بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکز

دانشکده علوم پایه – گروه فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد(M.Sc)

گرایش حالت جامد

عنوان:

ساختار شناسی ونظم کریستالی در کربن های کاتالیستی

استاد راهنما:

دکتر محمد رضا جلیلیان نصرتی

استاد مشاور:

فرشید نور علیشاهی

نگارش:

سیده الهام حسینی

تابستان ۱۳۹۲

تقدیم به :

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین

روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان

به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم

سپاسگزاری

جناب آقای زنده یاد دکتر محمد رضا جلیلیان نصرتی استاد راهنما و جناب آقای فرشید نور علیشاهی استاد مشاورم:

شما روشنایی بخش تاریکی جان هستید و ظلمت اندیشه را نور می بخشید. چگونه سپاس گویم مهربانی و لطف شما را که سرشار از عشق و یقین است. چگونه سپاس گویم تأثیر علم آموزی شما را که چراغ روشن هدایت را بر کلبه ی محقر وجودم فروزان ساخته است. آری در مقابل این همه عظمت و شکوه شما مرا نه توان سپاس است و نه کلام وصف.

فرم تعهد نامه اصالت پایان نامه

اینجانب سیده الهام حسینی دانش اموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته به شماره دانشجویی ۹۰۰۷۲۵۵۷۰ در رشته فیزیک حالت جامد که در تاریخ ۹۲/٦/۳ از پایان نامه خود تحت عنوان ساختار شناسی ونظم کریستالی در کربن های کاتالیستی با کسب نمره ۱۹ و درجه عالی دفاع نموده ام.

۱- این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه ، کتاب ، مقاله و ...) استفاده نموده ام ، مطابق ضوابط و رویه های موجود ، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست ذکر و درج کرده ام .

۲- این پایان نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح ، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاهها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است .

۳- چنانچه بعد از فراغت از تحصیل ، قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب ، ثبت اختراع و ... از این پایان نامه داشته باشم ، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم .

٤- چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود ، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت .

نام ونام خانوادگی: سیده الهام حسینی

تاریخ وامضاء:

بسمه تعالی

در تاریخ ۹۲ / ۶ / ۳

دانشجوی کارشناسی ارشد خانم سیده الهام حسینی از پایان نامه خود دفاع نموده وبا نمره ۱۹ بحروف نوزده و با درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت.

امضاء استاد راهنما:

چکیده

الیاف کربن به علت خصوصیات منحصر به فرد مکانیکی و فیزیکی همچون استحکام ویژه و مدول بالا،استحکام خستگی زیاد،وزن کم،ضریب انبساط حرارتی بسیار پایین،پایداری حرارتی بالا،هدایت گرمایی والکتریکی مناسب و.. در مدتی کوتاه ، رشد و تکاملی سریع یافته است.این الیاف کربن عمدتاً به عنوان ماده تقویت کننده در انواع کامپوزیت های زمینه فلزی،سرامیکی وپلیمری محسوب می شود. کامپوزیت های حاوی الیاف کربن،مستحکم تر از فولاد، سفت تر از تیتانیوم وسبک تر از الومینیوم می با شند.کامپوزیت های زمینه فلزی الیاف کربن به دلیل اینکه الیاف کربن برای کاهش ضریب انبساط گرمایی،افزایش استحکام و مدولها ، کاهش چگالی یا غلظت به کار می روند، مهم اند. ماتریس های به کار رفته شامل آلومینیوم، منیزیم، مس، نیکل و... است. آلومینیوم به صورت عمده ای در فلز ماتریسی به دلیل چگالی پایین، درجه ذوب پایین، هزینه پایین، و قابلیت های مکانیکی خوب ان به کار می رود . این کامپوزیت های الیاف کربن در برنامه های کاربردی ساختارها ،چاه های حرارتی و مواد الکترونیکی ، جوش دادن و یاتاقان بندی ،لحیم کاری ،و برنامه های کاربردی دما بالا می باشد. امروزه بویژه امریکا ،وسایل وامکانات زیادی را منحصراً به طراحی وتولید مواد کامپوزیت اختصاص داده اند و می توانند CFRP (پلاستیک های تقویت شده با الیاف کربن) را با قیمتهای کمتر در مقایسه با اجزا الومینیوم یا تیتانیم بسازند، همچنین تلاش برای تهیه مواد مواد کم وزنتر ، تحت بررسی است.

