دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مواد

تأثیر پارامترهای جوشکاری TIG ، برخصوصیات مکانیکی ، ساختاری ، خوردگی تنشی ونمودارهای پلاریزاسیون منطقه جوش آلیاژآلومینیم ۵۰۸۳

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی خوردگی و حفاظت از مواد

رحیم مرادی قشلاقی

اساتید راهنما

پروفسوراحمد ساعتچی

پروفسورامیرحسین کوکبی

خرداد ماه ۱۳۸۳

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات ،ابتکارات ونوآوریهای ناشی
ازتحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

سپاسگزاری

باحمد و ثنای پروردگار

از اساتید بزرگوارم جناب آقای دکتر محمدعلی گلعذار و جناب آقای دکتر امیرحسین کوکبی به خاطر هدایت ها و راهنمایی های ارزنده و بی دریغشان، صمیمانه تشکر و قدردانی می کنم. از جناب آقای دکتر احمد ساعتچی، استاد محترم مشاور، که در مراحل پایانی و پس از عزیمت جناب آقای دکتر گلعذار به کشور کانادا برای فرصت مطالعاتی ، مشاوره قسمت خوردگی پایان نامه را پذیرفتند ، بسیار سپاسگزارم. ازمسؤولین پژوهشکده زیر دریای دانشگاه صنعتی اصفهان ، مسؤولین شرکت پیشگام وابسته به انرژی اتمی استان اصفهان و مجموعه متصدیان دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان به خاطر یاری اینجانب، قدردانی می کنم. درنهایت از زحمات فداکارانه پدر ومادرم در تمام مراحل زندگی، بی نهایت سپاسگزارهستم.

رحیم مرادی قشلاقی

خرداد ماه۱۳۸۳

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... شش

چکیده ۱

فصل اول : مقدمه ۲

فصل دوم : آلومینیم، آلیاژهای آلومینیم و ویژگیهای جوشکاری و خوردگی آنها

۲-۱- مقدمه ۴

۲-۲- آلومینیم و آلیاژهای آن ۴

۲-۳- طبقه بندی آلیاژهای آلومینیم ۵

۲-٤- نقش عناصر آلیاژی در سری ۵۰۰۰ ..... ۶

۲-۵- خصوصیات آلیاژهای کار شده ۸

۲-٦- سیستم آلیاژی Al-Mg (سری ۵۰۰۰) ۹

۲-۷- کاربردها ۱۱

۲-۸- ویژگیهای مؤثر آلومینیم در جوشکاری ۱۳

۲-۹- متالورژی جوشکاری آلومینیم ۱۴

۲-۹-۱- مکانیزمهای استحکام بخشی آلیاژهای آلومینیم ۱۴

۲-۹-۲- مشکلات جوش پذیری آلومینیم ۱۵

۲-۹-۳- کاهش استحکام در اثر جوشکاری 20

۲-۹-٤- ویژگیهای متالورژیکی جوشکاری آلیاژهای سری ۵۰۰۰ 21

۲-۹-۵- انتخاب فلز پر کننده ۲3

۲-۱۰- آماده سازی برای جوشکاری 23

۲-۱۱- طرح اتصال جوش 24

۲-۱۲- روش های مختلف جوشکاری آلومینیم ۲۴

۲-۱۲-۱- جوشکاری به روش TIG 24

۲-۱۳- گاز محافظ آرگون 26

۲-۱٤- الکترود های تنگستن ۲۷

..... 28

۲-۱۵- مفهوم رفتار خوردگی آلومینیم 28

۲-۱۵-۱- غیرفعال شدن آلومینیم و آلیاژهای آن 28

۲-۱۵-۲- دلایل و شکل های خوردگی Al ۳۰
۲-۱۵-۳- اثر ترکیب و ریزساختار برخوردگی Al 33
۲-۱٦-خوردگی بین دانه ای آلیاژهای Al 34
۲-۱٦-۱- خوردگی بین دانه ای آلیاژهای سری ٥xxx (Al-Mg) 34
۲-۱۷- ترک خوردگی به کمک عوامل محیطی 35
۲-۱۷-۱- ترک خوردگی تنشی یا خوردگی تحت تنش (SCC) 35
۲-۱۷-۲- مکانیزم ها و مشخصات SCC 36
۲-۱۷-۳- مدل انحلال آندی 39
۲-۱۷-٤- مدل شکست مکانیکی 40
۲-۱۷-٥- مدل تردی هیدروژنی 40
۲-۱۷-٦- مکانیزم های SCC آلیاژهای سری ٥xxx 41
۲-۱۷-۷- نقش سطحی بحرانی برای SCC 42
۲-۱۷-۸ - اثرات تنش و آزاد شدن آن 45
۲-۱۷-۹- اثرات ساختار دانه ای و مسیر تنش 45
۲-۱۷-۱۰- اثرات محیطی 45
۲-۱۸- خوردگی مقاطع جوش Al 46
۲-۱۸-۱- اثرات گالوانیکی 46
۲-۱۸-۲- فاکتورهای متالوژیکی 47

فصل سوم : مواد ، آماده سازی نمونه ها و آزمایش ها

3-۱- تجزیه عنصری و فازی ۵۰
3-۲- روش جوشکاری ۵۰
3-۳-آماده سازی وجوشکاری ۵۲
۳-٤ - تهیه نمونه های آزمایشی ۵۹
۳-٥ - آزمایشهای مکانیکی ۶۰
۳-٥-۱- آزمون کشش ۶۱
۳-٥-۲ - آزمون خمش ۶۲

