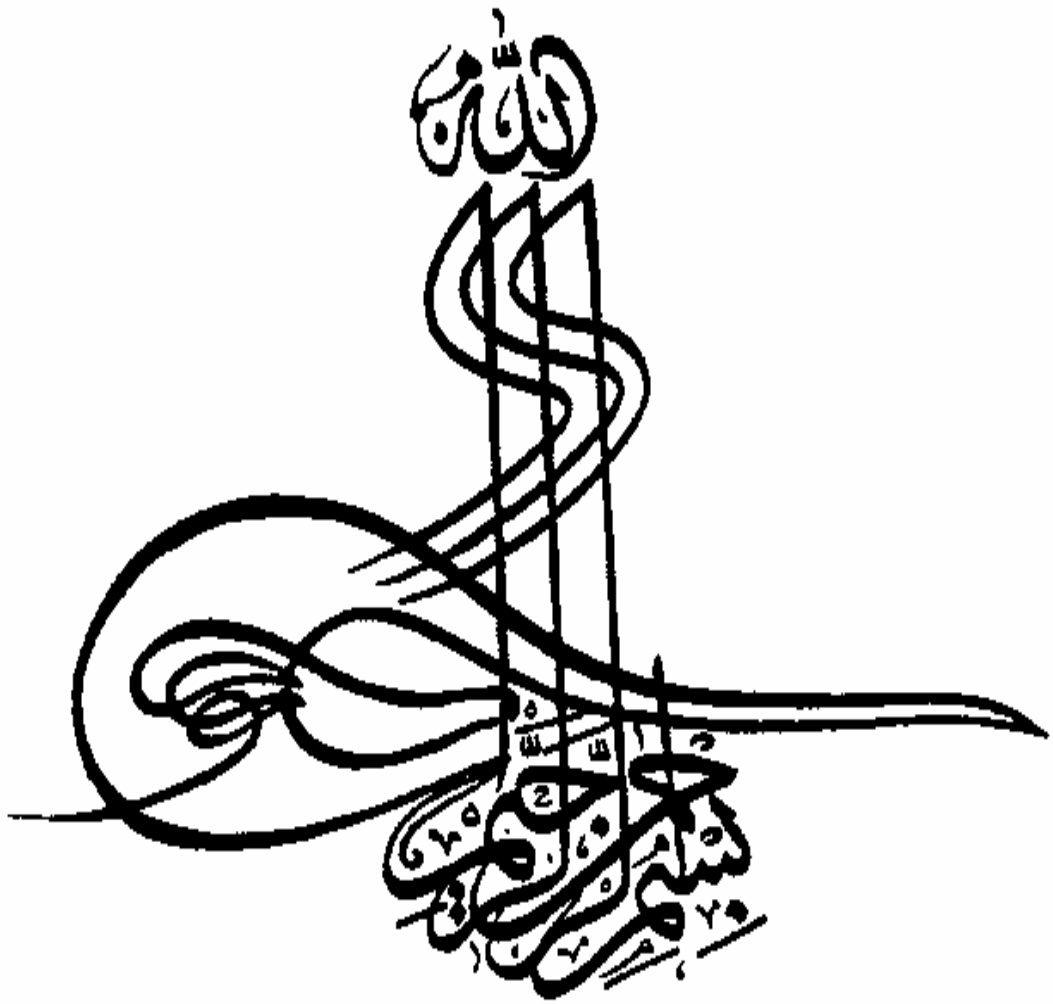

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک ، ساخت و تولید

شبیه سازی نورد سرد پره های کمپرسور

استاد راهنما:

دکتر محمد صدیقی

نگارش :

مسعود محمودی

زمستان ۱۳۸۶

چکیده

فرآیند نورد سرد پره های کمپرسور عموماً به صورت تجربی در صنعت هوایی انجام می گیرد. در این پایان نامه به منظور مطالعه و بهسازی این فرآیند از شبیه سازی و انجام آزمایشات تجربی کمک گرفته شده است. ابتدا برای بررسی صحت فرآیند شبیه سازی ، از مقایسه نتایج شبیه سازی و نتایج تجربی استفاده شده است. در مرحله اول، پیش فرم مربوط به تولید پره با مقاطع مستطیلی در ضخامتهای گوناگون ، توسط وایرکات از آلیاژ ۷۱۸ تهیه شده و توسط دستگاه نورد سرد پره های کمپرسور ، شکل دهی و نورد می شوند . مقاطع مد نظر پره نورد شده ، توسط CMM اندازه گیری شده و از آن در شبیه سازی استفاده شده است. رفتار الاستیک سازه دستگاه از عوامل مهم در نورد پره ها بوده و در این پروژه مورد بررسی قرار گرفته است، لذا برای شبیه سازی از رویکردی جدید استفاده شده که شامل استفاده از غلتکهای مجازی انعطاف پذیر می باشد . بدین ترتیب می توان از میزان تاثیر رفتار الاستیک یا فنری غلتکها و دیگر اجزای سازه دستگاه تحت نیرو کمک گرفت. جهت بررسی تاثیر پارامتر ضخامت پیش فرم، ۵ پیش فرم با ضخامتهای متفاوت تهیه شده و نورد شده اند . سپس شبیه سازی فرآیندها انجام شده و نتایج با هم مقایسه شده اند . درنهایت یک ضخامت بهینه برای نورد ارائه شده است. همچنین در بررسی انحراف قطعه ضمن نورد ، ابتدا به کمک شبیه سازی و روابط ، پیش فرم انحنا داری طراحی شده و سپس توسط دستگاه نورد شده است. که نتایج بیانگر صحت استفاده از شبیه سازی به منظور طراحی های آتی و پیش بینی نحوه سیلان ماده می باشد. با توجه به فرآیند چند مرحله ای نورد ، شبیه سازی نورد سه مرحله ای توسط سه جفت غلتک به صورت سه ایستگاه کاری انجام شده که قطعه به ترتیب سه بار نورد می شود. همچنین توزیع فشار در طول ناحیه تماس قالبها و قطعه توسط نتایج شبیه سازی بررسی شده است.