مقدمه:

الیاف کربن الیافی بسیار نازک بوده و به مراتب از موی انسان باریک ترند و قطر انها μm ۱۰-۶ است.انها از الیاف بور نیز که از نظر ضخامت به اندازه موی انسان اند باریک ترند.الیاف بورالیافی بودند که اولین بار جهت تقویت پلیمرها در انچه که اصطلاحاً کامپوزیت های پیشرفته نامیده می شوند ،مورد استفاده قرار گرفتند.الیاف شیشه پلی ارامید نیز در مقایسه با دیگر الیاف دارای قطر نازکی هستند و در ترکیب با الیاف کربن برای تقویت ان ها مورد استفاده قرار می گیرند و در شکل های متنوع نخ،الیاف مویی ، طناب و غیره هستند.

الیاف کربن از نظر شیمیایی شامل٪۹۹/۹ کربن خالص است. این الیاف نازک و سیاه رنگ، ساخته دست بشر که گاهی به صورت اشتباهی گرافیت نامیده می شود، در پلیمر ها بکار رفته و تحولی در مواد ایجاد کرده اند.حتی نشریه هایی از این باب انها را به عنوان معجزه گر گزارش کرده اند. الیاف کربن به علت خصوصیات منحصر به فرد مکانیکی و فیزیکی همچون استحکام ویژه و مدول بالا،استحکام خستگی زیاد،وزن کم،ضریب انبساط حرارتی بسیار پایین ، پایداری حرارتی بالا، هدایت گرمایی والکتریکی مناسب و.. در مدتی کوتاه ، رشد و تکاملی سریع یافته است.این الیاف کربن عمدتاً به عنوان ماده تقویت کننده در انواع کامپوزیت های زمینه فلزی،سرامیکی وپلیمری محسوب می شود. کامپوریت های پیشرفته تا ٪۶۰ حجمی حاوی الیاف کربن اند. اگر کامپوزیت های پیشرفته با کامپوزیت های الیاف شیشه مقایسه شوند، از نظر سبکی وسفتی بالا به مراتب عالی ترند اما استحکام مشابهی دارند. با تقویت کربن پلیمر توسط الیاف کربن اولین باری بود که پلیمرها قادر بودند با فلزات جهت کاربردهای ساختاری مشابه به رقابت بپردازند. کامپوزیت های حاوی الیاف کربن،مستحکم تر از فولاد، سفت تر از تیتانیوم وسبک تر از الومینیوم می با شند. لذا امروزه این کامپوزیت ها در بسیاری از صنایع نظیر صنایع نظامی فضایی و هوایی ، ساختمانی، ورزشی ، معدنی ، شیمیایی ،پزشکی بخوبی جانشین بسیاری از مصالح ومواد مرسوم شدند وبا کارایی بالا در این زمینه مورد استفاده قرار می گیرند. در سالهای اخیر تحقیقات گسترده ای در زمینه بکار گیری الیاف کربن در صنایع نفت و گاز صورت پذیرفته است که نتایج تحقیقات مذکور بسار نوید بخش است.

