# فصل (۵)

## مواد مهندسی

مواد مختلفی از پلاتین تا سنگ برای ساخت پلها، اتوموبیلها، تجهیزات کارخانجات، خط لوله ها، نیروگاهها و غیره بکار برده می‌شود. مهندس خوردگی عمدتاً با خواص شیمیائی ( مقاومت خوردگی ) مواد سر و کار دارد، ولی برای اطمینان از عملکرد مورد نظر اطلاع از خواص مکانیکی، فیزیکی، و خواص دیگر نیز ضروری است. خواص مواد مهندسی بستگی به ساختمان فیزیکی و ترکیب شیمیائی آنها دارد.

### ۱-۵ خواص مکانیکی

خواص مکانیکی، نحوهٔ رفتار فلز تحت بار یا تنش کششی، فشاری یا برشی را نشان می‌دهند. این خواص بوسیله آزمایشات مهندسی تحت شرایط مناسب تعیین می گردند. خواص مکانیکی که معمولاً مورد توجه قرار دارند عبارتند از استحکام کششی،

نقطه تسلیم، حد الاستیک، مقاومت خزش، استحکام فلز در درجه حرارتهای بالا[1]، خستگی، درصد ازدیاد طول ( انعطاف پذیری )، مقاومت ضربه‌ای ( چقرمگی و تردی )، سختی، و مدول الاستیسیته ( نسبت تنش به ازدیاد طول الاستیکی ). تغییر شکل فلز ممکن است الاستیک ( فقط در حضور بار وجود داشته باشد ) یا پلاستیک ( دائمی ) باشد. این اطلاعات تعیین کننده مقاومت فلز در برابر نیروهای مکانیکی مورد نظر می‌باشد.

غالباً کلمات مکانیکی و فیزیکی، اشتباهاً بجای یکدیگر بکار می‌روند. خواص فوق الذکر مکانیکی هستند. چون مدول الاستیسیته یک خاصیت ذاتی جسم است که بوسیلهٔ روشهای عملی مثل عملیات حرارتی یا کار سختی تغییر اساسی نمی‌کند، لذا گاهی اوقات آنرا یک خاصیت فیزیکی می‌نامند.

### ۲-۵ خواص دیگر

مهندس خوردگی، هنگام انتخاب مواد، علاوه بر مقاومت خوردگی و استحکام، غالباً خواص دیگری را نیز بایستی در نظر بگیرد. این خواص شامل دانسیته، سیالیت یا قابلیت ریخته گری، قابلیت شکل پذیری، خواص حرارتی، الکتریکی، نوری، صوتی، مغناطیسی و مقاومت در برابر تشعشع اتمی می‌باشد. مثلاً یک قطعه خاص دارای شکل پیچیده‌ای است که بایستی بوسیله ریخته گری تولید شود و نیز لازم است دارای قابلیت انتقال حرارت خوبی نیز بوده و در مقابل تشعشع اتمی نیز مقاوم باشد. در یک مورد دیگر ممکن است لازم باشد قطعه عایق خوبی بوده، حرارت را منعکس نموده، و دارای دانسیته پایینی باشد.

قیمت جزء خواص یک ماده نیست، لکن در انتخاب مواد برای مقاصد مهندسی بخاطر مسائل اقتصادی، قیمت ممکن است فاکتور تعیین کننده باشد.

## *فلزات و آلیاژها*

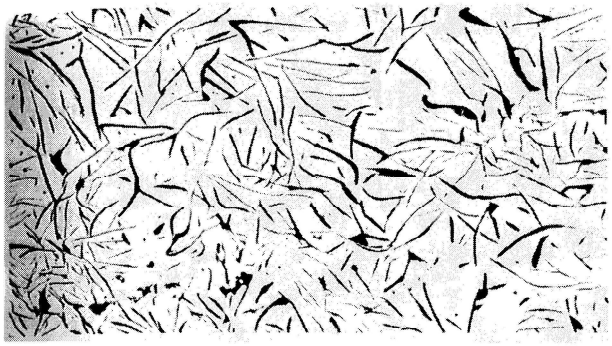
### ۳-۵ چدنها

آلیاژهای آهن با کربن بالا و حاوی سیلیسیم، چدن نام دارند. انواع متداول چدنها

---

1- Stress rupture

عبارتنداز: چدن خاکستری، چدن سفید، چدن مالیبل یا چکش خوار، و چدن با گرافیت کروی یا نشکن. چدن خاکستری معمولی حاوی حدود ۲ تا ۴ درصد کربن و ۱ تا ۳ درصد سیلیسیم است. چدن خاکستری ارزانتر از بقیهٔ فلزات مهندسی است. در اثر وجود ورقه های گرافیتی در ساختمان میکروسکوپی، سطح شکست این نوع چدن تیره یا خاکستری است.(شکل ۱-۵). بخاطر سیالیت عالی و نقطه ذوب نسبتاً پائین، چدن خاکستری می‌تواند به سهولت در اشکال پیچیده ریخته گری گردد. برای بهبود مقاومت خوردگی و مکانیکی می‌توان عناصر آلیاژی به این چدنها اضافه نمود.



شکل ۱-۵ ساختمان میکروسکپی چدن خاکستری ( پولیش شده ۱۰۰×)

استاندارد ASTM-A48 چدنهای خاکستری را بر حسب استحکام کششی طبقه بندی می‌کند، جدول ۱-۵. در این جدول استحکام فشاری بالای چدنها نشان داده شده است. چدنها ترد بوده و تقریباً فاقد انعطاف پذیری هستند. نقطه تسلیم آنها کاملاً مشخص نیست و تقریباً ۸۵ ٪ استحکام کششی آنهاست. مدول الاستیسیته در کشش بین ۹/۶ تا ۲۳/۵ میلیون پوند بر اینچ مربع تغییر می‌کند که حد پائینی برای کلاس ۲۰ و حد بالائی برای کلاس ۶۰ می‌باشد. ( از نظر تئوریک چدن خاکستری دارای مدول الاستیسیته نمی‌باشد چون نمودار تنش بر حسب تغییر شکل آن خط صافی است ) مقاومت ضربه‌ای معمولاً پائین بوده و معمولاً هر چه استحکام بیشتر شود بهتر خواهد شد. این چدنها دارای خاصیت جذب ارتعاش بالایی هستند. وزن مخصوص چدنها بسته به مقدار کربن بین ۷ تا ۷/۳۵ متغیر است، هدایت حرارتی و الکتریکی این آلیاژها کمتر از آهن خالص می‌باشد.

جدول ۱-۵ خواص مکانیکی نمونه های استاندارد چدن خاکستری

| کلاس ASTM | استحکام کششی* پوند براینچ مربع | استحکام فشاری پوند براینچ مربع | حد خستگی پوند براینچ مربع | سختی برینل |
|---|---|---|---|---|
| ۲۰ | ۲۲،۰۰۰ | ۸۳،۰۰۰ | ۱۰،۰۰۰ | ۱۵۶ |
| ۲۵ | ۲۶،۰۰۰ | ۹۷،۰۰۰ | ۱۱،۵۰۰ | ۱۷۴ |
| ۳۰ | ۳۱،۰۰۰ | ۱۰۹،۰۰۰ | ۱۴،۰۰۰ | ۲۰۱ |
| ۳۵ | ۳۶،۵۰۰ | ۱۲۴،۰۰۰ | ۱۶،۰۰۰ | ۲۱۲ |
| ۴۰ | ۴۲،۵۰۰ | ۱۴۰،۰۰۰ | ۱۸،۵۰۰ | ۲۳۵ |
| ۵۰ | ۵۲،۵۰۰ | ۱۶۴،۰۰۰ | ۲۱،۵۰۰ | ۲۶۲ |
| ۶۰ | ۶۲،۵۰۰ | ۱۸۷،۵۰۰ | ۲۴،۵۰۰ | ۳۰۲ |

* استحکام کششی را بوسیلهٔ عملیات حراتی می‌توان تغییر داد. منبع :

ASM Metals Hankbook, Vol.1:p.345(1961)

**چدنهای سفید** در این چدنها تقریباً تمام کربن بصورت کاربید می‌باشد. این چدنها بسیار سخت و شکننده می‌باشند. مقدار سیلیسیم آنها پائین است زیرا این عنصر باعث بوجود آمدن گرافیت آزاد می‌شود. تشکیل گرافیت همچنین به سرعت سرد شدن مذاب بستگی دارد، لذا با سرد کردن سریع یک چدن ( مثلاً با گذاشتن مبرد در ریخته گری ) که معمولاً خاکستری می‌شد می‌توان چدن سفید بدست آورد.

**چدنهای مالیبل** این چدنها با عملیات حرارتی چدنهای سفید با ترکیب شیمیائی خاصی بوجود می‌آیند. در اثر عملیات حرارتی گرافیت بشکل تقریباً کروی آزاد می‌شود. وجود این گرافیتها بجای ورقه های گرافیتی ( در چدن خاکستری ) باعث می‌شود که این فلز دارای انعطاف پذیری خوبی باشد و در نتیجه بنام مالیبل یا چکش خوار معروف شده‌اند.

**چدنهای نشکن** این فلزات در حالت ریختگری شده از خود انعطاف پذیری نشان می‌دهند. گرافیتهای کروی، در نتیجه تلقیح مذاب با مقدار کمی منیزیم، مستقیماً از مذاب بوجود می‌آیند. خواص مکانیکی چدنهای نشکن را همانند فولادهای معمولی می‌توان

با عملیات حرارتی تغییر داد.

### ۴-۵ چدنهای پر سیلسیم

چدن خاکستری با بیش از ۱۴ درصد سیلیسیم دارای مقاومت بسیار بالائی در بسیاری از محیط های خورنده می‌باشد. استثناء قابل توجه در این مورد اسید فلوریدریک است. در حقیقت این چدنها مقاومترین فلزات و آلیاژهای تجارتی ( غیر گرانبها ) می‌باشند. سختی بالای آنها بهمراه مقاومت در برابر خوردگی، باعث می‌شود که این آلیاژ در برابر خوردگی سایشی مقاوم باشد. چدن پر سیلیسیم ساده، مثل دورآیرون [۱] حاوی حدود ٪ ۱۴/۵ سیلیسیم و ٪۰/۹۵ کربن می‌باشد. این ترکیب بایستی در محدوده باریکی کنترل گردد تا بهترین مقاومت خوردگی و استحکام مکانیکی بدست آید. برای افزایش مقاومت در اسید کلریدریک، کلرورها و حفره دار شدن ٪۳ مولیبدن به این چدن اضافه می‌شود، آلیاژ دوریکلر [۲]. آلیاژ جدید دیگری بنام دوریکلر ۵۱ [۳] دارای مقاومت خوردگی بیشتری است، و جایگزین ترکیب دوریکلر معمولی شده است. این آلیاژ علاوه بر مولیبدن حاوی کرم نیز بوده و در نتیجه مقاومت خوردگی بیشتری در شرایط اکسید کننده دارد. مثلاً وجود کلرور فریک یا کوپریک در اسید کلریدریک باعث کم شدن سرعت خوردگی این آلیاژ شده حال آنکه در مورد اکثر فلزات و آلیاژها باعث خوردگی موضعی شدیدی می‌شود.

دور آیرون و دوریکلر ۵۱ دارای استحکام کششی حدود ۲۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع و سختی ۵۲۰ برینل می‌باشند و وزن مخصوص آن برابر با ۷ است. این دو آلیاژ را فقط با سنگ زنی می‌توان ماشینکاری نمود. جوشکاری آنها خیلی مشکل بوده و در حالی که اشکال ساده مثل لوله را با رعایت اصول صحیح می‌توان جوشکاری نمود، جوشکاری شکلهای پیچیده عملی نیست.

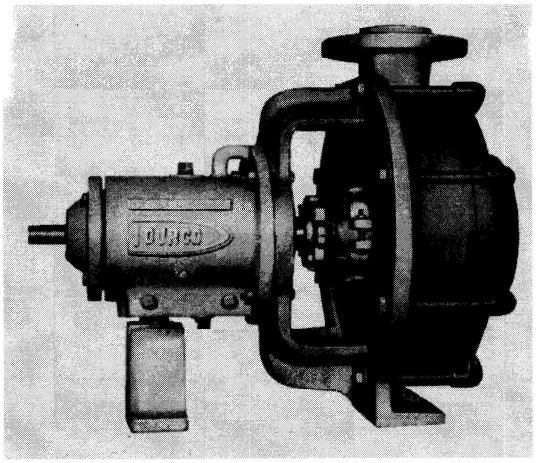
مقاومت خوردگی عالی چدنهای پر سیلیسیم بخاطر تشکیل پوسته سطحی غیرفعال اکسید سیلیسیم [۴] است که هنگام قرار گرفتن در محیط خوردگی روی آن بوجود می‌آید.

این آلیاژها تنها در حالت ریختگی برای لوله های فاضلاب، پمپها، والوها و

---

1- Duriron
2- Durichlor
3- Durichlor , Patent No.3,129,095
4- $SiO_2$

وسایل دیگر بکار برده می‌شوند. یکی از مصارف وسیع این آلیاژها برای ساخت آند سیستم های حفاظت کاتدی با اعمال جریان خارجی است. شکل ۲-۵ و ۳-۵ یک پمپ و یک آند توخالی از جنس دوریکلر ۵۱ را نشان می‌دهند.

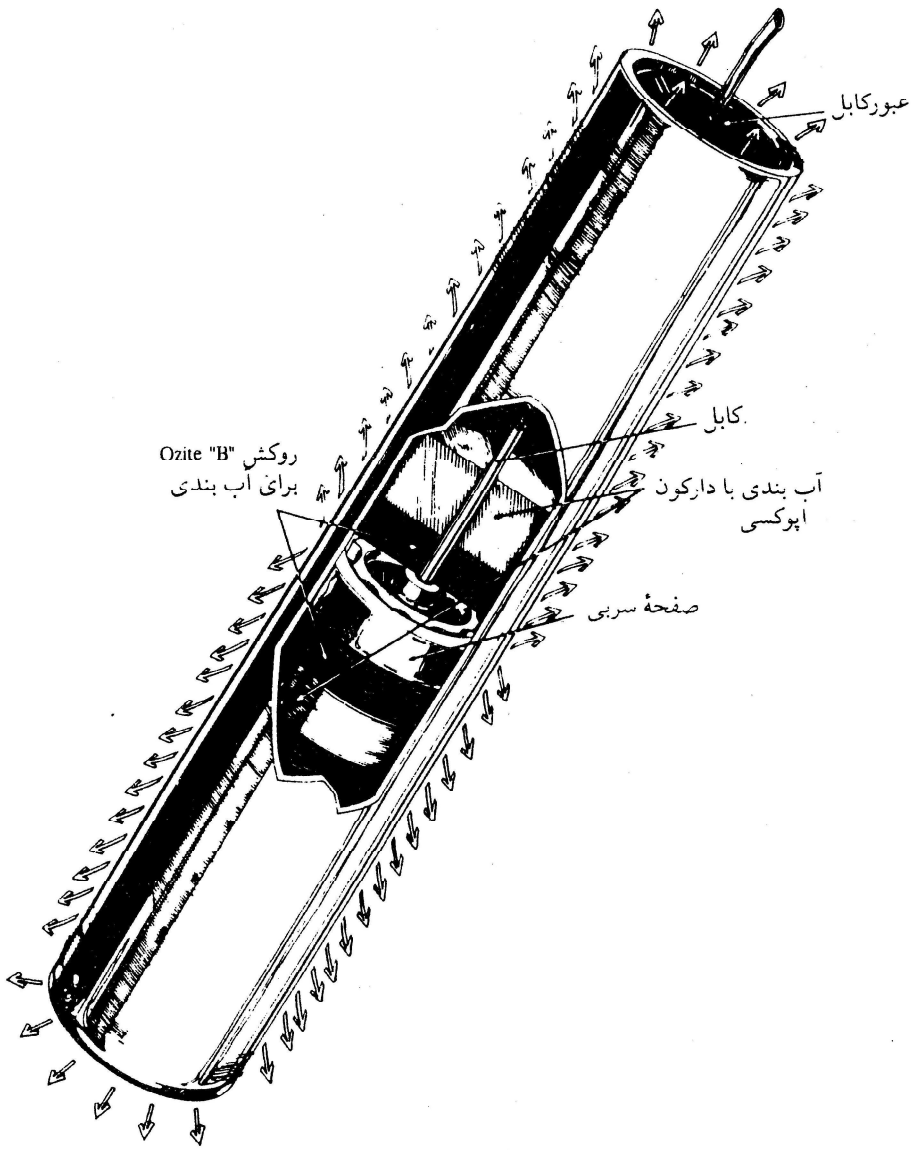


شکل ۲-۵ پمپ از جنس چدن پر سیلیسیم

این آندها در اندازه های مختلف وجود دارند. تجارب عملی در پنج سال گذشته نشان می‌دهد که مصرف آندهای لوله‌ای نصف مصرف آندهای توپر می‌باشد ( ۰/۷ پوند بر آمپر سال ). در یک مورد دیگر سرعت مصرف شدن آند ۰/۳۵ پوند بر آمپر سال بود در دانسیتهٔ جریان ( بالا ) ۲ آمپر در فوت مربع. این دو مورد و موارد دیگر نشان می‌دهند که مهندس، ۷۵ ٪ وزن کل آند لوله‌ای را بجای ۵۰ ٪ در مورد آند تو پر می‌تواند طراحی نماید.

## ۵-۵ چدنهای آلیاژی دیگر

علاوه بر سیلیسیم و مولیبدن، نیکل، کرم و مس نیز برای بهبود مقاومت خوردگی سایشی، مقاومت حرارتی، و همچنین خواص مکانیکی به چدنها اضافه می‌شوند. مس باعث افزایش مقاومت در اسید سولفوریک و کاهش خوردگی اتمسفری می‌شود.




**شکل ۳-۵ آند لوله‌ای از جنس دوریکلر ۵۱. ( شرکت دورآیرون )**

چدنهای پر نیکل - کرم با یا بدون مس ( تا ۷ درصد ) متداول ترین نوع در این گروه می‌باشد. این آلیاژهای آستینتی که به نای رزیست[۱] معروفند، در بین چدنهای خاکستری دارای بیشترین چقرمگی می‌باشند. هفت نوع مختلف این چدنها حاوی بین ۱.۴ تا ۳۲ درصد نیکل، ۱/۷۵ تا ۵/۵ درصد کرم بوده و دارای استحکام کششی از ۲۵ تا ۴۵ هزار پوند بر اینچ مربع می‌باشند. این چدنها بصورت نشکن نیز قابل تهیه بوده و در این حالت به استحکام ۷۰ هزار پوند بر اینچ مربع و انعطاف پذیری تا ۴۰ درصد می‌رسند. نوع ۳۵ درصد نیکل آن موقعی که انبساط حرارتی کم مورد نیاز باشد بکار می‌رود.

نای هارد[۲] یک چدن سفید حاوی حدود ۴ درصد نیکل و ۲ درصد کرم است. این آلیاژ خیلی سخت بوده و سختی آن بین ۵۵۰ تا ۷۲۵ برینل است. این چدنها در مواردی که مقاومت در برابر خوردگی سایشی در محیطهای نزدیک به خنثی و قلیائی یا حاوی گل و لای مورد نیاز است دارای کاربرد وسیعی می‌باشند.

### ۶-۵ فولادهای کربنی و آهنها

شکل ۴-۵ دیاگرام تعادلی سیستم آهن - کربن را نشان می‌دهد. در این شکل محدوده ترکیب شیمیائی فولادها، چدنها و آهنهای خالص ( تجارتی ) به همراه نمونه‌ای از ساختمانهای آنیل شدهٔ آنها نشان داده شده است. در اکثر موارد، مقدار کربن دارای تاثیر کمی بر مقاومت خوردگی فولادها می‌باشد.

سختی و استحکام فولادها عمدتاً تابع مقدار کربن و عملیات حرارتی آنها است. محدوده خواص مکانیکی فولادهای ساده کربنی به صورت زیر است: استحکام کششی از ۴۰ تا ۲۰۰ هزار پوند بر اینچ مربع، سختی، از ۱۰۰ تا ۵۰۰ برینل، انعطاف پذیری ۵ تا ۵۰ درصد.

آهنهای شمش و آهن آرمکو، آهنهای خالص تجارتی هستند. این آهنها خیلی ضعیف بوده و موقعی که استحکام فاکتور مهمی نباشد، استفاده می‌شوند.

آهن نوردی[۳] مخلوط مکانیکی سرباره و فولاد کم کربن است. ادعاهای زیادی مبنی بر مقاومت خوردگی این فلز وجود دارد، لکن برای توجیه هزینه بالاتر آن نسبت به

---

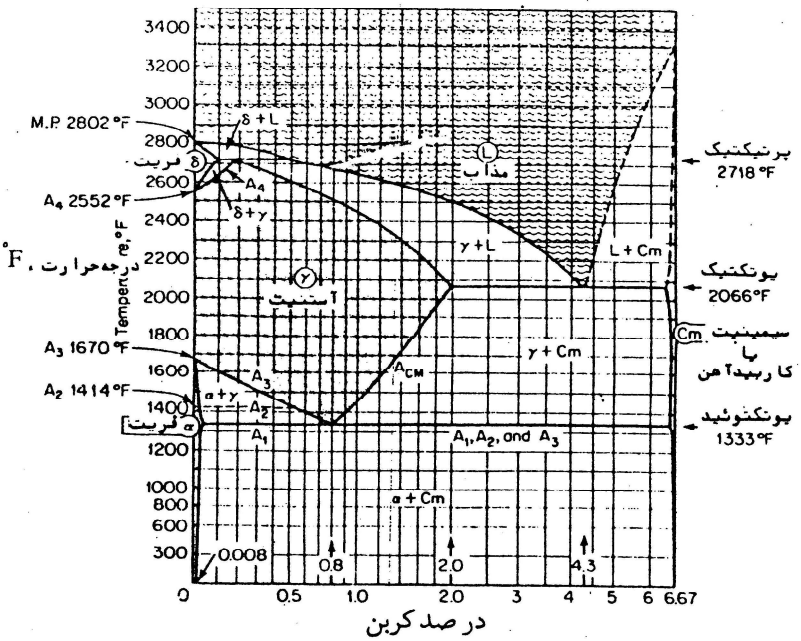
1- Ni-Resist
2- Ni-Hard
3- Wrought

فولاد معمولی در هر مورد بایستی به دقت مطالعه شود.

زنگ لغتی است که برای آلیاژهای آهنی بکار برده می‌شود. زنگ از اکسیدهای آهن تشکیل شده و معمولاً اکسید فریک هیدارته است. موقعی که در یک آگهی تجارتی ادعا می‌شود که یک آلیاژ غیر آهنی زنگ نمی‌زند، ادعای درستی است، لکن بدان معنی نیست که آن فلز خورده نخواهد شد.

## ۷-۵ فولادهای کم آلیاژی

فولادهای کربنی با یک یا چند عنصر کرم، نیکل، مس، مولیبدن، فسفر، وانادیم، به مقادیر چند درصد یا کمتر را فولاد کم آلیاژی می‌نامند. مقادیر بالاتر عناصر آلیاژی معمولاً برای خواص مکانیکی و سختی پذیری است. از نقطه نظر مقاومت در برابر خوردگی محدودهٔ تا ماکزیمم ۲ درصد بیشتر مورد توجه است. در این محدوده استحکام




شکل ۴-۵ دیاگرام تعادلی آهن - کربن

فولادها بالاتر از فولادهای سادهٔ کربنی بوده ولی مهمترین خاصیت آنها مقاومت خیلی بهتر در برابر خوردگی اتمسفری است. گاهی اوقات در محیطهای آبی نیز این فولادها

دارای مزایائی می‌باشند.

فولادهای با استحکام خیلی بالا، مورد توجه صنایع هوائی می‌باشند. در این مورد نسبت استحکام به وزن فاکتور تعیین کننده بوده و خوردگی دارای اهمیت کمتری است. فولاد H-۱۱ ( ۵٪ کرم، ۱/۵٪ مولیبدن، ۰/۴٪ وانادیم و ۰/۳۵٪ کربن ) مثال خوبی در این مورد است. این فولاد پس از عملیات حرارتی به استحکام تا ۳۰۰ هزار پوند بر اینچ مربع می‌رسد.

### ۸-۵ فولادهای زنگ نزن

دلیل اصلی وجود فولادهای زنگ نزن مقاومت بالای آنها در برابر خوردگی است. کرم عنصر آلیاژی اصلی است و فولاد بایستی حداقل ۱۱ درصد کرم داشته باشد. کرم عنصر فعالی است ولی خود و آلیاژهایش غیر فعال شده و در بسیاری از محیطها مقاومت عالی از نظر خوردگی از خود نشان می‌دهند. فولادهای زنگ نزن دارای انواع مختلف می‌باشند و مقاومت خوردگی، خواص مکانیکی، و قیمت آنها در طیف وسیعی تغییر می‌کند. به همین دلیل، تعیین دقیق فولاد زنگ نزن برای یک کاربرد مورد نظر ضروری است.

جدول ۲-۵ ترکیب متداول ترین فولادهای زنگ نزن را در چهار گروه مختلف این فولادها نشان می‌دهد. فولادهای گروه III متداول ترین نوع بوده و گروهای II و I و IV به ترتیب بعد از آن قرار دارند. سیستم نامگذاری AISI نشان داده شده مربوط به حالت نوردی این فولادهاست. این نامگذاریها سالها مورد استفاده قرار گرفتند و اکنون بخوبی شناخته شده‌اند.

مطالعات اخیر انجام گرفته توسط SAE و ASTM منجر به ایجاد سیستم عددگذاری واحدی تحت عنوان UNS شده است. در جدول شمارهٔ ۲-۵ شماره های UNS نیز آورده شده‌اند.

حرف S در این جدول نشان دهندهٔ فولادهای زنگ نزن است ولی بعضی آلیاژهای زنگ نزن بواسطهٔ مقدار نیکل بالای آنها با حرف N مشخص شده‌اند.

گروه I فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی نام دارند، زیرا آنها را میتوان مثل فولادهای سادهٔ کربنی بوسیلهٔ عملیات حرارتی سخت نمود. با افزایش سختی و استحکام، انعطاف پذیری فولاد کم می‌شود. مقاومت خوردگی این گروه معمولاً کمتر از گروه II و III بوده و

در حالت سخت شده معمولاً بیشتر از حالت آنیل یا نرم شدهٔ آنها می‌باشد. این فولادها در مواقعی که مقاومت خوردگی متوسط به همراه استحکام یا سختی بالا مورد نیاز باشد مورد استفاده قرار می‌گیرند. در جدول ۲-۵ مثالهائی از کاربرد آنها آمده است. مثالهای دیگر عبارتنداز: اجزأ والوها، بلبرینگ ها (۴۴۰A) و وسایل جراحی (۴۲۰)، این فولادها معمولاً برای ساخت تجهیزاتی مثل تانکها یا خطوط لوله بکار برده نمی‌شوند.

تراشکاری نوع ۴۱۶ راحت تر است و برای تیغه های والو، پیچ و مهره و قطعات دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آلیاژی حاوی[1] ۹ درصد کرم، ۱ درصد مولیبدن و مقادیر کمی وانادیم و کلومبیوم در کاربرد هائی با درجهٔ حرارت بالا مانند لوله‌های مولد های بخار، لوله‌های راکتورهای زاینده و مخازن تحت فشار مورد استفاده قرار می‌گیرند. در درجهٔ حرارتهای کمتراز ۶۰۰°C آلیاژ استحکام زیادتری نسبت به فولاد زنگ نزن ۳۰۴ از خود نشان می‌دهد.