۳-۵-۳- سختی سنجی ۶۵
۳-٦- آزمایش غیرمخرب ۶۵
۳-۷- آزمایشهای خوردگی ۶۶
۳-۷-۱- آزمون غوطه وری ۶۶
۳-۷-۲- آزمون های پلاریزاسیون ۶۷
۳-۷-۳- آزمون های کشش با نرخ کرنش پایین (SSRT) ۶۷
۳-۷-٤- تعیین میزان هیدروژن نفوذپذیر در منطقه جوش ۶۹
۳-۸- بررسی ریزساختار ۷۰
۳-۸-۱- ماکرواچ ۷۰
۳-۸-۲- متالوگرافی ۷۱
۳-۹ - شکست نگاری ۷۱

فصل چهارم : یافته ها

٤-۱- تجزیهٔ عنصری و فازی ۷۲
٤-۲- جوشکاری با دستورالعمل های (WPS) مختلف ۷۲
٤-۲-۱- فلوگرمایی حاصل از دستورالعمل های جوشکاری (WPS) ۷۳
٤-۳- نتایج آزمایشها مکانیکی ۷۳
٤-۳-۱- آزمایش کشش ۷۳
٤-۳-۲- آزمایش خمش ۷۴
٤-۳-۳- سختی سنجی ۷۴
٤-٤- آزمایش غیر مجرب ۷۴
٤-۵- مطالعات ساختاری ۷۴
٤-۵-۱- عمق نفوذ جوش ها ۷۴
٤-۵-۲- ریز ساختار ۷۴
٤-٦- آزمایش های خوردگی ۷۵
٤-٦-۱- آزمایش غوطه وری ۷۵
٤-٦-۲- آزمایش های پلاریزاسیون ۷۵
٤-٦-۳- آزمایش تعیین میزان هیدروژن نفوذ پذیردر منطقه جوش ۷۵
٤-٦-٤- آزمایش های کشش با نرخ کرنش کم (SSRT) ۷۵

.....
٤-٧- شکت نگاری مقاطع شکست آزمایش های SSRT ۷۵

فصل پنجم : بحث و تحلیل یافته ها

۵-۱- فلوگرمایی و عمق نفوذ ۱۲۰
.....
۵-۲- اثر فلوگرمایی بر خصوصیات مکانیکی و ساختاری ۱۲۱
۵-۲-۱- استحکام اتصال ها ۱۲۴
۵-۲-۲- استحکام خمش اتصال ها ۱۲۴
.....
۵-۲-۳- سختی منطقهٔ جوش ۱۲۴
.....
۵-۲-٤- ویژگیهای ساختاری ۱۲۵
۵-۳ - بررسی نتایج آزمایش غیر مخرب ۱۲۷
۵-٤- اثر WPSها بر رفتار خوردگی منطقهٔ جوش ۱۲۸
۵-٤-۱- نرخ خوردگی در آزمایش های پلاریزاسیون و غوطه وری ۱۲۸
۵-۵- بررسی تأثیر غلظت تیو سولفات سدیم بر میزان هیدروژن نفوذ پذیر در ۱۳۱
منطقهٔ جوش
۵-٦-تأثیر WPSها بر میزان هیدروژن نفوذ پذیر در منطقهٔ جوش ۱۳۲
.....
۵-۷-ارزیابی منحنی های آزمایش کشش با نرخ کرنش آهسته (SSRT) ۱۳۴
۵-۷-۱- مدت زمان شکست و حساسیت به خوردگی تنشی در پاس ریشه ۱۳۶
۵-۷-۲- مدت زمان شکست و حساسیت به خوردگی تنشی در پاس صورت ۱۳۷
5-۸- بررسی سطوح مقاطع شکست آزمایش های SSRT ۱۳۸
.....

فصل ششم : نتیجه گیری

٦-۱- نتیجه گیری ۱۴۱
٦-۲- پیشنهاد ها ۱۴۴

مراجع ۱۴۵

چکیده

دستورالعمل های مختلف جوشکاری با ایجاد فلوگرمایی مختلف و نرخ انجماد متفاوت در فلز جوش ، ویژگیهای مکانیکی ، ساختاری و خوردگی منطقه جوش را تحت تأثیر قرار می دهند. در این پژوهش از نه دستورالعمل جوشکاری به منظور بررسی رفتار مکانیکی ، ساختاری ، خوردگی و به ویژه خوردگی تنشی در منطقه جوش آلیاژ آلومینیم ۵۰۸۳ استفاده شد. محلول آبی با ۳/۵ درصد وزنی کلریدسدیم و pH=4/1 به عنوان محیط خورنده استفاده شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می دهد که افزایش فلوگرمایی در جوشکاری آلیاژ ۵۰۸۳ با آلیاژ پرکننده ۵۱۸۳ ، ضمن افزایش رشد دانه ها در ناحیه متأثر از حرارت (HAZ) ، سبب افزایش انحلال فازهای نامحلول (ترکیبات Fe,Mn) می شود. این تغییرات استحکام نهایی و خمشی اتصالات جوش را می کاهند. ارزیابی حساسیت به خوردگی تنشی توسط آزمایش کشش با نرخ کرنش آهسته(SSRT) ، نشان داد که مناطق جوش دردستورالعمل های جوشکاری با عملیات پیش گرم ، کمترین وبا تنظیم تعادل موج AC در حداکثر قطبیت مثبت برای الکترود ، بیشترین حساسیت به خوردگی تنشی را دارند. نتایج نشان می دهند که نرخ انجماد پایین تا زمانیکه سبب رسوب منیزیم به صورت فاز بتا (Mg_2Al_3) در مرز دانه های محلول جامد فلز جوش نشود ، بسیار مناسب است وضمن افزایش مقاومت به خوردگی فلز جوش ، مقاومت به خوردگی تنشی بین دانه ای را در منطقه جوش افزایش می دهد. فلو گرمایی پایین نیز در محدوده ای که سبب افزایش فاز بتا در مرز دانه های محلول جامد ناحیه HAZ و یا به هم پیوستن و درشت تر شدن این فاز در HAZ نشود ، مناسب است. همچنین تلفیق فلوگرمایی پایین و نرخ انجماد کم در یک دستورالعمل جوشکاری ، مدت زمان تا شکست را در آزمایشSSRT افزایش می دهد.

