بسم الله الرحمن الرحيم

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

طراحی یونیت هیدروفرمینگ و شبیه سازی فرایند هیدروفرمینگ برای قطعات خاص

استاد راهنما:
دکتر هادی همایی

اساتید مشاور:
دکتر لوح موسوی
دکتر تهرانی

پژوهشگر:
حیدر علی هاشمی بروجنی

مهر ماه ۱۳۹۱

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه آقای حیدر علی هاشمی بروجنی جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک
گرایش طراحی کاربردی با عنوان:
طراحی یونیت هیدروفرمینگ و شبیه سازی فرایند هیدروفرمینگ برای قطعات خاص
در تاریخ .....با حضور هیات داوران زیر بررسی و با رتبه/نمره.....مورد تایید نهایی قرار گرفت.

۱. **استاد راهنمای پایان نامه دکتر.....بامرتبه علمی.....امضاء.....**

۲. **استاد مشاور پایان نامه دکتر.....با مرتبه علمی.....امضاء.....**

۳. **استاد مشاور پایان نامه دکتر.....با مرتبه علمی.....امضاء.....**

۴. **استاد داور پایان نامه دکتر.....با مرتبه علمی.....امضاء.....**

۵. **استاد داور پایان نامه دکتر.....با مرتبه علمی.....امضاء.....**

دکتر.....
معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی
دانشکده مکانیک

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات

و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه شهرکرد است.

سپاس و قدردانی

اکنون که به یاری بزرگ آفریننده جهان در انجام این پایان‌نامه پیروزی یافتم، بر خود لازم می‌دانم از همه بزرگوارانی که درانجام این تحقیق به من کمک رساندند قدردانی کنم.

از راهنمایی‌ها و کمک‌های فراوان اساتید گرامی ، آقای دکترهادی همایی و آقای دکتر لوح موسوی و دوست عزیزم مهندس رسول فرامرزی، کمال تشکر را دارم.

تقدیم به

مادر فداکار و مهربانم...

چکیده

فرآیند هیدروفرمینگ لوله جزء روشهای جدید شکل‌دهی فلزات است که در آن از فشار بسیار بالای سیال بمنظور شکل دادن فلز استفاده می شود و انواع مختلفی از تولیدات صنعتی پیچیده را می توان به کمک هیدروفرمینگ تولید نمود.

در تحقیق حاضر ضمن بررسی انواع فرایند هیدروفرمینگ لوله، تحلیل تئوری فرآیند هیدروفرمینگ اتصالات سه راهی جهت تخمین پارامترهای حاکم بر فرآیند وبعنوان مقادیر اولیه ورودی برای تحلیل اجزا محدود، انجام شده است. فرآیند هیدروفرمینگ لوله یک فرآیند نسبتاً پیچیده است که کارایی آن به عوامل مختلفی وابسته بوده و نیازمند ترکیب مناسبی از طراحی قطعه، انتخاب ماده و مسیر بارگذاری است. شبیه سازی فرایند هیدروفرمینگ به روش اجزا محدود قادر است اطلاعاتی را پیرامون تاثیر پارامترهای مختلف بر جریان ماده، توزیع تنش و کرنش، درصد کاهش ضخامت، چروکیدگی احتمالی و یا ترکیدگی لوله بدست دهد. در این راستا شبیه سازی فرایند بمنظور بهینه کردن مسیر بارگذاری (فشار) و پیش بینی عیوب احتمالی و تعیین حد بهینه تغذیه محوری نسبت به میزان پیشروی به کمک نرم افزار " eta/Dynaform v.5.2"انجام شده است.

در مرحله بعد برای تولید اتصال مورد نظر ، دستگاه هیدروفرمینگ لوله شامل سیستم هیدرولیک، قالب، سنبه های هیدرولیکی و تجهیزات جانبی، طراحی، شبیه سازی و ساخته شده است.

در انتها با توجه به نتایج بدست آمده از تحلیل های تئوری و عددی ، تحت فشارهای بدست آمده و شرایط روانکاری مناسب به تولید عملی قطعه پرداخته شد و مشاهده گردید نتایج حاصله از روابط تئوری و شبیه سازی با واقعیت موجود تولید قطعه، همخوانی و مطابقت خوبی دارد.

