



دانشگاه مازندران
دانشکده فنی مهندسی

موضوع:

مطالعه تجربی و شبیه سازی عددی تاثیر منحنی فشار سیال بر
حسب کورس سنبه در شکل دهی لوله های استوانه ای پله ای
به روش هیدروفرمینگ

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
رشته مهندسی مکانیک - گرایش ساخت و تولید

استاد راهنما :

دکتر محمد بخشی جویباری

اساتید مشاور:

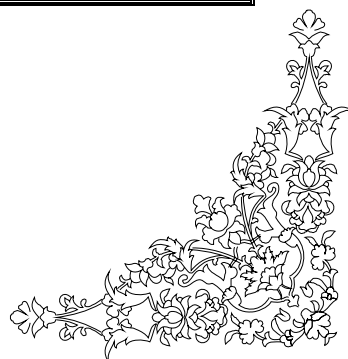
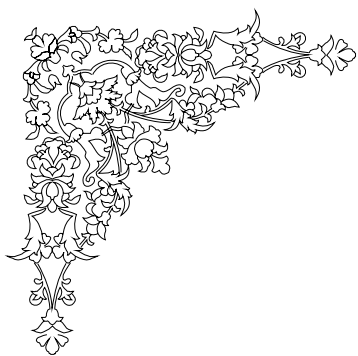
مهندس عبد الحمید گرجی

مهندس قربان محمد علی نژاد

نگارش:

پویا ذوقی پور

زمستان ۸۸



تقدیم به مهربان فرشتگانی که

لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت
خواستن، شکوه توانستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه‌های
یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور آنهاست.

پدر عزیزم و مادرم مهربانم

فروغ نگاهتان، گرمی کلامتان و روشنایی رویتان سرمایه
جاودانه زندگی‌ام است. وجودتان برایم بزرگترین لطف الهی
و وجودم برایتان همه رنج و زحمت بوده است. توانتان رفت
تا به توانایی برسم موهبتان سپید شد تا روسپید
باشم. ارج می‌نهم زحماتتان را که وجودتان پشتوانه و
تلاشتان موجب سربلندی‌ام است. اکنون که به اینجا
رسیده‌ام، همه موفقیت‌هایم را اول لطف خداوند و سپس از
شما می‌دانم.

قدردانی

حمد و سپاس شایسته پروردگاریست که بشر را قدرت تفکر و تحصیل علم بخشید. اینک که در سایه پرتو الطاف و عنایات خداوند سبحان، موفق به انجام پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد شده‌ام، برخود لازم می‌دانم تا از زحمات اساتید عزیز و گرانقدر دانشکده مهندسی مکانیک، بخصوص جناب آقای دکتر محمد بخشی که با تلاش‌های بی‌شائبه خود نه‌تنها در انجام این پایان‌نامه بلکه در تمام دوره تحصیل مرا یاری نمودند و نیز اساتید مشاور، آقایان مهندس عبدالحمید گرجی و مهندس قربان علی نژاد، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از اساتید گرامی آقایان دکتر محسن شاکری و دکتر حمید باصری که زحمت داوری این پایان‌نامه را تقبل نمودند بی‌نهایت سپاسگزارم. از خداوند منان، سلامتی و موفقیت روزافزون را برای این بزرگواران خواهانم.



**Faculty of Mechanical Engineering
Mazandaran University**

*M. S. Dissertation
Mechanical Engineering-Manufacturing and Production*

Title:

***Experimental study and numerical simulation of the effect of
loading path curve on forming the cylindrical stepped tube with
hydroforming process***

Supervisor:

Dr. M. Bakhshi Jooybari

Advisors:

lecturer. A. Gorji

lecturer. G.M. Alinezhad

Writer:

P. Zoghi pour

Winter 2010

چکیده

فرآیند هیدروفرمینگ لوله جزء فرآیندهای نوین شکل دهی فلزات می باشد. از آنجا که امروزه کاهش وزن قطعات، تولید در کوتاهترین زمان ممکن و کاهش هزینه ها و مراحل تولیدی با رعایت کیفیت بالا جزء اهداف شرکت های تولیدی است، استفاده از این روش در صنایع مختلفی مانند خودروسازی، هوافضا و نظامی در دستور کار قرار گرفته است.

در این پایان نامه، فرآیند هیدروفرمینگ لوله، به عنوان اصلی ترین روش تولید لوله های پله ای مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه، به کمک روش اجزای محدود فرآیند تولید لوله های پله ای در نرم افزار "Abaqus\Explicit" شبیه سازی شده است. به منظور راسته آزمایی نتایج حاصل از شبیه سازی عددی، آزمایش های تجربی انجام شد. مطابقت نتایج حاصله از آزمایش های تجربی با شبیه سازی، درستی نتایج حاصل از شبیه سازی را تایید نموده است.