نخستین تارهای کربنی در سال ۱۸۵۰ توسط «سوان» ازکاغذ ساخته شد.پس از او در سال ۱۸۷۸ ، ادیسون از الیاف کربن به عنوان منبع تامین نور در لامپ و برق استفاده کرد. الیاف کربن اولیه از کتان و بامبو بدست امد. اما ساخت الیاف کربن تا مدت زیادی با استقبال روبه رو نشد تا ان که در اواخر دهه ۵۰ میلادی مؤسسه « patterson wright » در امریکا توانست الیاف کربن با مقاومت بالا از سلولز مصنوعی (ریون) تهیه کند.در سالهای بعد محققان به تولید الیاف کربن از دیگر مواد تولیه روی اوردند. در دهه ۶۰ ، در ژاپن و انگلستان ساخت الیاف کربن از پلی اکریلونیتریل(PAN) وبه دنبال ساخت الیاف مذکور از قیر در ژاپن انجام شد.پس از ان در دهه های اخیر نیز این الیاف از دیگر مواد نظیر پلیمرهای هتروسیکلی ، پلیمرهای حلقوی غیر هتروسیکلی ، پلیمرهای خطی وزغال سنگ ساخته شدند.

در حال حاضر،در میان مواد مذکور سه ماده شامل پلی اکریلونیتریل ، ریون و قیر سه پیش زمینه اصلی برای تولید الیاف کربن در مقیاس تجاری محسوب می شوند. جزئیات فرایند های مورد استفاده برای پیش زمینه های مذکور متفاوت می باشد اما بخش های اصلی این فرایند ها مشابه است. در همه فرایند ها، عملیات پایدار سازی جهت حذف عناصر غیر کربنی،گرافیته کردن در دمای بالا به منظور بهبود خواص مکانیکی انجام می شود اما نوع عملیات حرارتی ، زمان عملیات و شرایط فرایندها متفاوت است. تولید الیاف از پیش زمینه پلی اکریلونیتریل توجه بسیاری از تولید کنندگان را به خود جلب کرده است چرا که میزان کربن حاصل از این ماده دو برابر ریون بوده است .علاوه بر این، تولید با این پیش زمینه گران و مشکلات عملیات گرافیته کردن در دمای بالا وتحت تنش را نداشت. کامپوزیت های زمینه فلزی الیاف کربن به دلیل اینکه الیاف کربن برای کاهش ضریب انبساط گرمایی، افزایش استحکام و مدولها ، کاهش چگالی یا غلظت به کار می روند، مهم اند. رسانش گرمایی الیاف کربن زمینه الومینیوم و کامپوزیت های زمینه مس مشابه است.ضریب انبساط گرمایی هر دو کامپوزیت به صفر می رسد. این ترکیب در ضریب انبساط گرمایی پایین به صفر می رسد. این ترکیب ضریب انبساط گرمایی پایین و رسانش گرمایی بالا انها را برای پکیج بندی الکترونی اماده می کند.یک کامپوزیت زمینه فلزی فیبر کربن ، در مقایسه با کامپوزیت های زمینه پلیمری فیبرکربن دارای مقاومت دمایی بالاتر ، استحکام عرضی و مدول بالاتر ،مقاومت الکتریکی کمتر، مقاومت تابش بهتر وفقدان انتشار محدود تر است.

