بسم الله الرحمن الرحیم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای **امید شفیعی** پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان **بررسی امکان پیش اکسایش پوشش آلومینایید آهن (FeAl) به روش های اکسیداسیون الکترولیتی** در تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۱۱ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مواد - شناسائی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر حمید رضا شاهوردی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر فرشید مالك قائینی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر رضا میراسمعیلی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر سیدمحمدمهدی هادوی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر فرشید مالك قائینی	استادیار	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱٥ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب امید شفیعی دانشجوی رشته مهندسی مواد ورودی سال تحصیلی۱۳۸۹ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:.....

تاریخ: ۹۲/۰۴/۱۵

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی مواد است که در سال ۱۳۹۱ در دانشکده مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر حمید رضا شاهوردی ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب امید شفیعی دانشجوی رشته مهندسی مواد مقطع کارشناسی ارشد

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: امید شفیعی

تاریخ و امضا: ۹۲/۰۴/۱۵

دانشگاه تربیت مدرّس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه برای دریافت درجه ی کارشناسی ارشد

رشته ی مهندسی مواد گرایش شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

بررسی امکان پیش اکسایش پوشش آلومیناید آهن (FeAl)به روش های اکسیداسیون الکترولیتی

امید شفیعی

استاد راهنما:

دکتر حمید رضا شاهوردی

زمستان ۱۳۹۱

تقدیم

این پایان نامه را به خانواده ی عزیزم تقدیم می‌کنم که درتمام طول زندگی، همواره یار و یاور من بوده اند.

تشکر و قدردانی

بر خود واجب می دانم که از تک تک دوستانی که مرا برای انجام هر چه بهتر این پایان نامه، یاری نموده اند تشکر نمایم.
در ابتدای امر از زحمات استاد راهنمای اینجانب، جناب دکتر حمیدرضا شاهوردی که در طول انجام این پروژه هم چون پدری مهربان یار و یاور من بوده اند و از لحاظ مادی و معنوی از من حمایت کرده اند تشکر می نمایم.
هم چنین از دوستان حاضر در آزمایشگاه، به خصوص مهندس محمد امامی، رضا مجاور، اصغر حیدری و ارسلان طایفه کمال تشکر را دارم که به من کمک نمودند تا در مسیر درست قدم بردارم.

چکیده

در این پژوهش امکان پذیری ایجاد یک پوشش دو لایه متشکل از اکسید آلومینیوم و آلومیناید آهن به روش های هیبریدی بر روی فولاد 9Cr1Mo مورد بررسی قرار گرفت. فرآیندهای ترکیبی مورد استفاده، آلومینایزینگ فولاد به روش غوطه وری داغ برای تشکیل ترکیبات آهن-آلومینیوم، لیزرکاری سطحی پوشش برای تبدیل پوشش به FeAl، آلومینایزینگ مجدد به روش غوطه وری داغ جهت تشکیل لایه ی آلومینیوم و متعاقب آن روش آندایزینگ یا اکسیداسیون پلاسما الکترولیتی بودند.

نتایج حاصل نشان داد، که در آلومینایزینگ به روش غوطه وری داغ فولاد یک لایه ی ترکیبی از فاز Fe_2Al_5 با مورفولوژی دندانه ای شکل تشکیل می شود. این لایه به کمک عملیات لیزرکاری به یک لایه ی نسبتا یکنواخت FeAl تبدیل شده است. سپس با آلومینایزینگ مجدد نمونه ها، علاوه بر آلومینیوم تشکیل شده بر روی سطح، یک لایه آلومیناید $FeAl_3$ نیز تشکیل می گردد. بررسی های گوناگونی که با روش آندایزینگ سخت انجام شد، نشان داد که لایه ی آلومینیوم حاصل قابلیت آندایزینگ ندارد. علت این امر می تواند نشتی جریان ناشی از وجود ترک در لایه ی آلومینیوم یا وجود ناخالصی آهن به میزان بسیار کم در لایه ی آلومینیوم حاصل باشد. به کمک روش اکسیداسیون پلاسما الکترولیتی، یک لایه ی غیر یکنواخت شامل اکسید آلومینیوم و آلومیناسیلیکات بر روی سطح ایجاد گردید. علت این عدم یکنواختی، شکل هندسی نمونه ها و وجود گوشه های نوک تیز در نمونه و در نتیجه عدم جرقه زنی یکنواخت می باشد.