کلمات کلیدی: هیدروفرمینگ لوله، تحلیل اجزاء محدود، مسیر بارگذاری فشار، تغذیه محوری، میزان پیشروی، دستگاه هیدروفرمینگ

فهرست مطالب

عنوانشماره صفحه

فصل اول _ مقدمه	**۱**
۱-۱ مقدمه و تاریخچه	**۱**
۱-۲ فرایند هیدروفرمینگ لوله	**۸**
۱-۳ تقسیم‌بندی فرایند هیدروفرمینگ لوله	**۱۱**
۱-۳-۱ هیدروفرمینگ فشار پایین	**۱۱**
۱-۳-۲ هیدروفرمینگ فشار بالا	**۱۳**
۱-۳-۳ هیدروفرمینگ فشار متغیر	**۱۵**
۱-۳-۴ هیدروبالجینگ	**۱۶**
۱-۳-۵ شکل‌دهی اتصالات انعطاف‌پذیر	**۱۷**
۱-۳-۶ هیدروبالج‌ینگ با فشار خارجی	**۱۸**
۱-۳-۷هیدروفرمینگ لوله فشار بالای دو جانبه	**۱۹**
فصل دوم _ تحلیل تئوری فرایند هیدروفرمینگلوله	**۲۱**
۲-۱ تعریف مسئله	**۲۱**
۲-۲ عوامل موثر بر فرآیند هیدروفرمینگ	**۲۲**
۲-۲-۱ فشار داخلی	**۲۵**
۲-۲-۱-۱ محاسبه فشار داخلی بدون وجود نیروی محوری	**۲۸**
۲-۲-۱-۲محاسبه فشار داخلی با وجود نیروی محوری	**۳۰**
۲-۲-۲ تعیین مسیر بارگذاری فشار	**۳۵**
۲-۲-۳ اصطکاک و روانکاری	**۳۶**
۲-۲-۴ سیال هیدروفرمینگ	**۳۷**
۲-۳ دیاگرام حد شکل دهی	**۳۸**
فصل سوم _ تجزیه و تحلیل با استفاده از اجزا محدود	**۳۹**
۳-۱ مقدمه	**۳۹**
۳-۲ شبیه‌سازی فرآیند	**۴۱**
۳-۳ معرفی سیستم مورد مطالعه	**۴۲**
فصل چهارم_ طراحی و ساخت دستگاه هیدروفرمینگ لوله	**۶۸**
۴-۱ مقدمه	**۶۸**
۴-۲ تجهیزات دستگاه هیدروفرمینگ لوله	**۶۸**
۴-۲-۱ پرس مورد نیاز	**۶۹**
۴-۲-۲ طراحی قالب	**۷۰**
۴-۲-۳ انتخاب نوع پیچ‌ها	**۷۱**

۴-۲-۴ تعیین جنس ابزار	۷۱
۴-۲-۵ تعیین نوع آببندی	۷۱
۴-۲-۵-۱ آببندی در سطح انتهایی لوله ها	۷۲
۴-۲-۵-۲ آببند ی سنبه هیدرولیکی	۷۲
۴-۲-۶ مونتاژ مجموعه	۷۳
۴-۳ طراحی سیستم هیدرولیک	۷۴
۴-۳-۱ سیستم کنترل فشار داخلی	۷۵
۴-۳-۲ سیستم کنترل سنبه های هیدرولیکی	۷۵
۴-۳-۳ کنترل مدار سیستم هیدرولیک	۷۸
۴-۴ ساخت نمونه با استفاده از فرآیند هیدروفرمینگ	۸۱
۴-۵دستگاه هیدروفرمینگ مورد اسنفاده	۸۱
۴-۶ بررسی تجربی شرایط تحلیلی فصل دوم	۸۴
۴-۶-۱ اعمال فشار در ناحیه آببندی(الاستیک)	۸۴
۴-۶-۲ اعمال فشار در ناحیه شکل دهی (پلاستیک)	۸۴
۴-۶-۳ اعمال فشار در ناحیه کالیبراسیون(پلاستیک)	۸۷
۴-۷ بررسی شکل دهی همراه با تغذیه محوری	۸۸
۴-۷-۱ مرحله نهایی تست	۹۸
۴-۸ بررسی عیوب احتمالی در فرآیند هیدروفرمینگ	۱۰۵
۴-۸-۱ چروکیدگی	۱۰۵
۴-۸-۲ کمانش	۱۰۶
۴-۸-۳ پارگی (ترکیدگی)	۱۰۶
فصل پنجم_ بررسی نتایج و بحث	۱۰۸
۵-۱ مقدمه	۱۰۸
۵-۲ مسیر بهینه فشار و جزئیات آن	۱۰۸
۵-۳ تنظیمات بهینه سنبه مهار کننده جانبی	۱۰۹
۵-۴ تنظیمات بهینه تغذیه محوری	۱۰۹
۵-۵ بررسی تاثیرات ضریب اصطکاک	۱۱۰
۵-۶ بررسی تاثیر فشار داخلی	۱۱۱
۵-۷ نتیجه‌گیری و جمع‌بندی	۱۱۱
۵-۸ پیشنهاد	۱۱۲
مراجع	۱۱۳

