





دانشگاه تهران
پردیس دانشکده های فنی
دانشکده مهندسی متالورژی و مواد

عنوان

آلیاژ سازی سطحی آلومینیم در محیط حاوی نیتروژن به وسیله فرآیند TIG و بررسی خواص حاصل

نگارش:

مهدی قاضی زاده

استاد راهنما:

دکتر محمود حیدرزاده سهی

استاد مشاور:

دکتر سید فرشید کاشانی بزرگ

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی متالورژی و مواد

گرایش انتخاب و روش ساخت مواد مهندسی

چکیده

در این پژوهش ذوب و آلیاژ سازی سطحی آلومینیم ۵۰۵۲ در محیط حاوی نیتروژن به وسیله فرآیند TIG مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا تاثیر شدت جریان (از ۷۵ تا ۱۵۰ آمپر)، سرعت حرکت نسبی (از ۵۰ تا ۲۰۰ میلیمتر بر دقیقه) و دبی گاز نیتروژن دمیده شده به سطح (از ۳ تا ۵ لیتر بر دقیقه) بر هندسه ناحیه ذوب شده، ساختارهای ایجاد شده در ناحیه ذوب سطحی، تغییرات ریز سختی این ساختارها و همچنین مقاومت به سایش آن ها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت.

با انجام آلیاژ سازی در محیط حاوی نیتروژن فاز سخت نیتريد آلومینیم تشکیل شد. بررسی ها نشان داد که تغییر دبی نیتروژن دمیده شده به سطح در حین فرآیند TIG از ۳ lit/min تا ۵ تاثیر چندانی بر ساختار نیتريد ایجاد شده و خواص حاصل از آن ندارد. همچنین مشاهده شد که با افزایش حرارت ورودی عمق و پهنای منطقه ذوب شده افزایش می یابد. افزایش حرارت ورودی از حدود ۲ تا ۹ kJ/cm در هر دو حالت ذوب سطحی و آلیاژ سازی باعث افزایش عیوب در منطقه ذوب شده و کاهش سختی، کاهش مقاومت به سایش شد.

نتایج سختی سنجی حاکی از افزایش ریز سختی از ۵۲ HV برای آلیاژ پایه به ۱۴۸ HV برای نمونه های ذوب سطحی و به ۱۴۱۶ HV برای نمونه های آلیاژ سازی شده بود.

بررسی مقاومت به سایش لایه ها به کمک آزمون پین روی دیسک حاکی از افزایش چشمگیر مقاومت به سایش در مقایسه با آلیاژ پایه بود. نمونه های ذوب سطحی تا ۴۵٪ و نمونه های آلیاژ سازی تا ۲۵۰٪ بهبود رفتار سایشی را نسبت به آلیاژ پایه نشان دادند.

کلمات کلیدی: قوس تنگستن، آلومینیم ۵۰۵۲، آلیاژ سازی سطحی، ذوب سطحی، نیتريد آلومینیم،

ریز سختی، مقاومت به سایش.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول مقدمه
	فصل دوم مروری بر منابع
۳	۱-۲ آلومینیم و آلیاژهای آن
۳	۲-۲ کاربردهای آلومینیم و آلیاژهای آن
۴	۳-۲ سایش آلومینیم و آلیاژهای آن
۶	۴-۲ خوردگی آلومینیم و آلیاژهای آن
۷	۵-۲ عملیات سطحی آلیاژهای آلومینیم
۷	۱-۵-۲ آندایزینگ
۹	۲-۵-۲ آبکاری الکتریکی
۱۰	۳-۵-۲ پوشش های اسپری حرارتی
۱۱	۴-۵-۲ کاشت یونی
۱۲	۵-۵-۲ نیتروژن دهی پلاسمایی
۱۳	۶-۲ عملیات سطحی با استفاده از منابع متمرکز انرژی
۱۳	۱-۶-۲ معرفی منابع متمرکز انرژی
۱۳	۱-۱-۶-۲ پرتو لیزر
۱۴	۲-۱-۶-۲ پرتو الکترونی
۱۴	۳-۱-۶-۲ فرآیند جوشکاری TIG
۱۶	۴-۱-۶-۲ مقایسه منابع متمرکز انرژی
۱۷	۲-۶-۲ روش های سخت کردن سطحی با استفاده از منابع متمرکز انرژی
۱۸	۱-۲-۶-۲ سخت کردن سطحی توسط استحاله فازی
۱۸	۲-۲-۶-۲ سخت کردن توسط شوک
۱۹	۳-۲-۶-۲ ذوب سطحی
۲۱	۴-۲-۶-۲ آلیاژ سازی سطحی
۲۷	۵-۲-۶-۲ ایجاد یک لایه خارجی در سطح