ساختار و مورفولوژی نمونه‌ها توسط میکروسکوپ نوری و SEM بررسی شد. برای تعیین ترکیب فاز ها از آزمون پراش اشعه‌ی ایکس استفاده شد و برای تشخیص عناصر تشکیل دهنده‌ی مواد، از آزمون EDS استفاده شد. برای بررسی سختی نیز از میکروسختی سنج استفاده شد.

کلمات کلیدی: فولاد 9Cr1Mo، آلومینایزینگ به روش غوطه وری داغ، عملیات لیزرکاری، ترکیب بین فلزی FeAl، آندایزینگ و اکسیداسیون پلاسما الکترولیتی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۱- مقدمه ۱

فصل ۲- مروری بر منابع ۳

۲-۱- ترکیب‌های بین فلزی ۴

۲-۱-۱- آلومیناید آهن ۴

۲-۱-۲- روش های تولید ۵

۲-۲- آلومینایزینگ به روش غوطه وری داغ ۸

۲-۲-۱- فرآیند تشکیل ترکیب های بین فلزی Fe-Al ۸

۲-۲-۲- نقش عوامل مختلف در ضخامت لایه‌های تشکیل شده ۱۱

۲-۲-۲-۱- تاثیر دما و زمان بر ضخامت لایه‌های تشکیل شده ۱۱

۲-۲-۳- عملیات آنیل نفوذی پس از غوطه‌وری داغ ۱۳

۲-۳- لیزر کاری مواد ۱۶

۲-۳-۱- آلیاژ سازی سطح ۱۷

۲-۳-۲- متغیرهای موثر در لیزرکاری ۱۷

۲-۳-۳- لیزرکاری فولاد آلومینایز شده به روش غوطه وری داغ ۱۸

۲-۴- اکسید آلومینیوم ۲۱

۲-۵- آندایزینگ ۲۲

۲-۵-۱- تعریف ۲۲

۲-۵-۲- تاریخچه ۲۲

۲-۵-۳- مکانیزم ۲۳

۲-۵-۳-۱- واکنش‌های الکتروشیمیایی ۲۳

۲-۵-۳-۲- مکانیزم تشکیل حفرات ۲۵

۲-۵-۴- آندایزینگ سخت ۲۶

۲-۵-۴-۱- مکانیزم ایجاد پوشش های آندی سخت ۲۸

۲-۵-۵- آماده سازی سطح ۲۸

۲-۵-۶- خواص لایه‌ی اکسیدی ۳۱

۲-۵-۶-۱- فیلم های فشرده ۳۱

۲-۵-۶-۲- پوشش های متخلخل ۳۳

۲-۵-۶-۳- پوشش های متخلخل حاصل از آندایزینگ سخت ۳۵

۲-۵-۷- متغیرهای موثر بر آندایزینگ ۳۵

۲-۵-۷-۱- نوع الکترولیت ۳۶

۲-۵-۷-۲- دما ۳۸

۲-۶- اکسیداسیون پلاسما الکترولیتی ۴۱

۲-۶-۱- مکانیزم ۴۲
۲-۶-۲- ترکیب پوشش ۴۳
۲-۷- پوشش های چندلایه ۴۴
۲-۸- اکسیداسیون الکترولیتی فولاد آلومینایز شده ۴۵
۲-۸-۱- روش آندایزینگ ۴۵
۲-۸-۲- روش PEO ۴۷
۲-۹- جمع بندی ۴۹

فصل ۳- روش تحقیق ۵۱

۳-۱- مواد اولیه مورد استفاده در پژوهش ۵۱
۳-۲- مراحل انجام پژوهش ۵۱
۳-۲-۱- برش ۵۱
۳-۲-۲- آماده سازی نمونه‌های فولادی برای عملیات آلومینایزینگ به روش غوطه وری ۵۱
۳-۲-۲-۱- آماده سازی مذاب ۵۱
۳-۲-۲-۲- آماده سازی زیرلایه ۵۱
۳-۲-۳- غوطه وری داغ نمونه های فولادی در آلومینیوم مذاب ۵۳
۳-۲-۴- لیزرکاری ۵۵
۳-۲-۴-۱- متغیرهای لیزرکاری ۵۶
۳-۲-۵- غوطه وری داغ نمونه های FeAl در آلومینیوم مذاب ۵۶
۳-۲-۵-۱- آماده سازی ۵۶
۳-۲-۵-۲- متغیرهای غوطه وری داغ در آلومینیوم مذاب ۵۷
۳-۲-۶- آندایزینگ آلومینیوم ۵۷
۳-۲-۶-۱- آماده سازی ۵۷
۳-۲-۶-۲- متغیر های آندایزینگ ۵۷
۳-۲-۷- اکسیداسیون پلاسما الکترولیتی ۵۸
۳-۲-۷-۱- آماده سازی ۵۸
۳-۲-۷-۲- شرایط عملیات ۵۸
۳-۲-۸- مشخصه یابی پوشش ۵۹
۳-۲-۸-۱- بررسی سطح رویی و سطح مقطع نمونه‌ها توسط میکروسکوپ نوری ۵۹
۳-۲-۸-۲- آزمون ریز سختی سنجی ۵۹
۳-۲-۸-۳- آزمون پراش اشعه ایکس (XRD) ۵۹
۳-۲-۸-۴- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۶۰