مسیر فشار به عنوان مهم ترین پارامتر در تولید لوله های پله ای استوانه ای می باشد. در صورت اعمال فشار نامناسب بر حسب کورس سنبه، امکان بروز عیوبی از قبیل پارگی یا چروکیدگی در لوله وجود بوجود خواهد آمد. در طی بررسی نتایج بدست آمده از تاثیر مسیر فشار بر شکل هندسی و توزیع ضخامت در تولید لوله های پله ای مشخص گردید که جهت بدست آوردن یک قطعه بدون عیب با ابعاد و تolerانسهای مورد نیاز و نسبت انبساط مطلوب با توزیع ضخامت قابل قبول، انتخاب مسیر فشار بر حسب تغذیه محوری بسیار مهم می باشد. در این پژوهش امکان دستیابی به پر شدگی کامل گوشه قالب مورد استفاده، در اثر انتخاب مناسب مسیر فشار و مکانیزم قالب میسر گردید.

Abstract

Tube Hydroforming is one of the newest methods of metal forming processes. The usage of this technology has been increased in industries such as automotive, aerospace and military industries due to weight reduction, reducing cycle time and costs with maintaining high quality of products.

In this thesis, the Tube Hydroforming process as the main method of producing stepped tubes, has been focused on. Then the 3D finite element simulation software, Abaqus/Explicit has been used to simulate the process.

In order to validate the simulation results, experiments were performed. The correlation between the results verified the validity of the simulation results.

The pressure path is the main significant factor in producing cylindrical stepped tubes. Applying improper pressure path causes appearance of defects such as wrinkling or tearing.

During the investigation of the effect of pressure path on geometry shape and, thickness distribution and die of stepped tubes, it was realized that in order to gain a sound part with desired tolerances, expansion ratio and logical thickness reduction, the selection of the pressure path is very important.

In this research, obtaining a fully filled die corner was possible by selecting an appropriate pressure path and proper die mechanism.

فهرست مطالب

۱	فصل ۱ مقدمه.....
۱	۱-۱ مقدمه.....
۱	۲-۱ معرفی لوله‌های پله‌ای فلزی.....
۳	۳-۱ دسته بندی روشهای متداول تولید لوله های پله ای.....
۳	۱-۳-۱ روش پرس کاری.....
۴	۲-۳-۱ روش اسپینینگ.....
۵	۳-۳-۱ فرآیندهای تولید با ابزار نرم.....
۵	۴-۱ هیدرو فرمینگ.....
۶	۱-۴-۱ هیدرو فرمینگ لوله.....
۸	۵-۱ پیشینه تحقیقات صورت گرفته در زمینه هیدروفرمینگ لوله.....
۱۸	۶-۱ پیشینه تحقیقات صورت گرفته در زمینه اثر مسیر فشار بر هیدروفرمینگ لوله.....
۲۴	۷-۱ مروری بر پایان نامه.....

	فصل ۲ کارهای آزمایشگاهی.....

۲۶	۱-۲ مقدمه.....
۲۶	۲-۲ تجهیزات استفاده شده در فرآیند هیدروفرمینگ برای تولید لوله پله ای.....
۲۶	۱-۲-۲ پرس انیورسال به همراه تجهیزات جانبی.....
۲۷	۲-۲-۲ تجهیزات هیدرولیک.....
۳۰	۳-۲ جزئیات قالب ها و مراحل ساخت آن.....
۳۴	۴-۲ خواص لوله بکار گرفته شده.....
۳۶	۵-۲ مراحل آزمایشگاهی.....
۳۹	۶-۲ اندازه‌گیری ابعاد قطعات.....

	فصل ۳ شبیه سازی اجزای محدود.....

۴۱	۱-۳ مقدمه.....
۴۲	۲-۳ مراحل محیط های مدل سازی اجزای محدود نرم افزار ABAQUS 6.8.....
۴۲	۱-۲-۳ مدل سازی سه بعدی لوله و اجزای قالب در محیط ایجاد قطعه (Part).....
۴۳	۲-۲-۳ تعریف خصوصیات لوله در محیط (Property).....
۴۵	۳-۲-۳ مونتاژ لوله و اجزای قالب در محیط سرهم سازی (Assembly).....
۴۵	۴-۲-۳ تعریف تعداد مراحل و نوع حل مساله در محیط (Step).....
۴۶	۵-۲-۳ تعریف نوع تماس سطوح اجزا با هم (Interaction).....
۴۶	۶-۲-۳ تعریف فشار داخل لوله و شرایط مرزی در محیط (Load).....
۴۸	۷-۲-۳ شبکه بندی مدل در محیط (Mesh).....
۴۹	۸-۲-۳ حل مساله در محیط.....