از طرف دیگر یک کامپوزیت زمینه فلزی در مقایسه با خود فلز و کامپوزیت های زمینه پلیمری دارای هزینه ساخت بالاتر و تجربه خدمات محدود تر است . فیبر های کربن بکار رفته برای کامپوزیت های زمینه فلزی عمدتا به شکل فیبرهای پیوسته است، اما الیاف به صورت کوتاه نیز به کار می رود. زمینه های بکار رفته شامل الومینیوم ، منیزیم، مس،نیکل، الیاژهای قلع ، نقره – مس و الیاژ های سرب است.الومینیوم به صورت عمده در فلز ماتریسی به علت چگالی پائین، درجه ذوب پائین، هزینه پائین وقابلیت های مکانیکی خوب ان بکار می رود.منیزیم نیز نسبتا دارای نقطه ذوب پایین است، اما چگالی ان حتی از الومینیوم نیز کمتر است. در مقابل مس دارای رسانش گرمایی خیلی بالاو مقاومت الکتریکی بسیار پایین است. این ویژگی ها ان را برای موتورها ولوازم الکتریکی مربوطه جذاب کرده است.همین طور رسانش گرمایی بالا باعث بکار گیری ان برای پکیج بندی الکترونیکی شده است.کامپوزیت های ماتریس فلزی اغلب با استفاده از یک واسطه که پیشفرم[1] نامیده می شود بدست می اید.که به شکل ورقه ، مفتول ،سیلندر است.پیشفرم شامل فیبر های تقویت شده است که معمولا با یک متصل کننده به یکدیگر وصل می شوند، که این متصل کننده می تواند یک پلیمر(مثل اکریلیک، استیرن) ، یک سرامیک (مثل سیلیکا، متافسفات الومینیوم) یا خود فلز ماتریس باشد.متصل کننده به فیبر ها کمک می کند تا در طول ساخت ،کامپوزیت به صورت یکنواخت پخش شود.

[1] preform

با توجه به دمای ذوب بالای مس، کامپوزیت های ماتریس مس به راحتی با نفوذ بدست نمی ایند، بلکه با اتصال انتشاری تولید می شوند.استفاده از این الیاف منجر به حذف مشکل رطوبت ضعیف بین مس والیاف کربن می شود.الیاف کربن در ماتریس های الیاژ سرب به عنوان الکترود مثبت در با تری های سربی اسیدی قابل شارژ به کار می رود.همچنین الیاف کربن در الیاژهای مبتنی بر نقره به صورت گسترده ای در لحیم کاری مواد به کار می رود.

ارائه الیاف کربن در اواسط دهه ۶۰ در ایالات متحده امریکا وکشورهای دیگر معرفی تقریبا همزمان با ارائه الیاف بور بود، صنعت هوا فضا را با مواد کامپوزیتی مواجه ساخت که از لحاظ کاربرد های سفتی و بحرانی می توانستند با الیاژهای الومینیوم ، رقابت کنند. پیش از این تاریخ مواد کامپوزیت موجود،یعنی پلیمر های تقویت شده با شیشه ،تنها در ساختارهایی که از لحاظ استحکام وبحرانی قابل رقابت بودند مانند مخازن تحت فشار و موتور موشک کاربرد های اصلی هوا فضا بودند.الیاف کربن با مدول بالا سفتی مورد نیاز را تامین کردند.امروزه تولید کنندگان بزرگ بدنه هواپیما در ایالات متحده امریکا وسایل وامکانات زیادی را منحصراً به طراحی وتولید مواد کامپوزیت اختصاص داده اند و می توانند قیمت های پلاستیک های تقویت شده با الیاف کربن[1] را با قیمتهای برابر یا کمتر در مقایسه با اجزا الومینیوم یا تیتانیم بسازند، همچنین تلاش برای تهیه مواد مواد کم وزنتر ، تحت بررسی است. امروزه در تولید هواپیماهای جنگنده ارتش امریکا، به خصوص در ساختارهایی که پوسته ان فشرده شده، مقادیر قابل توجهی پلاستیک های تقویت شده با الیاف کربن به کار می رود.همچنین پلاستیک های تقویت شده با الیاف کربن در ساختار هواپیما های باری تجاری نیز وارد شده است.با این وجود، اکنون پیشرفت های مهم دیگری در کارخانه های سازنده بدنه هواپیما در جریان است.

