Archive of SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز بررسی اطلاعات علمی

ICOPMAS

www.SID.ir
www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

# کاربرد آلیاژهای آلومینیم در سکوهای دریایی

فیروز جهانبخش (۱)، عباس فرشچیها (۱)، فخرالدین اشرفی‌زاده (۲)

(۱) شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان

(۲) دانشیار، دانشکدهٔ مهندسی مواد - دانشگاه صنعتی اصفهان

## چکیده

آلومینیم و آلیاژهای آن بخاطر خصوصیات کم نظیرشان مانند صرفه‌جویی در وزن و هزینه، روز به روز کاربرد بیشتری در تمامی ابعاد صنعت پیدا می‌کنند. صنایع دریایی و بخصوص سکوهای دریایی هم از این قاعده مستثنی نیستند. آلومینیم ماده درجه دومی نیست و در مقایسه با سایر مواد خواص ویژه و اغلب بالاتری دارد که فقط با روشهای سنجیده می‌تواند بصورت کامل و به صرفه بهره‌برداری شود. استفاده از آلومینیم در سازه‌ها، عمر کار آنها را تقریباً نامحدود می‌کند و شکل‌ها و مزایای صنعتی زیادی به آنها می‌بخشد.

در تحقیق حاضر، شناسایی آلیاژهای مناسب آلومینیم برای مصارف دریایی و تکنولوژی اسکله‌ها صورت گرفته و نهایتاً آلیاژهای ۵۰۸۳، ۶۰۶۱، ۶۰۶۳ آلومینیم بعنوان برترین‌ها معرفی گردیده‌اند.

همچنین مناسبترین کاربرد هر یک از این آلیاژها به همراه بهترین روش ساخت و شکل‌دهی قطعات تهیه شونده از آنها مورد بحث و بررسی قرار گرفته و در پایان بخشی نیز به بررسی خوردگی آلیاژهای آلومینیم در آب‌دریا اختصاص یافته است.



www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

## مقدمه

شرط اصلی گسترش روزافزون کاربردهای آلومینیم، در اختیار داشتن روشهای عملی بر روی این فلز جدید و تنوع‌پذیر است که هم برای ماده و هم برای هدف مورد نظر مناسب باشد. ترکیب وزن کم، استحکام کافی و مقاومت به خوردگی خوب از آلومینیم یک فلز ایده‌آل و مناسب برای ساختار سکوها و سیستمهای الحاقی آنها می‌سازد. اولین و تاکنون تنها سکویی که تماماً از آلومینیم ساخته شده است، در حدود سال ۱۹۵۷ در دریاچه Maracaibo و نزوئلا نصب گردید. همچنین عرشه هلیکوپترها از حدود سال ۱۹۷۰ کاملاً از جنس آلومینیم ساخته شده‌اند. در اینجا انگیزه اصلی از بکارگیری آلومینیم صرفه‌جویی وزنی آن در مقایسه با فولاد است زیرا در عمل با استفاده از آلیاژهای قابل جوشکاری آلومینیم که دارای استحکامی مساوی یا قابل مقایسه با فولاد ساده کربنی هستند، ساختمانهایی با استحکام برابر می‌توان طراحی نمود که در آنها بین ۴۰ تا ۷۰ درصد صرفه‌جویی وزنی صورت گرفته باشد بهرحال در مقابل مدول الاستیسیته کمتر آلومینیم و کمبود قابل توجه حد انحنا، نرمال آن، کاهش وزن قابل دستیابی است.

بعنوان مثال گفته شده که در یک مدول رفاهی کوچک هشت نفره بیش از ۴۰ درصد صرفه‌جویی وزنی نسبت به ساختار مشابه فولادی انجام گرفته است. علاوه بر پتانسیل صرفه‌جویی وزنی با استفاده از آلومینیم، صرفه‌جویی در قیمت نیز قابل حصول است، این موضوع از طریق هزینه تعمیر بسیار کمتر تامین می‌گردد. همچنین هزینه نصب قطعات آلومینیمی در سکوها پایین‌تر از فولاد بوده و آلیاژهای انتخابی آلومینیم نیاز به رنگ‌آمیزی یا دیگر محافظ‌ها در برابر محیط ندارند.

آلومینیم ماده درجه دومی نیست و در مقایسه با سایر مواد خواص ویژه و اغلب بالاتری دارد که فقط با روش‌های سنجیده می‌تواند بصورت کامل و بصرفه بهره‌برداری شود. استفاده از آلومینیم در سازه‌ها، عمر کار آنها را تقریباً نامحدود می‌کند و شکل‌ها و مزایای صنعتی زیادی به آنها می‌بخشد. مثالهایی که از خواص و موارد استفاده آلومینیم می‌توان زد تقریباً بیشمار است، اما در هر حال استفاده صحیح از مواد و بکارگیری فرایندهای مناسب در تولید آنها شرط اولیه و اساسی برای تحقق یافتن تواناییهای این فلز است.

## آلومینیم

آلیاژهای آلومینیم به دلیل داشتن چند خصوصیت بارز، موارد استفاده متعددی در دریا، هوا - فضا و مهندسی عمومی کسب کرده‌اند. این خواص شامل موارد ذیل هستند:

الف) وزن مخصوص کم

وزن مخصوص آلومینیم $۲/۷gr/cm^۳$ است که در مقایسه با فولاد $۷/۸gr/cm^۳$ و مس $۸/۹gr/cm^۳$ از استحکام ویژه بالاتری برخوردار می‌باشد. همچنین می‌توان مقاطع را از جنس آلومینیم منتهی ضخیمتر ساخت تا در مقایسه با فولاد دچار تغییر شکل کمتری شود.

ب ) انتقال حرارت بالا

از این نظر آلومینیم بعد از مس قرار دارد و بنابراین در ساخت مبدلهای حرارتی و هواسازها استفاده می‌شود.



www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

ج) هدایت الکتریکی بالا

ضریب هدایت الکتریکی آلومینیم ۶۰٪ ضریب هدایت مس است، پس اگر سطح مقطع یک کابل آلومینی را دو برابر سطح مقطع یک سیم مسی در نظر بگیریم، به یک اندازه جریان را عبور می‌دهند. از آنجام که وزن مخصوص آلومینیم خیلی کمتر از مس است، طول بیشتری از کابل آلومینیمی را می‌توان بین دو دکل قرار داد.

د) مقاومت خوردگی

آلومینیم بخاطر داشتن یک لایه نازک اکسید $Al_2O_3$ مقاومت خوردگی بالایی دارد. این لایه اکسید غیر متخلخل است و با چسبندگی زیادی که به آلومینیم دارد فلز را در برابر اکسیژن، آب و بعضی مواد شیمیایی مثل اسید نیتریک محافظت می‌نماید.

چنانچه بدلایلی این فیلم اکسید صدمه ببیند، در معرض اکسیژن هوا بسرعت ترمیم می‌شود. در صورتیکه مقاومت بیشتری از آلومینیم مورد انتظار باشد می‌توان ضخامت لایه اکسید را با روشی بنام آندیزه کردن افزایش داد. مورد اخیر در قسمتهای بعد بیشتر توضیح داده خواهد شد.

## ۱- طبقه‌بندی آلیاژهای آلومینیم

### ۱-۱- آلیاژهای کار شده آلومینیم

از یک سیستم عددگذاری چهار رقمی برای مشخص کردن آلومینیم کار شده و آلیاژهای کار شده آلومینیم استفاده می‌شود. اولین رقم از سمت چپ گروه آلیاژ را مشخص می‌کند. دو رقم آخر هم مشخص کننده آلیاژ آلومینیم و یا خلوص آن هستند. رقم دوم نشاندهنده اصلاحات انجام گرفته روی آلیاژ اولیه و یا حدود ناخالصی می‌باشد.

جدول (۱) گروههای آلیاژهای آلومینیم کار شده را لیست کرده است.

