دانشکده مهندسی مکانیک

شبیه سازی و بررسی پارامترهای مؤثر در فرآیند آیرونینگ تولید کپسول CNG نوع I

نگارش

مهدی رفیعی

اساتید راهنما : دکتر علی پورکمالی انارکی

دکتر نصراله بنی مصطفی عرب

استاد مشاور: مهندس محمد شهابی زاده

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک (طراحی کاربردی)

بهمن ماه ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحیم

باسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب **مهدی رفیعی** متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن ها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارایه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو

امضاء

مهدی رفیعی

تقدیم به:

پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم.

تقدیم به:

مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودش برایم همه محبت است.

و تقدیم به:

همسرم، اسطوره زندگیم، پناه خستگیم، امید بودنم، اسوه صبر و تحمل که سایه مهربانیش سایه سار زندگیم می باشد.

قدردانی و تشکر

از استادان با کمالات و شایسته؛ دکتر پورکمالی انارکی و دکتر عرب که در کمال سعه صدر و با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند؛

از استاد فرزانه و دلسوز، جناب آقای مهندس شهابی زاده که زحمت مشاوره این پایان نامه را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید،

و از اساتید محترم، جناب آقای دکتر تاجداری و دکتر آشنای قاسمی که زحمت داوری این پایان نامه را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

چکیده

در این تحقیق، فرآیند آیرونینگ تولید کپسول CNG نوع I از کاپ استوانه ای کشش عمیق شده فولاد پر استحکام AISI4140 با استفاده از نرم افزار المان محدود ABAQUS شبیه سازی شده است. شبیه سازی عددی فرآیند آیرونینگ جهت بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی و کار تجربی صورت گرفته در صنعت در حالت متقارن محوری انجام گرفته است. در آنالیز المان محدود، پس از مدلسازی این فولاد، فرآیند آیرونینگ در سه مرحله با درنظر گرفتن عملیات فسفاته و صابون کاری پس از هر مرحله در سه قالب مرحله ای انجام شد. در نهایت کپسول CNG در مرحله قبل از عملیات شکل دهی سر گنبدی شکل مخزن تولید شد. انتخاب سه مرحله از فرآیند برای رسیدن به محصول نهایی با فرض نسبت کاهش ضخامت اولیه ۱۸ درصد صورت گرفته است. در انتهای شبیه سازی، مقدار نیروی آیرونینگ در محدوده ۹۰۰ تن، توسط نرم افزار محاسبه شده است. سپس با تغییر شعاع لبه قالب موجود در شبیه سازی؛ پروفیل ضخامت، کرنش ضخامتی و نیروی سنبه بدست آمده است. همچنین اثر سه نوع ضریب اصطکاک مختلف بین قالب و کاپ آیرونینگ شده، بر نیروی سنبه و کرنش ضخامتی و اثر سه نوع اندازه منطقه اصلی تغییر شکل قالب بر پروفیل ضخامت کاپ آیرونینگ شده و نیروی سنبه بررسی گردیده و سپس استراتژیی جهت انتخاب نسبت کاهش ضخامت مطرح شده است. در نهایت نتایج نیروی حاصل از شبیه سازی و روش های تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته و آنگاه نتایج شبیه سازی با نیرو و مشخصات ابعادی کاپ آیرونینگ شده با کار تجربی مقایسه شده است. پس از سه مرحله فرآیند آیرونینگ کاهش ضخامتی معادل ۵۳ درصد و افزایش طول دیواره کاپ حدود ۵۰ درصد توسط پرسی با ظرفیت ۹۰۰ تن می تواند صورت پذیرد.