[1] CFRP

فهرست مطالب

فـصـل اول : تولید و خواص الیاف کربن

۱ـ ۱ ـ تاریخچه الیاف کربن ۲

۱ ـ ۲ ـ طبقه بندی الیاف کربن ۵

۱ ـ ۳ ـ ساختار فیزیکی الیاف کربن ۷

۱ ـ ۳ ـ ۱ ـ مورفولوژی سطح مقطع شکست ۸

۱ ـ ۳ ـ ۲ ـ ریز ساختار ۱۰

۱ ـ۴ خواص کلی الیاف کربن ۱۳

۱-۴-۱ ـ وزن مخصوص ۱۳

۱ - ۴- ۲ - مدول ۱۴

۱- ۴ ـ ۳ ـ استحکام ۱۵

۱-۴ ـ ۴ ـ پایداری ابعادی و حرارتی ۱۶

۱-۴ ـ ۵ ـ هدایت الکتریکی و حرارتی ۱۶

۱-۴ـ ۶ ـ پایداری شیمیایی ۱۶

۱ -۴ـ ۷ ـ خواص سطحی ۱۷

۱-۵ روش کلی تولید الیاف کربن ۱۸

۱-۵-۱ ـ انتخاب پیش زمینه مناسب جهت تولید الیاف کربن به روش پیرولیز ۱۹

۱-۵ ـ ۱ ـ ۱ ـ مواد سلولزی ۲۰

۱ ـ ۵ـ ۱ ـ ۲ ـ ریون ۲۰

۱ـ ۵ـ ۱ ـ ۳ ـ قیر مزوفاز و الیاف پلی اکریلونیتریل (PAN) ۲۱

۱-۶ ـ تولید الیاف کربن از پیش زمینه پلی اکریلونیتریل ۲۶

۱-۶ ـ ۱ ـ پایدارسازی الیاف پلی اکریلونیتریل ۲۷

۱-۶-۱-۱-واکنش های ترمو شیمیایی ۲۸

۱ ـ ۶ ـ۱- ۲ ـ درجه حرارت مرحله پایدار سازی ۳۲

۱ ـ۶ـ۱- ۳ ـ عملیات کشش در مرحله پایدارسازی ۳۳

۱ ـ ۶ ـ۱- ۴ ـ اتمسفر مناسب در مرحله پایدار سازی حرارتی ۳۴

۱ـ ۶ ـ۱- ۵ ـ تاثیر میزان اکسیداسیون بر خواص الیاف پلی اکریلونیتریل پایدار شده ۳۵

۱ـ ۶ ـ۱- ۶ـ خصوصیات الیاف پلی اکریلونیتریل پایدار شده ۳۶

۱ ـ ۶ ـ ۲ ـ کربنیزاسیون الیاف پلی اکریلونیتریل پایدار شده ۳۹

۱-۶ ـ ۲ ـ ۱ ـ اتمسفر مناسب در عملیات کربنیزاسیون ۴۰

۱ ـ ۲ـ ۲ ـ ۲ ـ عملیات کربنیزاسیون در مراحل مختلف حرارتی ۴۳

۱ـ۶ ـ ۲ ـ ۳ ـ خواص الیاف در مرحله کربنیزاسیون ۴۶

۱ ـ ۶ـ ۲ـ ۴ـ استفاده از میدان مغناطیسیبا شدت بالا در مرحله کربونیزاسیون ۵۴

۱-۶ـ ۳ ـ گرافیته کردن ۵۵

۱-۷ ـ تولید الیاف کربن بر پایه قیر مزوفاز ۵۶

فصل دوم : خواص مکانیکی الیاف کربن

۲-۱-استحکام کششی الیاف کربن ۶۰

۲-۲ ـ منشاء خواص مکانیکی فوق العاده الیاف کربن ۶۲

۲ ـ ۳ـ اثر انحرافات شبکه ای در استحکام الیاف کربن ۶۵