فصل اول

مقدمه

انتخاب دستور العمل جوشکاری[1] مناسب در تامین خصوصیات مکانیکی ، ساختاری ،خوردگی و به ویژه خوردگی تنشی منطقه جوش بسیار موثر است .ویژگیهای خوردگی مناطق جوش در محیط خورنده آب دریا متفاوت هستند و لزوماً اتصال جوشی با خواص مکانیکی و ساختاری مناسب ، ویژگیهای خوردگی قابل قبول را تضمین نمی کند . عموماً بازرسی های فنی جوش در کنترل خصوصیات مکانیکی و تخلخل موجود در فلزجوش خلاصه می شوند در صورتی که خوردگی ، ترک بر داشتن و شکستن تجهیزات زیر سطحی از کنار خط جوش نشان دهنده ویژگیهای خوردگی نامطلوب برخی اتصالات جوش تایید شده است که به علت عدم وجود بازرسی فنی خوردگی از نظر دور مانده اند . شکست هایی که در منطقه جوش و در معرض محیط خورنده رخ می دهند عمدتاً شکست های خوردگی تنشی[2] هستند . خوردگی تنشی در صورت وجود تنش کششی (تنش های باقیمانده حاصل از فرآیند جوشکاری) ، ساختار حساس و محیط خورنده پدید می آید .

آلیاژهای آلومینیم سری ۵۰۰۰ (به ویژه آلیاژ ۵۰۸۳) یکی از مهمترین آلیاژهای مورد استفاده در صنایع دریایی هستند[۱] . در جوشکاری آلیاژهای آلومینیم استحکام بالا و متوسط (سری های ۲۰۰۰ ، ۷۰۰۰ و

---

[1] - Welding Procedure Specification (WPS)
[2] - Stress Corrosion Cracking (SCC)

۵۰۰۰) تخلخل، ترک داغ و خوردگی تنشی عمده ترین معایب به شمار می روند .دستور العمل های جوشکاری (شامل انتخاب نوع فلز پرکننده، پارامترهای مختلف جوشکاری ، نحوه سرمایش فلز جوش و مقدارگرمای داده شده به فلز پایه) در تشدید و یا تقلیل عیوب ذکر شده مؤثرند .خوردگی تنشی مقاطع جوش آلیاژ ۵۰۸۳ در تحقیقاتی مورد بررسی قرار گرفته است اما این بررسی‌ها بااستفاده از یک دستورالعمل جوشکاری بوده است.در آلیاژ های سری ۵۰۰۰ در ساختارهایی که فاز β (شامل ترکیبات آلومینیم و منیزیم) در مرز دانه ها رسوب کرده اند نسبت به خوردگی تنشی بسیارحساسند. برای جلوگیری از ایجاد خوردگی تنشی در آلیاژهای آلومینیم کار شده باید از ایجاد تنش درحساس ترین مسیر(معمولاً Short-Transverse Direction) اجتناب شود یا تنش درآن موقعیت حداقل گردد. تنش های باقیمانده (ناشی از فرآیند های جوشکاری ، شکل دهی و مونتاژ) بیش از تنش های کاری موجب شکست های خوردگی تنشی می شوند زیرا ممکن است در مدت طراحی و ساخت کاملاً از نظر دور بمانند. گرمای جوشکاری نیزعلاوه بر ایجاد اعوجاج و تنش های باقیمانده می تواند در اثر ایجاد تغییرات ساختاری، حساسیت به خوردگی تنشی را افزایش دهد [۲]. در فصل دوم عیوب مذکور به تفصیل مورد بررسی قرار می گیرند .

ویژگی ناگهانی و پنهان بودن شکست های خوردگی تنشی و خسارات ناشی از آن اهمیت توجه به پارامترهای جلوگیری کننده و یا حداقل کنندهٔ آن را روشن می کند . هدف از انجام این پژوهش دست یابی به بهترین دستورالعمل های جوشکاری است که ضمن تامین خواص مکانیکی و ساختاری ، ویژگی های مناسب خوردگی و خوردگی تنشی منطقه جوش را فراهم سازند. این دستورالعمل ها با تغییر در پارامترهای جوشکاری مانند دبی گاز محافظ ، شدت جریان جوشکاری ، تعادل موج AC[1] و سرعت انجماد فلز جوش با استفاده از پیش گرم و مبرد مسی در نظر گرفته شدند . این پارامترها با تغییر فلوی گرمایی[2] (گرمای داده شده به فلز پایه) و نرخ انجماد فلز جوش بر ویژگیهای مکانیکی ، ساختاری وخوردگی فلز جوش و منطقه متأثر از حرارت تاثیر می گذارندکه نهایتاً منجر به ایجاد تفاوت در خصوصیات مکانیکی و خوردگی مناطق جوش ، در دستورالعمل های مختلف جوشکاری می شوند. در مجموع نه دستورالعمل جوشکاری استفاده شد که دستورالعمل هایی با جریان جوشکاری کم و دمای پیش گرم ، بهترین خصوصیات مکانیکی و خوردگی را از خود نشان دادند. در فصل سوم به جزییات آنها اشاره می شود.

