دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی مواد و متالورژی

بررسی شرایط اتصال آلیاژ کوار به شیشه بوروسیلیکاتی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مواد گرایش شناسایی و انتخاب مواد

توسط:

ابوالفضل ابراهیمی

استاد راهنما:

دکتر علی حبیب الله زاده

دکتر ولی الله دشتی زاد

استاد مشاور:

دکتر علی کفلو

بهمن ماه ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

بنام خدا

دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی

صورت جلسه دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد

پایان نامه آقای/ خانم ..... برای اخذ کارشناسی ارشد مهندسی

تحت عنوان:

در جلسه مورخ ..... بررسی و با نمره ..... مورد تایید قرار گرفت.

هیئت داوران :

استاد راهنما : ..... امضاء .....

استاد راهنما : ..... امضاء .....

استاد مشاور : ..... امضاء .....

استاد داور : ..... امضاء .....

استاد داور : ..... امضاء .....

مسئول تحصیلات تکمیلی : .....امضاء.....

تشکر و قدردانی:

از آقایان دکتر ولی الله دشتی زاد، دکتر علی حبیب الله زاده، دکتر علی کفلو و مهندس بیرامی که در انجام این پروژه راهنما و همکار من بودند، کمال تشکر را دارم.

تقدیم به:

خانواده مهربانم که در انجام این پروژه و تمام مراحل زندگی پشتیبانم بوده اند.

اینجانب .....متعهد می شوم که محتوای علمی این نوشتار با عنوان

.....

که به عنوان پایان نامه کارشناسی ارشد رشته ..... گرایش .....

به گروه مهندسی ..... دانشکده مهندسی دانشگاه سمنان ارائه شده ، دارای اصالت پژوهشی و حاصل فعالیت های علمی اینجانب می باشد.

در صورتی که خلاف ادعای فوق در هر زمانی محرز شود ، کلیه حقوق معنوی متعلق به این پایان نامه از اینجانب سلب شده و موارد قانونی مترتب به نیز از طرف مراجع زیربط قابل پیگیری است.

نام و نام خانوادگی :

شماره دانشجویی : امضا

چکیده

تطابق عالی ضرایب انبساط حرارتی بین شیشه های برو سیلیکاتی و آلیاژ کوار، باعث شده است از این نوع مواد در ساخت اتصالات آب بند در قطعات الکترونیکی و رسیور های حرارتی استفاده شود. با توجه به ماهیت غیر فلزی شیشه ایجاد اتصال متالورژیکی با یک فلز به صورت مستقیم از لحاظ موضوع تر شوندگی غیر ممکن است. لذا ایجاد یک لایه واسطه، پیش اکسیداسیون، راه حل این مشکل می باشد.

آزمایش های اکسیداسیون حرارتی آلیاژ کوار در شرایط آماده سازی مختلف و با استفاده از دو نوع کوره الکتریکی ساده و تیوبی، در اتمسفر هوای معمولی و کنترل شده در محیط صدردصد بخار آب و محیط N_2-0.33%H_2-2.088%H_2O صورت گرفت. با تغییر پارامتر های دما و زمان، ضخامت های مختلف لایه اکسیدی بدست آمد. در اتمسفر معمولی اکسیدسیون، در محدوده دمایی ^oC ۸۱۰-۶۹۰ و بازه زمانی min ۱۶-۴، ضخامت لایه های اکسیدی مختلف در بازه ۲ تا ۶ میکرومتر تغییر نمود. در اکسیداسیون در محیط بخار آب، در محدوده دمایی ^oC ۵۸۰-۵۰۰ و بازه زمانی hr ۴-۱، ضخامت لایه های اکسیدی در بازه ۰/۶ تا ۳/۸ میکرومتر متغیر بود. در محیط N_2-H_2مرطوب در محدوده ^oC ۱۰۰۰-۵۵۰ و زمان اکسیداسیون min ۶۰، افزایش وزن در واحد سطح نمونه ها در بازه mg/cm^2 ۱/۱۱-۰/۰۳۴ تغییر کرد. بررسی های XRD نشان داد بسته به نوع محیط اکسیداسیون لایه اکسیدی می تواند شامل اکسید های FeO، Fe_2O_3 و Fe_3O_4 می باشد. ضخامت لایه ها به کمک میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی در حالت های مختلف مورد ارزیابی و تحلیل قرارگرفت. بر این اساس بهترین شرایط حاصل از لحاظ ترکیب شیمیایی و ضخامت لایه اکسیدی، در محیط اکسیداسیون N_2-0.33%H_2-2.088%H_2O و در دمای ^oC ۱۰۰۰ و زمان min ۶۰ به دست آمد.