۲ ـ ۴ ـ قابلیت شکل دهی محصولات الیاف کربن با کیفیت بالا ۷۱

۲ ـ ۵-خواص الیاف کربن تجاری فعلی و پیشرفت های آتی آن ۷۲

۲ - ۵-۱- تعیین مشخصات و نامگذاری انواع مختلف الیاف ۷۲

۲ ـ۵-۲- خواص مکانیکی الیاف کربن قابل دسترس ۷۵

۲ ـ ۶ ـ خواص مکانیکی موردانتظار الیاف کربن در آینده ۷۶

۲ ـ ۶ ـ ۱ ـمقادیر ماکزیمم نظری برای خواص مکانیکی ۷۶

۲ ـ ۶ ـ ۲ ـ اهمیت روشهای آزمون ۸۱

۲ ـ۶ـ ۳ ـ نسل جدید الیاف کربن Iht , lht بر پایه پان ۸۵

۲ ـ ۵ ـ ۴ ـ رفتار ضربه ای کامپوزیت های تقویت شده با الیاف کربن ۸۷

فصل سوم : کاربرد الیاف کربن

کاربرد الیاف کربن ۹۱

۳ ـ ۱- مصارف الیاف کربن در صنایع مختلف ۹۲

۳ ـ ۱ ـ ۱ ـ صنایع فضایی ۹۲

۳ ـ ۱ ـ ۲ ـ صنایع هوایی ۹۳

۳ ـ ۱ ـ ۳ ـ صنایع حمل و نقل ۹۴

۳ ـ ۱ ـ ۴ ـ صنایع پزشکی ۹۶

۳ـ۱ـ۵ـ صنایع ساختمان ۹۷
۳ـ۱ـ۶ـ زمینه انرژی ۹۸
۳ـ ۱ـ۷ـ صنایع ورزشی و تفریحی ۹۹
۳ـ۱ـ۸ـ صنایع الکترونیک ۹۹
۳ـ۱ـ۹ـ سایر کاربردها ۹۹
۳ـ۲ـ جایگاه و مواد کاربرد الیاف کربن در صنایع نفت جهان ۱۰۰
۳ـ۲ـ۱ـ لوله های حفاری ۱۰۰
۳ـ۲ـ۲ـ جذب و بازیابی نفت سنگین ۱۰۲
۳ـ۲ـ۳ـ نگهداری گاز متان و گاز طبیعی ۱۰۲
۳ـ۲ـ۴ـ کابل های نگهدارنده ۱۰۲
۳ـ۴ـ جایگاه الیاف کربن در صنایع نفت ایران ۱۰۳
۳ـ۳ـ تولید و مصرف الیاف کربن بر پایه الیاف پلی اکریلو نیتریل در جهان ۱۰۳
۳ـ۳ـ۱ـ تاریخچه و روند رشد نیاز جهانی به الیاف کربن ۱۰۵
۳ـ۳ـ۲ـ تخمین تولید جهانی الیاف کربن از الیاف پلی اکریلونیتریل بر اساس محدوده ۱۰۶
جغرافیایی و مصرف جهانی بر اساس مصارف عمده ۱۰۶
۳ـ۳ـ۳ـ تخمین مصرف جهانی الیاف کربن از الیاف پلی اکریلونیتریل ۱۰۷
۳ـ۳ـ۴ـ رشد مصرف الیاف کربن در سال های ۲۰۰۰ ـ ۱۹۸۵ میلادی ۱۰۸
۳-۵-کاربرد های جدید الیاف کربن ۱۰۹
۳-۵-۱-دستگاه جدید آزمایش تحقیق و توسعه در مورد روکش الیاف کربن ۱۰۹
۳-۵-۲-پیش بینی تقاضای الیاف کربن در تولید خودرو ۱۱۱