فصل ۴- نتایج و بحث ۶۲

۴-۱- آلومِینایزینگ نمونه های فولادی ۶۲
۴-۲- بررسی نمونه های لیزرکاری شده ۶۶
۴-۲-۱- میکروسکوپ نوری ۶۶
۴-۲-۲- نتایج آزمون پراش اشعه ایکس(XRD) ۶۹

۴-۲-۳- نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی ۷۰
۴-۲-۴- انتخاب متغیر بهینه ۷۴
۴-۳- آلومینایزینگ FeAl ۷۴
۴-۳-۱- اثر آماده سازی ۷۴
۴-۳-۲- اثر زمان آلومینایزینگ ۷۴
۴-۳-۳- EDS ۷۷
۴-۴- آندایزینگ پوشش آلومینیوم ۷۸
۴-۴-۱ نمونه های A1 و A2 و A3 ۷۸
۴-۴-۱-۱- میکروسکوپ نوری ۷۸
۴-۴-۱-۲- میکروسختی سنجی ۸۰
۴-۴-۱-۳- EDS ۸۰
۴-۴-۱-۴- آزمون پراش اشعه‌ی ایکس ۸۲
۴-۴-۲- نمونه های A4 الی A7 ۸۳
۴-۴-۲-۱- میکروسکوپ نوری ۸۳
۴-۴-۲-۲- میکروسختی سنجی ۸۴
۴-۴-۲-۳- پراش اشعه‌ی ایکس ۸۴
۴-۴-۳- بررسی نتایج ۸۵
۴-۴-۳-۱- اثر آماده سازی ۸۷
۴-۴-۴- نمونه ی A8 ۸۷
۴-۴-۴-۱- میکروسکوپ نوری ۸۸
۴-۴-۴-۲- پراش اشعه‌ی ایکس ۸۸
۴-۴-۵- آزمون روبش خطی ۸۹
۴-۴-۶- تحلیل نتایج ۹۰
۴-۵- اکسیداسیون پلاسما الکترولیتی ۹۱
۴-۵-۱- نمودار زمان-ولتاژ ۹۱
۴-۵-۲- میکروسکوپ نوری ۹۲
۴-۵-۳- میکروسکوپ الکترونی ۹۳
۴-۵-۴- پراش اشعه ی ایکس ۹۶
فصل ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۸
۵-۱- نتیجه‌گیری ۹۸
۵-۲- پیشنهادها ۹۸
فصل ۶- مراجع ۹۹