**گروه II** فولادهای فریتی هستند که بوسیلهٔ عملیات حرارتی نمی‌توان آنها را سخت نمود. شکل ۵-۵ علت این مسئله را نشان می‌دهد. این فولادها خارج از حلقهٔ آستنیت قرار دارند و در تمام درجه حرارتها تا نقطهٔ ذوب بصورت فریت هستند. فولادهای کربنی معمولی بخاطر تغییرات فازی در هنگام سرد شدن قابلیت سخت شدن دارند. همانطورکه در شکل ۴-۵ نشان داده شده است، این فولادها در بالاتر از خط $A_3$ آستینتی هستند. آستنیت یا آهن $\gamma$ غیر مغناطیسی بوده و دارای شبکه مکعبی با سطوح مرکز دار می باشد. هنگام سرد شدن به آهن $\alpha$ یا فریت تغییر حالت می‌دهد که مغناطیسی بوده و دارای شبکه مکعبی مرکز دار می‌باشد. هنگامی‌که فولادهای سادهٔ کربنی از منطقه $\gamma$ بسرعت سرد شوند، مارتنزیت سخت و شکننده بوجود می آید که مغناطیسی بوده ولی دارای شبکه تتراگونال مرکز دار می‌باشد. گروه I فولادهای زنگ نزن، مغناطیسی بوده و چون ترکیب آنها در حلقهٔ گاما قرار می‌گیرد، بوسیلهٔ عملیات حرارتی می‌توان آنها را سخت نمود. در جدول ۲-۵ نوع ۴۰۵ بنظر مستثنی می آید ولی به واسطه وجود آلومینیوم سخت نمی‌شود.

نوع ۴۳۰ قابلیت شکل پذیری خوبی داشته و همچنین دارای مقاومت خوردگی خوبی در اتمسفر است. به همین دلایل وسیع ترین کاربرد آن در ساخت زه‌های

---

1- Metal Progr.,p.12,Feb.1982

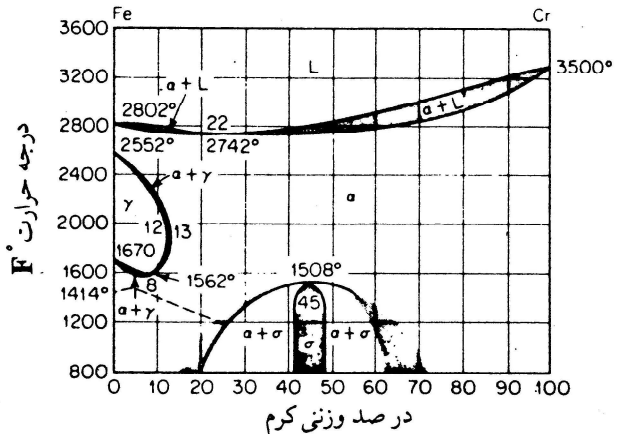
## جدول ۲-۵ ترکیب شیمیائی فولادهای زنگ‌نزن

| ستاره UNS | نوع AISI | C | Cr | Ni | درصد عناصر دیگر٪ | توضیحات |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | گروه ۱ فولادهای مارتنزیتی کرم‌دار | | | |
| S ۴۱۰۰۰ | ۴۱۰ | ۰/۱۵ max | ۱۱/۵-۱۳/۵ | - | - | تیغه‌های توربین، زه‌های والو |
| S ۴۱۶۰۰ | ۴۱۶ | ۰/۱۵ max | ۱۲-۱۴ | - | Se,Mo,Or,Zr | خوش برش |
| S ۴۲۰۰۰ | ۴۲۰ | ۰/۳۵-۰/۴۵ | ۱۲-۱۴ | - | - | کارد و چنگال |
| S ۴۳۱۰۰ | ۴۳۱ | ۰/۲ max | ۱۵-۱۷ | ۱/۲۵-۲/۵ | - | انعطاف پذیری بهتر |
| S ۴۴۰۰۲ | ۴۴۰B | ۰/۶۰-۰/۷۵ | ۱۶-۱۸ | - | - | خیلی سخت، تیغه‌ها |
| | | | گروه ۲ فولادهای فریتی که قابلیت سخت شدن بوسیلهٔ عملیات حرارتی را ندارند | | | |
| S ۴۰۵۰۰ | ۴۰۵ | ۰/۰۸ max | ۱۱/۵-۱۴/۵ | ۰/۵ max | ۰/۱-۰/۳AL | Al از سخت شدن جلوگیری |
| S ۴۳۰۰۰ | ۴۳۰ | ۰/۱۲ max | ۱۴-۱۸ | ۰/۵ max | - | می‌کند زه‌های اتومبیل، قاشق و |
| S ۴۴۲۰۰ | ۴۴۲ | ۰/۲۵ max | ۱۸-۲۳ | ۰/۵ max | - | چنگال در درجه حرارتهای بالا |
| S ۴۴۶۰۰ | ۴۴۶ | ۰/۲۰ max | ۲۳-۲۷ | ۰/۵ max | ۰/۲۵ N max | در O و S مقاوم می‌باشد |
| | | | گروه ۳ فولادهای آستنیتی کرم - نیکل | | | |
| S ۲۰۱۰۰ | ۲۰۱ | ۰/۱۵ max | ۱۶-۱۸ | ۳/۵ - ۵/۵ | ۵/۰-۷/۵ Mn ۰/۲۵ N max | Mn جایگزین Ni شده |
| S ۲۰۲۰۰ | ۲۰۲ | ۰/۱۵max | ۱۷-۱۹ | ۴-۶ | ۷/۵-۱۰ Mn ۰/۲۵ N max | " " " " |
| S ۳۰۱۰۰ | ۳۰۱ | ۰/۱۵ Max | ۱۶-۱۸ | ۶ - ۸ | ۲ Mn max | کار سخت می‌شود |
| S ۳۰۲۰۰ | ۳۰۲ | ۰/۱۵ max | ۱۷-۱۹ | ۸-۱۰ | ۲ Mn max | مورد استفاده در معماری |
| S ۳۰۲۱۵ | ۳۰۲B | ۰/۱۵ max | ۱۷-۱۹ | ۸-۱۰ | ۲-۳ Si | Si برای مقاومت اکسیداسیون |
| | | | | | | در درجه حرارتهای بالا |
| S ۳۰۴۰۰ | ۳۰۴ | ۰/۰۸ max | ۱۸-۲۰ | ۸-۱۲ | ۱ Si max | S ۱۸-۸ پیوسته |
| S ۳۰۴۰۳ | ۳۰۴L | ۰/۰۳ max | ۱۸-۲۰ | ۸-۱۲ | ۱ Si max | خیلی کم کربن |
| S ۳۰۸۰۰ | ۳۰۸ | ۰/۰۸ max | ۱۹-۲۱ | ۱۰-۱۲ | ۱ Si max | ۱۸-۸ بالا |
| S ۳۰۹۰۰ | ۳۰۹ | ۰/۲ max | ۲۲-۲۴ | ۱۲-۱۵ | ۱ Si max | ۲۵-۱۲ مقاوم در برابر حرارت |
| S ۳۱۰۰۸ | ۳۱۰S | ۰/۰۸ max | ۲۴-۲۶ | ۱۹-۲۲ | ۱/۵ Si max | کربن کمتر |
| S ۳۱۴۰۰ | ۳۱۴ | ۰/۲۵ max | ۲۳-۲۶ | ۱۹-۲۲ | ۱/۵-۳/۰ | Si برای مقاومت اکسیداسیون در |
| | | | | | | درجه حرارتهای بالا |
| S ۳۱۶۰۰ | ۳۱۶ | ۰/۱۰ max | ۱۶-۱۸ | ۱۰-۱۴ | ۲-۳ MO | SMO ۱۸-۸ |
| S ۳۱۶۰۳ | ۳۱۶L | ۰/۰۳ max | ۱۶-۱۸ | ۱۰-۱۴ | ۲-۳ MO | خیلی کم کربن |
| S ۳۱۷۰۰ | ۳۱۷ | ۰/۰۸ max | ۱۸-۲۰ | ۱۱-۱۴ | ۳-۴ MO | MO بیشتر |
| S ۳۲۱۰۰ | ۳۲۱ | ۰/۰۸ max | ۱۷-۱۹ | ۸-۱۱ | Ti۴*C(min) | پایدار شده با Ti |
| S ۳۴۷۰۰ | ۳۴۷ | ۰/۰۸ max | ۱۷-۱۹ | ۹-۱۳ | Cb+Ta۱۰C(min) | Cb " " |
| J ۹۵۱۵۰ | Alloy۲۰* | ۰/۰۷ max | ۲۹ | ۲۰ | ۳/۲۵ Cu ۲/۲۵ MO | مقاومترین از نظر خوردگی |
| | | | گروه ۴ فولادهای پیر سخت شونده | | | |
| - | ۳۲۲ | ۰/۰۷ | ۱۷ | ۷ | ۰/۰۷Ti ،۰/۲Al | |
| S ۱۷۷۰۰ | ۷-۱۷ PH+ | ۰/۰۷ | ۱۷ | ۷ | ۱/۰Al | |
| S ۱۷۴۰۰ | ۱۷-۴ PH+ | ۰/۰۵ | ۱۶/۵ | ۴/۲۵ | ۴/۰Cu | |
| S ۱۳۸۰۰ | ۱۴-۸ MOPH+ | ۰/۰۵ | ۱۴ | ۸/۵ | ۲/۵ Mo ،۱٪ Al | |
| S ۳۵۰۰۰ | AM ۳۵۰+ | ۰/۱۰ | ۱۶/۵ | ۴/۳ | ۲/۷۵ MO | |
| - | CD ۴ MCU● | ۰/۰۳ | ۲۵ | ۵ | ۳/۰CU،۲/۰MO | |

* ترکیب شیمیائی
+ نامهای تجاری
● تنها درحالت ریختگی

اتوموبیل می‌باشد. همچنین در واحدهای اکسید اسیون آمونیاک برای تولید اسید نیتریک و نیز تانکها و واگنهای نگهداری و حمل و نقل اسید نیتریک بکار می‌رود. اولین کاربرد فولادهای زنگ نزن در صنایع شیمیائی نوع ۴۳۰ بوده که برای ساخت تانک واگنهای حمل و نقل اسید نیتریک بود لکن در این کاربردها عمدتاً بوسیله فولاد زنگ‌نزن ۸-۱۸ که از نظر جوشکاری، انعطاف پذیری و مقاومت خوردگی مناسبتر است جایگزین گردیده است. کاربردهای دیگر فولاد ۴۳۰ سبدهای آنیل برنج و عملیات حرارتی دیگر در درجه حرارتهای پائین، حلقه های مشعلهای نفتی، مهره‌ها و زه‌های تزئینی دیگر می‌باشد.

انواع ۴۴۲ و ۴۴۶ در مواقعی که مقاومت در برابر حرارت لازم است مثل اجزاء




**شکل ۵-۵ دیاگرام تعادلی آهن -کرم**

کوره ها و تجهیزات عملیات حرارتی بکار برده می‌شوند. به خاطر مقدار بالای کرم، دارای مقاومت خوبی در برابر اکسید اسیون در درجه حرارت بالا و گازهای گوگردار می‌باشند. پایداری حرارتی یا استحکام در درجه حرارت بالای این آلیاژها خیلی خوب نبوده ودر این موارد بایستی با دقت انتخاب شوند. یکی از جالب توجه ترین خواص گروه II مقاومت آنها در برابر خوردگی توام با تنش می‌باشد. این آلیاژها در بسیاری از مواردی که انواع ۸-۱۸ ترک می‌خورند، مخصوصاً در آبهای کلردار، به خوبی عمل می‌کنند.

**فولادهای زنگ نزن فریتی با خلوص بالا** فولادهای زنگ نزن فریتی ( قسمت ۸-۵گروه II ) با کربن و نیتروژن خیلی کم که اخیراً توسعه یافته‌اند، حالا بطور تجارتی در دسترس می‌باشند. کل مقدار کربن و نیتروژن کمتر از ۲۵۰ قسمت در میلیون می‌باشد اگر چه یک نوع آنها دارای مقادیر بیشتری می‌باشد. برای بدست آوردن خلوص بالا تکنولوژی فولاد سازی پیشرفته‌ای لازم است.

فولادهای سادهٔ کرم دار اولین آلیاژهای زنگ نزن بودند که مورد استفاده قرار گرفتند، ولی مشکلات تردی و جوشکاری داشتند. نسل جدید این فولادها با خلوص بالا دارای انعطاف پذیری و قابلیت جوشکاری خوب هستند مشروط بر آنکه جوشکاری بطور صحیح انجام شود.

اولین فولاد زنگ نزن فریتی با خلوص بالا ۱-۲۶Ebrite ( شرکت Air co ) حاوی ۲۶٪ کرم و ۱٪ مولیبدن بود. یک نوع دیگر ۱s-۲۶ بوده که حاوی تیتانیم بعنوان پایدار کننده می‌باشد. انواع دیگر ۲۹Cr-۴Mo و ۲۹Cr-۴Mo-۲Ni (شرکت Dupont) می‌باشند.

نمونه‌های جوشکاری شده این نوع فولادها موقع خم کردن ترک نمی‌خورند بعضی خواص آلیاژ ۱-۲۶ بصورت زیر می‌باشند: استحکام کششی ۶۵ تا ۷۰ هزار پوند بر اینچ مربع، استحکام تسلیم ۵۵ تا ۶۰ هزار پوند بر اینچ مربع، و درصد افزایش طول ۱۰ تا ۲۵٪، در مورد آلیاژ ۱s-۲۶، به ترتیب، ۷۰تا ۸۰ هزار، ۶۰تا۶۵ هزار و ۱۵تا۲۵٪، در مورد آلیاژ[1] ۴-۲۹، ۹۰ تا ۹۵ هزار، ۷۰ تا ۷۵ هزار و ۲۰ تا ۲۷٪، خواص مکانیکی ورقه‌های نوردی تقریباً مشابه حالت ریختگی می‌باشد.

مزیت عمدهٔ این فولادهای فریتی مقاومت در برابر ترک خوردن در اثر خوردگی توام با تنش می‌باشد که از این نظر خیلی برتر از فولادهای زنگ نزن آستنیتی مثل انواع ۳۰۴ و ۳۱۶ می‌باشند. مقاومت این فولادها از نظر حفره دار شدن نیز بیشتر است. تمام این آلیاژها مقاومت عالی در اسید نیتریک ۶۵٪ جوشان دارند همچنین مقاومت آنها در اسید استیک ۲۰٪ جوشان و اسید فرمیک ۴۵٪ جوشان ( اسیدهای آلی ) نسبت به نوع ۳۰۴ بیشتر است.

آلیاژ ۴-۲۹ از نظر حفره دار شدن و خوردگی شیاری مقاومت خیلی خوبی نشان

---

1- R.A.Lula,Ferritic Stainless Steel: Corrosion Resistance plus Economy, *Metal Progress*, 110: 24-29 (1976)

می‌دهد[۱]. برای بهترین انعطاف پذیری و مقاومت از نظر حفره دارشدن، خوردگی بین دانه‌ای، و خوردگی توام با تنش، کربن این آلیاژ نباید بیش از ۰/۰۱٪ و نیتروژن آن نباید بیش از ۰/۰۱۵٪ باشد (کربن+ نیتروژن کمتر از ۰/۰۲۵٪ ). آلیاژ۲Ni-۴-۲۹ مقاومت خوبی در اسید سولفوریک ۱۰٪ نشان می‌دهد. درانتخاب این آلیاژبرای کاربرد. دراسیدسولفوریک و کلریدریک بایستی احتیاط شود. هیچکدام از آلیاژهای فریتی را نباید مثل آلیاژ۲۰ برای اسید سولفوریک مناسب دانست. آلیاژ ۴-۲۹ نسبت به ۱-۲۶ مقاومت بهتری از نظر حفره دار شدن و خوردگی شیاری نشان می‌دهد.

در ذوبهای اولیهٔ آلیاژ ۱-۲۶ در منطقهٔ جوشکاری و حساس شده خوردگی بین دانه‌ای مشاهده شد. در مقایسه با فولادهای آستینتی که خوردگی در فاصلهٔ مشخصی از خط جوش واقع می‌شود، خوردگی در فلز جوش و فلز مجاورآن واقع می‌شد. کربن به علاوهٔ نیتروژن حداکثر بایستی ۰/۰۱٪ باشد بجز در مورد آلیاژ ۴-۲۹ که می‌تواند حداکثر ۰/۰۲۵٪ باشد.

در انتخاب این آلیاژها برای استفاده در درجه حرارتهای پائین بایستی دقت شود. بجز در ضخامت های کم، درجه حرارت انتقال از نرمی به تردی[۲] می‌تواند درجه حرارت محیط یا بالاتر باشد. در درجه حرارتهای بالا استحکام افت می‌کند (یعنی حدود ۱۰۰۰ درجهٔ فارنهایت یا ۵۴۰ درجهٔ سانتیگراد ) و تغییرات ساختمانی ممکن است اتفاق بیفتد (تشکیل فاز سیگما )، لذا این آلیاژها برای درجه حرارتهای بالا خوب نیستند.

جوشکاری این آلیاژها بایستی بطور صحیح و دقیق در اتمسفر خنثی انجام شده تا از آلوده شدن و تردی فولاد جلوگیری شود. دادن دستورالعمل به جوشکاری به تنهایی کافی نیست، بلکه بایستی نظارت دقیقی بر کار وی بعمل آید و همچنین جوشها را آزمایش نمود تا از رضایت بخش بودن آنها اطمینان حاصل شود. مثلاً، بیرون کشیدن لحظه‌ای الکترود از اتمسفر خنثی موقع جوشکاری باعث از بین رفتن جوش می‌شود. این آلیاژها از نظر دقت و مواظبت برای جلوگیری از آلودگی موقع جوشکاری تا حدودی شبیه تیتانیم می‌باشند. واضح است که سطح فلز قبل از جوشکاری بایستی خیلی تمیز باشد.

نوع قالب ریختگی نیز برای تولید قطعات مهم می‌باشد. برای جلوگیری از جذب کربن و انهدام آلیاژ بایستی از مواد قالبگیری خنثی استفاده شود ( به قسمت ۵-۱۲

---

1- M.A Streicher. Development of Pitting Resistant Fe-Cr-Mo Alloys *Corrosion*. 30:77-91

2- DBTT

رجوع شود ).

آلیاژ ۴-۲۹ بوسیلهٔ آب دریا خورده نمی‌شود و ادعا می‌شود که مقاومت آن در این محیط شبیه هاستولی C و تیتانیم می‌باشد لکن این شباهت در مورد اسیدهایی مثل اسید سولفوریک وجود ندارد: موقعی که اولین بار تیتانیم در صحنه ظاهر شد، آنرا نیز در آب دریا با هاستولی C مقایسه کردند، در چندین مورد آب دریا فراموش شد و تیتانیم را شبیه هاستولی C در محیطهای دیگر فرض کردند! واضح است که این مقایسه غلط است، و همین اشتباه نبایستی در مورد آلیاژ ۴-۲۹ تکرار شود. فولادهای زنگ نزن فریتی با خلوص بالا برای بسیاری کاربردها مناسب هستند، ولی برای کاربرد صحیح اطلاع از خواص آنها ضروری است.

**گروه III** فولادهای زنگ نزن آستنیتی اساساً غیر مغناطیسی بوده و قابلیت سخت شدن به وسیله عملیات حرارتی را ندارند. مثل فولادهای فریتی، تنها با کار سرد می‌توان استحکام آنها را افزایش داد. اکثر این فولادها حاوی نیکل بعنوان عامل اصلی پایدار کننده آستنیت می‌باشند، لکن انواع نسبتاً جدید ۲۰۱ و ۲۰۲ حاوی نیکل کمتری بوده و دارای مقادیر بیشتری منگنز می‌باشند.

فولادهای آستنیتی دارای مقاومت خوردگی بهتری نسبت به انواع بدون نیکل (گروه I و II) می‌باشند و معمولاً دارای بالاترین مقاومت خوردگی نسبت به گروههای دیگر بجز آلیاژ CD-۴MCu می‌باشند. به همین دلیل فولادهای زنگ نزن آستینتی بطور وسیعی برای شرایط حادتر خوردگی بکار برده می‌شوند. در اتمسفر زنگ نمی‌زنند و کاربردهای وسیعی در معماری، آشپزخانه، صنایع غذائی و توزیع مواد غذائی و در مواردی که زنگ غیر مطلوب است دارند.

انواع ۲۰۱ و ۲۰۲ دارای مقاومت خوردگی شبیه نوع ۳۰۲ می‌باشند. آلیاژ همه فن حریف[1] برای صنایع شیمیائی انواع ۳۰۴، ۳۰۴L، ۳۱۶، ۳۴۷ می‌باشند. در فصل ۳ درمورد تاثیر کربن و عملیات حرارتی بحث شد. انواع مولیبدن دار مثل نوع ۳۱۶، در بسیاری از کاربردها بهتر از ۳۰۴ عمل می‌کنند. نوع ۳۱۶ دارای مقاومت بیشتری از نظر حفره‌دار شدن، در اسید سولفوریک و اسیدهای آلی داغ می‌باشند. مقاومت خوردگی و حرارتی معمولاً با افزایش نیکل و کرم افزایش می‌یابد. مثلاً نوع ۳۱۰ که ۲۰-۲۵ نیز نامیده می شود یکی از بهترین آلیاژهای مقاوم در برابر حرارت است.

آلیاژ ۲۰ دارای کد AISI نیست ولی بخاطر استفاده وسیع آن در گروه ۳ آمده

---

1- Workhorse

است. این آلیاژ در ۱۹۳۵ بوسیله پروفسور فونتانا پیشنهاد شد. این آلیاژ در حالت نوردی بنام کارپنتر ۲۰ در حالت ریختگی بنام دوریمت ۲۰ معروف است. این آلیاژ دارای بهترین مقاومت عمومی نسبت به تمام آلیاژهای جدول ۲-۵ می‌باشد. این آلیاژ به دو صورت با و بدون کلومبیم تولید می‌گردد.

گروه IV شامل فولادهای پیر سخت یا رسوب سختی می‌باشد. روش افزایش استحکام و سختی آنها بشرح زیر است: بعد از عملیات حرارتی آنیل[1] در آب سرد شده و بعد به مدتهای طولانی در محدوده ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ درجهٔ فارنهایت حرارت داده می‌شود. بعضی از این آلیاژها در جدول ۲-۵ نشان داده شده‌اند. با این عملیات حرارتی می‌توان استحکام را تا ۲۰۰ هزار پوند بر اینچ مربع افزایش داد. پنج تای اول این گروه دارای موارد استفاده وسیعی در هواپیما سازی و صنایع فضائی می‌باشند. مقاومت خوردگی این گروه در محیطهای خیلی خورنده معمولاً کمتر از آلیاژ ۸-۱۸ می‌باشد بجز آلیاژ CD-4MCu، که خیلی بهتر از پنج تای اول می‌باشد. این آلیاژ همچنین بر فولادهای ۸-۱۸ نیز برتری دارد. این آلیاژها در یک برنامهٔ تحقیقاتی در دانشگاه ایالتی اوهایو توسعه یافته‌اند.

سختی بالای فولادهای گروه IV باعث مناسب شدن این آلیاژها در کاربردهائی که در اثر سایش امکان چسبندگی بین دو فلز وجود دارد می‌باشد.

فولادها و آلیاژهای زنگ نزن ریختگی معمولاً دارای ترکیب شیمیائی اندک متفاوتی نسبت به انواع نوردی می‌باشند. یک اختلاف بواسطهٔ وجود سیلیسیم بالاست که سیالیت ریخته گری را افزایش می‌دهد. در فولادهای زنگ نزن نوردی مقدار سیلیسیم معمولاً حداکثر یک درصد است. وجود سیلیسیم بالا در آلیاژهای ریختگی مخصوصاً برای ریختگری مقاطع نازک یا اجزأ کوچک لازم است. بعد از ریختگری قطعه در معرض نورد یا تغییر شکل پلاستیکی قرار نمی‌گیرد. لذا در مورد آلیاژهای دوبله مقدار فریت ساختمان میکروسکپی را بطور قابل ملاحظه‌ای می‌توان تغییر داد. مقدار فریت بالا در زمینه آستینتی باعث افزایش استحکام می‌شود. با افزایش درصد عناصر فریت‌زا(Mo و Cr) و تقلیل درصد عناصر پایدار کننده آستنیت (Ni و N و C) می‌توان مقدار فریت را کنترل کرد. فولاد زنگ نزن ۸-۱۸ معمولی دارای مقدار نیکل کافی برای بالانس کردن آلیاژ (کاملاً آستینته کردن آن) می‌باشد. به همین دلیل و نیز دلایل دیگر

1- Solution anneal

## جدول ۳ـ۵ کدهای استاندارد "انستیتو آلیاژهای ریختگی" و ترکیب شیمیائی قطعات ریختگی مقاوم در برابر خوردگی و حرارت

| نامگذاری آلیاژهای ریختگی | نوع نوردی مشابه | ترکیب ، ٪ (بقیه Fe) C | Mn Max | Si Max | Cr | Nj | عناصر دیگر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CA-۱۵ | ۴۱۰ | ۰/۱۵max | ۱/۰۰ | ۱/۵۰ | ۱۱/۵ـ۱۴ | ۱max | MO۰/۵max |
| CA-۴۰ | ۴۲۰ | ۰/۲۰ـ۰/۴۰ | ۱/۰۰ | ۱/۵۰ | ۱۱/۵ـ۱۴ | ۱max | MO۰/۵max |
| CB-۳۰ | ۴۳۱ | ۰/۳۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱۸ـ۲۲ | ۲max | - |
| CC-۵۰ | ۴۴۶ | ۰/۵۰max | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۲۶ـ۳۰ | ۴max | - |
| CD-۴Mcu | - | ۰/۰۴۰max | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۲۵ـ۲۷ | ۴/۷۵ـ۶/۰۰ | MO۱/۲۷ـ۲/۲۵ و cu ۲/۲۷ـ۲/۲۵ |
| CE-۳۰ | - | ۰/۳۰max | ۱/۵۰ | ۲/۰۰ | ۲۶ـ۳۰ | ۸ـ۱۱ | - |
| CF-۳ | ۳۰۴L | ۰/۰۳max | ۱/۵۰ | ۲/۰۰ | ۱۷ـ۲۱ | ۸ـ۱۲ | - |
| CF-۸ | ۳۰۴ | ۰/۰۸max | ۱/۵۰ | ۲/۰۰ | ۱۸ـ۲۱ | ۸ـ۱۱ | - |
| CF-۲۰ | ۳۰۲ | ۰/۲۰max | ۱/۵۰ | ۲/۰۰ | ۱۸ـ۲۱ | ۸ـ۱۱ | - |
| CF-۳M | ۳۱۶L | ۰/۰۳max | ۱/۵۰ | ۱/۵۰ | ۱۷ـ۲۱ | ۹ـ۱۳ | MO۲/۰ـ۳/۰ |
| CF-۸M | ۳۱۶ | ۰/۰۸max | ۱/۵۰ | ۱/۵۰ | ۱۸ـ۲۱ | ۹ـ۱۲ | MO۲/۰ـ۳/۰ |
| CF-۱۲M | ۳۱۶ | ۰/۰۱۲max | ۱/۵۰ | ۱/۵۰ | ۱۸ـ۲۱ | ۹ـ۱۲ | MO۲/۰ـ۳/۰ |
| CF-۱۲M CF-۸C | ۳۴۷ | ۰/۰۸max | ۱/۵۰ | ۲/۰۰ | ۱۸ـ۲۱ | ۹ـ۱۲ | Cb۸cmin,۷۰max or Cb-Ta۱۰cmin,۱/۳۵max |
| CF-۱۶F | ۳۰۳ | ۰/۱۶maX | ۱/۵۰ | ۲/۰۰ | ۱۸ـ۲۱ | ۹ـ۱۲ | MO۱/۵max,Se۰/۲۰ـ۰/۳۵ |
| CG-۸M | ۳۱۷ | ۰/۰۸max | ۱/۵۰ | ۱/۵۰ | ۱۸ـ۲۱ | ۹ـ۱۳ | MO۳/۰ـ۴/۰ـ |
| CH-۲۰ | ۳۰۹ | ۰/۲۰max | ۱/۵۰ | ۲/۰۰ | ۲۲ـ۲۶ | ۱۲ـ۱۵ | - |
| CK-۲۰ | ۳۱۰ | ۰/۲۰max | ۱/۵۰ | ۲/۰۰ | ۲۳ـ۲۷ | ۱۹ـ۲۲ | - |
| CM- ۷M | - | ۰/۰۷max | ۱/۵۰ | * | ۱۸ـ۲۲ | ۲۱ـ۳۱ | MO-CU* |
| IIA | - | ۰/۲۰max | ۰/۳۵ـ۰/۶۵ | ۱/۰۰ | ۸ـ۱۰ | - | MO۰/۹۰ـ۱/۲۰ |
| HC | ۴۴۶ | ۰/۵۰max | ۱/۰۰ | ۲/۰۰ | ۲۶ـ۳۰ | ۴max | $MO_{0}/5max^{+}$ |
| HD | ۳۲۷ | ۰/۵۰max | ۱/۵۰ | ۲/۰۰ | ۲۶ـ۳۰ | ۴ـ۷ | $MO_{0}/5max^{+}$ |
| HE | - | ۰/۲۰ـ۰/۵۰ | ۲/۰۰ | ۲/۰۰ | ۲۶ـ۳۰ | ۸ـ۱۱ | $MO_{0}/5max^{+}$ |
| HF | ۳۰۲B | ۰/۲۰ـ۰/۴۰ | ۲/۰۰ | ۲/۰۰ | ۱۹ـ۲۳ | ۹ـ۱۲ | $MO_{0}/5max^{+}$ |
| HH | ۳۰۹ | ۰/۲۰ـ۰/۵۰ | ۲/۰۰ | ۲/۰۰ | ۲۴ـ۲۸ | ۱۱ـ۱۴ | $MO_{0}/5max+N_{0}/2max$ |
| HI | - | ۰/۲۰ـ۰/۵۰ | ۲/۰۰ | ۲/۰۰ | ۲۶ـ۳۰ | ۱۴ـ۱۸ | $MO_{0}/5max^{+}$ |
| HK | ۳۱۰ | ۰/۲۰ـ۰/۶۰ | ۲/۰۰ | ۲/۰۰ | ۲۴ـ۲۸ | ۱۸ـ۲۲ | $MO_{0}/5max^{+}$ |
| HL | - | ۰/۲۰ـ۰/۶۰ | ۲/۰۰ | ۲/۰۰ | ۲۸ـ۲۲ | ۱۸ـ۲۲ | $MO_{0}/5max^{+}$ |
| HN | - | ۰/۲۰ـ۰/۵۰ | ۲/۰۰ | ۲/۰۰ | ۱۹ـ۲۳ | ۲۲ـ۲۷ | $MO_{0}/5max^{+}$ |
| HT | ۳۳۰ | ۰/۳۵ـ۰/۷۵ | ۲/۰۰ | ۲/۵۰ | ۱۳ـ۱۷ | ۳۳ـ۳۷ | $MO_{0}/5max^{+}$ |
| HU | - | ۰/۳۵ـ۰/۷۵ | ۲/۰۰ | ۲/۵۰ | ۱۷ـ۲۱ | ۳۷ـ۴۱ | $MO_{0}/5max^{+}$ |
| HM | - | ۰/۳۵ـ۰/۷۵ | ۲/۰۰ | ۲/۵۰ | ۱۰ـ۱۲ | ۵۸ـ۶۲ | $MO_{0}/5max^{+}$ |
| HX | - | ۰/۳۵ـ۰/۷۵ | ۲/۰۰ | ۲/۵۰ | ۱۵ـ۱۹ | ۶۲ـ۶۸ | $MO_{0}/5max^{+}$ |

انستیتو آلیاژهای ریختگی از نامگذاری ACI برای رده های ریختگی استفاده نموده که در جدول ۳-۵ آورده شده است. قطعات ریختگی را بایستی توسط نامگذاری ACI مشخص کرد. در ستون دوم جدول ۳-۵ همچنین شمارهٔ AISI نیز آورده شده است.