اتصال در دو شرایط اتمسفر معمولی و اتمسفر کنترل شده صورت گرفت به نحوی که در شرایط محیط اتصال N_2-0.33%H_2-2.088%H_2O میکرو ترک ها در محل تماس دیده نشدند. همچنین این باند به کمک نرم افزار NASTRAN شبیه سازی و نقاط بحرانی اتصال از لحاظ تمرکز تنش مورد تحلیل قرار گرفت که با نتایج عملی حاصل مطابقت داشت.

واژه‌های کلیدی: اتصال شیشه بوروسیلیکاتی- آلیاژ کوار، پیش اکسیداسیون، اتمسفر معمولی، اتمسفر کنترل شده.

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- روشهای اتصال شیشه و فلز ۴

فصل ۲: مروری بر منابع ۱۰

۲-۱- مقدمه ۱۱

۲-۲- ویژگی های شیمی فیزیکی اتصال فلز به شیشه ۱۱

۲-۲-۱- تر شوندگی ۱۲

۲-۲-۲- ضریب انبساط حرارتی ۱۴

۲-۳- ترکیب شیمیایی اجزاء ۲۰

۲-۴- آماده سازی سطح و ویژگی ها و شرایط آن ۲۱

۲-۴-۱- عملیات تمیز کاری ۲۱

۲-۴-۲- کربن زدایی و گاز زدایی فلز (آنیل کردن) ۲۱

۲-۴-۳- پیش اکسیدا سیون حرارتی فولاد کوار ۲۳

۲-۴-۳-۱- ترمودینامیک اکسیداسیون در اتمسفر معمولی ۲۳

۲-۴-۳-۲- اکسیداسیون در اتمسفر کنترل شده ۲۶

۲-۴-۳-۳- ترمدینامیک اکسیداسیون در شرایط اتمسفر کنترل شده ۳۱

۲-۵- فرآیند اتصال و پارامترهای موثر در آن ۳۲

۲-۵-۱- مقدمه ۳۲

۲-۵-۲- اتصال مستقیم ۳۴

۲-۵-۳- اتصال از طریق ایجاد لایه واسط لعاب برروی فلز ۳۵

۲-۶- بررسی رفتار تر شوندگی شیشه بروسیلیکاتی و آلیاژ کوار ۳۸

۲-۶-۱- کلیات ۳۸

۲-۶-۲- میکروگراف فرایند توزیع یا پخش شدن ۴۰

۲-۶-۳- سینتیک تر شدن ۴۱

۲-۶-۴-مکانیزم تشکیل هاله ها ۴۳

۲-۷- روشهای آزمون اتصال شیشه- فلز ۴۴
۲-۷-۱-مقدمه ۴۴
۲-۷-۲- تاثیر اتمسفر اتصال بر استحکام نهایی آن ۴۷
۲-۸- بررسی ریز ساختار اتصال آلیاژ کوار با شیشه بروسیلیکاتی ۴۸
۲-۸-۱- تاثیر اتمسفر اتصال بر روی ریز ساختار ۴۸
۲-۸-۲- مکانیزم تشکیل دندریت های Fayalite (Fe_2SiO_4) ۵۲
۲-۸-۳- تاثیر تغییر زمان بر ریز ساختار نهایی اتصال ۵۳
۲-۸-۴- مکانیزم اتصال شیشه و کوار ۵۵
۲-۹- محاسبه و تحلیل تنش های پسماند در اتصال آلیاژ کوار و شیشه ۵۷
۲-۹-۱- مقدمه ۵۷
۲-۹-۲- تحلیل و محاسبه ریاضی تنش در اتصال شیشه و فلز ۵۸
۲-۹-۳- شبیه سازی تنش باقی مانده با کمک روش المان محدود ۶۲
۲-۹-۴- عوامل موثر بر میزان تنش باقی مانده ۶۶
۲-۹-۴-۱-ضریب انبساط حرارتی ۶۶
۲-۹-۴-۲- عمق نفوذ حلقه فلزی به داخل لوله شیشه ای ۶۶
۲-۹-۴-۳- ضخامت حلقه فلزی و لوله شیشه ای ۶۷
۲-۹-۴-۴- شکل انتهایی حلقه فلزی ۶۸
۲-۹-۵- تحیل ونتیجه گیری نهایی ۶۹
فصل ۳: روش تحقیق ۷۱
۳-۱- مقدمه ۷۲
۳-۲- اجرای پروژه اتصال شیشه پیرکس به آلیاژ کوار ۷۲
۳-۲-۱- تهیه مواد اولیه ۷۲
۳-۲-۲- آماده سازی نمونه جهت اتصال ۷۳
۳-۲-۲-۱- سند بلاست ۷۳
۳-۲-۲-۲- تمیز کاری ۷۳
۳-۲-۲-۳- کربن زدایی ۷۴

