای از فلزات و آلیاژهای مورد استفاده برای ساخت تجهیزات و لوله ها برای غلظتهای استاندارد اسید سولفوریک و اولئوم در درجه حرارتهای معمولی را نشان می دهد. این جدول عیناً از مقاله کینگ^(۱) گرفته شده است.

۷-۱۴ تجهیزات واحدهای تولید اسید سولفوریک

در شکل ۷-۱ یک واحد تولید اسید سولفوریک به روش مجاورتی نشان داده شده است. برای ذوب گوگرد در محفظه های آجرچینی شده از لوله های حرارتی فولادی، چدنی یا آلومینیمی استفاده می شود. گوگرد مذاب بوسیله پمپ ها و والوها زنگ زن (مثلاً ۲۰-FA) انتقال می یابد. گوگرد جامد بوسیله نقاله های چدن معمولی یا چدن نیکل - سخت^(۲) به مشعلها برده می شود. برای جلوگیری از اتلاف انرژی گازهای داغ مشعلها بوسیله دودکشهای بزرگ چدنی به دیگهای بخار هدایت می شوند. لوله های این دیگهای بخار فولادی هستند که گازها داغ از داخل آنها عبور می کند. انتقال گازها بوسیله دمنده های^(۳) چدنی (چدن ۲٪ مس ارجح تر است) صورت می گیرد. کنورتر شامل لوله های فولادی یا لوله های فولادی کالریزه شده می باشند. عمر لوله ها با تغییر از لوله های ۱۳ به ۱۰ بطور قابل ملاحظه ای افزایش یافت. جذب کننده ها^(۴)، برجهای

1- R. W. King, Chap.23, in W. W. Duecker and J. R. West (eds.) " *Manufacture of Sulfuric Acid*," Reinhold Publishing Corporation, New York, 1959.

2- Ni- Hard

3- Blowers

4- Absorbers

جدول ۷-۱ خلاصه‌ای از مواد ساختمانی برای تجهیزات و لوله‌های مورد استفاده در تولید اسید سولفوریک با غلظتهای استاندارد و دود کننده در درجه حرارتهای معمولی

محصول	تانکهای ذخیره	لوله و اتصالات	والوها	واشرها	پمپ‌ها	کاسه نمدپها
اسید سولفوریک ۵۳°-۶۰B°c ۶۶°Be - ۱۰۰٪	فولاد ضخیم	فولاد، لوله‌ها و اتصالات جوشکاری ۸۰ و فلانجهای جوشکاری ۱۵۰ پوند لوله‌های چدنی، با اتصالات لانجی ۲۵۰ پوندی چدنی	آلیاژ FA-۲۰ که با پلاستیک TFE آب‌بندی شده با فلانجهای ۱۵۰ پوند نوع Plug، آلیاژ FA-۲۰، غلاف پلاستیکی TFE و فلانجهای ۱۵۰ پوند	پلاستیک TFE ⁺ پلاستیک CFE ⁺ آزیت فشرده آزیت آبیسی آفریقای	نوع گریز از مرکز، آلیاژ FA-۲۰ تماماً چدنی با پروانه FA-۲۰ چدن پرسلیسم	بدون کاسه‌نمد یا با آبدی مکانیکی پلاستیک TFE پلاستیک CFE آزیت آبی آفریقای گرافیت شده (برای روغنکاری)
الکترولیت اسید سولفوریک و غلظتهای دیگر ۶۵°Be	فولاد یا چوب با روکش از جنس سرب شیمیائی	لوله‌های سرب شیمیائی، حداقل ضخامت جداره ۱/۴ اینچ، با فلانجهای ۱۲۵ پوند یا فلانجهای Lap-joint از جنس سرب با ۶٪ آنتیموان لوله‌ها و اتصالات از جنس چدن پرسلیسم پلی وینیل کلراید (PVC) سخت، نرم نشده، مقاوم در برابر ضربه لوله‌ها و اتصالات ۸۰	آلیاژ FA-۲۰ با چدن پرسلیسم یا کاسه نمد پلاستیکی TFE و فلانجهای ۱۵۰ پوندی سرب با ۶٪ آنتیموان یا کاسه نمد پلاستیکی TFE و فلانجهای ۱۲۵ پوندی	پلاستیک TFE پلاستیک CFE آزیت فشرده آزیت آبیسی آفریقای	نوع گریز از مرکز آلیاژ FA-۲۰ چدن پرسلیسم چدن پرسلیسم	بدون کاسه‌نمد یا با آبدی مکانیکی پلاستیک TFE پلاستیک CFE آزیت آبی آفریقای گرافیت شده (برای روغنکاری)
الکترولیت اسید سولفوریک ۶۶°Be	فولاد یا چوب با روکش از جنس سرب شیمیائی فولاد با روکش فولیک پخته شده مس Heresite-P-۲۰۳	لوله‌های سرب شیمیائی، حداقل ضخامت جداره ۱/۴ اینچ، با فلانجهای ۱۲۵ پوند یا فلانجهای Lap-joint از جنس سرب با ۶٪ آنتیموان لوله‌ها و اتصالات از جنس چدن پرسلیسم	آلیاژ FA-۲۰ با چدن پرسلیسم یا کاسه نمد پلاستیکی TFE و فلانجهای ۱۵۰ پوندی سرب با ۶٪ آنتیموان یا کاسه نمد پلاستیکی TFE و فلانجهای ۱۲۵ پوندی نوع Plug آلیاژ FA-۲۰ غلظتهای پلاستیکی TFE و فلانجهای ۱۵۰ پوندی	پلاستیک TFE پلاستیک CFE آزیت فشرده آزیت آبیسی آفریقای	نوع گریز از مرکز آلیاژ FA-۲۰ چدن پرسلیسم چدن پرسلیسم	بدون کاسه‌نمد یا با آبدی مکانیکی پلاستیک TFE پلاستیک CFE آزیت آبی آفریقای گرافیت شده (برای روغنکاری)

ادامه جدول ۱-۷

محصول	تانکهای ذخیره	لوله و اتصالات	والوها	واشرها	پمپها	کاسه نمدپمپها
اسید سولفوریک خالص شیمیائی (معرف ACS)	فولاد با روکش شیشه‌ای	شیشه پیرکس که با پلاستیک TPE روکش شده	والوهای چینی Y با دیسکهای پلاستیکی TPE و فانتجهای ۱۵۰ پوندی	پلاستیک TFE نوع پاک کنی	نوع گریز از مرکز با روکش شیشه‌ای نوع دیافراگمی با پانراگم پلاستیکی CFE یا TPE	پلاستیک TFE پلاستیک CFE
اسید سولفوریک دودزا کلب غلظتها	فولاد ضخیم	فولاد، لوله‌های و اتصالات جوشکاری شده ۸۰ و فانتجهای جوشکاری شده ۱۵۰ پوند*	آلیاژ FA-۲۰ با کاسه نمد پلاستیکی TPE و فانتجهای ۱۵۰ پوند	پلاستیک TFE پلاستیک CFE آزیت فشرده آزیت آبی آفریقای	نوع گریز از مرکز آلیاژ FA-۲۰ Meehanite CB-۳	بدون کاسه نمد یا با آببندی مکانیکی پلاستیک TFE پلاستیک CFE آزیت آفریقای گرافینه شده (برای روغنکاری)
سولفان(اسید سولفوریک آن هیدرات پایدار شده)	فولاد	فولاد، لوله‌های و اتصالات جوشکاری شده ۸۰ و فانتجهای جوشکاری شده ۱۵۰ پوند*	آلیاژ FA-۲۰ با کاسه نمد پلاستیکی TPE و فانتجهای ۱۵۰ پوند	پلاستیک TFE پلاستیک CFE	نوع گریز از مرکز آلیاژ FA-۲۰ Meehanite CB-۳	بدون کاسه نمد یا با آببندی مکانیکی پلاستیک TFE پلاستیک CFE آزیت آفریقای گرافینه شده (برای روغنکاری)

* TFE - پلی‌تترافلوراتیلن - با نام تجاری نفلون

+ CFE - پلی‌کلرودتری‌فلورواتیلن - با نامهای تجارتی پلاستیک جنوترون VK (Gentron Plastic VK) ، Kel-F و لوروان.

● آلیاژ FA-۲۰ - با نام تجارتی دوریمت ۲۰، ۲۰۰، Alloyco ، کارپتر ۲۰.

× چدن و چدن پرسلیسیم را نباید در مورد اسیدسولفوریک دودزا بکار برد .

آجرچینی شده با حلقه‌های سرامیکی یا فولادی هستند که بوسیله کویل‌های فولادی خنک می‌شوند. اسیدقوی در مبدل‌های حرارتی از جنس دورآیرون خنک می‌شود. والوها و پمپ‌های ۲۰ - FA برای تولید اسید به روش مجاورتی استاندارد شده است. برای لوله‌کشی از لوله‌های فولادی یا چدنی استفاده می‌کنند. تانک‌های ذخیره و تانک‌های واگنی، فولادی هستند. روکش‌های هرسیت^(۱) (به جدول ۷-۱ رجوع شود) برای تولید اسیدهای مورد استفاده در باطری بکار می‌روند تا ناخالصی آهن حداقل باشد. با ضخیم‌تر انتخاب کردن روقه‌های مورد استفاده در قسمتهای گنبدی شکل تانک‌های واگنی، عمر آنها بیشتر می‌شود.

خوردگی قسمتهای فوقانی تانکها (در منطقه "بخار") با فولاد ضخیم‌تر یا بوسیله پوشش حل می‌شود. خوردگی در سطح اسید را با بهم زدن اسید حل می‌کنند. بهم زدن مانع از تشکیل یک لایه سطحی اسید رقیق (در اثر جذب رطوبت هوا) می‌شود.

در روش محفظه‌ای برای تولید اسید سولفوریک از محفظه‌های سربی و دودکشا و برجهای روکش شده بوسیله فولاد، سرب، و آجر استفاده می‌شود. دمنده‌ها سربی هستند و پروانه‌های آنها از فولاد با روکش سرب ساخته می‌شود. پمپ‌های چدن پرسلیسیم بطور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در روش محفظه‌ای معمولاً اسید سولفوریک تا غلظت ۷۸٪ تولید می‌شود. در روش مجاورتی اسید قوی و الثوم تولید می‌شود. مصرف وسیع سرب در روش محفظه‌ای و فولاد در روش مجاورتی به همین علت است.

انواع مختلف غلیظ کننده‌ها^(۲) بکار می‌روند. لوله‌های حرارتی معمولاً از جنس دورآیرون هستند و گاهی اوقات از هاستولی D. همانطور که در شکل ۷-۱۲ نشان داده شده است هاستولی D در غلظت حدود ۵۷٪ خورده می‌شود. مخازن^(۳) فولاد آجرچینی شده با یک لایه میانی از سرب هستند.

دین و گراب^(۴) بر اساس اصول هیدرو دینامیکی یک روش محاسباتی برای

1- Heresite

2- Concentrators

3- Vessels

4- S. W. Dean and G. D. Grab, "Corrosion of Mild Steel by Concentrated Sulfuric Acid," Paper No. 147, NACE Corrosion/84 (1984)

سرعت خوردگی در اسیدسولفوریک غلیظ پیشنهاد نموده اند. در این روش فرض شده که سطح فولاد بوسیله سولفات فرو پوشیده شده و سرعت خوردگی بوسیله دیفوزیون سولفات فرو از سطح تعیین می شود. توافق خوبی بین سرعتهای خوردگی محاسبه شده و عملی وجود دارد.

انستیتو تکنولوژی مواد در حال انجام پروژه ای در مورد خوردگی بوسیله اسید در حالت دینامیکی می باشد. پارامترهای مورد بررسی عبارتند از: سرعت حرکت صفر تا ۶ متر بر ثانیه (۱۹/۵ فوت بر ثانیه)، غلظت ۹۳-۹۸/۵٪، دما ۲۰-۷۰°C. این گزارش قرار بود در سال ۱۹۸۵ بچاپ برسد.