صفحه	عنوان
۳۰	۷-۲ آلیاژ سازی سطحی آلومینیم به منظور تشکیل AIN
	فصل سوم روش تحقیق
۳۲	۱-۳ آماده سازی سطح نمونه ها
۳۲	۲-۳ تنظیم میز X - Y و دستگاه TIG
۳۵	۳-۳ بررسی های ریز ساختاری
۳۶	۴-۳ آزمایش های پراش سنجی پرتو ایکس
۳۶	۵-۳ آزمایش ریز سختی سنجی
۳۷	۶-۳ آزمایش سایش و اصطکاک
	فصل چهارم نتایج و بحث
۳۹	۱-۴ بهینه سازی متغیرهای فرآیند
۴۰	۲-۴ اثر حرارت ورودی بر هندسه منطقه جوش
۴۲	۳-۴ ریز ساختار و ساختمان های بلوری حاصل از ذوب و آلیاژ سازی سطحی
۴۲	۱-۳-۴ ذوب سطحی
۴۴	۲-۳-۴ آلیاژ سازی سطحی در محیط حاوی نیتروژن
۵۲	۴-۴ بررسی نتایج حاصل از ریز سختی سنجی
۵۵	۵-۴ ارزیابی مقاومت به سایش
۵۵	۱-۵-۴ بررسی کاهش وزن نمونه ها در آزمایش سایش
۶۰	۲-۵-۴ بررسی ضریب اصطکاک
۶۴	۳-۵-۴ بررسی های میکروسکوپی و پراش سنجی پرتو ایکس
	فصل پنجم نتیجه گیری
۷۷	۱-۵ نتیجه گیری

صفحه

۷۹

۸۰

عنوان

۲-۵ پیشنهادها

مراجع

فهرست جدول ها

صفحه	عنوان
۱۳	جدول ۱-۲ نتایج حاصل از انجام آزمون سایش بر روی آلیاژهای آلومینیم
۱۷	جدول ۲-۲ مقایسه منابع متمرکز انرژی
۲۸	جدول ۳-۲ نتایج آزمایش سایش هر چهار نمونه با گلوله های AISI ۵۲۱۰۰
۳۰	جدول ۴-۲ برخی از مشخصات AIN
۳۲	جدول ۱-۳ ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیم ۵۰۵۲
۳۵	جدول ۲-۳ متغیرهای مورد استفاده در فرآیند ذوب سطحی با TIG
۳۶	جدول ۳-۳ متغیرهای مورد استفاده در فرآیند آلیاژ سازی سطحی با TIG
۴۷	جدول ۲-۴ آنالیز EDS مقطع نمونه آلیاژ سازی سطحی شده با دبی نیتروژن ۵ lit/min و حرارت ورودی ۲/۷۰ kJ/cm
۴۷	جدول ۲-۴ آنالیز EDS مقطع نمونه آلیاژ سازی سطحی شده با دبی نیتروژن ۵ lit/min و حرارت ورودی ۷/۶۰ kJ/cm
۴۹	جدول ۳-۴ آنالیز EDS رگه های تیره در شکل ۴-۱۰
۴۹	جدول ۳-۴ آنالیز EDS رگه های روشن در شکل ۴-۱۰
۵۰	جدول ۵-۴ آنالیز EDS مقطع نمونه آلیاژ سازی سطحی شده با دبی نیتروژن ۳ lit/min و حرارت ورودی ۲/۷۰ kJ/cm
۵۲	جدول ۶-۴ آنالیز EDS مقطع نمونه آلیاژ سازی سطحی شده با دبی نیتروژن ۴ lit/min و حرارت ورودی ۲/۷۰ kJ/cm
۵۳	جدول ۷-۴ نتایج آزمون ریز سختی از نمونه های ذوب سطحی و آلیاژ پایه
۵۴	جدول ۸-۴ نتایج آزمون ریز سختی از نمونه های آلیاژ سازی شده و آلیاژ پایه
۶۵	جدول ۹-۴ آنالیز EDS نواحی کنده شده در شکل ۴-۲۳
۶۶	جدول ۱۰-۴ آنالیز EDS نواحی شیار خورده در شکل ۴-۲۳
۶۸	جدول ۱۱-۴ آنالیز EDS نواحی کنده شده در شکل ۴-۲۶
۶۹	جدول ۱۲-۴ آنالیز EDS نواحی شیار خورده در شکل ۴-۲۶
۷۰	جدول ۱۴-۴ آنالیز EDS نواحی تیره در شکل ۴-۲۷
۷۱	جدول ۱۵-۴ آنالیز EDS نواحی روشن در شکل ۴-۲۷