	فصل ۴ نتایج و بحث.....
۵۱	۱-۴ مقدمه.....
۵۱	۲-۴ معرفی عیوب ایجاد شده در فرآیند هیدروفرمینگ لوله‌های پله‌ای.....
۵۱	۱-۲-۴ کمانش.....
۵۴	۲-۲-۴ پارگی.....
۵۵	۳-۲-۴ فولدینگ (چروکیدگی گوشه داخلی).....
۵۶	۴-۲-۴ گوشه پر نشده.....
۵۷	۳-۴ بررسی نیروی لازم برای شکل‌دهی به روش شبیه‌سازی و تجربی.....
۵۹	۴-۴ تاثیر مسیر فشار بر شکل هندسی لوله‌های پله‌ای.....
۵۹	۱-۴-۴ بررسی اثر مسیر فشار در مرحله بالچ بر شکل هندسی.....
۶۲	۲-۴-۴ بررسی اثر مسیر فشار در مرحله کالیبراسیون بر شکل هندسی.....
۷۰	۵-۴ بررسی توزیع ضخامت لوله‌های پله‌ای.....
۷۰	۱-۵-۴ توزیع ضخامت در مرحله بالچ.....
۷۲	۲-۵-۴ توزیع ضخامت در مرحله نهایی (کالیبراسیون).....
۷۸	۳-۵-۴ افزایش قابلیت شکل‌پذیری با حذف چروک‌ها در ناحیه انبساط.....

	فصل ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....
۸۰	۱-۵ نتیجه‌گیری.....
۸۲	۲-۵ پیشنهادات.....

	منابع و مراجع.....
	پیوست.....

فهرست شکل‌ها

فصل ۱ مقدمه

- شکل ۱-۱ نمونه‌های ساده‌ای از قطعات پله‌ای شکل داده شده با روش هیدروفرمینگ لوله..... ۲
- شکل ۲-۱ نمونه‌های پیچیده‌ای از قطعات پله‌ای شکل داده شده با روش هیدروفرمینگ لوله [1]..... ۲
- شکل ۳-۱ شکل دهی لوله های پله ای استوانه ای با استفاده از روش پرسکاری در قالبهای چند تکه [2]..... ۳
- شکل ۴-۱ نمونه از قطعه پله‌ای شکل داده شده با روش اسپینینگ [2]..... ۴
- شکل ۵-۱ مرا حل هیدرو فرمینگ لوله [7]..... ۷
- شکل ۶-۱ قاب شاسی موتور خودرو تولید شده به روش هیدروفرمینگ لوله [17]..... ۹
- شکل ۷-۱ تجهیزات آزمایش بالچ [20]..... ۱۱
- شکل ۸-۱ وضعیت توزیع تنش در روی بیضی تسلیم برای هیدروفرمینگ لوله [22]..... ۱۲
- شکل ۹-۱ اثر شرایط مختلف شکل دهی بر تغییرات فشار در فرآیند هیدروفرمینگ بالچ آزاد [24]..... ۱۳
- شکل ۱۰-۱ شماتیک مدل تحلیلی در حین انبساط لوله در قالب مربعی (الف) قبل از انبساط (ب) بعد از انبساط ۱۵
- شکل ۱۱-۱ گسترش پنجره شکل دهی در فرآیند هیدروفرمینگ لوله با ایجاد چروک مفید [29]..... ۱۷
- شکل ۱۲-۱ توزیع ضخامت در راستای محوری (الف) شبیه سازی (ب) تجربی [28]..... ۱۷
- شکل ۱۳-۱ مسیر فشار طراحی شده توسط ریمکوس و همکاران [31]..... ۱۹
- شکل ۱۴-۱ قطعات تولید شده با مسیر فشارهای با تغذیه محوری و بدون تغذیه محوری..... ۲۰
- شکل ۱۵-۱ قطعات به دست آمده از آزمایش برای فشارهای ثابت و نوسانی [36]..... ۲۱
- شکل ۱۶-۱ مقایسه ای از گوشه پر شده قالب تحت اثر مسیر فشار های متفاوت [37]..... ۲۲
- شکل ۱۷-۱ مسیرهای فشار مورد بررسی توسط هاما و همکارانش..... ۲۳

فصل ۲ کارهای آزمایشگاهی

- شکل ۱-۲ پرس انیورسال با مجموعه قالب سوار شده بر روی آن..... ۲۷
- شکل ۲-۲ دستگاه تولید کننده فشار هیدرولیکی..... ۲۸
- شکل ۳-۲ شمای ساده شده مدار هیدرولیک..... ۲۹
- شکل ۴-۲ شیر کنترل فشار و شیریک طرفه به همراه اتصالات هیدرولیک..... ۳۰
- شکل ۵-۲ شماتیک قالب متداول هیدروفرمینگ لوله پله‌ای استوانه‌ای..... ۳۱
- شکل ۶-۲ شماتیک قالب هیدروفرمینگ جدید..... ۳۱
- شکل ۷-۲ اجزای قالب هیدروفرمینگ جدید..... ۳۲
- شکل ۸-۲ دستگاه کشش Zwick \ Z100..... ۳۵