تقدیم به :

پدر و مادرم

تشکر و قدردانی

این پروژه در صنایع هواپیمایی ایران ، صنعت ساخت موتورهای توربینی و در ارتباط نزدیک با دانشکده مکانیک دانشگاه علم و صنعت ایران انجام شده است.

وظیفه خود می دانم قبل از هر چیز از استاد گرانمایه ، جناب آقای دکتر صدیقی که با رهنمود های خویش ، اینجانب را در انجام این پروژه یاری نمودند قدردانی و تشکر نمایم.

سپاس و قدردانی از جناب آقای مهندس محمد جلیلیان ، مدیریت محترم بخش تدوین و تکنولوژی صنعت سمت که در انجام این پروژه کمک شایانی نمودند. همچنین ازآقای مهندس فرشاد زمانی که اینجانب را در انجام تستهای مربوطه یاری کردند و آقای مهندس ایرج طاهر خانی و دیگر عزیزان بخش تدوین تکنولوژی ، آقای مهندس نصیر و آقای ضیابخش ، صمیمانه تشکر می نمایم.

تشکر و سپاس از تمام عزیزانی که مرا در انجام این پروژه یاری رساندند . خصوصا خانواده و پدر و مادرم که همیشه بهترین مشوق من بوده اند.

مسعود محمودی - اسفند ۸۶

دانشکده مکانیک – دانشگاه علم و صنعت ایران

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

۱- مقدمه ۱
۱-۱- هدف از تحقیق ۱
۱-۲- پیشینه پژوهش ۲
۱-۳- ساختار پایان نامه ۴
۲- بررسی فرآیند نورد ۷
۲-۱- مقدمه ۷
۲-۲- پروسه نورد ۸
۲-۲-۱- نورد سرد ۹
۲-۲-۱-۱- مزایای نورد سرد ۱۰
۲-۲-۱-۲- مشکلات و عیوب پروسه نورد ۱۱
۲-۳- تئوری و آنالیز نورد ۱۱
۲-۳-۱- تخمین نیروی جدا کننده غلتکها ۱۳
۲-۳-۲- توزیع تنش (فشار غلتک) در نورد تسمه ۱۴
۲-۳-۳- گشتاور نورد ۱۵
۲-۳-۴- انحنای الاستیک غلتکها ۱۶
۲-۳-۵- مکانیک نورد plate و تخمین پارامترها ۱۷
۲-۳-۵-۱- پیش بینی تنشها و نیروی جدا کننده غلتک ۱۸
۲-۴- مدل اصطکاکی برای فرآیند اصطکاک ۲۰
۲-۵- روانکاری در عملیات نورد ۲۰
۲-۶- نقش صافی سطح روی پارامترهای نورد ۲۱
۲-۷- نورد مقاطع ۲۲
۲-۷-۱- طراحی کالیبر نورد ۲۲
۲-۷-۲- سیلان مواد ۲۳
۲-۷-۳- دقت مدلهای پروسه ۲۳
۲-۸- طراحی نورد- فورج سرد پره کمپرسور بر پایه آنالیز کارپذیری ۲۴
۲-۹- بررسی پروسه نورد مقاطع توسط آلتان ۲۶
۲-۹-۱- برنامه کامپیوتری SHPROL و ROLPAS ۲۷
۲-۱۰- بررسی انحراف در نورد طولی نوارها ۲۸

۲-۱۱- بررسی قالبهای بکارگرفته شده در نورد سرد پره کمپرسور ۳۰
۲-۱۲- جمع بندی ۳۲
۳- آزمایشهای تجربی نورد پره کمپرسور ۳۳
۳-۱- مقدمه ۳۳
۳-۲- ماده مورد استفاده برای نورد سرد پره ها ۳۳
۳-۲-۱- آلیاژ نیکل کرومی ۷۱۸ ..... ۳۳
۳-۲-۱-۱- عملیات حرارتی و ویژگیهای مکانیکی ۳۵
۳-۲-۱-۲- ویژگی های محصولات سرد کاری شده نهایی ۳۵
۳-۲-۱-۳- استحکام خستگی ۳۷
۳-۲-۱-۴- ویژگی های فنری ۳۷
۳-۲-۱-۵- شکل دهی سرد ۳۷
۳-۲-۱-۶- رفتار تبلور مجدد آلیاژ ۷۱۸ نورد سرد شده ۳۸
۳-۳- تعیین ویژگیهای فیزیکی مواد توسط تست تجربی ۳۹
۳-۴- جنس قالب ۴۱
۳-۵- ساخت پره توسط پروسه نورد سرد در صنایع هواپیمایی ایران(صها) ۴۱
۳-۵-۱- شرح دستگاه ۴۱
۳-۵-۲- نورد پره کمپرسور طبق روشهای اولیه متداول در صنعت صها ۴۳
۳-۵-۳- دو طریقه ایجاد پیش فرم ها ۴۴
۳-۵-۴- مراحل انجام تست تجربی ۴۵
۳-۶- اندازه گیری تغییر طول در اجزای دستگاه ۴۶
۳-۷- اندازه گیری هندسی قطعه نورد شده ۴۷
۳-۸- بررسی اصطکاک ۵۱
۳-۸-۱- انواع شرایط اصطکاکی ۵۲
۳-۸-۲- اصطکاک در نورد ۵۳
۳-۸-۳- روانکاری مرزی ۵۳
۳-۹- بررسی نیروی نورد و ضریبهای هندسی به کمک نتایج تجربی ۵۵
۳-۹-۱- محاسبه ضریبهای هندسی ، کرنشها و درصد کاهش ۵۵
۳-۹-۲- محاسبه نیرو ۵۹
۳-۹-۲-۱- معیار تسلیم فون میسس ۵۹
۳-۱۰- انحراف پریفرم در ضمن فرآیند نورد ۶۲
۳-۱۱- طراحی پریفرم با نظر به انحراف آن طی فرآیند ۶۳