صفحه

عنوان

۷۳

جدول ۱۶-۴ آنالیز EDS ذرات ریز در شکل ۲۹-۴

۷۴

جدول ۱۷-۴ آنالیز EDS نواحی تیره در شکل ۲۹-۴

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۹	شکل ۱-۲ تصاویر SEM از توزیع حفره ها در لایه اکسیدی آندایز شده بر روی نمونه
۱۵	شکل ۲-۲ نمایی از فرآیند TIG و تجهیزات آن
۱۶	شکل ۳-۲ سه نوع قطب مختلف مورد استفاده در روش جوشکاری TIG
۲۱	شکل ۴-۲ روش های مختلف آلیاژ سازی سطحی به وسیله منابع متمرکز انرژی
۲۳	شکل ۵-۲ ضریب اصطکاک آلیاژ پایه و آلیاژ سازی شده در دو نیروی اعمالی ۲N و ۵N
	شکل ۶-۲ تصاویر SEM الف) تشکیل شبکه نازک و متراکم از ذرات اکسیدی ؛
۲۳	ب) شکسته شدن شبکه و تشکیل ذرات سایشی از طریق مکانیزم ورقه ای شدن
۲۶	شکل ۷-۲ نمودار پلاریزاسیون برای نمونه های گوناگون
۲۹	شکل ۸-۲ تصویر SEM از مقطع عرضی لایه ایجاد شده
۳۲	شکل ۱-۳ الگوی انجام عملیات ذوب و یا آلیاژ سازی سطحی روی هر نمونه
۳۳	شکل ۲-۳ دستگاه جوشکاری TIG
۳۳	شکل ۳-۳ میز اتوماتیک X-Y
۳۸	شکل ۴-۳ شماتیک آزمایش سایش به روش پین روی دیسک
	شکل ۱-۴ تصاویر SEM از نمونه های ذوب سطحی با حرارت های ورودی
۳۹	$۳/۲۴$ و $۲/۱۶$ kJ/cm
	شکل ۲-۴ تصاویر SEM از نمونه های ذوب سطحی با حرارت های ورودی
۴۰	$۸/۶۴$ و $۶/۴۸$ ، $۵/۴۰$ ، $۴/۳۲$ kJ/cm
۴۱	شکل ۳-۴ ارتباط بین گرمای ورودی و عمق ناحیه ذوب شده
۴۱	شکل ۴-۴ ارتباط بین گرمای ورودی و عرض ناحیه ذوب شده
	شکل ۵-۴ تصویر میکروسکوپ نوری از چهار ناحیه مشاهده شده در نمونه ذوب سطحی
۴۲	با حداقل حرارت ورودی
	شکل ۶-۴ تصویر میکروسکوپ نوری از ناحیه ۱) هم محور، ۲) فصل مشترک ساختار ستونی
۴۳	و هم محور، ۳) ساختار ستونی، ۴) فصل مشترک فلز پایه و منطقه ذوب
۴۴	شکل ۷-۴ الگوی پراش پرتو ایکس نمونه ذوب سطحی شده با حرارت ورودی $۲/۱۶$ kJ/cm
	شکل ۸-۴ تصاویر SEM سطح مقطع نمونه های آلیاژ سازی سطحی شده با دبی نیتروژن