شرکت بین المللی نیکل^(۱) در ۱۹۸۳ بولتن مهندسی خوردگی (CEB-۱) را تحت عنوان "مقاومت خوردگی آلیاژهای نیکل دار در اسیدسولفوریک و ترکیبات مربوطه" بچاپ رسانید. این بولتن حاوی اطلاعات زیادی می باشد.

کمیته T-5A-18 انجمن ملی مهندسی خوردگی^(۲) در سال ۱۹۸۵ یک دستورالعمل استاندارد در مورد کار کردن و نگهداری با اسیدسولفوریک غلیظ بچاپ رسانید. اطلاعات اساساً مشابه اطلاعاتی است که در این فصل ارائه گردیده است.

۷-۱۵ غیر فلزات

در شکل ۷-۱۲ مقاومت خوردگی چند ماده غیر فلزی نشان داده شده است. در جدول ۷-۲ مقاومت خوردگی تعدادی از غیر فلزات در اسیدسولفوریک نشان داده شده است. در اینجا لازم است بر خواص مکانیکی نسبتاً ضعیف، مخصوصاً در رابطه با خزش و سیلان در درجه حرارتهای بالا و تردی این مواد تاکید شود. مثلاً تفلون در اثر تنش حتی در درجه حرارت محیط سیلان می یابد.

در شکل ۷-۱۳ مقاومت خوردگی فولاد با روکش شیشه فاودلر^(۳) در اسیدسولفوریک بر حسب غلظت در درجه حرارت نشان داده شده است.

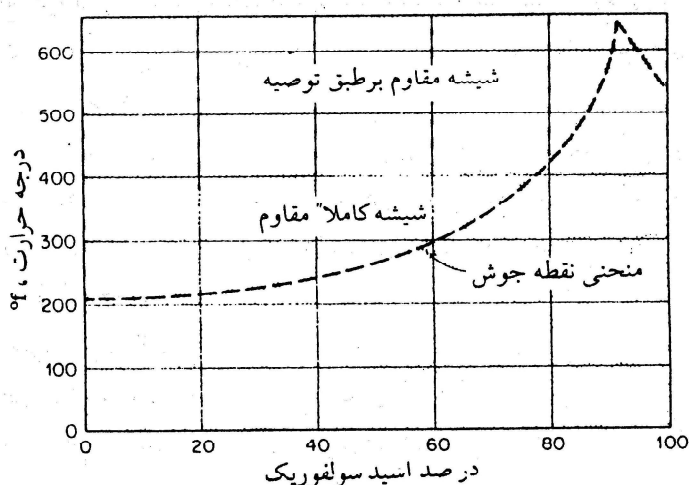
نکته دیگری که بایستی تاکید کرد این است که مقاومت شیمیائی این مواد بستگی به فرمول مورد استفاده (کاربرد نرم کننده^(۴))، یا عدم کاربرد آن (و نوع فیلر دارد، مخصوصاً در مورد پلاستیکها، لاستیکها، والاستومرها.

1- International Nickel Co.

2- NACE

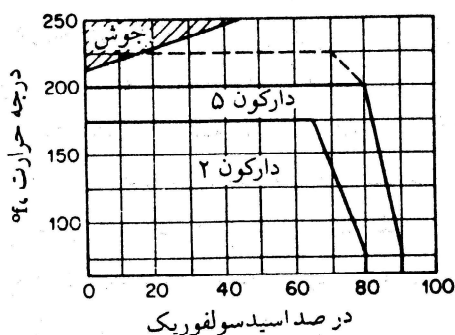
3- Pfaudler glass

4- Plasticizer



شکل ۷-۱۳ مقاومت خوردگی شیشه فادلر ۵۳ (Pfaunder 53) در برابر اسید سولفوریک

شکل ۷-۱۴ این مطلب را نشان می دهد. به اختلاف مقاومت دارکون ۲ و ۵ توجه نمایید. اینها هر دو رزین اپوکسی هستند. برای یک کاربرد مورد نظر مواد مختلف بایستی آزمایش شوند. درباره غیر فلزات در فصل ۶ بحث شده است.



شکل ۷-۱۴ مقاومت خوردگی دارکون ۲ و ۵ (Durcons) در برابر اسید سولفوریک

جدول ۷-۲ غلظت و محدوده درجه حرارت اسیدسولفوریک برای بعضی از غیر فلزات

مواد	درجه حرارت، °F	
	محیط	بالا
پلی وینیل کلراید (PVC - نوع ۱)	۹۳٪	۱۵۰° و ۹۳٪
پلی وینیل کلراید (PVC - نوع ۲)	۹۳٪	۱۳۰° و ۹۳٪
پلی وینیلیدن کلراید (ساران)	۶۰٪	۱۲۵° و ۵۰٪
پلی اتیلن (دانسیته بالا)	۹۸٪	۱۲۵° و ۹۸٪
پلی پروپیلن	۹۸٪	۲۰۰° و ۹۳٪
پلی اتر (پنتون)	۹۸٪	۲۲۰° و ۶۰٪
آکریلونیتریل - بوتادین - استرین (کراسستیک)	۶۰٪	۱۴۰° و ۱۰٪
فلوریلیمرها (تفلن و Kelf)	۱۰۰٪	۴۰۰° و ۱۰۰٪
پلی استرها	۸۰٪	۱۵۰° و ۷۵٪
اپوکسیها (دارکون)	۹۰٪	۲۰۰° و ۷۵٪
فنولیکها (بالکیت)	۹۰٪	۲۰۰° و ۷۰٪
لاستیک بوتیل	۷۵٪	۱۷۵° و ۵۰٪
نئوپرن	۷۵٪	۱۸۵° و ۵۰٪
هیپالون	۹۳٪	-
پیرکس	تمام غلظت‌ها	۶۰۰° در تمام غلظت‌ها
آجر ضد اسید	تمام غلظت‌ها	۶۰۰° در تمام غلظت‌ها
Haveq ۴۳	۶۰٪	۲۵۰° و ۵۰٪
گرافیت بدن تخلخل	۱۰۰٪	۱۷۵° و ۹۶٪
لاستیک طبیعی (نرم)	۷۰٪	۱۷۰° و ۶۰٪
لاستیک طبیعی (سخت)	۸۰٪	۱۸۰° و ۶۰٪
چوب (سرو قرمز)	۸۰٪	۱۲۵° و ۵٪

* به شکل ۷-۱۴ رجوع شود

W.S.Luce, Proceedings of Short Course on process Industry Corrosion, OSU and NACE, 1960. With additions by M.G.Fontana.

اسید نیتریک

انتخاب فلزات و آلیاژها برای کار با اسید نیتریک کاملاً محدود است. در اکثر کاربردها انتخاب معمولاً بین دو گروه فولادها و آلیاژهای زنگ‌زن و چدنهای پرسلیسیم صورت می‌گیرد. لزوم وجود یک مقدار حداقل کرم در فولادها و آلیاژهای زنگ‌زن، و

این مطلب که چدن پرسلیسیم فقط بصورت ریختگی وجود دارد، انتخاب را محدودتر می‌کند. مثل هر محیط خورنده دیگر، طبقه‌بندی ساده‌ای در مورد مواد مورد استفاده برای کار با اسیدنیتریک وجود ندارد. لکن بمنظور بحث در اینجا طبقه‌بندی زیر بکار می‌رود: کلاس ۱- معمولاً بکار می‌روند و برای درجه حرارتها و غلظتهای مختلف مناسب هستند، کلاس ۲- تنها تحت شرایط خاصی بکار می‌روند بخاطر قیمت بالا، مقاومت خوردگی محدود، مقاومت در غلظتهای خاص، یا ترکیبی از این حالتها و کلاس ۳- عمدتاً بخاطر نداشتن مقاومت خوردگی کافی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند یا مناسب نیستند. این طبقه‌بندی عمدتاً بر اساس ملاحظات عملی صورت گرفته است.

۷-۱۶ فولادهای زنگ‌زن

از نظر تناژ، فولادهای زنگ‌زن بیشتر از فلزات و آلیاژهای دیگر بکار می‌روند. تعداد فولادها و آلیاژهای زنگ‌زن زیاد است، و انتخاب برای یک کاربرد معین عمدتاً بستگی به مقدار کرم، ملاحظات تولیدی و قیمت آلیاژ دارد. در جدول ۷-۳ مقاومت خوردگی آلیاژهای آهن - کرم در محلول ۶۵٪ اسیدنیتریک جوشان نشان داده شده است. این اطلاعات دلیل وجود حداقل ۱۵٪ کرم در اکثر کاربردهای فولادها و آلیاژهای زنگ‌زن (با یا بدون نیکل) در اسید نیتریک را نشان می‌دهد. نیکل مقاومت خوردگی را افزایش می‌دهد، مثلاً در اثر اضافه کردن ۸۰٪ نیکل به آلیاژ آهن - ۷٪ کرم سرعت خوردگی در اسیدنیتریک جوشان ۶۵٪ به حدود ۱۲ mpy کاهش پیدا می‌کند.

۷-۱۷ کلاس ۱

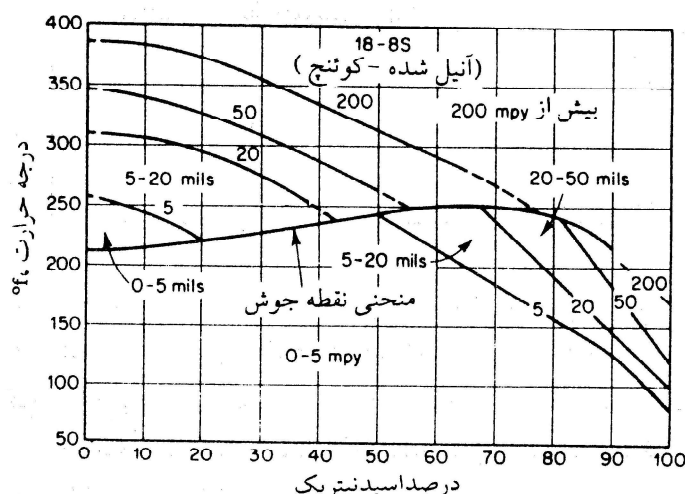
فلزات و آلیاژهایی که در کلاس ۱ قرار دارند عبارتند از: چدن پرسلیسیم (حدود ۱۴/۵٪ سیلیسیم)، فولاد زنگ‌زن ۱۸-۸ (نوع ۳۰۴)، ۱۷٪ کرم (نوع ۴۳۰) و تیتانیم. چدن پرسلیسیم از نظر مقاومت خوردگی بسیار عالی است، ولی فقط بصورت ریختگی وجود دارد و دارای خواص مکانیکی نسبتاً ضعیفی می‌باشد. علیرغم این نکات، این آلیاژ بخاطر ارزان بودن و همچنین نامناسب بودن مواد دیگر در درجه حرارتهای بالا، غلظتهای بالا یا شرایط خوردگی سایشی، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱۸-۸ فولاد زنگ‌زن معمولی بیشتر از تمام مواد دیگر برای کار با اسید نیتریک بکار می‌رود. در شکل ۷-۱۵ منحنی خوردگی یکسان ۱۸-۸ در اسیدنیتریک نشان داده