### ۱-۲- آلیاژهای ریختگی آلومینیم

یک سیستم عددگذاری چهار رقمی برای شناسایی آلومینیم و آلیاژهای آن در حالت ریختگی و شمش‌های ریخته شده بکار می‌رود. اولین رقم مشخص کننده گروه آلیاژ است. دو رقم بعدی نشاندهنده آلیاژ آلومینیم و یا مشخص کننده خلوص آن هستند. آخرین رقم که بوسیله یک نقطه از دیگران جدا می‌شود، حالت محصول را نشان می‌دهد، مثلاً قطعه ریختگی یا شمش . اصلاحات انجام گرفته روی آلیاژ اولیه یا حدود ناخالصی، بوسیله یک سری حروف که قبل از استاندارد عددی قرار می‌گیرند، مشخص می‌گردد، حرف X برای آلیاژهای آزمایشی استفاده می‌گردد. بهرحال، آلیاژهای ریختگی آلومینیم در اکثر موارد بوسیله یک عدد سه رقمی شناخته می‌شوند. جدول (۲) گروههای ریختگی آلیاژهای آلومینیم را لیست کرده است.



www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

## ۲- انتخاب مواد آلومینیمی برای استفاده در سکوهای دریایی

انتخاب آلیاژهای آلومینیم برای استفاده در سکوهای دریایی نیازمند ترکیب خواص مختلفی نظیر استحکام، مقاومت خوب در برابر خوردگی و دوام آن، سهولت تولید و در دسترس بودن می‌باشد. مجموعه این خواص ما را به سمت استفاده از آلیاژهای سری ۵XXX و ۶XXX راهنمایی می‌کند که برای سکو بسیار مناسبند. علاوه بر مقاومت خوب در برابر خوردگی که توسط آزمایش این امر در محیط دریا نشان داده شده است، هر دو سری آلیاژها دارای سطح قابل قبولی از استحکام هستند، گرچه پس از جوشکاری مقداری از استحکام از بین می‌رود. آلیاژهای سری ۵XXX در اغلب موارد به شکل ورق با مشخصات گوناگون در دسترس هستند اگرچه بصورت لوله‌های توخالی و اشکال ساده اکستروژن نیز موجود می‌باشند. آلیاژهای سری ۶XXX اکثراً بشکل محصولات اکسترود شده (شامل پروفیلهای ساده و پیچیده) و صفحه و ورق تهیه می‌گردند.

اثر توام خصوصیات مطلوب و در دسترس بودن آلیاژهای آلومینیم باعث شده که آلیاژهای ۵۰۸۳ و ۶۰۸۲ برای ساختمانهای بزرگی که در محیط دریا قرار می‌گیرند، استفاده شوند. در جداول (۳) و (۴) نمونه‌هایی از ترکیب شیمیایی و کابردهای آلیاژهای گروه ۵XXX و ۶XXX آورده شده است.

### ۲-۱- آلیاژ ۵۰۸۳

آلیاژ ۵۰۸۳ مستحکمترین آلیاژ غیرقابل عملیات حرارتی در کاربردهای تجارتی عمومی است. آن یک آلیاژ آلومینیم - منیزیم (۴ الی ۴/۹%) همراه با منگنز اضافه شونده‌ای مابین ۰/۴ تا ۱% می‌باشد. استحکام برای این آلیاژ باکار سرد بدست می‌آید، ۰/۲ درصد استحکام تسلیمی که مابین ۲۱۵ و ۲۷۰N/mm$^2$ قابل دستیابی است، بستگی به مقدار کار سرد دارد. لیکن این استحکام در هنگام جوشکاری کاهش می‌یابد، بنابراین ۰/۲% استحکام تسلیم تا حد مواد آنیل شده یعنی ۱۲۵N/mm$^2$ کاهش خواهد یافت. البته این مسئله مانع استفاده از ماده در حالت جوشکاری شده نمی‌گردد و آن بارها در مجتمع‌های جوشکاری شده نظیر قسمتهای فوقانی کشتی‌ها و .... بکار رفته است.

### ۲-۲- آلیاژ ۶۰۸۲

آلیاژ ۶۰۸۲ شامل آلومینیم، منیزیم (۱/۲% تا ۰/۶)، سیلیسیم (۱/۳% تا ۰/۷) و منگنز (۱% تا ۰/۴) می‌باشد. آن یک آلیاژ قابل عملیات حرارتی بوده و انجام عملیات حرارتی سبب ایجاد رسوب در آن می‌گردد که به آلیاژ یک استحکام افزایش یافته می‌بخشد. آلیاژ را در سه حالت می‌توان تهیه کرد: آنیل شده (O)، عملیات انحلالی شده و بطور طبیعی پیر شده (T۴) و عملیات انحلالی شده و پیرشده بطور مصنوعی (T۶). اینکار یک دامنهٔ ۰/۲% تنش تسلیم از ۱۱۰ تا ۲۴۰N/mm$^2$ می‌دهد. لیکن، جوشکاری استحکام را در داخل منطقه متاثر از حرارت کاهش می‌دهد، بطوریکه مابین ۷۵% - ۵۰ از قطعاتی که کاملاً سخت شده‌اند دارای ۰/۲% استحکام تسلیمی بین ۱۶۵ تا ۲۰۰N/mm$^2$ می‌شوند. بکمک اصلاح تکنیک جوشکاری، بعدها به مقادیر بالاتری از استحکام دست یافتند. جوشکاری این آلیاژ راحت است و مقاومت به خوردگی خوبی دارد و مستعد به خوردگی توام با تنش نیست. از این آلیاژ در المانهایی که تحت تنش‌های زیاد قرار می‌گیرند در



www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

کشتی‌سازی، ساختارهای مهندسی، حمل و نقل و غیره استفاده شده است. این ماده برای اکستروژن شدن بسیار مناسب بوده و بنابراین به شکل میله، شمش، مقاطع توخالی و تیوب در دسترس می‌باشد.

### ۲-۳- آلیاژهای ۶۰۶۳/۶۳۵۱/۶۰۶۱

این سه آلیاژ هم مثل آلیاژ ۶۰۸۲ جزء آلیاژهای قابل عملیات حرارتی آلومینیم، منیزیم، سیلیسیم هستند. آلیاژ ۶۰۶۱ با سیلیسیم تا ۰/۸ درصد و منیزیم تا ۱/۲ درصد و مس اضافه شونده (حداکثر ۰/۴ درصد) استحکامی قابل مقایسه با ۶۰۸۲ دارد که می‌توان برابری آنها را مورد ملاحظه قرار داد. آلیاژ ۶۳۵۱ با منیزیم کاهش یافته (۰/۸ درصد تا ۰/۴) اما سیلیسیم بیشتر (۱/۳ درصد تا ۰/۷) نیز استحکامی شبیه به آلیاژ ۶۰۸۲ دارد، ولی کاهش خفیفی در میزان خوردگی آن مشاهده می‌گردد. آلیاژهای ۶۰۶۱ و ۶۳۵۱ و ۶۰۶۳ قابلیت جوشکاری داشته و کاربردهای وسیعی در تمامی انواع ساختمانها پیدا کرده‌اند. آلیاژ ۶۰۶۳ استحکام کمتری دارد ولی برای اکسترود شدن در مقاطع پیچیده مناسبتر می‌باشد.

آلیاژهای انتخابی آلومینیم بطور موفقیت‌آمیزی برای ساختمانهای دریایی با طول عمر زیاد مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اولین آلیاژهای آلومینیم که برای سرویس‌دهی دریایی بکار گرفته شدند ۵۰۵۲، ۵۰۵۶، ۶۰۶۱ بودند. بعدها آلیاژهای قابل جوشکاری با استحکام متوسط نظیر ۵۰۸۳، ۵۰۸۶، ۵۳۵۶، ۵۴۵۴، ۵۴۵۶، ۵۱۵۴ توسعه یافته و برای سرویس‌دهی در محیط آب دریا مناسب تشخیص داده شدند.

آلیاژ ۶۰۶۱ بخاطر سهولت تولید و ترکیب مناسب استحکام و تافنش، و نیز بدلیل مقاومت خوب در مقابل خوردگی دریایی و توانایی‌هایش در شکل‌دهی پیچیده احتمالاً در بیشتر مصارف انتخاب می‌گردد. این آلیاژ در آب دریا با سرعتی حدود سال / اینچ ۰/۰۱ حفره‌دار می‌شود، ولی می‌توان بوسیله رنگ‌آمیزی یا ایجاد حفاظت کاتدی و یا هر دو از حفره‌دار شدن آن جلوگیری کرد یا آن را کاهش داد.

آلیاژهای خیلی پر استحکام سری ۷XXX (مخصوصاً ۷۰۷۵، ۷۰۷۹) بطور رضایتبخشی در قطعاتی که بطور متناوب و یا برای مدت زمانهای کوتاهی در معرض آب دریا قرار می‌گیرند بکار رفته‌اند، البته بایستی توجه زیادی به پوشش رنگ که با حفاظت کاتدی تکمیل شده، داشته باشیم.