واژه های کلیدی: *آیرونینگ – شبیه سازی- المان محدود – کپسول CNG - نرم افزار ABAQUS*

فهرست مطالب

فصل اول : پیشگفتار **۳-۱**

۱-۱ مقدمه ۲

فصل دوم : فرآیند آیرونینگ، مخازن CNG و پیشینه تحقیق **٤-۲۵**

۲-۱ مقدمه ۵

۲-۲ فرآیند آیرونینگ ۵

۲-۳ کاربرد فرآیند آیرونینگ در ساخت مخازن گاز طبیعی فشرده (CNG) ۶

۲-۳-۱ تاریخچه مخازن گاز طبیعی فشرده ۷

۲-۳-۲ انواع مخازن گاز طبیعی فشرده ۸

۲-۳-۳ انواع روش های ساخت مخازن گاز طبیعی فشرده ۱۱

۲-۳-۴ مشخصات فنی مخازن CNG نوع I ۱۳

۲-۳-۵ طراحی مخازن CNG نوع I ۱۵

۲-۴ پیشینه تحقیق ۱۷

فصل سوم : تحلیل نیرو، آزمایش تجربی و شبیه سازی فرآیند آیرونینگ کاپ کشش عمیق شده **۲٦-۵۹**

۳-۱ مقدمه ۲۷

۳-۲ تحلیل تئوری فرآیند آیرونینگ ۲۷

۳-۲-۱ تحلیل تئوری فرآیند آیرونینگ با استفاده از معیارهای تسلیم ۲۷

۳-۲-۲ محاسبه نیروی آیرونینگ کل با استفاده از معیار حداکثر تنش برشی ترسکا ۳۱

فهرست مطالب

۳-۲-۳ محاسبه نیروی آیرونینگ با استفاده از روش مهندسی ۳۲

۳-۲-۴ تحلیل آیرونینگ با استفاده از روش کران بالا و روش اسلب ۳۴

۳-۳ چگونگی و ساختار فرآیند آیرونینگ جهت انجام آزمایش تجربی ۳۹

۳-۳-۱ قالب های آیرونینگ ۳۹

۳-۳-۲ میزان دقت در آزمایش تجربی ۴۲

۳-۳-۳ پرس های مورد استفاده در آیرونینگ ۴۲

۳-۳-۴ ساختار رینگ آیرونینگ جهت انجام آزمایش تجربی ۴۴

۳-۳-۵ روانکاری قطعه در آزمایش تجربی ۴۵

۳-۳-۶ انجام آزمایش تجربی ۴۵

۳-۴ شبیه سازی فرآیند آیرونینگ توسط نرم افزار المان محدود ABAQUS ۴۸

۳-۴-۱ مدول Part:مشخصات هندسی پیش فرم، قالب(رینگ آیرونینگ) و سنبه ۴۹

۳-۴-۲ مدول Property:جنس پیش فرم، قالب و سنبه ۵۲

۳-۴-۳ مدول Assembly: مونتاژ کاپ، قالب و سنبه ۵۴

۳-۴-۴ مدول Step : مراحل حل ۵۵

۳-۴-۵ مدول Interaction: تعریف تماس بین سطوح ۵۵

۳-۴-۶ مدول Load: اعمال شرایط مرزی و بارگذاری ۵۶

۳-۴-۷ مدول Mesh: مش بندی ۵۸

۳-۴-۸ مدول Job: اجرای مساله ۵۹

فهرست مطالب

۳-۴-۹ مدول Visualization: مشاهده نتایج ۵۹

فصل چهار : بحث و نتایج ۶۰-۸۶

۴-۱ مقدمه ۶۱

۴-۲ بررسی صحت و سقم شبیه سازی انجام شده ۶۱

۴-۲-۱ روش Mass Scale ۶۱

۴-۲-۲ مقایسه نیروی آیرونینگ با استفاده از نتایج شبیه سازی و روش های تحلیلی ۶۴

۴-۲-۳ مقایسه نیروی آیرونینگ با استفاده از نتایج شبیه سازی و کار تجربی ۶۵

۴-۲-۴ مقایسه ضخامت و ابعاد کاپ آیرونینگ شده برگرفته از نتایج شبیه سازی و کار تجربی ۶۶