شکل ۲-۱نمودارفازی آهن-آلومینیوم ۵
شکل ۲-۲ سطح مقطع لایه ی FeAl تشکیل شده بر سطح ۶
شکل ۲-۳ سطح مقطع لایه ی FeAl تشکیل شده بر سطح a) پس از پاس اول b) پس از پاس دوم ۷
شکل ۲-۴ اثر ولتاژ بر ریخت شناسی پوشش FeAl الف- ولتاژ ۷۵ ولت، جریان ۸۵آمپر، فشار ۱/۳۳ پاسکال، دمای میانگین ۲۱۳ درجه ی سانتی گراد ب- ولتاژ ۱۰۰ ولت، جریان ۸۵آمپر، فشار ۱/۳۳ پاسکال، دمای میانگین ۲۸۸ درجه ی سانتی گراد ج- ولتاژ ۱۵۰ ولت، جریان ۸۵آمپر، فشار ۱/۳۳ پاسکال، دمای میانگین ۳۷۱ درجه ی سانتی گراد ۷
شکل ۲-۵ تصویر SEM از سطح مقطع فولاد پس از عملیات CVD ۸
شکل ۲-۶ مقطع عرضی نمونه فولادی آلومینایزشده در دمای ۹۰۰ درجه ی سانتی گراد به مدت ۳۰۰ ثانیه ۱۱
شکل ۲-۷ تشکیل ترکیب بین فلزی FeAl پس از عملیات آلومینایزینگ به روش غوطه وری داغ ۱۱
شکل ۲-۸ اثر دما و زمان غوطه‌وری برضخامت لایه بین فلزی. ۱۲
شکل ۲-۹ اثر دما و زمان غوطه‌وری برضخامت لایه آلومینیم ایجادشده برفولاد زنگ‌نزن. ۱۲
شکل ۲-۱۰سطح مقطع نمونه های آنیل نفوذی شده در زمان ۱۲۰۰ ثانیه و دماهای ۸۷۳، ۱۰۷۳، ۱۲۷۳ و ۱۳۲۳ کلوین ۱۴
شکل ۲-۱۱سطح مقطع نمونه های آنیل نفوذی شده در زمان ۳۶۰۰ ثانیه و دماهای ۸۷۳، ۱۰۷۳، ۱۲۷۳ و ۱۳۲۳ کلوین ۱۵
شکل ۲-۱۲ الگوی تفرق اشعه ی ایکس لایه های تشکیل شده پس از عملیات نفوذی ۱۶
شکل ۲-۱۳تکنیک های مرتبط با لیزرکاری ۱۹
شکل ۲-۱۴ کاربردهای لیزر در مهندسی سطح ۲۰
شکل ۲-۱۵الگوی پراش اشعه‌ی ایکس برسطح ورق فولاد آلومینایزشده ولیزرکاری شده ۲۰
شکل ۲-۱۶فرآیندهای الکترود درالکترولیز محلولهای آبی ۲۴
شکل ۲-۱۷a) مدلی برای تشکیل آلومینای متخلخل b) فصل مشترک‌های آندایزینگ ۲۵
شکل۲-۱۸منحنی دانسیته ی جریان-زمان در ۱۵ ولت در دمای ۲۰ درجه ی سانتیگراد و غلظت‌های مختلف اسیدسولفوریک ۲۵
شکل ۲-۱۹منحنی دانسیته ی جریان-زمان با ۴ ناحیه ی مختلف رشدحفره ۲۶
شکل۲-۲۰اثر زمان آندایزینگ بر وزن پوششهای آندی معمولی وسخت. محلول آندایزینگ سخت شامل ۱۲ درصد وزنی اسیدسولفوریک و ۱ درصد وزنی اسیداگزالیک دردمای ۱۰ درجه ی سانتیگراد و دانسیته ی جریان ۳/۶ آمپربردسیمترمربع. محلول آندایزینگ معمولی شامل ۱ درصد وزنی اسید سولفوریک بوده و در دمای ۲۰ درجه ی سانتی گراد و دانسیته ی جریان ۱/۲ آمپر بر دسی متر مربع قرار داشته است. ۲۷
شکل ۲-۲۱مراحل آماده سازی نمونه در عملیات آندایزینگ ۲۸