۳-۲-۲-۴- پیش اکسیداسیون حرارتی در اتمسفر هوای معمولی..... ۷۴
۳-۲-۲-۵- پیش اکسیداسیون حرارتی در اتمسفر بخار آب..... ۷۸
۳-۲-۲-۶- پیش اکسیداسیون حرارتی در اتمسفر N_2-H_2-H_2O..... ۸۲
۳-۲-۳- اتصال در کوره الکتریکی ساده..... ۸۶
۳-۲-۳-۱-مقدمه..... ۸۶
۳-۲-۳-۲- ساخت قالب اتصال..... ۸۷
۳-۲-۳-۳- اتصال در اتمسفر معمولی..... ۸۸
۳-۲-۳-۴- اتصال در اتمسفر خنثی..... ۹۰
۳-۲-۳-۵- اتصال تحت اتمسفر کنترل شده N_2-H_2-H_2O در کوره تیوبی افقی..... ۹۱
۳-۲-۴-بررسی ریزساختار اتصال..... ۹۶
۳-۲-۴-۱- بررسی تنش های حرارتی در محل اتصال..... ۹۶
۳-۳- شبیه سازی تنش باقی مانده به روش المان محدود..... ۹۷
۳-۳-۱-طرح..... ۹۷
۳-۳-۲- شبیه سازی المان محدود فرایند برقراری اتصال..... ۹۸
فصل ۴: نتایج و بحث..... ۱۰۰
۴-۱- مقدمه..... ۱۰۱
۴-۲- نتایج پیش اکسیداسیون حرارتی در اتمسفر هوای معمولی..... ۱۰۱
۴-۲-۱- پیش اکسیداسیون در کوره الکتریکی ساده(فاز A)..... ۱۰۱
۴-۲-۲- پیش اکسیداسیون در کوره مقاومتی تیوبی (فاز B)..... ۱۰۶
۴-۲-۳- سینتیک اکسیداسیون حرارتی..... ۱۱۰
۴-۲-۴- محاسبه ضخامت لایه اکسیدی از روی مقدار افزایش وزن..... ۱۱۵
۴-۳- نتایج حاصل از اکسیداسیون حرارتی در اتمسفر کنترل شده..... ۱۱۷
۴-۳-۱- اکسیداسیون حرارتی در محیط بخار آب..... ۱۱۸
۴-۳-۲- سینتیک اکسیداسیون در محیط بخار آب..... ۱۲۰
۴-۳-۳- ساختار لایه اکسیدی تحت اتمسفر بخار آب..... ۱۲۱
۴-۴- نتایج انجام اکسیداسیون در اتمسفر کنترل شده N_2-H_2-H_2O..... ۱۲۴

۴-۵- نتایج حاصل از فرایند اتصال در اتمسفر معمولی ۱۳۰
۴-۶- نتایج حاصل از فرایند اتصال در اتمسفر کنترل شده ۱۳۱
۴-۶-۱- نتایج حاصل از فرایند اتصال در اتمسفر خنثی ۱۳۱
۴-۶-۲- نتایج حاصل از فرایند اتصال در اتمسفر N_2-0.33%H_2-2.088%H_2O ۱۳۲
۴-۷- نتایج حاصل از شبیه سازی تنش های پسماند در فرایند اتصال ۱۳۶
فصل ۵: جمع‌بندی و پیشنهادها ۱۳۹
۵-۱- مقدمه ۱۴۰
۵-۲- نتیجه گیری ۱۴۱
۵-۳- نوآوری ۱۴۲
۵-۴- پیشنهادها ۱۴۳
مراجع ۱۴۴
چکیده انگلیسی ۱۴۸