در این جدول حرف C نشان دهندهٔ این است که آلیاژ عمدتاً در محیطهای آبی و حرف H نشان دهنده این است که آلیاژ عمدتاً در درجه حرارتهای بالا مصرف می‌شود. آلیاژ ۲۰ معادل CN-۷M می‌باشد. در اکثر محیطها مقاومت خوردگی آلیاژهای ریختگی و نوردی یکسان فرض می‌شود، خصوصاً در مواردی که انجام آزمایشات خوردگی در شرایط مورد نظر میسر نباشد. انواع ریختگی و نوردی را معمولاً با یکدیگر بکار می برند - مثلاً یک والو یا پمپ ریختگی و لوله های نوردی.

علاوه بر آلیاژهای دوپلکس که در چهار پاراگراف قبلی آمده‌اند، در سالهای اخیر چندین آلیاژ مشابه به بازار ارائه شده‌اند. آلیاژ CD۴MCU ( جدول ۲-۵ ) آلیاژی قدیمی است و ساختار آن حاوی ٪۶۰ فریت و ٪۴۰ آستنیت می‌باشد. آلیاژ نوردی جدیدتر فرآلیوم[1] ( به جدول ۹-۵ مراجعه شود ) دارای ساختار ٪۵۰ فریتی و ٪۵۰ آستنیتی می‌باشد. این دو آلیاژ از نظر ترکیب شیمیایی کاملاً شبیه یکدیگر هستند. هر دو آلیاژ مقاومت خوبی در برابر خوردگی تنشی دارند. برای ملاحظهٔ تاثیر فریت بر مقاومت در برابر خوردگی تنشی بوسیلهٔ CF-۳، CF-۸ و CF-۸M، در مقایسه با انواع ۳۰۴ و ۳۱۶ به شکل ۷۱-۳ مراجعه شود.

انستیتو تکنولوژی مواد در ۱۹۸۱ دو راهنما تحت عنوان " عملکرد و قابلیت اطمینان آلیاژهای ریختگی مقاوم در برابر خوردگی " منتشر نمود. راهنمای شمارهٔ ۵ شامل فاز 1، " دلایل عملکرد نا مناسب " و شمارهٔ ۶ شامل فاز ۲ " ناپیوستگی ها در قطعات ریختگی " می‌باشد.

جدول ۴-۵ خواص مکانیکی چند فولاد زنگ نزن از گروههای چهارگانه فوق را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود طیف خواص مکانیکی این آلیاژها وسیع است. آلیاژهای با استحکام بالا دارای نسبت استحکام به وزن خوبی برای کاربردهای هواپیمائی وفضائی می‌باشند. سختی بالا برای مقاومت در برابر سایش و کاربردهای شامل خوردگی سایشی ضروری می‌باشد ( مثلاً والوها یا سوپاپهای بخار با فشار بالا ).

فولادهای سری ۲۰۰ و ۳۰۰ در حالت آنیل شده دارای خواص مکانیکی تقریباً

---

1- Ferralium

## جدول ۴-۵ خواص مکانیکی اسمی فولادهای زنگ نزن

| نوع | حالت | استحکام کششی lb/in۲ | نقطهٔ تسلیم lb/in۲ ۰/۲٪ | انعطاف‌پذیری ٪ در ۲ اینچ | منحنی راکول | منحنی برنیل |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Type ۴۱۰ | آنیل شده | ۷۵۰۰۰ | ۴۰۰۰۰ | ۳۰ | B ۲۹ | ۱۵۵ |
| Type ۴۱۰ | سخت شده،تمپر شده در ۶۰۰°F | ۱۸۰۰۰۰ | ۱۴۰۰۰۰ | ۱۵ | C ۲۹ | ۳۵۷ |
| Type ۴۱۰ | سخت شده، تمپرشده در ۱۰۰۰°F | ۱۴۵۰۰۰ | ۱۱۵۰۰۰ | ۲۰ | C ۳۱ | ۳۰۰ |
| Type ۴۲۰ | آنیل‌شده | ۹۵۰۰۰ | ۵۰۰۰۰ | ۲۵ | B ۹۲ | ۱۹۵ |
| Type ۴۲۰ | سخت شده،تمپرشده در ۶۰۰°F | ۲۳۰۰۰۰ | ۱۹۵۰۰۰ | ۲۵ | C ۵۰ | ۵۰۰ |
| Type ۴۴۰A | آنیل شده | ۱۰۵۰۰۰ | ۶۰۰۰۰ | ۲۰ | B ۹۵ | ۲۱۵ |
| Type ۴۴۰A | سخت شده،تمپرشده در ۶۰۰°F | ۲۶۰۰۰۰ | ۲۴۰۰۰۰ | ۵ | C ۵۱ | ۵۱۰ |
| Type ۴۳۰ | آنیل شده | ۷۵۰۰۰ | ۴۵۰۰۰ | ۳۰ | B ۸۲ | ۱۵۵ |
| Type ۴۴۶ | آنیل شده | ۸۰۰۰۰ | ۵۰۰۰۰ | ۲۳ | B ۸۶ | ۱۷۰ |
| Type ۳۰۱ | آنیل شده | ۱۱۰۰۰۰ | ۴۰۰۰۰ | ۶۰ | B ۸۵ | ۱۶۵ |
| Type ۳۰۱ | کارسرد شده،نیم سخت | ۱۵۰۰۰۰ | ۱۱۰۰۰۰ | ۱۵ | C ۳۲ | ۳۲۰ |
| Type ۳۰۴ | آنیل شده | ۸۵۰۰۰ | ۳۵۰۰۰ | ۵۵ | B ۸۰ | ۱۵۰ |
| CF-۸ | (۱۵٪ مزیت)آنیل شده | ۸۷۰۰۰ | ۴۷۰۰۰ | ۵۲ | — | ۱۵۰ |
| Type ۳۰۴L | آنیل‌شده | ۸۰۰۰۰ | ۳۰۰۰۰ | ۵۵ | B ۷۶ | ۱۴۰ |
| Type ۳۱۰ | آنیل شده | ۹۵۰۰۰ | ۴۰۰۰۰ | ۴۵ | B ۸۷ | ۱۷۰ |
| Tupe ۳۴۷ | آنیل شده | ۹۲۰۰۰ | ۳۵۰۰۰ | ۵۰ | B ۸۴ | ۱۶۰ |
| Alloy ۲۰ | آنیل شده | ۸۵۰۰۰ | ۳۵۰۰۰ | ۵۰ | B ۸۴ | ۱۶۰ |
| ۱۷-۷PH | آنیل شده | ۱۳۰۰۰۰ | ۴۰۰۰۰ | ۳۵ | B ۸۵ | ۱۶۵ |
| ۱۷-۷PH | پیرسخت شده در ۹۵۰°F | ۲۳۵۰۰۰ | ۲۲۰۰۰۰ | ۶ | C ۴۸ | ۴۸۰ |
| ۱۷-۴PH | پیرسخت شده در ۹۰۰°F | ۲۰۰۰۰۰ | ۱۷۸۰۰۰ | ۱۲ | C ۴۴ | ۴۲۰ |
| ۱۴-۸MOPH | آنیل شده | ۱۳۰۰۰۰ | ۵۰۰۰۰ | ۳۰ | B ۸۵ | ۱۶۲ |
| ۱۴-۸MOPH | کار سرد شده،پیر سخت شده در ۹۰۰°F | ۲۸۰۰۰۰ | ۲۷۰۰۰۰ | ۲ | C ۵۲ | ۵۲۰ |
| AM ۳۵۰ | آنیل شده | ۱۶۰۰۰۰ | ۵۵۰۰۰ | ۴۰ | B ۹۵ | ۲۱۵ |
| AM ۳۵۰ | پیرسخت شده در ۸۵۰°F | ۲۲۰۰۰۰ | ۱۹۰۰۰۰ | ۱۳ | C ۴۵ | ۴۵۰ |
| CD ۴MCU | آنیل شده | ۱۰۵۰۰۰ | ۸۵۰۰۰ | ۲۰ | C ۲۵ | ۲۴۰ |
| CD ۴MCU | پیرسخت شده در ۹۵۰°F | ۱۴۰۰۰۰ | ۱۲۰۰۰۰ | ۱۵ | C ۳۱ | ۳۱۰ |

مشابهی هستند. استثناء قابل توجه در مورد آلیاژهای ریختگی با ساختمان میکروسکوپی دوبله می‌باشد. استحکام تسلیم بالاتر آلیاژ CF-8 شامل ۱۵ درصد فریت را با نوع ۳۰۴ مقایسه کنید. فولادهای آستنیتی انعطاف پذیری و چقرمگی[1] خوب خود را در درجه حرارتهای خیلی پائین حفظ می‌کنند و برای حمل و نقل و نگهداری نیتروژن و اکسیژن مایع بکار می‌روند. فلزات و آلیاژهای با شبکه مکعبی با وجوه مرکزدار[2] مثل فولادهای زنگ نزن آستینتی، مس وآلومینیم دارای خواص مکانیکی خوبی در درجه حرارتهای خیلی پائین می‌باشند. تنها روش سخت کردن فولادهای آستینتی کارسرد می‌باشد. این عمل معمولاً باعث تقلیل جزئی مقاومت خوردگی می‌گردد، لکن در بعضی محیطهای خاص یک پیل گالوانیکی بین قسمت های آنیل شده و کارسرد شده می‌تواند بوجود آید. نوع ۳۰۱ عمدتاً در حالت کار سرد شده برای ساخت بدنه های قطارها و کامیونها بکار برده می‌شود. استحکام فولادهای آستنیتی را با کار سرد می‌توان تا حدود ۳۰۰ هزار پوند بر اینچ مربع ( بصورت سیم ) رسانید. انواع ۳۰۱ و ۳۰۲ در کاربردهای حاد از نظر خوردگی بکار نمی‌روند زیرا نوع ۳۰۱ دارای کرم و نیکل پائینی می‌باشد و نوع ۳۰۲ دارای کربن بالائی است.

خواص درجه حرارت بالا در فصل ۱۱ مورد بحث قرار خواهد گرفت.

## ۹-۵ آلومینیم و آلیاژهای آن

آلومینیم فلز فعالی است، ولی تشکیل یک پوسته اکسید آلومینیم می‌دهد که باعث محافظت آن در تعداد زیادی از محیطهای خورنده می‌شود. این پوسته در محلولهای خنثی و تعداد زیادی از محلولهای اسیدی پایدار بوده ولی بوسیله مواد قلیایی خورده می‌شود. این پوسته اکسیدی در اکثر محیطها تشکیل می‌شود، ولی با عبور جریان الکتریکی می‌توان آنرا بطور مصنوعی هم بوجود آورد. این روش آندیزه کردن نام دارد. آلیاژهای آلومینیم ـ مس معمولاً برای ساخت قطعات بکار برده می‌شوند. انواع بدون مس یا با مس کم در صنایع شیمیائی یا جائی که مقاومت خوردگی بهتری لازم است بکار برده می‌شود.

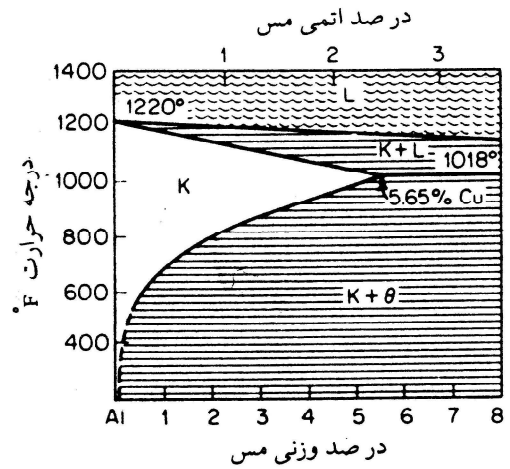
علاوه بر مقاومت خوردگی، خواص دیگری که باعث کاربرد وسیع این فلز و آلیاژهای آن شده است عبارتند از: بی رنگ و غیر سمی‌بودن محصولات خوردگی،

---

1- Toughness 2- FCC

ظاهر، هدایت الکتریکی و حرارتی، قابلیت انعکاس، سبکی یا نسبت استحکام به وزن خوب.

آلومینیم خالص نرم و ضعیف است، لکن با آلیاژسازی و عملیات حرارتی می توان طیف وسیع تری از خواص مکانیکی در آن بوجود آورد. آلیاژ آلومینیم با حدود ۴ درصد مس مثالی در این مورد می‌باشد. شکل ۶-۵ قسمتی از دیاگرام فازی Al-Cu را نشان می‌دهد. فاز K محلول جامد مس در آلومینیم است و فاز $\theta$ ترکیب $CuAl_2$ می‌باشد. عملیات حرارتی مشتمل بر حرارت دادن آلیاژ در منطقه K و سریع سرد کردن آن است. سپس آلیاژ در درجه حرارت پائین حرارت داده می‌شود تا رسوبات $\theta$ بوجود آیند. در درجه حرارتهای پائین قابلیت انحلال مس در آلومینیم خیلی کم است. در اثر این عملیات حرارتی فاز $\theta$ بدست آمده و باعث افزایش سختی و استحکام فلز می‌شود، لکن این عملیات باعث کم شدن مقاومت خوردگی آن مخصوصاً از نظر خوردگی توام با تنش می‌گردد.




**شکل ۶-۵ قسمتی از دیاگرام تعادلی آلومینیم ـ مس**

در جدول ۵-۵ ترکیب چند آلیاژ نوردی و ریختگی نشان داده شده است. آلیاژ ۳۰۰۳ همه فن حریف[1] این آلیاژها در صنایع شیمیائی می‌باشد. آلیاژهای آلومینیم به روشهای ریختگری در ماسه، تحت فشار و قالبهای دائمی[2] ریختگری می‌شوند.

**جدول ۵-۵ ترکیب شیمیائی اسمی بعضی از آلیاژهای نوردی و ریختگی آلومینیم**

| شماره | ٪Cu | ٪Si | ٪Mn | ٪Mg | ٪Cr | ٪Zn | ٪Fe | ٪Ti |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | نوردی | | | | |
| ۱۱۰۰ | | | | خالص تجارتی - حداقل ٪۹۹/۲ آلومینیم | | | | |
| ۲۰۱۴ | ۴/۴ | ۰/۸ | ۰/۸ | ۰/۴ | ۰/۱ | ۰/۲۵ | ۱/۰ | ۰/۱۵ |
| ۳۰۰۳ | ۰/۲ | ۰/۶ | ۰/۲ | — | — | ۰/۱ | ۰/۷ | — |
| ۵۰۵۲ | ۰/۱۰ | کم | ۰/۱ | ۲/۵ | ۰/۲۵ | ۰/۱۰ | کم | - |
| ۶۰۶۱ | ۰/۲۵ | ۰/۶ | ۰/۱۵ | ۱/۰ | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | ۰/۷ | ۰/۱۵ |
| ۷۰۷۵ | ۱/۶ | ۰/۵ | ۰/۳۰ | ۲/۵ | ۰/۳ | ۵/۶ | ۰/۷ | ۰/۲۰ |
| ۷۱۷۸ | ۲/۰ | ۰/۵۰ | ۰/۳ | ۲/۷ | ۰/۳ | ۶/۸ | ۰/۷ | ۰/۲۰ |
| | | | | ریختگی | | | | |
| ۴۳ | — | ۵/۰ | — | — | — | — | — | — |
| ۱۹۵ | ۴/۵ | ۰/۸ | — | — | — | — | — | — |
| ۲۲۰ | — | — | — | ۱۰ | — | — | — | — |
| ۳۵ | — | ۷/۰ | — | ۰/۳ | — | — | — | — |

جدول ۶-۵ خواص مکانیکی بعضی از آلیاژهای آلومینیم را نشان می‌دهد. این جدول محدوده وسیع خواص مکانیکی این آلیاژها را نشان می‌دهد. مثلاً استحکام کششی آلومینیم خالص تجارتی ۱۳۰۰۰ پوند بر اینچ مربع است و آلیاژ ۷۱۷۸ در حالت عملیات حرارتی شده دارای استحکام کششی ۸۸ هزار پوند بر اینچ مربع می‌باشد. آلیاژ ۵۰۵۲ بالاترین استحکام آلیاژهایی که با عملیات حرارتی سخت نمی‌شوند را دارد. آلیاژ ۷۱۷۸ یکی از قوی‌ترین آلیاژهای عملیات حرارتی پذیر می‌باشد که در صنایع هواپیمائی و فضائی بکار برده می‌شود.

1- Workhorse

2- Permanent

## جدول ۶-۵ خواص مکانیکی اسمی آلیاژهای آلومینیم

| شماره | حالت تمپر* | استحکام کششی $ib/in^2$ | استحکام سلیم | انعطاف پذیری ٪ | سختی برنیل |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | نوردی | | |
| ۱۱۰۰ | O | ۱۳۰۰۰ | ۵۰۰۰ | ۴۰ | ۲۳ |
| ۱۱۰۰ | H۱۴ | ۱۸۰۰۰ | ۱۷۰۰۰ | ۱۵ | ۳۲ |
| ۲۰۱۴ | O | ۲۷۰۰۰ | ۱۴۰۰۰ | ۱۸ | ۴۵ |
| ۲۰۱۴ | T۶ | ۷۰۰۰۰ | ۶۰۰۰۰ | ۱۳ | ۱۳۵ |
| ۳۰۰۳ | O | ۱۶۰۰۰ | ۶۰۰۰ | ۳۵ | ۲۸ |
| ۳۰۰۳ | H۱۴ | ۲۲۰۰۰ | ۲۱۰۰۰ | ۱۲ | ۴۰ |
| ۵۰۵۲ | O | ۲۸۰۰۰ | ۱۳۰۰۰ | ۲۷ | ۴۷ |
| ۵۰۵۲ | H۳۴ | ۳۸۰۰۰ | ۳۱۰۰۰ | ۱۲ | ۶۸ |
| ۶۰۶۱ | O | ۱۸۰۰۰ | ۸۰۰۰ | ۲۷ | ۳۰ |
| ۶۰۶۱ | T۶ | ۴۵۰۰ | ۴۰۰۰۰ | ۱۵ | ۹۵ |
| ۷۰۷۵ | O | ۳۳۰۰۰ | ۱۵۰۰۰ | ۱۶ | ۶۰ |
| ۷۰۷۵ | T۶ | ۸۳۰۰۰ | ۷۳۰۰۰ | ۱۱ | ۱۵۰ |
| ۷۱۷۸ | O | ۳۳۰۰۰ | ۱۵۰۰۰ | ۱۵ | — |
| ۷۱۷۸ | T۶ | ۸۸۰۰۰ | ۷۸۰۰۰ | ۱۰ | — |
| | | | ریختگی | | |
| ۴۳ | Sand cast | ۱۹۰۰۰ | ۸۰۰۰ | ۸ | ۴۰ |
| ۴۳ | Die cast | ۳۳۰۰۰ | ۱۶۰۰۰ | ۹ | – |
| ۱۹۵ | Sand و T۶ | ۳۶۰۰۰ | ۲۴۰۰۰ | ۵ | ۷۵ |
| ۲۲۰ | — | ۴۶۰۰۰ | ۲۵۰۰۰ | ۱۴ | – |
| ۳۵۶ | Sand و T۶ | ۳۳۰۰۰ | ۲۴۰۰۰ | ۳/۵ | ۷۰ |

* O نشاندهنده حالت آنیل شده و H سخت شده بوسیلهٔ کاربرد. استحکام با کاربرد افزایش می‌یابد. کاربرد کامل (H۱۸) باعث افزایش استحکام کششی ۱۱۰۰ به $2400 lb/in^2$ می‌شود ۱۱۰۰ ، ۳۰۰۳ ، ۵۰۵۲ قابلیت سخت شدن بوسیله عملیات حرارتی را ندارد. T نشان دهنده پیر سخت شده می‌باشند.

آلیاژهای آلومینیم در درجه حرارتهای ۳۵۰°C و بالاتر بسرعت نرم می‌شوند. چون آلومینیم یک فلز مکعبی با وجوه مرکز دار است لذا دارای خواص مکانیکی عالی در درجه حرارتهای خیلی پائین می‌باشد.

## ۵-۱۰ منیزیم و آلیاژهای آن

منیزیم یکی از سبک ترین فلزات تجارتی است با وزن مخصوص ۱/۷۴ گرم بر سانتیمتر مکعب. بخاطر سبکی وزن و استحکام خوب آلیاژهای آن در کامیون، موتور اتومبیل، نردبان، اره های قابل حمل، چمدان، هواپیما و موشکهای فضائی بکار برده می شوند. ولی این فلز از نظر خوردگی یکی از فعال ترین فلزات است و در نتیجه بعنوان آندهای قربانی شونده در حفاظت کاتدی ( فصل ۳ ) و باطریهای خشک مصرف می شود. معمولاً نسبت به اکثر فلزات و آلیاژهای دیگر آندی بوده و بایستی از آنها عایق گردد.

منیزیم بخاطر تشکیل پوسته اکسیدی و محافظ در اتمسفرهای معمولی، مقاومت خوردگی خوبی نشان می‌دهد. این پوسته در اتمسفرهای حاوی نمک از بین رفته و حفره‌دار می‌شود و در نتیجه برای حفاظت فلز بایستی اقداماتی نمود، مثلاً کاربرد پوشش و غیره.

مقاومت خوردگی معمولاً با افزایش ناخالصی و عناصر آلیاژی تقلیل می‌یابد. آلیاژهای منیزیم کاملاً مستعد به خوردگی توام با تنش بوده و بایستی از این نظر محافظت گردند. وجود اکسیژن حل شده در آب تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر خوردگی منیزیم ندارد. فلز منیزیم نسبت به خوردگی سایشی حساس می‌باشد. منیزیم دارای مقاومت بیشتری نسبت به آلومینیم در محیطهای قلیایی است. بوسیله اکثر اسیدها خورده می‌شود بجز اسید کرومیک و اسید فلوریدریک، محصولات خوردگی در HF مثل یک پوسته محافظ عمل می‌کنند.

منیزیم و آلیاژهای آن در اشکال مختلف نوردی و ریخته‌گری تحت فشار تولید می‌کردند. استحکام کششی در محدوده بین ۱۵۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع قابل حصول است.

## ۵-۱۱ سرب و آلیاژهای آن

سرب یکی از قدیمی‌ترین فلزات است. در عهد باستان برای لوله کشی بکار رفته است و بعضی از این لوله ها هنوز در حال کار هستند. لوازم تزئینی و سکه های سربی چند هزار سال پیش بکار رفته‌اند. سرب تشکیل پوسته های سطحی محافظ مثل سولفاتها، اکسیدها، و فسفاتها می‌دهد. قسمت اعظم سربی که در دنیا تولید می‌شود به

مصارف مشتمل بر خوردگی می‌رسد و سهم بزرگی از این کاربردها شامل اسید سولفوریک است ( به نمودارهای isocorrosion در فصل ۷ مراجعه کنید ) سرب و آلیاژهای آن در لوله کشی، روکش ورقها، لحیم[۱] ، فلزات تایپ، باطریهای ذخیره کننده، حفاظ تشعشع، غلاف کابل، ورق سرب اندود[۲]، یاتاقانها، شیروانی ها و مهمات سازی بکار می‌روند. سرب نرم بوده و به سهولت می‌توان آنرا تغییر شکل داد و دارای نقطه ذوب پائینی است. فولاد با روکش سربی بخاطر نرمی سرب در معرض خوردگی سایشی قرار می‌گیرد.

در صنایع شیمیائی موقعی که مقاومت در برابر خوردگی لازم است مخصوصاً برای اسید سولفوریک، سرب شامل ۰/۰۶٪ مس که سرب شیمیائی نام دارد بکار می‌رود. این آلیاژ در اسید سولفوریک، کرومیک، فلوریدریک و فسفریک، محلولهای خنثی، آب دریا، و خاکها مقاوم می‌باشد. سرب شیمیائی بوسیله اسید استیک خورده می‌شود و معمولاً در اسید نیتریک، کلریدریک و اسیدهای آلی بکار برده نمی‌شود.

سرب شیمیائی دارای استحکام ۲۳۰۰ پوند بر اینچ مربع در درجه حرارت محیط می‌باشد. سربهای سخت شامل ۳ تا ۱۸ درصد آنتیموان دارای استحکام دو برابر است. لکن با افزایش درجه حرارت استحکام هر دو فلز به شدت افت می‌کند و در حدود ۲۳۰°F استحکام آن نصف می‌شود. در درجه حرارتهای خیلی بالاتر استحکام سرب و آلیاژهای آن به صفر می‌رسد.