- شکل ۲-۹ ابعاد نمونه آزمون کشش و چگونگی قرارگیری آن در فک ها..... ۳۵
- شکل ۲-۱۰ نمودار تنش - کرنش مهندسی لوله فولادی زنگ نزن SS316l..... ۳۶
- شکل ۲-۱۱ مسیر فشار نوعی مورد استفاده در شبیه سازی و آزمایشات تجربی..... ۳۷
- شکل ۲-۱۲ فاصله بین دو بوش قبل از انجام فرآیند و طول پله حاصله بعد از انجام فرآیند..... ۳۷
- شکل ۲-۱۳ شماتیک مراحل شکل دهی لوله در قالب جدید (الف) مرحله بالچ (ب) مرحله کالیبراسیون..... ۳۸
- شکل ۲-۱۴ قطعات پله ای تولید شده در قالب جدید هیدروفرمینگ..... ۳۸
- شکل ۲-۱۵ ضخامت سنج التراسونیک با تجهیزات جانبی برای اندازه گیری ضخامت..... ۳۹
- شکل ۲-۱۶ طریقه اندازه گیری الف- شعاع خارجی قطعات ب- طول پله قطعات..... ۴۰

فصل ۳ شبیه سازی اجزای محدود

- شکل ۳-۱ مدل سه بعدی نیمی از لوله در محیط ایجاد قطعه (Part) در نرم افزار ABAQUS..... ۴۴
- شکل ۳-۲ منحنی تنش - کرنش حقیقی لوله مورد استفاده در آزمایشات..... ۴۴
- شکل ۳-۳ استقرار قطعات در محل مناسب..... ۴۵
- شکل ۳-۴ شرایط مرزی تعریف شده برای مدل سازی اجزای محدود فرآیند هیدروفرمینگ لوله پله ای استوانه ای..... ۴۷
- شکل ۳-۵ شبکه بندی لوله در داخل قالب بوسیله المان پوسته ای در داخل نرم افزار ABAQUS..... ۴۹
- شکل ۳-۶ مسیر تعریف شده برای اندازه گیری پارامترها..... ۵۰

فصل ۴ نتایج و بحث

- شکل ۴-۱ کمانش ستونی لوله (الف) تجربی (ب) شبیه سازی..... ۵۳
- شکل ۴-۲ نمونه ای از قطعات چروک خورده در فرآیند هیدروفرمینگ لوله..... ۵۴
- شکل ۴-۳ پارگی ایجاد شده در قطعات در مراحل بالچ و کالیبراسیون..... ۵۴
- شکل ۴-۴ مقایسه گوشه بدست آمده توسط دو قالب هیدروفرمینگ جدید و سنتی..... ۵۶
- شکل ۴-۵ لوله پله ای استوانه ای با گوشه گرد کامل پر نشده..... ۵۶
- شکل ۴-۶ تغییرات نیروی شکل دهی قطعه سالم بر حسب کورس سنبه بدست آمده از شبیه سازی و تجربی، سطح فشار داخلی ۲۰MPa و کورس سنبه ۳۰mm..... ۵۸
- شکل ۴-۷ تغییرات نیروی شکل دهی قطعه چروکیده بر حسب کورس سنبه بدست آمده از شبیه سازی و تجربی، سطح فشار داخلی ۱۸MPa و کورس سنبه ۳۰mm..... ۵۸
- شکل ۴-۸ لوله تغییر شکل یافته در فشار بالچ ۱۸MPa بصورت تجربی و شبیه سازی..... ۶۰
- شکل ۴-۹ لوله تغییر شکل یافته در فشار بالچ ۱۹MPa بصورت تجربی و شبیه سازی..... ۶۰
- شکل ۴-۱۰ لوله تغییر شکل یافته در فشار بالچ ۲۰MPa بصورت تجربی و شبیه سازی..... ۶۰
- شکل ۴-۱۱ لوله تغییر شکل یافته در فشار بالچ ۲۱MPa بصورت تجربی و شبیه سازی..... ۶۱
- شکل ۴-۱۲ لوله تغییر شکل یافته در فشار بالچ ۲۲MPa بصورت تجربی و شبیه سازی..... ۶۱
- شکل ۴-۱۳ منحنی تغییرات قطر بیشینه ناحیه بالچ بر حسب فشار داخلی سیال..... ۶۱
- شکل ۴-۱۴ کانتور کرنش پلاستیک در لحظه پارگی در فشار ۲۲MPa در قطعه کار..... ۶۲