فهرست اشکال

شکل (۱-۱) شماتیک اتصال حالت نیمه جامد ۳

شکل (۱-۱) شماتیک اتصال حالت نیمه جامد ۳

شکل (۱-۳) استفاده از لیزر جهت برقراری اتصال در دریافت کننده های حرارتی ۴

شکل (۱-۴) مراحل ساخت اتصال HK بین یک لوله شیشه ای و مسی ۶

شکل (۱-۵) طرح شماتیک اتصال فشاری شیشه – فلز ۷

شکل (۲-۱) تر شوندگی سطح جامد توسط قطره مایع ۱۳

شکل (۲-۲) منحنی های انبساط حرارتی شیشه فلز ۱۵

شکل (۲-۳) ترکهای ناشی از اختلاف انبساط بین شیشه و فلز ۱۵

شکل (۲-۴) تنش های محوری در شیشه ۱۷

شکل (۲-۵) تنش های شعاعی و مماسی در شیشه ۱۸

شکل (۲-۶) رابطه بین تنش های شعاعی و مماسی شیشه در مرز بر حسب نسبت قطر شیشه و فلز ۱۹

شکل (۲-۷) دیاگرام الینگهام – ریچاردسون ۲۴

شکل (۲-۸) دیاگرام تعادلی Fe-O ۲۵

شکل (۲-۹) الگوی پراش نمونه آلیاژ کوار قبل و بعد از اکسیداسیون ۲۶

شکل (۲-۱۰) تصویر متالوگرافی نمونه های پیش اکسید شده در حالت B،A و C ۲۷

شکل (۲-۱۱) تصویر SEM سطح مقطع نمونه پیش اکسید شده حالت Cو آنالیز نقطه ای EPMA. ۲۸

شکل (۲-۱۲) مدل اکسیداسیون آلیاژ کوار اکسید شده در سه حالت A، B و C ۳۰

شکل (۲-۱۳) رابطه بین فشار اکسیژن جزئی اکسید های موجود در آلیاژ کوار با دما ۳۲

شکل (۲-۱۴) زاویه تماس تابعی از زمان ترشوندگی آلیاژ کوار بوسیله شیشه پیرکس ۳۹

شکل (۲-۱۵) نما از بالای ترشوندگی کوار بوسیله شیشه در دمای $1000^{\circ}C$ و زمان های متفاوت.... ۴۰

شکل (۲-۱۶) تصاویر SEM نما از بالای ترشوندگی کوار توسط شیشه در زمان های مختلف ۴۱

شکل (۲-۱۷) آنالیز EDS ماده میله ای شکل موجود در شکل (۲-۱۶) ۴۱

شکل (۲-۱۸) قطر قطره تابعی از زمان تر شوندگی آلیاژ کوار توسط شیشه در دمای $1000C^{\circ}$ ۴۲