## ۱۲-۵ مس و آلیاژهای آن

مس با اکثر فلزات دیگر متفاوت است از این نظر که دارای مقاومت خوردگی، قابلیت هدایت الکتریکی و حرارتی بالا، قابلیت شکل پذیری و ماشینکاری واستحکام خوب در حالت آلیاژی در درجه حرارتهای متوسط می‌باشد. مس مقاومت خوبی در اتمسفرهای روستائی، دریائی، صنعتی و آبها دارد. مس فلز نجیبی بوده و معمولاً واکنش آزاد شدن هیدروژن در فرآیند خوردگی اتفاق نمی‌افتد. به همین دلیل بوسیله اسیدها خورده نمی‌شود، مگر اینکه اکسیژن یا عوامل اکسید کننده دیگر (مثل اسید نیتریک) وجود داشته باشند. مثلاً واکنش بین مس و اسید سولفوریک از نظر ترمودینامیکی

---

1- Pb-Sn

2- Pb-Sn اندود کردن ورقه های فولادی با آلیاژ Ternplate

امکان‌پذیر نیست، لکن در حضور اکسیژن، واکنش انجام شده و محصول خوردگی سولفات مس و آب است. در مورد مس و آلیاژهای آن، واکنش احیاً اکسیژن به یونهای هیدروکسیل واکنش کاتدی اصلی است. آلیاژهای مسی در محلولهای خنثی تا کمی قلیائی مقاوم هستند به استثنای محیط های حاوی آمونیاک که باعث ترک خوردن در اثر خوردگی توام با تنش [1] و گاهی اوقات خوردگی سریع می‌گردند. در شرایط احیاً کننده قوی در درجه حرارتهای بالا (۳۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد) آلیاژهای مس غالباً برتر از فولادهای زنگ نزن و آلیاژهای زنگ نزن می‌باشند. زدایش روی و خوردگی توام با تنش در فصل ۳ بحث شده است.

در جدول ۷-۵ ترکیب شیمیائی و خواص مکانیکی چند آلیاژ مسی نشان داده شده است. صدها ترکیب شیمیائی با خواص مکانیکی متنوع در صنعت وجود دارد. مثلاً مس خالص دارای استحکام کششی ۳۰،۰۰۰ پوند بر اینچ مربع است و استحکام مس با ۲ درصد بریلیم به ۲۰۰،۰۰۰ پوند بر اینچ مربع می‌رسد. متداول ترین آلیاژهای مسی عبارتند از: برنجها(Cu-Zn)، برنزها (Cu با Sn، Al یا Si) و کوپرونیکلها (Cu-Ni). نیکل نقره‌ای حاوی نقره نیست ولی ظاهرش شبیه نقره است. این آلیاژ غالباً برای ساخت ظروف تزئینی که با نقره پوشش داده می‌شوند بکار می‌رود. آلیاژ(Everdur) دارای استحکام نسبتاً بالائی است و از این خاصیت آن در ساخت سخت افزارهائی مثل پیچ، مهره، تیغهٔ والوهای تجهیزاتی که از آلیاژهای مسی ساخته می‌شوند استفاده می‌شود تا خوردگی گالوانیکی به حداقل برسد.

مس و برنجها در معرض خوردگی سایشی می‌باشند. برنزها و برنجهای آلومینیم دار در این مورد بهتر عمل می‌کنند. برنزها قویتر و سخت ترند. همچنین کوپرونیکلها با مقادیر کمی آهن از نظر مقاومت خوردگی سایشی برترند.

مس و آلیاژهای آن بصورت لوله‌های دوبله (در داخل یک فلز و بیرون یک فلز دیگر) با فولاد، آلومینیم و فولاد زنگ‌نزن نیز عرضه می‌شوند. بدین صورت بسیاری از مسائل مبدلهای حرارتی حل می‌شود. مثل لوله های دوبله‌ای که از یک طرف در تماس با آمونیاک هستند (طرف فولاد) و در طرف دیگر در تماس با آب شور (طرف آلیاژ مس) قرار دارند.

مس و آلیاژهای آن دارای کاربرد وسیعی برای لوله کشی، شیرآلات، لوله‌های

---

1- SCC

## جدول ۷-۵ ترکیب شیمیائی و خواص مکانیکی بعضی از آلیاژهای مس

| مواد | ترکیب ٪ | استحکام کششی | | استحکام تسلیم | | انعطاف‌پذیری ٪ | | سختی راکول | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | سخت | نرم | سخت | نرم | سخت | نرم | سخت | نرم |
| مس با خلوص بالا | ۹۹/۹+Cu | ۴۶۰۰۰ | ۳۳۰۰۰ | ۴۰۰۰۰ | ۱۰۰۰۰ | ۵ | ۴۰ | B -۵۰ | F -۳۵ |
| مس.بریلیم | ۹۸Cu,۱/۹Be.۰/۲Ni or Co | ۲۰۰۰۰۰+ | ۷۰۰۰۰ | ۱۵۰۰۰۰ | ۳۰۰۰۰ | ۲ | ۳۵ | C -۳۸ | B -۶۵ |
| برنج قرمز | ۸۵Cu,۱۵Zn | ۷۰۰۰۰ | ۴۰۰۰۰ | ۵۵۰۰۰ | ۱۵۰۰۰ | ۷ | ۴۵ | B -۷۶ | B - ۵ |
| برنج ریختگی | ۸۵Cu,۵Zn,۵Pb,۵Sn | — | ۳۳۰۰۰ | — | ۱۵۰۰۰ | – | ۲۵ | — | B - ۷ |
| برنج فشنگی | ۷۰Cu,۳۰Zn | ۷۶۰۰۰ | ۴۸۰۰۰ | ۶۰۰۰ | ۱۷۰۰۰ | ۱۰ | ۶۵ | B -۸۳ | B -۲۰ |
| فلز مونتز | ۶۰Cu,۴۰Zn | ۸۰۰۰۰ | ۵۴۰۰۰ | ۶۰۰۰۰ | ۲۰۰۰۰ | ۱۵ | ۴۵ | B -۸۷ | B -۴۵ |
| برنز فسفردار A | ۹۵Cu,۵Sn.۰/۲۵P | ۸۰۰۰۰ | ۴۸۰۰۰ | ۶۵۰۰۰ | ۲۰۰۰۰ | ۸ | ۵۰ | B -۸۶ | B -۲۸ |
| برنزفسفردار D | ۹۰Cu,۱۰Sn,۰/۲۵P | ۱۰۲۰۰۰ | ۶۶۰۰۰ | ۷۰۰۰۰ | ۲۸۰۰۰ | ۱۲ | ۶۵ | B -۹۸ | B -۵۵ |
| برنز آلومینیم | ۹۲Cu,۸Al | ۱۰۵۰۰۰ | ۶۵۰۰۰ | ۶۵۰۰۰ | ۲۵۰۰۰ | ۷ | ۶۰ | B -۹۶ | B -۵۰ |
| اوردور ۱۰۱۰ | ۹۶Cu,۳Si,۱Mn | ۹۵۰۰۰ | ۵۸۰۰۰ | ۶۰۰۰۰ | ۲۲۰۰۰ | ۷ | ۶۰ | B -۹۲ | B -۳۵ |
| برنج آلومینیم(As) | ۷۷Cu,۲۱Zn,۲Al,۰/۰۴As | ۸۵۰۰۰ | ۵۲۰۰۰ | ۶۰۰۰۰ | ۲۰۰۰۰ | ۱۰ | ۶۵ | B -۸۵ | B -۳۰ |
| آدمیرالتی آرسینکی | ۷۱Cu,۲۸Zn,۱Sn,۰/۰۴As | — | ۴۸۰۰۰ | – | ۱۸۰۰۰ | – | ۶۵ | – | B -۲۵ |
| کوپرونیکل ۱۰ | ۸۸Cu,۱۰Ni,۱Fe,۰/۴Mn | ۶۰۰۰۰ | ۴۰۰۰۰ | ۵۷۰۰۰ | ۲۲۰۰۰ | ۱۵ | ۴۶ | B -۶۸ | B -۲۵ |
| کوپرونیکل ۳۰ | ۶۹Cu,۱۳Ni,۰/۵Fe,۰/۶Mn | ۷۰۰۰۰ | ۵۵۰۰۰ | ۶۰۰۰۰ | ۲۲۰۰۰ | ۱۰ | ۴۵ | B -۸۰ | B -۳۵ |
| نیکل نقره‌ای | ۶۵Cu,۲۵Zn,۱۰Ni | ۸۸۰۰۰ | ۵۵۰۰۰ | ۷۰۰۰۰ | ۲۰۰۰۰ | ۷ | ۴۲ | B -۸۷ | B -۳۰ |

* کار سرد شده

+ کار سرد و پیر سخت شده

مبدلهای حرارتی و صفحه لوله ها، سخت افزارها، سیم، توری، شافت، شیروانی، یاتاقانها، تانکها و مخازن دیگر می‌باشند.

## ۱۳-۵ نیکل و آلیاژهای آن

گروه مهمی از آلیاژهای مقاوم در برابر خوردگی بر پایهٔ نیکل قرار دارند. نیکل در بسیاری از محیط های خورنده مقاوم بوده و مخصوصاً در محیطهای قلیائی خیلی مناسب است. اکثر مسائل حاد خوردگی مواد قلیایی و محلولهای قلیایی با نیکل حل می‌شود. در حقیقت مقاومت خوردگی آلیاژها در هیدروکسید سدیم تقریباً متناسب با مقدار نیکل آنهاست. مثلاً چدن ۲ درصد نیکل خیلی مقاومتر از چدن ساده در این محیط می‌باشد. موقعی که مقدار نیکل فولادهای زنگ نزن از ۱۰ درصد بیشتر می‌شود،مقاومت آنها در برابر خوردگی توام با تنش به شدت افزایش می‌یابد. مثلاً اینکونل[1] دارای مقاومت بسیار زیادی دربرابر خوردگی توام باتنش است و مقدار زیادی از آن به همین منظور بکار می‌رود. نیکل معمولاً مقاومت خوبی در محلولهای خنثی تا کمی اسیدی دارد و در صنایع غذائی بطور وسیعی بکار می‌رود. در محلولهای اکسید کننده قوی مثل اسید نیتریک و محلولهای آمونیاک مقاوم نیست. نیکل فلز مناسبی برای تولید آلیاژهایی که نیاز به استحکام در درجه حرارتهای بالا دارند می‌باشد. لکن نیکل و آلیاژهای آن در درجه حرارتهای بالا بوسیله گازهای گوگرددار خورده شده و ترد می‌گردند.

در جدول ۸-۵ ترکیب شیمیائی بعضی آلیاژهای نیکل بهمراه خواص مکانیکی آنها نشان داده شده است. طیف وسیعی از نظر ترکیب شیمیائی و خواص مکانیکی وجود دارد. دورانیکل[2] در حالت پیر سخت شده دارای خواص مکانیکی خیلی خوب و همچنین مقاومت خوردگی خوب در بسیاری محیطها می‌باشد. مونل[3] برای اسید فلوریدریک خیلی مناسب است. کلریمت ۳[4] و هاستولی C[5] دارای بیشترین مقاومت خوردگی در بین آلیاژهای تجارتی می‌باشند. کلریمت ۲ و هاستولی B در اکثر مواردی که شرایط اکسید کننده وجود نداشته باشد خیلی خوب عمل می‌کنند. هاستولی D مثل

---

1- Inconel
2- Duranickel
3- Monel
4- Chlorimet
5- Hastelloy

## جدول ۸-۵ ترکیب شیمیائی و خواص مکانیکی اسمی نیکل و آلیاژهای آن

| سختی راکول | انعطاف پذیری | نقطهٔ تسلیم | استحکام کششی | other | ٪Fe | ٪Cu | ٪Mo | ٪Cr | ٪C | ٪Ni | مواد |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ٪ | Lb/in$^2$ | Lb/in$^2$ | | | | | | | | |
| B -۵۰ | ۴۰ | ۲۰۰۰۰ | ۶۰۰۰۰ | | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | – | – | ۰/۰۶ | ۹۹/۵ | نیکل ۲۰۰ |
| B -۵۵ | ۲۰ | ۲۵۰۰۰ | ۵۰۰۰۰ | ۱/۶Si,۰/۹Mn | ۰/۵۰ | ۰/۰۵ | – | – | ۰/۸۰ | ۹۵/۶ | نیکل ریختگی ۲۱۰ |
| C -۳۴ | ۱۵ | ۱۳۰۰۰۰ | ۱۷۰۰۰۰* | ۴/۵Al،۰/۵Ti | ۰/۱۵ | ۰/۰۵ | – | – | ۰/۱۵ | ۹۴ | دورانیکل ۳۰۱ |
| B -۶۵ | ۴۰ | ۳۰۰۰۰ | ۷۵۰۰۰ | | ۱/۴ | ۳۱ | – | – | ۰/۱۵ | ۶۶ | مونل ۴۰۰ |
| C -۲۸ | ۲۵ | ۱۱۰۰۰۰ | ۱۵۰۰۰۰* | ۳ Al | ۰/۹ | ۲۹ | – | – | ۰/۱۵ | ۶۶ | مونل K |
| C -۳۱ | ۲ | ۹۰۰۰۰ | ۱۲۰۰۰۰* | ۴ Si | ۲ | ۳۰ | – | – | ۰/۱۰ | ۶۳ | مونل S(ریختگی) |
| B -۷۰ | ۴۰ | ۳۵۰۰۰ | ۸۵۰۰۰ | | ۸ | ۰/۲ | – | ۱۶ | ۰/۰۸ | ۷۶ | اینکوتل ۶۰۰ |
| B -۹۰ | ۱۰ | ۵۵۰۰۰ | ۸۰۰۰۰ | ۱ Si | ۳ | – | ۳۲ | – | ۰/۰۳ | ۶۲ | کلریمت ۲(ریختگی) |
| B -۹۲ | ۵۰ | ۵۶۰۰۰ | ۱۳۰۰۰۰ | ۱ Si | ۵ | – | ۲۸ | – | ۰/۱۰ | ۶۲ | هاستولیB(نوردی) |
| B -۹۰ | ۱۵ | ۵۰۰۰۰ | ۷۵۰۰۰ | ۰/۶ Si | ۳ | – | ۱۸ | ۱۸ | ۰/۰۳ | ۶۰ | کلریمت ۳(ریختگی) |
| B -۹۴ | ۴۹ | ۵۲۰۰۰ | ۱۲۰۰۰۰ | ۱ Si،۴ W | ۵ | - | ۱۷ | ۱۵ | ۰/۰۸ | ۵۶ | هاستولی C(نوردی) |
| B -۳۴ | ۰ | ۱۱۵۰۰۰ | ۱۱۵۰۰۰ | ۱۰ Si | – | ۳ | - | – | ۰/۱۲ | ۸۵ | هاستولی D(ریختگی) |
| B -۸۶ | ۴۵ | ۴۶۰۰۰ | ۱۰۲۰۰۰ | ۱ W،۳ Co | ۱۷ | ۰/۱ | ۷ | ۲۲ | ۰/۰۵ | ۴۷ | هاستولی F |
| B -۹۱ | ۵۰ | ۳۵۰۰۰ | ۹۰۰۰۰ | ۱ Ti | ۳۰ | ۱/۸ | ۳ | ۲۲ | | ۴۲ | نیونل ۸۲۵ |
| B -۷۰ | ۷ | ۳۸۰۰۰ | ۶۸۰۰۰ | | ۶ | ۶/۵ | ۶/۵ | ۲۲/۵ | ۰/۰۷ | ۵۶ | ایلیم C(ریختگی) |
| B -۸۵ | ۳۰ | ۳۵۰۰۰ | ۹۵۰۰۰ | | – | – | – | ۲۰ | – | ۸۰ | نیکرم |

* پیر سخت شده

توجه : اکثر مواد بر طبق نامهای تجارتی ثبت شده لیست شده‌اند و عموماً تمام آنها با همین نامها بکار می‌روند. دوریمت ۲۰ (آلیاژ۲۰)با ۲۹٪ نیکل در جدول ۲-۵ آمده است.

چدنهای پر سیلیسم ترد است. نیکرم[1] در مقاومتهای الکتریکی و المانهای حرارتی بکار برده می‌شود. نیکل، آلیاژهای پر نیکل، وآلیاژهایی که حاوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای نیکل هستند ( ۸٪ )، آلیاژهای همه فن حریف برای اکثر مسائل خوردگی خیلی حاد می‌باشند.

در جدول ۹-۵ ترکیب شیمیایی آلیاژهای جدیدتر که معمولاً مقاومتر از سری ۳۰۰ فولادهای زنگ نزن هستند نشان داده شده است. این آلیاژها برای شرایط خوردگی حادتر ( مثلاً، حفره دار شدن و خوردگی تنشی ) بکار می‌روند. اکثر این آلیاژها دارای مقادیر زیادی بالای نیکل هستند. در جداول ۸-۵ و ۹-۵ ظاهراً بعضی ترکیبات تکراری هستند، لکن آنهایی که در جدول ۹-۵ نشان داده شده‌اند دارای مقادیر کربن بسیار کمتری هستند که بوسیلهٔ روشهای جدید فولادسازی که در سالهای اخیر توسعه یافته‌اند تولید شده‌اند. آلیاژهای جدول ۹-۵ دارای کاربردهای وسیعی هستند و عملکرد آنها در طی سالهای متمادی باثبات رسیده است.

## ۱۴-۵ روی و آلیاژهای آن

روی یک فلز مقاوم از نظر خوردگی نیست و بعنوان آند قربانی شونده برای حفاظت کاتدی فولاد بکار برده می‌شود. مصرف اصلی آن برای گالوانیزه کردن ( روی اندود کردن ) فولاد برای ساخت لوله، نرده، میخ، و غیره می‌باشد. همچنین بصورت میله یا شمش برای حفاظت بدنه کشتیها، خطوط لوله ها و ساختمانهای فلزی دیگر بکار می رود.

بخاطر نقطه ذوب پائین، آلیاژهای روی به روش ریخته گری تحت فشار تولید می شوند. بسیاری از اجزاً اتومبیل مثل توری های جلو و دستگیره های در به روش ریخته‌گری تحت فشار تولید می‌شوند ولی معمولاً بوسیله فلزات مقاومتر در برابر خوردگی پوشش داده می‌شوند.

## ۱۵-۵ قلع و ورق قلع اندود

بیش از نصف قلع تولید شده برای پوشش دادن فلزات و مخصوصاً پوشش دادن ورقه های فولادی برای ساخت قوطی های مواد غذایی بکار می‌رود. فولاد قلع اندود

---

1- Nichrome

## جدول ۹-۵ ترکیب شیمیائی آلیاژهای جدیدتر

| آلیاژ | شمارهٔ UNS | ٪Ni | ٪Cr | ٪Mo | ٪C | درصد عناصر دیگر |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Carpenter ۲۰cb-۳ | No۸۰۲۰ | ۳۵ | ۲۰ | ۲/۵ | ۰/۰۳ | ۳Cu |
| Incoly۸۰۰ | No۸۸۰۰ | ۳۲ | ۲۱ | – | ۰/۰۳ | ۴۶Fe |
| Incoly۶۲۵ | No۶۶۲۵ | ۶۰ | ۲۲ | ۹ | ۰/۰۴ | ۳/۵Cb |
| Incoloy۸۲۵ | No۸۸۲۵ | ۴۳ | ۲۲ | ۳ | ۰/۰۴ | ۲Cu |
| Hastelloy B-۲ | N۱۰۶۶۵ | ۶۹ | - | ۲۸ | ۰/۰۲ | ۱Fe |
| Hastelloy C-۲۷۶ | N۱۰۲۷۶ | ۵۷ | ۱۵ | ۱۶ | ۰/۰۲ | ۱Fe |
| Hastelloy C-۴ | NO۶۴۵۵ | ۶۵ | ۱۶ | ۱۵ | ۰/۰۱۵ | ۲Fe |
| Hastelloy C-۳ | – | ۴۴ | ۲۲ | ۷ | ۰/۰۱۵ | ۲۰Fe,۲C |
| Ferralium ۲۵۵ | S۳۲۵۵۰ | ۵/۵ | ۲۶ | ۳ | ۰/۰۴ | ۷/۱Cu,۶۲Fe |
| Chlorimet ۳ | – | ۶۰ | ۱۸ | ۱۸ | ۰/۰۱۵ | ۳Fe |
| Nitronic۵۰ | S۲۰۹۱۰ | ۱۳ | ۲ | ۲ | ۰/۰۵ | ۵Mn |
| Al-۶X | NO۸۳۶۶ | ۲۴ | ۲۱ | ۶/۵ | ۰/۰۳ | ۲Mn |
| Js-۷۰۰ | No۸۷۰۰ | ۲۵ | ۲۱ | ۴ | ۰/۰۴ | ۰/۵-Cu،۰-۴Cb |
| Js-۷۷۷ | – | ۲۵ | ۲۱ | ۴/۵ | ۰/۰۴ | ۲/۲CU |

علامت تجارتی : Carpenter, Carpenter Technology Corp.: Incoloy, intermational Ni Co.; Hastelloy, Cabot Corp; Chlorimet3, Duriron Co.; Nitronic, Armco, inc.; Al-6X, Allegheny Ludlum Steel Corp.; Js-700, Jessop Steel co.

شده علاوه بر مقاومت خوردگی خوب، شکل پذیری خوبی داشته و به سهولت لحیم کاری می‌شود. همچنین سطح مناسبی برای پوشش های آلی بوجود آورده، غیر سمی بوده و دارای ظاهر مطلوبی است. پوشش قلع بوسیله روش غوطه‌ای و الکتریکی انجام می‌شود. در این مورد دو مزیت وجود دارد: و یکی کنترل ضخامت و دیگری این واقعیت که ضخامتهای مختلفی در دوطرف ورق فولاد می‌توان بوجود آورد ( معمولاً ضخامت بیشتر در طرف داخل ). قوطی های قلع اندود شده در صنایع غذایی، نوشابه سازی، صنعت نفت، ورنگ سازی بکار می‌روند. آلیاژهای قلع با روی، نیکل، کادمیم، یا مس رامی‌توان در آبکاری به روش الکتریکی بکار برد.

قلع قاعدتاً بایستی نسبت به آهن کاتد باشد، ولی در بسیاری از قوطی های مواد غذایی پتانسیل بر عکس می‌شود و قلع بصورت یک پوشش قربانی شونده فولاد را محافظت می‌کند. ظاهراً تشکیل یونهای کمپلکس باعث این تغییر پلاریته می‌گردد. قلع

نسبتاً خنثی است ولی در حضور اکسیژن یا عوامل اکسید کننده دیگر خورده می‌شود.

قلع در آب خالص مقاومت عالی دارد. لوله های ساخته شده از جنس قلع و همچنین مس قلع اندود شده برای تولید و نگهداری آب مقطر بکار می‌روند. قلع برای ساخت لوله های خمیر دندان یا مواد دارویی دیگر نیز بکار می‌رود. ورقهای نازک قلع بعنوان کاغذ بسته بندی بخوبی کاربرد دارند که اکنون با ورقه های پلاستیکی ارزانتر جایگزین شده‌اند. یکی دیگر از مصارف قلع، لحیم است که درآن مقادیر قلع و سرب بین ۳۰ تا ۷۰ درصد متغیّر است. با بیتهای قلع برای یاتاقانها بکار برده می‌شود.

قلع در اتمسفر، محلولهای اسید معدنی رقیق بدون هوا و بسیاری اسیدهای آلی بخوبی مقاوم بوده، لکن بوسیله اسیدهای معدنی قوی خورده می‌شود. قلع برای مواد قلیایی معمولاً بکار برده نمی‌شود.

Pewter یک آلیاژ مهم قلع، برای ساخت آبخوری[1]، گلدان، و محفظه های دیگر بکار می‌رود. این آلیاژ حاوی ۶ تا ۷ درصد آنتیموان و ۱ تا ۲ درصد مس است. برنزهای قلع در قسمت آلیاژهای مس بحث شده‌اند.

قلع فلز نرم، ضعیف وانعطاف پذیری است. استحکام کششی آن در درجه حرارت ۲۵۰۰ پوند بر اینچ مربع است که با افزایش درجه حرارت بشدت افت می‌کند.

## ۱۶-۵ کادمیم

بجز برای ساخت آلیاژهای با نقطه ذوب پائین و بعضی یاتاقانها، کادمیم تقریباً تماماً برای آبکاری الکتریکی روی فلزات دیگر بکار می‌رود. ظاهربراق بوده و سهولت لحیم کاری کادمیم باعث گسترش استفاده از آن در تجهیزات الکترونیکی و سخت‌فزارها شده است. کادمیم فعالتر از روی است ولی بعنوان آند قربانی شونده در بسیاری از موارد بخوبی روی عمل نمی‌کند، مثلاً در اتمسفرهای صنعتی بخوبی روی فولاد را محافظت نمی‌کند. کادمیم گرانتر از روی بوده و نمکهای آن سمی هستند. بر خلاف روی، کادمیم در مقابل مواد قلیایی تا حدودی مقاوم است.

آبکاری کادمیم روی فولادهای با استحکام بالا در صنایع هواپیما سازی انجام می‌شود، زیرا باعث بهبود مقاومت خوردگی - خستگی می‌گردد. لکن تردی هیدروژنی مسئله است. روشهای آبکاری صحیح و پختن و حرارت دادن برای بیرون راندن

---

1- Pitchers

هیدروژن بعد از آبکاری این مسئله را حل کرده است. در درجه حرارتهای نزدیک به نقطه ذوب آن ( ۶۱۰°F )، فولاد بوسیله کادمیم خورده می‌شود.

کادمیم فلز نسبتاً ضعیفی است با استحکام حدود ۱۰ هزار پوند بر اینچ مربع و انعطاف پذیری ۵۰٪.

## ۱۷-۵ تیتانیم و آلیاژهای آن

تیتانیم اولین بار بعنوان یک فلز ساختمانی در ۱۹۵۲ مورد استفاده قرارگرفت و از این جهت فلز جدیدی است. دارای استحکام بالایی بوده و وزن مخصوص آن ۴/۵ گرم بر سانتیمتر مکعب است، (تقریباً بین آلومینیم و فولاد). نسبت استحکام به وزن بالای این فلز و آلیاژهای آن باعث شد که اولین بار در صنایع هواپیمایی و صنایع نظامی‌بکار گرفته شود. بعلاوه، امروزه در موشکها و صنایع شیمیائی نیز بکار می‌رود. تیتانیم فلز فعالی است و مقاومت خوردگی آن بخاطر پوسته محافظ ($TiO_2$) سطحی می‌باشد. ذوب و جوشکاری تیتانیم بایستی در اتمسفر خنثی انجام گیرد و در غیر اینصورت بخاطر جذب گاز فلز ترد می شود. به همین دلیل این فلز در درجه حرارتهای بالا بکار برده نمی‌شود.

تیتانیم دارای سه ویژگی برجسته می‌باشد که باعث کاربرد آن در محیط های خورنده می‌شود. این سه خاصیت عبارتند از: (۱) مقاومت خوردگی در آب دریا و محلولهای نمکی کلردار، (۲) مقاومت در برابر هیپوکلریت ها و کلرین مرطوب و (۳) مقاومت در برابر اسید نیتریک شامل اسیدهای دود کننده. نمکهایی مثل $FeCl_3$ و $CuCl_2$ که باعث حفره دار شدن اکثر فلزات و آلیاژها می‌گردد، عملاً باعث جلوگیری از خوردگی تیتانیم می‌شوند. این فلز در اسید سولفوریک و کلریدریک نسبتاً خالص مقاوم نیست، لکن موقعی که این اسیدها حاوی ناخالصیهای فلزی مثل یونهای فریک و کوپریک باشند خیلی خوب عمل می‌کند. تیتانیم تاثیر گالوانیکی بسیار کمی‌نشان می دهد زیرا بسهولت غیر فعال می‌گردد.

تیتانیم در اسید نیتریک دودزا[1] با $NO_2$ بالا و مقدار آب کم و همچنین در گازهای هالوژن خشک تمایل به انفجار[2] از خود نشان می‌دهد.

آلیاژ تیتانیم با حدود ۳۰ درصد مولیبدن مقاومت زیادی در برابر اسید کلریدریک

---

1- Red Fuming $HNO_3$ 2- Pyrophoric

دارد. مقادیر کم قلع باعث کم شدن پوسته های سطحی هنگام نورد گرم می‌شوند. افزودن مقادیر کم پالادیم، پلاتین، و فلزات نجیب دیگر باعث افزایش مقاومت در محیطهای احیأ کننده ملایم می‌گردد بعنوان مثال یکی از آلیاژهای تجارتی تیتانیم حاوی حدود ۰/۱۵ درصد پالادیم است. آلیاژهای تجارتی تیتانیم با فلزاتی مثل آلومینیم، کرم، آهن، منگنز، مولیبدن، قلع، وانادیم و زیرکونیم ساخته می‌شوند.