شکل ۴-۱۵	مقایسه بین پروفیل های لوله در مرحله کالیبراسیون در کورس سنبه ۱۰mm بدست آمده با شبیه سازی.....	۶۳
شکل ۴-۱۶	مقایسه بین پروفیل های لوله در مرحله کالیبراسیون در کورس سنبه ۲۰mm بدست آمده با شبیه سازی.....	۶۴
شکل ۴-۱۷	مقایسه بین پروفیل های لوله در مرحله کالیبراسیون در کورس سنبه ۳۰mm بدست آمده با شبیه سازی.....	۶۵
شکل ۴-۱۸	مقایسه بین پروفیل های لوله در مرحله کالیبراسیون برای فشارهای ۱۸ و ۱۹ MPa در کورس سنبه ۴۰mm بدست آمده با شبیه سازی.....	۶۶
شکل ۴-۱۹	مقایسه بین پروفیل های لوله در مرحله کالیبراسیون برای فشارهای ۱۹ و ۲۰ MPa در کورس سنبه ۴۰mm بدست آمده با شبیه سازی.....	۶۷
شکل ۴-۲۰	مقایسه بین پروفیل های لوله در مرحله کالیبراسیون در کورس سنبه ۳۰mm با شبیه سازی و تجربی.....	۶۸
شکل ۴-۲۱	لوله تغییر شکل یافته در فشار کالیبراسیون ۱۸MPa بصورت تجربی و شبیه سازی.....	۶۸
شکل ۴-۲۲	لوله تغییر شکل یافته در فشار کالیبراسیون ۱۹MPa بصورت تجربی و شبیه سازی.....	۶۹
شکل ۴-۲۳	لوله تغییر شکل یافته در فشار کالیبراسیون ۲۰MPa بصورت تجربی و شبیه سازی.....	۶۹
شکل ۴-۲۴	لوله تغییر شکل یافته در فشار کالیبراسیون ۲۱MPa بصورت تجربی و شبیه سازی.....	۶۹
شکل ۴-۲۵	نواحی مختلف منحنی توزیع ضخامت لوله.....	۷۰
شکل ۴-۲۶	منحنی های توزیع ضخامت حاصل از شبیه سازی در مرحله بالج برای فشارهای ۱۸ ، ۱۹ ، ۲۰ ، ۲۱ و ۲۲MPa.....	۷۱
شکل ۴-۲۷	نتایج شبیه سازی و تجربی توزیع ضخامت در مرحله بالج را برای فشارهای ۱۸ ، ۲۱ و ۲۲MPa.....	۷۲
شکل ۴-۲۸	مقایسه منحنی های توزیع ضخامت لوله در مرحله کالیبراسیون در کورس سنبه ۱۰mm بدست آمده با شبیه سازی برای فشارهای ۱۸ ، ۱۹ ، ۲۰ و ۲۱MPa.....	۷۳
شکل ۴-۲۹	مقایسه منحنی های توزیع ضخامت لوله در مرحله کالیبراسیون در کورس سنبه ۲۰mm بدست آمده با شبیه سازی برای فشارهای ۱۸ ، ۱۹ ، ۲۰ و ۲۱MPa.....	۷۴
شکل ۴-۳۰	مقایسه منحنی های توزیع ضخامت لوله در مرحله کالیبراسیون در کورس سنبه ۳۰mm بدست آمده با شبیه سازی برای فشارهای ۱۸ ، ۱۹ ، ۲۰ و ۲۱MPa.....	۷۵
شکل ۴-۳۱	مقایسه منحنی های توزیع ضخامت لوله در مرحله کالیبراسیون در کورس سنبه ۴۰mm بدست آمده با شبیه سازی برای فشارهای ۱۸ ، ۱۹ ، ۲۰ و ۲۱MPa.....	۷۶
شکل ۴-۳۲	توزیع ضخامت لوله شکل داده شده در مرحله کالیبراسیون برای فشار ۲۰MPa.....	۷۷
شکل ۴-۳۳	توزیع ضخامت لوله شکل داده شده در مرحله کالیبراسیون برای فشار ۲۱MPa.....	۷۸
شکل ۴-۳۴	اختلاف مقدار برآمدگی و فرو رفتگی در ناحیه انبساط.....	۷۹

فهرست جداول

فصل ۲ مراحل آزمایشگاهی

۲۸	جدول ۱-۲ مشخصات روغن بایک ۶۸ [41].....
۳۴	جدول ۲-۲ ترکیب شیمیایی لوله فولادی زنگ نزن.....