آلیاژهای آلومینیم از عمر خستگی مشابه با فولادها برخوردار نیستند، آنها به یک خط مجانب سطح تنشی که در زیر آن بتوانند تعداد نامحدودی سیکل تنش تحمل کنند، نمی‌رسند. این موضوع اهمیت خاصی ندارد، لیکن در ساختمانهایی که خستگی جزو معیارهای طراحی باشد نمی‌توان از آنها استفاده کرد. حضور شکافهای و ترکها و آب‌دریا، عمر خستگی آلیاژهای آلومینیم را کاهش می‌دهد، این موضوع در شکل (۱) نشان داده شده است.

آلیاژهای کم استحکام آلومینیم از سری ۵XXX بطور رضایتبخشی جوشکاری می‌شوند ولی آلیاژهای پراستحکام آن را جز در شرایط بخصوصی نمی‌توان جوشکاری نمود. بخاطر محدودهٔ وسیع ذوب که منجر به ایجاد ترک گرم در مناطق جوشکاری شده می‌گردد، آلیاژهای پراستحکام را نمی‌توان در مناطق ضخیم جوشکاری کرد. جوشکاری این آلیاژها همچنین آنها را مستعد خوردگی و شکنندگی می‌نماید.

سطوح صدمه دیده ساختارهای آلومینیمی کم استحکام، به راحتی قابل مرمت هستند لیکن بازسازی ساختمانهای بدنه از



www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

جنس آلومینیم پراستحکام اگر غیرممکن نباشد، کار مشکلی است. ساختمانهای غیربدنه‌ای می‌توانند بوسیله پرچکاری و یا پیچ و مهره بازسازی شوند.

### ۳- موارد کاربرد آلومینیم در سکوها

جدیدترین زنجیرهای مخصوص استفاده در محیط دریا که با قابلیت اقتصادی ساخته شده‌اند، از یک آلیاژ غیرقابل عملیات حرارتی تهیه می‌گردند. مثلاً زنجیر آلومینیمی جوشکاری شده تقریباً ۶۰ درصد ظرفیت تحمل بار زنجیری از جنس فولادکربنی با ابعاد مشابه را داراست، ولی وزن آن ۶۵ درصد کمتر است. امکان صرفه‌جویی وزنی بوسیله جایگزینی زنجیری از فولادکم‌کربن با زنجیر آلومینیمی دارای استحکام مشابه پدید می‌آید. بعنوان مثال، زنجیری از جنس فولادکربنی با ضخامت $\frac{3}{8}$ اینچ و زنجیری از جنس آلومینیم جوشکاری شده به ضخامت $\frac{1}{2}$ اینچ تقریباً ظرفیت یکسانی دارند. توسعه مصرف زنجیرهای آلومینیمی ریختگی و جوشکاری شده که از آلیاژهای قابل عملیات حرارتی ساخته شده‌اند، برای جاهایی که انتظار استحکام بیشتر و وزن کمتر می‌رود، پیشنهاد می‌گردد.

امروزه موارد عمده استفاده از آلومینیم در سکوهای دریایی عبارتند از :

الف) روکش‌های فلزی

ب ) دیواره‌های مقاوم به آتش، انفجار، طوفان

ج ) پایه‌های قرارگرفته در گل و لای کف دریا

د ) پل‌های ارتباطی

ه ) سیستمهای الحاق قسمتهای مختلف

و ) سیستمهای تصفیه هوا

ز ) جفت کننده‌های داخلی

ح ) سکوی نشست و برخاست هلیکوپترها

ط ) مدولهای رفاهی کارکنان

ی ) مدولهای چند منظوره

ک ) نرده‌های محیط سکو و نردبانها

این موارد بصورت شماتیک در شکل (۲) مشاهده می‌گردد.

### ۴- شرایط و محدودیتهای طراحی

برای رسیدن به یک طرح اقتصادی و عملی در استفاده از آلومینیم، نکته اساسی این است که انتظارات از طرح در حد و اندازه ماده باشد و طراح فکر خود را از آغاز بر روی آلومینیم متمرکز کند و در پی آن نباشد که آلومینیم را روی یک طرح فولادی بخوراند. برای رسیدن به این هدف نباید از آلومینیم با در نظر گرفتن بالاترین خواصش استفاده کنیم و یک طرح ناموفق از Stiffness کمتر و از دست رفتن استحکام آلومینیم هنگام جوشکاری نتیجه می‌شود. بنابراین ماکزیمم کردن



www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

خواص آلومینیم از طریق اپتیمم کردن روش طراحی نظیر استفاده از اکستروژنها و تولید قطعات Stiff ولی سبک وزن یک اصل خواهد بود.

هنگامیکه از طراحی ساختارهای مقدماتی آلومینیمی فارغ شدیم. ترکیب اسکلت‌بندی معمولاً با طرحهای فولادی اختلاف جزئی دارد. این یکی از راههای مهم کاهش دادن بار موثر است مثل محدودکردن پیچش‌ها به کمتر از $\frac{1}{200}$ آنچه که توسط BS ۸۱۱۸[1] مجاز شمرده شده. این موضوع وقتی اهمیت می‌یابد که طراحی با آلومینیم که در آن اجزاء هنوز از نظر اندازه و ضخامت افزایش نداشته‌اند، سبب ایجاد خمیدگی و خطاهایی مثل فاکتورهای بهره‌دهی پایین گردد. مادامیکه انحناء خفیفی مشاهده می‌گردد، میزان استحکام استاتیکی طرح باید حتی‌الامکان در محدود، ایمنی ماکزیمم گردد.

## ۵- طراحی اکستروژن

پروسس اکستروژن آلیاژهای آلومینیم، به طراح قابلیتهایی را عرضه می‌کند که اغلب با سایر مجموعه‌های ماده و شکل قابل دستیابی نیست. مقاطع اکسترود شده هر تکه‌ای از یک ساختار طراحی شده را بخود می‌پذیرند. استفاده از این پروسس به همراه جوشکاری مکانیزه ما را قادر می‌سازد اجزاء ساختمانی بزرگ و چندکاره را بطور اقتصادی همراه با اتصالات متمم تولید کنیم. عرشه هلیکوپترها (Helideck) وقتیکه از مقاطع اکسترود شده توخالی با اجزاء تکمیل کننده اتصال ساخته شوند، به سادگی تهیه شده و بسرعت نصب می‌گردند. اندازه مقطع و حد و اندازه ظاهری اجسام که بهرحال نامحدود نیست، بوسیله جنبه‌های مخصوصی از پروسس اکستروژن تحت قید و بند قرار می‌گیرد.

### ۵-۱- آلیاژ

مقاطع اکسترود شده اکثراً از آلیاژهای سری ۶XXX ساخته می‌شوند، که می‌توانند بعداً تحت عملیات حرارتی تمپرینگ T۴ یا T۶ قرارگیرند تا استحکام آنها بهبود یابد. برای مقاطع نازکتر و پیچیده آلیاژ ۶۰۶۳ بکار می‌رود. لیکن در برخی موارد مقاطع ساده از آلیاژهای سری ۵XXX غیرقابل عملیات حرارتی که در شرایط تمپر F ساخته شده‌اند، اکسترود می‌گردند.

### ۵-۲- طراحی مقطع و شکل‌ظاهری

طراحی یک مقطع اکسترود شونده در دو مرحله به انجام می‌رسد، نخستین مرحله رسیدن به استحکام ساختمانی مورد نیاز است و مرحله دوم اصلاح و بهبود وظایف محوله به مقطع نظیر کاهش دادن مراحل ساخت بعدی یا پذیرفتن الصاق اجزای دیگر، خواهد بود. مقاطع نازک را می‌توان بطور موضعی توسط اضافه کردن عوامل محکم کننده، تقویت نمود. مقاطع اکسترود شده می‌توانند جفت شوند و یا در یکدیگر فیت (Fit) گردند، بنابراین چرخش یا حرکت لغزشی مابین اجزاء و المانها قابل انجام است.

---

۱- BS۸۱۱۸ کد استاندارد ساختارهای آلومینیمی برای موارد طراحی عمومی می‌باشد. گرچه برای محاسبه تنش الاستیک اولیه آن CP۱۱۸ نیز کارآئی دارد.



www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

اجزاء می‌توانند در حاشیه‌های تیز مقطع اکسترود شوند تا از فیت شدن آنها اطمینان یابیم و به شکلی باشند که بتوان به کمک جوشکاری آنها را آماده‌سازی نمود تا هزینه تولید کاهش یابد. برای رسیدن به آنچه که در قسمتهای عرشه هلیکوپتر بکار می‌رود، تیرهای حمایت کننده و کف عرشه‌ای همانند آنچه که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، بکار می‌رود. در چنین قسمتهایی استفاده از مقاطع توخالی مشبک می‌تواند هم شاهکار ساختمانی را و هم Stiffness موضعی را افزایش دهد، به همان خوبی که فضاهای خالی داخلی را برای سرویس‌دهی خاص ایجاد می‌کند (نظیر خارج‌کردن آب).