۳-۱۱-۱- روش طراحی پریفرم ۶۴
۳-۱۱-۲- تست تجربی قطعه انحنا دار ۶۷
۳-۱۲- بررسی ضخامت اولیه پریفرم در نورد سرد پره ها ۶۸
۳-۱۲-۱- نورد پریفرم ها با ضخامت گوناگون به صورت تجربی ۶۸
۳-۱۳- نورد چند مرحله ای پره های کمپرسور ۶۹
۳-۱۳-۱- بررسی فرآیند ۶۹
۳-۱۴- بررسی میزان جابجایی در یکی از بخشهای سازه دستگاه ۷۰
۳-۱۴-۱- محاسبه میزان نیروی وارد بر بخشی از سازه طبق جابجایی اندازه گیری شده ۷۰
۳-۱۴-۱-۱- روش تست ۷۱
۳-۱۵- جمع بندی ۷۳
۴- شبیه سازی فرآیند ۷۴
۴-۱- مقدمه ۷۴
۴-۲- تحقیق در بین نرم افزارهای موجود و انتخاب نرم افزار مناسب ۷۴
۴-۲-۱- قابلیت های نرم افزار ۷۵
۴-۲-۲- شبیه سازی فرآیند تجربی نورد طولی جهت بررسی صحت نرم افزار ۷۶
۴-۲-۲-۱- مقایسه تجربی وعددی درصدکاهش ضخامت، سرعت و ضریب اصطکاک در نورد سردآلومینیوم ۷۶
۴-۲-۲-۲- شبیه سازی فرآیند نورد نوار آلومینیومی ۷۶
۴-۲-۲-۳- مقایسه نتایج شبیه سازی ونتایج تجربی ۷۷
۴-۳- شبیه سازی فرآیند نورد پره کمپرسور ۷۹
۴-۳-۱- تهیه مدل هندسی قطعه و قالبها و استفاده از آنها در شبیه سازی ۸۰
۴-۳-۱-۱- مدل هندسی قطعات ۸۰
۴-۳-۲- تعریف ویژگیهای فیزیکی ۸۱
۴-۳-۳- مونتاژ کردن مدلها ی هندسی ۸۲
۴-۳-۴- انتخاب روش تحلیل ۸۲
۴-۳-۵- انتخاب المان مناسب ۸۳
۴-۳-۶- تعریف سطوح تماس ۸۶
۴-۴- اصلاح قالب از نظر کاهش زمان آنالیز ۸۶
۴-۵- بررسی رفتار الاستیک سازه و دستگاه به کمک رویکرد استفاده از غلتکهای مجازی ۸۷
۴-۵-۱- نورد مقاطع پیچیده ۸۸
۴-۵-۲- تعیین میزان deflection از طریق نتایج تجربی ۸۹
۴-۵-۳- استفاده از رویکرد جدید در شبیه سازی ۹۰

۴-۵-۳-۱- توضیح رویکرد ۹۱
۴-۵-۳-۲- شبیه سازی ۹۱
۴-۵-۳-۳- محاسبه میزان انحنا (خمش) و رفتار فنری سازه دستگاه ۹۲
۴-۵-۳-۴- طراحی غلتکهای مجازی انعطاف پذیر و تعیین طول غلتکها بر طبق نیرو و مقدار خمش ۹۲
۴-۵-۳-۵- شبیه سازی با طول اولیه ۹۳
۴-۶- پیش بینی انحراف پریفرم به کمک شبیه سازی ۹۶
۴-۶-۱- شبیه سازی فرآیند ۹۶
۴-۷- شبیه سازی قطعه انحنا دار ۹۷
۴-۸- شبیه سازی نورد پریفرم ها با ضخامت گوناگون ۹۸
۴-۹- شبیه سازی نورد چند مرحله ای پره های کمپرسور ۹۸
۴-۱۰- بررسی فشار و توزیع آن در نورد سرد پره ۱۰۰
۴-۱۰-۱- بررسی فشار در فرآیند نورد ۱۰۰
۴-۱۰-۲- تحلیل فشار میانگین به کمک روابط تئوری ۱۰۵
۴-۱۱- جمع بندی ۱۰۵
۵- بررسی و مقایسه نتایج و نتیجه گیری ۱۰۷
۵-۱- مقدمه ۱۰۷
۵-۲- بررسی نتایج ۱۰۷
۵-۲-۱- مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در مرحله اول نورد پره ۱۰۷
۵-۲-۱-۱- نتایج استفاده از غلتکهای مجازی انعطاف پذیر ۱۰۸
۵-۲-۲- بررسی انحراف پریفرم در ضمن نورد به کمک مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی ۱۱۰
۵-۲-۲-۱- مقایسه نتایج در نورد پریفرم انحراف دار ۱۱۲
۵-۲-۳- مقایسه نتایج در نورد پریفرم ها با ضخامت های اولیه متفاوت ۱۱۴
۵-۲-۴- بررسی نتایج در نورد چند مرحله ای پره های کمپرسور ۱۱۸
۵-۳- دستاوردهای تحقیق ۱۲۱
۵-۴- پیشنهادات آتی ۱۲۵
۶- مراجع ۱۲۶

فهرست شکل ها

عنوان **شماره صفحه**

شکل۲-۱-کشیده شدن دانه ها در جهت نورد ۱۰

شکل۲-۲-نمایی از نورد تسمه (عرض نوار در راستای y ثابت است)..... ۱۳

شکل۲-۳- توزیع تنش در نورد (a -بدون تنش کششی در ورودی یا خروجی. b - با تنش کششی در خروجی)..... ۱۴