شکل (۲-۱۹) دیاگرام قرارگیری شیشه بر روی آلیاژ کوار ۴۴

شکل (۲-۲۰) تست کشش اتصال شیشه – فلز ۴۵

شکل (۲-۲۱) تست نشت ناپذیری بوسیله بوسیله بویش ۴۶

شکل (۲-۲۲) تست نشت ناپذیری بوسیله اسپری گاز ۴۷

شکل (۲-۲۳) بررسی سطح مقطع اتصال توسط SEM-BEI و اسکن خطی X-ray در اتمسفر هوا.... ۴۸
شکل (۲-۲۴) بررسی سطح مقطع اتصال توسط SEM-BEI و اسکن خطی X-ray در اتمسفر خلاء. ۴۹
شکل (۲-۲۵) تصویر SEM دندریت های تشکیل شده در اتمسفر هوا..... ۵۰
شکل (۲-۲۶) گراف آنالیز EDS شیشه بوروسیلیکاتی (b) بعد و (c) قبل از اتصال..... ۵۰
شکل (۲-۲۷) تصویر TEM اتصال و تشخیص فاز های تشکیل شده به کمک الگوی پراش موضعی.. ۵۱
شکل (۲-۲۸) تصویر TEM اتصال در شرایط اتمسفر خلاء و شناسایی فاز های موجود به کمک الگوی پراش موضعی..... ۵۱
شکل (۲-۲۹) شماتیک فرایند تشکیل دندریت های Fayalite از طریق لایه واسطه..... ۵۲
شکل (۲-۳۰) تصویر SEM سیستم ترشوندگی شیشه/کوار پس از گذشت 2 min..... ۵۳
شکل (۲-۳۱) تصویر SEM فصل مشترک شیشه/کوار و توزیع عناصر Fe، Ni، Coو Si..... ۵۴
شکل (۲-۳۲) تصویر SEM سیستم ترشوندگی شیشه/کوار پس از گذشت 60 min..... ۵۵
شکل (۲-۳۳) تصویر SEM فصل مشترک شیشه/کوار و توزیع عناصر Fe، Ni، Coو Si..... ۵۵
شکل (۲-۳۴) مکانیزم های اتصال شیشه به آلیاژ کوار (شیمیایی، مکانیکی و مکانیکی-شیمیایی).... ۵۷
شکل (۲-۳۵) ساختار اتصال آب بند لوله ای..... ۵۹
شکل (۲-۳۶) ساختار اتصال شیشه – فلز..... ۶۰
شکل (۲-۳۷) نحوه مش بندی در روش المان محدود..... ۶۲
شکل (۲-۳۸) توزیع تنش های محیطی و تنش های محوری..... ۶۴
شکل (۲-۳۹) توزیع تنش در فاصله A-B واقع در شکل ۲-۲۸..... ۶۵
شکل (۲-۴۰) توزیع تنش محوری در فاصله C-D واقع در شکل ۲-۲۸..... ۶۵
شکل (۲-۴۱) تاثیر اختلاف ضرایب انبساط حرارتی بر روی تنش های محوری..... ۶۶
شکل (۲-۴۲) تاثیر عمق نفوذ بر میزان تنش..... ۶۷
شکل (۲-۴۳) تاثیر ضخامت لوله شیشه ای و حلقه فلزی بر روی تنش..... ۶۸
شکل (۲-۴۴) منحنی انقباض شیشه و فلز..... ۶۹
شکل (۳-۱) آنالیز EDS آلیاژ کوار ساخت داخل..... ۷۳
شکل (۳-۲) کوره الکتریکی ساده VM2L 1200..... ۷۵
شکل (۳-۳) نگهدارنده جهت حمل چهار نمونه به طور همزمان در داخل کوره الکتریکی..... ۷۵
شکل (۳-۴) ترازوی دیجیتال AND-GR-1200..... ۷۶
شکل (۳-۵) کوره الکتریکی تیوبی BFLL 1200..... ۷۷
شکل (۳-۶) نگهدارنده جهت قرار دادن نمونه ها در مرکز کوره تیوبی افقی..... ۷۹