### ۵-۳- پرداخت نهایی

بسته به نوع کاربرد و محل قرارگیری، قطعات اکستروژن اغلب ممکن است بصورت سطح نهایی ورق پس از نورد و حفاظت نشده مورد استفاده قرار گیرند، اما می‌توان آنها را با مقداری رنگ مقاوم به حرارت پوشش داد تا هم حفاظت شده باشند و هم تزئین نهاییشان انجام گرفته باشد. شکافهای موجود در سطح را می‌توان بطور عرضی ماشینکاری کرد تا یک سطح غیر لغزنده یا یک راه برای بکارگیری پوشش سطحی ایجاد گردد.

### ۵-۴- روش تولید و ساختار

هنگام طراحی با آلومینیم، لازم است که روی نیازمندیهای تولید و ساختمان در روشی متفاوت با فولاد تفکر شود. در ابتدا ضرورت این موضوع توسط کاهش استحکام آلیاژ در منطقه متاثر از حرارت پس از جوشکاری روشن می‌گردد و سپس نامناسب‌بودن روشهای جوشکاری به‌کار گرفته شده برای شرایط مکانی را باید مورد توجه قرار داد.

راههای چاره موجود برای این مشکلات عبارتند از:

* طراحی بنحویکه از اتصالات جوشکاری شده در سطوح تحت تنش بالا خودداری شود.
* استفاده از اتصالات مکانیکی
* جلوگیری از جوشکاری در شرایط غیراستاندارد کارگاهی با کیفیت نازل.

### ۶- تکمیل و نصب ساختمان در محل

از آنجا که جوشکاری آلومینیم نیازمند استفاده از روشهای TIG و MIG می‌باشد، جوشکاری در محل (Site) در جاهائیکه امکان دارد باد جریان گاز حفاظت کننده آرگون را قطع کند و باران روی محل جوشکاری شده ببارد، توصیه نمی‌شود. بنابراین طراح در طی دوره طراحی باید بدنبال راههای ماکزیمم‌کردن مقدار جوشکاری کارگاهی و مینیمم نمودن میزان نیاز به نصب در محل بگردد. برای پایان دادن به این قسمت بحث یادآور می‌شویم که طراح باید حداکثر استفاده از اتصالات مکانیکی را برای تولید قسمتهای خارجی ساختار مدنظر قرار دهد.

### ۷- تهیه محافظ

در هنگام مقایسه با فولاد، آلومینیم استحکام و Stiffness خود را در درجه حرارتی خیلی پایین‌تر از دست می‌دهد،



www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

همانگونه که در شکل (۴) نشان داده شده است. این موضوع همراه با نقطه ذوب پایین‌تر آلومینیم ضرورت تهیه محافظ در برابر آتش را بعنوان یک محدودیت بزرگ در طراحی ساختمانهای آلومینیمی مطرح می‌کند. در مناطق بحرانی ضروری است که درجه حرارت مواد در زیر ۲۰۰°C نگهداشته شود تا استحکام ساختار پایدار باشد. اینکار بطریق استفاده از راه‌حلهایی نظیر فیبرهای پشم معدنی پوششهای پف کرده و ... به انجام می‌رسد. لیکن بخاطر نقطه ذوب خیلی کمتر آلومینیم، از راههای مختلفی برای طراحی محافظ در مقابل آتش باید بهره گرفت.

هنگام طراحی بایستی این موضوع شناخته شده باشد که هیچ قطعه آلومینیمی که در معرض آتش قرار دارد برای مدت زمان طولانی نمی‌تواند سالم باقی بماند و بزودی ذوب می‌گردد. بنابراین باید سیستمی تعبیه گردد که ایمنی ساختاریش به پایداری یک ساختمان فولادی باشد. راه‌حلهای واقعی و عملی ارائه شده بستگی به نوع اجزاء حفاظت شونده و جنبه‌های اقتصادی حفاظت در برابر آتش دارد.

### ۸- عرشه‌سازی (Decking)

برای سیستمهای عرشه‌سازی در داخل یک مدول آلومینیمی که نیازمند بهره گیری از متون راهنمای طبقه‌بندی شده A60 از دپارتمان انرژی انگلستان یا راهنمای دسته H60 هیئت مدیره نفت نروژ می‌باشد، استفاده از قطعات اکسترود شده مسدود مخصوص عرشه مثل آنچه که در شکل (۳) نشان داده شده است، بعنوان یک راه‌حل ترجیح داده می‌شود. احتراز از آتش توسط بکارگیری فیبرهای معدنی در فضای داخلی عرشه (بعنوان نمونه با ضخامت ۷۵mm و دانسیته ۱۱۰ $kg/m^3$) به انجام می‌رسد. سطح رویی عرشه ممکن است توسط تخته کشی سیلیکات کلسیم به ضخامت ۲۰mm که با یک لایه سبک وزن تقویت شده به ضخامت تقریبی ۱۲mm پوشش داده شده، حفاظت گردد. وزن کل لایه محافظ باید با آنچه که از فولادهای ساختمانی تهیه می‌شود قابل مقایسه باشد.

### ۹- استفاده از روکش (Cladding)

روکشهای خارجی آلومینیمی که در برابر آتش قرار می‌گیرند لازم است که مقاومت داشته و سالم باقی بمانند، در عین حال یک مانع مجدد در برابر دود و شعله ایجاد کرده و افزایش دما را محدود نمایند. یک طرح موفق در این زمینه در شکل (۵) داده شده است. در اینجا از یک قاب مستطیل شکل آلومینیم ـ فیبر معدنی ـ آلومینیم که با هم باند تشکیل داده‌اند، استفاده می‌شود.

روکش‌های (جلدهای) داخلی و خارجی توسط پرچ به ساختار اصلی الصاق گشته و قسمتهای مقاوم به حرارت از فیبرهای سرامیکی ساخته شده‌اند. در طی آتش‌سوزی یکی و یا همه روکشها بطور فدا شونده از بین می‌روند اما هسته فیبر معدنی در محل خود توسط روکشی که در معرض آتش قرار ندارد، نگهداری می‌شود.

سیستم روکش دادن سبک و محکم (still) بوده و همچنین یک حفاظ آب و هوایی ایجاد می‌نماید.



www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

## ۱۰- خوردگی آلومینیم و آلیاژهای آن در آب دریا

همانطور که از سری نیروی الکترو موتوری مشخص است، آلومینیم از نظر ترمودینامیکی فلزی فعال است. این فلز مقاومت بسیار خوب خوردگی و استفاده گسترده اقتصادی خود را مدیون پوسته (فیلم) اکسیدی است که چسبندگی محکمی به سطح دارد و در صورت آسیب دیدن در بسیاری از محیطها ترمیم می‌شود. در سطحی که به تازگی سائیده شده و سپس در معرض هوا قرار گرفته باشد، ضخامت فیلم اکسیدی تنها یک نانومتر است (۱۰ آنگستروم) اما در حفاظت آلومینیم از خوردگی بسیار مؤثر است.

### - انواع معمول خوردگی آلیاژهای آلومینیم در محیطهای آبی

ـ خوردگی حفره‌ای در آلیاژهای آلومینیم

خوردگی آلومینیم در محدوده پسیو موضعی است و معمولاً با تشکیل حفره‌ها بطور اتفاقی ظاهر می‌شود. اصل پتانسیل حفره‌ای شدن شرایطی را ایجاب می‌کند که فلزات در حالت پسیو تحت خوردگی حفره‌ای قرار می‌گیرند. به بیان ساده، پتانسیل حفره‌ای شدن (Ep) پتانسیلی است که در یک محلول خاص در بالای این پتانسیل حفره‌ها شروع به تشکیل کرده و زیر آن حفره‌ای تشکیل نمی‌شود.

معمولاً حفره‌ای شدن آلومینیم توسط یونهای هالیدی صورت می‌گیرد و کلرید ($Cl^-$) بیشتر اوقات در شرایط سرویس‌دهی موجود است. برای مثال تأثیر غلظت یون کلرید در پتانسیل حفره‌ای شدن آلومینیم ۱۱۹۹ در شکل (٦) نشان داده شده است. حفره‌ای شدن آلومینم در محلولهای هالیدی که با هوا در ارتباط هستند به این دلیل رخ میدهد که در حضور اکسیژن، فلز براحتی به پتانسیل حفره‌ای شدن پلاریزه می‌شود.