شکل ۲-۲۲تصاویر سه بعدی AFM سطح زیرلایه قبل از آندایزینگ بدون پولیش (چپ) و باپولیش (راست) ۳۰
شکل ۲-۲۳تصاویرسه بعدی AFM سطح زیرلایه پس از آندایزینگ بدون پولیش (چپ) وباپولیش (راست) ۳۱
شکل ۲-۲۴ ساختار آلومینای متخلخل منظم ایده آل ۳۳
شکل ۲-۲۵تصاویر AFM آلومینای متخلخل در اسید اگزالیک ۰/۳ مولار در دمای ۰ درجه ی سانتی گراد برای ۲۴ ساعت a) ساختار سه بعدی b و c) تصاویر AFM آلومینای متخلخل در اسید اگزالیک ۰/۳ مولار و دمای ۱۵ درجه ی سانتی گراد و زمان ۱ ساعت d) آنالیز خطی در طول خط ۲ نشان داده شده در تصویر c و e) نوسانات ارتفاع سطح آلومینای متخلخل. سطح تمامی تصاویر ۵۰۰ در ۵۰۰ نانومترمربع است ۳۳
شکل ۲-۲۶تصاویرFESEM ازa) سطح آلومینای متخلخل تولیدشده درمحلول اسیداگزالیک ۰/۳ مولار در دمای ۵ درجه ی سانتیگراد و ولتاژ ۴۰ ولت برای ۱۰ ساعتb) سطح مقطع آلومینای متخلخل ساخته شده درمحلول اسیدفسفریک دردمای ۱/۵- درجه ی سانتیگراد و ۱۶۰ ولت برای ۶ ساعت ۳۴
شکل ۲-۲۷ تصویر TEM از a) یک تک سلول شش ضلعی آلومینای متخلخل ساخته شده در اسید اگزالیک ۰/۳ مولار در ۴۰ ولت و دمای ۰ درجه ی سانتی گراد و زمان ۹۰ ثانیه b) تغییرات کنتراست در تصویر به علت اختلاف ضخامت نمونه ای که در اسید اگزالیک ۰/۳ مولار در ۴۰ ولت و دمای ۰ درجه ی سانتی گراد و زمان ۳۰۰ ثانیه c) آلومینای متخلخل با قطر حفرات ۱۵ نانومتر ساخته شده در اسید اگزالیک ۰/۳ مولار در ۱۲ ولت و دمای ۰ درجه ی سانتی گراد برای زمان ۱۸۰ ثانیه ۳۴
شکل ۲-۲۸منحنی تغیرات وزن فیلم برحسب زمان (سرعت) بر روی Al هنگام آندایزینگ دراسیدسولفوریک ۳۷
شکل ۲-۲۹تغییرات سرعت رشد فیلم با دمای الکترولیت برای آندایزینگ Al در محلول ۲۰٪ اسید سولفوریک با چگالی جریان۲/۴A/dm2و زمان ۱۵ دقیقه ۳۷
شکل ۲-۳۰میکروسختی لایه اکسیدی به عنوان تابعی از دما یا الکترولیت ۳۹
شکل ۲-۳۱رابطه قطرتخلخل سطح، میانه وکف فیلم اکسیدی با دما یا الکترولیت ۴۰
شکل۲-۳۲تصاویر SEM سطح فیلم اکسیدی متخلخل ساخته شده درالکترولیت با دماهای a)۵، b) ۲۵وc)۵۵ درجه سانتی‌گراد ۴۱
شکل ۲-۳۳ دو نمودار جریان-ولتاژ برای فرآیندهای الکترولیز پلاسمایی a) سیستم فلز-الکترولیت b) نحوه ی تشکیل لایه ی اکسیدی ۴۳
شکل ۲-۳۴تصاویر پوشش اکسیدی تولید شده به روش PEO بر روی آلیاژ آلومینیوم. الف- تصویر SEM سطح مقطع پوشش جایی که ۱- ناحیه ی خارجی متخلخل است ۲- ناحیه ی متراکم درونی است ۳- یک لایه ی نازک پیچیده است ب- تصویر نوری از سطح ناحیه ی میانی پس از پولیش کردن برای حذف لایه ی متخلخل خارجی توزیع فازهای آلومینای روشن و آلومینا سیلیکات تاریک را نشان می دهد..... ۴۴
شکل ۲-۳۵پوشش محافظ حرارتی با شیب عملکردی ZrO2/NiCoCrAlY تولید شده به روش پاشش پلاسما ۴۵