۳-۵- ۳-تولید الیاف کربن در هندوستان ۱۱۳

۳-۵-۴-کاربرد الیاف کربن در لوله های دریچه معدن ۱۱۴

فصل چهارم : اثرکامپوزیت های ماتریس فلزبر روی الیاف کربن

۴-۱اثرکامپوزیت های ماتریس فلزبر روی الیاف کربن ۱۱۷

۴-۲-ساخت کامپوزیت زمینه فلزی الیاف کربن ۱۲۱

۴-۳-مرطوب کردن فیبرهای کربن با فلزات ذوب شده ۱۲۴

۴-۴-تجزیه کامپوزیت های زمینه فلزی فیبر کربن با گرما و آب ۱۳۴

۴-۶- اثر کامپوزیت ها با ماتریس هایی به غیر از آلومینیوم و منیزیم ۱۳۷

فصل پنجم : پلاستیک های تقویت شده با الیاف کربن

۵ ـ ۱ـ قالبگیری تزریقی ۱۴۲

۵ ـ ۲ ـ پولتروژن ۱۴۲

۵ ـ ۳ ـ پیچیدن تر ۱۴۲

۵ ـ ۴ ـ پیچیدن خشک ۱۴۴

۵ـ ۵ ـ لایه گذاری تر ۱۴۴

۵ ـ ۶ ـ تزریق رزین ۱۴۵

۵ ـ ۷ ـ روشهای قالبگیری ۱۴۶

۵ـ ۷ ـ ۱ ـ قالبگیری کیسه ای تحت خلاء ۱۴۶

۵ ـ ۷ ـ ۲ ـ قالبگیری فشاری ۱۴۷

۵ ـ ۷ ـ ۳ ـ قالبگیری انبساطی ۱۴۷

۵ـ۷ـ۴ـ قالبگیری اتوکلاو ۱۴۸

ب ـ پخت پوسته های مخروطی بال هواپیما ۱۵۲

ج ـ قالبگیری فشاری CFC با دیواره ضخیم ۱۵۷

هـ ـ مفهوم پخت پیشرفته ۱۵۹

۵ـ۸ـ نقطه نظرهای طراحی ساختارهای فضایی بزرگ ۱۶۰

۵ـ۸ـ۱ـ ارزیابی سیستم های الیاف ـ ماتریس ۱۶۱

۵ـ۸ـ۱ـ۱ـ تاثیر چرخه حرارتی ۱۶۳

۵ـ۸ـ۱ـ۲ـ تاثیر تابش الکترون ۱۶۷

۵ـ ۸ـ۲ـ گسترش برنامه های کامپیوتری ۱۶۹

۵ـ۸ـ۲ـ۱ـ بهینه سازی وزن اجزاء لوله های شکل ۱۷۱

۵ـ۸ـ۲ـ۲ـ روشهای مدل ساز ساختاری ۱۷۲

۵ـ۸ـ۳ـ ساختارهای آزمایشی جهت ارزیابی روش های تحلیلی ۱۷۳

نتایج: ۱۷۷

نتیجه گیری نهایی: ۱۸۰

منابع ۱۸۱

فهرست اشکال

شکل ۱ – ۱..... ۴

شکل ۲ – ۱..... ۶

شکل ۱ – ۳..... ۷

شکل ۱ – ۴..... ۹

شکل ۱ – ۵..... ۱۲

شکل ۱ – ۶..... ۱۲

شکل ۱ – ۷..... ۱۲

شکل ۱ – ۸..... ۱۴

شکل ۱ – ۹..... ۱۵

شکل ۱ – ۱۰..... ۲۲

شکل ۱ – ۱۱..... ۲۳

شکل ۱ – ۱۲..... ۲۴

شکل ۱ – ۱۳..... ۲۴

شکل ۱ – ۱۴..... ۲۵