فهرست شکل ها و جداول

عنوانشماره صفحه

فصل اول	
شکل۱-۱ بسته شدن قالب	**۸**
شکل۱-۲ پیشروی سیلندرهای انتهایی	**۸**
شکل۱-۳ شکل گیری قطعه همراه به تغذیه محوری	**۹**
شکل۱-۴ خارج شدن قطعه از قالب	**۹**
شکل۱-۵ مثال هایی از کاربرد هیدروفرمینگ لوله در صنایع مختلف	**۱۱**
شکل۱-۶ مقایسه نحوه اعمال فشار در هیدروفرمینگ در فشار های مختلف	**۱۲**
شکل۱-۷ شکل گیری مقطع قطعه در حین فرایند	**۱۳**
شکل۱-۸ شمای فرایند هیدروفرمینگ فشار بالا	**۱۳**
شکل۱-۹ ترتیب اعمال فشار در هیدرو بالجینگ	**۱۶**
شکل۱-۱۰ قطعه هیدروفرم شده با ۴۵ در انبساط	**۱۶**
شکل۱-۱۱ فرایند تولید اتصالات انعطافی	**۱۷**
شکل۱-۱۲ اتصال انعطافی	**۱۷**
شکل۱-۱۳ هیدروفرمینگ با فشار خارجی	**۱۸**
شکل۱-۱۴ اتصال دو قطعه با اعمال فشار خارجی	**۱۸**
شکل۱-۱۵ هیدروفرمینگ لوله فشار بالای دو جانبه	**۱۹**
فصل دوم	
شکل۲-۱ اتصال T شکل مسی	**۲۱**
شکل۲-۲ منحنی کنترل همزمان مسیر فشار و نیروی محوری و طول کورس	**۲۱**
شکل۲-۳ نمودار تنش کرنش مهندسی	**۲۳**
شکل۲-۴ نمودار تنش کرنش واقعی در مقیاس لگاریتمی	**۲۳**
جدول۲-۱ خواص مکانیکی و ابعادی لوله مسی	**۲۴**
شکل۲-۵ شکل فرایند	**۲۴**
شکل۲-۶فشار شکل دهی در مقابل تغذیه انتهایی	**۲۵**
شکل۲-۷ نمودار مراحل شکل دهی	**۲۶**
شکل۲-۸ تنش های وارد شده روی المانی در وسط لوله	**۲۶**
شکل۲-۹ تعادل نیروها در ابتدای فرایند با اعمال فشار و نیروی محوری	**۲۹**
شکل۲-۱۰ فرضیات حالت تغییر شکل لوله	**۳۰**
شکل۲-۱۱ نواحی شعاع داخلی در گوشه های قالب	**۳۱**
شکل۲-۱۲ استوانه جدار ضخیم	**۳۱**

شکل۲-۱۳ سطح مقطع سیلندر دایره ای ضخیم	۳۲
شکل۲-۱۴ زمان شبیه سازی	۳۵
شکل۲-۱۵ نمودارFLD برای لوله مسی	۳۷