۴-۳ بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی ۶۷

۴-۳-۱ بررسی نیروی آیرونینگ ۶۷

۴-۳-۲ استراتژی انتخاب نسبت کاهش ضخامت ۶۸

۴-۳-۳ بررسی رفتار ابعاد داخلی و خارجی کاپ آیرونینگ شده ۷۲

۴-۳-۴ بررسی ضخامت و ارتفاع کاپ آیرونینگ شده ۷۴

۴-۳-۵ اثر طراحی سه نوع شعاع لبه قالب بر پروفیل ضخامت و کرنش ضخامتی ۷۷

۴-۳-۶ بررسی تاثیر شعاع لبه قالب بر نیروی سنبه ۸۰

۴-۳-۷ بررسی تاثیر ضریب اصطکاک بین قالب و کاپ بر نیروی سنبه و کرنش ضخامتی ۸۱

۴-۳-۸ بررسی تاثیر منطقه اصلی تغییر شکل قالب برضخامت و نیروی سنبه با استفاده از شبیه سازی و روش اسلب ۸۴

فصل پنج : نتیجه گیری و پیشنهادها ۸۸-۹۰

فهرست مطالب

۵-۱ مقدمه ۸۹

۵-۲ نتیجه گیری ۸۹

۵-۳ پیشنهادها ۹۰

منابع و مراجع ۹۱-۹۳

فهرست جداول

جدول ۲-۱ مشخصات فنی مخازن CNG نوع اول طبق استاندارد ISO 11439\ECE R110 [۳۰] ۱۴

جدول ۲-۲ ابعاد قالب[۱۷] ۲۳

جدول ۲-۳ ضخامت جداره پس از دومین مرحله آیرونینگ[۱۷] ۲۳

جدول ۳-۱ تشریح روش فیلم صابون کاری[۹] ۴۵

جدول ۳-۲ ترکیبات شیمیایی فولاد پر استحکام AISI 4140 [۴۳] ۵۳

جدول ۳-۳ خواص مکانیکی فولاد پر استحکام AISI 4140 [۴۳] ۵۳

جدول ۴-۱ ارتفاع کاپ حاصل از کار تجربی و شبیه سازی ۶۷

جدول ۴-۲ تغییرات ضخامت و ارتفاع کاپ پس از سه مرحله فرآیند آیرونینگ ۶۸

جدول ۴-۳ تغییرات ضخامت و ارتفاع کاپ پس از سه مرحله فرآیند آیرونینگ ۷۵

فهرست شکل ها

شکل ۲-۱ مخزن CNG نوع اول(مخازن فولادی)[۲۷] ۸

شکل ۲-۲ مخزن CNG نوع دوم(مخازن فولادی پیچش محیطی)[۲۷] ۹

شکل ۲-۳ مخزن CNG نوع سوم(مخازن فولادی تمام پیچیده)[۲۷] ۱۰

شکل ۲-۴ مخزن CNG نوع چهارم(مخازن تمام کامپوزیت)[۲۷] ۱۱

شکل ۲-۵ شماتیکی از مراحل ساخت مخزن توسط لوله[۲۹] ۱۲