صفحه	عنوان
۴۵	۵ lit/min در حداقل و حداکثر حرارت ورودی
۴۶	شکل ۹-۴ الگوهای پراش پرتو ایکس نمونه های آلیاژ سازی سطحی شده با دبی نیتروژن ۵ lit/min در حداقل و حداکثر حرارت ورودی
۴۸	شکل ۱۰-۴ تصاویر SEM سطح مقطع نمونه آلیاژ سازی سطحی شده با دبی نیتروژن ۵ lit/min و حرارت ورودی ۲/۷۰ kJ/cm با بزرگنمایی های مختلف
۵۰	شکل ۱۱-۴ تصاویر SEM سطح مقطع نمونه آلیاژ سازی سطحی شده با دبی نیتروژن ۳ lit/min و حرارت ورودی ۲/۷۰ kJ/cm با بزرگنمایی های مختلف
۵۱	شکل ۱۲-۴ تصاویر SEM سطح مقطع نمونه آلیاژ سازی سطحی شده با دبی نیتروژن ۴ lit/min و حرارت ورودی ۲/۷۰ kJ/cm با بزرگنمایی های مختلف
۵۲	شکل ۱۳-۴ توزیع ریز سختی مقطع نمونه ذوب سطحی شده با حرارت ورودی ۲/۱۶ kJ/cm
۵۴	شکل ۱۴-۴ توزیع ریز سختی مقطع نمونه آلیاژ سازی سطحی شده با دبی نیتروژن ۵ lit/min و حرارت ورودی ۲/۷۰ kJ/cm
۵۶	شکل ۱۵-۴ نمودار مجموع کاهش وزن بر حسب مسافت لغزش برای نمونه های آلیاژ پایه و ذوب سطحی شده
۵۸	شکل ۱۶-۴ نمودار مجموع کاهش وزن بر حسب مسافت لغزش برای نمونه های آلیاژ سازی شده با دبی نیتروژن ۵ lit/min
۵۹	شکل ۱۷-۴ نمودار مجموع کاهش وزن بر حسب مسافت لغزش برای نمونه آلیاژ سازی شده با دبی نیتروژن ۳ lit/min، تحت بار اعمالی ۲۰ N
۵۹	شکل ۱۸-۴ نمودار مجموع کاهش وزن بر حسب مسافت لغزش برای نمونه های آلیاژ سازی شده با دبی نیتروژن ۳ lit/min، تحت بارهای اعمالی ۴۰ و ۸۰ N
۶۰	شکل ۱۹-۴ نمودار کاهش وزن برای تمامی نمونه های آزمون سایش
۶۲	شکل ۲۰-۴ تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت لغزش برای نمونه های آلیاژ پایه و ذوب سطحی شده با حرارت ورودی ۲/۱۶ kJ/cm
۶۳	شکل ۲۱-۴ تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت لغزش برای نمونه های آلیاژ سازی شده با دبی نیتروژن ۳ lit/min، تحت بارهای اعمالی ۲۰ و ۸۰ N

صفحه	عنوان
۶۴	شکل ۲۲-۴ تصویر الکترون های برگشتی و ثانویه از سطح سایش آلیاژ پایه
۶۵	شکل ۲۳-۴ تصویر الکترون های برگشتی از سطح سایش آلیاژ پایه در بزرگنمایی بالاتر
۶۶	شکل ۲۴-۴ توزیع خطی عناصر آلومینیم، آهن و اکسیژن در نمونه سایشی آلیاژ پایه
۶۷	شکل ۲۵-۴ الگوهای پراش پرتو ایکس از سطح سایش نمونه آلیاژ پایه
۶۹	شکل ۲۶-۴ تصویر الکترون های برگشتی و ثانویه از سطح سایش نمونه ذوب سطحی شده با حرارت ورودی $2/16 \text{ kJ/cm}$
۷۱	شکل ۲۷-۴ تصاویر SEM از سطح سایش نمونه آلیاژسازی شده با دبی نیتروژن 3 lit/min ، تحت بار اعمالی 20 N
۷۲	شکل ۲۸-۴ الگوهای پراش پرتو ایکس از سطح سایش نمونه آلیاژسازی شده با دبی نیتروژن 3 lit/min ، تحت بار اعمالی 20 N
۷۳	شکل ۲۹-۴ تصاویر SEM از سطح سایش دیسک نمونه آلیاژسازی شده با دبی نیتروژن 3 lit/min ، تحت بار اعمالی 20 N
۷۵	شکل ۳۰-۴ تصاویر SEM از سطح نمونه آلیاژسازی شده با دبی نیتروژن 3 lit/min ، تحت بار اعمالی 80 N
۷۶	شکل ۳۱-۴ توزیع خطی عناصر نیتروژن، آهن و اکسیژن در نمونه آلیاژسازی شده با دبی نیتروژن 3 lit/min ، تحت بار اعمالی 80 N

فصل اول

مقدمه

مقدمه

امروزه آلومینیم و آلیاژهای آن به عنوان یک ماده اولیه مهم صنعتی محسوب شده و در بازار جهانی پس از فولاد مهمترین فلز مصرفی هستند. این موضوع به دلیل خواص مناسب این آلیاژها مانند نسبت استحکام به وزن بالا، مقاومت به خوردگی خوب، سهولت ساخت، هدایت گرمایی و الکتریکی بالا، قیمت پایین و ... است.