جدول ۷-۳ تاثیر کرم بر مقاومت فولاد کم کربن در برابر اسیدنیتریک ۶۵٪ جوشان

سرعت متوسط خوردگی، mpy	٪Cr
۱۵۵/۰۰۰	۴/۵
۱۷۰۰	۸/۰
۱۲۰	۱۲/۰
۳۰	۱۸/۰
۸	۲۵/۰

شده است. این منحنی درباره آلیاژهای زیر با عملیات حرارتی صحیح نیز صدق می‌کند: ۳۰۴، ۳۰۴L، ۳۲۱، ۳۴۷، ۸-CF، ۳-CF، CF-AT، CF-AC. تمام این آلیاژها دارای ۱۸٪-کرم و ۸٪ نیکل می‌باشند. انواع ۳۱۶ و CF-AM یا ۱۸۸SMO در اسیدنیتریک اندکی ضعیف بوده و گرانتر هستند، لذا مشخصاً برای اسیدنیتریک بکار نمی‌روند. در شکل ۷-۱۵ نشان داده شده است که ۱۸۸S در تمام غلظت‌های اسیدنیتریک در درجه حرارت محیط تا ۸۰ درجه فارنهایت و همچنین تا نقطه جوش تا غلظت ۵۰٪ مقاومت خوردگی عالی از خود نشان می‌دهد. با افزایش درجه حرارت، مقاومت خوردگی کاهش می‌یابد. ۱۸-۸S در اسیدهای داغ و خیلی قوی شامل اسیدنیتریک دودکننده مقاومت خوردگی کمی دارد، ولی در اسیدهای دودکننده قرمز و سفید در درجه حرارت‌های محیط مقاومت خوردگی عالی از خود نشان می‌دهد. شکل ۷-۱۵ با منحنی‌های قبلی تفاوت دارد، بدین معنی که خطوط خوردگی یکسان برای درجه حرارت‌های بالای نقطه جوش معمولی اسیدنیز رسم شده است. این آزمایشات در اتوکلاوهای بسته انجام شده بطوریکه فشار حاصل فشار تعادلی برای درجه حرارت مربوطه می‌باشد. ۱۸۸S در اسید ۵٪ تا ۲۰٪ جوشان عملاً خورده نمی‌شود، ولی در حدود ۳۰۰ درجه فارنهایت و بالاتر سرعت خورده می‌شود. سرعت خوردگی در اسید ۶۵٪ با افزایش درجه حرارت به بالاتر از منطقه جوش افزایش می‌یابد. بعنوان مثال در ۳۲۰ درجه فارنهایت سرعت ۵۰۰ mpy مشاهده می‌شود. توجه کنید که منطقه ۵-۰ mpy با افزایش درجه حرارت بالای نقطه جوش بشدت کوچک شده است. سرعت‌های خوردگی بالا در این درجه حرارت‌ها با تجارب عملی مطابقت دارد. یکی از اولین آلیاژهایی که برای ساخت واحدهای شیمیایی به کار رفت، آلیاژ

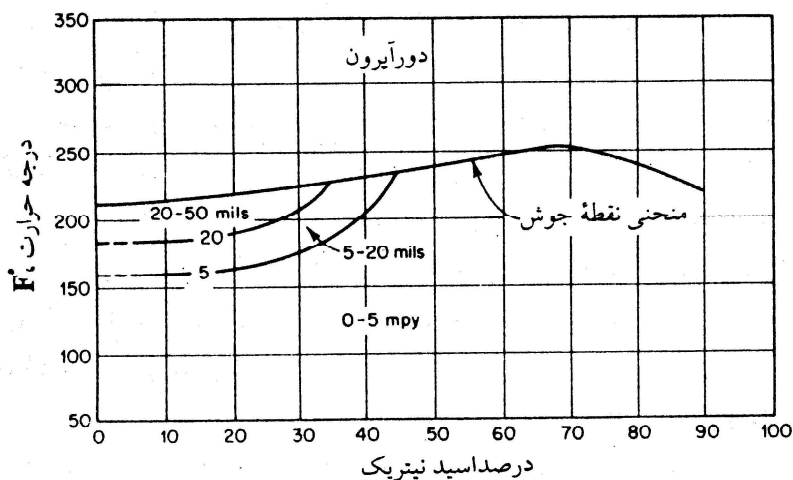


شکل ۷-۱۵ خوردگی ۱۸-۸S در حالت آنیل محلولی شده بوسیله اسیدنیتریک شامل درجه حرارتها و فشارهای بالا

آهن با ۱۵ تا ۱۶٪ کرم (نوع ۴۳۰) بوده است. در دهه ۱۹۲۰ واگنهای حمل و نقل و واحدهای تولید اسید نیتریک از این آلیاژ ساخته شدند. مقاومت خوردگی نوع ۴۳۰ و نوع ریختگی آن قدری کمتر از ۱۸-۸S می باشد. نوع ۴۳۰ با افزایش درجه حرارت یا غلظت سریعتر خورده می شود. از معایب آلیاژهای کرمی ساده، ترد بودن نوع ریختگی و ترد شدن آلیاژ نزدیک خط جوش می باشد. به همین دلایل در اکثر کاربردهای اسید نیتریک که مقاومت خوردگی این آلیاژها رضایت بخش بوده، بوسیله فولادهای زنگ نزن آستینیتی جایگزین شده اند. قابل ذکر است که مقاومت خوردگی همه این مواد رضایت بخش است.

در شکل ۷-۱۶ منحنی خوردگی یکسان چدن ۱۴/۵ درصد سیلیسیم با نام تجارتی دورآیرون نشان داده شده است. دورآیرون در غلظتهای تا بیش از ۴۵٪ در درجه حرارتهای جوش مقاومت خوردگی عالی نشان می دهد. در حقیقت، سرعتهای خوردگی در اسیدهای قویتر عملاً صفر است حتی در درجه حرارتهای بالا. در تمام

غلظتها در پائین تر از ۱۶۰ درجه فارنهایت، مقاومت خوردگی خیلی خوب است. اطلاعات نشان داده شده در اسیدهای رقیق جدید هستند. قبلاً تصور می شد که چدن پرسلیسیم در تمام غلظتها (شامل اسید رقیق) و درجه حرارتها مقاومت خوردگی بسیار خوبی نشان می دهد. شکل ۷-۱۶ نشان می دهد که در اسیدهای رقیق در درجه حرارتهای بالا سرعت خوردگی ممکن است زیاد باشد. توجه کنید که مقاومت خوردگی دورآیرون با افزایش غلظت اسید، افزایش می یابد. همچنین به مناطق ۶ و ۷ در شکل ۷-۱۲ توجه نمایید.



شکل ۷-۱۶ خوردگی چدن پرسلیسیم بوسیله اسید نیتریک بر حسب غلظت و درجه حرارت.

یک نوع چدن پرسیلیسیم دیگر دوریکلر نام دارد که حاوی حدود ۳٪ مولیبدن است. مقاومت خوردگی دوریکلر در اسیدنیتریک بهتر از دورآیرون نیست و احتمالاً کمتر است. بطور کلی همانطور که در بالا اشاره شد، مولیبدن بعنوان یک عنصر آلیاژی باعث افزایش مقاومت خوردگی فلزات در اسیدنیتریک نمی شود و معمولاً باعث کاهش آن می شود.

دورآیرون برای ساخت قطعات مختلف بصورت ریختگی از قبیل پمپها، والوها، میدلهای حرارتی، پروانهها، لولهها، و مخازن کوچک که در واحدهای شیمیائی بکار می روند مورد استفاده قرار می گیرد. قطعات چدن پرسیلیسیم سالیان درازی است که برای تولید و کار با اسیدنیتریک بکار رفته است. در فرآیند قدیمی تر نیترات پتاسیم و سدیم^(۱)، محفظه های تقطیر^(۲)، کندانسورها، و کولرها از چدن پرسیلیسیم ساخته می شدند. همچنین در فرآیندهای اکسیداسیون آمونیاک نیز بطور وسیعی مورد استفاده قرار می گیرد. غلیظ کننده ها^(۳)، برجهای خشک کننده^(۴)، کویل های کندانسور، پکینگ برجها^(۵)، پروانه های پمپها، خطوط لوله، و والوها را غالباً از دورآیرون می سازند. اسیدنیتریک دودکننده داغ را در فرآیند تولید در تجهیزات ساخته شده از دورآیرون خنک می کنند.

چدنهای پرسیلیسیم همچنین برای کار با مخلوط اسیدنیتریک با مواد شیمیائی دیگر مثل اسیدسولفوریک، سولفاتها، و نیتراتها بکار می روند.

در یک کارخانه در رابطه با یک فرآیند جدید مشتمل بر اسیدنیتریک ۷۰٪ درجه حرارتهای خیلی بالاتر از نقطه جوش معمولی، ابتدا فولاد زنگ نزن بکار گرفته شد، ولی آلیاژ در زمان کوتاهی از بین رفت. چدن پرسیلیسیم بطور موفقیت آمیزی از عهده انجام کار برآمد.

دوریمت ۲۰، آلیاژ ریختگی ۲۰ - FA را می توان در کلاس ۱ قرار داد، نه فقط بخاطر مقاومت خوردگی خوب آن، بلکه چون در بعضی موارد بخاطر ملاحظات تولیدی قیمت آن مشابه ۱۸۸S می باشد. به بیان دیگر این آلیاژ بر اساس طبقه بندی فوق در یک موقعیت مرزی قرار دارد. اگر قیمت یک قطعه یا تجهیزات مورد نظر از دوریمت

1- Saltpeter

2- Retorts

3- Concentrators

4- Dehydrating towers

5- Tower packing

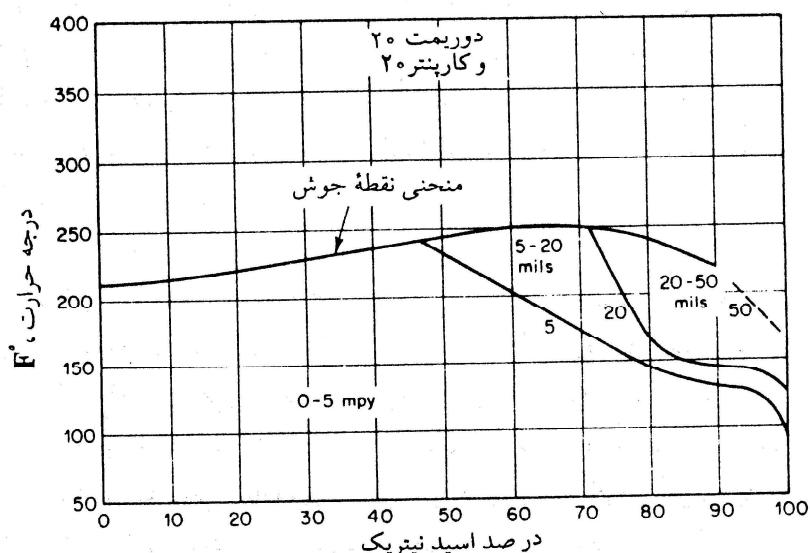
۲۰ و ۱۸۸ S یکسان است، در اینصورت دوریمت ۲۰ در کلاس ۱ قرار می‌گیرد. اگر قیمت دوریمت ۲۰ بیشتر باشد در اینصورت در کلاس ۲ قرار می‌گیرد.

کارپنتر ۲۰، حالت نوردی دوریمت ۲۰، در کلاس ۲ قرار دارد، زیرا در این حالت قیمت آلیاژ خیلی گرانتر از ۱۸۸ S می‌باشد. در مورد این قوانین کلی استثنائاتی وجود دارد. مثلاً در اسید خیلی غلیظ در درجه حرارت‌های بالاتر از درجه حرارت محیط دوریمت ۲۰ و کارپنتر ۲۰ مقاومت خوردگی خیلی بهتری نسبت به ۱۸۸ S دارند. قوانین ذکر شده در مورد اسیدنیتریک ساده صدق می‌کند. در بعضی موارد که اجزای دیگری در اسید وجود داشته باشند و باعث افزایش خوردگی ۱۸۸ S بشوند، کاربرد آلیاژهای گرانتر ممکن است مفیدتر باشد.