شکل (۳-۷) کوره تیوبی افقی..... ۷۹
شکل (۳-۸) قسمت وردی گاز و آب مقطر..... ۸۰
شکل (۳-۹) لوله مارپیچ جهت انتقال آب مقطر و تولید بخار در داخل کوره..... ۸۰
شکل (۳-۱۰) قسمت خروجی کوره(محل انتقال نمونه ها به داخل کوره)..... ۸۱
شکل (۳-۱۱) مدار شماتیک اکسیداسیون در محیط N_2-H_2-H_2O..... ۸۳
شکل (۳-۱۲) استفاده از هواساز آکواریوم جهت حباب سازی گاز N2..... ۸۳
شکل (۳-۱۳) دستگاه رطوبت سنج STANDARD-ST-625..... ۸۳
شکل (۳-۱۴) تغییرات درصد رطوبت اشباع شده در گاز N_2 نسبت به دمای محیط..... ۸۴
شکل (۳-۱۵(تصویر شماتیک از مدار اکسیداسیون در محیط N_2-H_2-H_2O..... ۸۵
شکل (۳-۱۶) شماتیک فیکسچر اتصال..... ۸۷
شکل (۳-۱۷) کوره الکتریکی..... ۸۸
شکل (۳-۱۸) فرایند قالب گیری جهت ایجاد اتصال..... ۸۸
شکل (۳-۱۹) سیکل عملیات حرارتی پخت قالب..... ۸۹
شکل (۳-۲۰) رویه قالب گیری آلیاژ کوار به شیشه بوروسیلیکاتی..... ۸۹
شکل (۳-۲۱) سیکل عملیات حرارتی جهت اتصال در اتمسفر خنثی..... ۹۱
شکل (۳-۲۲) تصویر شماتیک از نگهدارنده و انتقال دهنده مجموعه به داخل کوره تیوبی..... ۹۲
شکل (۳-۲۳) نقشه انفجاری نگهدارنده اتصال..... ۹۳
شکل (۳-۲۴) مجموعه قطعات ساخته شده جهت فرایند اتصال..... ۹۴
شکل (۳-۲۵) نگهدارنده جهت انتقال و اتصال حلقه کوار به شیشه بوروسیلیکاتی..... ۹۴
شکل (۳-۲۶) دستگاه پلاروسکوپ..... ۹۶
شکل (۳-۲۷) وجود خطوط پراکنده در اثر حضور تنش های حرارتی..... ۹۷
شکل (۴-۱) نمودار تغییرات وزن نمونه های پیش اکسید شده در دمای $750^{\circ}C$ و زمان متغیر..... ۱۰۲
شکل (۴-۲) نمودار تغییرات وزن اضافه شده در واحد سطح در زمان ثابت1min و دمای متغیر..... ۱۰۳
شکل (۴-۳) a) تصویر متالوگرافی b) تصویر SEM مقطع نمونه اکسید شده در شرایط مرحله A..... ۱۰۴
شکل (۴-۴) بیش اکسیداسیون در دمای $750^{\circ}C$ و زمان 16 minدر کوره الکتریکی ساده مرحلهA. ۱۰۵
شکل (۴-۵) آنالیز EDS لایه اکسیدی در $T=750°C$ و $t=10min$ در شرایط مرحلهA..... ۱۰۶
شکل (۴-۶) تغییر وزن نمونه های پیش اکسید شده(کوره مقاومتی تیوبی) در دمای ثابت و زمان متغیر (فازB)..... ۱۰۸
شکل (۴-۷) نمودار تغییر وزن نمونه های پیش اکسید شده در کوره مقاومتی تیوبی در زمان ثابت