فصل سوم	
شکل۳-۱ مدل مش بندی شده	۴۱
جدول۳-۱ نتایج تست بدون سنبه مهار کننده	۴۲
شکل۳-۲ بدون سنبه مهار کننده با تغذیه محوری ۱۰ میلی متر	۴۳
شکل۳-۳ بدون سنبه مهار کننده بدون تغذیه محوری	۴۴
شکل۳-۴ تغذیه محوری ۲.۵ میلی متر و سنبه ۵ میلی متر	۴۵
شکل۳-۵ تغذیه محوری ۵ میلی متر و سنبه ۵ میلی متر	۴۵
شکل۳-۶ تغذیه محوری ۷.۵ میلی متر و سنبه ۵ میلی متر	۴۶
شکل۳-۷ تغذیه محوری ۱۰ میلی متر و سنبه ۵ میلی متر	۴۶
جدول۳-۲ نتایج تست در حضور سنبه مهار کننده در فاصله ۵ میلی متری	۴۷
شکل۳-۸ تغذیه محوری ۲.۵ میلی متر و سنبه ۱۰ میلی متر	۴۸
شکل۳-۹ تغذیه محوری ۵ میلی متر و سنبه ۱۰ میلی متر	۴۸
شکل۳-۱۰ تغذیه محوری ۷.۵ میلی متر و سنبه ۱۰ میلی متر	۴۹
شکل۳-۱۱ تغذیه محوری ۱۰ میلی متر و سنبه ۱۰ میلی متر	۵۰
شکل۳-۱۲ تغذیه محوری ۱۲.۵ میلی متر و سنبه ۱۰ میلی متر	۵۱
شکل۳-۱۳ تغذیه محوری ۱۵ میلی متر و سنبه ۱۰ میلی متر	۵۲
شکل۳-۱۴ تغذیه محوری ۲۰ میلی متر و سنبه ۱۰ میلی متر	۵۳
جدول۳-۳ نتایج تست در حضور سنبه مهار کننده در فاصله ۱۰ میلی متری	۵۳
شکل۳-۱۵ نمودار FLD تغذیه محوری ۲.۵ و سنبه در فاصله ۱۰ میلی متر	۵۴
شکل۳-۱۶ نمودار FLD تغذیه محوری ۵ و سنبه در فاصله ۱۰ میلی متر	۵۵
شکل۳-۱۷ نمودار FLD تغذیه محوری ۷.۵ و سنبه در فاصله ۱۰ میلی متر	۵۵
شکل۳-۱۸ نمودار FLD تغذیه محوری ۱۰ و سنبه در فاصله ۱۰ میلی متر	۵۶
شکل۳-۱۹ نمودار FLD تغذیه محوری۱۲.۵ و سنبه در فاصله ۱۰ میلی متر	۵۷
شکل ۳-۲۰: نحوه مش بندی المان ها قبل از تغییر شکل	۶۱
شکل ۳-۲۱: نحوه مش بندی المان ها بعد از تغییر شکل	۶۱
شکل ۳-۲۲: وضعیت کرنش های اصلی بعد از تغییر شکل	۶۲
شکل ۳-۲۳: وضعیت تنش بعد از تغییر شکل	۶۳
شکل ۳- ۲۴ الف: وضعیت مش بندی ۱۵ میلی متر قبل از تغییر شکل	۶۴
شکل ۳- 25 الف: وضعیت مش بندی ۱.۵ میلی متر قبل از تغییر شکل	۶۵
شکل ۳- ۲۶ الف: وضعیت مش بندی ۵ میلی متر قبل از تغییر مش بندی	۶۶

فصل چهارم	
شکل۴-۱ شمای کلی مجموعه قالب و ابزار	۶۹
شکل۴-۲ ابیندی با اورینگ همراه با قابلیت حرکت محوری	۷۱
شکل۴-۴ سنبه هیدرولیک واتصالات ان	۷۲
شکل۴-۵ قالب هیدروفرمینگ	۷۲
شکل۴-۶ محل و طرز قرار گیری قالب و سنبه ها	۷۳
شکل۴-۸ مدار هیدرولیک اعمال فشار داخلی	۷۴
شکل۴-۹ مدار هیدرولیک کنترل جک ها با مقسم جریان	۷۷
شکل۴-۱۰ مدار هیدرولیک کنترل جک ها با هیدرو موتور کوبل شده	۷۸
شکل۴-۱۱ مدار هیدرولیک سیسنم هیدروفرمینگ با کنترل دستی	۷۹
شکل۴-۱۲مدار الکتریکی کنترل	۸۰
شکل۴-۱۳ مدار هیدرولیکی طراحی شده در آزمایشگاه فستو	۸۱
شکل۴-۱۴پمپ هیدرولیک ۴۰۰ بار	۸۱
شکل۴-۱۵(الف.ب) مجموعه دستگاه آزمایش هیدروفرمینگ	۸۵
شکل۴-۱۶ مسیر بارگذاری فشار	۸۶
شکل۴-۱۷(الف.ب) اتصال ساخته شده بدون تغذیه محوری	۸۷
شکل۴-۱۸(الف.ب) مرحله اول	۸۸
شکل۴-۱۹ مرحله دوم	۹۱
شکل۴-۲۰مرحله سوم	۹۳
شکل۴-۲۱(الف.ب) مرحله چهارم	۹۴
شکل۴-۲۲(الف.ب) مرحله پنجم	۹۶
شکل۴-۲۳مرحله ششم	۹۷
شکل۴-۲۴(الف.ب) مرحله هفتم	۹۸
شکل۴-۲۵مرحله هشتم	۱۰۱
شکل۴-۲۶(الف.ب) مرحله نهم	۱۰۲
شکل۴-۲۷مرحله دهم	۱۰۴
جدول۴-۱ خلاصه مطالب	۱۰۵
شکل۴-۲۸چروکیدگی	۱۰۶
شکل۴-۲۹چروکیدگی	۱۰۷
شکل۴-۳۰پلوگی (ترکیدگی)	۱۰۸