در شکل ۱۷-۷ منحنی خوردگی یکسان دوریمت ۲۰ و کارپنتر ۲۰ نشان داده شده است. این آلیاژها در تمام غلظتها تا حدود ۱۰۰ درجه فارنهایت و همچنین در اسیدهای جوشان تا غلظت حدود ۵۰٪ مقاومت خوردگی عالی دارند. قسمت سمت راست شکل نشان می‌دهد که با افزایش غلظت و درجه حرارت خوردگی افزایش می‌یابد.

مقایسه شکلهای ۷-۱۷ و ۷-۱۷ نشان می‌دهد که مناطق صفر تا ۵ mpy خیلی به هم شبیه هستند. ولی آلیاژهای ۲۰ در اسیدهای قویتر و گرمتر خیلی بهتر هستند. مثلاً خط ۵۰ mpy در شکل ۷-۱۷ تقریباً در همان موقعیت خط ۲۰۰ mpy برای ۱۸۸ قرار دارد. به بیان دیگر در مواردی که ۱۸۸ در شرایط نشان داده شده بوسیله قسنت بالایی و سمت راست شکل نامناسب است، از آلیاژهای ۲۰ استفاده می‌کنند.

گاهی اوقات درباره مقایسه مقاومت خوردگی آلیاژهای ریختگی و کار مکانیکی شده^(۱) یا نوردی سوالاتی می‌شود. بطور کلی مقاومت خوردگی این دو حالت می‌تواند یکسان در نظر گرفته شود و در بعضی موارد نوع ریختگی ممکن است مقاومت خوردگی کمتری در یک محیط معین داشته باشد و در یک محیط دیگر برعکس. انتخاب حالت نوردی یا ریختگی برای یک کاربرد معین معمولاً بر اساس ملاحظات مهندسی دیگری قرار دارد. مثلاً ساخت پمپ و پروانه به روش مکانیکی خیلی گرانتر تمام می‌شود. از طرف دیگر، یک اتصال یا یک زانوی متحرک^(۲) که نیاز به فلزی با جداره خیلی نازک دارد از روش ریختگی تولید نمی‌گردد.



شکل ۷-۱۷ خوردگی دوریمت ۲۰ و کارپنتر ۲۰ بوسیله اسیدنیتریک
بر حسب غلظت و درجه حرارت

تیتانیم دارای مقاومت بسیار خوبی در غلظت‌های مختلف اسیدنیتریک و درجه حرارت‌های بالای نقطه جوش معمولی می‌باشد. مثلاً در اسید ۶۵٪ در ۳۵۰ درجه فارنهایت، سرعت خوردگی کمتر از ۵ mpy می‌باشد. این فلز که از نظر صنعتی نسبتاً تازه وارد محسوب می‌شود، کمبود آلیاژ نوردی در اسیدهای داغ را بر طرف می‌سازد. تیتانیم خیلی گرانبه است ولی در بعضی موارد تنها فلزی است که از عهده انجام کار بر می‌آید. تیتانیم در اسید نیتریک دودکننده که در سیستم سوخت راکت‌ها و سفاین فضائی دیگر بعنوان ماده اکسید کننده بکار می‌رود، مقاومت خوردگی بسیار خوبی نشان

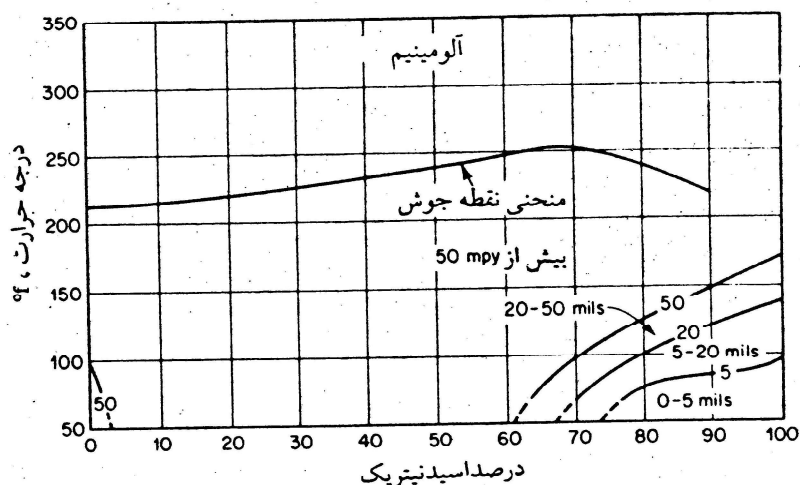
می دهد. ولی چون تیتانیم در اسیدنیتریک دودکننده قرمز تمایل به مشتعل شدن^(۱) دارد، در صورتی که مقدار آب موجود در اسید کمتر از ۱/۵٪ و دی اکسید نیتروژن بیشتر از ۲/۵٪ باشد کاربرد آن توصیه نمی شود. معمولاً تیتانیم و آلیاژهای آن از نظر مقاومت در برابر خوردگی توام با تنش خیلی خوب هستند. حضور یونهای اکسید کننده در اسید نیتریک باعث کاهش خوردگی تیتانیم می شود. مثلاً حضور یونهای کرم در اسید نیتریک باعث کاهش خوردگی تیتانیم بوسیله اسیدنیتریک می گردد، برعکس در مورد فولادهای زنگ زن، که یونهای شش ظرفیتی کرم باعث افزایش خوردگی آن در اسیدنیتریک داغ می گردد.

۷-۱۸ کلاس ۲

آلومینیم و آلیاژهای آن در اسید نیتریک قوی مقاومت عالی نشان می دهند، ولی در غلظتهای کمتر از ۸۰٪ به سرعت خورده می شوند. در شکل ۷-۱۸ منحنی خوردگی یکسان آلومینیم در اسید نیتریک نشان داده شده است. با افزایش غلظت اسید در بالاتر از ۸۰٪ مقاومت خوردگی به سرعت افزایش می یابد. آلومینیم جز معدود فلزات تجارتي است که برای اسید نیتریک قوی از جمله اسید نیتریک دودکننده بکار می رود. در این اسیدهای قوی در درجه حرارتهای معمولی بسته به زمان تماس اسید با فلز سرعت خوردگی ۳ mpy یا کمتر است. موقعی که زمان آزمایش طولانی است، سرعت خوردگی تقریباً صفر است. این اسیدها نایستی خیلی رقیق شوند. خط ۵۰ mpy در گوشه سمت چپ این شکل خیلی دقیق نیست. لکن، از نقطه نظر عملی این مسئله مهمی نیست، زیرا از آلومینیم در اسید نیتریک رقیق بندت استفاده می شود.

رفتار آلومینیم در اسیدنیتریک شبیه رفتار فولاد در اسید سولفوریک است. این دو فلز در اسید رقیق بشدت خورده می شوند ولی در اسید قوی خیلی خوب عمل می کنند.

شکل ۷-۱۸ در مورد آلومینیم خالص تجارتي ۱۰۰، آلومینیم تجارتي با خلوص بالا حداقل ۹۹/۶٪، و آلیاژ مشهور و قوی ۳۰۰۳ که یکی از متداول ترین آلیاژهای آلومینیم در کاربردهای شیمیائی است صدق می کند. لکن این منحنی برای آلیاژهای ۳۰۰۴، ۵۰۵۲ و ۶۰۶۱ نیز صادق است. آلیاژهای با استحکام بالا مثل ۲۰۱۷، ۲۰۱۴ و



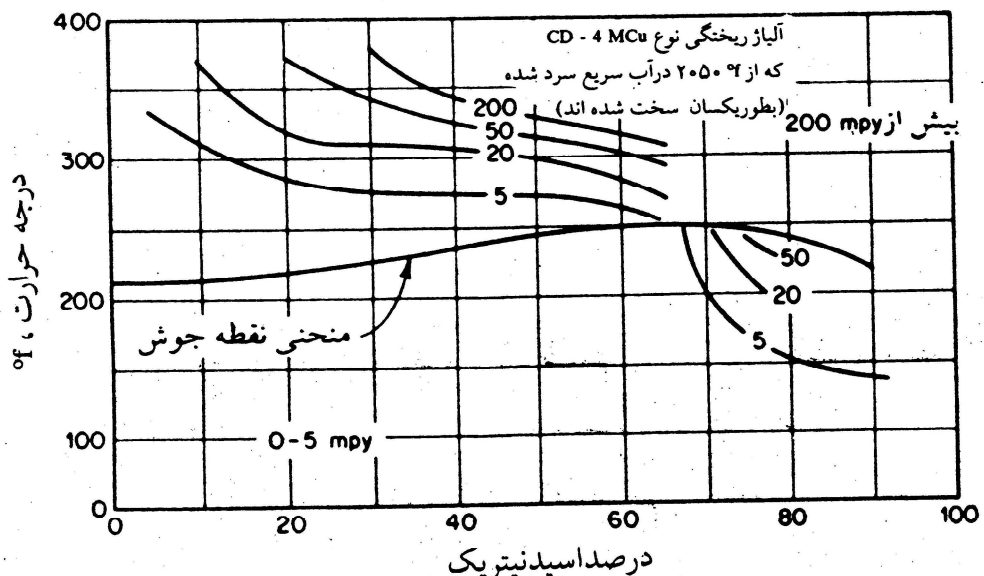
شکل ۷-۱۸ خوردگی آلومینیم بوسیله اسید نیتریک بر
حسب غلظت و درجه حرارت

۲۰۲۴ یا انواع "دورال" دارای رفتار مشابهی در اسید قوی و درجه حرارتهای پائین می‌باشند.

مقایسه شکلهای ۷-۱۵ و ۷-۱۸ نشان می‌دهد که در غلظتهای پائین‌تر فولادهای زنگ‌زن مناسب‌تر هستند و آلومینیم در اسیدهای غلیظ کمی بالاتر از درجه حرارت محیط بهتر عمل می‌کند. افزایش سرعت حرکت اسید نیتریک دودکننده باعث تقلیل خوردگی فولاد زنگ‌زن و افزایش خوردگی آلومینیم می‌شود (به قست ۳-۳۰ رجوع گردد). بین آلومینیم و ۱۸۸S در اسید نیتریک دودکننده خاصیت گالوانیسیکی غیر عادی مشاهده می‌شود. وقتی که این دو فلز به یکدیگر متصل هستند، سرعت خوردگی آلومینیم بالا است و سرعت خوردگی فولاد زنگ‌زن پائین است. این درست عکس موقعی است که

با یکدیگر در تماس نباشند. این رفتار نشان می‌دهد که برای حفاظت فولاد زنگ‌نزن در اسید نیتریک دودکننده می‌توان از آلومینیم بعنوان آند قربانی شونده استفاده کرد. تجهیزات ساخته شده از آلومینیم در تولید و کار با اسید نیتریک غلیظ شامل انواع دودکننده آن مورد استفاده قرار می‌گیرند. این تجهیزات عبارتند از: کویل‌های خنک کننده، کندانسورها، لوله‌ها، هودها، دودکش‌ها، تانک‌های ذخیره، تانک‌های واگنی و بشکه‌ها. حضور اکسیدهای نیتروژن با ظرفیت کمتر تأثیر محسوسی بر خوردگی آلومینیم ندارد.

همانطور که در شکل ۷-۱۹ نشان داده شده است آلیاژ $CD-4\ MCu$ (علامت‌گذاری انستیتو آلیاژهای ریختگی) مقاومت عالی در اسید نیتریک دارد. این تنها آلیاژ رسوب سخت است که در حالت سخت شده مقاومت خوبی در اسید نیتریک دارد.



شکل ۷-۱۹ خوردگی $CD-4\ MCu$ بوسیله اسید نیتریک بر حسب غلظت و درجه حرارت.

فولادهای زنگ‌زن پرآلیاژ، مثل ۳۰۹ و ۳۱۰ کمی بهتر S ۸-۱۸ می‌باشند، ولی گراتر هستند. فولادهای زنگ‌زن با کرم کمتر، مثل نوع ۴۱۰، بندرت در اسیدنیتریک به کار می‌روند.