ـ خوردگی لکه‌ای

در طراحی آلیاژهای آلومینیم برای مقاومت خوردگی رضایت‌بخش، باید در نظر داشت که یونهای چندین فلز پتانسیل احیائی کاتدی‌تری نسبت به پتانسیل محلول آلومینیم دارند و بنابراین می‌توانند توسط آلومینیم به شکل فلز احیا شوند.

برای هر اکی‌والان شیمیائی از یونهای سنگین که احیا می‌شوند، یک اکی‌والان شیمیائی آلومینیم اکسید می‌شود. احیای مقدار ناچیزی از این یونها می‌تواند سبب خوردگی موضعی شدید آلومینیم شود، زیرا فلزی که احیا شده بر سطح آلومینیم نشسته و یک پیل گالوانیک تشکیل می‌دهد. مهمترین این فلزات سنگین مس، سرب، جیوه، نیکل و قلع می‌باشند. بیشترین نگرانی از تأثیر این فلزات بر آلومینیم، در محلولهای اسیدی می‌باشد. حلالیت این فلزات در محلولهای بازی بسیار کمتر است و بنابراین تأثیر آنها نیز کمتر خواهد بود.

ـ خوردگی بین دانه‌ای

خوردگی بین دانه‌ای یک خوردگی انتخابی در مرز دانه است، بدون اینکه صدمه قابل ملاحظه‌ای به خود دانه وارد شود. خوردگی بین دانه‌ای یک واژه کلی است که شامل متغیرهای زیادی در ارتباط با ساختارهای فلزی و عملیات ترمومکانیکی



www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

مختلف است.

خوردگی بین دانه‌ای در اثر اختلاف پتانسیل بین نواحی مرز دانه و خود دانه‌های مجاور آن ایجاد می‌شود. محل مسیر آندی با سیستمهای آلیاژی مختلف تغییر می‌کند. در آلیاژهای سری ۲XXX یک باند کم عرض وجود دارد که در دو طرف مرز از مس تهی شده، در آلیاژهای سری ۵XXX فاز تشکیل‌دهنده آندی $Mg_2Al_3$ است که به طور پیوسته در طول مرز دانه تشکیل شده و مسیر آندی را مشخص می‌کند. آلیاژهای سری ۶XXX عموماً در مقابل این نوع خوردگی مقاوم هستند.

چون خوردگی بین دانه‌ای شامل خوردگی تنشی آلیاژهای آلومینیم میشود، اغلب تصور بر این است که زیان‌بارتر از خوردگی عمومی یا حفره‌ای باشد اما در آلیاژهائی که نسبت به خوردگی تنشی حساس نیستند، مثل آلیاژهای سری ۶XXX، خوردگی بین دانه‌ای شدیدتر از خوردگی حفره‌ای نیست و با گذشت زمان تمایل به کاهش دارد و برای عمق مساوی خوردگی، تأثیر آن بر استحکام بیشتر از خوردگی حفره‌ای نیست گرچه ممکن است ترکهای خستگی بیشتر از نواحی خوردگی بین دانه‌ای شروع شوند تا از حفره‌های اتفاقی.

## ۱۱- نتیجه‌گیری

با توجه به مباحث متن مقاله، به نظر می‌رسد برای کاربرد خاص سکوهای دریایی، از بین آلیاژهای آلومینیم آلیاژهای ۵۰۸۳، ۶۰۶۱ و ۶۰۶۳ مناسب‌ترین باشند. روش شکل‌دادن قطعات آلومینیمی مورد استفاده در سکو، اکستروژن‌کردن آنهاست و مابقی نیز از ورق آلیاژهای مذکور به کمک روشهای شکل‌دادن و اتصال تکمیلی ساخته می‌شوند. عملیات متالورژیکی لازم برای بهبود کیفیت کاری قطعات بسته به مورد شامل عملیات حرارتی، عملیات سطحی و در مواردی افزودن عناصر آلیاژی خاص است.

با عنایت به پتانسیل‌های صرفه‌جویی وزنی و هزینه‌ای در استفاده از آلیاژهای آلومینیم در ساختارهای بزرگی چون سکوهای دریایی، ما ملزم به پیگیری نحوهٔ استفاده حداکثر از مزایای آنها و سرمایه گذاری بیشتر در این زمینه خواهیم بود.

## تشکر و قدردانی

در اینجا لازم است از مسئولین محترم پژوهشکدهٔ علوم و تکنولوژی زیردریا دانشگاه صنعتی اصفهان که پژوهش حاضر با حمایت مادی و معنوی ایشان انجام پذیرفته کمال تشکر و قدردانی به عمل آید.

## مراجع

1- Structure and properties of Eng'g Alloys, by smith, Mc Graw-Hill book Co., 1981.

2- Aluminum Transf'n Technology and Applications, ASM, 1978.

3- Offshor, In Corporating the Oilman, Augst 1991.

4- Design Implications on the Use of Aluminum Offshore, OTC 6147, 1989, pp 253 to 260.

۵- ا.ر. ریاحی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد گرایش انتخاب مواد،بررسی خوردگی آلیاژهای مس و آلومینیم در محیط آب دریای خزر و خلیج‌فارس، تابستان ۱۳۷۰، دانشگاه صنعتی اصفهان.



www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

جدول ۱ - گروههای آلیاژهای کار شده آلومینیم [۱].

| | |
|---|---|
| Aluminum,99.00 percent minimum and greter | 1XXX |
| Aluminum alloys grouped by major alloying elements | |
| Copper | 2XXX |
| Manganese | 3XXX |
| Silicon | 4XXX |
| Magnesium | 5XXX |
| Magnesium, and silicon | 6XXX |
| Zinc | 7XXX |
| Other element | 8XXX |
| Unused series | 9XXX |

جدول ۲ - گروههای ریختگی آلیاژهای آلومینیم [۱].

| | |
|---|---|
| Aluminum,99.00 percent minimum and greter | 1XX.X |
| Aluminum alloys grouped by major alloying elements | |
| Copper | 2XX.X |
| Silicon, with added copper and/or magnesium | 3XX.X |
| Silicon | 4XX.X |
| Magnesium | 5XX.X |
| Zinc | 7XX.X |
| Tin | 8XX.X |
| Other element | 9XX.X |
| Unused series | 6XX.X |



www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

جدول ۳- ترکیب شیمیایی و کاربردهای آلیاژهای آلومینیم - منیزیم . [۱]

| Alloy | % Composition | Applications |
|---|---|---|
| 5005 | 0.8 Mg | Appliances; utensils; architectural trim; electrical conductors |
| 5050 | 1.4 Mg | Builders' hardware; refrigerator trim; coiled tubes |
| 5052 | 2.5 Mg, 0.25 Cr | Sheet metal work; hydraulic tubes; appliances; bus, truck and marine uses |
| 5056 | 0.12 Mn, 5.1 Mg, 0.12 Cr | Cable sheathing; rivets for magnesium; screen wire; zippers |
| 5083 | 0.7 Mn, 4.45 Mg, 0.15 Cr | Unfired, welded pressure vessels; marine, auto, and aircraft parts; cryogenics; TV towers; drilling rigs; transportation equipment; missile components; armor plate |
| 5086 | 0.45 Mn, 4.0 Mg, 0.15Cr | |
| 5154 | 3.5 Mg, 0.25 Cr | Welded structures; storage tanks; pressure vessels; salt-water service |
| 5252 | 2.5 Mg | Auto and appliance trim |
| 5254 | 3.5 Mg, 0.25 Cr | Hydrogen peroxide and chemical storage vessels |
| 5356 | 0.12 Mn, 5.0 Mg, 0.12 Cr | Welding rod, wire, and electrodes |
| 5454 | 0.8 Mn, 2.7 Mg, 0.12 Cr | Welding structures; pressure vessels; marine service; tubing |
| 5456 | 0.8 Mn, 5.1 Mg, 0.12 Cr | High-strength welded structures; storage tanks; pressure vessels; marine service |
| 5457 | 0.3 Mn, 1.0 Mg | Anodized auto and appliance trim (good formability in annealed temper) |
| 5652 | 2.5 Mg, 0.25 Cr | Hydrogen peroxide and chemical storage vessels |
| 5657 | 0.8 Mg | Anodized auto and appliance trim (good brightness) |

† After "ASM Databook," 1979, *Metal Progress*, vol. 116, no. 1, mid-June 1979.