---

[1] - Alternative Current
[2] - Heat Flux (Heat In Put)

فصل دوم
آلومینیم، آلیاژهای آلومینیم و
ویژگیهای جوشکاری و خوردگی آنها

۲-۱- مقدمه

آلومینیم وآلیاژهایش پس از فولاد پر مصرف ترین آلیاژهای صنعتی هستند که به دلیل خصوصیات مکانیکی و خوردگی بسیار گسترده دامنه کاربردی بسیار وسیعی دارند.ازجمله کاربردهای این آلیاژها در صنایع حمل ونقل ، نظامی ، خودروسازی ، الکترونیک ، هوایی ، دریایی ، پزشکی و... است. آلیاژهای گروه Al-Mg به دلیل دارا بودن خصوصیات خوردگی عالی مهمترین آلیاژهای مورد استفاده در صنایع دریایی هستند.در این قسمت انواع آلیاژهای آلومینیم ، خصوصیات و کاربرد آنها به اختصار توضیح داده می شوند.

۲-۲- آلومینیم و آلیاژهای آن

ویژگیهای مکانیکی ، فیزیکی و شیمیایی آلیاژهای آلومینیم به ترکیب و ریز ساختار آن بستگی دارد.افزودن عناصر منتخب به آلومینیم خالص به طور گسترده خواص و مزایای آن را بهبود می بخشد. به همین علت آلیاژهای آلومینیم حاوی یک یا چند عنصر افزودنی در بسیاری ازکاربردها مورد استفاده قرار می گیرند. افزودنیهای اصلی مورد استفاده با آلومینیم عناصر Cu ، Mn ، Si ، Mg و Zn هستند.[۳ -۹]سایر عناصر مانند

تانتالم ، ایندیم و غیره نیز در مقادیر کمتر به منظور اصلاح و توسعه خصوصیات ویژه افزوده می شوند.کل مقدار این عناصر می تواند ده درصد وزنی باشد.عناصر ناخالصی نظیر کادمیم، بیسموت و سرب نیز حضور دارند ، اما درصد کلی آنها معمولاکمتر از ۰٫۱۵ درصد در آلیاژهای آلومینیم است [۳] .

۲-۳- طبقه بندی[1] آلیاژهای آلومینیم

آلیاژهای آلومینیم به دو کلاس کلی تقسیم می شوند : محصولات ریختگی و کار شده . این دو کلاس می توانند به گروههای آلیاژی بیشتری براساس ترکیب آلیاژ و نوع باز پخت نهایی تقسیم شوند. نوع بازپخت[2] به منظور معرفی [3] حالت آلیاژو به عبارت دیگر مقدار کار سرد تحمل شده توسط آلیاژ یا وضعیت عملیات حرارتی، استفاده می شود[۳ -۹]. مشخصات اصلی آلیاژهای آلومینیم در جدول های ۲-۱ و۲-۲ خلاصه شده اند [۸] .

جدول ۲-۱) گروههای آلیاژهای آلومینیم کار شده [۸] .

1xxx	Al > 99%
2xxx	Al–Cu
3xxx	Al - Mn
4xxx	Al - Si
5xxx	Al - Mg
6xxx	Al - Mg- Si
7xxx	Al - Zn
8xxx	Other elements
9xxx	Unused

[1] - Classification
2- Temper
3 - Designation

جدول ۲-۲) گروههای آلیاژهای آلومینیم ریختگی [۳و۸].

1xx.x	Al > 99%
2xx.x	Al - Cu
3xx.x	Al – Si and Cu,Mg are specified
4xx.x	Al - Si
5xx.x	Al - Mg
6xx.x	Unused
7xx.x	Al - Zn
8xx.x	Al - Sn
9xx.x	Unused