فصل ۳ شبیه‌سازی اجزای محدود

۴۴	جدول ۱-۳ خصوصیات مکانیکی فولاد SS316L.....
----	--

فهرست نمادها

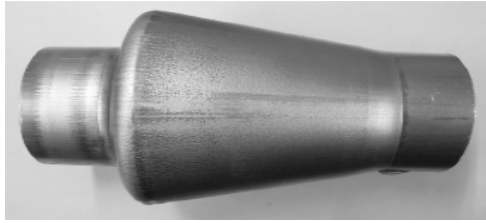
t	ضخامت اولیه لوله
L	طول آزاد لوله
E	مدول الاستیک ماده
ν	ضریب پواسون
S_y	تنش تسلیم لوله
ρ	دانسیتة لوله
I	ممان اینرسی
F_{cr}	نیروی بحرانی کمانش
C	شرایط درگیری دو انتهای لوله
R	شعاع لوله
σ_{cr}	تنش بحرانی کمانش
h_{max}	ماکزیمم مقدار ارتفاع برآمدگی در ناحیه انبساط
h_{min}	مینیمم مقدار ارتفاع فرورفتگی در ناحیه انبساط

۱-۱ مقدمه

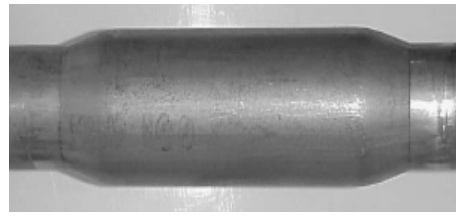
با پیشرفت روز افزون تکنولوژی و رقابت بازار تجارت، صنایع خودروسازی به سمت کاهش هزینه و زمان تولید و عرضه محصولات سبک تر و کم مصرف تر با کیفیت بالاتر و سیستم انعطاف پذیر تولید روی آورده اند. فرآیند هیدروفرمینگ یا شکل دهی با فشار سیال از فرآیندهای نوین در شکل دهی می باشد. استفاده از این فن آوری در راستای کاهش مراحل تولید قطعات و به خصوص حذف مراحل جوشکاری در قطعات با اشکال پیچیده در دستور کار تولید کنندگان صنایع بزرگ قرار گرفته است. امروزه توجه خاص به مسائل زیست محیطی بهینه سازی مصرف انرژی و رقابت پذیری سبب شده تا تولید کنندگان قطعات نیازهای مشتری را در اولویت قرار داده تا بتوانند در بازار رقابتی امروز بقا یابند. همچنین پیشرفت تکنولوژی و ماشین آلات تولیدی و سیستم های آب بندی و فرآیندهای کنترل کامپیوتری سبب شده است تا صنایع خودروسازی و هوا فضا استفاده شایانی را از هیدروفرمینگ به عنوان یک روش شکل دهی داشته باشند. در این فصل ابتدا تعریفی از لوله های پله ای و کاربرد آنها ارائه شده و سپس با اشاره به روش های تولید لوله های پله ای به جایگاه صنعت هیدروفرمینگ در بین آنها اشاره می شود و در خاتمه این فصل مروری در پیرامون فرآیند هیدروفرمینگ مورد استفاده در تولید قطعات پله ای، تاریخچه آن و اهداف و ویژگی های پایان نامه ارائه خواهد شد.

۲-۱ معرفی لوله های پله ای فلزی

لوله های فلزی با شکلهای مختلف کاربرد بسیار زیادی در صنایع نظامی، تاسیساتی، خودروسازی و دیگر صنایع دارند. لوله های پله ای نیز از جمله قطعات تولید شده با فرآیند هیدروفرمینگ است که در صنایعی مانند صنایع تاسیسات، صنایع خودروسازی، صنایع پتروشیمی و صنایع دفاعی کاربرد دارند. این لوله ها دارای شکل های دایره ای، چهار گوش، مخروطی و نظایر آنها می باشد که در شکل (۱-۱) نمونه هایی از آنها نشان داده شده است.



(ب) لوله پله‌ای با مقطع مخروطی



(الف) لوله پله‌ای با مقطع دایره‌ای



(ج) لوله پله‌ای با مقطع چهارگوش

شکل (۱-۱) نمونه‌های ساده‌ای از قطعات پله‌ای شکل داده شده با روش هیدروفورمینگ لوله

حالت‌های پیچیده‌تر این قطعات مانند منی‌فولد آگزوز، میل لنگ، اکسل و شاسی خودرو یا اتصالاتی نظیر سه راهی‌ها و لوله‌های کنگره‌ای در شکل (۲-۱) نشان داده شده است.