جدول ۴- ترکیب شیمیایی و کاربردهای آلیاژهای آلومینیم - منیزیم - سیلیسیم [۱]

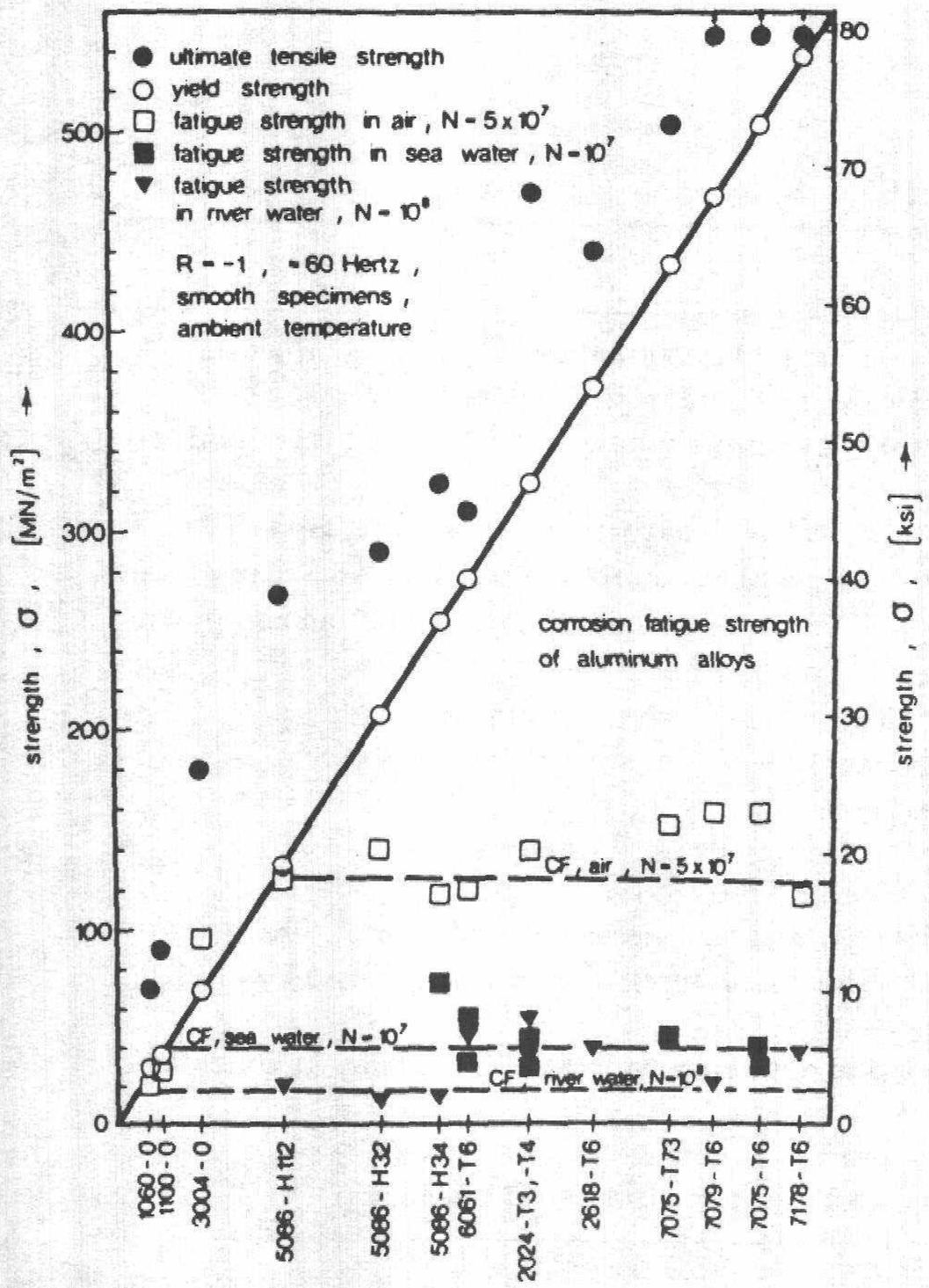
| Alloy | % Mg | % Si | % Mn | % Cr | % Cu | % Other | Applications |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6003 | 1.2 | 0.7 | | | | | Cladding for sheets and plates |
| 6005 | 0.5 | 0.8 | | | | | Trucks and marine structures; railroad cars; furniture |
| 6009 | 0.6 | 0.8 | 0.5 | | 0.38 | | Auto body sheet |
| 6010 | 0.8 | 1.0 | 0.5 | | 0.38 | | Auto body sheet |
| 6053 | 1.3 | 0.7 | | 0.25 | | | Wire and rods for rivets |
| 6061 | 1.0 | 0.6 | | 0.2 | 0.27 | | Heavy-duty structures where corrosion resistance is needed; truck and marine structures; railroad cars; furniture; bridge railing; hydraulic tubing |
| 6063 | 0.7 | 0.4 | | | | | Pipe; railings; furniture; architectural extrusions; truck flooring |
| 6066 | 1.1 | 1.3 | 0.8 | | 0.9 | | Forging and extrusions for welded structures |
| 6070 | 0.8 | 1.4 | 0.7 | | 0.3 | | Heavy-duty welded structures; pipelines |
| 6101 | 0.6 | 0.5 | | | | | High-strength bus conductors |
| 6151 | 0.6 | 0.9 | | 0.25 | | | Moderate-strength intricate forgings for machine and auto parts |
| 6162 | 0.9 | 0.6 | | | | | Structures requiring moderate strength; busbars |
| 6201 | 0.8 | 0.7 | | | | | Electrical conductor wire (high strength) |
| 6253 | 1.2 | 0.7 | | 0.25 | | 2.0 Zn | Component of clad rod and wire |
| 6262 | 1.0 | 0.6 | | 0.09 | 0.27 | 0.55 Pb; 0.55 Bi | Screw-machine products |



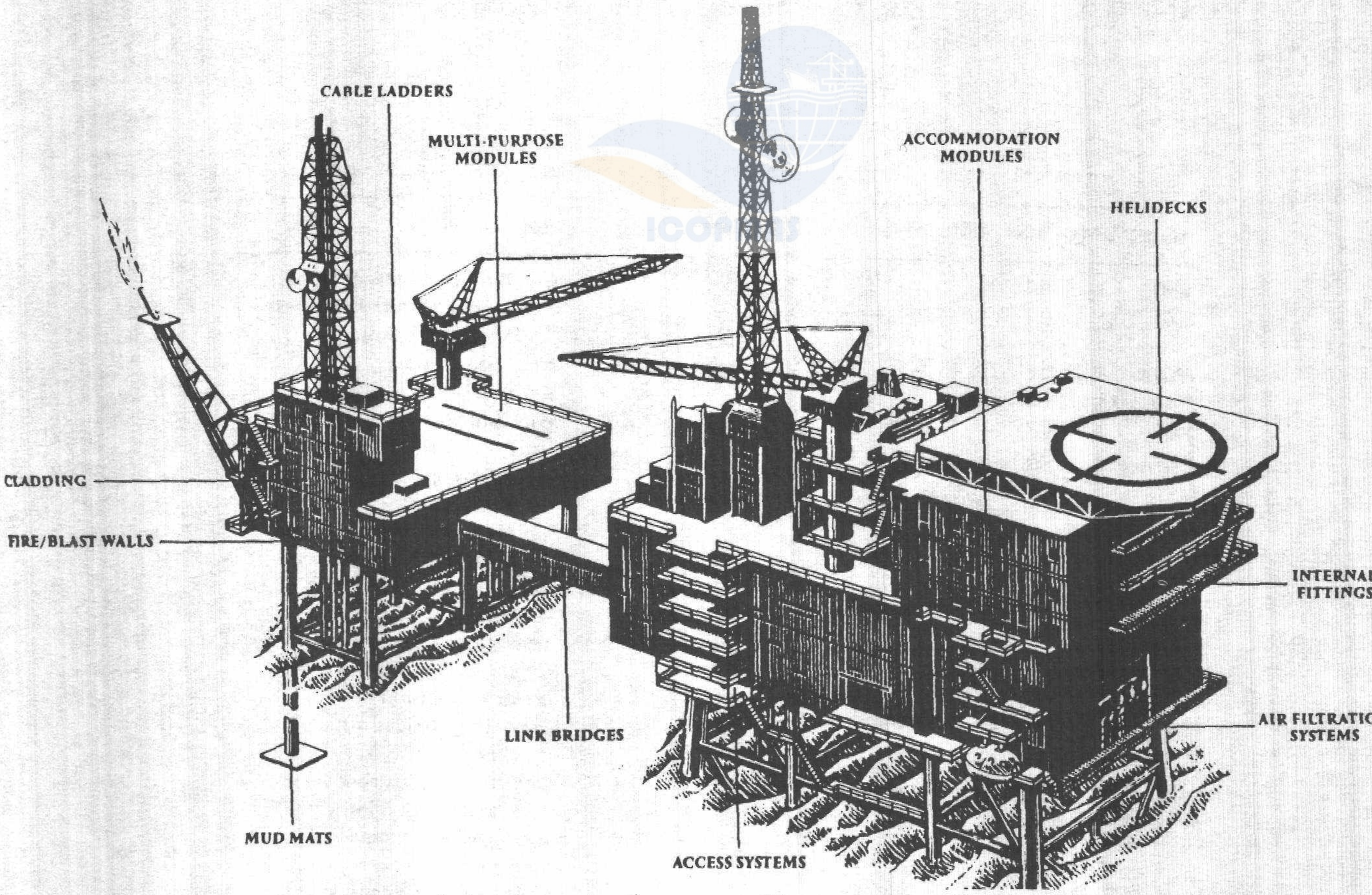
www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID




شکل ۱ ـ با وجودیکه استحکام تسلیم آلیاژهای تجارتی آلومینیم می‌تواند تا مقادیر زیادی افزایش یابد، استحکام خستگی و استحکام خوردگی خستگی آن چنین نیست [۲].