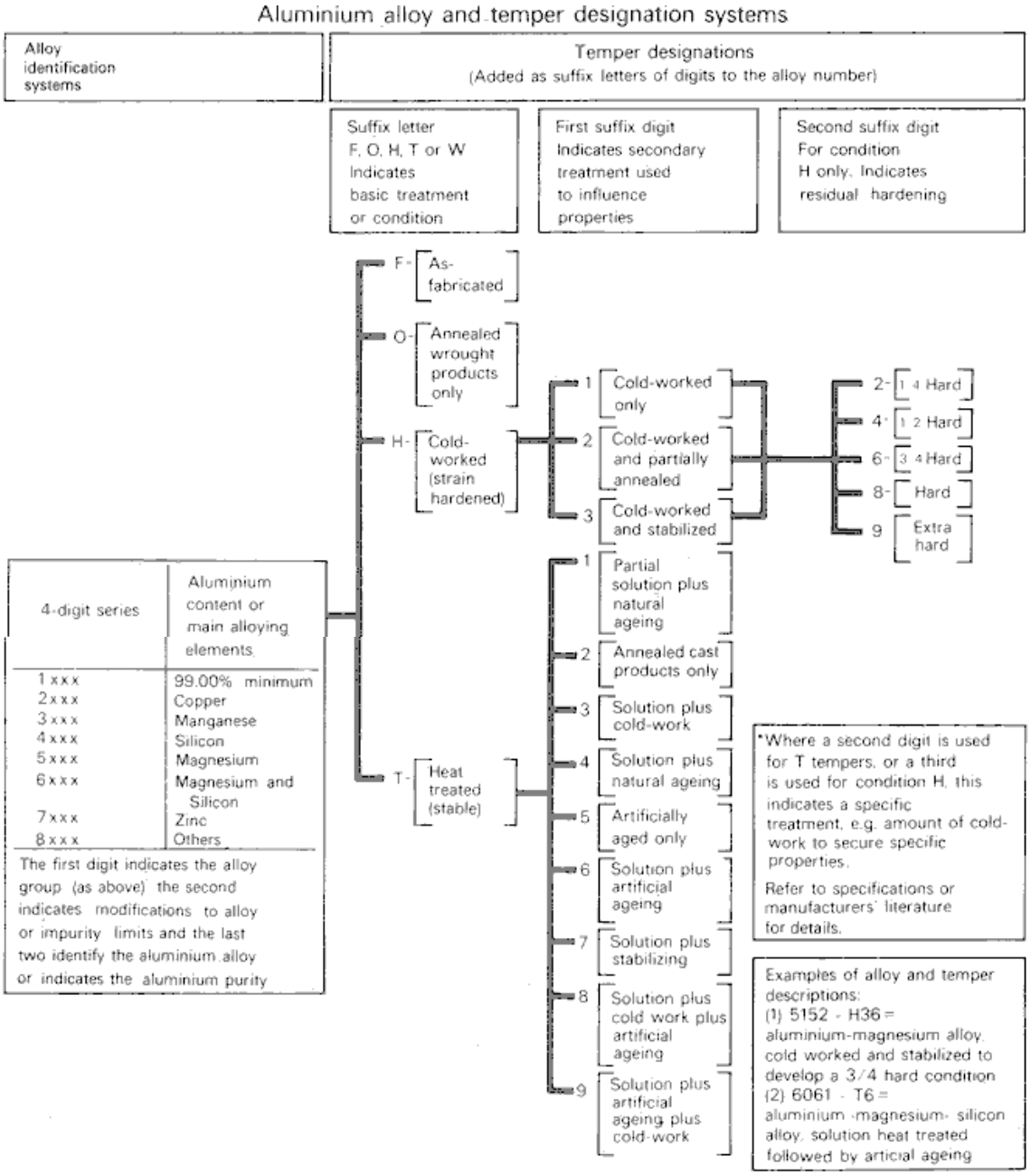
آلیاژهای کار شده به دو گروه عملیات حرارتی پذیر و عملیات حرارتی ناپذیر تقسیم می شوند. سریهای ۱۰۰۰ ، ۳۰۰۰ ، ۴۰۰۰ و ۵۰۰۰ عملیات حرارتی ناپذیر و سریهای ۲۰۰۰ ، ۶۰۰۰ و ۷۰۰۰ عملیات حرارتی پذیر هستند.[٤ -۹ ،۱۰ و۱۱] شکل ۲-۱انواع عملیات انجام شده بر آلیاژهای آلومینیم کارشده و نحوه شماره گذاری آنها را نشان می دهد [۹] . در این پژوهش به لحاظ اهمیتی که آلیاژهای سری ۵۰۰۰ (به ویژه آلیاژهای ۵۰۸۳ و۵۱۸۳) دارند در ادامه ، طرح مباحث به طور مستقیم در ارتباط با این آلیاژها خواهند بود.

۲-۴- نقش عناصر آلیاژی در سری ۵۰۰۰

افزودنیهای مختلف شامل عناصر مس ، منگنز ، سیلیکن ،منیزیم ، روی ، مس و سیلیسیم ، منیزیم و سیلیسیم، قلع و نهایتاً لیتیم اثرات متفاوتی بر آلیاژهای آلومینیم می گذارند. این عناصر عمدتاً به منظور بهبود استحکام وخواص خوردگی افزوده می شود [۳-۹] .

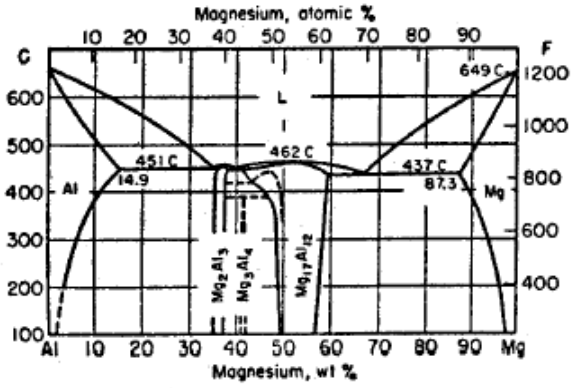
- منیزیم

اصلی ترین عنصر آلیاژی که به آلیاژهای سری ۵۰۰۰ افزوده می شود منیزیم است که بهبود دهنده اصلی



شکل ۲-۱) آلیاژهای آلومینیم ومعرفی سیستمهای تمپر[۹] .