شکل ۲-۴-محاسبه توزیع تنشها با تقسیم بندی ناحیه تغییر فرم به المانهای مخروطی ۱۵

شکل ۲-۵-سیستم شبکه ای که در آنالیز نورد پلیتهای ضخیم بکار میرود..... ۱۸

شکل ۲-۶- آنالیز تنش در نورد پلیتها(a نمای بالایی پلیت نورد شده .b تنشها در جهت نورد.c تنشها در جهت عرضی)..... ۱۹

شکل ۲-۷-نمای مقطع قالب نورد سرد..... ۳۱

شکل ۲-۸-پره کمپرسور..... ۳۱

شکل ۲-۹- نمای بزرگ شده بخشی از قالب و قطعه پره ۳۱

شکل ۳-۱- تاثیر اندازه دانه بر روی حد تحمل پلیت آنیل و پیر سختی شده مطابق با AMS 5596 ..... ۳۷

شکل۳-۲- تاثیر کار سرد روی سختی..... ۳۸

شکل ۳-۳-نمونه تست کشش از نوع تخت به ضخامت ۱/۷ میلیمتر ۳۹

شکل ۳-۴-دیاگرام تنش کرنش IN718..... ۴۰

شکل ۳-۵-دستگاه نورد سرد مقاطع پیچش دار..... ۴۲

شکل۳-۶-غلتک و قالب بالایی دستگاه..... ۴۲

شکل۳-۷-شکل مقطع پره..... ۴۳

شکل ۳-۸-مقطع قطعه نهایی با ضخامتهای متفاوت مقاطع..... ۴۴

شکل۳-۹--ترسیم فرضی با کمک ضخامتها..... ۴۴

شکل ۳-۱۰- ترسیم فرضی به کمک اضافه مجاز نسبی..... ۴۴

شکل۳-۱۱-خم نمودن و سنگ زنی..... ۴۵

شکل ۳-۱۲-فیکسچر (جهت بستن قطعات)..... ۴۵

شکل ۳-۱۳-مقاطعی که توسط دستگاه اندازه گیری می شوند..... ۴۷
شکل ۳-۱۴- نمایی از ۵ مقطع CMM شده..... ۴۸
شکل۳-۱۵-مقادیر ضخامت در مقطع میانی..... ۴۸
شکل۳-۱۶-مقادیر ضخامت در مقطع به فاصله ۹,۷۵ میلیمتر ار لبه چپ..... ۴۹
شکل۳-۱۷-مقادیرضخامت در مقطع به فاصله ۳,۲۵ میلیمتر از لبه چپ..... ۴۹
شکل۳-۱۸-مقادیر ضخامت برای پره یک بار نورد شده..... ۵۰
شکل۳-۱۹-مقادیر ضخامت برای پره دو بار نورد شده ۵۰
شکل۳-۲۰-مقادیر ضخامت برای پره ۳ بار نورد شده ۵۰
شکل۳-۲۱-مقادیر ضخامت برای پره ۴ بار نورد شده ۵۱
شکل۳-۲۲-مقادیر ضخامت برای پره ۵ بار نورد شده ۵۱
شکل۳-۲۳-طرح شماتیک ضریب اصطکاک وابسته به شرایط اصطکاکی ۵۲
شکل ۳-۲۴-المان بندی با مقادیر حداکثر ۵۷
شکل۳-۲۵-المان بندی با مقادیر حداقل..... ۵۸
شکل۳-۲۶-طرح فرضی پره فرم یافته به صورت انحراف دار..... ۶۴
شکل۳-۲۷-مشخصات هندسی پریفرم انحنا دار..... ۶۷
شکل ۳-۲۸- ۱)پریفرم انحنا دار ۲) قطعه نورد شده..... ۶۷
شکل۳-۲۹-مقایسه ضخامت مقطع طولی میانی ۵ پریفرم..... ۶۸
شکل۳-۳۰-مقادیر تجربی ضخامت در مقطع طولی میانی در ۵ مرحله پیاپی ۶۹
شکل۳-۳۱-قطعات نورد شده با تعداد مراحل نورد گوناگون..... ۷۰
شکل۳-۳۲-مدل ساده از دستگاه نورد ۷۱
شکل۳-۳۳-مدل هندسی بخشی از سازه دستگاه تحت نیرو..... ۷۱
شکل۴-۱-نمایی از نوار به ضخامت ۱ میلیمتر و غلتکها (ناحیه قرمزرنگ بیشترین تنش)..... ۷۷
شکل۴-۲-نتایج شبیه سازی برای دو روانکار در سرعت ۴۰ دور بردقیقه..... ۷۸
شکل۴-۳-نتایج شبیه سازی برای دو روانکار در سرعت ۸۰ دور بردقیقه..... ۷۸
شکل۴-۴-مقایسه نتایج برای سرعت ۴۰ و روانکارحاویlauryl alcohol..... ۷۹