جدول ۱۰-۵ خواص مکانیکی تیتانیم و چند آلیاژ تجارتی آن را نشان می‌دهد. این آلیاژها از نقطه نظر متالورژیکی به سه گروه تقسیم شده‌اند. تیتانیم در درجه حرارت محیط دارای ساختمان هگزاگونال پر دانسیته ( $\alpha$ ) می‌باشد. در ۱۶۲۵ درجه فارنهایت به مکعبی مرکزدار ( $\beta$ ) تغییر حالت می‌یابد. عناصر مختلف باعث پایداری یکی از این دو می‌شوند. آلیاژهای آلفا معمولاً انعطاف پذیربوده و قابلیت جوشکاری دارند. ساختمانهای دو فازه را می‌توان با عملیات حرارتی سخت نمود. تیتانیم دارای مدول الاستیسیته پائینی ( ۱۶/۸ میلیون پوند بر اینچ مربع) در مقایسه با آهن (۲۸/۵ میلیون پوند بر اینچ مربع ) می‌باشد.

**جدول ۱۰-۵ ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی تیتانیم بعضی آلیاژهای آن**

| مواد | حالت | استحکام کششی $Lb/in^2$ | استحکام تسلیم $Lb/in^2$ | انعطاف پذیری ٪ |
|---|---|---|---|---|
| تیتانیم تجارتی | آنیل شده | ۸۵۰۰۰ | ۷۰۰۰۰ | ۲۶ |
| | | آلیاژ آلفا | | |
| ۵٪ AL و ۲/۵٪ Sn | آنیل شده | ۱۲۵۰۰۰ | ۱۲۰۰۰۰ | ۱۸ |
| | | آلیاژهای آلفا- بتّا | | |
| ۸٪ Mn | آنیل شده | ۱۴۰۰۰۰ | ۱۲۵۰۰۰ | ۱۵ |
| ۴ Al ۳ Mo,۱ V | عملیات حرارتی شده | ۱۹۵۰۰۰ | ۱۶۵۰۰۰ | ۶ |
| ۶ Al ۴ V | آنیل شده | ۱۳۵۰۰۰ | ۱۲۰۰۰۰ | ۱۱ |
| ۶ Al ۴ V | عملیات حرارتی شده | ۱۷۰۰۰۰ | ۱۵۰۰۰۰ | ۷ |
| | | آلیاژهای بتّا | | |
| ۳ Al و ۱۳ V،۱۱ Cr | عملیات حرارتی شده | ۱۸۰۰۰۰ | ۱۷۰۰۰۰ | ۶ |

در ارتباط با جدول ۱۰-۵، چندین نوع تیتانیم تجارتی وجود دارد. متداول‌ترین نوع ASTM نوع (گرید ) ۲ می‌باشد که شامل مقداری اکسیژن می‌باشد. نوع (گرید) ۴ (که در جدول بعنوان تیتانیم تجارتی لیست شده‌است) دارای مقداری اکسیژن و آهن می‌باشد. نوع (گرید ) ۷ آلیاژی است با ٪۰/۱۵ پالادیم که مقاومت بهتری در برابر خوردگی شیاری دارد ولی بعلت قیمت بالاکمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. نوع (گرید) ۱۲ (که همچنین به اسم ۱۲ TiCode معروف است ) دارای ٪۰/۳ مولیبدن و ٪۰/۸ نیکل است و در بسیاری موارد دارای مقاومت مشابهی با نوع ۷ در برابر خوردگی شیاری می‌باشد. این آلیاژ همچنین ٪۲۵ قویتر از انواع دیگری است که ذکر شدند. این استحکام بالاتر از نقطه نظر طراحی امکان مقاطع نازکتر و دماهای بالاتر را میسر می‌سازد. موقع جوشکاری قطعات ضخیم ۱۲ TiCode مشکلاتی بوجود آمده، لکن این مشکلات با اسید شویی سطح قبل از عمل جوشکاری حل شده‌اند[۱].

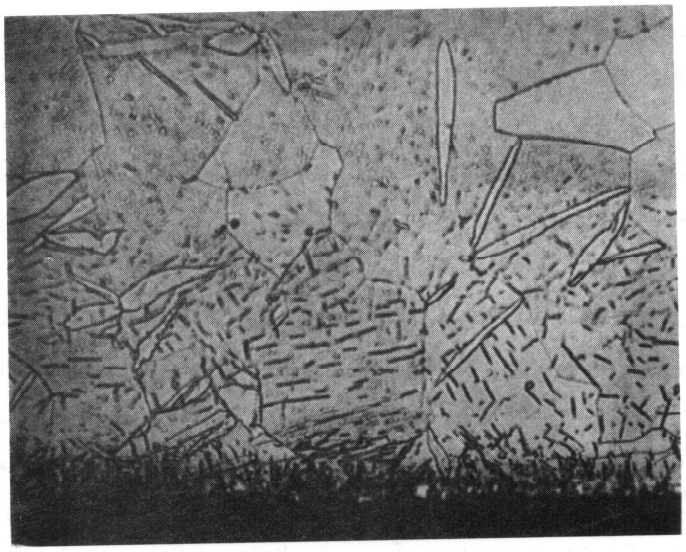
تیتانیم و آلیاژهای آن کاربرد وسیعی بصورت پمپها و والوهای ریختگی دارند. تیتانیم خالص تجارتی نوع ۳ و آلیاژ نوع ۵[۲] در این رابطه آلیاژهای معروفتری هستند.

برای جلوگیری از انهدامهای غیر منتظره (که اتفاق افتاده‌اند ) بایستی به نکات زیر توجه نمود: تیتانیم در تماس با فلزی که در حال خورده شدن می‌باشد، مثل فولاد، هیدروژن جذب نموده و ترد می‌شود، ذرات آهن که موقع عملیات شکل دادن در سطح فلز فرو رفته‌اند ( تمیز کاری یا اسید شویی ناکافی ) باعث حفره دار شدن شدید می‌شوند، تمیز کردن تجهیزات تیتانیمی با اسید کلریدریکی که بمقدار کافی ممانعت کننده نداشته باشد باعث خوردگی سریع می‌شود، کمبود مقدار پایه ها باعث خستگی یا خوردگی خستگی لوله های تیتانیمی‌در مبدلهای حرارتی شده است، تیتانیم را نبایستی در اسید کلریدریک، سولفوریک، فلوریدریک کلر خشک نسبتاً خالص بکار برد. انهدامهای ناگهانی مبدلهای حرارتی در اثر تماس با تفلون یا پلاستیکهای حاوی سرب گزارش شده است.

---

1- T.P.Oettinger, M.C.Hoffman, and M.G.Fontana, "Use of Titanium for Treatment of Toxic and Hazardous Wastes," ASTM Symposium on Titanium and Zirconium, Philadelphia, Oct.,1984

2- Ti-6Al-4V



شکل ۷-۵ سوزنهای هیدریدی تشکیل شده در فلز بعلت خوردگی تیتانیم بوسیلهٔ اسید

## ۱۸-۵ فلزات دیرگداز

این فلزات در مقایسه با آهن و فولاد دارای نقطه ذوب بالایی هستند. موتورهای جت و برنامه های فضائی انگیزه تولید تجارتی این آلیاژها بوده‌اند. متاسفانه مقاومت این فلزات در برابر اکسید اسیون در درجه حرارت بالا ضعیف است و حفاظت آنها ضروری است. درباره این مطلب در فصل ۱۱ بیشتر صحبت خواهد شد.

غیر از تانتال، کلومبیم ( نیوبیم )، مولیبدن، تنگستن، و زیرکونیم فلزات جدیدی پا به عرصه " خوردگی در محلولهای آبی "گذاشته‌اند. آلیاژهای تجارتی زیادی از این فلزات وجود دارد. در جدول ۱۱-۵ نقطهٔ ذوب این فلزات نشان داده شده است.

**کلومبیم** این فلز مقاومت خوردگی خوبی در اسیدهای آلی و معدنی بجز اسید فلوریدریک و اسید سولفوریک و کلریدریک گرم و غلیظ دارد. ظاهراً تشکیل پوسته $Cb_2O_3$ باعث حفاظت می‌گردد. کلومبیم در محلولهای قلیایی ضعیف است.

**مولیبدن** مولیبدن مقاومت خوبی در اسید فلوریدریک، کلریدریک، و سولفوریک دارد،

ولی عوامل اکسید کننده مثل اسید نیتریک باعث خوردگی سریع آن می‌شوند. در محلولهای آبی قلیایی خوب عمل می‌کند. این فلز در هوا در درجه حرارتهای بالاتر از حدود ۱۳۰۰°F، تشکیل اکسید فرار ( $MOO_3$ ) می‌دهد. یکی از مزایای بزرگ مولیبدن از نقطه نظر مکانیکی مدول الاستیسیته بالای آن (۵۰ میلیون پوند بر اینچ مربع) می‌باشد. این نشان می‌دهد که تحت یک نیرو و سطح مقطع معین خیلی کمتراز فولاد خم می‌شود.

**تانتال** بخاطر مقاومت خوردگی عالی آن در اکثر محیطها، تانتال سالها مورد استفاده قرار گرفته است. چند استثنأ در این مورد شامل مواد قلیایی، اسید فلوریدریک و اسید سولفوریک گرم و غلیظ می‌باشد. این فلز برای محلولهای خالص مثل اسید کلریدریک بکار برده می‌شود. بخاطر وسیع بودن طیف مقاومت خوردگی تانتال، در تعمیر پوششهای شیشه‌ای بکار می‌رود. هر نوع تصعید هیدروژن ( واکنش خوردگی یا منبع دیگر ) باعث جذب هیدروژن به تانتال و تردی آن خواهد شد. خارج کردن هیدروژن بمنظور بازیابی مجدد انعطاف پذیری بواسطه نیاز به درجه حرارت و خلأ بالا عملی نیست. بخاطراستحکام زیاد این فلز، با نازکتر انتخاب کردن مقاطع ساخته شده می‌توان هزینه ها را تقلیل داد. تانتال برای قطعاتی که بوسیله جراحی در بدن کار گذاشته می شوند بکار برده می‌شود.

آلیاژ جدیدی تحت عنوان KBI-40 شامل ۶۰ درصد تانتالم و ۴۰ درصد کلومبیم می‌باشد آلیاژ مذکور ارزانتر از تانتالم بوده، دانسیتهٔ آن به میزان ۲۵ درصد کمتر و استحکام کششی آن بمقدار یک سوم بیشتر از تانتالم است. همچنین انعطاف پذیر بوده و مقاومت خوردگی آن در اکثر محیطهای حاد که در آن تانتالم مصرف می‌گردد، باتانتالم یکی است.

آلیاژ KBI-40 به کلیهٔ صورتهای کار شده یافت می‌گردد و در مواردی مثل لولهٔ مولدهای بخار، کویلها، لوله های u شکل و نیز عایق مخازن و خطوط لوله از آن استفاده می‌گردد.

**تنگستن** همانطور که در جدول ۱۱-۵ آمده است، تنگستن دارای بالاترین نقطه ذوب می‌باشد. کاربرد اصلی آن مواردی است که استحکام در درجه حرارتهای بالا مورد نیاز است. مثال معمول فیلامنتهای لامپهای روشنائی می‌باشد. تنگستن مقاومت خوبی در

جدول ۱۱-۵ نقطهٔ ذوب فلزات دیرگداز

| مـــواد | نقطهٔ ذوب | |
|---|---|---|
| | F° | C° |
| کلومبیم | ۴۴۷۴ | ۲۴۶۸ |
| مولیبدن | ۴۷۳۰ | ۲۶۱۰ |
| تانتال | ۵۴۲۵ | ۲۹۹۶ |
| تنگستن | ۶۱۷۰ | ۳۴۱۰ |
| زیرکونیم | ۳۳۶۶ | ۱۸۵۲ |
| آهن (برای مقایسه) | ۲۷۹۸ | ۱۵۳۶ |

اسیدها و قلیایی ها دارد، لکن برای محلولهای آبی متداول نیست. تنگستن در ۳۰۰۰ درجه فارنهایت دارای استحکام ۲۰ هزار پوند بر اینچ مربع می‌باشد.

**زیرکونیم** با شروع عصر اتم، زیرکونیم بخاطر سطح مقطع حرارتی نوترونی[1] خیلی کم و مقاومت در آب و بخار در درجه حرارت بالا، کاربرد روزافزونی یافته است. مقاومت خوردگی عالی آن بخاطر پوسته اکسیدی محافظ آن است. این فلز مقاومت خوبی در محلولهای قلیایی واسیدی دارد ( شامل اسید هیدرویودیک و هیدروبرومیک ) بجز در اسید فلوریدریک و اسید کلریدریک و سولفوریک گرم و غلیظ. کلرورهای کوپریک و فریک باعث حفره دارشدن آن می‌شوند. زیرکونیم در اسید کلریدریک نیز کاربردهائی پیدا نموده است. مقاومت خوردگی آن بوسیله ناخالصیهای درون فلز مثل نیتروژن، آلومینیم، آهن و کربن در زیرکونیم کاهش می‌یابد.

آلیاژ زیر کونیم با مقادیر کم قلع، آهن، کرم، نیکل بنام زیرکالوی[2] مقاومت بیشتری در آب درجه حرارت بالا دارد. سرعت خوردگی زیرکونیم وآلیاژهای آن درآب درجه حرارت بالا، ابتدا کم می‌شود و بعد بصورت خطی سریعاً افزایش می‌یابد. همچنین این فلزات تمایل به جذب هیدروژن ( هیدروراسیون ) حاصل از واکنش خوردگی و ترد شدن دارند. استحکام کشش زیرکونیم در ۸۰۰ درجه فارنهایت حدود ۱۸ هزار پوند بر اینچ مربع و در درجه حرارت محیط ۸۰ هزار پوند بر اینچ مربع می‌باشد.

1- Thermal neutron cross section 2- Zircalloy

مدول الاستیسیته آن ۱۳/۷ میلیون پوند بر اینچ مربع می‌باشد.

شکلهای ۸-۵ و ۹-۵ چارتهای خوردگی یکسان برای زیرکونیم در اسید سولفوریک واسید کلریدریک را نشان می‌دهند. به تاکیدی که در شکل ۹-۵ برای اجتناب از یونهای فریک و کوپریک وجود دارد توجه نمائید. این مطلب در دو پاراگراف قبلی اشاره شده است[۱].

### ۱۹-۵ فلزات نجیب

این فلزات دارای پتانسیلهای مثبت بالایی نسبت به الکترود هیدروژن، مقاومت خوردگی عالی، مقاومت اکسیداسیون، و قیمت بالا هستند. بخاطر قیمت بالا به آنها فلزات قیمتی می‌گویند. در اکثر موارد، تشکیل پوسته های محافظ ( غیر فعال شدن ) لازم نیست. فلزات نجیب عبارتند از: طلا، نقره، پلاتین و پنج فلز دیگر گروه پلاتین،اسمیم پالادیم، رودیم، و روتنیم. طلا، نقره و پلاتین در اکثر شکلهای تجارتی وجود دارند و بطور وسیعی در صنایع بکار می‌روند. فلزات نجیب دیگر عمدتاً بعنوان عنصر آلیاژی بکار برده می‌شوند. مثلاً سیم ترموکوپل پلاتین - رودیم. با استفاده فلزات نجیب در جواهر سازی آشنائی کامل داریم. علیرغم قیمت بالای آنها، فلزات نجیب در بسیاری از کاربردهای خوردگی اقتصادی ترین راه حل هستند. قیمت قراضه بالا یکی از معایب این فلزات است. برای صرفه جوئی در هزینه استفاده از فلز زمینه ارزان قیمت با استحکام کافی و روکش[۲] یا پوشش[۳] دادن آن با فلزات قیمتی متداول است.

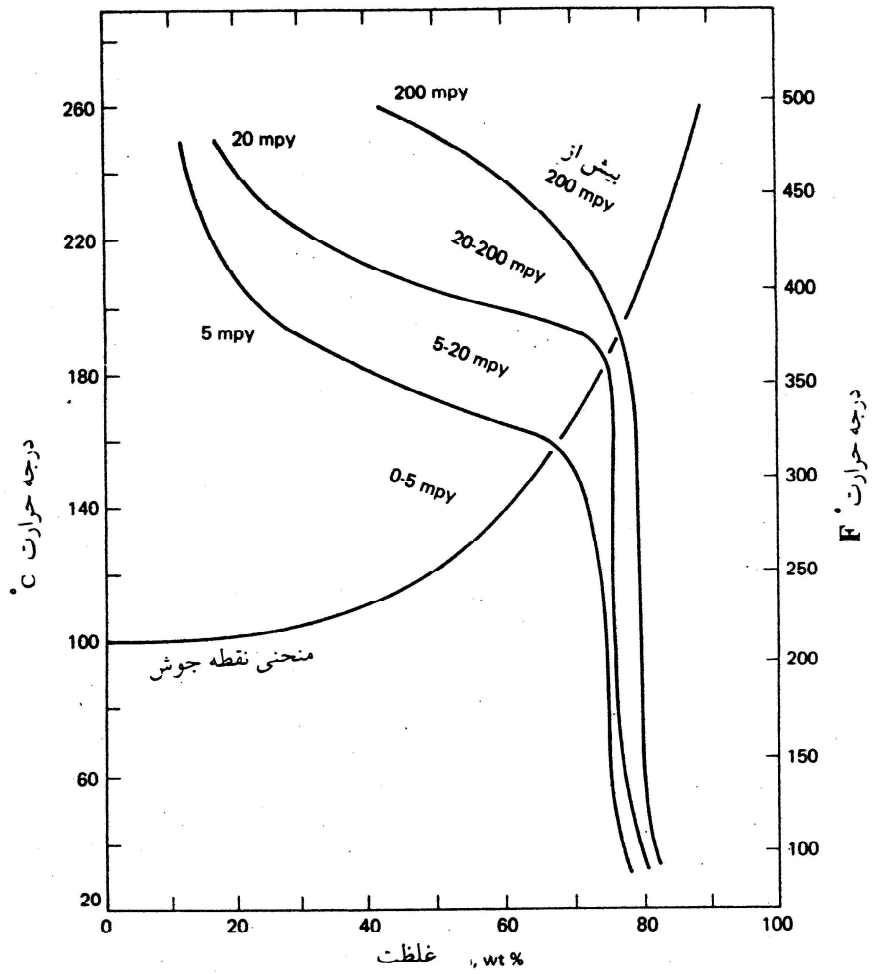
**طلا** طلا یکی از قدیمی‌ترین فلزاتی است که بوسیله بشر مورد استفاده قرار گرفته زیرا به حالت خالص در طبیعت یافت می‌شود. اولین موارد استفاده آن برای زیور آلات و سکه سازی بوده، و امروزه نیز مصرف عمدهٔ آن در ساخت زیور آلات است. در این موارد طلا با مس آلیاژ می‌شود زیرا طلای خالص خیلی نرم است. سکه های طلا خیلی کم مورد

---

۱- برای اطلاعات بیشتر در مورد مود خورنده دیگر و خواص مکانیکی زیرکونیوم و آلیاژهای آن به مقاله زیر مراجعه کنید :

D.R.Knittel,"Zirconium" *Chem.Eng.*,pp.95-98(June 2,1980), and R.T.Webster, "Application of Zirconium and Niobium," *Shell and Tube Heat Exchangers*, ASM, Metals Park, Ohio, pp.51-67 (1982). 2- Cladding

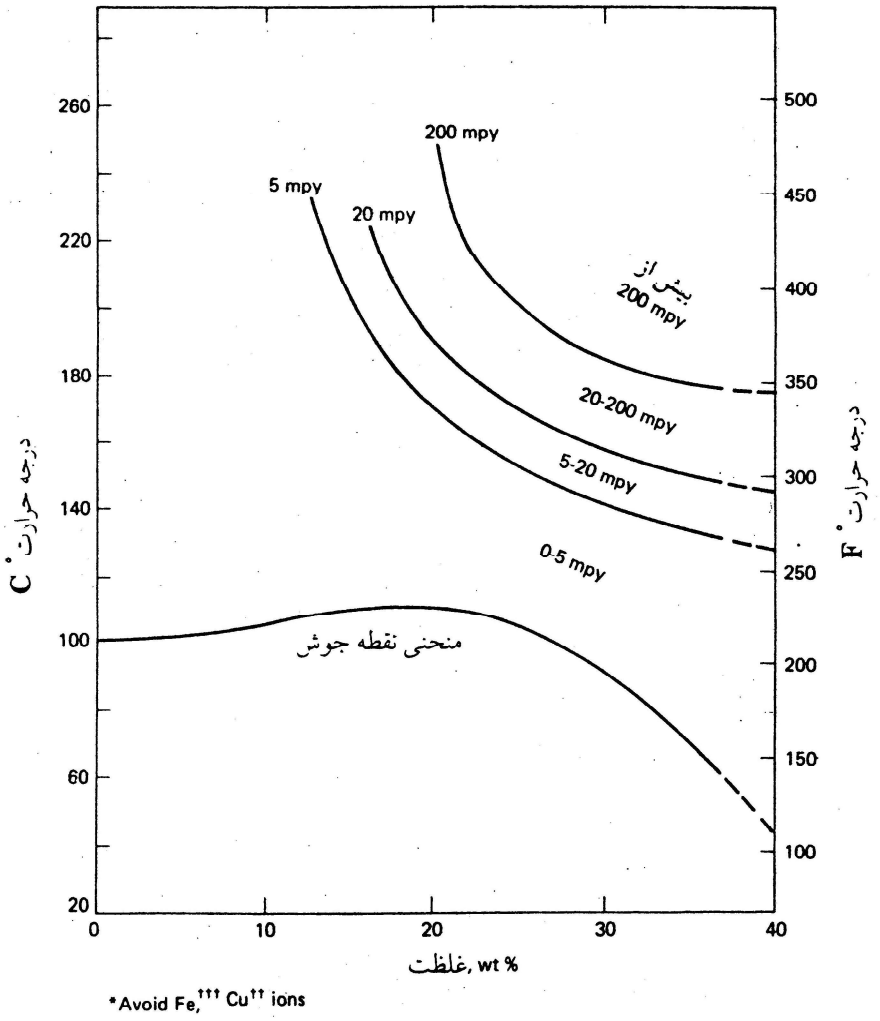
3- Coating




**شکل ۸-۵ چارت خوردگی یکسان برای زیرکونیم در اسید سولفوریک**

استفاده قرار می‌گیرند. یک عیار برابرست با $\frac{۱}{۲۴}$، بنابراین طلای خالص ۲۴ عیار است. طلای ۱۲ عیار دارای ۵۰٪ طلاست. بعلاوه، طلا و آلیاژهای آن برای روکش دندان، کنتاکت های برقی، آبکاری لوازم تزئینی، تجهیزات کارخانجات شیمیایی ( مثل کندانسورها و دستگاه تقطیر[۱])، مدارهای چاپی[۲]، میله یا ورقه های مورد استفاده در جراحی و اجزأ مصنوعی در بدن بکار می‌روند. چنانچه قبل از آبکاری با کادمیم یک لایه نازک طلا بکار برده شود از تردی هیدروژنی فولادهای با استحکام بالا جلوگیری

1- Stills
2- Printed Circuit




**شکل ۹-۵ چارت خوردگی یکسان برای زیرکونیم در اسید کلریدریک**

می‌شود. ورقه و فویلهای طلا بعلت نرمی و چکش خواری عالی آن به سهولت تولید می‌شوند.

طلا در اسید نیتریک رقیق واسید سولفوریک گرم و غلیظ خیلی خوب عمل می‌کند، امابوسیله تیزاب سلطانی، اسید نیتریک غلیظ، کلر، برم، جیوه، و سیانورهای قلیایی خورده می‌شود.

**پلاتین** بخاطر مقاومت آن در بسیاری از محیطهای اکسید کننده، مخصوصاً هوا در درجه حرارت بالا، پلاتین برای ترموکوپلها[۱]، تانکها و صفحه مشبک[۲] برای تولید الیاف از شیشه مذاب، بوته های مورد استفاده در شیمی تجزیه، سیم پیچ های کوره های مقاومتی ( آلیاژهای تا ۳۲۰۰ درجه فارنهایت ) و محفظه های احتراق یا واکنش محیط های بسیار خورنده که در درجه حرارتهای بالاتر از ۱۸۰۰ درجه فارنهایت مورد استفاده قرار می گیرند بکار می‌رود. روکش کردن ورقه های فلزات ارزانتر در اینجا نیز بکار برده می‌شود. یک لایه اکسیدی ( مثل $Al_2O_3$ ) از تشکیل آلیاژ یا واکنش با فلز زمینه جلوگیری می‌کند. پلاتین در چندین کاربرد شیمیائی جایگزین کوارتز شده است. تصادفاً تماس بین اکسید سیلیسیم و پلاتین در درجه حرارتهای بالا باعث تردی پلاتین می‌شود. استفاده وسیع آن بعنوان کاتالیزور، خنثی بودن پلاتین در اکثر محیطها را تائید می‌کند.

کاربردهای دیگر پلاتین و آلیاژهای آن صفحه مشبک برای تولید الیاف رایان[۳]، آلیاژ ۷۰Au /۳۰Pt ، دیسکهای اطمینان یا شکننده[۴] تا ۹۰۰°F ( نقره فقط تا ۳۰۰°F خوب است و طلا تا ۱۶۰° ) جذب کننده اسید سولفوریک، آندهای آبکاری الکتریکی، آندهای حفاظت کاتدی با اعمال جریان خارجی، تجهیزات دیگر کارخانجات شیمیائی و زیور آلات خیلی مرغوب می‌باشد. پلاتین بوسیله جیوه خورده نمی‌شود.

همانطور که در جدول ۱۲-۵ نشان داده شده است، پلاتین خواص مکانیکی خوبی در درجه حرارتهای بالا نشان می‌دهد. طلا و نقره از این نظر ضعیف هستند.

پلاتین بوسیله تیزاب سلطانی، اسید برمیدریک، یدیدریک، کلرور فریک، کلروربرم خورده می‌شود.

**نقره** نقره برای سکه و ظروف تزئینی بکار برده می‌شود. نقره استرلینگ کمتر از ۷/۵٪ مس دارد تا از استحکام کافی برخوردار گردد.نقره در تماس با ترکیبات گوگردار نجیب بودن خود را از دست می‌دهد. (تیره شدن نقره خیلی معروف است). برای کنتاکت های برقی، کابلهای برق ( حتی تا درجه حرارتهای قرمز )، زردجوش، لحیم و دندانسازی بصورت آلیاژ با جیوه بکار می‌رود. نقره بطور وسیعی در صنایع شیمیائی بکار برده می‌شود. کاربردهای آن عبارتند از: دستگاه تقطیر، کویل های حرارتی، کندانسور برای

---

1- Pt-Ptrh
2- Spinneret
3- Rayon
4- Frangible

جدول ۱۲-۵ خواص فیزیکی و مکانیکی فلزات نجیب

| نقطهٔ ذوب °F | مدول الاستیسیته | سختی برنل | انعطاف پذیری ٪ | استحکام تسلیم $lb/in^2$ | استحکام کششی، $lb/in^2$ | درجه حرارت °F | مواد |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱۷۶۱ | ۱۱۰۰۰،۰۰۰ | ۲۶ | ۵۵ | ۸۰۰۰ | ۱۸۰۰۰ | اطاق | نقره |
| ۱۹۴۵ | ۱۱۶۰۰،۰۰۰ | ۲۵ | ۷۰ | nil | ۱۹۰۰۰ | اطاق | طلا |
| ۲۶۴۰ | ۱۶۵۰۰،۰۰۰ | ۱۳۰ | – | ۳۵۰۰ | ۲۹۰۰۰ | اطاق | ۷۰Au-۳۰Pt |
| ۳۲۱۷ | ۲۱۰۰۰،۰۰۰ | ۴۰ | ۴۰ | <۲۰۰۰ | ۲۱۰۰۰ | اطاق | طلای سفید |
| | | | | | ۱۳۰۰۰ | ۷۵۰ | طلای سفید |
| | | | | | ۴۰۰۰ | ۱۸۳۰ | طلای سفید |
| | | | | | ۲۴۰۰ | ۲۱۹۰ | طلای سفید |

اسید فلوریدریک خالص، سینی های تبخیر هیدروکسید سدیم، اتوکلاو برای تولید اوره، کلیه انواع تجهیزات برای تولید غذا و داروکه خلوص محصول اهمیت بالایی دارد. نقره در اسیدهای آلی بسیار مقاوم است.