علی رغم خواص مناسبی که ذکر شد، آلومینیم و آلیاژهای آن از خواص تریبولوژی ضعیفی بهره می برند. به این دلیل، تحقیقات زیادی بر روی آلومینیم و آلیاژهای آن به منظور بهبود رفتار سایشی صورت گرفته است که شامل بهینه سازی ترکیب آلیاژ، تولید کامپوزیت های زمینه فلزی و کاربرد روش های متداول در مهندسی سطح است. در این راستا، از روش های گوناگونی به منظور ایجاد یک لایه سخت در سطح قطعات استفاده می شود که از آن جمله می توان به فرآیند ذوب سطحی اشاره نمود. در این روش با استفاده از یک منبع با چگالی بالای انرژی مانند لیزر، پرتو الکترونی و یا TIG، یک لایه نازک از سطح نمونه ذوب شده و سریعاً منجمد می شود. در این فرآیند به دلیل گرم شدن سریع و کاملاً موضعی سطح نمونه در حالی که هنوز درجه حرارت کل قطعه چندان افزایش نیافته است، ناحیه ذوب شده در اثر انتقال حرارت بالای فلز سریعاً منجمد می شود که این امر باعث ایجاد ساختاری ریز دانه شده و سختی سطح را افزایش می دهد. از جمله مزایای این روش می توان به برخورداری از دقت و کنترل بالا، کم کردن هزینه ها با استفاده از آلیاژهای معمولی و سرعت بالای انجماد اشاره کرد که می توانند باعث افزایش حد حلالیت، ریزدانه‌گی و تولید فازهای نیمه پایدار می شوند که سختی و مقاومت به سایش را افزایش می دهند.

در مواردی که خواص حاصل از ذوب سطحی نامناسب و یا ناکافی باشد، می توان به منظور بهبود خصوصیات لایه سطحی از روش آلیاژ سازی استفاده کرد. عناصر گوناگونی با این روش در آلیاژ سازی سطحی آلومینیم و آلیاژهای آن استفاده می شوند که انتخاب آن ها بسته به نوع کاربرد و خواص مد نظر صورت می گیرد؛ از آن جمله می توان به عناصری چون Cr , Cu , Fe , Ni اشاره نمود. استفاده از نیتروژن به منظور ایجاد فاز سخت AlN با استفاده از ذوب سطحی در محیط حاوی نیتروژن در پژوهش های محدودی بررسی شده است. ایجاد نیتريد آلومینیم باعث بهبود خواص سطحی قطعات از جمله سختی و در نتیجه مقاومت به سایش آن ها می شود.

در تحقیق حاضر روش جوشکاری قوس تنگستن (Tungsten Inert Gas) در محیط گاز خنثی جهت تامین انرژی لازم برای ذوب سطحی آلیاژ آلومینیم ۵۰۵۲ به کار گرفته شد. انتخاب این روش به دلیل عواملی همچون ارزانی و دسترسی آسان در اغلب کارگاه های جوشکاری بود. همچنین جهت ایجاد لایه

های سطحی بر مبنای نیتريد آلومينيم از محيطی شامل گاز نيتروژن استفاده شد. با توجه به تشكيل فاز نيتريدي در لايه های سطحی آلياژ شده، انتظار می رود خواص سايشی ارتقاء يابد. در ادامه تاثير متغيرهای فرآيند (شدت جريان و سرعت حرکت نسبی مشعل TIG نسبت به نمونه) بر مشخصات هندسی لايه ها همچون عمق، پهنا، شناسایی ساختار و فازهای حاضر در لايه ها، و در نهايت ارزیابی سختی، مقاومت به سايش نمونه ها مورد بررسی قرار گرفت.

فصل دوم

مروری بر منابع

۱-۲ آلومینیم و آلیاژهای آن

آلومینیم برای اولین بار در سال ۱۸۵۵ میلادی و در کشور فرانسه توسط شخصی به نام H. Sainte-Claive Deville از طریق احیاء کلرید آلومینیم با سدیم تهیه شد. همانند اغلب موارد، مصارف مهم نظامی این فلز جدید منجر به پشتیبانی دولتی از تولید آن شد و امروزه آلومینیم به عنوان یک ماده اولیه مهم صنعتی محسوب شده و در بازار جهانی بعد از فولاد مهم ترین و پر کاربردترین ماده مصرفی است [۱].