و دمای متغیر ۱۰۹
شکل (۴-۸) تصویر متالوگرافی تصویر SEM مقطع نمونه اکسید شده در دمای در شرایط مرحله B. ۱۰۹
شکل (۴-۹) تغییرات ضخامت لایه اکسیدی در دمای ثابت ۷۵۰° C در حالتA و B ۱۱۰
شکل (۴-۱۰) تغییرات ضخامت لایه اکسیدی در زمان ثابت در دو حالت A و B..... ۱۱۲
شکل (۴-۱۱) الگوی پراش XRD نمونه خام آلیاژ کوار..... ۱۱۲
شکل (۴-۱۲) الگوی پراش XRD آلیاژ کوار پیش اکسید شده در مرحله A..... ۱۱۳
شکل (۴-۱۳) الگوی پراش XRD آلیاژ کوار پیش اکسید شده در مرحله B..... ۱۱۳
شکل (۴-۱۴) تغییرات شدت نسبی فاز های موجود در لایه اکسیدی در مرحله A و B به دمای اکسیداسیون متغیر..... ۱۱۴
شکل (۴-۱۵) الگوی پراش XRD نمونه های پیش اکسید شده در اتمسفر بخار آب..... ۱۲۰
شکل (۴-۱۶) نمودار سینتیک اکسیداسیون در محیط بخار آب در دماهای مختلف..... ۱۲۰
شکل (۴-۱۷) تصویر متالوگرافی نمونه پیش اکسید شده در محیط بخار آب، دما ۵۰۰°C زمان۳hr. ۱۲۱
شکل (۴-۱۸) تصویر متالوگرافی نمونه پیش اکسید شده در محیط بخار آب، دما ۵۲۰°C زمان۳hr. ۱۲۱
شکل (۴-۱۹) تصویر متالوگرافی نمونه پیش اکسید شده در محیط بخار آب، دما ۵۴۰°C زمان۳hr. ۱۲۲
شکل (۴-۲۰) تصویر متالوگرافی نمونه پیش اکسید شده در محیط بخار آب، دما ۵۶۰°C زمان۳hr. ۱۲۲
شکل (۴-۲۱) تصویر متالوگرافی نمونه پیش اکسید شده در محیط بخار آب، دما ۵۸۰°C زمان۳hr. ۱۲۲
شکل (۴-۲۲) تصویر SEM نمونه پیش اکسید شده در محیط بخار آب، دما ۵۸۰°C زمان۴hr..... ۱۲۳
شکل (۴-۲۳) تصویر SEM نمونه پیش اکسید شده در محیط بخار آب، دما ۵۸۰°C زمان۳hr..... ۱۲۳
شکل (۴-۲۴) سینتیک اکسیداسیون در N_2-H_2-H_2O در دماهای مختلف و دمای آب۲۰ °C- ۲۵ ... ۱۲۵
شکل (۴-۲۵) رابطه بین فشار اکسیژن تعادلی در نمونه های پیش اکسید شده با دمای اکسیداسیون متغیر و زمان ثابت۶۰ min..... ۱۲۷
شکل (۴-۲۶) XRD نمونه پیش اکسید شده در N_2-H_2-H_2O در دمای ۵۵۰°Cو زمان۶۰min..... ۱۲۷
شکل (۴-۲۷) XRD نمونه پیش اکسید شده در N_2-H_2-H_2O در دمای ۶۳۰°Cو زمان۶۰min..... ۱۲۸
شکل (۴-۲۸) XRD نمونه پیش اکسید شده در N_2-H_2-H_2O در دمای ۸۰۰°Cو زمان۶۰min..... ۱۲۸
شکل (۴-۲۹) XRD نمونه پیش اکسید شده در N_2-H_2-H_2O در دمای ۱۰۰۰°Cو زمان۶۰min..... ۱۲۸
شکل (۴-۳۰) تغییرات شدت نسبی فازهای موجود در لایه اکسیدی در دمای۱۰۰۰-۸۰۰-۶۳۰°C ۱۲۹
شکل (۴-۳۱) تصویر SEM نمونه پیش اکسید شده درN_2-H_2-H_2O، دمای۶۳۰ °Cو زمان۶۰min. ۱۲۹
شکل (۴-۳۲) تصویر SEM نمونه پیش اکسید شده درN_2-H_2-H_2O، دمای۹۰۰ °Cو زمان۶۰min. ۱۳۰
شکل (۴-۳۳) تصویر SEM نمونه پیش اکسید شده درN_2-H_2-H_2O، دمای۱۰۰۰ °Cو زمان۶۰min. ۱۳۰

شکل (۴-۳۴) نمونه اتصال در اتمسفر معمولی..... ۱۳۱
شکل (۴-۳۵) نمونه اتصال در اتمسفر کنترل شده خنثی..... ۱۳۲
شکل (۴-۳۶) نمونه اتصال یافته در اتمسفر کنترل شده N_2-0.33%H_2-2.088%H_2O..... ۱۳۳
شکل (۴-۳۷) تصویر میکروسکوپ الکترونی سطح مقطع محل اتصال..... ۱۳۳
شکل (۴-۳۸) ضخامت باند اتصال بین آلیاژ کوار و شیشه بوروسیلیکاتی..... ۱۳۴
شکل (۴-۳۹) تصویر میکروسکوپ الکترونی تیغه های فایالایت (Fe_2SiO_4)..... ۱۳۵
شکل (۴-۴۰) یکنواختی طیف نور در محل اتصال (عدم وجود تنش در ناحیه)..... ۱۳۵
شکل (۴-۴۱) توزیع تنش فان میسز در اتصال حلقه کوار و لوله شیشه ای..... ۱۳۶
شکل (۴-۴۲) توزیع تنش طولی در اتصال حلقه فلزی کوار و لوله شیشه ای..... ۱۳۶
شکل (۴-۴۳) توزیع تنش محیطی در اتصال حلقه فلزی کوار و لوله شیشه ای..... ۱۳۷
شکل (۴-۴۴) توزیع تنش طولی و محیطی در سطح خارجی شیشه بر حسب فاصله از لبه شیشه... ۱۳۷