شکل۴-۵-مقایسه نتایج برای سرعت ۴۰ و روانکارحاویstearic acid..... ۷۹
شکل۴-۶-طرح شماتیک و مدل هندسی پریفرم..... ۸۰
شکل۴-۷-مدل هندسی نیمه پایینی قالب..... ۸۰
شکل۴-۸-مدل هندسی نیمه بالایی قالب..... ۸۱
شکل۴-۹-نقشه قالبهای بالایی و پایینی..... ۸۱
شکل۴-۱۰-نحوه قرار گیری و مونتاژ قالب و قطعه نسبت به هم..... ۸۲
شکل۴-۱۱-اشکال مختلف المان..... ۸۳
شکل۴-۱۲-نمودار حساسیت مش..... ۸۵
شکل۴-۱۳-قالب و پریفرم مش بندی شده (قالبها به صورت صلب و پریفرم به صورت فرم پذیر)..... ۸۵
شکل۴-۱۴-پریفرم مش بندی شده با سایز ۱ و تعداد ۱۹۱۲ المان..... ۸۶
شکل۴-۱۵-مدل هندسی ساده شده و مش بندی شده قالب ها..... ۸۷
شکل۴-۱۶-قطعه فرم داده شده با قالبهای صلب و گپ ۰/۴۴ میلیمتر..... ۸۷
شکل۴-۱۷-نمودار مربوط به ضخامت در مقطع میانی طولی و مقایسه با ضخامت نهایی..... ۸۹
شکل۴-۱۸-مقایسه ضخامت در دو حالت تجربی ونهایی..... ۹۰
شکل ۴-۱۹-نمودار نیروی نورد در حالت شبیه سازی و قالبهای صلب با گپ ۰,۴۴ میلیمتر..... ۹۱
شکل۴-۲۰-مدل غلتک و قالب که روی آن سوار می شود..... ۹۳
شکل۴-۲۱-فلوچارت طراحی غلتکهای مجازی..... ۹۵
شکل۴-۲۲-قالب نصب شده روی غلتک انعطاف پذیر در حال نورد قطعه اولیه..... ۹۶
شکل۴-۲۳- نمایی از پریفرم و قالب مش بندی شده..... ۹۶
شکل۴-۲۴-نحوه فرم دهی قطعه پیچش دار در سه زمان مختلف طی نورد یک مرحله ای..... ۹۷
شکل ۴-۲۵-پره های تغییر فرم یافته در مقایسه با نتایج تجربی (از راست به چپ افزایش ضخامت پریفرم)۹۸
شکل ۴-۲۶-مدل طراحی شده برای نورد سه مرحله ای و نحوه قرارگیری غلتکها نسبت به هم..... ۹۹
شکل۴-۲۷-نحوه نورد پره توسط شبیه سازی در سه ایستگاه متوالی..... ۱۰۰
شکل۴-۲۸-توزیع فشار غلتک در طول تماس در شرایط نورد سرد بدون اصطکاک..... ۱۰۱
شکل۴-۲۹-فشار غلتک در نورد سرد با در نظر گرفتن تاثیر اصطکاک..... ۱۰۲

شکل۴-۳۰-توزیع فشار غلتک در راستای نصف پهنای ورق ۱۰۲
شکل۴-۳۱-توزیع فشاردر نورد سرد پره ۱۰۴
شکل۴-۳۲- ترسیم دو بعدی توزیع فشاردر نورد سرد پره.....۱۰۴
شکل۵-۱-قطعه نورد شده توسط قالب وغلتکهای مجازی و مقایسه با قطعه تجربی ۱۰۸
شکل۵-۲-نیروی نورد بدست آمده توسط شبیه سازی با رویکرد بیان شده ۱۰۹
شکل ۵-۳-مقایسه ضخامت در دو حالت تجربی و شبیه سازی با توجه به رویکرد بیان شده در شبیه سازی ۱۱۰
شکل۵-۴-نمودار میزان انحراف پریفرم در دو حالت تجربی و عددی در راستای نورد.....۱۱۱
شکل۵-۵-مقایسه مدل شبیه سازی شده و نمونه تجربی.....۱۱۱
شکل۵-۶-پریفرم قبل و بعد از نورد در دو حالت تجربی و شبیه سازی ۱۱۲
شکل۵-۷-نمودار مقادیر ضخامت در مقطع میانی طولی پریفرم انحنا دار نورد شده در دو حالت تجربی و شبیه سازی ۱۱۳
شکل۵-۸-نمودار نیروی نورد در فرم دهی۱- پریفرم انحنا دار ۲-پریفرم مستطیلی ۱۱۳
شکل۵-۹-نتایج تجربی و شبیه سازی ضخامت پریفرم با ضخامت ۳,۱۷۵ میلیمتر ۱۱۵
شکل۵-۱۰-نتایج تجربی و شبیه سازی ضخامت پریفرم با ضخامت ۲,۵میلیمتر ۱۱۶
شکل۵-۱۱-نتایج تجربی و شبیه سازی ضخامت پریفرم با ضخامت ۱,۷۷ میلیمتر ۱۱۶
شکل۵-۱۲-نتایج تجربی و شبیه سازی ضخامت پریفرم با ضخامت ۱,۵۴ میلیمتر ۱۱۶
شکل۵-۱۳-مقایسه نیروی نورد برای ۵ نمونه (در جهت x ضخامت پریفرم کاهش می یابد) ۱۱۷
شکل۵-۱۴-مقایسه تستهای تجربی و شبیه سازی از نظر نحوه سیلان و شکل دهی.....۱۱۸
شکل۵-۱۵-نتایج تجربی و شبیه سازی ضخامت مقطع طولی میانی را در سه مرحله.....۱۲۰
شکل۵-۱۶-منحنی نیروی نورد در سه مرحله a- مرحله اول b – مرحله دوم c – مرحله سوم شبیه سازی .۱۲۰

فهرست جدول ها

عنوان **شماره صفحه**

جدول۳- ۱حدود ترکیب شیمیایی آلیاژ Inconel 718 (UNS NO7718/w .Nr. 2.4668) ۳۴

جدول۳- ۲- ثابتهای فیزیکی ۳۴

جدول۳- ۳-مدول الاستیسیته ونسبت پواسون دردمای پایین برای ورقهای نوردسرد وعملیات حرارتی شده ۳۴

جدول۳- ۴-ویژگیهای کششی ورق نورد سرد شده در دمای اتاق ۳۶

جدول۳- ۵-ویژگیهای کششی ورق نورد سرد شده و آنیل شده در دمای بالا ۳۶

جدول۳- ۶-ویژگیهای کششی ورق نورد سرد شده ، آنیل شده و پیرسختی شده در دمای اتاق ۳۶

جدول۳- ۷-تاثیر کاهش سرد روی ویژگیهای ورق ۳۸

جدول۳-۸- جدول نتایج بدست آمده از تست کشش ۳۹

جدول۴-۱- مقادیر فشار بر حسب مگا پاسکال ۱۰۳

جدول۵- ۱-مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی مرحله اول نورد ۱۰۹