اینکونل، ایلیم، دارکو D-۱۰، هاستولی C، و کلریمت ۳، که نیکل‌های پرآلیاژی حاوی کرم هستند، مقاومت خوردگی بیشتر نشان نمی‌دهند تا قیمت آنها را توجیه نماید. هاینز ۲۵^(۱) مقاومت خوبی در اسیدنیتریک دودکننده دارد، ولی گرانیقیمت است. طلا، تانتال، و پلاتین مقاومت خوردگی عالی در اسیدنیتریک نشان می‌دهند ولی تنها در موارد خاصی که قیمت بالای آنها قابل توجیه باشد بکار می‌روند. در جدول ۷-۴ مقاومت خوردگی چند غیر فلز در اسیدنیتریک نشان داده شده است. تفلون مقاومت خوردگی عالی دارد. تفلون تقویت شده با شیشه^(۲) بطور وسیعی

جدول ۷-۴ غلظت و محدوده حرارتی در اسید نیتریک، برای بعضی از غیرفلزات

درجه حرارت بالا، F°	محیط	مواد
۵۰۰° و ۱۰۰٪ UP	۱۰۰٪	تفلون
۱۰۰° و ۲۰٪	۶۰٪	پلی اتیلن
۱۴۰° و ۴۰٪	۵۰٪	PVC (نرم شده)
۱۵۰° و ۳۰٪	۵۰٪	لاستیک بوتیل
۱۰۰° و ۵٪	۱۰٪	ساران
۱۸۵° و ۱۰٪	۳۰٪	کاربایات
۲۵۰° و ۳۰٪	۷۰٪	پنتون
۱۵۰° و ۴۰٪	۶۰٪	دارکون

مرجع: L. R. Honnaker. *Proceedings of Course on Process Industry Corrosion*. OSU and NACE, 1960, With additiosn by M. G. Fontana.

برای رینگهای چرخان^(۳) که برای آب‌بندی پمپهای اسیدنیتریک بکار می‌روند مورد استفاده قرار می‌گیرد. غیر از تفلون غیر فلزات آلی یا غیر فلزاتی که دارای باندهای آلی

1- Haynes 25

2- Glass Filled

3- Rotating rings

هستند بوسیله اسیدهای قوی تر خورده می شوند. لاستیک بوتیل خیلی بهتر از لاستیکهای دیگر و الاستومرها که در اسیدنیتریک کاملاً ضعیف هستند می باشد. معمولاً پلاستیکها برای لوله کشی یا ساخت تجهیزات بکار نمی روند، زیرا در محدوده غلظتهایی که پلاستیکها مقاومت خوبی نشان می دهند، فولاد زنگ نزن از عهده کار بخوبی بر می آید.

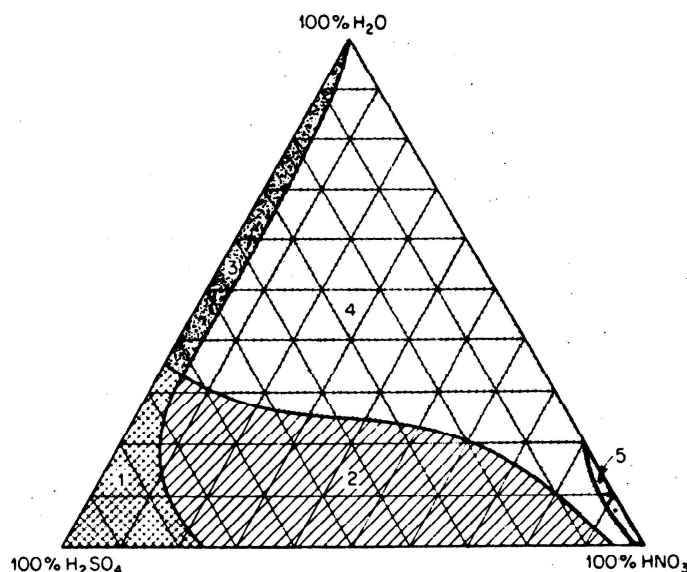
۱۹-۷ کلاس ۳

چدن معمولی، چدنهای نیکل دار، منیزیم، فولاد و فولادهای کم آلیاژی در اکثر غلظتهای اسیدنیتریک به سرعت خورده می شوند. گاهی اوقات، موقعی که خطر رقیق شدن وجود نداشته باشد در اسید خیلی غلیظ در درجه حرارت محیط از فولاد و چدن استفاده می شود. مس، نیکل، و آلیاژهای مسی و نیکلی مثل برنج، برنز، مونل، و کوپرونیکلها در اسید نیتریک سرعت خوردگی بالایی نشان می دهند. نقره مقاومت خوردگی کمی نشان می دهد. آلیاژهای نیکل - مولیبدن مثل هاستولی B و کلریمت ۲ بسهولت خورده می شوند. معمولاً هاستولی D، آلیاژ نیکل - سیلیسیم - مس، برای کاربردهای اسیدنیتریک توصیه نمی شود. در اسید نیتریک غلیظ از سرب استفاده نمی شود.

۲۰-۷ مخلوطهای اسیدی

مخلوطهای اسید سولفوریک و نیتریک خیلی متداول هستند. در شکل ۲۰-۷ مقاومت خوردگی (کمتر از ۲۰ mpy) در درجه حرارت محیط در سیستم $\text{H}_2\text{O} - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{HNO}_3$ نشان داده شده است. توجه کنید که وقتی که مقدار آب کم باشد، فولاد ساده کربنی مناسب است.

غالباً مخلوطهای اسیدنیتریک و اسید فلوریدریک مخصوصاً برای اسیدشویی فولادهای زنگ نزن بکار می روند. در این محیطها غیر فلزات مثل دارکون، کاربیت^(۱) و آجرهای ضد اسید بکار می روند. در مخلوطهای اسیدنیتریک و اسید کلریدریک نیز به همین ترتیب عمل می شود.



شکل ۷-۲۰ مقاومت خوردگی مواد مختلف در برابر مخلوطهای اسیدسولفوریک و نیتریک در درجه حرارت محیط کمتر از ۲۰ mpy

اسید کلریدریک

از نقطه نظر خوردگی و انتخاب فلز و آلیاژ، اسیدکلریدریک در بین اسیدهای معمولی، مشکل ترین مسائل را بوجود می آورد. در انتخاب مواد برای کار با این اسید بایستی دقت بسیاری مبذول شود، چه در غلظتهای خیلی رقیق و چه در غلظتهای بالا. این اسید باعث خوردگی شدید اکثر فلزات و آلیاژهای متداول می گردد. موقعی که هوادهی یا عوامل اکسید کننده نیز وجود داشته باشند، شرایط خورنده خیلی حاد خواهد بود. بسیاری از انهدامهای غیرمنتظره بوسیله ناخالصیهای جزئی توضیح داده شده اند. از نقطه نظر خوردگی، رفتار اسید تجارتنی یا موریاتیک با اسید

کدهای مربوط به دیاگرام مخلوط اسیدها در شکل ۷-۲۰
سرعت خوردگی موادی که در مناطق هاشور خورده قرار دارند کمتر از ۲۰ mpy می باشد.

منطقه ۱			
طلا	تانتال	شیشه	فولاد
-	پلاتین	چدن پرسلیسیم	دوریمت ۲۰
-	-	-	ورتیت
منطقه ۲			
طلا	چدن پرسلیسیم	دوریمت ۲۰	چدن
سرب	تانتال	ورتیت	فولاد
-	پلاتین	شیشه	۱۸Cr-۸Ni
منطقه ۳			
طلا	تانتال	شیشه	دوریمت ۲۰
-	پلاتین	چدن پرسلیسیم	ورتیت
منطقه ۴			
پلاتین	چدن پرسلیسیم	ورتیت	۱۸Cr-۸Ni
طلا	تانتال	شیشه	دوریمت ۲۰
منطقه ۵			
طلا	تانتال	شیشه	۱۸Cr-۸Ni
آلومینیم	پلاتین	چدن پرسلیسیم	دوریمت ۲۰
-	-	-	ورتیت

خیلی خالص بسیار متفاوت است. اسیدهایی که از محصولات جانبی یا فرعی کارخانجات تولیدی هستند روزبه روز بیشتر در بازارها ظاهر می شوند و در کارخانجات مورد استفاده قرار می گیرند. این اسیدها بسته به فرآیند تولید ممکن است حاوی تعداد زیادی ناخالصی باشند. تقریباً همیشه مقداری یون آهن در اسیدکلریدریک تجارتي یافت می شود و کلرورفریک غالباً عامل ایجادکننده حفره روی فلز می باشد. در حقیقت فلزات و آلیاژهای تجارتي و بسیاری از غیر فلزات قادر به مقاومت در برابر اسیدکلریدریک داغ حاوی مقادیر قابل ملاحظه کلرورفریک (یا کلرور کوپریک) نیستند.

حدود خوردگی مجاز مواد برای کار با اسیدکلریدریک معمولاً بالاتر است. موادی که سرعت خوردگی خیلی کمی دارند غالباً از نظر اقتصادی مقرون بصره نیستند.

برای بدست آوردن توازن بین هزینه تمام شده تجهیزات و عمر مفید حاصل از آنها بایستی قضاوت دقیق صورت بگیرد. موقعی که آلودگی محصول مسئله باشد، فقط فلزات گرانبهائی مثل تانتال می توانند مورد استفاده قرار بگیرند. فلزات و آلیاژها در سه طبقه قرار می گیرند: (۱) معمولاً بکار می روند و برای اکثر کاربردها مناسب هستند. (۲) با احتیاط و تحت شرایط خاصی بکار می روند و (۳) معمولاً تحت هر شرایطی نامناسب بوده و فقط موقعی که مقادیر بسیار کمی اسیدکلریدیک وجود داشته باشد توصیه می شود.

۷-۲۱ فلزات و آلیاژهای کلاس ۱

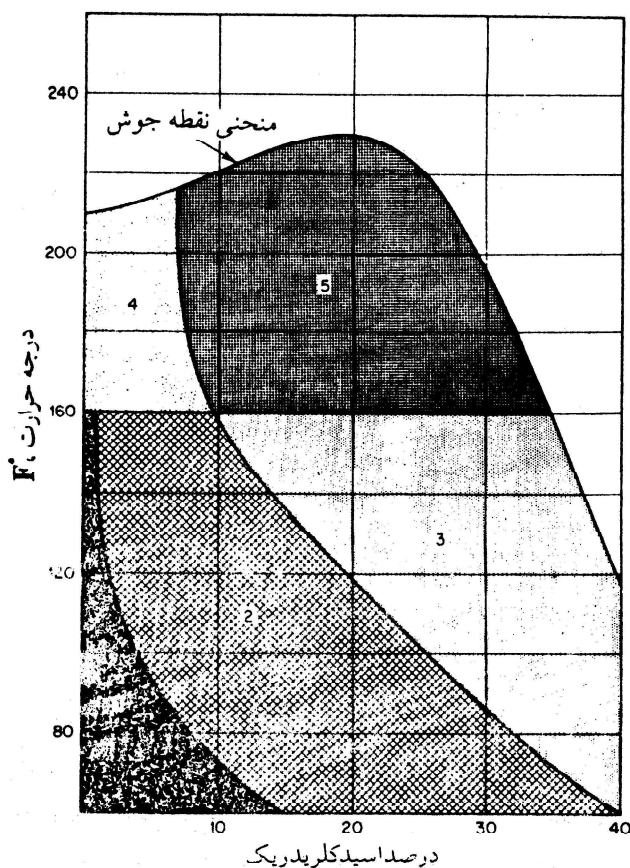
کلریمت ۲، کلریمت ۳، هاستولی B، هاستولی C، دوریکلر، تانتال، زیرکونیم و مولیبدن در کلاس ۱ قرار دارند. مولیبدن یکی از مهمترین عناصر آلیاژهای می باشد. تانتال خیلی گران است، ولی غالباً در مواقعی که آلودگی محصول مسئله است، مثلاً در لوله های بخار برای گرم کردن اسیدکلریدریک خیلی خالص بکار می رود. این فلز دارای استحکام بالایی است و لوله های نازک (به ضخامت دوهزارم اینچ) می توانند فشارهای بخار بالایی را تحمل کنند. بخاطر مقاومت خوردگی عالی تانتال در تجهیزاتی که خوردگی بایستی صورت گیرد مثل بعضی دستگاه های اندازه گیری، می توان از این فلز استفاده نمود.