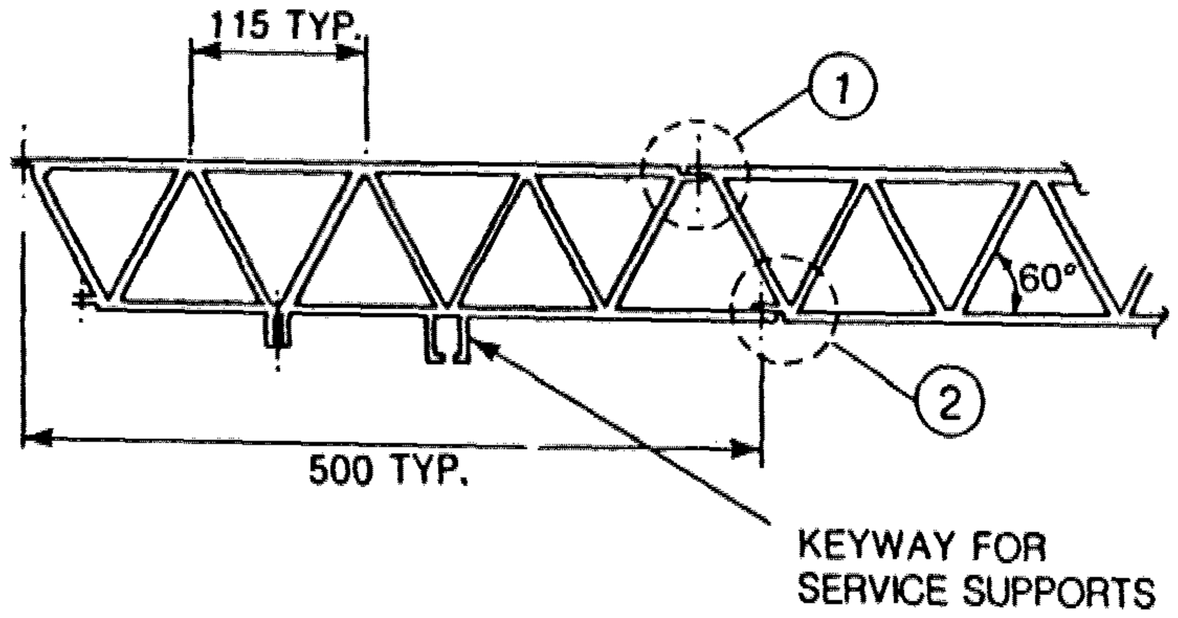

شکل ۲ ـ استفاده از آلومینیم در سکوهای دریایی [۳].