نقره بوسیله اسید نیتریک، اسید کلریدریک گرم، اسید یدیدریک و برومیدریک، جیوه و سیانورهای قلیایی خورده می‌شود، همچنین در صورتی که در اسیدهای احیاءکننده عوامل اکسید کننده وجود داشته باشند ممکن است خورده شود.

## ۲۰-۵ فلزات شیشه‌ای

این کلاس جدید مواد که گاهی اوقات آلیاژهای آمورف یا بی شکل نامیده می‌شوند در اواسط دههٔ ۱۹۷۰ بطور تجارتی به بازار آمدند. این آلیاژها را می‌توان از حالت مذاب بدون کریستالیزاسیون سریع سرد کرد و دارای ساختمان مذاب شبیه شیشه های آلی هستند. بطور کلی این آلیاژها شامل حداقل یک فلز انتقالی یا نجیب و یک یا چند شبه فلز (بر، کربن، فسفر، سیلیسیم، و غیره.) می‌باشند. ترکیب را طوری تنظیم می‌کنند که تا حد امکان نزدیک یوتکتیک های پایدار با نقطهٔ ذوب پائین باشد تا انجماد بدون کریستالیز اسیون موقع سرد کردن سریع (سرعت سرد شدن نزدیک به $10^6$ درجه در ثانیه)، تشویق شود. برای اینکار آلیاژ مذاب را بین دو غلطک می‌ریزند و ورقه های نازک فلز یا سیمهای نازک بدست می‌آورند.

فلزات شیشه‌ای معمولاً خیلی قوی، نرم، و سفت ( ضریب الاستیسیتهٔ بالا )

هستند. بعلاوه، بعضی شیشه های آهنی دارای مقاومت خوردگی نزدیک به تانتالم با فلزات نجیب می‌باشند. همانطور که در شکل ۱۰-۵ نشان داده شده است، این آلیاژها با مقدار کمی‌کرم به سهولت غیر فعال می‌شوند. در این شکل رفتار آلیاژ نوع ۳۰۴ نیز برای مقایسه اضافه شده است. توجه شود که شیشهٔ آهنی با۵٪کرم ساده تر از فولاد زنگ نزن ۳۰۴ غیر فعال می‌شود (دانسیتهٔ جریان بحرانی کمتر). افزایش مقدار کرم باعث بهتر شدن آلیاژ از این نظر می‌شود.

فلزات شیشه‌ای آهنی همانطور که در جدول ۱۳-۵ نشان داده شده است همچنین مقاومت برجسته‌ای در محلولهای اسیدی داغ و کلردارنشان می‌دهند. با ۸٪ کرم، بهتر از آلیاژهای فولاد زنگ نزن معمولی هستند ـ مقاومت آنها از نظر حفره دار شدن مساوی یا بیشتر از آلیاژهای پر نیکل ( هاستولی C ) و تیتانیم می‌باشد.

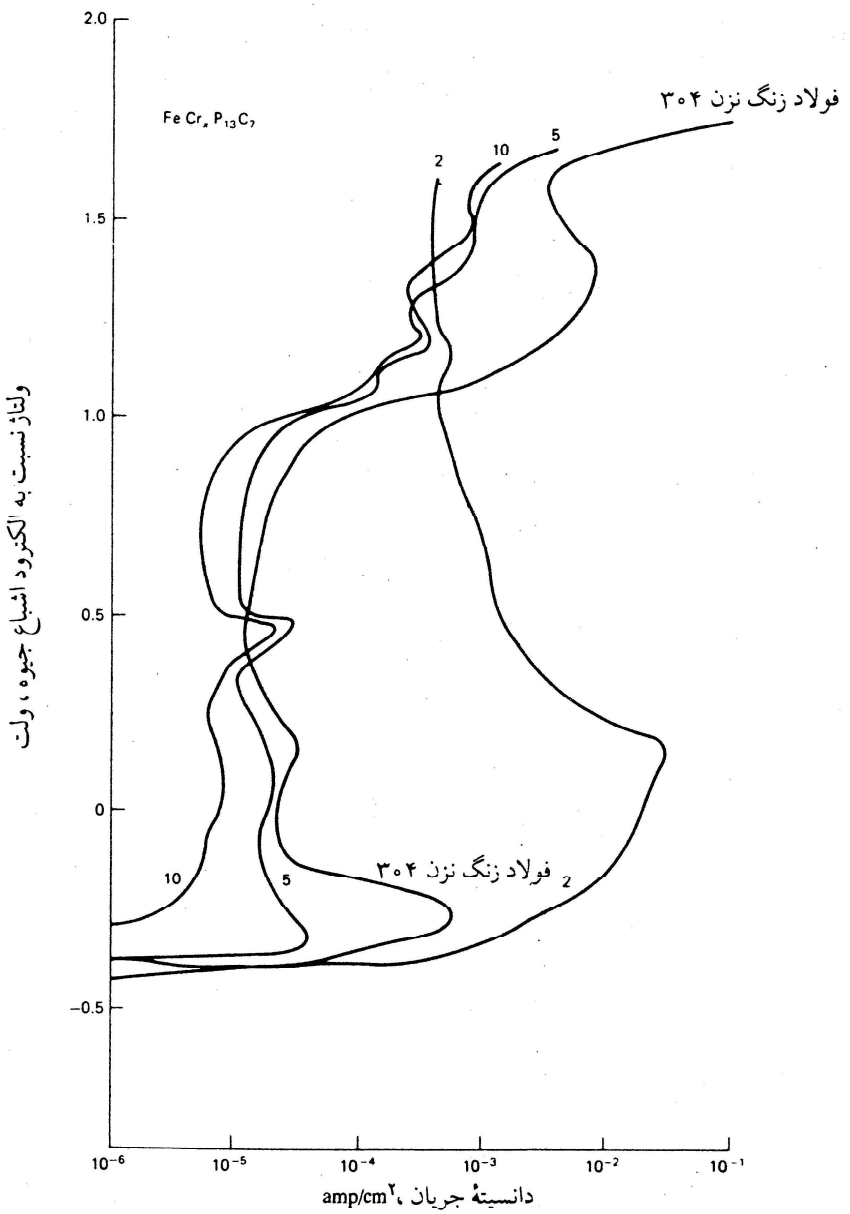
**جدول ۱۳-۵ مقاومت خوردگی فولادهای زنگ نزن و فلزات شیشه‌ای در کلرورفریک ۶٪ در ۶۰ درجه سانتیگراد**

| آلیاژ | (a)ترکیب | کاهش وزن | توضیحات |
|---|---|---|---|
| Type ۴۳۰[b] | Fe۱۸Cr | ۸۷٪ | حفره دارشدن شدید |
| Type۳۰۴[b] | Fe ۲۰Cr۸Ni | ۶٪ | حفره دارشدن |
| Type۳۱۶[b] | Fe۱۸Cr۱۰Ni۲Mo | ۱/۵٪ | حفره دارشدن |
| Metglas۲۸۲۶A[b] | Fe۱۴Cr۳۵Ni۱۲P۶B | صفر | بدون خوردگی |
| ---C | Fe۸Cr۱۳P۷C | " | " |
| ---C | Fe۱۰Cr۱۳P۷C | " | " |
| ---C | Fe۱۵Cr۱۳P۷C | " | " |
| ---C | Fe۲۰Cr۱۳P۷C | " | " |
| ---C | Fe۱۰Cr۵Ni۱۳P۷C | " | " |
| ---C | Fe۱۰Cr۱۰Ni۱۳P۷C | " | " |
| ---C | Fe۱۰Cr۲۰Ni۱۳P۷C | " | " |

(a) ترکیب شیمیایی بر حسب درصد اتمی است. توجه کنید که در صد اتمی و درصد وزنی خیلی شبیه به یکدیگرهستند.

(b) از مرجع : P.Sextonand N.D.Greene," Corrosion Resistance of Metallic Glasses," AIME meeing, Niagara Falls, N.Y.(September 20 23, 1976).

(c) از مرجع : M.Nada, K.Hashimoto, and T. Masumoto, *J. Japan Inst. Metals*, 38:835 (1974) and. *Corrosion*,32:146 (1976).




**شکل ۱۰-۵ پولاریزاسیون آندی پتانسیواستاتیکی فلزات شیشه‌ای در اسید سولفوریک یک نرمال در درجه حرارت محیط از مرجع :**

[M . Naka et al., *J. Japan Inst. Metals*, 38:835(1974) and *Corrosion*, 32:146(1976)]

در اثر عملیات حرارتی که منجر به کریستالیزاسیون می‌گردد، مقاومت خوردگی برجستهٔ فلزات شیشه‌ای به شدت کاهش می‌یابد. بنظر می‌رسد که خواص خوردگی منحصر بفرد این آلیاژها بخاطر ساختمان آمورف آنها می‌باشد. لکن، غلظت بالای شبه فلز خنثی نیز احتمالاً در این مسئله نقش دارد.

محدودیتهایی در مورد کاربرد فلزات شیشه‌ای وجود دارد. یک گزارش اخیر نشان می‌دهد که در بعضی شرایط در معرض تردی هیدروژنی قرار می‌گیرند. مهمتر از این، بخاطر نحوهٔ تولید آنها لازم است که یکی از ابعاد همیشه خیلی کوچک باشد، معمولاً کمتر از ۱ تا ۲ میل (هرمیل برابراست با یک هزارم اینچ)، لذا فقط ورقها و سیم های نازک می‌توان تولید کرد. چون از نظر عرضی محدودیتی برای ورقهای تولید وجود ندارد، احتمال می‌رود که در آینده ورقه های بزرگ فلزات شیشه‌ای روی فلزات معمولی روکش شوند. در پایان این فصل لیستی از مراجع پیشنهادی در زمینه فلزات شیشه‌ای آمده است .

## ۲۱-۵ کامپوزیت های فلزی[۱]

تحقیقات وابداعات زیادی در زمینهٔ کامپوزیت های فلزی با استحکام بالا صورت گرفته است. این کامپوزیت ها مشتمل هستند بر یک زمینهٔ فلزی که بوسیلهٔ الیاف، فیلامنت، یا ویسکرهای[۲] فلزی یا غیر فلزی تقویت شده‌اند. کامپوزیتها قویتر و سفت‌تر (ضریب الاستیسیتهٔ بالا) از فلز زمینه هستند و غالباً در برابر رشد ترک نیز مقاومترند. الیاف بر، گرافیت، شیشه، و فلز برای بهبود خواص فلزات مختلف بکار می‌روند. کاربرد اصلی کامپوزیتهای سبک وزن ( آلومینیم - بر ) برای استفاده‌های فضایی بوده است، ولی کامپوزیتهای فلزی کاربردهای روز افزونی در اتوموبیلها، ماشین آلات با سرعت بالا و تجهیزات ورزشی پیدا کرده‌اند[۳].

فیلامنتهای تقویت کننده در داخل کامپوزیت از طریق لبه ها یا خسارات سطحی احتمالی ممکن است در معرض محیط قرار بگیرند. خوردگی انتخابی این فیلامنتها

---

۱ ـ قسمتهایی از این فصل از مرجع زیر است :

N.D.Greene and N.Ahmed, Material Protection, Vol.9:p.16(1970).

2- Whisker

3- For further information about composite metallics and their application see K.K Chawla, Composite Material: Recent Development, *J.Metals*, 82-86 (Mar.1983).

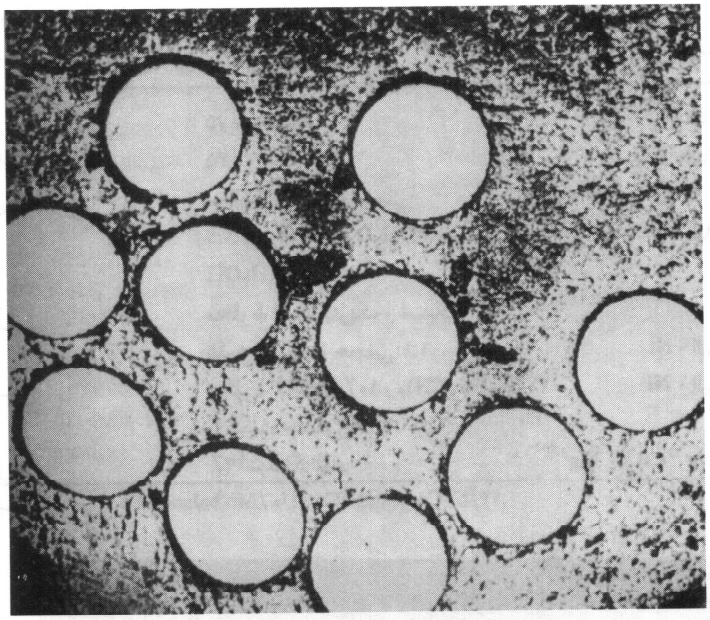
خطرناک است، زیرا باعث از بین رفتن عضو تقویت کننده می‌شوند و خسارت از دید پنهان است. خوردگی انتخابی فلز زمینه نیز نامطلوب است، ولی راحت تر رویت می‌شود و ضعف ساختمانی کمتری بوجود می‌آورد.

خوردگی یک کامپوزیت بوسیلهٔ دو فاکتور کنترل می‌شود: (۱) تأثیر محیط خورنده بر اجزأ تشکیل دهندهٔ کامپوزیت و (۲) خوردگی گالوانیکی بین آنها.

خورندگی یک محیط روی یک فلز با فلز دیگر متفاوت است. مثلاً، تنگستن بوسیلهٔ هیدروکسیدها و محلولهای بازی دیگر بسرعت خورده می‌شود، در صورتی که نیکل در این محیطها خیلی مقاوم است. همانطور که در فصل ۳ بحث شد، اگر فلزات غیر همجنس در تماس الکتریکی با یکدیگر باشند، خوردگی گالوانیکی اتفاق می‌افتد. بعد از اتصال، سرعت خوردگی فلز فعالتر افزایش می‌یابد، در حالیکه سرعت خوردگی فلز نجیب تر کاهش می‌یابد. هرچه موقعیت این دو فلز در جدول گالوانیکی ( جدول ۲-۳ ) از یکدیگر دورتر باشد، این حالت شدیدتر می‌شود. خوردگی گالوانیکی غالباً در محل تماس فلزات غیر همجنس شدیدتر است، مخصوصاً اگر فلزات خیلی فعال و خیلی نجیب در الکترولیتهایی با مقاومت بالا با یکدیگر در تماس باشند.

تأثیر خاص محیط خورنده و خوردگی گالوانیک اثرات جداگانه و مستقلی هستند. بدین ترتیب، اگر زمینه و فیلامنت های یک کامپوزیت در جدول گالوانیکی نزدیک یکدیگر باشند، اثرات گالوانیکی جزئی خواهد بود.

در شکلهای ۱۱-۵ تا ۱۳-۵ مثالهایی از خوردگی کامپوزیتها نشان داده شده‌اند و در جدول ۱۴-۵ خلاصه شده‌اند. بسته به محیط خورنده زمینه یا فلامنت خورده شده است. زمینهٔ مسی یک کامپوزیت مسی با فیلامنتهای تانتال در اسید نیتریک غلیظ بسرعت خورده می‌شود ( شکل ۱۱-۵ ) موقعی که در معرض محلول اکسیدان هیدروکسید آمونیم نیز قرار می‌گیرد وضعیت مشابهی پیش می‌آید ( جدول۱۴-۵ ). لکن موقعی که این کامپوزیت در اسید فلوریدریک غلیظ قرار می‌گیرد، فیلامنتهای تانتال بسرعت خورده می‌شوند ( شکل ۱۲-۵ ). توجه کنید که زمینهٔ فلزی اصلاً خورده نشده است و هنوز خطوط مرحلهٔ پرداخت کاری آن از بین نرفته‌اند. بخاطر نزدیکی مس و تانتال در جدول گالوانیکی، احتمالاً خوردگی گالوانیکی کمی در این سیستم وجود خواهد داشت. در مورد کامپوزیت الیاف تنگستن در زمینهٔ نیکل وضعیت مشابهی مشاهده می‌شود. زمینهٔ نیکل در اسید نیتریک حل می‌شود، در حالیکه فیلامنتهای تنگستن بوسیلهٔ محلول قلیایی اکسیدان حل می‌شود ( جدول ۱۴-۵ ).



شکل ۱۱-۵ خوردگی انتخابی زمینهٔ مسی در کامپوزیت فیلامنتهای تانتال در مس بعد از تماس مختصر با اسید نیتریک ۷۰٪ (بزرگنمایی ۷۰ برابر)

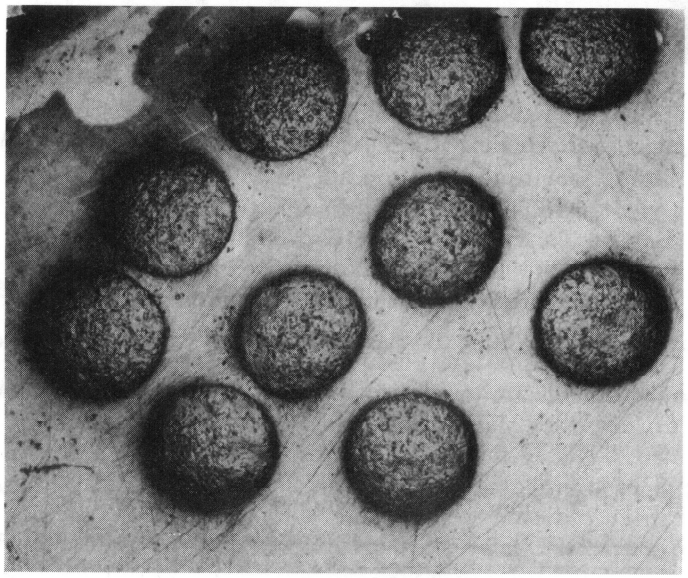
کامپوزیت های متشکل از زمینهٔ فلزی که بوسیلهٔ فیلامنت های غیر فلزی تقویت شده‌اند، مثل کامپوزیتهایی که حاوی فیلامنتهای فلزی هستند رفتار می‌کنند. ولی چون این جامدات آلی در اکثر محیطهای آبی خیلی مقاوم هستند، انحلال آنها غیر محتمل تر است.

همچنین خوردگی گالوانیکی نیز وجود ندارد، به استثنای فیلامنتهائی که دارای قابلیت هدایت الکتریسته هستند مثل گرافیت وبر. کامپوزیتها بایستی در محیطهای مختلفی که در عمل با آن مواجه می‌شوند بدقت ارزیابی شوند. همچنین در طراحی ساختمان کامپوزیتها، در نظر گرفتن مقاومت خوردگی اجزأ و موقعیت نسبی آنها در جدول گالوانیکی به اندازهٔ خواص مکانیکی آنها اهمیت دارد.

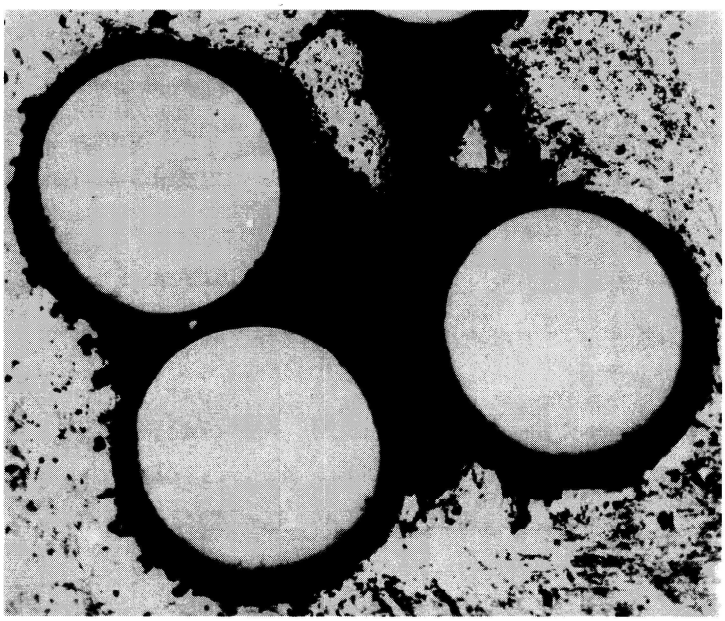
## جدول ۱۴-۵ ویژگیهای خوردگی کمپوزیت ها

| جزئی که بطورانتخابی خورده می‌شود | محیط خورنده | کمپوزیت |
|---|---|---|
| مس | $HNO_3$ ٪۷۵ | Ta - الیاف CU |
| تانتال | HF ٪۴۵ | Ta - الیاف CU |
| مس | مخلوط ها نسبت حجمی ۱:۱:۱۰ از $H_2O$ و $H_2O_2$ ٪۳ $NH_4OH$ | Ta - الیاف CU |
| نیکل | مخلوط اسید نیتریک و استیک غلیظ به نسبت حجمی ۱:۱ | W - الیاف Ni |
| تنگستن | مخلوط NaOH ٪۱۰ و $K_4Fe(CN)_6$ ٪۳۰ با نسبت حجمی ۱:۱ | W - الیاف Ni |
| منیزیم | ٪۲ اسید اگزالیک | AFe -۷۷* الیاف - Mg |

* ترکیب شیمیایی : ٪Mo,balance-Fe ،٪۵/۰ ،٪Co ۱۳/۵و ٪Cr ۱۴/۵



**شکل ۱۲-۵ خوردگی انتخابی تانتال در کمپوزیت فیلامنتهای تانتال در مس بعد از تماس مختصر با اسید فلوریدریک ٪۴۵ (بزرگنمایی ۷۰ برابر)**



**شکل ۱۳-۵ شکل کمپوزیت Mg/AFc-77 بعد از تماس با محلول اسید اگزالیک ۲٪. خوردگی گالوانیکی موضعی زمینهٔ منیزیم در فصل مشترک با فیلامنتها مشاهده می‌شود (بزرگنمایی ۱۵۰ برابر)**

کتابهای مرجع انجمن فلزات آمریکا (ASM) دارای مقادیر متناسبی اطلاعات (شامل اطلاعات در مورد خوردگی) در مورد فلزات و آلیاژها می‌باشد: جلد اوّل، آهن و فولاد (۱۹۷۸)، جلد دوّم، آلیاژهای غیر آهنی و فلزات خالص (۱۹۷۹)، و جلد ۳، فولادهای زنگ نزن و فلزات برای مقاصد خالص (۱۹۸۰).
همچنین شمارهٔ ۱۵ ژوئن ۱۹۸۳ ژورنال متال پروگرس[1] دارای چهار قسمت است: (۱) انتخاب مواد، (۲) مهندسی فرآیند، (۳) تکنولوژی ساخت، و (۴) آزمایشات و بازرسی. اطلاعات جامعی در مورد اکثر فلزات و آلیاژهای تجارتی، شامل آلیاژهای سوپر ارائه شده است.

---

1- 1983 Materials and Processing Handbook.

## مواد غیر فلزی

### ۲۲-۵ لاستیک های طبیعی و مصنوعی

ویژگی برجسته لاستیک و الاستومزها مدول الاستیسیته پائین آنهاست. اکثر کاربردهای آنها مثل شلنگ، نوار یا تسمه، و تایرهای اتومبیل بخاطر نرمی آنهااست. لکن مقاومت شیمیائی و سایشی و خاصیت عایق بودن آنها باعث کاربردهای فراوانی در زمینه خوردگی می‌گردد. لاستیک واسید کلریدریک با یکدیگر بسیار سازگارند بطوری که لوله ها و تانکهای فولادی با روکش لاستیکی سالهاست که برای این کار "استاندارد" بوده است.

بطور کلی لاستیکهای طبیعی دارای خواص مکانیکی بهتری هستند ( مدول الاستیسیته پائین تر و مقاومت در برابر بریدگی ها و توسعه آنها) تا لاستیکهای مصنوعی، ولی در مورد مقاومت خوردگی عکس این مطلب صادق است.

**لاستیک طبیعی:** لاستیک، مولکول زنجیره‌ای از ایزوپرن ( پلی ایزوپرن ) می‌باشد و بصورت یک شیرهٔ مایع از درخت گرفته می‌شود. ساختمان کویل شکل آن باعث الاستیسیته بالای این ماده می‌گردد ( ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ درصد انعطاف پذیری ). محدودیت حرارتی لاستیک نرم ۱۶۰ درجه فارنهایت است. این محدودیت با آلیاژسازی به ۱۸۰ درجه فارنهایت افزایش می‌یابد. با اضافه کردن گوگرد و حرارت دادن لاستیک سخت تر و تردتر می‌شود. اولین بار در ۱۸۳۹ چارلز گودیر این روش را کشف نمود و آنرا ولکانیزه کردن نامید. حدود ۵۰٪ گوگرد باعث جسم سختی بنام ابونیت[1] می‌گردد که برای ساخت توپ بولینگ بکار می‌رود. لاستیکهای سخت و نیمه سخت برای ساخت تایر و روکش تانکها و اقلام بسیار دیگری بکار می‌رود. مقاومت خوردگی معمولاً با سختی رابطهٔ مستقیم دارد. در مورد روکشهای لوله ها و تانکها، لاستیک به صورت نرم روکش داده می‌شود و بعد در محل ( برای اقلام بزرگ ) یا در اتوکلاوها حرارت داده می‌شود. مدول الاستیسیته بین ۵۰۰ تا ۵۰۰،۰۰۰ پوند بر اینچ مربع برای لاستیک های نرم تا سخت متغیر است.

---

1- Ebonite

زمینه علت اصلی عملکرد نامطلوب است. کلیهٔ مطالبی که در این پاراگراف بیان شد در مورد پلاستیکها نیز صادق است.

## ۲۳-۵ دیگر الاستومرها

بعضی الاستومرهای که اخیراً توسعه یافته‌اند در جدول ۱۵-۵ آورده شده که عبارتند از:

پلی اتیلن کلروسولفوناته شده ( هیپالون[۱] ). خیلی شبیه نئوپرن است با این تفاوت که در برابر حرارت، اوزون، و مواد شیمیایی مقاومتر است.

اتیلن پروپیلن ( نوردل[۲] ). بطور کلی شبیه لاستیک بوتیل است بعلاوهٔ مقاومت عالی در برابر اوزون، حرارت، آب و تابش خورشید بهمراه قیمت کمتر.

اپیکلرهیدرین ( هیدرین[۳] ). دارای خواص خوب لاستیکهای نئوپرن و نیتریل می باشد، دارای مقاومت عالی از نظر باد کردن در سوختها و روغنها، خواص پیر - حرارتی[۴] خوب می‌باشد و در برابر اوزون مقاوم است.

فلوروالاستومرها( ویتون[۵] ). دارای مقاومت عالی در انواع محیطهای خورنده و هیدروکربنها و مقاومت برجسته در برابر تابش خورشید، اوزون، و پیر - حرارت می‌باشد. در درجه حرارتهای بالا مفید هستند.

یورتان ( آدی پیرین[۶]). دارای استحکام کششی، مقاومت سایشی خوبی و مقاومت خوبی در برابر روغنها، اوزون، (MTI) اکسیداسیون می‌باشد.

دستورالعمل شمارهٔ ۷ انسیتوتکنولژی مواد (MTI) تحت عنوان راهنمای عملی استفاده از روکشهای الاستومری (ماه مه ۱۹۸۳) مرجع مفیدی است.

## ۲۴-۵ پلاستیکها

در ۳۰ سال اخیر تولید و کاربرد پلاستیکها به شدت افزایش یافته‌است. یکی از انگیزه های اولیه برای بدست آوردن این مواد جایگزینی توپهای بیلیارد عاجی بوسیله یک ماده ارزانتر بود. امروزه پلاستیکها در اشکال مختلفی وجود دارند. از قبیل توپهای

---

1- Hypalon
2- Nordel
3- Hydrin
4- Heat- Aging
5- Viton
6- Adiprene

**لاستیکهای مصنوعی:** در شروع جنگ دوم موقعی که منابع اصلی لاستیک طبیعی در اختیار دشمن درآمد، نیاز شدیدی به جایگزینی آن بوسیله یک ماده مصنوعی بود. در اوایل دهه ۱۹۳۰، نئوپرن[۱] بوسیله Du Pont بدست آمد، لکن تا ۱۹۴۱ مقدار تولید آن کم بود. نئوپرن پنجمین ماده استراتژیک در جنگ دوم بود. چهار تای بقیه فلز بودند.