شکل ۷-۲۱ و توضیح کدهای مربوطه در صفحه مقابل آن، خلاصه بسیار جالبی از مقاومت خوردگی مواد مختلف می باشد. بر اساس نتایج کارهای جدید، مولیبدن نیز بایستی به منطقه ۱ اضافه گردد. در این آزمایشات که مشتمل بر غلظتهای تا ۲۰٪ اسید بود، هوادهی تاثیر محسوسی نداشت.

دوریکلر که چدن پرسلیسیم مولیبدن داراست نسبت به نوع بدون مولیبدن این چدن در اسیدکلریدریک خیلی مقاومتر است. سرعت خوردگی دوریکلر در آغاز (در چند ساعت اول) تماس با اسید بخاطر تشکیل پوسته غیر فعال ممکن است بالا باشد، ولی با گذشت زمان خوردگی به سرعت کم می شود. در صنعت این آلیاژ برای تمام غلظتهای اسید کلریدریک و اسیدموریاتیک در درجه حرارتهای متوسط بکار می رود. اسید قوی و جوشان باعث خوردگی سریع می گردد. هوادهی بر مقاومت خوردگی بی تاثیر است. بمپ های دوریکلر در اسیدکلریدریک ۳۰٪ و همچنین در لجن های حاوی

۱۰٪ اسید در درجه حرارت‌های معمولی بخوبی کار می‌کنند. آلیاژ جدید دوریکلر C معادل دوریکلر استاندارد است.

کلریمت‌ها و هاستولی‌ها، آلیاژهای نیکلی با مقادیر بالایی از مولیبدن هستند. کلریمت ۲ و هاستولی B در تمام غلظت‌های اسید کلریدریک تا نقطه جوش مقاومت خوردگی خوبی نشان می‌دهند. ولی در صورتی که هواده‌ی یا یون‌های اکسیدکننده وجود داشته باشند، این آلیاژها خورده می‌شوند. کلریمت ۳ و هاستولی C در اسیدهای رقیق در درجه حرارت‌های متوسط خوب عمل می‌کنند و چون مقدار کرم آنها بالاست، در محیط‌های اکسیدکننده بهتر عمل می‌کنند.



شکل ۲۱-۷ مقاومت خوردگی مواد مختلف در برابر اسید کلریدریک کمتر از ۲۰ mm py

کدهای مربوط به دیاگرام اسیدکلریدریک شکل ۲۱-۷ سرعت خوردگی موادی که در مناطق هاشور خورده قرار دارند کمتر از ۲۰ mpy می باشد.

منطقه ۱		منطقه ۳	
لاستیک	کلریمت ۲	Haveg	کلریمت ۲
برنزسیلیم (بدون هوا)	شیشه	ساران	شیشه
مس (بدون هوا)	نقره	لاستیک	نقره
نیکل (بدون هوا)	پلاتین	مولیبدن	پلاتین
مونل (بدون هوا)	تانال	زیرکونیم	تانال
زیرکونیم	هاستولی B	گرافیت بدون تخلخل	هاستولی B (بدون کلر)
تنگستن	دوریکلر (بدون کلرورفریک)		دوریکلر (بدون کلرورفریک)
تینانیم تا ۱۰٪ اسیدکلریدریک Haveg		منطقه ۴	
در درجه حرارت محیط ساران			
منطقه ۲		منطقه ۵	
Haveg	کلریمت ۲		کلریمت ۲
ساران	شیشه	مونل (بدون هوا، تا ۵٪ اسیدکلریدریک)	شیشه
لاستیک	نقره	زیرکونیم	نقره
برنز سیلیم (بدون هوا)	پلاتین	گرافیت بدون تخلخل	پلاتین
زیرکونیم	تانال	تنگستن	تانال
مولیبدن	هاستولی B		هاستولی B (بدون کلر)
گرافیت بدون تخلخل	دوریکلر (بدون کلرورفریک)	تانال	
		هاستولی B (بدون کلر)	
		زیرکونیم	
		گرافیت بدون تخلخل	

۲۲-۷ فلزات و آلیاژهای کلاس ۲

آلیاژهایی که در این کلاس قرار دارند عبارتند از: مس، برنزهای مختلف، کوپرونیکلها، مونل، نیکل، نیکل - رزیست^(۱)، هاستولی D، دورآیرون، فولاد زنگ نزن نوع ۳۱۶، و آلیاژهای زنگ نزن. پنج تای اول مستعد به هوادهی هستند (به توضیح کدهای شکل ۲۱-۷ رجوع شود). مونل کمی بهتر از نیکل و اینکونل می باشد. نیکل -

رزیست تنها در غلظتهای کم در درجه حرارت محیط مناسب است. نوع ۳۱۶ را در غلظتهای خیلی کم می توان بکار برد، آلیاژهای زنگ نزن مثل دوریمت ۲۰ و ورتیت خیلی بهتر هستند. هاستولی D در درجه حرارت محیط تا غلظت ۱۵٪ نسبتاً خوب است. دورآیرون در تمام غلظتها در درجه حرارت محیط می تواند بکار رود، ولی افزایش درجه حرارت غلظت بحرانی را کاهش می دهد. دوریکلر ارجح تر از دورآیرون است. تیتانیم تا غلظتهای ۱۰٪ در درجه حرارت محیط خوب عمل می کند، ولی موقعی که کلوروهای فریک و کوپریک وجود داشته باشند خوردگی کاهش می یابد.

آلیاژهای کلاس ۲ برای اسیدکلریدریک مناسب نیستند. زیرادر معرض تاثیرات دیگری غیر از تاثیر خود اسید نیز قرار دارند، لذا بایستی با احتیاط و تنها موقعی که شرایط خاص و کاملاً معلوم وجود دارد بکار برده شوند. بدیهی است که مواد موجود در کلاس ۱ ارجح تر هستند.

۷-۲۳ فلزات و آلیاژهای کلاس ۳

فولادهای ساده کربنی و جدننها هیچگاه در اسیدکلریدریک بکار برده نمی شوند. در pH ۴ یا ۵ یا پائین تر خوردگی سریعی اتفاق می افتد، مخصوصاً اگر سرعت حرکت محسوسی وجود داشته باشد. هوا دهی یا شرایط اکسید کننده منجر به تشدید خوردگی حتی در محلولهای خیلی رقیق می شود. موقعی که برای تمیز کردن آهن و فولاد از اسیدکلریدریک استفاده می شود بایستی از ممانعت کننده ها استفاده شود. روی و منیزیم به سرعت در این اسید خورده می شوند. قلع و ورق قلع اندود در محلولهای حاوی مقادیر کمی از اسید مثل محصولات غذایی به کار می روند. هوا دهی اثر مخرب روی قلع می گذارد.

آلومینیم و آلیاژهای آن برای اسیدکلریدریک توصیه نمی شوند. پوسته اکسیدی محافظ روی آلومینیم به سهولت بوسیله این اسید از بین می رود و خوردگی فعال واقع می گردد. هوا دهی در اینجا فاکتور مهمی نیست. بعلاوه، وجود یونهای فلزی مثل آهن و مس باعث تشدید خوردگی می شوند. آلومینیم خیلی خالص در اسیدکلریدریک مقاومت خوردگی متوسطی دارد، ولی کاربرد آن متداول نیست.

سرب و آلیاژهای آن برای کار با اسیدکلریدریک توصیه نمی شوند ولی سرب خشک کمی بهتر از سرب شیمیائی است. برنجهها در معرض زدایش روی قرار می گیرند،

فولادهای زنگ‌نزن ساده کرم دارو نوع ۳۰۴ یا خورده می‌شوند یا حفره‌دار می‌شوند.

۷-۲۴ عوامل اکسید کننده

تاکید بر اثرات هوادهی و عوامل اکسید کننده بر خوردگی بوسیله اسیدکلریدریک لازم می‌باشد زیرا این عوامل تاثیر زیادی بر خوردگی تعداد زیادی از مواد صنعتی، مخصوصاً مس و آلیاژهای آن دارند. مس و آلیاژهای آن در اسیدکلریدریک در شرایط احیاء کننده مقاومت خوردگی خوبی نشان می‌دهند ولی در شرایط اکسید کننده بشدت خورده می‌شوند. اگر مس بطور کامل در اسید کلریدریک قرار داشته باشد، خوردگی کمی نشان خواهد داد، ولی نمونه‌ای که بطور کامل در اسید قرار نداشته باشد، در نزدیکی سطح محلول بطور موضعی و سریع خورده می‌شود، زیرا در این نواحی هوا وجود دارد. این مطلب همچنین در مورد مواد فاقد کرم مثل نیکل و آلیاژهای نیکل - مولیبدن نیز صادق است. بنابراین از این آلیاژها نبایستی در اسیدکلریدریک حاوی هوا یا عوامل اکسید کننده مثل اسیدنیتریک یا کلروفریک استفاده شود. مقادیر کم کلروفریک خیلی مخرب‌تر از اکسیژن موجود در اسیدهای معمول می‌باشد.

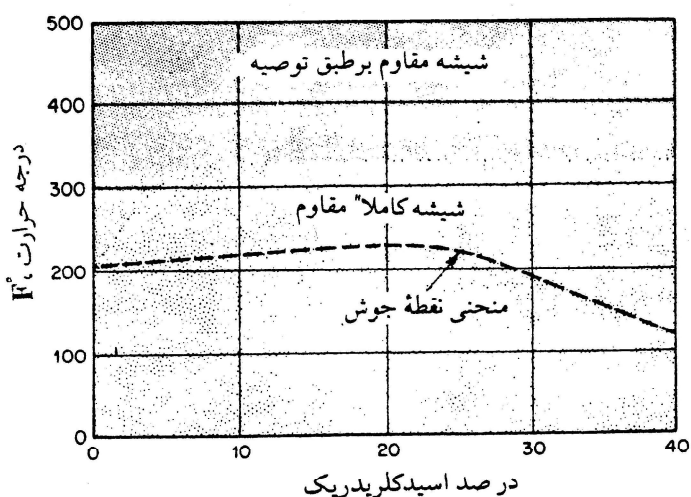
دو حالت کلی بایستی در نظر گرفته شوند: اسید با / یا بدون هوا یا عوامل اکسید کننده. معمولاً بدست آوردن اسید فاقد هوا در فرآیندهای کارخانجات شیمیائی مشکل می‌باشد، زیرا معمولاً در طول فرآیند اسید در معرض هوا قرار می‌گیرد. پمپها غالباً باعث مکیدن هوا بداخل سیستم خود می‌شوند و به همین علت یکی از دلایل متداول هوادار شدن هستند.

یک مثال جالب در رابطه با تاثیر مخرب هوادار شدن در یک کارخانه که در محلول آن اسیدکلریدریک رقیق وجود داشت اتفاق افتاد. تجهیزات ساخته شده از کلریمت ۲ و هاستولی B به سرعت از بین رفتند. با وجودی که این آلیاژهای نیکل - مولیبدن در تمام غلظتهای اسید کلریدریک و درجه حرارتهای جوش مقاومت عالی از خود نشان داده بودند. معلوم شد که این مسئله به خاطر بهم زدن محلول بوسیله دمیدن هوا در آن بوده است. با جایگزین کردن کلریمت ۳ که حاوی ۱۸٪ کرم بود، مسئله حل شد. در یک واحد دیگر پمپهای کلریمت ۲ در اسید کلریدریک داغ و رقیق به سرعت خورده می‌شدند. بررسی نشان داد که اسیدکلریدریک حاوی مقادیر کمی اسیدنیتریک بود که حتی بوسیله کارخانه ذکر نشده بود، زیرا تصور می‌شد که چنان مقدار کمی

اسیدنیتریک نمی‌تواند برای آلیاژ فوق مضر باشد.