آلومینیم و آلیاژهای آن محدوده وسیعی از خواص مناسب و مد نظر صنعتگران را دارا هستند که این امر عمدتاً به دلیل تعداد زیاد آلیاژها و تنوع ترکیب آن ها، و نیز خواص منحصر به فرد آلومینیم خالص است. در حال حاضر بیش از دو بیست آلیاژ تجاری آلومینیم وجود دارد که هر یک از این آلیاژها به منظور خاصی طراحی شده و خواص مشخصه خود را دارا هستند. از جمله مهمترین خواص آلومینیم می توان به موارد زیر اشاره کرد [۲,۳]:

۱- وزن مخصوص کم

۲- مقاومت زیاد در برابر خوردگی

۳- نسبت استحکام به وزن بالا

۴- هدایت الکتریکی بالا

۵- هدایت حرارتی بالا

۶- شکل پذیری با دما

۷- استحکام بالا در محدوده دمایی پایین

طبقه بندی آلیاژهای آلومینیم بر اساس یک سیستم مشخص و استاندارد به نام (Aluminum Association) AA انجام می شود. در این سیستم نامگذاری، آلیاژهای آلومینیم به دو دسته عمده آلیاژهای کاربردی و آلیاژهای ریختگی تقسیم می شوند.

۲-۲ کاربردهای آلومینیم و آلیاژهای آن

استفاده از آلومینیم و آلیاژهای آن در صنایع هوا-فضا و خودرو سازی روز به روز بیشتر می شود [۶-۴]. این امر را می توان ناشی از خواصی همچون نسبت استحکام به وزن بالا، مقاومت به خوردگی عالی، تولید آسان، هدایت حرارتی و الکتریکی بالا، قیمت پایین و با ارزش بودن قراضه های آلومینیم دانست [۷]. با وجود خواص مناسب ذکر شده، آلومینیم و آلیاژهای آن از مقاومت به سایش ضعیفی بهره می برند. از این رو استفاده از مواد پایه آلومینیومی در کاربری های تریبولوژیکی همواره مورد توجه بسیار

قرار داشته و تحقیقات دانشگاهی و صنعتی زیادی به منظور بهینه سازی این مواد صورت گرفته است. در کنار استفاده انبوه این صنایع، آلومینیم و آلیاژهای آن در زمینه های دیگری مانند بیولوژی، ساخت باطری های هیبریدی، بسته بندی و نگهدارنده های مواد غذایی، خازن های الکتریکی و الکترولیتی در عایق های حرارتی، ظروف پخت و پز مورد استفاده در آشپزخانه، مخزن نگهدارنده مواد شیمیایی، سازه های زیر آبی، تجهیزات دندان پزشکی و قطعات کشاورزی و تزئینی استفاده می شوند [۸-۱۳].

۳-۲ سایش آلومینیم و آلیاژهای آن

میزان استحکام کششی نسبتاً کم آلومینیم باعث افزایش قابلیت انتقال ماده در تماس با سطح دیگر در حین سایش می شود. همچنین میل ترکیبی زیاد آلومینیم به اکسیژن باعث ایجاد اکسید سطحی حین سایش می شود. بنابراین، استفاده از آلومینیم و آلیاژهای آن در کاربردهای سایشی محدود بوده و نیاز مبرم به بهینه سازی سطح وجود دارد [۱۴].

بر این اساس تحقیقات زیادی بر روی رفتار سایشی آلیاژهای آلومینیم انجام شده و در آن ها اثر عوامل گوناگون بر مقاومت به سایش این مواد بررسی شده است که در ادامه به بررسی آن ها پرداخته می شود. اضافه کردن عناصر آلیاژی حین ریختگری و ایجاد ترکیبات مقاوم به سایش یکی از راه هایی است که می تواند خواص تریبولوژیکی ماده را تغییر دهد. بر این اساس، اثر افزودن عنصر آلیاژی اسکاندیم به آلومینیم مذاب بر رفتار سایشی آن در مقابل دیسک های فولادی EN۳۲ توسط Venkateswarlu و همکارانش بررسی شد. در این پژوهش با اضافه کردن ۰/۴٪ عنصر آلیاژی تاثیر خاصی در رفتار سایشی آلیاژ مشاهده نشد اما با افزایش درصد Sc به بالاتر از ۰/۶٪ اندازه دانه ها به ۴۵-۴۰ μm کاهش و به دلیل تشکیل Al₃Sc خواص نمونه بهبود یافت. همچنین با بیشتر کردن درصد عنصر آلیاژی تا ۲٪ بهبود پیوسته ای در رفتار سایشی نمونه مشاهده شد [۱۵].