شکل ۲-۶ شماتیکی از مراحل ساخت مخزن توسط ورق[۲۹] ۱۲

شکل ۲-۷ شماتیکی از مراحل ساخت مخزن توسط شمش[۲۹] ۱۳

شکل ۲-۸ شماتیکی از فرآیند آیرونینگ[۸] ۱۹

شکل ۲-۹ نگاره ای از فرآیند آیرونینگ[۹] ۲۰

شکل ۲-۱۰ عملیات کشش عمیق و آیرونینگ بصورت منفصل ازهم[۱۱] ۲۱

شکل ۲-۱۱ بالانس نیرو بر روی سنبه و کاپ[۱۱] ۲۲

شکل ۲-۱۲ نیروی آیرونینگ نسبت به زمان در هرمرحله از فرآیند آیرونینگ[۱۷] ۲۳

شکل ۲-۱۳ شماتیکی از آیرونینگ یک مرحله ای و چند مرحله ای[۱۸] ۲۴

شکل ۲-۱۴ نیروی سنبه و نیروی پایینی با توجه به نیم زاویه عملکرد قالب[۱۸] ۲۵

شکل ۲-۱۵ پیش فرم و شکل نهایی قطعه کار[۱۸] ۲۵

شکل ۳-۱ (الف) منطقه تغییر شکل در فرآیند آیرونینگ[۸] ۲۸

شکل ۳-۱ (ب) حالت تنش در فرآیند آیرونینگ[۸] ۲۸

شکل ۳-۲ حالت تنش المان جداره کاپ[۱۷] ۳۳

فهرست شکل ها

شکل ۳-۳ منطقه تغییر شکل که به m المان تقسیم شده است[۱۷] ۳۳

شکل ۳-۴ مخروط همگرایی میدان سرعت در کشش سیم (برگرفته از[۱۲]) و به کارگیری از آن در کاپ آیرونینگ[۱۱] ۳۵

شکل ۳-۵ بالانس نیرو بر روی سنبه و کاپ[۱۱] ۳۹

شکل ۳-۶ قالب آیرونینگ یک مرحله ای[۴۰] ۴۰

شکل۳-۷ قالب آیرونینگ چند مرحله ای[۴۰] ۴۲

شکل ۳-۸ توالی حرکت پرس میل لنگی همراه با کوبه کمکی برای فرآیند آیرونینگ[۱۸] ۴۳

شکل ۳-۹ نمای برش خورده و اندازه های مشخص شده رینگ آیرونینگ در[۹] ۴۴

شکل۳-۱۰ مشخصات پیش فرم آیرونینگ پس از سه مرحله کشش عمیق در کار تجربی ۴۶

شکل ۳-۱۱ مشخصات ابعادی سنبه ساخته شده جهت انجام سه مرحله فرآیند آیرونینگ در کار تجربی ۴۷

شکل ۳-۱۲ مشخصات ابعادی رینگ های آیرونینگ ساخته شده در کار تجربی ۴۷

شکل ۳-۱۳ کاپ حاصل از عملیات شکل دهی پس از سه مرحله فرآیند آیرونینگ به طور تجربی ۴۸