فهرست جداول

جدول (۲-۱) ترکیب شیمیایی آلیاژ کوار ۲۰

جدول (۲-۲) برخی خصوصیات فیزیکی آلیاژ کوار ۲۰

جدول (۲-۳) ترکیب شیمیایی شیشه بوروسیلیکاتی ۲۱

جدول (۲-۴) برخی خصوصیات فیزیکی شیشه بوروسیلیکاتی ۲۱

جدول (۲-۵) شرایط اکسیداسیون آلیاژ کوار در اتمسفر کنترل شده ۲۷

جدول (۲-۶) ضخامت حاصل از وزن سنجی و واقعی لایه اکسیدی در N_2-H_2-H_2O دمای$^{\circ}C$۱۰۰۰. ۲۸

جدول (۲-۷) ترکیب فریت لعاب ۳۷

جدول (۲-۸) خواص شیشه و آلیاژ کوار مصرفی در اتصال ۶۳

جدول (۳-۱) آنالیز آلیاژ کوار تولید داخل ۷۲

جدول (۳-۲) ترکیب شیمیایی شیشه بوروسیلیکاتی ۷۲

جدول (۳-۳) دما و زمان نگهداری جهت اکسیداسیون در محیط بخار آب ۸۱

جدول (۳-۴) زمان و دمای انجام اکسیداسیون در محیط N_2-H_2-H_2O ۸۶

جدول (۳-۵) شرایط عملیات اتصال ۸۹

جدول (۳-۶) خواص مکانیکی و حرارتی آلیاژ Kovar ۹۸

جدول (۳-۷) خواص مکانیکی و حرارتی شیشه برو سیلیکاتی ۹۸

جدول (۳-۸) ابعاد هندسی لوله شیشه ای و حلقه کوار ۹۸

جدول (۴-۱) تغییرات وزن نمونه های اکسید شده در دمای $^{\circ}C$ ۷۵۰ در زمان های مختلف ۱۰۲

جدول (۴-۲) تغییرات وزن نمونه های اکسید شده در زمان ثابت ۱۰min ۱۰۳

جدول (۴-۳) تغییرات وزن تک تک نمونه ها در ۶min و دمای ثابت $^{\circ}C$۷۵۰ ..... ۱۰۷

جدول (۴-۴) تغییرات وزن تک تک نمونه در ۱۰min و دمای ثابت $^{\circ}C$۷۵۰ ..... ۱۰۷

جدول (۴-۵) تغییرات وزن تک تک نمونه در۱۴min و دمای ثابت $^{\circ}C$۷۵۰ ..... ۱۰۷

جدول (۴-۶) تغییرات وزن تک تک نمونه در دمای $^{\circ}C$ ۷۰۰ و زمان ثابت ۱۰min ۱۰۸

جدول (۴-۷) تغییرات وزن تک تک نمونه در دمای $^{\circ}C$ ۸۰۰ و زمان ثابت ۱۰min ۱۰۹

جدول (۴-۸) تغییرات دانسیته لایه اکسیدی در دمای اکسیداسیون متغیر در کوره الکتریکی ساده ۱۱۵

جدول (۴-۹) تغییرات وزن افزایش یافته نمونه های پیش اکسید شده در محیط بخار آب ۱۱۹

جدول (۴-۱۰) تغییر وزن افزایش یافته نمونه های پیش اکسید شده درN_2-H_2-H_2O با دمای آب$^{\circ}$۲۰ ۱۲۴

جدول (۴-۱۱) تغییر وزن افزایش یافته نمونه های پیش اکسید شده درN_2-H_2-H_2O با دمای آب$^{\circ}$۲۵ ۱۲۴

جدول (۴-۱۲) تغییرات وزن ایجاد شده در واحد سطح لوله کوار..... ۱۳۲

فهرست علائم اختصاری

ضریب انبساط حرارتی (α)	$(/°C)$
ضریب هدایت حرارتی (K)	$(W/m°K)$
دما (T)	$(°C)$
دمای گذرا یا انتقال (T_g)	$(°C)$
زاویه ترشوندگی(θ)	$(^{\circ})$
انرژی سطحی (γ)	(j/m)
اختلاف ضرایب انقباض (δ)	(μm)
ممان پیچشی (M)	(Nm/m)
نیروی برشی (P)	(N)
ضریب شکل پذیری فلز (K_m)	(-)
ضریب شکل پذیری شیشه (K_g)	(-)
ضریب پواسان (μ)	(-)
مدول یانگ (E)	(GPa)
گرمای ویژه (C)	$(J/gr°c)$
کرنش (ε)	(-)

فصل ۱:

مقدمه