(ج) لوله‌های کنگره‌ای



(ب) شاسی موتور مونتاژ شده



(الف) قاب شاسی



(ه) اجزای سیستم‌های آبرسانی



(و) آگزوز



(د) شیرآلات

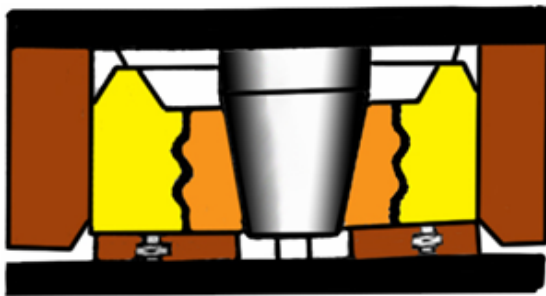
شکل (۲-۱) نمونه‌های پیچیده‌ای از قطعات پله‌ای شکل داده شده با روش هیدروفورمینگ لوله [1]

۳-۱ دسته بندی روشهای متداول تولید لوله های پله ای

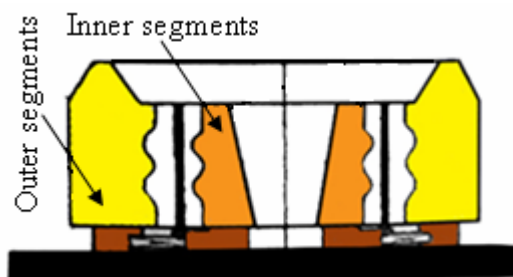
روشهای تولید لوله های پله ای بطور کلی به دو دسته روشهای سنتی و روشهای نوین تقسیم می شوند، در روشهای سنتی تمام لوله پله ای و یا قسمتی از آن عمدتاً با روشهایی مانند پرس کاری، اسپینینگ و یا سایر روشهای شکل دهی فرم داده شده و سپس با پس عملیات مونتاژی نظیر جوشکاری به هم متصل می شوند. در ادامه هر یک از روشهای سنتی مذکور توضیح داده خواهد شد.

۱-۳-۱ روش پرس کاری^۱

روش متداولی که برای ایجاد شکل ها در دیواره لوله ها و پوسته ها مورد استفاده قرار می گیرد پرس کاری می باشد. در این روش در طی عملیات با پایین آمدن کوبه پرس اجزای شکل دهنده خارجی در راستای شعاعی منقبض می گردند و اجزای شکل دهنده داخلی توسط سنبه نوک تیز شیب دار بطرف بیرون حرکت و قطعه را در روی دیواره اجزای خارجی شکل می دهند. با بالا رفتن پرس این اجزا توسط فنر ها بجای اولیه خود برمی گردند. مهمترین عیب این روش آن است که فضای خالی بین اجزای شکل دهنده، نیاز به در آوردن، چرخاندن و دوباره پرس کردن قطعه کار جهت از بین بردن اثر فضای خالی در این روش دارد [2].



(ب) موقعیت فرم دهی



(الف) موقعیت بارگیری (قرار گرفتن قطعه در قالب)

شکل (۳-۱) شکل دهی لوله های پله ای استوانه ای با استفاده از روش پرسکاری در قالبهای چند تکه [2]

¹ Pressing

۱-۳-۲ روش اسپینینگ^۱

اسپینینگ روشی برای کاهش ضخامت دیواره لوله و شکل دهی آن به فرم های متقارن محوری با اعمال دوران و فشار است. کاربرد این روش بیشتر برای صنایع هوا فضا می باشد. اسپینینگ علی رغم مزایایی همچون امکان تولید قطعات با شکل های خاص، یکپارچگی قطعه کار و تغییر تدریجی و یکنواخت ضخامت قطعه کار دارای عیب اصلی محدودیت در تولید لوله ها با مقطع غیر دوار نامتقارن محوری است. شکل (۴-۱) نمونه ای از لوله پله ای بدست آمده با روش اسپینینگ را نشان می دهد [2].



شکل (۴-۱) نمونه از قطعه پله ای شکل داده شده با روش اسپینینگ [2]

علاوه بر معایب یاد شده برای هریک از روشهای سنتی تولید لوله های پله ای شرح داده شده در بالا، همانطور که بیان گردید در روشهای سنتی تولید لوله های پله ای، پس از تولید پله ها برای مونتاژ پله ها به یکدیگر و یا تولید لوله های پله ای با سطوح مقاطع متفاوت که امکان تولید آنها در یک قالب وجود ندارد، از جوشکاری استفاده می شود. جوشکاری، موجب تغییر خواص ماده، بوجود آمدن تنش های پسماند، اعوجاج در قطعه، هزینه های اضافی قید و بند، افزایش دور ریز مواد و افزایش وزن قطعه کار به علت عدم یکپارچگی می شود.

بدون شک، هدف اصلی و عامل اساسی گسترش اصول فرآیندهای شکل دهی فلزات، تولید قطعات با خواص مکانیکی، کیفیت سطوح و دقت ابعادی مطلوب، صرفه جویی در انرژی و مواد اولیه، افزایش بازدهی با کاهش هر چه بیشتر عملیات بعدی، کاهش عملیات نهایی روی محصول و در نتیجه کاهش هزینه های جنبی تولید برای کسب توانایی رقابت در عرصه تجارت جهانی است [3].