شکل ۳-۱۴ مشخصات پیش فرم اولین مرحله آیرونینگ ۴۹

شکل ۳-۱۵ مشخصات قالب اولین مرحله آیرونینگ ۵۰

شکل ۳-۱۶ مشخصات قالب دومین مرحله آیرونینگ ۵۰

شکل ۳-۱۷ مشخصات قالب سومین مرحله آیرونینگ ۵۰

شکل ۳-۱۸ مشخصات سنبه آیرونینگ ۵۲

شکل ۳-۱۹ نمودار تنش-کرنش حقیقی برای فولاد آلیاژیAISI 4140[۴۴] ۵۴

شکل ۳-۲۰ اعمال شرایط مرزی بر روی کاپ(پیش فرم) ۵۶

فهرست شکل ها

شکل ۳-۲۱ اعمال شرایط مرزی بر روی رینگ آیرونینگ ۵۷

شکل ۳-۲۲ اعمال شرایط مرزی بر روی سنبه ۵۷

شکل ۳-۲۳ اعمال شرایط جابجایی سنبه ۵۷

شکل ۳-۲۴ مش بندی اولیه کاپ توسط نرم افزار المان محدود ۵۸

شکل ۳-۲۵ (الف) اولین مرحله آیرونینگ ۵۹

شکل ۳-۲۵ (ب) دومین مرحله آیرونینگ ۵۹

شکل ۳-۲۵ (ج) سومین مرحله آیرونینگ ۵۹

شکل۴-۱ تاریخچه انرژی جنبشی بر حسب زمان ۶۲

شکل ۴-۲ تاریخچه انرژی داخلی بر حسب زمان ۶۳

شکل ۴-۳ مقایسه بین تاریخچه انرژی داخلی و تاریخچه انرژی جنبشی بر حسب زمان ۶۳

شکل ۴-۴ دیاگرام نیروی آیرونینگ نسبت به مراحل انجام فرآیند آیرونینگ ۶۴

شکل ۴-۵ نمودار حداکثر نیروی حاصل از تجربه و شبیه سازی هر مرحله از فرآیند آیرونینگ ۶۵

شکل ۴-۶ منحنی رفتار ضخامت کاپ آیرونینگ شده حاصل از نتایج تجربی و شبیه سازی ۶۶

شکل ۴-۷ دیاگرام نیروی آیرونینگ نسبت به جابجایی سنبه ۶۸

شکل ۴-۸ ورود کاپ به قالب در سومین مرحله از فرآیند آیرونینگ در اولین شبیه سازی (I) ۷۰

شکل ۴-۹ ورود کاپ به قالب در سومین مرحله از فرآیند آیرونینگ در دومین شبیه سازی (II) ۷۱

شکل ۴-۱۰ ورود کاپ به قالب در سومین مرحله از فرآیند آیرونینگ درسومین شبیه سازی (III) ۷۱

شکل ۴-۱۱ رفتار ابعادی قسمت داخلی و قسمت خارجی کاپ آیرونینگ شده ۷۲

فهرست شکل ها

شکل۴-۱۲ منحنی رفتار ابعادی قسمت داخلی دیواره کاپ آیرونینگ شده ۷۳

شکل ۴-۱۳ منحنی رفتار ابعادی قسمت خارجی دیواره کاپ آیرونینگ شده ۷۳

شکل ۴-۱۴ منحنی رفتارضخامت دیواره کاپ آیرونینگ شده ۷۴

شکل ۴-۱۵ لحظه ورود کاپ به اولین قالب آیرونینگ ۷۵

شکل ۴-۱۶ لحظه ورود کاپ به دومین قالب آیرونینگ ۷۶

شکل ۴-۱۷ لحظه ورود کاپ به سومین قالب آیرونینگ ۷۶

شکل ۴-۱۸ مسیر گره بندی شده بر روی دیواره بیرونی کاپ ۷۷

شکل ۴-۱۹ منحنی رفتارضخامت دیواره کاپ آیرونینگ شده با دو نوع المان ریز و درشت ۷۸

شکل ۴-۲۰ دیاگرام نیروی آیرونینگ نسبت به جابجایی سنبه با دو نوع المان ریز و درشت ۷۸

شکل ۴-۲۱ اثر تغییر شعاع لبه قالب بر کرنش ضخامتی ۷۹

شکل ۴-۲۲ اثر تغییر شعاع لبه قالب بر ضخامت دیواره کاپ ۸۰

شکل ۴-۲۳ اثر تغییر شعاع لبه قالب بر نیروی سنبه ۸۱

شکل ۴-۲۴ اثر تغییر ضریب اصطکاک بین قالب و کاپ بر نیروی سنبه ۸۲

شکل ۴-۲۵ اثر تغییر ضریب اصطکاک بین قالب و کاپ بر کرنش ضخامتی ۸۳

شکل ۴-۲۶ عدم انجام فرآیند آیرونینگ با ضریب اصطکاک ۰/۹ بین قالب و کاپ ۸۴

شکل ۴-۲۷ اثر تغییر اندازه منطقه اصلی تغییر شکل قالب بر ضخامت دیواره کاپ آیرونینگ شده ۸۵

شکل ۴-۲۸ اثر تغییر اندازه منطقه اصلی تغییر شکل قالب بر نیروی سنبه ۸۶

شکل ۴-۲۹ اثر تغییر اندازه منطقه اصلی تغییر شکل قالب بر نیروی سنبه در شبیه سازی و روش اسلب ۸۷