جدول۵- ۲-میزان انحراف لبه ها ۱۱۱

جدول۵- ۳-مقایسه ضخامت مقطع طولی میانی پره انحنا دار در دو حالت تجربی و شبیه سازی ۱۱۲

جدول۵- ۴-پریفرم به ضخامت ۳/۱۷۵ میلیمتر ۱۱۴

جدول۵- ۵-پریفرم به ضخامت ۲/۵ میلیمتر ۱۱۴

جدول۵- ۶-پریفرم به ضخامت۲ میلیمتر ۱۱۴

جدول۵- ۷-پریفرم به ضخامت۱/۷۷ میلیمتر ۱۱۵

جدول۵- ۸-پریفرم به ضخامت ۱/۵۴ میلیمتر ۱۱۵

جدول۵- ۹-نتایج تجربی و شبیه سازی نورد مرحله اول ۱۱۹

جدول۵- ۱۰-نتایج تجربی و شبیه سازی نورد مرحله دوم ۱۱۹

جدول۵- ۱۱-نتایج تجربی و شبیه سازی نورد مرحله سوم ۱۱۹

۱- مقدمه

۱-۱- هدف از تحقیق

امروزه پروسه های تولید پره های کمپرسور مورد توجه قرار گرفته است. از روشهای تولید پره کمپرسور می توان روش فورج ، ماشینکاری و یا وایرکات را نام برد . از دیگر روشهای تولید پره ، نورد سرد می باشد . این پره ها در اندازه کوچک حدود ۳ تا ۱۰ سانتیمتر می باشند . روش نورد سرد صافی سطح بالاتر ، ابعاد دقیقتر ، استحکام بیشتر و داکتیلیته کمتری را به پره می دهد واغلب به منظور حفظ تلورانسهای ضخامتی دقیق انجام می شود. به خاطر مزایای این روش شکل دهی همانند ، صرفه جویی در مواد ، جریان بهتر الیاف مواد ، کار سختی در شکل دادن سرد و مدت زمان کوتاه تولید ، این روش بیش از پیش جای خود را در تولید صنعتی باز می کند. با همه مزایای فوق ، شرط تولید اقتصادی فرآیند شکل دادن ، وجود تیراژ تولیدی به صرفه می باشد. زیرا قالبهای شکل دادن خیلی گران بوده و هر قطعه ای قالب خاص خود را نیاز دارد.

پارامترهای مختلفی در نورد مورد بررسی قرار می گیرد و با انتخاب مناسب آنها می توان به یک محصول با حداقل عیب و یا بدون عیب رسید. نورد پره کمپرسور از نوع نورد با کاهش نسبتا غیر یکنواخت در ضخامت می باشد . به طوری که ماده در جهت طولی و پهنا کشیده شده و گسترش یافته و در جهت ضخامت به طور غیر یکنواختی کاهش می یابد . در مطالعه نحوه نورد پره ها ، با توجه به نحوه سیلان ماده پریفرم و تنش ها و کرنشها ی ایجاد شده در ضمن شکل دهی ، سعی در کاهش تعداد مراحل نورد می باشد که در این صورت ، تعداد عملیات حر ارتی میانی نیز کاهش و زمان و هزینه تولید نیز کاهش می یابد. نکات بالا تحت تاثیر عامل دیگری چون رفتار الاستیک سازه دستگاه نیز می باشد که درمراحل بعدی نورد و قبل از عملیات حرارتی به علت کار سختی اعمال شده ، نیروی نورد حاصله بر این رفتار تاثیر می گذارد.

ماده مورد استفاده برای تولید پره کمپرسورinconel718 بوده که استحکام بسیار بالا و مقاومت به خوردگی بالایی داشته و قابلیت فرم پذیری بسیار خوبی دارد. شبیه سازی از ابزارهای بسیار موثر و کمک کننده در آنالیز این پروسه می باشد. خصوصا در آنالیز نورد پره کمپرسور که پیچیده تر از نورد معمولی بوده و بررسی آن حتما نیازمند یک آنالیز و تحلیل سه بعدی می باشد . آزمایشهای شبیه سازی ، فاکتورهای مهم را جهت بهبود شبیه سازی پروسه روشن می سازد. از مهمترین اهداف شبیه سازی پره و یا نورد تجربی ، دستیابی به یک پریفرم مناسب می باشد.

این فرآیند در ایران در شرکت صها و به طریق تجربی انجام می شود. اما اگر این پروسه فقط به صورت تجربی و آزمایش خطا انجام شود، خود این امر متحمل هزینه و زمان بسیار بالاتری شده و تولید قطعات معیوب از نظر اقتصادی به صرفه نمی باشد. لذا گرفتن اطلاعات مناسب از یک پروسه نورد و شبیه سازی آن توسط نرم افزار مناسب ، یا حتی شبیه سازی اولیه پروسه و استفاده از نتایج در تجربه می تواند سرفصلی برای حل مشکلات موجود در طی این پروسه گردد. با استفاده از نرم افزار و اطلاعات به دست آمده ، ضمن مقایسه نتایج تئوری و عملی ، راه حل مناسب برای تولید صحیحتر و با عیب کمتر و اتلاف هزینه کمتر جهت تولید پره کمپرسور بدست می آید.

لذابه منظور مطالعه این فرآیند تجربی ، از شبیه سازی کمک گرفته شده است . یکی از اهداف اصلی پروژه بررسی صحت فرآیند شبیه سازی و صحت نتایج و استفاده از آن در طراحی های بعدی می باشد. لذا ابتدا مطالعاتی در این زمینه انجام شده و سپس به تحلیل عددی پرداخته شده است.