۷-۲۵ مواد غیر فلزی

غیر فلزات به خاطر مقاومت خوردگی خوب و مصونیت در برابر یونهای اکسید کننده، در کاربردهای مشتمل بر اسیدکلریدریک بطور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. قیمت نیز در این مسئله دخالت دارد زیرا تعداد زیادی از فلزات و آلیاژهای مناسب برای اسیدکلریدریک گران قیمت هستند. در شکل ۷-۲۱ بعضی از مواد غیر فلزی نیز وجود دارند. با توجه به محدودیتهای حرارتی، اکثر پلاستیکها و لاستیکها در تمام غلظتهای اسیدکلریدریک مناسب هستند. فولاد با روکش لاستیک سالهاست که برای مخازن و لوله‌کشی در کاربردهای شامل اسیدکلریدریک مورد استفاده قرار گرفته است. چوب در اسید رقیق بعنوان یک ماده ارزان قیمت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۷-۲۲ مقاومت خوردگی فولاد با روکش شیشه‌ای در برابر اسیدکلریدریک نشان داده شده است.



شکل ۷-۲۲ مقاومت خوردگی شیشه فادلر ۵۳ در برابر اسیدکلریدریک

۷-۲۶ کلرور هیدروژن و کلر

تقریباً هر فلز ساختمانی از جمله فولاد برای گازهای کلرور هیدروژن خشک در درجه حرارت محیط مناسب می باشد. لکن وجود رطوبت مسئله را به خوردگی بوسیله اسید کلریدریک تبدیل می نماید. در جدول ۷-۵ حد بالایی درجه حرارت کاربرد فلزات و آلیاژهای مختلف برای کار مداوم در کلرور هیدروژن و کلر خشک نشان داده شده است. تیتانیم در برابر کلر مرطوب مقاوم است و در کلر خشک مقاوم نیست. زیرکونیم در برابر کلر خشک مقاوم است و در برابر کلر مرطوب مقاوم نیست.

جدول ۷-۵ حداکثر درجه حرارت پیشنهادی برای کار مداوم در کلرور هیدروژن خشک و کلر خشک

مواد	کلرور هیدروژن °F	کلر °F
پلاتین	۲۲۰۰	۵۰۰
طلا	۱۶۰۰	۳۰۰
نیکل	۹۵۰	۱۰۰۰
اینکونل	۹۰۰	۱۰۰۰
هاستولی B	۸۵۰	۱۰۰۰
هاستولی C	۸۵۰	۹۵۰
فولاد کربنی	۵۰۰	۴۰۰
مونل	۴۵۰	۸۰۰
نقره	۴۵۰	۱۵۰
چدن	۴۰۰	۳۵۰
۸ - ۱۸	۷۵۰	۶۰۰
۸ MO - ۱۸	۷۵۰	۶۵۰
مس	۲۰۰	۴۰۰

منبع: M.H. Brown, W.B. Delong, and J.A. Auld, *Ind. Eng. Chem.*,

39:839-844 (1947)

اسیدفلوریدریک

اسیدفلوریدریک از نظر رفتار خوردگی منحصر بفرد است. چدنهای پرسیلیسیم، سفال سنگی^(۱) و شیشه معمولاً در اکثر اسیدها مقاوم هستند. ولی تمام این مواد به سهولت بوسیله اسیدفلوئوریدریک خورده می شوند. منیزیم در اکثر اسیدها مقاومت ضعیفی دارد، لکن در اسیدفلوئوریدریک خورده نمی شود. در حقیقت بعضی تانکهای حمل و نقل این اسید از منیزیم ساخته می شود. در غلظت های کمتر از ۱٪ قدری خوردگی اتفاق خواهد افتاد، ولی در غلظت های ۵٪ و بالاتر منیزیم بواسطه تشکیل یک پوسته سطحی فلوریدی از خوردگی مصون خواهد ماند. همین حالت در مورد فلزات و آلیاژهای دیگری که در اسیدفلوئوریدریک مقاوم هستند، اتفاق می افتد.

اسیدفلوریدریک و فلوئور سمی هستند و موقع کار با آنها احتیاط فراوان اجباری است. سوختگیهای ناشی از اسیدفلوریدریک دردناک بوده و به آهستگی بهبود می یابند. شستشوی کامل دستها و صورت با آب و صابون توصیه می شود، حتی اگر احتمال تماس اسید با پوست بدن وجود نداشته است.

۲۷-۷ اسیدفلوریدریک مایع

برای کار با غلظت های حدود ۶۰ تا ۱۰۰٪ فولاد مناسب است. با کاهش غلظت از ۶۰٪ خوردگی فولاد به سرعت افزایش می یابد. اسید خالص در غلظت ۶۲٪ خوردگی قابل ملاحظه ای خواهد داشت ولی اسید ۶۰٪ تجارتی حاوی اسیدسولفوریک و فلورسیلیسیم به صورت ناخالصی می باشد که در نتیجه سرعت خوردگی را به حد مطلوبی می رساند. در بعضی موارد، به ویژه در درجه حرارت های بالاتر، مقدار سیلیسیم فولاد معمولی مهم است. افزایش سیلیسیم از تقریباً صفر تا چند دهم درصد، خوردگی را افزایش می دهد. فولاد کشته^(۲) بخاطر پرهیز از تاول بوسیله هیدروژن^(۳) ارجح تر است.

مونل نوردی در تمام غلظت های اسیدفلوریدریک و در تمام درجه حرارتها از جمله نقطه جوش مقاوم است و از این نظر آلیاژ ممتازی است. مونل و اسید فلوریدریک یک زوج طبیعی موفق هستند. اسید هوادار و حضور نمکهای اکسید کننده خوردگی

1- Stoneware

2-Killed

3- Hydrogen blistering

مونل را افزایش می دهد. شواهد نشان می دهند که مونل بوسیله ناخالصیهایی که معمولاً در فرآیندهای هیروکربن آلکید مشتمل بر اسیدفلوریدریک وجود دارند، تاثیر محسوسی نمی پذیرد. گاهی اوقات برای کم کردن هزینه برای ساخت تانکهای تحت فشار از روکش مونل استفاده می شود. قطعات ریختگی مونل نیز برای کار با اسید فلوریدریک مناسب هستند مشروط برآنکه قطعات سالم و بی عیب بوده و از کیفیت خوبی برخوردار باشند. در بعضی موارد که مقاومت به سایش و چسبیدن سطوح فلزی به یکدیگر نیاز باشد S - Monel (که بوسیله عملیات حرارتی قابلیت سخت شدن دارد) بکار می رود. نقره در موارد حادثر مثل اسید قوی جوشان بکار می رود.

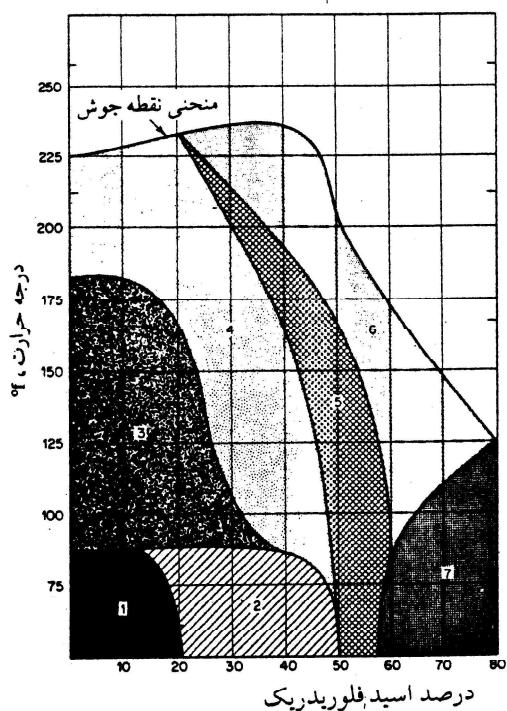
مس معمولاً برای محلولهای رقیق داغ و سرد و محلولهای غلیظ تا تقریباً ۱۵۰ درجه فارنهایت مناسب است. تاثیر اسیدفلوریدریک هوادار یا حاوی نمکهای اکسیدکننده برخوردگی و همچنین خوردگی سایشی مس به مراتب بیشتر از تاثیر بر مونل می باشد. اگر سرعت حرکت بالا باشد یا در محلول جامدات معلق وجود داشته باشد، خوردگی مس به شدت افزایش می یابد. این مطلب بطور کلی در مورد برنج ها و برنژها نیز صادق است. برنج در اسید مستعد به خوردگی توام با تنش^(۱) می باشد. کوپرونیکلها بهتر از مس هستند ولی به خوبی مونل نیستند.

سرب مقاومت نسبتاً خوبی در اسیدفلوریدریک با غلظتهای کمتر از ۶۰٪ در درجه حرارت اتاق دارد. درجه حرارتهای بالاتر در محدوده بالایی غلظتهای فوق الذکر باعث افزایش خوردگی سرب می گردد. مثلاً سرعت خوردگی سرب در اسید ۲۵٪ در ۱۷۶ درجه فارنهایت ۹ mpy است، ولی سرعت خوردگی در اسید ۵۰٪ در ۱۷۶ درجه فارنهایت ۲۸ mpy می باشد. اسیدهای قویتر، مخصوصاً اسیدهای فاقد آب^(۲) باعث خوردگی سرب می شوند.

اسیدفلوریدریک هوادار یا اسید حاوی نمکهای اکسیدکننده مثل یونهای فریک یا کوپریک تولید اشکال می کنند، زیرا آلیاژهای مسی برای آنها مناسب نیست. در این موارد استفاده از غیر فلزات و مواد پراآلیاژی زنگ نزن بایستی در نظر گرفته شود. ۲۵Cr - ۲۰Ni و دوریمت ۲۰ بعضی از این آلیاژها هستند. فولادهای زنگ نزن ساده کرمی و فولادهای زنگ نزن آستنیتی مثل ۱۸-۸ بعلاوه امکان حفره دار شدن احتمالاً مفید نخواهند بود. فولاد زنگ نزن نوع ۴۱۰ در معرض خوردگی سایشی قرار می گیرد.

اسید فلوریدریک تجارتی مخصوصاً در غلظت‌های بالاتر، غالباً حاوی مقدار زیادی جامدات معلق می‌باشد. ته‌نشین کردن بعضی از این ناخالصیها در یک تانک یا محفظه مناسب برای اجتناب از راسب شدن نمکها روی لوله‌ها و تجهیزات دیگر مطلوب خواهد بود. راسب شدن اینگونه مواد روی فلزات و آلیاژها باعث ایجاد حفره در زیر این رسوبات می‌گردد و از این نظر تولید اشکال می‌کند. قرار دادن مداخل خروجی لوله‌ها در تانکهای ذخیره در ارتفاع معینی بالاتر از کف تانک یک روش حداقل کردن این مشکلات می‌باشد. بدین ترتیب لجن ته‌نشین شده و کم و بیش ساکن می‌ماند. لازم است که ته تانک را هر چند وقت یک بار تمیز کرد.

در شکل ۷-۲۳ مقاومت خوردگی مواد مختلف در اسید فلوریدریک نشان داده شده است. اطلاعات در مورد غیر فلزات در جدول ۷-۶ آمده است.



شکل ۷-۲۳ مقاومت خوردگی مواد مختلف در برابر اسید فلوریدریک.