شکل ۲-۳۶خط تولید آندایزینگ فولاد آلومینایز شده ۴۶
شکل ۲-۳۷ ریز ساختار آلومینیوم آندایز شده در محلول اسید اگزالیک (قبل از حکاکی) ۴۷
شکل ۲-۳۸ ریز ساختار آلومینیوم آندایز شده در محلول اسید اگزالیک (حکاکی با نایتال) ۴۷
شکل ۲-۳۹ تصویر SEM از سطح نمونه ی PEO شده پس از ۱۴ دقیقه و دانسیته ی جریان ۱/۵ آمپر بر دسی متر مربع..... ۴۸
شکل ۲-۴۰ تصویر SEM از سطح مقطع فولاد آلومینایز شده a) قبل از PEOb) پس از PEO به مدت ۱۰ دقیقه و دانسیته ی جریان ۱/۵ آمپر بر سانتی متر مربع ۴۸
شکل ۲-۴۱ نمودار پراش اشعه ی ایکس نمونه ی آلومینایز و PEO شده پس از ۱۰ دقیقه و دانسیته ی جریان ۱/۵ آمپر بر دسی متر مربع..... ۴۹
شکل ۳-۱کوره ی مقاومتی ۵۴
شکل ۳-۲ فولاد آلومینایز شده..... ۵۵
شکل ۳-۳ لیزر پالسی IQL-10 استفاده شده در عملیات لیزرکاری..... ۵۵
شکل ۴-۱ سطح مقطع نمونه های آلومینایز شده به روش غوطه وری داغ در دمای ۸۰۰ درجه ی سانتی گراد و زمان های الف-۶۰ ب-۹۰ ج-۱۵۰ د-۲۱۰ ثانیه..... ۶۲
شکل ۴-۲ زمان آلومینایزینگ به روش غوطه وری داغ بر حسب ضخامت لایه های تشکیل شده ۶۳
شکل ۴-۳ الگوی تفرق اشعه‌ی ایکس لایه‌ی بین فلزی تشکیل شده در شکل ۴-۱ ..... ۶۳
شکل ۴-۴ الف) تصویر SEM از سطح مقطع فولاد آلومینایز شده به روش غوطه وری داغ ب) آنالیز EDS از نقطه ی A ج) آنالیز EDS از نقطه ی B..... ۶۵
شکل ۴-۵ سطح نمونه های لیزر کاری شده با انرژی الف)۶ ب)۷ ج)۸ د)۹ ه)۱۰ ژول..... ۶۷
شکل ۴-۶سطح مقطع نمونه های لیزر کاری شده با انرژی الف)۶ ب)۷ ج)۸ د)۹ ه)۱۰ ژول..... ۶۸
شکل ۴-۷ نمودار پراش اشعه‌ی ایکس نمونه های لیزرکاری شده با انرژی های الف- ۶ ب- ۷ ج-۸ د-۹ ه-۱۰ ژول ۷۰
شکل ۴-۸ نتایج آزمون روبش خطی از سطح رویی نمونه ی ۶ ژول..... ۷۱
شکل ۴-۹ نتایج آزمون روبش خطی از سطح رویی نمونه ی ۷ ژول..... ۷۲
شکل ۴-۱۰نتایج آزمون روبش خطی از سطح رویی نمونه ی ۸ ژول ۷۳
شکل ۴-۱۱نتایج آزمون روبش خطی از سطح مقطع نمونه ی ۷ ژول..... ۷۳
شکل ۴-۱۲سطح مقطع نمونه های آلومینایز شده با ۴ روش مختلف الف- سمباده زنی ب- سمباده زنی به همراه اسیدشویی در محلول $HF+HCl+HNO_3$ج- سمباده زنی به همراه اسید شویی در محلول $HF+HNO_3$د- سمباده زنی به همراه شستشو در محلول HNO_3..... ۷۵
شکل ۴-۱۳آلومینایزینگ FeAl به روش غوطه وری داغ در دمای ۸۰۰ درجه ی سانتی گراد و زمان های الف-۱۵ ب-۴۵ ج-۷۵ ثانیه..... ۷۶
شکل ۴-۱۴ تعیین فاز میانی تشکیل شده در حین آلومینایزینگ FeAl به روش غوطه وری داغ..... ۷۷
شکل ۴-۱۵طرحواره ای از قسمت های مختلف نمونه الف-قسمت های لیزرکاری شده ب-سایر قسمت ها ۷۸