یکی دیگر از فرآیندهایی که روی خواص مواد تاثیر زیادی دارند، انجام عملیات حرارتی بر روی آن ها است. Mindivan و همکارانش اثر نوع عملیات حرارتی انجام شده بر رفتار سایشی آلیاژ ۷۰۳۹ را بررسی کردند. بدین منظور آلیاژ پایه تحت دو نوع عملیات حرارتی T۶ و پیر سختی قرار گرفت. سپس آزمون سایش از نمونه ها در مقابل گلوله های Al₂O₃ و تحت نیروی اعمالی ۱/۵ N انجام شد. میزان کاهش وزن نمونه های پیر سختی از ۰/۰۰۴ gr/cm² به ۰/۰۱۶ برای نمونه های T۶ افزایش یافت. این امر نشان دهنده افزایش شدید مقاومت به سایش با تغییر نوع عملیات حرارتی انجام شده بر روی نمونه های آلیاژ ۷۰۳۹ است [۱۶].

تغییر محیطی که نمونه در آن استفاده می شود تاثیر بسیاری در خواص آن دارد. دما، حضور اکسیژن، خشک یا تر بودن محیط و وجود مواد خورنده و یون های مهاجم از جمله مشخصه هایی هستند که می توانند بر رفتار سایشی مواد تاثیر گذار باشند. Elmadagli و Alpas رفتار سایشی آلیاژ ۳۹۰ - A در هوای خشک و محیط گاز آرگن را تحت بارهای اعمالی مختلف و با استفاده از دیسک های فولاد ۵۲۱۰۰ بررسی کردند. مشاهده شد که مقاومت به سایش نمونه ها در محیط گاز آرگن برای تمام بارهای اعمالی بیشتر از مقاومت به سایش در هوای خشک است. این اختلاف در نیروهای اعمالی کمتر به مراتب بیشتر بود. در نیروی اعمالی ۲۰ نیوتن افزایش ۱۰ برابری مقاومت به سایش در محیط گاز آرگن نسبت به هوای خشک مشاهده شد. همچنین در این نیرو، ضریب اصطکاک از ۰/۲۹ در محیط گاز آرگن به ۰/۵۷ در هوای خشک افزایش یافت. سطح سایش برای نمونه های آزمایش در محیط گاز آرگن حاوی مناطق غنی از آهن بود که بر روی ذرات سیلیسیم موجود در زمینه آلیاژ پایه تجمع کرده بودند، در حالی که سطح سایش نمونه های آزمایش شده در هوای خشک شامل اکسیدهای آهن تشکیل شده در حین فرآیند سایش بود. این اکسیدها با گذشت مسافت اندکی (۵۰ m) تشکیل شده و در ادامه سایش با جدا شدن از سطح باعث افزایش نرخ سایش نمونه می شوند. اندازه منطقه آسیب دیده و میزان کرنش پلاستیک زمینه برای نمونه های آزمایش شده در محیط گاز آرگن به مراتب کمتر از نمونه های آزمایش شده در هوای خشک بود که این امر نشان دهنده نرخ سایشی کمتر نمونه های آزمایش شده در محیط گاز آرگن است [۱۷]. بنابراین حضور اکسیژن در محیط سایش موادی که به راحتی اکسید می شوند، می تواند تاثیر بسیاری در کاهش مقاومت به سایش آن ها داشته باشد.

در پژوهش دیگری که توسط Ferhat Gul بر روی آلیاژ ریختگی Al - Cu انجام شد، اثر انتقال حرارت بر رفتار سایشی این آلیاژ با استفاده از یک هسته مسی بررسی شد. آزمون سایش با استفاده از دیسک های فولادی AISI ۵۱۹۰ انجام شد. ابتدا آلیاژ Al - Cu ذوب شده و سپس در قالب استوانه ای به قطر mm ۲۰ که یک هسته مسی به قطر mm ۲/۵ در مرکز آن قرار داشت، ریخته گری شد. در نیروهای اعمالی کم، نمونه دارای هسته مسی و فاقد آن، رفتار سایشی مشابهی داشتند حال آن که با افزایش نیروی اعمالی مقاومت به سایش نمونه دارای هسته مسی حدود ۲/۵ برابر بیشتر از نمونه فاقد این هسته بود [۱۸].