شکل ۱ – ۱۵..... ۲۸

شکل ۱ – ۱۶..... ۲۹

شکل ۱ – ۱۷..... ۳۰

شکل ۱ – ۱۸..... ۳۰

شکل ۱ – ۱۹..... ۳۱

شکل ۱ – ۲۰..... ۳۲

شکل ۱ – ۲۱..... ۳۵

شکل ۱ – ۲۲ ..... ۳۶
شکل ۱ – ۲۳ ..... ۳۶
شکل ۱ – ۲۴ ..... ۳۷
شکل ۱ – ۲۵ ..... ۴۰
شکل ۱ – ۲۶ ..... ۴۵
شکل ۱ – ۲۷ ..... ۴۶
شکل ۱ – ۲۸ ..... ۴۷
شکل ۱ – ۲۹ ..... ۴۸
شکل ۱ – ۳۰ ..... ۴۹
شکل ۱ – ۳۱ ..... ۵۰
شکل ۱ – ۳۲ ..... ۵۱
شکل ۱ – ۳۳ ..... ۵۲
شکل ۱ – ۳۴ ..... ۵۳
شکل ۱ – ۳۵ ..... ۵۴
شکل ۱ – ۳۶ ..... ۵۸
شکل ۲ – ۱ ..... ۶۳
شکل ۲ – ۲ ..... ۶۱
شکل ۲ – ۳ ..... ۶۲
شکل ۲ – ۴ ..... ۶۳
شکل ۲ – ۵ ..... ۶۴
شکل ۲ – ۶ ..... ۶۶
شکل ۲ – ۷ ..... ۶۶
شکل ۲ – ۸ ..... ۶۷
شکل ۲ – ۹ ..... ۶۸

شکل ۲ – ۱۰ ..... ۶۹
شکل ۲ – ۱۱ ..... ۷۰
شکل ۲ – ۱۲ ..... ۷۱
شکل ۲ – ۱۳ ..... ۷۲
شکل ۲ – ۱۴ ..... ۷۶
شکل ۲ – ۱۵ ..... ۷۹
شکل ۲ – ۱۶ ..... ۸۱
شکل ۲ – ۱۷ ..... ۸۲
شکل ۲ – ۱۸ ..... ۸۴
شکل ۲ – ۱۹ ..... ۸۴
شکل ۲ – ۲۰ ..... ۸۵
شکل ۲ – ۲۱ ..... ۸۶
شکل ۳ – ۱ ..... ۹۳
شکل ۳ – ۲ ..... ۹۴
شکل ۳ – ۳ ..... ۹۷
شکل ۳ – ۴ ..... ۱۰۴
شکل ۳ – ۵ ..... ۱۰۵
شکل ۳ – ۶ ..... ۱۰۹
شکل ۴ – ۱ ..... ۱۱۷
شکل ۴ – ۲ ..... ۱۱۸
شکل ۴ – ۳ ..... ۱۱۹
شکل ۴ – ۴ ..... ۱۲۲
شکل ۴ – ۵ ..... ۱۲۳
شکل ۴ – ۶ ..... ۱۲۶

شکل ۴ – ۷ ..... ۱۲۷
شکل ۴ – ۸ ..... ۱۳۰
شکل ۴ – ۹ ..... ۱۳۱
شکل ۴ – ۱۰ ..... ۱۳۱
شکل ۴ – ۱۱ ..... ۱۳۲
شکل ۴ – ۱۲ ..... ۱۳۴
شکل ۵ – ۱ ..... ۱۴۲
شکل ۵ – ۲ ..... ۱۴۴
شکل ۵ – ۳ ..... ۱۴۶
شکل ۵ – ۴ ..... ۱۴۶
شکل ۵ – ۵ ..... ۱۴۷
شکل ۵ – ۶ ..... ۱۴۷
شکل ۵ – ۷ ..... ۱۴۹
شکل ۵ – ۸ ..... ۱۴۹
شکل ۵ – ۹ ..... ۱۵۳
شکل ۵ – ۱۰ ..... ۱۵۴
شکل ۵ – ۱۱ ..... ۱۵۴
شکل ۵ – ۱۲ ..... ۱۵۵
شکل ۵ – ۱۳ ..... ۱۵۵
شکل ۵ – ۱۴ ..... ۱۵۶
شکل ۵ – ۱۵ ..... ۱۵۷
شکل ۵ – ۱۶ ..... ۱۵۸
شکل ۵ – ۱۷ ..... ۱۶۰
شکل ۵ – ۱۸ ..... ۱۶۲