فهرست علائم اختصاری

d قطر خارجی لحظه‌ای لوله

D_0 قطر خارجی اولیه لوله

E مدول الاستیسیته

F_a نیروی محوری

F نیروی محوری اعمالی به لوله داخلی

k ضریب استحکام

L طول نهایی لوله

l طول تماس اولیه لوله

m ضریب حساسیت به نرخ کرنش

n توان کارسختی

n توان کارسختی لوله

P_a فشار داخلی استوانه جدار ضخیم

$P_{for\ min\ g}$ فشار شکل دهی لوله

P_i فشار لحظه‌ای

P_{imin} حداقل فشار اولیه

P_{iy} فشار تسلیم

P_{ib} فشار ترکیدگی

P_{imax} فشار کالیبراسیون

R ضریب ناهمسانی

r_a شعاع داخلی استوانه جدار ضخیم

r_b شعاع خارجی استوانه جدار ضخیم

r_0 شعاع داخلی اولیه لوله

R شعاع خارجی نهایی لوله

t_0 ضخامت اولیه لوله

t_i ضخامت لحظه‌ای لوله

α نسبت تنش

β نسبت کرنش

ε کرنش

μ ضریب اصطکاک

υ ضریب پواسون

ρ چگالی

σ_θ تنش مماسی

σ_r تنش شعاعی

σ_y تنش تسلیم

σ_{uts} حداکثر تنش کششی

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه و تاریخچه

امروزه یکی از روشهای هوشمندانه، ساده و با دقت در شکل دهی فلزات، شکل دهی به روش هیدروفرمینگ است. هیدروفرمینگ یکی از روشهای تولید است که در آن به کمک اعمال فشار سیال، قطعه ورودی به شکل از پیش طراحی شده حفره قالب، در می‌آید.

قطعه ورودی به دو صورت ورق و یا لوله مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا براساس نوع قطعه اولیه، چنانچه از ورقهای فلزی استفاده شود، فرآیند مذکور،هیدرفرمینگ ورق و در صورت استفاده از قطعات لوله مانند، فرآیند، هیدرفرمینگ لوله، نامیده می‌شود. در هر دو روش فوق الذکر، به یک ابزار هیدروفرمینگ (قالب)، یک پرس هیدرولیک و یک سیستم تقویت کننده فشار سیال، نیاز است.

یک سیکل کاری فرآیند شامل قرار دادن قطعه خام در قسمت پایین قالب، بسته شدن قالب و اعمال فشار سیال به قطعه با مقطع لوله ای و یا ورق فلزی است. فشار سیال به حدی است که باعث ایجاد تغییر شکل پلاستیک در قطعه گردیده و آن را به شکل حفره قالب، در می آورد. ایجاد سوراخها و یا شکافهای از پیش طراحی شده نیز در حین فرآیند که قطعه تحت فشار بالای سیال است، امکان پذیر است[1].

امروزه این روش به عنوان جایگزینی برای فرآیندهای سنبه ماتریسکاری و جوشکاری سنتی، در ساخت اجزاء اتومبیل به خودروسازان پیشنهاد می شود. این روش می تواند وزن قطعه را کاهش داده، دورریز مواد را به حداقل رسانده و منجر به ساخت قطعات مستحکم تر و مقاوم‌تر که نیاز به جوشکاری

کمتر نیز داشته باشند، شود. همچنین می تواند دقت ابعادی را در کاربردهای خاص بسیار بهبود بخشد[۲].

اجزاء لوله ای هیدروفرم شده دارای نسبت استحکام به وزن بالاتر و قیمت پایین‌تر در مقایسه با روشهای معمول تولید قطعات مشابه هستند. روش هیدروفرمینگ لوله با موفقیت در تولید انبوه مورد استفاده قرار گرفته است. قیمت پایین به شرط تولید انبوه برای اشکال پیچیده، وزن کمتر و کیفیت بهتر، مؤلفه های اصلی پیشرفت سریع این روش می باشد. در روش هیدروفرمینگ ورق، امکان بدست آوردن عمق کشش بالاتر، قیمت پایین‌تر ابزار قالب و یکنواختی بیشتر در کشیده شدن مواد در مقابل سطوح اعمال کشش وجود دارد. با این حال به خاطر نیاز به سیکل تولید طولانی‌تر و پرسهای عظیم، این روش در حد تولید غیرانبوه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کاربردهای اصلی هیدروفرمینگ لوله را می توان در صنایع خودروسازی، هواپیماسازی و همچنین لوازم بهداشتی یافت. در صنعت خودروسازی می توان از قطعات اگزوز، میل بادامکها، قاب رادیاتور، اکسلهای جلو و عقب، کلافهای موتور، میل لنگها، قاب صندلی ها، اجزاء بدنه و چارچوب کلی خودرو نام برد. [۱] .