۱-۲- پیشینه پژوهش

نورد فلزات در اغلب اوقات یک ابزار تولیدی برای تولید اشکال و اندازه های گوناگون بوده و حتی درشکل دهی پره ها از این فرآیند استفاده شده است . هدلوند[۱] و نیکولز[۲] در دهه ۵۰ میلادی به نورد پره ها پرداخته اند.

تحقیقاتی درمورد نورد پره ها انجام گرفته است.این تحقیقات بیشتر بر روی خود پریفرم بوده است. ماتویچوک[۳] و پوکراس[۴]این روش شکل دهی را بر پایه آنالیز قابلیت کارپذیری ماده اولیه مورد بررسی قرار داده است. باختینو [۵] در بررسی نورد پره، و نحوه طراحی پریفرم طبق یک راهکار تجربی از راهنمای ورودی استفاده کرده است . به طوری که میزان زاویه انحراف پره توسط تست تجربی مشخص شده و این زاویه به راهنمای ورودی داده شده است. مدودو [۶]طبق تست تجربی دو قطعه را به طور همزمان و به طور قرینه نسبت به هم به عنوان ورودی قالب طراحی کرده است . در روند تحقیقات صورت گرفته در این زمینه با توجه به مشکل بودن آنالیز سه بعدی فرآیند ، از شبیه سازی به منظور بررسی پارامترها استفاده شده است. سایگال [۷]، با استفاده از روش المان محدود و با بکار گیری داده های تجربی و نیز آزمایشهای شبیه سازی، به مطالعه بهبود شبیه سازی و کاهش تعداد مراحل نورد پرداخته است. آجرمن [۸] و لاهوتی[۹] ، توسط مدلهای ریاضی و به کمک کامپیوتر، پیش بینی نیروی جداکننده دو غلتک ،گشتاور، تنشهای محلی و کرنشها و نرخ کرنشها را انجام داده است. وی در این زمینه با استفاده از دو برنامه کامپیوتری ROLPAS و SHPROL به شبیه سازی نورد مقاطع همچون پره کمپرسور پرداخته است . ویسلینگ[۱۰] و جینگ تاو[۱۱] از شبیه سازی و محاسبات کامپیوتری برای بررسی نورد مقاطع کمک گرفته اند. لامبرت [۱۲]در تحقیقات خود در زمینه نورد مقاطع همچون پره ها و سکتورها ، سعی و خطا را یک فاکتور مهم جهت بهینه سازی پارامترهای شکل دهی دانسته و به منظور کاهش هزینه ها همچون استهلاک قالب و متریال مورد استفاده ، از شبیه سازی استفاده کرده است. تستهای تجربی در آزمایشات وی بر روی آلومینیوم انجام شده است. وی از نرم افزار DEFORM استفاده کرده که قابلیت بالایی در زمینه شکل دهی همچون نورد مقاطع دارد.

از جمله فاکتور های مهم درنورد ، اصطکاک و نیز نقش روانکار می باشد. لنارد[۱۳] ، نقش روانکارهای مختلف و نیز تاثیر درصد غلظت آنها را در درصد های کاهش گوناگون بر روی نیرو و گشتاور نورد بررسی کرده است . بررسی شرایط تماسی بین غلتک و ورق در نورد سرد ، در بهبود کیفیت نوار نورد شده موثر است. هارت [۱۴]، توسط شبیه سازی و با مطالعه همزمان روی پارامترهای پروسه

همچون نیروهای کششی ، لغزش رو به جلو و رژیم روانکاری ، سطوح تماس و چگونگی کنترل آنها را بررسی نموده است. همچنین هکتور[۱۵] نیز به بررسی ناصافی سطح و ایجاد پستی و بلندی های نوار نورد شده که در اثر سرعت نسبی بین غلتک و نوار طی کاهشهای زیاد رخ می دهد پرداخته است و نحوه تغییر در نیرو و گشتاور نورد را طی کاهشهای گوناگون بدست آورده است . از دیگر نکات مورد توجه در نورد ، انحراف ورق حین نورد به طرفین می باشد. ایشی کاوا [۱۶] آنالیز سه بعدی نورد را در شرایط نا متقارن انجام داده است . وی تاثیر خارج ازمرکز بودن نوار ورودی را در محصول خروجی، آنالیز و سپس نتایج را با نتایج تجربی مقایسه نموده است. ماتسوموتو[۱۷] به شبیه سازی حرکت انحرافی نوار آلومینیومی در فرآیند نورد پرداخته است . که در این تحقیق نیز ، حرکت انحرافی پیش فرم ضمن شکل دهی مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

۱-۳- ساختار پایان نامه

در این پروژه ابتدا فرآیند نورد و انواع نورد از نظردرجه حرارت کاری ونیز از نظر چگونگی جریان فلز حین پروسه توضیح داده خواهد شد. سپس آنالیز نورد مورد بررسی قرار می گیرد.بخش آنالیز شامل بررسی نورد سرد و مزایا و معایب آن ، نیروی نورد و توزیع تنش و بررسی الاستیک غلتکها در نورد طولی می باشد. پارامتر ضریب اصطکاک و شرایط تماس همچون تاثیر روانکار و صافی سطح بیان شده است. نورد مقاطع یکی از پیچیده ترین تغییر فرمها می باشد. برای چنین هدفی ، شکلهای میانی مطمئن یا عبورهایی بکارگرفته می شود و طراحی این شکلهای میانی حائز اهمیت است. البته در تمام طول نورد بر خلاف نورد بعضی پره ها مقطع ماده نورد شده ثابت می ماند. پارامترهای زیادی در این فرآیند نقش داشته که به آنها اشاره شده است. سپس یک رویکرد برای نورد پره های کمپرسور بیان شده که برطبق آنالیز کارپذیری ،مکانیزم بازیابی پلاستیسیته توسط عملیات حرارتی و بزرگی و شکل اضافه مجاز نورد می باشد.در ادامه به بررسی انحراف پریفرم در ضمن نورد پرداخته شده است. چنین شرایطی در نورد مقاطع پره ها نیز رخ می دهد . در فرآیند نورد سرد پره ها ، علی رغم کیفیت خوب و تلورانسهای

ضخامتی بسته ، پریفرم ضمن نورد به سمتی پیچش می یابد . در بعضی کاربردها نورد مقطع به صورت پیوسته نبوده و لذا کمی انحراف در حین شکل دهی سبب فرم گرفتن ناقص قطعه می شود. در انتهای این بخش خود قالب نیز مورد بررسی قرار گرفته و به منظور افزایش عمر آنها و کاهش هزینه ، روش ایجاد تنشهای پسماند توسط شوکهای لیزری ارائه شده است .