همان گونه که قبلا نیز اشاره شد، کاربرد وسیع آلیاژهای آلومینیم از یک سو و مقاومت به سایش ضعیف آن ها از سوی دیگر باعث انجام تحقیقات بسیاری روی این مواد شده است که در بالا به نمونه هایی همچون افزودن عناصر آلیاژی، انجام عملیات های حرارتی مختلف، تغییر خواص فیزیکی و بررسی رفتار سایشی در محیط های گوناگون اشاره شد.

۴-۲ خوردگی آلومینیم و آلیاژهای آن

یکی از مهمترین خواص مورد استفاده آلومینیم و آلیاژهای آن، مقاومت به خوردگی عالی در محیط های طبیعی است که این امر عمدتاً ناشی از تشکیل سریع لایه اکسیدی بر روی سطح آن است. بر این اساس تحقیقات زیادی به منظور بررسی عوامل گوناگون موثر در رفتار خوردگی و همچنین تاثیر محیط های خوردنده مختلف بر روی این آلیاژها انجام شده است.

Osorio و همکارانش اثر عملیات حرارتی T₄ و اصلاح کننده را بر رفتار خوردگی آلیاژ Al - ۹ wt Si بررسی کردند. نتایج نشان داد که با افزودن اصلاح کننده فلوراید سدیم سختی افزایش یافته اما مقاومت به خوردگی نمونه نسبت به آلیاژ ریختگی و عملیات حرارتی شده کاهش می یابد. جریان خوردگی به دست آمده برای آلیاژ ریختگی $0.98 \mu A/cm^2$ ، برای آلیاژ اصلاح شده ۳/۴۳ و برای آلیاژ عملیات حرارتی شده ۱/۳۵ بود. بنابراین با این که با انجام عملیات حرارتی و اضافه کردن اصلاح کننده سختی نمونه ها و در نتیجه مقاومت به سایش شان افزایش یافته است اما مقاومت به خوردگی آن ها کاهش می یابد [۱۹].

در تحقیق دیگری ارتباط بین خوردگی حفره ای و تنش در آلیاژ ۲۰۲۴ مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده شد که با افزایش زمان خوردگی از ۳۰ به ۶۰ دقیقه حفرات ایجاد شده نیز افزایش می یابند. این حفرات در ۳۰ دقیقه دارای قله ها و دره های بلند هستند که با افزایش زمان خوردگی از ارتفاع آن ها کاسته می شود. همچنین مشاهده شد که با افزایش زمان خوردگی تنش موجود در اطراف حفره ها نیز افزایش می یابد و با دور شدن از قله ها و رسیدن به سطح صاف مقدار تنش کم می شود. در ابتدا به دلیل تشکیل شدن قله ها و دره های بلند روی سطح نمونه، گستره تغییرات تنش نیز بیشتر است اما با ادامه یافتن فرآیند و افزایش زمان، به دلیل کاهش اختلاف ارتفاع در سطح تنش نیز کم می شود. تغییرات تنش برای ۳۰ دقیقه اولیه ۸۰٪ و برای ۳۰ دقیقه دوم ۶٪ بود که این امر نشان دهنده اثر حفره ها بر تنش موجود بر روی سطح است. بنابراین خوردگی حفره ای باعث افزایش تنش های سطحی و در نتیجه تغییر خواص سطح به دلیل تغییر زبری سطح می شود [۲۰].

در تحقیق اشاره شده در بخش قبل که توسط Mindivan و همکارانش بر روی آلیاژ ۷۰۳۹ انجام شده بود، اثر دو نوع عملیات حرارتی T₆ و پیر سختی بر خوردگی نمونه ها در محلولی حاوی ۳۰ gr/lit NaCl و ۱۰ mlit/lit HCl بررسی شد. همچنین به منظور بررسی سایش در محیط خورنده، آزمون سایش با قرار دادن نمونه ها در محلول اشاره شده و تحت نیروی اعمالی N ۱/۵ در مقابل گلوله های Al₂O₃ انجام شد. مشاهده شد که اگر چه مقاومت به خوردگی نمونه T₆ بسیار کمتر از نمونه پیر سختی شده بود، اما نتایج آزمون سایش در محیط خورنده نشان دهنده مقاومت به سایش بیشتر نمونه T₆ نسبت به