امروزه لاستیکهای مصنوعی زیادی شامل ترکیباتی با پلاستیکها وجود دارند نئوپرن و لاستیک نیتریل[۲] در مقابل نفت و گازوئیل مقاوم هستند. یکی از اولین کاربردهای وسیع نئوپرن شیلنگ های پمپ بنزین بوده و می‌باشد. خاصیت برجسته لاستیک بوتیل[۳] قابلیت نفوذ ناپذیری آن در مقابل گازهاست. این خاصیت باعث استفاده آن برای لوله‌ای داخلی و تجهیزات کارخانجات مواد شیمیائی مثلاً آب بندی تانکهای حاوی گاز می‌باشد. لاستیک بوتیل مقاومت بهتری در محیطهای اکسید کننده مثل هوا و اسید نیتریک رقیق نشان می‌دهد. تانکهایی که با نئوپرن روکش شده‌اند برای نگهداری هیدروکسید سدیم غلیظ بکار می‌روند.

لاستیکها را می‌توان با یکدیگر ترکیب نمود و طیف وسیعی از خواص مکانیکی بوجود آورد. سختی می‌تواند در حد سختی استخوان ( توپ بولینگ ) تا نرم ( کش لاستیکی ) تغییر کند. استحکام کششی می‌تواند از ۹۰۰ تا ۴۵۰۰ پوند بر اینچ مربع و انعطاف پذیری از صفر تا ٪۱۰۰۰ متغیر باشد. در جدول ۱۵-۵ مقایسهٔ خواص لاستیکها و سایر الاستومرها نشان داده شده است.

لاستیکهای نرم در مقابل سایش بهتر عمل می‌کنند. یک اشتباه معمول برعکس فلزات این است که در شرایط خوردگی سایشی لاستیک سخت تر بکار برده می‌شود. روکش ها همچنین می‌توانند از لایه های سخت و نرم تشکیل شوند.

شیمی و آلیاژسازی کلیهٔ انواع لاستیکها خیلی پیچیده است، و اطلاعات مربوطه به سهولت در اختیار مصرف کننده قرار نمی‌گیرد. بهترین روش آن است که وضعیت موجود را با تولید کنندگان مطرح کرد تا مواد صحیح برای یک مسئله مورد نظر تعیین شود. اگر آزمایشات خوردگی لازم است، ضروری است که نمونه‌هایی که مورد استعمال قرار می‌گیرند نشان دهنده و نمایندهٔ تاسیسات واقعی باشند. بعلاوه اگر مسئله روکش مورد نظر است نمونه بایستی پوشش داده شود - گاهی اوقات جدا شدن روکش از

---

1- Neoprene
2- Nitrile
3- butyl

## جدول ۱۵ - ۵ مقایسهٔ خواص الاستومر ها

| مقاوم در برابر: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | خواص فیزیکی | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | چسبندگی به فلزات | مقاومت کششی | مقاومت سایشی | مقاومت در برابر نفوذ گاز | اسید های رقیق | اسید های غلیظ | هیدروکربنهای آلیفاتیک | هیدروکربنهای آروماتیک | کتونهاد غیره | حلالهای لاکی | روغن و گازوئیل | روغنهای حیوانی،گیاهی | جذب آب | اکسیداسیون | ازون | پیر شدگی در آفتاب | پیرشدگی دراثرحرارت | دمای پائین | آتش | | | | | | |
| ماده | نام شیمیایی | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| لاستیک طبیعی | پلی‌ایزوپرین | E | VG | E | F | F/G | F/G | P | P | G | P | P | P/G | VG | G | P | P | F | VG | P | | | | | | |
| بونا(SBR,GR-S) | بوتادین استرین | E | F | G/E | F | F/G | F/G | P | P | G | P | P | P/G | G/VG | F | P | P | F/G | VG | P | | | | | | |
| بونیل | ایزوبوتیل ایزوپرین | G | G | G | E | E | G | P | P | G | F/G | P | VG | VG | E | E | VG | VG | G | P | | | | | | |
| نیتریل(بونا N) | بوتادین-اکریلونیتریل | E | F | G | G | G | G | E | G | P | F | F | VG | G | G | F | P | G | F/G | P | | | | | | |
| نئو پرن | کلرو پرین | E | G | E | G | E | G | F/G | F | P/F | P | G | G | G | VG | VG | VG | G | G | G | | | | | | |
| سیلیکون | پلیمر سیلوکان | E | F | E | G/E | E | G | F/G | F | P/F | P | G | G | G | E | O | O | VG | G | G | | | | | | |
| هیپالون | پلی‌اتیلن کلرو سولفاناته | E | F | E | G/E | E | G | F/G | F | P/F | P | G | G | G | E | O | O | VG | G | G | | | | | | |
| نو ردل(EDPM) | اتیلن-پروپیلن | F | F | G/E | F | E | G | P | P | E | F/G | P | G/E | E | E | O | O | E | E | P/G | | | | | | |

ادامه جدول ۱۵ - ۵

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| هیدرین | ابی کلروهیدرین کلرینه | F/G | F/G | F/G | F/G | F/G | F | E | G | P | F | E | E | G | G | E | G | VG | G/VG | P/F |
| | پلی اتیلن | F/G | F | G | E | E | G | G | F | F | F | G | G | VG | E | E | O | VG | G | G |
| ویتون | فلورالاستومر | F/G | F/G | G | E | G/E | E | E | E | P | P.F | E | E | VG | O | O | O | O | F/G | E |
| آدی پرین (استان) | لاستیک یورتان | E | E | O | F | F | P | F/G | P | P | P | G | G | VG | E | E | VG | F/G | E | F/G |
| هیترل | پلی استرالاستومر | G | O | E | E | G | P | E | G | G | G | VG | G | VG | E | E | VG | VG | O | F/G |

طبقه بندی O=برجسته ؛ E=عالی؛ VG=خیلی خوب؛ G=خوب؛ F=متوسط؛ P=ضعیف؛

Dupont Elastomers Notebook,P.189,(April1976),E.I.dupont de Nemours,Wilmington,Delaware.

بیلیارد، پمپها، والوها، لوله ها، هواکش ها، چتر نجات هواپیما، تلفن، شیلنگ، جلد رادیو، عایق، بوشها، غلتک های کشوها، مومها، دسته های کتری، دریچه های قلب و اجزأ دیگری که در بدن بکار برده می‌شوند. و بصورت قطعات توپر، روکش، پوشش، اسفنج، الیاف و لایه های نازک وجود دارند.

انجمن آمریکایی آزمایشات مواد (ASM) پلاستیک را بدین صورت تعریف می‌کند: "پلاستیک ماده‌ای است که بعنوان یک جزٔ اصلی دارای یک ماده آلی با وزن مولکولی بالاست، در حالت ساخته شده جامد است، و در بعضی مراحل تولید یا عمل آوری آن می‌تواند با جریان یافتن یا سیلان یافتن شکل مورد نظر تبدیل شود". به عبارت دیگر پلاستیکها مواد آلی با وزن مولکولی بالا هستند که می‌توانند به اشکال مختلف و مفید درآیند. بعضی از آنها به صورت طبیعی یافت می‌شوند ولی اکثر آنها بطور مصنوعی تهیه می شوند. بطور کلی پلاستیکها در مقایسه با فلزات و آلیاژها، خیلی ضعیفتر، نرمتر، مقاومتر در برابر یونهای کلرواسید کلریدریک، مقاومت کمتر در اسید سولفوریک غلیظ و اسیدهای اکسید کننده مثل اسید نیتریک، مقاومت کمتر در برابر حلالها، و محدودیت حرارتی پائین تر می‌باشند. خزش در درجه حرارتهای محیط یا سیلان سرد از نقاط ضعف پلاستیکها مخصوصاً ترموپلاستیکهااست.

پلاستیکها در دو دسته ترموپلاستیک و ترموست قرار دارند. ترمو پلاستیکها با افزایش درجه حرارت نرم می‌شوند و موقعی که سرد می‌شوند به سختی اولیه بر می گرند. اکثر آنها را می‌توان دوب نمود، مثلاً نایلون[1] را از حالت مذاب بصورت الیاف یا فیلامنتهای نازک در می آورند. ترموستها با حرارت دادن سخت می‌شوند و با سرد شدن سختی خود را حفظ می‌کنند. با حرارت دادن تحت فشار به شکل مورد نظر در می آیند و تغییر شکل مجدد آنها امکان پذیر نیست. معمولاً از قراضه آنها نمی‌توان استفاده کرد.

در جدول ۱۶-۵ و ۱۷-۵ بعضی خواص و مقاومت خوردگی چند پلاستیک مشهور نشان داده شده است. تنوع خواص زیاد است. این خواص را با مواد نرم کننده[2] فیلرها[3] و مواد سخت کننده[4] بطور قابل ملاحظه‌ای می‌توان تغییر داد.

پلاستیکهامثل فلزات خورده نمی‌شوند. از بین رفتن یا خوردگی آنها در اثر باد کردن، از دست دادن مقاومت مکانیکی، نرم شدن، سخت شدن، ترک خوردن و تغییر

---

1- Nylon
2- Plasticizers
3- Fillers
4- Hardeners

رنگ دادن می‌باشد.
در جدول ۱۸-۵ نامهای تجارتی و شیمیایی بعضی از پلاستیکها مقایسه شده است.

**جدول ۱۶-۵ خواص مکانیکی و فیزیکی بعضی پلاستیکها**

| مواد | استحکام کششی $lb/in^2$ | انعطاف پذیری ٪ | سختی راکول R | ضربه ایزود ft - lb | مدول الاستیسیته $lb/in^2 \times 10^3$ | وزن مخصوص | درجه حرارت از دست دادن شکل طبیعی $^{\circ}F$/ ۲۶۴ $lb/in^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ترموپلاستیکها | | | | |
| فلوروکربن ها | ۲۵۰۰ | ۱۰۰-۳۵۰ | ۷۰ | ۴ | ۶۰ | ۲/۱۳ | ۲۷۰ |
| متیل متا آکریلات | ۸۰۰۰ | ۵ | ۲۲۰ | ۰/۵ | ۴۲۰ | ۱/۱۹ | ۲۰۰ |
| نایلون | ۱۰۰۰۰ | ۴۵ | ۱۱۰ | ۱/۵ | ۴۰۰ | ۱/۱۴ | ۳۲۵ |
| پلی اتر-کلرنیت | ۶۰۰۰ | ۱۳۰ | ۱۰۰ | ۰/۴ | ۱۵۰ | ۱/۴ | ۲۰۰ |
| پلی اتیلن (دانسیتهٔ پائین) | ۲۰۰۰ | ۹۰-۸۰۰ | ۱۰ | ۱۶ | ۲۵ | ۰/۹۲ | - |
| پلی اتیلن (دانسیتهٔ بالا) | ۴۰۰۰ | ۱۵-۱۰۰ | ۴۰ | ۱-۱۲ | ۱۲۰ | ۰/۹۵ | ۱۲۰ |
| پلی پروپیلن | ۵۰۰۰ | ۱۰-۷۰۰ | ۹۰ | ۱-۱۱ | ۲۰۰ | ۰/۹۱ | ۱۵۰ |
| پلی استرین | ۷۰۰۰ | ۱-۲ | ۷۵ | ۰/۳ | ۴۵۰ | ۱/۰۵ | ۱۸۰ |
| PVC سخت | ۶۰۰۰ | ۲-۳۰ | ۱۱۰ | ۱ | ۴۰۰ | ۱/۴ | ۱۵۰ |
| وینیل (کلرید) | ۲۵۰۰ | ۱۰۰-۴۵۰ | ۸۰ | خوب | بد | ۱/۱۸ | ۱۴۵ |
| | | | ترموستها | | | | |
| اپوکسی (ریختگی) | ۱۰۰۰۰ | صفر | ۹۰ | ۰/۸ | ۱۰۰۰ | ۱/۱ | ۳۵۰ |
| فنولیک ها | ۷۵۰۰ | صفر | ۱۲۵ | ۰/۳ | ۱۰۰۰ | ۱/۴ | ۳۰۰ |
| پلی استرها | ۴۰۰۰ | صفر | ۱۰۰ | ۰/۴ | ۱۰۰۰ | ۱/۴ | ۳۵۰ |
| سیلیکونها | ۳۵۰۰ | صفر | ۸۹ | ۰/۳ | ۱۲۰۰ | ۱/۷۵ | ۳۵۰-۴۰۰ |
| اوره‌ها | ۷۰۰۰ | صفر | ۱۱۵ | ۰/۳ | ۱۵۰۰ | ۱/۴۸ | ۲۶۵ |

## ترمو پلاستیکها

### ۲۵-۵ فلوروکربنها

تفلون[۱] و کل اف[۲] و فلوروکربنهای دیگر فلزات نجیب پلاستیکها هستند. از این نظر که در تقریباً تمام محیطهی خورنده تا ۵۵۰ درجهٔ فارنهایت مقاوم هستند. اینها از کربن و فلور تشکیل شده‌اند. اولین پلی تترا فلور اتیلن بوسیله Du Pont تولید شد و

1- Teflon 2- Kel-F

## جدول ۱۷-۵ تاثیر محیط های مختلف بر پلاستیکها

| مواد | اسیدها | | قلیاییها | | حلالهای آلی | ٪جذب آب در ۲۴ ساعت | مقاومت پیوسته در برابر حرارت °F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ضعیف | قوی | ضعیف | قوی | | | |
| ABSاکریلونیتریل - بوتادین استرین | N | AO | N | N | A | ۰/۴ | ۱۹۰-۲۳۰ |
| استال (هم پلیمر) | V | A | N | N | R | ۰/۲ | ۱۸۵-۲۲۰ |
| آکریلیک ها: | | | | | | | |
| متیل متااکریلات | R | Ao | R | A | A | ۰/۳ | ۱۴۰-۲۰۰ |
| MMA(هم پلیمر آلفا) | | | | | | | |
| متیل استرین | R | AO | R | R | A | ۰/۲ | ۲۰۰-۲۳۰ |
| آلیاژ اگریلک - PVC | N | N | N | N | A | ۰/۱ | |
| رزینهای آلیل : | | | | | | | |
| آلیل دیکلیکول کربنات دی آلیل متالات | N | AO | N | SA | R | ۰/۲ | ۲۱۲ |
| (میرال پر شده با شیشه) | N | SA | SA | SA | N | ۰/۳ | ۳۰۰-۴۰۰ |
| ترکیبات سلولزی : | | | | | | | |
| اتیل سلولز | SA | A | N | SA | A | ۱ | ۱۱۵-۱۸۵ |
| استات تترات، برویز- ات سلولز و | | | | | | | |
| استات بونیرات | SA | A | SA | A | A | ۱/۷ | ۱۴۰-۲۲۰ |
| پلی اترکلرینه : | N | AO | N | N | R | ۰/۰۱ | ۲۹۰ |
| رزینهای ابوکسی | | | | | | | |
| ریختگی | N | V | N | SA | R | ۰/۱ | ۲۵۰-۵۵۰ |
| ترکیبات قالبگیری | | | | | | | |
| الیاف شیشه‌ای: | N | R | N | N | N | ۰/۱ | ۳۰۰-۵۰۰ |
| فلوروپلاستیکها : | | | | | | | |
| پلی کلروتری فلوروانیلن | N | R | N | N | R | ۰/۰ | ۳۵۰-۳۹۰ |
| پلی تترافلوروانیلن | N | N | N | N | N | ۰/۰ | ۵۵۰ |
| FEP فلوروپلاستیک | N | N | N | N | N | ۰/۰۱ | ۴۴۰ |
| پلی وینیلیدن فلوراید | N | R | N | N | R | ۰/۰۴ | ۳۰۰ |
| فلوران : | R | AO | N | R | R | ۰/۱ | ۲۶۵-۳۳۰ |
| ملامین ،فرم آلدهید تقویت، | | | | | | | |
| شده یا آزبست | R | A | R | SA | N | ۰/۱ | ۲۵۰-۴۰۰ |
| تقویت شده با الیاف شیشه‌ای | N | A | N | R | N | ۰/۱ | ۳۰۰-۴۰۰ |
| متیل - پنتن پلیمر | N | AO | N | R | A | ۰/۰۱ | ۲۵۰-۳۲۰ |
| نایلونها: | | | | | | | |
| نوع ۶، ریختگی | A | A | N | R | R | ۱/۰ | ۱۸۰-۲۵۰ |
| نوع ۱۲، پرنشده | N | A | N | N | R | ۰/۳ | ۱۷۵-۲۶۰ |
| فنول فرم آلدهید، ترکیب | | | | | | | |
| فنور فدرال | R | AO | A | A | R | ۰/۲ | ۲۵۰ |
| اکسیدهای فنیلن | N | N | N | N | A | ۰/۰۷ | ۱۷۵-۲۲۰ |
| پلی آلومر | N | AO | N | R | R | ۰/۰۱ | |
| پلی آریل اتر | N | V | N | N | A | ۰/۳ | ۲۵۰-۲۷۰ |
| پلی آریل سولفون | N | N | N | N | R | ۲/۰ | ۵۰۰ |

**ادامه جدول ۱۷ـ۵ تاثیر محیطهای مختلف بر پلاستیکها**

| مواد | اسیدها: ضعیف | اسیدها: قوی | قلیایی‌ها: ضعیف | قلیایی‌ها: قوی | حلالهای آلی | ٪جذب آب در ۲۴ ساعت | مقاومت پیوسته در برابر حرارت °F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پلی بوتیلن | R | AO | R | R | | ۰/۰۱ | ۲۲۵ |
| پلی کربناتها | | | | | | | |
| پرنشده | N | SA | V | A | A | ۰/۱ | ۲۵۰ |
| آلیاژهای ABS، پلی کربنات | N | AO | N | SA | A | ۰/۳ | ۲۲۰ـ۲۵۰ |
| پلی استرها | | | | | | | |
| آروماتیک خطی | SA | SA | SA | A | R | ۰/۰۲ | ۶۰۰ |
| آلکید، پرنشده بوسیله آزیست | N | SA | N | SA | N | ۰/۱ | ۴۵۰ |
| پلی اتیلن ها(دانسیتهٔ کم،) | | | | | | | |
| متوسط، بالا | R | AO | R | R | R | ۰/۰۱ | ۱۸۰ـ۲۵۰ |
| پلی آمیدها | R | R | SA | A | R | ۰/۳ | ۵۰۰ |
| پلی فنیلین سولفیدها | N | AO | N | N | R | — | ۴۰۰ـ۵۰۰ |
| پلی پرویلن | N | AO | N | R | R | ۰/۰۱ | ۱۹۰ـ۳۰۰ |
| پلی استرین | N | AO | N | N | A | ۰/۱ | ۱۵۰ـ۲۰۰ |
| پلی سولفون | N | N | N | N | R | ۰/۲ | ۳۰۰ـ۳۴۵ |
| سیلیکونها | R | V | R | V | V | ۰/۱ | ۵۰۰ـ۶۰۰ |
| اوره - فرم آلدهید | A | A | V | A | R | ۰/۵ | ۱۷۰ |
| اورتان (ریختگی) | SA | A | SA | V | V | ۱/۰ | ۱۹۰ـ۲۵۰ |
| پلیمرویمیل و همه پلیمرها | | | | | | | |
| وینیل کلراید و وینیل کلراید استات | N | R | N | N | V | ۰/۵ | ۱۵۰ـ۱۷۵ |
| وینیلیدن کلراید | N | R | R | R | R | ۰/۱ | ۱۶۰ـ۲۰۰ |
| پلی وینیل کلراید کلریته | N | N | N | N | N | ۰/۱ | ۲۳۰ |

منبع: Modern Plastics Enclyopedia, Mcgraw-Hill Book Company,New York 1970,1974,1975,.

کد: N = بی تاثیر، R = مقاوم،معمولاً، SA = خوردگی جزئی، A = خورده می‌شود

AO = بوسیلهٔ اسیدهای اکسیدان خورده می‌شود، V = رفتار متغیر، بستگی به محیط

تفلون (TEF) نامیده شد. مواد مشابه، با تغییراتی در ترکیب با هم پلیمرهای آنها عبارتند از: Kelf و Viton و PFA. نویسندهٔ کتاب یکی از اولین کاربردهای تفلون را در جنگ جهانی دوّم معرفی نمود.

علاوه بر مقاومت خوردگی، ضریب اصطکاک کم تفلون اساس کاربردهای موفقیت آمیز تفلون در مواردی نظیر شکل ۱۴-۵ است. روکش تفلون روی محور وسطی و بدنه والو باعث جدا شدن آنها از یکدیگر شده و مثل یک روغنکار عمل نموده و در نتیجه از چسبیدن قطعات فلزی به یکدیگر جلوگیری می‌کند. گریسهای معمولی

**جدول ۱۸-۵ نامهای تجارتی و شیمیائی بعضی از پلیمرها**

| نام ژنریک یا تجارتی | ترکیب یا نام شیمیایی |
|---|---|
| اپوکسی (اپان) | اپوکسید، اپوکسی |
| فنولیک | فنول فرم آلدهید |
| ABS | اکریلیونیتریل - بوتادین استیرین |
| سیلیکون | سیلوکسان |
| کل - اف | موتوکلرو تری فلور و اتیلن |
| PFA | پلی فلوروآلکوکسی |
| تفلون (TFE) | پلی تترا فلورواتیلن |
| تفلون (FEP) | فلورینه اتیلن پروپیلن |
| تنایت | سلولز استات بوتیرات |
| ماراکس ،های فاکس | پلی اتیلن (خطی یا با دانسیتهٔ) |
| جئون، PVC ، تایگون | پلی وینیل کلراید |
| تسلار، تدلار، PVF | پلی وینیل فلوراید |
| کینار | پلی وینیلیدین فلوراید |
| آکریلیک، پلکی گلاس، لوسیت | پلی متیل متا اکریلات |
| لکسان | پلی کربنات |
| ایراتین | پلی اتیلن تحت تشعشع |
| ساران | پلی وینیلیدین کلراید، پلی وینیل کلراید(هم پلیمر) |
| میلار | پلی اتیلن تترا فتالات |
| الیاف داکرون | پلی اتیلن تترا فتالات |
| الیاف اورلن ، آکریلان | پلی اکریلوینتریل |
| نایلون ۶۶ | هگزامتیلن آدی پامید |
| H -فیلم ،الیاف HT-۱ | پلی آمید |
| درلین | پلی استال |
| TAC | تری آلیل سیانورات |
| DAP | دی آلیل فتالات |

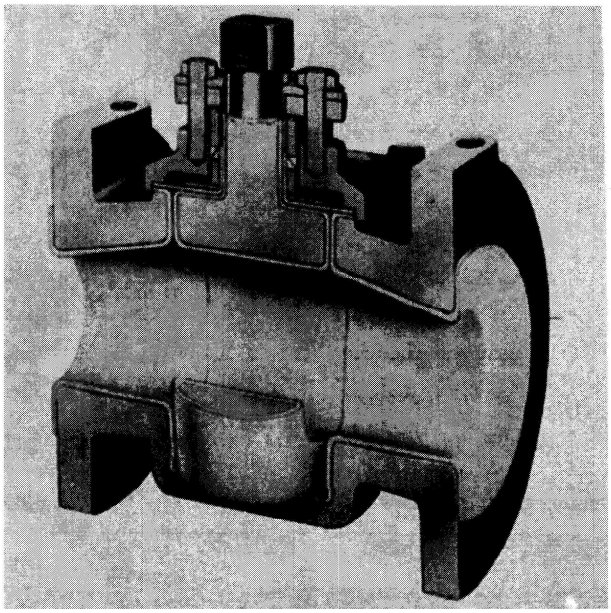
بوسیله اکثر محیطها خورده می‌شوند. کاربردهای دیگر تفلون عبارتند از: آب بندی، واشر، عایق سیم، روکش لوله ها، نوار، لوله، دیافراگم والوها، پوششها و حتی مبدلهای حرارتی ( لوله های با جداره نازک ).

## ۲۶-۵ آکریلیک ها[1]

متیل متا آکریلیت ( لوسیت و پلکسی گلاس ) مشهورترین این گروه هستند. برای دستهٔ برسها و کیفها، ورقه های شفاف، مدلهای نمایشی، چتر نجات، چراغهای عقب اتومبیل[2] بکار برده می‌شوند. خیلی قشنگ بوده و نور را عبور داده و هدایت می‌کنند. آکریلیکها نرم بوده و بسهولت خراش داده می‌شوند و در مقابل درجه حرارت زیاد مقاوم نیستند.

## ۲۷-۵ نیلون[3]

این ماده برای شلنگ مورد استفاده قرار می‌گیرد، لکن در کاربردهای خوردگی نیز بکار می‌رود. کاربردهای اصلی آن بخاطر استحکام، ضریب اصطکاک کم، و مقاومت



**شکل ۱۴-۵ والو روکش شده بوسیلهٔ تفلون با بدنهٔ روکش شده بوسیله نپتون**

1- Acrylics
2- Taillighits
3- Nylon

سایشی است. این کاربردها عبارتند از: چرخ دنده ها، غلتک های قفسه ها و کشوها، سیم ماهیگیری، نخ برای بخیه کردن[۱]، سیمهای راکت تنیس، دندان مصنوعی[۲]، گیرهٔ در اتومبیل و موی برس[۳]. همچنین برای عایق کردن الکتریکی در درجه حرارتهائی که بالاتر از حد توانایی لاستیک است بکار می‌رود. پروفسور فونتانا اولین بار نایلون را بعنوان بوش استوانه های چرخان ( ۷۷۰۰ دور در دقیقه ) که در تولید رایون[۴] بکار می‌رود، مورد استفاده قرار داده است.

### ۲۸-۵ پلی اتر کلرینه شده

پنتون[۵] که یک پلی اتر کلرینه شده است، یکی از پلاستیکهای جدیدتر است و بطور وسیعی در محیط های خورنده بکار می‌رود. ساخت قطعات مختلف مثل والو و لوله و همچنین روکش و پوشش دادن قطعات بوسیله این پلاستیک امکان پذیر است. با روش "بستر سیال شده"[۶] روکشهایی تا ضخامت ۴۰ میل ( هر میل برابرست با یک هزارم اینچ ) می‌توان تولید کرد.

### ۲۹-۵ پلی اتیلن ها

آلاتون[۷]، آئروفلکس[۸] و پلی اتیلن های دیگر بین پلاستیکها بیشترین تولید را دارند. بعضی موارد استفاده آنها ورقه های بسته بندی، بطری ها و ظروف پلاستیکی (لیوان)[۹] ظرف جا یخ و اقلام خانگی دیگر می‌باشند. کاربرد آنها برای لوله کشی آب و مواد شیمیائی دیگر متداول است. بعضی حلالها باعث خوردگی توام با تنش (SCC) در پلی اتیلن ها می‌شود. همانطورکه در جدولهای ۱۶-۵ و ۱۷-۵ مشاهده می‌شود خواص آنها دارای طیف وسیعی است.

پلی اتیلن با وزن مولکولی بسیار بالا (UHMWPE) مقاومت خیلی خوبی در برابر خوردگی سایشی نشان می‌دهد. در شکل ۱۵-۵ یک والو پروانه که با UHMWPE روکش شده نشان داده شده است. این والو همچنین با گیت روکش شده نیز ساخته

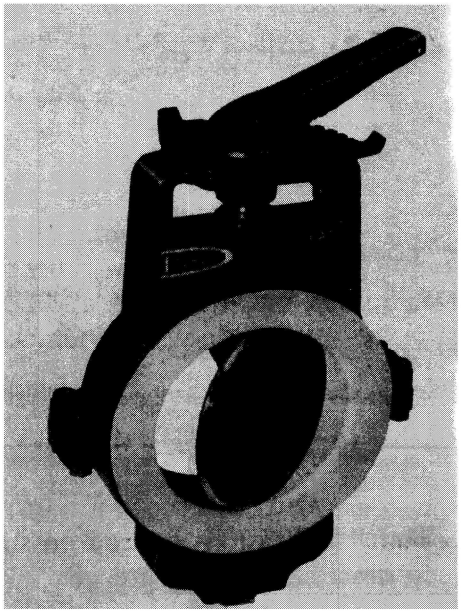
---

1- Sutures
2- Dentures
3- Brush bristle
4- Rayon
5- Penton
6- Fluidized bed
7- Alathon
8- Aeroflex
9- Tumbler

می‌شود، ولی تصویر آن ارائه نمی‌شود زیرا بخوبی آنرا نشان نمی‌دهد ( بیش از حد سفید رنگ است). پمپهایی که با UHMWPE روکش شده‌اند نیز وجود دارند، همینطور پروانهٔ پمپها که در UHMWPE، تفلون، و سایر پلاستیکها قرار داده شده‌است.