کدهای مربوط به دیاگرام اسیدفلوریدریک شکل ۷-۲۳ سرعت خوردگی موادی که در مناطق هاشوردار قرار دارند کمتر از ۲۰ mpy است.

منطقه ۱		منطقه ۲	
پلاتین	مونل (بدون هوا)	پلاتین	مونل (بدون هوا)
نقره	مس (بدون هوا)	نقره	(بدون هوا) ۷۰Cu-۳۰Ni
طلا	(بدون هوا) ۷۰Cu-۳۰Ni	گرافیت بدون تخلخل	مس (بدون هوا)
گرافیت بدن تخلخل	سرب (بدون هوا)	لاستیک	سرب (بدون هوا)
Haveg ۲۳	نیکل (بدون هوا)	Haveg ۲۳	نیکل (بدون هوا)
لاستیک	آلیاژ ۲۰		آلیاژ ۲۰
فولاد ۲۵ Cr-۲۰ Ni	نیکل - رزیست		هاستولی C
	هاستولی C		
منطقه ۳		منطقه ۴	
پلاتین	مونل (بدون هوا)	پلاتین	مونل (بدون هوا)
نقره	(بدون هوا) ۷۰Cu-۳۰Ni	نقره	(بدون هوا) ۷۰Cu-۳۰Ni
طلا	مس (بدون هوا)	طلا	مس (بدون هوا)
گرافیت بدون تخلخل	سرب (بدون هوا)	گرافیت بدن تخلخل	سرب (بدون هوا)
Haveg ۲۳	آلیاژ ۲۰	Haveg ۲۳	هاستولی C
لاستیک	هاستولی C		
منطقه ۵		منطقه ۶	
نقره	مونل (بدون هوا)	نقره	مونل (بدون هوا)
طلا	(بدون هوا) ۷۰Cu-۳۰Ni	طلا	هاستولی C
گرافیت بدون تخلخل	سرب (بدون هوا)	Haveg ۲۳	پلاتین
Haveg ۲۳	هاستولی C		
	پلاتین		
منطقه ۷			
		نقره	فولاد کربنی
		طلا	مونل (بدون هوا)
		Haveg ۲۳	هاستولی C
			پلاتین

جدول ۷-۶ غلظت و محدوده درجه حرارت اسیدفلوریدریک برای بعضی غیرفلزات

مواد	درجه حرارت	
	محیط	بالا
تفلون	۱۰۰٪	۵۰۰°F تا ۱۰۰٪
پلی اتیلن	۶۰٪	۱۰۰ در ۵۰٪
کاربایات	۶۰٪	جوشان ۴۸٪ و ۱۸۵ در ۶۰٪
PVC	۶۰٪	۱۲۰ در ۶۰٪
اشباع از کربن (Haveg)	۶۰٪	۱۵۰ در ۶۰٪
ساران	۶۰٪	۱۰۰ در ۵۰٪
لاستیک طبیعی نرم	۱۰٪	۱۰۰ در ۱۰٪
لاستیک سخت	۵۰٪	۱۵۰ در ۵۰٪
لاستیک بوتیل	۶۰٪	۱۵۰ در ۶۰٪
نئوپون	۶۰٪	۱۵۰ در ۶۰٪
نپتون	۱۰۰٪	۲۵۰ at ۳۰٪ و ۲۲۰ در ۶۰٪
دارکون ۵	۶۰٪	۲۰۰ در ۵۰٪

منبع: I. R. Honnalsen, *Proceedings of Short Course on Process Industry Corrosion*, OSU and NACE, 1967, With additions by M.G. Fontana.

۷-۲۸ اسیدفلوریدریک بی آب

این اسید خورنده نبوده و فولاد معمولی بطور وسیعی در مورد آن به کار می رود. قطعات حساس مثل تیغه های والوها، زه های والوها، پمپ و شفت ها از مونل ساخته می شوند. فولادها و آلیاژهای زنگ نزن مزیت خاصی بر فولاد ندارند. در مورد چدن ها گرافیت شدن اتفاق می افتد. در بالاتر از ۱۵۰ درجه فارنهایت مونل و کوپرونیکلها ارجح تر از فولاد هستند، زیرا فولاد در این درجه حرارتها خوردگی بالایی خواهد داشت. در درجه حرارت های خیلی بالاتر (۱۰۰۰ درجه فارنهایت) نیکل، مونل، و کوپرونیکلها مقاومت خوبی دارند. در این درجه حرارتها، فولادهای ساده کربنی و فولادهای زنگ نزن به سرعت خورده می شوند.

۷-۲۹ فلور

گاز خشک فلور مثل کلر باعث خوردگی فلزات و آلیاژها نمی‌گردد. سلولهای الکترولیتی برای تولید فلور (از اسید فلوریدریک بی آب و پتاسیم بی فلورید مذاب) از فولاد ساده با جوشکاری ساخته می‌شوند. در این سلولها همچنین دوکاتد فولادی و یک حفاظ گازی فولادی نیز وجود دارند. فلور در سیلندرهای تحت فشار نگهداری و حمل و نقل می‌شود. از طرف دیگر، فلور مرطوب یا محلولهای آبی این هالوژن بشدت خورنده می‌باشند. در این حالت فلور باعث خوردگی عملاً تمام فلزات بجز طلا و پلاتین می‌شود. محلولهای فلور باعث حفره دار شدن فولادهای زنگ‌نزن می‌شوند و از این نظر شبیه کلرویرم می‌باشند. فلور خشک یا مرطوب در درجه حرارت‌های بالا باعث خوردگی فولاد می‌شود. فولاد در درجه حرارت قرمزی به سرعت در فلور می‌سوزد. نیکل، مونل، و آلومینیم مقاومت خوبی تا ۴۰۰ درجه فارنهایت نشان می‌دهند. در این محدوده فولادهای زنگ‌نزن به سرعت خورده می‌شوند.

اسید فسفریک

خوردگی اسید فسفریک تا حدودی بستگی به روش تولید و ناخالصیهای موجود در محصول تجارتي دارد. فلوروورها، کلوروها، و اسید سولفوریک ناخالصیهای اصلی در فرآیند تولید این اسیدها می‌باشند. مثلاً اسید فلوریدریک بصورت ناخالصی باعث افزایش قابل ملاحظه خوردگی چدنهای پرسلیسیم، فولادهای زنگ‌نزن آستیتی بدون مولیبدن (حفره دار شدن)، سرامیکها و تانتال می‌شود.

۷-۳۰ مواد ساختمانی

فولادهای زنگ‌نزن نوع ۳۱۶ و دوریمت ۲۰ (و آلیاژهای مشابه) متداولترین آلیاژها در این مورد هستند. این آلیاژها در غلظت‌های تا ۸۵٪ و درجه حرارت‌های جوش خوردگی کمی دارند. سرب و آلیاژهای آن نیز تا ۲۰۰ درجه فارنهایت و غلظت‌های تا ۸۰٪ اسید خالص و تا ۸۵٪ اسید ناخالص مورد استفاده قرار می‌گیرند. سرب تشکیل یک فسفات غیر قابل حل می‌دهد که باعث حفاظت خود می‌گردد. چدنهای پرسلیسیم، شیشه، و سفال سنگی^(۱) مقاومت خوبی در اسیدهای خالص

دارند.

مس و آلیاژهای آن کاربرد وسیعی در اسید فسفریک ندارند. آلیاژهای پرنیکل-مولیبدن مقاومت خوبی در اسیدهای خالص دارند، ولی در حضور هوا یا ناخالصیهای اکسیدکننده خورده می‌شوند. آلومینیم، چدن، فولاد، برنج و فولادهای زنگ‌نزن فritti و مارتنزیتی مقاومت خوردگی ضعیفی نشان می‌دهند.

جدول ۷-۷ غلظت و محدوده درجه حرارت اسید فسفریک برای بعضی غیرفلزات

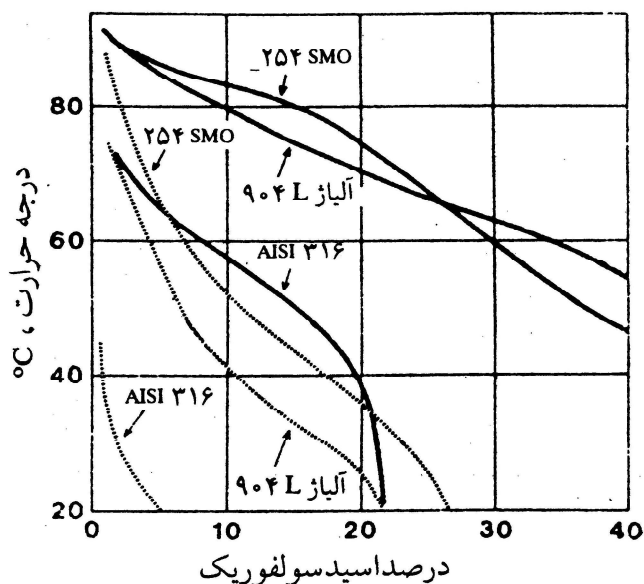
مواد	غلظت و درجه حرارت
تفلون	۵۰۰°F تا ۸۵٪
PVC نرم نشده	۱۴۰ در ۸۵٪
پلی اتیلن	۱۲۰ در ۸۵٪
ساران	۱۵۰ در ۸۵٪
کاربات	جوشان در ۸۵٪
لاستیک نرم طبیعی	۱۵۰ در ۸۵٪
لاستیک سخت طبیعی	۱۶۰ در ۸۵٪
لاستیک بوتیل	۱۵۰ در ۸۵٪
نئوپرن	۱۶۰ در ۸۵٪
Haveg ۴۱	۲۵۰ در ۸۵٪
پنتون	۲۵۰ در ۸۵٪
کربن و گرافیت	و بالاتر ۵۰۰ در ۸۵٪
دارکون	۲۰۰ در ۸۵٪

۷-۳۱ متفرقه

خوردگی بوسیله اسیدهای معدنی در فصل‌های دیگر مورد بحث قرار گرفته است. بعضی از آلیاژهای جدول ۵-۹ که حاوی مقادیر بالای عناصر آلیاژی هستند در اسیدسولفوریک و اسیدفسفریک بکار می‌روند. تیتانیم در ارتباط با جدول ۵-۱۰ شامل احتیاط‌های لازم برای اجتناب از خوردگی بحث شد. شکل‌های ۵-۸ و ۵-۹ منحنی‌های خوردگی یکسان را برای زیرکونیم در اسیدسولفوریک و اسیدکلریدریک نشان می‌دهند. کتاب شماره ۵۸۱۷۱ از انتشارات NACE (۱۹۸۳) درباره مواد مورد استفاده در اسید

کلریدریک می باشد. کمیته ۲۳ - TP5A از NACE این گزارش را تهیه کرده است. خوردگی بوسیله هالوژنها در فصل ۸ بحث شده است.

تاثیر مقادیر بالای کلردر در اسیدسولفوریک بر خوردگی^(۱) سه آلیاژ در شکل ۷-۲۴ نشان داده شده است. آلیاژ ۹۰۴L شامل ۲۰٪ Cr، ۴/۵٪ Mo، ۲۵٪ Ni، ۲/۵٪ Cu و ۱/۵٪ C و ۰/۰۲٪ S است. آلیاژ ۲۵۴ SMO شامل ۲۰٪ Cr، ۶٪ Mo، ۱۸٪ Ni، ۷/۰٪ Cu و ۰/۰۲٪ S است.



شکل ۷-۲۴ منحنی های خوردگی یکسان ۰/۱ میلیمتر در سال (۴ mpy) در اسیدسولفوریک خالص (خطوط پر) و در اسیدسولفوریک حاوی ۲۰۰۰ ppm ین کلر (خط چین). ۲۵۴ SMO = UNS ۵۳۱۲۵۴.

1- B. Wallen, M. Lilius, and J. Olsson, Performance of a High Mo Steel in Gas Cleaning Systems, *Materials Performance*, 40-48 (1982).