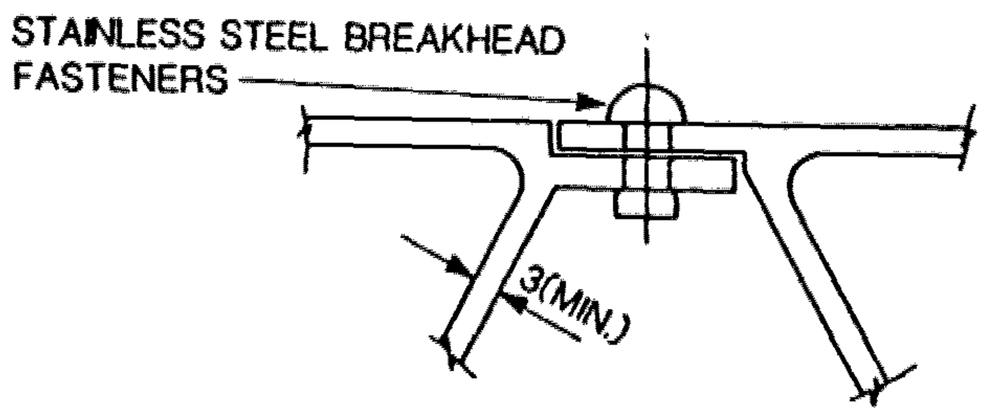
www.SID.ir

Archive of SID

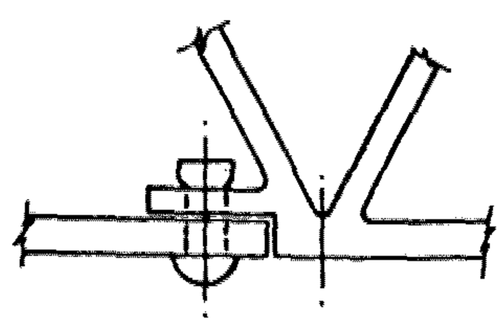
Archive of SID




DECK CONSTRUCTION

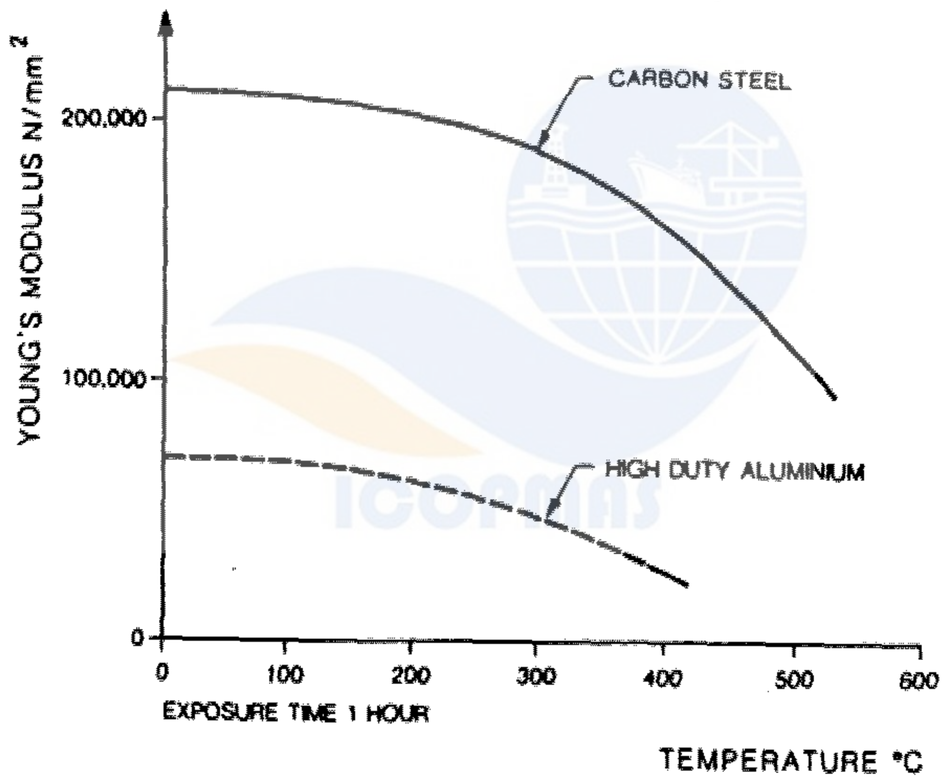


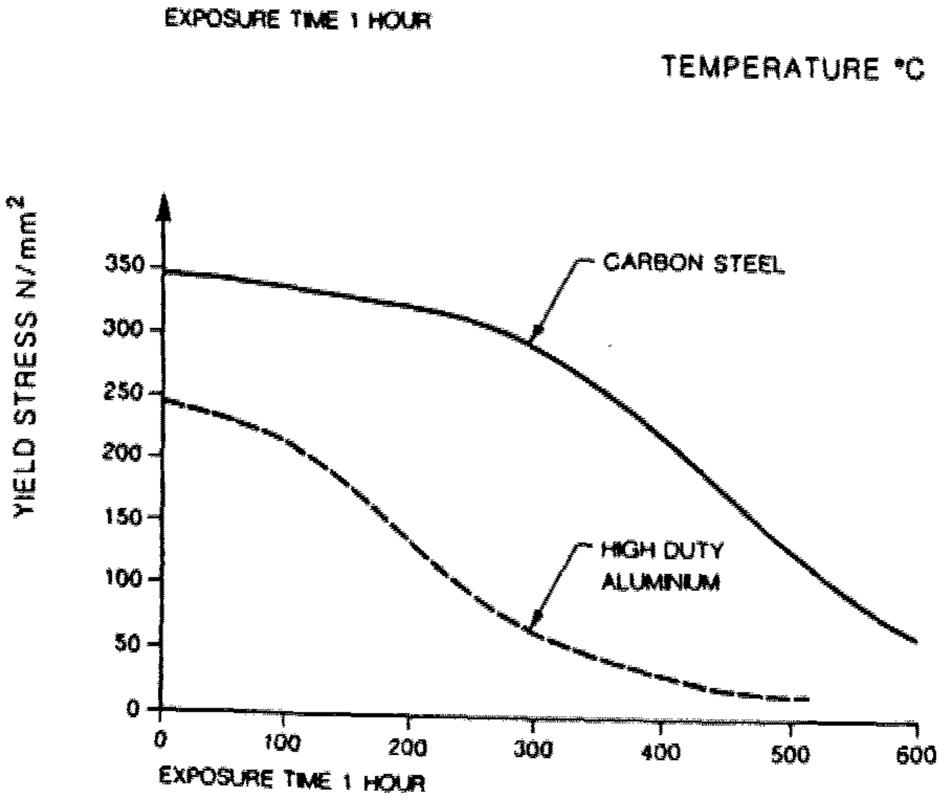

DETAIL (1)



DETAIL (2)

شکل ۳ ـ نمونه قطعات اکستروژن برای طراحی عرشه هلیکوپتر آلومینیمی [۴].




شکل ۴ ـ منحنی‌های نرم شدن حرارتی برای فولاد و آلیاژهای آلومینیم [۴]

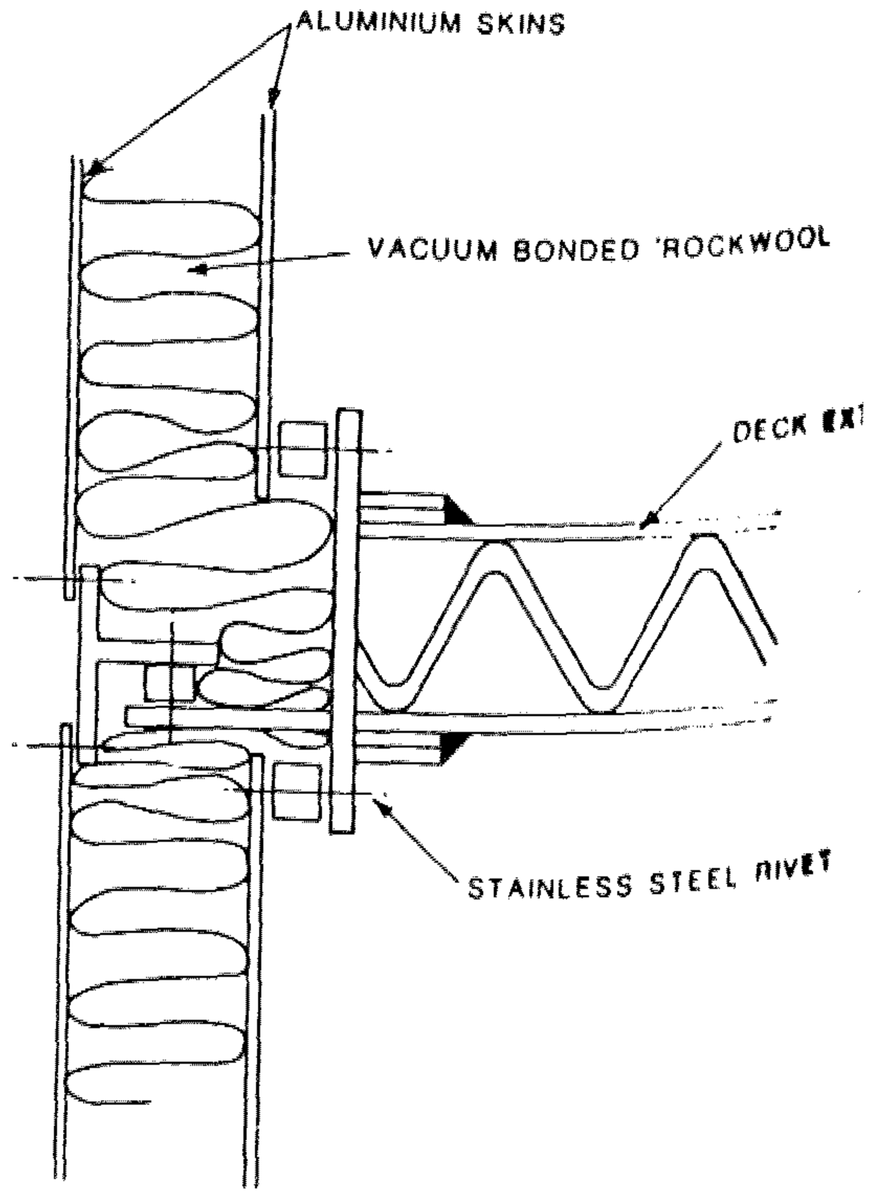


www.SID.ir

www.SID.ir

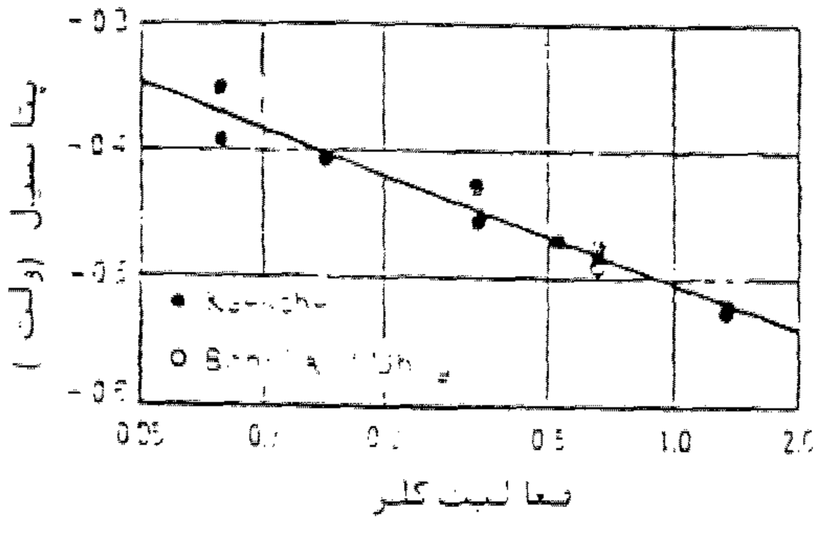
Archive of SID

Archive of SID




شکل ۵ ـ جزئیات سیستمهای روکش‌دهی آلومینیمی . [۴]

ICOPMAS




شکل ٦ ـ اثر فعالیت یون کلرید بر پتانسیل حفره‌ای شدن آلومینیم در محلول Nacl [۵]



www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

# Aluminum Alloys Applied in Maritime Platforms

F. Jahanbakhsh., Isfahan Scientific and Research Complex

A. Farshchiha., Isfahan Scientific and Research Complex

F. Ashrafizadeh., Assistant Professor in Material Engineering Faculty – Isfahan University of Industry

**Abstract**

Aluminum and its alloys are increasingly used in all industrial fields because of their rare features of frugality in weight and cost. Maritime industries and especially the maritime platforms are also among these industries. Aluminum is not an inferior material and in comparison with other materials, it has particular and in most cases better features, which by only using the measured methods, can be fully and effectively implemented. The use of aluminum in structures nearly increases their lifespan infinitely and gives them many industrial shapes and advantages. In this research, the suitable aluminum alloys are introduced in order to be implemented in maritime and berth's technology and finally the 6063, 6061, 5083 alloys of aluminum are introduced as the best ones. Furthermore, the most adequate application of each of these alloys is discussed along the best shaping and construction method of the pieces produced with these alloys. At the end, the erosion of the aluminum alloys in seawater is considered and reported.

**Keywords:** aluminum alloys; maritime industrial structures; berth construction

www.SID.ir

www.SID.ir