### ۳۰-۵ پلی پروپیلن

پلی پروپیلن ( موپلن )[۱]، پروفاکس[۲]، اسکان[۳] در ایتالیا تولید شد. دارای مقاومت حرارتی و خوردگی بهتری نسبت به پلی اتیلن بوده و همچنین از آن سخت تر است. برای ساخت والوها، بطری هایی که بوسیله حرارت استریل می‌شوند، لوله، اتصالات و قطعات اسکی چرخدار بچه ها[۴] بکار برده می‌شود.



**شکل ۱۵-۵ والو پروانه که با پلی اتیلن با وزن مولکولی بسیار بالا (UHMWPE) روکش شده است.**

---

1- Moplen
2- Pro-Fax
3- Escon
4- Scooter Parts

### ۵-۳۱ پلی استرین

پلی استرین ( استیرون )[۱]، لاست رکس[۲] برای کف پوشها، جلد باطریها، جریان سنج[۳]، بدنه رادیو، درپوش بطری و تجهیزات سرد کننده بکار برده می‌شود. دارای مقاومت شیمیائی خوبی بوده ولی برای بسیاری از کاربردهای ساختمانی خیلی ترد است. پلی استرین دارای مقاومت خوبی در اسید فلوریدریک است.

### ۵-۳۲ پلی وینیل کلراید (PVC)

این ماده اساساً سخت است لکن با اضافه کردن پلی وینیل استات و مواد نرم کننده[۴] می‌توان آنرا نرم نمود. PVC برای لوله و اتصالات، دودکش ها، پروانه، هواکش‌ها و پنکه ها، ورقه، مخازن، و روکش بکار برده می‌شود.

### ۵-۳۳ وینیل ها

تایگون[۵]، وینیلیت[۶]، پلیوفلکس[۷]، ساران[۸] و وینیلهای دیگر گروه معروف و مهمی هستند. اکثر آنها هم پلیمرهای وینیل کلراید و وینیل استات هستند. بعضی کاربردهای آنها عبارتند از: لوله و شیلنگ ها، ورقه های بسته بندی، کف پوش، الیاف، صفحه گرامافون، بارانی، شیلنگ باغبانی، و عایق کاری. شیلنگ آزمایشگاهی مثال متداولی است. با حرارت دادن یا بوسیله مواد چسبی آنها را می‌توان به یکدیگر متصل نمود. ورود ساران به عرصه صنعت در ۱۹۴۳ به موقع بود زیرا لوله های مسی و توریهای خانگی کمیاب شده بودند. ساران عموماً از وینیلیون کلراید تشکیل شده و از این جهت با اکثر وینیلها متفاوت است.

### ۵-۳۴ سایر ترموپلاستیکها

اینها عبارتند از ABS، استال ها ( درلین )، پلی کربنات ( لکسان )، پلی ایمید، پلی سولفون، پلی یورتان ( همچنین بصورت ترموست). به جدول ۵-۱۷ و ۵-۱۸

---

1- Styron
2- Lustrex
3- Flowmeter
4- Plasticizers
5- Tygon
6- Vinylite
7- Plioflex
8- Saran

مراجعه شود.

## ترموست ها

### ۳۵-۵ اپوکسی ها

اپون[۱]، دارکون[۲]، آرالدیت[۳] و اپوکسی های دیگر شاید بهترین مقاومت خوردگی و مکانیکی را تواماً دارا هستند. اپوکسی ها بصورت ریخته‌گری، اکستروژن، ورقه، مواد چسبنده، و بصورت پوشش مصرف می‌شوند. بعضی کاربردهای آنها عبارتند از: دستشویی ها، رویه میز، نیمکت، لوله، والو، پمپ ها، تانکهای کوچک، خمیرعایق کاری[۴]، مواد چسبنده، روکش ها، پوشش های محافظ، قالبهای شکل دادن فلز، مدارهای چاپی، عایق کاری و مخازن. رزینهای مایع را می‌توان داخل قالب ریخت ( مثل ریخته گری ) و بعد با حرارت دادن سخت نمود.

### ۳۶-۵ فنولیک ها[۵]

مواد فنولیکی ( باکلیت )[۶]، دارز[۷]، رزینوکس[۸] از قدیمی‌ترین و معروف ترین پلاستیکها هستند. این مواد عمدتاً بر اساس فنول فرم آلدئید هستند. باکلیت در اوایل قرن جاری بوسیله شخصی بنام باکلند بدست آمد. کاربردهای آن عبارتند از: بدنه رادیو، تلفن، دوشاخه و پریزهای برق، پمپها، والوها، سینی، سردلکو اتومبیل، غلطک و پوشش‌ها.

### ۳۷-۵ - پلی استرها

پلاستیکهای پلی استر ( میلار، داکرون، دیپول، ویبرین ) بخاطر استفاده در ماهوارهٔ " آینهٔ فضایی" ( اکو ) معرف عامه هستند. این ماهواره از پوستهٔ نازک و براق میلار ساخته شده بود. مقاومت خوردگی پلی استرها به پای اکثر پلاستیکها نمی‌رسد.

---

1- Epon
2- Durcon
3- Araldite
4- Potting compound
5- Phenolics
6- Bakelite
7- Durz
8- Resinox

یکی از استفاده های اصلی پلی استرها همانطور که در قسمت ۴۰-۵ اشاره شد در مواد تقویت شده یا مسلح می‌باشد. یک کاربرد معروف در جامه دان می‌باشد. بدنهٔ اتومبیل کوروت از پلی استری که با الیاف شیشه مسلح شده ساخته شده است.

### ۳۸-۵ سیلیکونها[۱]

سیلیکونها[۲] دارای مقاومت حرارتی بسیار خوبی هستند. خواص مکانیکی با تغییرات درجه حرارت تغییرات کمی می‌کند. یکی از مواد تشکیل دهنده این پلاستیکها سیلیسیم است و از این نظر با اکثر پلاستیکها متفاوت است. سیلیکونها بعنوان ترکیبات قالبگیری، رزینهای ورقه‌ای، بعنوان عایق در موتورهای برقی و تجهیزات الکترونیکی بکار می‌روند. مقاومت آنها در برابر مواد شیمیائی قابل توجه نیست.

### ۳۹-۵ اوره ها[۳]

اوره ها ( لاکسیت )[۴]، بیتل[۵]، آویسکو[۶]، دومین گروه مهم بعد از فنولیکها بودند که بدست آمدند. ماده اصلی آنها اوره و فرم آلدئید می‌باشد. مقاومت خوردگی خوبی نداشته و بعضی از کاربردهای آنها عبارتند از: ظروف و لوازم آشپزخانه، بدنه دستگاههای الکتریکی، جلد رادیو، درپوش ها و مواد چسبنده.

### ۴۰-۵ پلاستیکهای چند لایه‌ای و تقویت شده

این مواد معمولاً از رزینهای ترموست و پارچه، حصیر[۷]، کاغذ، یا الیافی مثل فیبر شیشه که متداول‌تراست تشکیل شده‌اند. خاصیت عمده این مواد این است که استحکام کششی آنها را تا ۵۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع می‌توان افزایش داد. در نتیجه نسبت استحکام به وزن بالائی بوجود خواهد آمد. بعضی موارد استفاده آنها عبارتند از: تانکها، لوله، دودکش، ورقه، میله، بدنه اتومبیل ( مثلاً اتومبیل کوروت )، قایق و قطعات موشک و سفاین فضائی.

یک محصول مهم دیگر که خیلی متداول است پمپهای ساخته شده از جنس

---

1- Silicones
2- Dow Corning
3- Ureas
4- Lauxite
5- Beetle
6- Avisco
7- Mats

پلاستیک مسلح (FRP) می‌باشد که در شکل ۱۶-۵ نشان داده شده است. مالینسون [۱] مقاومت سایشی FRP را در محیطهای خورنده مورد بحث قرار می‌دهد. یک مورد شامل یک زانو که حاوی "بخارهای اسیدی که کریستالیزه می‌شوند" می‌باشد بحث شده است. همچنین در مورد اندازهٔ ذرات، سختی، و اهمیت طراحی بحث شده است. در بعضی موارد یک مقدار ضخامت اضافی برای خوردگی سایشی ( مثل فلزات ) پیشنهاد شده است.

در یک مقاله تحت عنوان " رشد کامپوزیتها بوسیلهٔ الیاف جدید "[۲] الیاف کربن، آلومینا، آرامید، و سایر پلاستیکهای با استحکام بالا بحث شده است. پلاستیکهای مسلح با الیاف کربن برای استفاده در اتوموبیلها و تجهیزات دیگر تحت بررسی است (موقعی که قیمت مناسب باشد ). در اواخر دههٔ ۱۹۷۰ قیمت ۳۰۰ دلار بازای هر پوند بود و در موقع نوشتن این کتاب قیمت حدود ۲۰ دلار.

استفاده از بدنه های کامپوزیتی از جنس پلاستیک با الیاف گرافیتی در بوسترهای شاتل فضایی باعث کاهش وزن بمقدار ۳۸ تن می‌شود.

در اواخر دههٔ ۱۹۷۰ تجهیزات ساخته شده از پلاستیک مسلح (FRP) برای کار در شرایط شدیداً خورنده، بعلت کیفیت ضعیف در بسیاری موارد منجر به انهدامهای پر هزینه گردید ( بعضی تانکها با تانکهایی از جنس فولاد زنگ نزن جایگزین گردیدند ).

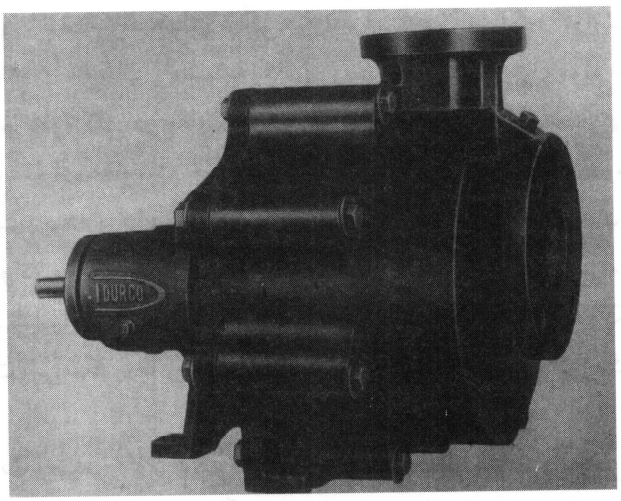
انستیتو تکنولوژی مواد (MTI) و انجمن صنایع پلاستیک برای حل این مشکلات مشترکاً تلاش نمودند. در این پروژه سازندگان، مصرف کنندگان و تولید کنندگان رزینها همکاری نمودند. این تحقیقات منجر به "گزارش نحوهٔ تکامل روشهای کنترل کیفیت پلاستیک های مسلح ترموست (RTP) برای استفاده در تجهیزاتی که بایستی در برابر خوردگی مقاوم باشند" گردید. این گزارش شامل RTP مقاوم در برابر خوردگی برای محیطهای خورنده نسبتاً شدید می‌باشد. MTI استاندارد تهیه نمی‌کند، ولی اطلاعات حاصله اساس پیشنهاد شده برای استاندارد ASME می‌باشد - در زمان نوشتن کتاب هنوز آماده نشده بود. این تلاشها منجر به تجهیزات مطمئن تری برای کار در واحدهای شیمیای خواهد شد.

یکی از اولین مواردی که FRP ( شیشه - فنولیک ) در زمینهٔ خوردگی در ژورنالها

---

1- J . H Mallinson, *Chem.Eng.*,143-146 (May 1982)

2- J. Chowdhury, *Chem. Eng.*,37-41 (Aug,1984).




شکل ۱۶-۵ پمپ FRP دارکو مارک II

ظاهر گردید در مقاله‌ای بوسیلهٔ نویسنده این کتاب تحت عنوان "لاستیک مصنوعی و پلاستیکها بعنوان مواد ساختمانی در صنایع شیمیایی" در سال ۱۹۴۶ بود. این مقاله همچنین اولین مقاله در این زمینه بود. در پیش نویس مقاله تفلون نیز وجود داشت ولی بوسیلهٔ مدیریت شرکت حذف گردید[1].

مراجع پیشنهادی جهت مطالعه:

Harper, C.A. ed.: Handbook of Plastics and Elastomers, McGraw-Hill Book company , New York, 1975.

Managing Corrosion with Plastics, Vol.5, NACE,1983 Modern Plastics Encyclopedia, McGraw.Hill Book company New York (latest edition)

1- M.G.Fontana.*Trans.AICHE*, Vol.42:pp.359-377(1946).

# غیر فلزات دیگر

## ۴۱-۵ سرامیکها

مواد سرامیکی ترکیباتی از عناصر فلزی و غیر فلزی هستند، یک مثال ساده یا MgO منیزیا می‌باشد. سرامیکهای دیگر عبارتند از: آجر، سنگ، کوارتز، یا اکسید سیلیس شیشه‌ای[۱] ، سفال[۲]، شیشه، کاشی رسی[۳]، چینی، بتن، مواد سنباده، ملات ها[۴] و نسوزها. بطور کلی در مقایسه با فلزات، سرامیکها در درجه حرارتهای بالاتری را تحمل می‌کنند، دارای مقاومت خوردگی و سایشی بهتر، از جمله مقاومت در برابر خوردگی سایشی بوده و عایقهای بهتری هستند. ولی تردتر بوده و استحکام کششی کمتری دارند و در معرض شوکهای حرارتی قرار می‌گیرند. اکثر مواد سرامیکی مقاومت خوبی در مواد شیمیایی دارند. استثنای اصلی در این مورد اسید فلوریدریک و قلیایی ها هستند. قطعات سرامیکی، به روش پرسکاری، اکستروژن یا بطریق کوزه‌گری[۵] ساخته می‌شوند.

تحقیقات وسیعی[۶] برای تولید سرامیکهای "بسیار مقاوم در برابر ضربه" مثل کاربید سیلیسیم، نیترید سیلیسیم، آلومینا، و زیرکونیا در جریان است. هدف اصلی آن است که تردی آنها را کاهش داد تا بتوانند در موتورهای دیزلی، توربینهای گازی و غیره بکار روند.

یک گزارش جامع در این رابطه راهنمای شمارهٔ ۹ انستیتو تکنولوژی مواد(MTI) تحت عنوان "مواد نسوز برای صنایع شیمیایی ( ۱۹۸۴ )" و قسمت تکمیلی آن استانداردهای ASTM می‌باشد.

**آجر مقاوم در برابر اسید**[۷] این ماده از خاک نسوز با مقدار اکسید سیلیسیم حدود ۱۰٪ بیشتر از آجر نسوز معمولی ساخته می‌شود. یکی از کاربردهای متداول آن برای جداره تانکها و مخازن برای جلوگیری از خوردگی بوسیله اسیدهای گرم یا خوردگی سایشی

---

1- Fused silica
2- Stoneware
3- Clay tile
4- Mortars
5- Slip casting
6- G.W. Graff, Ceramics : Primed for a Broader Industrial Role, *Chem.Eng.*,14-17 (July 1983).
7- Acidbrick

است. یک تانک فولادی با جداره آجری معمولاً دارای یک لایه وسطی سرب، لاستیک، یا پلاستیک است. موقع آجر چینی از سیمانهای مقاوم در برابر اسید و ملاتها[۱] استفاده می‌کنند. کف محیط هایی که در معرض ریختن اسیدها قرار دارند از این آجرها فرش می شود.

علاوه بر گزارش سالیانهٔ MTI، پیرس و زملر[۲] و شپارد[۳] استفاده از عایقهای مقاوم در برابر اسید را مورد بررسی قرار داده‌اند.

**چینی و سفال سنگی**[۴] هر دو اینها بخاطر مقاومت خوردگی خوبی که دارند کاربردهای وسیعی دارند. قطعات چینی معمولاً کوچکتر از قطعات سفالی هستند و همچنین تخلخل کمتری دارند، استحکام کشتی سفال سنگی و چینی ها حدود ۲۰۰۰ و ۵۰۰۰ پوند بر اینچ مربع است. سفالها برای ساخت دستشویی ها،کوزه ها[۵]، و مخازن دیگر، برجهای جذب کننده، لوله ها، والوها و پمپها بکار بره می‌شوند. برای ساخت این گونه قطعات از چینی هم می‌توان استفاده نمود ( مثلاً افشانکهای مورد استفاده برای پاشیدن اسید). چینی ها بطور وسیعی بعنوان عایق در شمع اتومبیل بکار می‌روند.

**خاک رس** محصولات خاک رس عبارتنداز آجر (ساختمانی، نسوز، فاضلاب)، آجر فرش، سفالینه قرمز[۶]، لوله، و کاشیهای سقفی و دیواری. بعضی اسیدهای گرم باعث خوردگی این مواد می‌گردند.

**شیشه** شیشه یک اکسید معدنی بی شکل ( آمورف ) است که عمدتاً از اکسید سیلیسیم تشکیل شده و موقع سرد شدن از حالت مذاب بدون آنکه کریستالیزه شود منجمد می‌گردد. وسایل شیشه‌ای آزمایشگاهی، مثل پیرکس[۷] خیلی معروفند، لوله و پمپ های

---

1- Mortars

2- R.R. Pieree and C.E Semler, Ceramic and Refractory Linings for Acid Condensation, *Chem.Eng.*,(part I :Dec.12,1983; part II :Jan.23.1984)

3- W.L.Sheppard, Spotting and Avoiding Problems with Acid-Resistance Brick, *Chem.Eng.*, 107-110 (may 3. 1982)

4- Stoneware & Porcelain

5- Crocks

6- Terra-Cottas

7- Pyrex

شیشه‌ای نیز وجود دارند. شفافیت باعث کاربرد آن در جریان سنج ها[۱] می‌شود. الیاف شیشه‌ای بطور وسیعی در فیلترها، عایق کاری، و پلاستیکهای تقویت شده بکار برده می شوند. همچنین در آب داغ نیز خوردگی کمی مشاهده می‌شود.

ترکیبات شیمیایی مختلفی در مورد شیشه ها وجود دارد. اصلاح کننده ها ( مثل CaO )، فلاکسها ( مثل $B_2O_3$ )، و پایدار کننده ها ( مثل $AL_2O_3$ ) برای بدست آوردن خواص مختلف از جمله مقاومت در برابر خوردگی به شیشه اضافه می‌شوند. تاریخچه حرارتی (مثلاً نوع عملیات حرارتی ) نیز بر خواص شیشه تأثیر می‌گذارد.

آزمایشات خوردگی روی پودر انجام می‌شود که در آن مقدار قلیای خارج شده اندازه گیری می‌شود. آزمایشات اندازه گیری تقلیل وزن ( شبیه فلزات ) نیز انجام می‌شود. خوردگی ممکن است یکنواخت یا انتخابی و موضعی ( بخاطر جدایش فازی ) باشد. موقعی که شیشه بوسیلهٔ آب داغ خورد می‌شود، شیشه بطریق معمول در آب حل نمی‌شود، بلکه با هیدرولیز شدن تجزیه می‌شود. بسته به ترکیب شیمیایی شیشه، مقاومت در برابر آب بین ضعیف تا عالی تغییر می‌کند.

برای درک عمیق شیشه به مقالهٔ فیلبرت و هیر مراجعه شود[۲]. این مقاله اطلاعات جامع فراوانی ارائه می‌دهد شامل اطلاعات خوردگی، ترکیبات، ساختمانها و ۱۰۷ مرجع.

یک کاربرد جالب توجه شیشه عایق های سطحی پیشرفته، چند بار مصرف، قابل انعطاف ( AFRSI ) روی شاتل فضایی که با دماهای ۱۵۰۰ درجهٔ فارنهایت مواجه می‌شود می‌باشد[۳]. "پتوهای " به ابعاد ۳۶×۳۶ اینچ متشکل از شیشهٔ سیلیسی در قسمت بیرونی، یک لایهٔ میکروکوارتز در وسط، و پارچهٔ شیشه‌ای در بیرون. این لایه ها بوسیلهٔ چسب سیلیکونی به یکدیگر متصل می‌شوند.

**اکسید سیلیس شیشه‌ای [۴] یا کوارتز ذوب شده**[۵] این ماده که تقریباً اکسید سیلیسیم خالص است دارای خواص حرارتی بهتری نسبت به اکثر سرامیکها بوده و دارای

---

1- Flowmeters

2- A.M.Filbert and M.L Hair, Surface Chemistry and Corrosion of Glass, *Advances in Corrosion science and Technology* , Vol.5, PP.1-54 Plenum press, New York , 1976

3- R.M. Hoppe, *Chem.Eng.*, 29-32 (Aug . 1982).

4-Vitreous Silica

5- Fused quartz

مقاومت خوردگی عالی در درجه حرارتهای بالا می‌باشد. برای لوله های استوانه‌ای، مشعلها، محفظه واکنش، جاذب ها[1]، لوله و غیره بکار برده می‌شود، مخصوصاً در مواردی که آلودگی محصول نامطلوب است.

**بتن** تانکها و لوله های بتنی برای محیطهای نسبتاً خورنده معروفند. چنانچه محیط خورنده تر باشد، بتن را با پوشش یا روکشهای مختلف محافظت می‌کنند.

درجدول ۱۹-۵ بعضی خواص چند مادهٔ نسوز نشان داده شده است. این مواد را مواد نسوز سوپر نیز می‌نامند. دارای مقاومت در برابر فلزات مذاب، سرباره ها و گازهای داغ می‌باشند. آلومینا[2] بخاطر سختی بالا و مقاومت سایشی و خوردگی خوب برای پمپها و والوها کاربرد وسیعی پیدا نموده است. کاربید سیلیسیم برای افشانکهایی که برای پاشیدن اسید سولفوریک بکار می‌رود مناسب است. بحث بیشتر مواد نسوز به فصل ۱۱ موکول می‌گردد.

## ۴۲-۵ کربن و گرافیت

کربن و گرافیت بخاطر دارا بودن هدایت حرارتی والکتریکی خوب در بین غیر فلزات منحصر بفرد هستند. مقاومت عالی کربن و گرافیت در برابر شوکهای حرارتی در اثر هدایت حرارتی بالای آنها می‌باشد. کاربردهای آنها عبارتند از: مبدلهای حرارتی، برجها[3]، پمپها و آندهای حفاظت کاتدی با اعمال جریان خارجی کربن و گرافیت در بسیاری از محیطهای خورنده مقاوم هستند. در مقایسه با فلزات، ضعیف و ترد هستند. استحکام کششی آنها بین ۵۰۰ تا ۳۰۰۰ پوند بر اینچ مربع متغیر است و مقاومت ضربه‌ای آنها تقریباً صفر است. مقاومت سایشی کربن و گرافیت ضعیف است. پایداری حرارتی آنها خوب است و می‌توان آنها را بین ۴۰۰۰ تا ۵۰۰۰ درجه فارنهایت بکار برد مشروط بر آنکه در مقابل اکسید اسیون ( سوختن ) محافظت شوند. پوششهائی با پایه سیلیسیم (سیلیسیدها، یا کاربید سیلیسیم ) و پوششهایی ایریدیم باعث حفاظت تا ۲۹۰۰ درجهٔ فارنهایت می‌گردد.

کربن مقاومت خوبی در برابر مواد قلیایی و اکثر اسیدها دارد. اسیدهای اکسید

---

1- Absorber
2- $Al_2O_3$
3- Columns

## جدول ۱۹-۵ بعضی خواص نسوزها

| | $99\% AL_2O_3$ زینتر شده | اکسید زیرکونیم پایدار شده | کاربید سیلیسیم | مولیت | اکسید منیزیم* |
|---|---|---|---|---|---|
| نقطهٔ خمیری، °F | ۳۶۵۰ | ۴۷۰۰ | — | ۳۳۰۰ | ۴۸۰۰ |
| حد مجاز کاربرد، °F | ۳۳۰۰ | ۴۴۰۰ | ۲۰۰۰ | ۳۰۰۰ | محیط اکسید کننده ۴۱۷۰<br>محیط احیاء کننده ۴۱۰۰ |
| مدول پارگی $Lb/in^2$ | ۲۰۰۰ | ۱۹۰۰ | ۲۰۰۰+ | ۱۵۰۰ | ۲۵۰۰ |
| سختی موز● | ۹ | ۷ | ۹/۶ | ۶/۵ | ۶ |
| مقاومت در برابر شوک حرارتی | متوسط | متوسط | خوب | خوب | ضعیف |
| | — | — | — | — | — |
| قیمت نسبی | ۳/۱ | ۱۰ | ۲/۱۰ | ۱ | ۲/۸ |

* نسوزهای پایهٔ منیزیم مقاومت ضعیفی در اسیدهای داغ دارند.

● در این مقیاس سختی بین ۱ تا ۱۰ قراردارد، تالک = ۱، فولاد کم کربن = ۴، الماس = ۱۰

+ در °F ۲۵۰۰.

کننده مثل اسید نیتریک، سولفوریک غلیظ و اسید کرومیک باعث خوردگی آن می‌شوند. فلور، ید، برم، کلر، و دی اکسید کرم احتمالاً باعث خوردگی کربن می‌شوند. کربیت[1]، (اسم تجارتی)، گرافیتی است که ذرات آن بوسیله رزین به یکدیگر متصل شده‌اند، و در صنایع شیمیای کاربرد وسیعی پیدا کرده است. کاربرد گرافیت در راکتورهای هسته‌ای معروف است.

گرافیت پیرولیتیک، که یک ماده متراکم، و غیر ایزوتروپ است دارای استحکام و مقاومت اکسید اسیون بهتری نسبت به انواع معمول تر کربن می‌باشد.

### ۴۳-۵ چوب سرو [2]

کاج[3]، بلوط[4] و چوب قرمز بیشتر از بقیهٔ چوبها برای کاربردهای خوردگی بکار می رود. چارچوب فیلترهای پرسی، اجزأ ساختمانی، بشکه ها و تانکها غالباً از چوب

1- Karbate
2- Cypress
3- Pine
4- Oak

ساخته میشوند. مخازن چوبی را بایستی مرطوب نگه داشت در غیر اینصورت تخته‌های خمیده منقبض شده و می‌تابند ( می‌پیچند ) و در نتیجه نشت ایجاد خواهد شد. بطور کلی از نظر کاربردهای خوردگی، چوب محدود به آب و مواد شیمیائی رقیق است. اسیدهای قوی، اکسید کننده و قلیایی های رقیق باعث خوردگی چوب می‌شوند. همچنین چوبها در معرض خوردگی بیولورژیکی هستند. آغشته و اشباع نمودن آنه با مومها[1] و پلاستیکها باعث تقلیل خوردگی شیمیایی و بیولوژیکی می‌گردد.

## مراجع پیشنهادی (فلزات شیشه‌ای)


Diegle, R. B., Sorensen, N. R., Tsuru, T., and Latanision, R. M.: The Corrosion Resistance of Glassy Alloys. *Treatise on Materials Science and Technology*, J. C. Scully, ed., Academic Press, New York, 1983.

Gilman, J. J.: *Phys. Today*, **28**, (May 1975); general description.

———: *J. Appl. Phys.*, **46**:1625 (1975); mechanical properties.

Naka, M., K. Hashimoto, and T. Masumoto: *J. Japan Inst. Metals*, **38**:835 (1974) and *Corrosion*, **32**:146 (1976); corrosion resistance.

Tsuru, T., and Latanision, R. M.: Corrosion Resistance of Microcrystalline Stainless Steels, *J. Electrochem. Soc.* **129**:1402–1408 (1982).

Viswanadham, R. K., J. A. S. Green, and W. G. Montague: *Scripta Met.*, **10**:229 (1976); hydrogen embrittlement.


1- Waxes