شکل ۴-۱۶ سطح مقطع نمونه ی A1 الف- قسمت لیزرکاری شده ب- قسمت لیزرکاری نشده..... ۷۸
شکل ۴-۱۷ سطح مقطع نمونه ی A2 ..... ۷۹
شکل ۴-۱۸ سطح مقطع نمونه ی A3 الف- قسمت لیزرکاری شده ب- قسمت سیل شده..... ۷۹
شکل ۴-۱۹ نتیجه ی آزمون EDSنمونه ی A2 (قسمت لیزرکاری شده) ۸۱
شکل ۴-۲۰ نتیجه ی آزمون EDSنمونه ی A1 (قسمت لیزرکاری نشده)..... ۸۲
شکل ۴-۲۱ نتیجه ی آزمون XRD نمونه ی A3..... ۸۳
شکل ۴-۲۲ سطح مقطع نمونه های الف-A4 ب-A5 ج-A6 د-A7..... ۸۴
شکل ۴-۲۳ پراش اشعه‌ی ایکس نمونه های الف- A4 ب- A5 ج-A7 ..... ۸۵
شکل ۴-۲۴ پوشش تشکیلی بر روی FeAl بلافاصله پس از آلومینایزینگ به روش غوطه وری داغ در دو نمونه ی مختلف..... ۸۶
شکل ۴-۲۵ضریب انبساط حرارتیFeAl در دماهای مختلف (x اثر افزودن مولیبیدن را نشان می دهد). ۸۶
شکل ۴-۲۶ اثر سه نوع آماده سازی بر عمق ترک ها الف-NaOH ب-ترکیبی از کربنات و فسفات سدیم به همراه قرار گیری در محلول اسید نیتریک ج- الکتروپولیش در محلول ۱ به ۴ حجمی اسید پرکلریک به اتانول..... ۸۷
شکل ۴-۲۷ سطح مقطع نمونه ی A8 ..... ۸۸
شکل ۴-۲۸ نتایج حاصل از XRD نمونه ی A8 پس از آندایزینگ الف- معمولی ب-کم زاویه..... ۸۹
شکل ۴-۲۹ نتایج آزمون روبش خطی نمونه ی A8..... ۹۰
شکل ۴-۳۰ نمودار زمان بر حسب دانسیته ی جریان الف- به دست آمده در این پژوهش ب- در غلظت‌های متفاوت KOH ۹۲
شکل ۴-۳۱ سطح مقطع نمونه ی آلومینایز شده به روش غوطه وری داغ پس از اکسیداسیون پلاسما الکترولیتی..... ۹۲
شکل ۴-۳۲ تصاویر SEM از سطح مقطع نمونه ی آلومینایز و PEO شده با بزرگنمایی های مختلف.... ۹۳
شکل ۴-۳۳ الف- آنالیز نقطه ای Spectrum 6 به همراه جدول نتایج ب- آنالیز نقطه ای Spectrum 7 به همراه جدول نتایج ج-آنالیز نقطه ای Spectrum 8 به همراه جدول نتایج د-آنالیز روبش خطی line data 2..... ۹۵
شکل ۴-۳۴ پوشش های اکسیدی تولید شده بر روی آلومینیوم در روش PEO..... ۹۶
شکل ۴-۳۵ نمودار پراش ایکس نمونه ی PEO شده..... ۹۶

جدول ۲-۱درصدهای وزنی آلومینیوم،گرمای تشکیل، ونقطه ی ذوب مواد بین فلزی ۴
جدول۲-۲ساختارکریستالی و محدوده پایداری فازهای مختلف تشکیل شده درسیستم دوتایی-Fe Alدردمای اتاق ۸
جدول ۲-۳ ثابت‌های ترمودینامیکی فازهای بین فلزی تشکیل شده درسیستم دوتاییFe-Al ۹
جدول ۲-۴ واکنش‌های فازی در دیاگرام فازی دوتایی Fe-Al ۹
جدول ۲-۵ کاربرد آلومینا به عنوان پوشش در ضخامت های مختلف به همراه کاربرد ها و روش های مختلف تولید آن ها ۲۱
جدول ۲-۶ مراحل و محلول های تمیز کاری در آندایزینگ اسید کرومیک ۲۹
جدول ۲-۷ محلولهای آندایزینگ اسیدسولفوریک برای اجزای معماری ۲۹
جدول ۲-۸ مراحل عملیات آندایزینگ در محلول اسیدسولفوریک ۲۹
جدول ۲-۹ اثر اسید شویی بر استحکام خستگی آلیاژهای ۲۰۲۴ و ۷۰۷۵ آلومینیوم ۳۱
جدول ۲-۱۰ سختی و مدول یانگ آلومینیوم های آندایز شده در شرایط مختلف ۳۲
جدول ۲-۱۱شرایط تانک های مورد استفاده در عملیات آندایزینگ ۴۶
جدول ۳-۱ترکیب شیمیایی فولاد 9Cr1Mo مورد استفاده ۵۲
جدول ۳-۲ترکیب شیمیایی آلومینیوم خالص تجاری مورد استفاده ۵۲
جدول ۳-۳روند انجام پروژه ۵۳
جدول ۳-۴متغیرهای استفاده شده در لیزرکاری نمونه های اولیه ۵۶
جدول ۳-۵ متغیرهای آندایزینگ آلومینیوم ۵۸
جدول ۳-۶ محلولح کاکی نمونه های سطح مقطع ۵۹
جدول ۴-۱حالت های مختلف نفوذ در انرژی های مختلف ۶۶
جدول ۴-۲ضخامت لایه های تشکیل شده برحسب زمان در دمای ۸۰۰ درجه ی سانتیگراد ۷۶
جدول ۴-۳ سختی نمونه ی A2 و A3 ..... ۸۰
جدول ۴-۴سختی نمونه های A4الیA7 ..... ۸۴