هیدروفرمینگ یکی از انواع فناوری شکل دهی با ابزار نرم می باشد. فناوری شکل دهی با ابزار نرم خود شامل دو دسته زیر می باشد:

- فناوری شکل دهی با پد لاستیکی
- فناوری شکل دهی با سیال

شکل دهی با سیال نیز شامل دو گونه زیر می باشد:

- شکل دهی با گاز، بعنوان مثال بالجینگ سوپر پلاستیک ورقهای فلزی
- هیدروفرمینگ

در هیدروفرمینگمی توان از روغن، آب و یا دیگر سیالات بعنوان سنبه یا ماتریس استفاده کرد. از هیدروفرمینگ با اسامی گوناگونی یاد شده است: هیدروفرمینگ، شکل دهی هیدرولیکی، کشش عمیق هیدروفرمینگ، شکل دهی انعطاف‌پذیر، هیدروبالجینگ، شکل دهی فشار بالا ، شکل دهی فشار پایین و کشش عمیق هیدرومکانیکالکه از میان آنها هیدروفرمینگ را می توان برای هر وضعیتی که در آن فشار سیال بعنوان ابزار شکل دهی استفاده می شود بکار برد، درحالیکه بقیه به یک نوع خاص از فرآیند شکل دهی هیدرولیکی و فرآیندی که به کمک سیال انجام می‌شود اشاره دارند [۲].

امروزه افزایش کاربرد فناوری هیدروفرمینگ برای تولید اجزاء سبک وزن خودرو، عمدتاً به خاطر مزایای فراوان قابل دستیابی با این فرآیند در بهبود خواص قطعه و همچنین توسعه فناوری ساخت تجهیزات شکل دهی می باشد. فناوری هیدروفرمینگ می تواند به کاهش وزن تا ۳۰٪ در مقایسه با قطعات تولید شده به روشهای سنتی دست یابد. علاوه بر این کاهش چشمگیر تعداد قطعات در یک مجموعه مونتاژی را می توان به همراه بهبود خواص قطعه مانند صلبیت مشاهده نمود. بهره وری اقتصادی هیدروفرمینگ نیز بهمراه کاهش تجهیزات شکل دهی و زمان تولید ممکن شده است.

در بسیاری از موارد، معمولاً قطعه کار اولیه یک محصول نیمه تمام می باشد، مثلا یک لوله که بصورت سرد یا گرم شکل دهی شده و بصورت طولی جوشکاری گردیده است. امروزه این لوله ها برای

استفاده در هیدروفرمینگ لوله، عمدتاً از فولاد یا آلومینیوم یا مس ساخته می شوند. افزودن مواد آلیاژی و انجام عملیات حرارتی نیز در کاربردهای خاص صورت می پذیرد. برای تضمین قابلیت اطمینان فرآیند در حد رضایتبخش، علاوه بر قابلیت شکل‌پذیری کافی ماده اولیه، خواص محصول نیمه تمام نیز باید با کیفیت قابل اطمینان باشد. لوله های آلومینیومی در حال حاضر غالباً از مقاطع اکسترود شده تولید می شوند ولی بعضی از انواع آنها، بصورت لوله های درزدار با خط جوش طولی استفاده می شوند. سازندگان لوله اهمیت این بازار را درک کرده اند و در حال سرمایه گذاری برای تولید لوله های اولیه بهینه سازی شده و مناسب برای هیدروفرمینگ می‌باشند.

به طور کلی موارد زیر را می توان به عنوان مزایای اصلی قطعات تولیدی به روش هیدروفرمینگ لوله نام برد:

۱) تولید قطعات با اشکال پیچیده
۲) کاهش وزن قطعه
۳) کاهش تعداد اجزاء تشکیل دهنده یک قطعه و میل به سمت یکپارچه شدن قطعه
۴) کاهش هزینه مونتاژ در اثر کاهش تعداد قطعات
۵) نیاز به عملیات ثانویه کمتر
۶) کاهش هزینه ابزار به واسطه اجزاء کمتر
۷) افزایش استحکام و صلبیت قطعه
۸) پایداری و دقت ابعادی بیشتر (کاهش برگشت فنری)

توسعه صنعتی هیدروفرمینگ از سال ۱۹۸۰ میلادی آغاز شده‌است. اما این فرآیند دارای پیشینه‌ای طولانی است. استفاده از فشار سیال برای شکل دهی به اوایل قرن بیستم میلادی باز می گردد.