استحکام واصلاح کننده خصوصیات کار سختی آلومینیم است. منیزیم در آلومینیم جامد انحلال پذیری بالایی دارد (شکل ۲-۲) [۳و۵]. همچنین منیزیم در ترکیب با سایر عناصر و به طور قابل ملاحظه با مس و روی به منظور اصلاح گسترده تر استحکام افزوده می شود. آلیاژهای Al-Mg حاوی کمتر از هفت درصد منیزیم (سری ۵۰۰۰)خصوصیات عملیات حرارتی محسوسی نشان نمی دهند [۳] .



شکل ۲-۲) دیاگرام فازی AL-Mg. [۵].

ماکزیمم حلالیت منیزیم در آلومینیم ، ٪ ۱۴٫۷ است اما مقدار منیزیم در آلیاژهای کار شده رایج کمتر از ۵٫۵ درصد است. افزایش منیزیم باعث افزایش استحکام آلومینیم ، بدون کاهش انعطاف پذیری می شود. همچنین مقاومت به خوردگی وجوش پذیری را بهبود می بخشد [٤] .

۲-۵- خصوصیات آلیاژهای کار شده

استحکام آلیاژهای کار شده عملیات حرارتی ناپذیر از طریق تشکیل محلول جامد و یا سختی پراکنی[۱] افزایش می یابد و همچنین استحکام آنها به روش کرنش سختی بیشتر افزایش داده می شود. آلیاژهای عملیات حرارتی پذیر توسط عملیات حرارتی محلولی مستحکم شده و با پیر شدن استحکام آنها کنترل می شود[۳]. سیستم های باز پخت آلیاژهای آلومینیم به صورت زیر معرفی شده اند[۷]:

F - پس از تولید[۲]

O - آنیل شده[۳]

H - کرنش سخت شده[٤]

W- عملیات حرارتی محلول سازی شده[٥]

T- عملیات حرارتی شده[٦] برای پایدار کردن باز پختها غیر از F ، O یا H

---

1 - Dispertion Hardening
2 - As Fabricated
3 - Annealed
4 - Strain-Hardened
5 - Solution Heat -Treated
6 - Thermally Treated

در آلیاژهای سری ۵۰۰۰ باز پختها ی F ، O و H کاربرد بیشتری دارند. تقسیمات فرعی باز پخت H در شکل ۲-۱ تشریح شده اند[۷و۹]. محصولات کار شده آلیاژهای Al-Mg همیشه به صورت تمپر O و در یک یا چند تمپر H۱، H۲ یا H۳ وجود دارند.تمپر۳ H در استفاده عمومی برای تمپرهای کرنش سختی شده این آلیـاژهاست. به دلیـل اینـکه تمپـر H۱ در دمای اتاق پایدار نیست ، تمپرH۳ برای ایجاد خصوصیات پایدار با انعطافپذیری بالا و اصلاح خصوصیات شکل پذیری استفاده می شود. در تعداد محدودی از این آلیاژها ، تمپرH۲ برای مقاومت به خوردگی خوب و اصلاح خصوصیات شکل پذیری به همراه استحکام های بالاتر از تمپر O استفاده می شود[٤ و٥].آلیاژهای Al-Mg ترکیبی از یک گستره وسیع استحکام ، شکل پذیری ، قابلیت خوب جوش پذیری ومقاومت به خوردگی بالا برخوردار هستند. در جوشکاری این آلیاژها از فرایندهای جوشکاری قوسی محافظت شده استفاده می شود. استحکام های جوش با استحکام های آلیاژهای آنیل شده برابر است و جوش ها انعطافپذیری خوبی نشان می دهند[٤] .

۲-۶- سیستم آلیاژی Al-Mg (سری ۵۰۰۰)