فصل ۱–مقدمه

آلومیناید آهن با ترکیب FeAl و درصد اتمی آلومینیوم بین ۲۵ تا ۵۰ درصد، به علت ترکیب استحکام بالا در دمای بالا، قیمت پایین، چگالی پایین و مقاومت به خوردگی دما بالای مناسب، نامزدی برای کاربردهای سازه ای دما بالاست. جهت افزایش مقاومت به خوردگی این ترکیب، با قرار دادن آن ها در دماهای بالا در زمان های بسیار طولانی، فرآیند پیش اکسایش بر روی آن ها انجام می شود. افزایش مقاومت به خوردگی به علت تشکیل یک لایه ی اکسید آلومینیوم با ضخامت حداکثر ۱ میکرون می باشد. حداقل میزان آلومینیوم برای انجام این عملیات بر روی FeAl، ۱۶-۱۸ درصد اتمی می باشد.

یکی دیگر از روش های اکسیداسیون آلومینیوم، استفاده از محیط الکترولیتی می باشد که شامل دو روش آندایزینگ و اکسیداسیون پلاسما الکترولیتی است.با این روش ها می توان تا ضخامت های ۱۰۰ میکرون را نیز اکسید کرد. در پژوهش پیش رو، سعی بر این شده که برای نخستین بار با پیش اکسایش آلومیناید آهن به روش‌های پایه الکترولیتی، یک لایه اکسید آلومینیوم ضخیم بر روی آن‌ها تشکیل داده شودو یک ماده ی هیبریدی متشکل از اکسید آلومینیوم، آلومیناید آهن (FeAl) و فولاد ایجاد شود تا مقاومت به خوردگی و اکسیداسیون تا حد ممکن بالا برود.

در این پژوهش از FeAl به صورت پوشش استفاده شده است. برای ایجاد این لایه بر روی فولاد، ابتدا فولاد به روش غوطه وری داغ، آلومینایزمی شود و سپس تحت فرآیند لیزر کاری قرار می گیرد تا لایه‌یFeAl تشکیل شود. مزیت فرآیند لیزرکاری نسبت به فرآیندهای نفوذی دیگر، سرعت بسیار بالای این فرآیند می باشد. نمونه ها مجددا به روش غوطه وری داغ آلومینایز می شوند و سعی شده است که با روش های الکترولیتی، لایه ی آلومینیوم حاصل اکسید شود.

از مزایای آلومینایدهای آهن می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- چگالی پایین نسبت به بسیاری از فولادهای ضدزنگ و در نتیجه نسبت استحکام به وزن بهتر

۲- مقاومت در برابر سولفیداسیون بالا

۳- مقاومت به خوردگی خوب در محیط های آبی

با این وجود معایبی نیز به همراه خود دارند که تجاری شدن آن‌ها را به تاخیر انداخته است، که عبارتند از:

۱-چکش خواری پایین

۲-شکست ترد

۳-مشکلات تولید

۴-مقاومت به خزش کم

آلومینایدهای آهن می توانند بر روی رآکتورهای شیمیایی و پتروشیمیایی در برابر اکسیداسیون دما بالا، کربوریزاسیون و سولفیداسیون پوشش یا جوش داده شوند.

در فصل اول، مقدمه ی کوتاهی در مورد پژوهش گفته شده است، در فصل دوم، مروری کامل تر بر مواد (آلومیناید آهن و اکسید آلومینیوم) و فرآیندهای انجام شده در طی این پایان نامه (آلومینایزینگ به روش غوطه وری داغ، لیزرکاری، آندایزینگ و اکسیداسیون پلاسما الکترولیتی) شده است و کارهای مشابه در این زمینه ذکر شده است.در فصل سوم، تجهیزات، مواد و دستگاه‌های آزمایشگاهی مورد استفاده در تحقیق و همچنین شرایط انجام آزمایش‌ها شرح داده شده است.در فصل چهارم، نتایج حاصل از انجام آزمایش به طور مفصل ارائه شده است و در صورت وجود تحقیقی مشابه، نتایج مورد مقایسه نیز قرار گرفته است.در فصل پنجم، نیز نتایج تحقیق به صورت کلی ارائه شده و در آخر نیز پیشنهاداتی جهت انجام تحقیق‌های مشابه ارائه شده است.در فصل ششم، منابع و مراجع استفاده شده در این پایان نامه ذکر گردیده است.

فصل ۲– مروری بر منابع