در بخش بعدی به تست تجربی و روشهای تئوری بکار گرفته شده برای نورد پره مورد نظر پرداخته شده است. ابتدا آلیاژ مورد استفاده برای نورد پره کمپرسور به طور کامل شرح داده می شود . ماده مورد استفاده برای تولید پره کمپرسورinconel718 بوده که استحکام بسیار بالا و مقاومت به خوردگی بالایی داشته و قابلیت فرم پذیری بسیار خوبی دارد. به منظور کاهش خطای شبیه سازی چند نمونه تست کشش استاندارد تهیه شده و توسط تست کشش ، مشخصات قطعاتی که باید نورد شوند تهیه شده است. بعد از آن مشخصات دستگاه نورد مورد استفاده برای شکل دهی پره توضیح داده شده و پریفرمهای که در قبل استفاده می شده بیان شده است. طبق آن طریقه انجام تست های تجربی مربوط به پروژه ذکر شده است. و نتایج ضخامتی که توسط CMM اندازه گیری شده اند توسط نمودارهایی تهیه شده است. اصطکاک بخش جدا نشدنی فرآیندهای نورد است. در پروسه نوردهای متداول ، اصطکاک تماسی بین قالب با غلتکها و فلزنورد شده اجتناب ناپذیر بوده و در بسیاری از بررسیها نیروی نورد ، انرژی مصرف شده ، کیفیت سطح تمام شده را مشخص می کند. لذا انواع شرایط اصطکاک وتعیین ضریب اصطکاک مورد بررسی قرار گرفته است. در فرآیند نورد ، علاوه بر شکل دهی، ایجاد کاهش در سطح مقطع قطعه کار و افزایش طول آن یکی از اهداف مهم می باشد. یک معیار بسیار مناسب صنعتی برای توصیف اندازه تغییر شکل قطعه کار استفاده از کمیت کاهش سطح مقطع قطعه کار است که بر حسب درصد بیان می شود . به کمک این نتایج نیرو محاسبه و تعیین می شود. درآزمایش تجربی نورد ، به خاطر غیر یکنواختی تغییر فرم در امتداد عرضی ،پریفرم به سمت لبه ای با کاهش کمتر متمایل می شود. این پدیده انحراف پریفرم توسط مقاطع اندازه گیری شده مشخص شده و در فصلهای آتی با نتایج شبیه سازی شده مقایسه شده است. به کمک همین ویژگیها ، پریفرم انحنادار طوری طراحی شده که حین نورد به صورت مستقیم

خارج می شود. لذا توسط همان متریال پریفرم طراحی شده و تست تجربی روی آن انجام شده است. در انتخاب پریفرم مناسب با مقطع مستطیلی شکل ، ضخامت آن تاثیر مهمی در نتایج پروسه دارد. اما اینکه چه اندازه ای برای ضخامت در نظر گرفته شود نیاز به بهینه شدن می باشد. لذا از ۵ پریفرم با ضخامتهای گوناگون استفاده شده و توسط دستگاه نورد شده اند. معمولا در نورد سرد مقاطع پره ، نمی توان در یک مرحله به قطعه نهایی رسید و باید در چندین مرحله با عملیات حرارتی میانی به این مهم نائل شد. در مراحل تولید پره معمولا ۵ تا ۶ مرحله نورد روی قطعه انجام شده و سپس عملیات حرارتی شده (آنیل) و مجددا نورد می شود. در نهایت اطراف آن تریم می شود. همچنین نورد چند مرحله ای به کمک ۵ قطعه یکسان ، انجام شده است. در پایان بخش میزان جابجایی در یکی از بخشهای سازه دستگاه اندازه گیری و شرح داده شده است.

بخش بعدی ، شبیه سازی فرایند نورد پره می باشد. برای تعیین نرم افزار مناسب ، تحقیقاتی روی آنها انجام شده و با توجه به امکانات موجود ، نرم افزارABAQUS انتخاب شده است. به منظور بررسی صحت نرم افزار ، یک تست تجربی انتخاب شده و شبیه سازی شده و نتایج آن با هم مقایسه شده است . با توجه به آن شبیه سازی نورد پره ، شامل مدلسازی قطعات ، وارد کردن به محیط نرم افزار ، مش بندی مناسب و انتخاب پارامترهای مناسب انجام شده است. در ادامه از یک رویکردی در شبیه سازی استفاده شده که شامل طراحی غلتکهای مجازی انعطاف پذیر می باشد. این غلتکها جایگزین خوبی برای تمام بخشهای سازه دستگاه می باشند. به کمک رویکرد جدید ، تمامی تستهای تجربی توسط نرم افزار شبیه سازی شده اند. در پایان بخش به بررسی توزیع فشار به کمک شبیه سازی و مقایسه با نتایج تئوری پرداخته شده است. بخش بعدی شامل مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی و استفاده از جداول و نمودار های بدست آمده در دو حالت تجربی و شبیه سازی می باشد . و در ادامه نیز نتایج کلی و دستاوردها و نیز تحقیقات آتی آورده شده است .