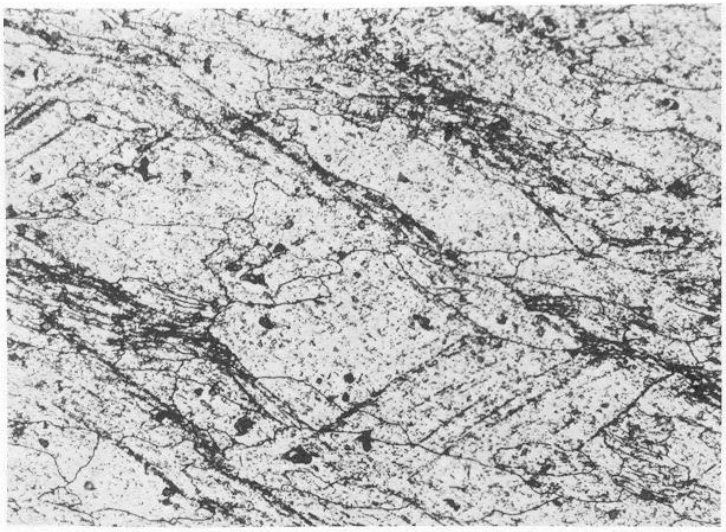
- ترکیب شیمیایی

چنانکه ذکر شد آلیاژهای دوتایی Al-Mg مهمترین کلاس آلیاژهای عملیات حرارتی ناپذیر هستند [٤و٥].اگرچه Mg ذاتاً در آلومینیم جامد محلول است ، آلیاژهای دوتایی خصوصیات محسوس سختی رسوبی در غلظت های زیر هفت درصد نشان نمی دهند. با این حال ، منیزیم علاوه بر افزایش استحکام و انعطافپذیری در نتیجه کار سرد ، مقاومت به خوردگی و جوش پذیری آلیاژرا بهبود می بخشد[٤ و٥و٨].در آلیاژهای غنی از آلومینیم ، یوتکتیک در دمای ۴۵۰ ^{o}C (۸٤۰ ^{o}F) و در غلظت ۳۵ درصد Mg اتفاق می افتد [٤ و٥]. فازهای جامد در تعادل با مایع در این دما محلول جامد آلومینیم حاوی ۱۴٫۹ درصد منیزیم و فاز Mg_2Al_3 حاوی ۳۷٫۳ درصد منیزیم است. اگرچه این ترکیب خارج از محدوده های موجود (۳٤/۸درصد تا ۳۷/۱ درصد) است[٤و٥]. فرمول مناسب دیگری برای ترکیب فاز جامد به صورت Mg_5Al_8 (۳۶ درصد منیزیم)پیشنهاد شده است.تعادل در انجماد فقط با نرخ های سرمایش کمتر از ۵ $x10^{-6}$ ^{o}C /h به دست می آید. انجماد تحت حالت های غیر تعادلی سبب مغزه گیری با ظهور فاز Mg_5Al_8 در مقادیر منیزیم در حدود ۴ تا ۵ درصد ، می شود. Mg_5Al_8 زیر ۳۳۰ ^{o}C (٦۳۰ ^{o}F) بسیار ترد است اما در دماهای بالاتر کمی قابلیت شکل پذیری نشان می دهد [٤] . ذوب فاز Mg_2Al_3 در دمای ٤۵۲ ^{o}C اتفاق می افتد[۵] . اغلب آلیاژهای Al-Mg دارای عناصری مثل منگنز (۰/۱ تا

یک درصد) و یا کروم (۰/۱ تا ۰/۲۵ درصد) می باشند که این عناصر برای افزایش استحکام به کار برده می شوند[۸] . از خصوصیات بارز آلیاژهای Al-Mg این است که وقتی جوشکاری قوسی با آرگون انجام می شود آلیاژهایی که استحکام بیشتری دارند جوش پذیری مطلوبی از خود نشان می دهند[۸] . اگر مقدار منیزیم از ۳ تا ۴ درصد تجاوز کند ، تمایل برای رسوب فاز ß ، Mg_5AL_8 در باندهای لغزش و مرز دانه ها به وجود می آید که ممکن است سبب حملات خوردگی تحت تنش در محیط های خورنده شود.رسوب فاز ß فقط به آرامی در دماهای محیط اتفاق می افتد اما اگرآلیاژها در یک حالت کارشده شدید باشند و یا اگر دما افزایش یابد ، رسوب گذاری تشدید می شود. مقادیر کم کروم و منگنز که در بسیاری از آلیاژها حضور دارند و دمای تبلور مجدد را افزایش می دهند نیز سبب افزایش خصوصیات کششی این آلیاژها در یک مقدار معین منیزیم می شوند[۹].

- ساختار

آلیاژهای Al-Mg کارسرد شده تولید باندهای تغییر شکل یافته برجسته ای می کنند که توسط رسوبات غنی از منیزیم آرایش یافته اند(شکل (۲-۳)) [٤] .



شکل ۲-۳) آلیاژ ۵۰۸۳ آهنگری سرد شده وگرم شده دردمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت [۴].

به طور کلی آلیاژهای Al-Mg یک ساختار محلول جامد دارند که به خاطر انحلال پذیری بالای منیزیم در آلومینیم است. دربرخی موارد رسوبات Mg_2AL_3 نیز در ساختار وجود دارند. این ذرات به صورت حل نشده یا به صورت ذرات رسوب ظریف ایجاد شده در اثر سرمایش آرام یا یک عملیات حرارتی دما پایین نیز مشخص می شوند[۵] . این پدیده در صورتی به وجود می آید که مقدار منیزیم در آلیاژAL-Mg از۳٫۵ درصد بیشتر باشد [۸] .

- خواص مکانیکی

نظر به اینکه مقدار منیزیم محلول در دمای تابکاری آلیاژهای Al-Mg با بیش از ۴ درصد منیزیم (مانند ۵۰۸۳ ، ۵۰۸۶ ، ۵۰۵۶ و۵۴۵۴) بیشتراز مقدار منیزیم محلول در دمای اتاق است ، در نتیجه اگر این آلیاژها به شدت کرنش یابند یا به مدت زیادی در دمای اتاق انبار شوند ، رسوبهای Mg_2AL_3 در امتداد نوار لغزش به وجود می آیند. همچنین اگر این آلیاژها در شرایط تابکاری در دماهای بیشتر قرار گیرند ، رسوب در مرز دانه ها تشکیل می شود. این رسوبها آلیاژ را در معرض شکست مرز دانه ای و خوردگی تحت تنش در محیطهای خورنده قرار می دهند.[۴،۵و۸] به طور خاص مشخصات آلیاژ ۵۰۸۳ در جدول ۲-۳ آمده است [۱۲] .