فهرست علائم

n	ضریب اطمینان	S_y	استحکام تسلیم
σ_e	تنش فون مایزز	σ_θ	تنش محیطی
σ_r	تنش شعاعی	σ_z	تنش طولی
p	فشار کاری مخزن	r	شعاع خارجی مخزن
T_p	تنش اصطکاکی بین سنبه و کاپ	α	نیم زاویه ورودی قالب
t	ضخامت جداره مخزن	T_d	تنش اصطکاکی بین رینگ آیرونینگ و کاپ
t_f	ضخامت نهایی جداره مخزن	t_i	ضخامت اولیه جداره مخزن
μ_P	ضریب اصطکاک بین سنبه و کاپ	σ_1	تنش تسلیم کششی
σ_Y	استحکام تسلیم	a	شعاع داخلی مخزن
τ_{max}	حداکثر تنش برشی ترسکا	p	فشار داخلی مخزن
σ_θ	تنش محیطی	P_T	نیروی آیرونینگ کل
σ	کشش دیواره المان	P	فشار دیواره المان
μ_1	ضریب اصطکاک بین قالب و کاپ	μ_2	ضریب اصطکاک بین سنبه و کاپ
α	نیم زاویه ورودی قالب	σ_{sj}	تنش جریان
r	شعاع سنبه	t_m	ضخامت جداره پس از آیرونینگ
σ_{x1}	کشش جداره در موقعیت x_1	σ_{x2}	کشش جداره در موقعیت x_2
L_W	طول منطقه تغییر شکل قالب	$\bar{e}$	میانگین ضخامت
z	راستای انجام فرآیند	σ_{zz}	تنش های طولی دیواره
R	شعاع سنبه	$e(z)$	ضخامت دیواره

فهرست علائم

σ_0	تنش جریان موضعی	P_0	تنش نرمال بر روی سطح کاپ و قالب
τ_i	تنش اصطکاکی بین سنبه و کاپ	τ_o	تنش اصطکاکی بین قالب و کاپ
$\bar{m}_i$	ضریب اصطکاک بین سنبه و کاپ	$\bar{m}_o$	ضریب اصطکاک بین قالب و کاپ
σ_{rr}	تنش شعاعی	σ_{zz}	تنش طولی
$\sigma_{\theta\theta}$	تنش محیطی	σ_{0a}	میانگین تنش تسلیم
$\sigma_{zz,2}$	تنش کششی در دیواره	L	طول تماس قالب
F_{punch}	نیروی سنبه	e_1	ضخامت جداره قبل از آیرونینگ
e_2	ضخامت جداره پس از آیرونینگ	Rd	شعاع لبه قالب
Bd	منطقه اصلی تغییر شکل قالب	CFd	تغییر ضریب اصطکاک بین قالب و کاپ

فصل اول

پیشگفتار

۱-۱- مقدمه

"آیرونینگ[1]" در لغت به معنای "اتوکاری" می باشد و درعلم شکل دهی مواد در شاخه مهندسی مکانیک، فرآیندی پیچیده جهت تولید محصولات مختلف و دارای پارامترها و خصوصیات گوناگون و زیادی می باشد که توسط محققان برجسته ای تا کنون مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعات با تحلیل فرآیند آیرونینگ و مقایسه آن ها با نتایج بدست آمده توسط کارهای تجربی جهت تولیدات صنعتی مختلف و پرکاربرد به منظور تحلیل دقیق فرآیند و کاهش هزینه های تولید؛ تا کنون ادامه داشته است. در این پایان نامه شبیه سازی فرآیند آیرونینگ بر روی کاپ استوانه ای انجام شده است. کاپ استوانه ای بعنوان پیش فرم[2] این فرآیند بوده و از سه مرحله کشش عمیق[3] صورت گرفته بر روی بلانک[4] اولیه از جنس فولاد پر استحکام AISI4140 بدست آمده است. هدف از این پایان نامه شبیه سازی فرآیند آیرونینگ تولید کپسول CNG نوع I می باشد، تا بتوان تاثیر پارامترهای مؤثر و مختلف آیرونینگ بر روی پیش فرم، استراتژی انتخاب کاهش ضخامت در هر مرحله، محاسبه نیروی لازم جهت انجام فرآیندو... را در شبیه سازی مشاهده نمود. از آنجائیکه فرآیند آیرونینگ در تولید مخازن گاز طبیعی فشرده[5](CNG) نقش کلیدی ایفا می کند، با استفاده از نتایج این کار می توان هزینه های تولید را با در نظر گرفتن کاهش روش های آزمون و خطا و تنظیمات مناسب شرایط کار بر گرفته از نتایج بدست آمده، کاهش داده و کیفیت محصول نهایی را افزایش داد.