پارک[1] در سال ۱۹۰۳، ابزار و اسباب لازم جهت شکل دهی یک قطعه مارپیچ توخالی را که در ساختمان یک بویلر مورد استفاده قرار می‌گیرد، شرح داده است. قطعه مارپیچی شکل از یک قطعه لوله ای ساخته شده بود. در ابتدا یک لوله مستقیم پیش‌گرم شده در داخل قالب قرار داده شده و سپس به وسیله سرب مذاب پر گردیده است ؛در نهایت فلز مذاب تحت فشار قرار گرفته تا اینکه لوله به شکل حفره قالب تغییر شکل دهد. اصول اولیه استفاده از سیال تحت فشار در شکل دهی، در این مقاله دیده می‌شوند.

در سال ۱۹۱۷،فوستر[2] یک فرایند جهت بهبود نحوه خم‌کاری لوله‌های برنجی که در ابزارآلات موسیقی مورد استفاده قرار می گرفتند را به عنوان یک مقاله منتشر گرد اند. باتوجه به شرح مقاله، المانهای اساسی در فرایند هیدروفرمینگ لوله دیده می شوند. مزایـای این روش در مقاله تحت عنوان کاهش کاردستی و بهبود یکنواختی در شکـل و ابعـاد نهـایی معـرفی می گردنـد. امـروزه از تکنیکهای مشابهی برای تولید شیرآلات بهداشتی استفاده می گردد.

[1] park
[2] fooster

گری[3] در سال ۱۹۴۰، به بررسی ساخت یک قطعه T شکل پرداخته است . از مشخصه های این روش تغذیه محوری لوله در فشار پایین سیال و سپس افزایش فشار سیال تا حد حداکثر برای شکل دهی نهایی می‌باشد. روش تغذیه مواد از دو انتهای لوله به سمت وسط،امکان تولید قطعات چند انشعابه را فراهم می نماید.

باتوجه به بررسی سوابق موجود، رشد شگفت انگیز روش هیدروفرمینگ لوله در صنعت، به دو دهه اخیر باز می گردد.

در سال ۱۹۸۶، شرکت " سهامی استاندارد لوله کانادا[4]" ، تولید کننده لوله و قطعات لوله مانند، نخستین مقاله را در آمریکای شمالی جهت کاربرد تکنیک هیدروفرمینگ برای قطعات و قابهای بزرگ منتشر نمود[۱].

در سال ۱۹۹۸،بروگمن و چی مو[3] از شرکت جنرال موتورز ایده استفاده از لوله های با ضخامتها و قطرهای مختلف و به صورت چند قسمتی را در تولید یک قاب کامل به روش هیدروفرمینگ در یک قالب، معرفی نمودند. در این روش، ابتدا تعدادی از قطعات لوله ای شکل ساده به همدیگر جوش داده می شوند تا شکل مونتاژ مورد نظر را به صورت اولیه، ایجاد نماید. قطعات مونتاژ شده در نهایت در یک قالب با حفره مناسب، هیدروفرم می‌گردند [۳].

در سال ۱۹۹۹، ک.ماناب[4] با استفاده از روشهای اجزا محدود به بررسی کاهش موضعی ضخامت و پارگی در هیدروفرمینگ قطعات لوله مانند پرداخته است. در این مقاله تأثیر پارامترهای فرایند و ماده، نوع المانهای مورد استفاده و شکل مقطع نهایی بر کاهش موضعی ضخامت با استفاده از شبیه سازی مورد بحث قرار گرفته است [۴].

در سال ۱۹۹۹، ت.آلتان[5] به اتفاق همکاران خود، به بررسی آثار ویژگیهای مواد در فرآیند هیدروفرمینگ لوله پرداخته است. این مقاله روشی کاربردی جهت تعیین جریان تنش مواد لوله مورد استفاده در فرآیند را شرح می دهد[۵].

در سال ۱۹۹۹، م.پریر[6] به همراه همکاران خود، به بررسی پیشرفتهای حاصله و آینده شکل دهی مقاطع توخالی به کمک فشار سیال پرداخته است [۶].

ا.گوآتی[7] به اتفاق همکاران خود در سال ۱۹۹۹ به شبیه سازی و کنترل فرآیند هیدروفرمینگ لوله به صورت سه بعدی پرداخته است. کد اجزا محدود مورد استفاده در این فعالیت بر پایه المان پوسته ای ایزوپارامتریک با ۳ یا ۴ گره استوار بوده است [۷].