۲-۷- کاربردها

درایالات متحده تقاضای اصلی صنعت آلومینیم را بازارهای ساختمانی ، الکتریکی ، تجهیزات و ماشینها ، کانتینرها و بسته ها ، صادرات و سایر موارد ، دارند. واضح است که هر کدام از موارد شامل گستره وسیعی از کاربرد است [۳، ٤، ٥، ٨ و ٩] . در میان آلیاژهای آلومینیم ، آلیاژهای سری ۵۰۰۰ عمدتاً کاربردهای دریایی دارند. به طور خاص آلیاژ ۵۰۸۳ برای انواع جفتهای جوشکاری شده ، قطعات دریایی ومخزن های[1] نیازمند به جوش با کارایی بالا و حداکثر استحکام اتصال استفاده می شود. همچنین در ظروف تحت فشار[2] تا دمای ^oC ٦٥ (^oF ۱۵۰) و در بسیاری کاربردهای سرمایی[3] ، پلها ، ماشینهای باری ، برجهای[4] تلویزیون ، بادبانها و دکلهای نظامی، تجهیزات حمل ونقل و قطعات موشک استفاده می شود. این آلیاژها مقاومت به خوردگی خوبی دارند[۳، ٤، ٥، ٨و٩] .

در ساخت تجهیزاتی که در آنها از آلیاژهای آلومینیم استفاده می شود به منظور انجام اتصالات اغلب از فرآیندهای مختلف جوشکاری استفاده می شود . جوشکاری آلومینیم به لحاظ خصوصیات فیزیکی خاص این فلز و آلیاژهایش ، تکنیکها و روشهای مخصوص به خود را دارد. در این قسمت به جوشکاری آلومینیم و آلیاژهایش در ابعاد مختلف تکنیکی و متالورژیکی پرداخته می شود.

---

[1] - Tanks
[2] - Pressure Vessels
[3] - Cryogenic
[4] - Towers

جدول ۲-۳) مشخصات آلیاژ۵۰۸۳ [۱۲].

5083

ASTM GM41A

Color Identification: RED & GRAY

Application:

All types of welded assemblies requiring high strength. Used in pressure vessels and marine components. Should not be used at temperatures above 150°F.

Availability:

Sheet	O, H113, H32, H34
Plate	F, O, H113, H321, H323, H343
Tube, extruded	F, O, H112
drawn	O, H112
Shapes, extruded	F, O, H112
Rod	F, O, H112
Bar	F, O, H112
Pipe	H112

Physical Properties:

Density .096 lb per cu in.
Specific Gravity 2.66
Thermal Expansion .0000132
Modulus of Elasticity
E = 10.3 x 10^6 psi
Modulus of Rigidity
G = 3.85 x 10^6 psi

Chemical Composition:

Silicon	.40
Iron	.40
Copper	.10
Manganese	.3-1.00
Magnesium	4.0-4.9
Chromium	0.5-.25
Zinc	.25
Titanium	.15
Others, each	.05
Others, total	.15
Aluminum	Remainder

Relative Corrosion Resistance:

Rural	Excellent
Industrial	Excellent
Marine	Good
Sea Water	Good

Relative Fabrication Rating:

Cold working—O	B
Cold working—H113	C
Arc welding	A
Resistance welding	B-A
Machining	C

Joining:

Rivet alloys 1100, 6053-T61, 6053-T6
Welding wire 5356
Welded strength
T_{uw} = 43 Ksi
T_{yw} = 21 Ksi
Free bend elongation 35%

Design Codes:

ASME
ICC

Form	Temper	Thickness Inch	Minimum Mechanical Properties—Ksi								Endurance Limit Ksi		Short Column Formula		
			Tension			Compr.	Shear		Bearing				C_1	Ksi	C
			F_{tu}	F_{ty}	Elong. %	F_{cy}	F_{su}	F_{sy}	F_{bru}	F_{bry}					
Sheet & Plate	O	.051-1.500	40	18	16	18	25	10	80	36	23		22	20.4−.111 KL/r	121
		1.501-3.000	39	17	16	17	—	—	—	—	—		22	19.2−.101 KL/r	120
	H32	.051-.249	45	34	8-10	32	26	20	85	54	—		20	37.7−.278 KL/r	86
	H34	.051-.249	50	39	6-8	37	29	22	95	62	—		20	44.1−.352 KL/r	80
	H113	.188-1.500	44	31	12	29	26	18	80	50	23		21	33.9−.239 KL/r	91
		1.501-2.000	41	29	12	27	—	—	—	—	—		21	31.4−.212 KL/r	98
	H321	.126-3.000	44	31	12	29	26	18	80	50	—		21	33.9−.237 KL/r	91
	H323	.051-1.000	45	34	8-10	32	26	20	85	54	—		20	37.7−.278 KL/r	86
	H343	.051-1.000	50	39	6-8	37	29	22	95	62	—		20	44.1−.352 KL/r	80
Extr.	O	all	39	16	14	—	—	—	—	—	—		22	18.0−.092 KL/r	128
	H112	all	40	24	12	20	25	—	80	41	—		21	22.8−.131 KL/r	112

Minimum recommended bend radii for 90° cold bending:

Temper	Sheet Thickness—Inch										Plate Thickness—Inch						
	.016	.025	.032	.040	.050	.064	.090	.125	.190	.250	5/16	3/8	7/16	1/2	5/8	3/4	1 & up
	Bend radii in 32nds of an inch										Bend radii in terms of thickness—t						
O	—	—	—	—	3	4	6	8	12	16	all 2 t						
H32	—	—	—	—	6	7	10	14	20	28	—						
H34		—	—	—	8	10	14	20	28	36	—						
H113	—	—	—	—	—	—	—	14	20	28	3¾ t						4 t