در کار حاضر در فصل اول مقدمه ای بر کار صورت گرفته ارائه شده است.

در فصل دوم تعریفی از فرآیند آیرونینگ و کاربردهای آن را بیان می کند و با توجه به کاربرد آیرونینگ بعنوان یکی از مراحل شکل دهی مخازن گاز طبیعی فشرده و اهمیت تولید آن در صنعت امروزی سعی شده است به طور مختصر تعریفی از تاریخچه تا فرآیند ساخت آن به همراه معرفی انواع مخازن CNG و انواع روش

1 - Ironing
2 - Preform
3 - Deep Drawing
4 - Blank
5 - Compressed Natural Gas (CNG)

های ساخت مخزن بیان گردد. مشخصات فنی مخزن CNG نوع اول و ضریب اطمینان با استفاده از معیار فون مایزز با توجه به استاندارد ISO 11439\ECE R110 برای کار حاضر نیز ارائه شده است. در ادامه تاریخچه ای از مطالعات صورت گرفته در مورد فرآیند آیرونینگ به همراه تعاریف ارائه شده برای این فرآیند توسط محققان قبلی تا امروز و همچنین برخی پارامترهای موثر بر فرآیند با توجه به تحلیل و کارهای تجربی انجام گرفته بیان شده است.

در فصل سوم نیروی آیرونینگ با استفاده از روش های تحلیلی معیار تسلیم حداکثر تنش برشی ترسکا و روش کران بالا[1] و روش اسلب[2] و نوعی روش مهندسی ارائه شده در مقالات معتبر علمی فرمولبندی شده است. سپس چگونگی ساختار فرآیند آیرونینگ جهت انجام آزمایش های تجربی به همراه معرفی انواع قالب های آیرونینگ مورد استفاده شرح داده شده است. در ادامه فصل مراحل شبیه سازی کار حاضر در نرم افزار شبیه سازی Abaqus 6-10-1 به تفصیل بیان گردیده است.

در فصل چهار صحت و سقم شبیه سازی انجام شده با استفاده از نتایج بدست آمده از کار تجربی مربوطه و همچنین نتایج بدست آمده از روش های تحلیل ارائه شده، مورد بررسی قرار گرفته است. سپس پارامترهای موثر بر فرآیند آیرونینگ در شبیه سازی، همچون: نیروی فرآیند، هندسه قالب، نسبت کاهش ضخامت، ضخامت و ارتفاع کاپ آیرونینگ شده، ضریب اصطکاک و روانکار و تاثیر آنها بر نیروی آیرونینگ و کرنش ضخامتی مورد بررسی قرار گرفته و استراتژیی جهت انتخاب نسبت کاهش ضخامت ارائه شده است.

در فصل پنج جمع بندی کار حاضر صورت گرفته و نتایج و پیشنهادهای لازم جهت انجام فرآیند به صورت کاربردی با توجه به کم کردن هزینه های تولید ارائه شده است.

1 - Upper Bound Method (UBM)
2 - Slab Method (SM)