¹ Spinning

با در نظر گرفتن معایب ذکر شده برای روشهای سنتی فوق، محققان و صنعتگران جهت کاهش هزینه و زمان تولید و همچنین تولید محصولاتی سبکتر، کم مصرف تر و باکیفیت بالاتر به سمت فرآیندهای تولیدی نوین شکل دهی روی آوردند. یکی از این فرآیندها که امروز به شدت توجه تولید کنندگان را به خود جلب نموده، استفاده از محیطهای انعطاف پذیر در تولید قطعات توخالی و پیچیده است.

۱-۳-۳ فرآیندهای تولید با ابزار نرم ۱

در این فرآیندها در کنار مواد صلب که به عنوان اجزاء قالب، از مواد غیر صلب و انعطاف پذیر نیز استفاده می شود. این نوع فرآیندها را می توان براساس حالت ماده غیر صلب به سه دسته عمده تقسیم کرد:

۱- حالت جامد: مانند استفاده از قطعات لاستیکی در قالب

۲- حالت مایع: فرآیندهای هیدروفرمینگ با سیال مایع مانند هیدرو فرمینگ لوله

۳- حالت گاز: فرآیندهای هیدروفرمینگ با سیال گاز مانند شکل دهی سوپر پلاستیک ها به وسیله گاز داغ [4].

در حال حاضر اکثر لوله های پله ای با مقاطع توخالی بدون جوش با روش هیدروفرمینگ شکل داده می شوند.

۱-۴ هیدرو فرمینگ

هیدروفرمینگ تکنولوژی است که از فشار سیال جهت شکل دهی بلنک های فلزی به هندسه های مطلوب استفاده می کند. با استفاده از فشار یکنواخت سیال که روی کل سطح قطعه توزیع می شود، قطعه ای با خواص مکانیکی خوب بدست می آید. از جمله مزایای دیگر هیدرو فرمینگ می توان به قابلیت تولید قطعات پیچیده، دقت ابعادی بهتر و شکل دهی موادی که قابلیت شکل دهی کمی دارند، اشاره کرد [5].

¹ Soft-Tool forming

در حالت کلی هیدرو فرمینگ را می توان به دو دسته تقسیم کرد:

هیدرو فرمینگ لوله ۱ و هیدرو فرمینگ ورق^۲ [5].

۱-۴-۱ هیدرو فرمینگ لوله

چنانچه از فرآیند هیدروفرمینگ برای شکل دهی بلنک های با مقاطع لوله ای استفاده شود به آن فرآیند هیدرو فرمینگ لوله اطلاق می گردد [6]. چرخه فرآیند هیدروفرمینگ لوله در شکل (۱-۵) نشان داده شده است. ابتدا یک قطعه لوله ای شکل خام یا پیش فرم داده شده درون قالب قرار می گیرد و سپس بعد از بسته شدن قالب، سنبه های آب بندی بصورت هیدرولیکی پیش رانده شده دو انتهای لوله را به گونه ای که بطور کامل آب بندی نشود، می پوشانند. بلا فاصله سیال توسط پمپ به درون لوله تزریق می شود. در این حین هوا از فاصله کوچک بین سنبه ها و لوله خارج می شود. وقتی لوله پر شد، سنبه ها آب بندی را کامل می کنند و افزایش فشار آغاز می شود. همزمان با آن، تغذیه محوری اعمال می شود و با حرکت کنترل شده سنبه ها مواد به داخل قالب رانده شده و قطعه شکل می گیرد. اعمال تغذیه مواد به داخل قالب می تواند از یک طرف و یا چند جهت انجام گیرد. در مرحله بعد وقتی قطعه تا حدودی شکل گرفت، فشار داخلی افزایش یافته، مرحله شکل گیری نهایی انجام می شود. این مرحله برای کامل کردن شعاع های کوچک استفاده می شود. بعد از اتمام فرآیند شکل دهی فشار داخلی تا حد صفر کاهش یافته، سنبه ها به موقعیت اولیه خود برگشته و قالب باز می شود و قطعه بیرون آورده می شود [7].

مزایای استفاده از هیدروفرمینگ لوله در مقایسه با روشهای سنتی شکل دهی لوله شامل موارد زیر است [5]:

- ۱- کاهش وزن قطعه: به علت تولید قطعات یک تکه به جای قطعات مونتاژی و جوشکاری شده.
- ۲- کاهش هزینه مواد اولیه و ضایعات: به دلیل کاربری بالای استفاده از مواد اولیه و همچنین کم بودن ضایعات این فرآیند.

¹ Tube hydroforming

² Sheet hydroforming