در سال ۲۰۰۰، موآمرکوک[8] به اتفاق همکاران خود، به فعالیت در مورد استفاده از روش اجزاء محدود و طراحی یک سری آزمایشهای تجربی برای تدوین راهکارهایی جهت طراحی و ساخت قطعات

---

[3] gray
[4] Standard Tube Canada of Woodstock
[3] Bruggemann&Chi – Mou
[4] K. Manabe
[5] T. Altan
[6] M. Prier
[7] O.Ghouati
[8] Muammerkoc

ساده هیدروفرم شده پرداخته است . در این مقاله، کوشیده شده است، مدلهایی برای پیش بینی حداکثر ارتفاع برآمدگی در قطعات T شکل هیدروفرم شده، معرفی گردند [۸].

در سال ۲۰۰۰، لی پینگ لی[1] و همکاران به تحلیل و طراحی فرآیند هیدروفرمینگ هوزینگ اکسل عقب اتومبیل با استفاده از روش اجزاء محدود پرداخته اند[۹] .

در سال ۲۰۰۲، پ.گروچ[2] مقاله‌ای در زمینه عملکرد و تأثیر روانکارها در هیدروفرمینگ لوله ارائه نموده است [۱۰].

در سال ۲۰۰۲، فولرتسن و م.پلانکاک [3] به بررسی امکان سنجی تعیین ضریب اصطکاک در فرآیند هیدروفرمینگ لوله پرداختند. در مقاله ارائه شده، باتوجه به اهمیت وتأثیر زیادضریب اصطکاک در فرآیندهای شکل دهی و عدم کارآیی قطعی روشهای آزمایش موجوددرتعیین ضریب اصطکاک به ویژه در ناحیه انبساط فرآیند هیدروفرمینگ که قطعه به صورت کاملاً پلاستیک تغییر شکل می دهد، یک روش جدید که بر پایه "وارونه کردن لوله[4]"بنا شده است، معرفی می گردد. در این روش، مقایسه و الحاق نتایج آزمایشهای تجربی و شبیه سازی اجزا محدود، منجر به تعیین ضریب اصطکاک میگردد [۱۱] .

در سال۲۰۰۲، ماومرکوک وتایلان آرتان[5]، ضمن ارائه مقاله ای به بررسی کاربرد روش اجزاء محدود محدود دو بعدی در فرآیند هیدروفرمینگ لوله پرداختند. در این مقاله تعدادی از حالتهای مورد مطالعه جهت شرح کارآیی و استفاده از تحلیل اجزاء محدود دو بعدی، در هیدروفرمینگ لوله معرفی گردید [۱۲].

در سال ۲۰۰۴، ج.نگیل[6] به اتفاق همکاران خود به بررسی روانکاری در هیدروفرمینگ لوله پرداخت. پرداخت. در مقاله ارائه شده از سوی این گروه، بر روی مکانیزمهای روانکاری که در قالب و در نواحی گذرا وانبساط اتفاق می افتد، بحث گردیده است و جزئیات مربوط به دو مدل آزمایش کاربردی برای بررسی رفتار و عملکرد روانکارهای مورد استفاده در هیدروفرمینگ لوله و نوع پوشش قالب، ارائه شده است. در فعالیت انجام گرفته توسط این گروه،اساس بهینه سازی ابعاد قالب مدل، بر پایه تحلیل اجزا محدود و آزمایشهای تجربی و الحاق نتایج با یکدیگر بوده است [۱۳].

درسال ۲۰۰۴، ماتو استرانو[7] به اتفاق همکاران خود، مقاله ای را در زمینه توسعه و پیشرفت فرآیند هیدروفرمینگ لوله با استفاده از روشهای اجزا محدود ارائه نمود. در بخش نخست این مقاله، مؤلفین به بررسی اطلاعات و داده های مورد نیاز و حساس ورودی به برنامه اجزاء محدود می پردازند. در بخش دوم این مقاله، برخی از روشها و استراتژیهای سودمند در زمینه روش اجزا محدود که هم اینک در اکثر مراکز تحقیقاتی مورد استفاده قرار می گیرند، شرح داده می شوند [۱۴].

در سال ۲۰۰۴، تایلان آرتان[8] به همراه همکاران خود به بررسی روانکارها در فرآیند هیدروفرمینگ پرداخته و عملکرد روانکارها را به کمک آزمایش "محدود کردن ارتفاع قله[9]"و

---

[1] Li – Ping Lei
[2] P. Groch
[3] M. Plancak&F. Vollrtsen
[4] Tube Upsetting
[5] Taylan Altan&Muammerkoc
[6] G. Ngaile
[7] Matto Strano
[8] Taylan Altan
[9] LDH (Limiting Dome Height)