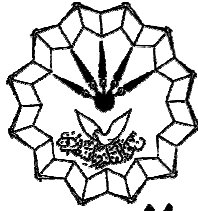




کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.



دانشگاه رازی

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک
گرایش طراحی کاربردی

عنوان پایان نامه

تحلیل کرانه بالایی فرآیند هیدروفرمینگ لوله

استاد راهنما:

دکتر حشمت اله حقیقت

نگارش:

سعیده گل محمدی

اسفند ماه ۱۳۹۱

تقدیر و سپاس

سپاس خداوند متعال را که منت نهاد و توفیق انجام این پروژه را به اینجانب ارزانی فرموده است، اکنون که بیماری و استعانت
ایزدمنان این پایان نامه به انجام رسیده، شایسته است از پدر و مادر عزیزم، این دو موبت الهی و همسر مهربانم، همراه همیشگی،
تقدیر و تشکر نمایم. همچنین از استاد راهنمای محترم و بزرگوارم جناب آقای دکتر حشمت اله حقیقت که بارها راهنمایی های ارزشمند
خویش بنده را در گردآوری این پروژه یاری نموده اند بی نهایت سپاسگزارم.

و از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر مهرداد فروتن و جناب آقای دکتر عبدالحمد عزیزم که داور این پایان نامه را بر عهده
داشتند تشکر می‌کنم.

تقدیم بہ:

پدر بزرگوار، مادر فداکارم

و

ہمسفر مہربانم

چکیده

امروزه فرآیند شکل‌دهی فلزات به روش هیدروفرمینگ به دلیل مزایایی که نسبت به دیگر روش‌های شکل‌دهی دارد به صورت گسترده‌ای در صنعت مورد استفاده قرار گرفته است. قابلیت تولید قطعات با اشکال پیچیده، نسبت استحکام به وزن بالاتر و تولید قطعات با کیفیت سطح بالاتر از جمله این مزایا می‌باشند. در این پایان‌نامه به مقایسه روش‌های تحلیل فرآیند هیدروفرمینگ لوله متقارن محوری در قالب باز و ارایه یک مدل جدید پرداخته می‌شود. هدف از انجام تحلیل، محاسبه توزیع ضخامت در لوله تغییر شکل یافته و محاسبه میزان فشار شکل‌دهی لازم در هر مرحله تغییر شکل لوله می‌باشد. برای تحلیل، یک شکل هندسی برای لوله تغییر شکل یافته پیشنهاد شده است. ابتدا به تحلیل فرض شکل کروی برای کمان بیرونی توسط روش کرانه بالایی و روش انرژی پرداخته شده است. در روش کرانه بالایی با استفاده از میدان سرعت مجاز مقادیر نرخ کرنش و کرنش معادل محاسبه شده است و در انتها توان ناشی از تغییر شکل محاسبه می‌شود و با تقسیم توان داخلی بر مشتق تغییر حجم سیال نسبت به زمان فشار به دست می‌آید. سپس به تحلیل فرآیند با سه فرض دیگر که شامل هندسه کمان بیرونی به صورت بیضی، منحنی داخلی و خارجی لوله تغییر شکل یافته به صورت دو کره غیر هم‌مرکز و منحنی داخلی و خارجی لوله تغییر شکل یافته به صورت تابع کسینوسی باشد با استفاده از روش انرژی پرداخته می‌شود. در روش انرژی با استفاده از قانون تراکم ناپذیری توزیع ضخامت به دست می‌آید. سپس با استفاده از توزیع ضخامت و معادلات حاکم، انرژی کرنشی برای لوله محاسبه شده و فشار مورد نیاز برای شکل‌دهی نیز محاسبه شده است. در انتها به تحلیل یک فرض جدید که منحنی داخلی و خارجی لوله تغییر شکل یافته به صورت دو کمان از دو بیضی هم‌مرکز و با اندازه قطرهای کوچک و بزرگ متفاوت پرداخته می‌شود. به منظور اعتبار‌دهی به تحلیل حاضر، نتایج به دست آمده با نتایج تحلیل و شبیه‌سازی عددی سایر محققان مقایسه شده‌اند.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱-۱ هیدروفرمینگ.....
۳	۱-۱-۱-۱ هیدروفرمینگ ورق.....
۴	۲-۱-۱ هیدروفرمینگ لوله.....
۴	۱-۲-۱-۱ جزئیات سیستم فرآیند هیدروفرمینگ لوله.....
۸	۱-۲-۱-۲ برخی فاکتورهای موثر در فرآیند هیدروفرمینگ لوله.....
۸	۳-۱-۱ کاربردهای هیدروفرمینگ در صنعت.....
۱۲	۴-۱-۱ مزایای روش هیدروفرمینگ.....
۱۴	۵-۱-۱ فرآیند هیدروفرمینگ در قالب باز.....
۱۶	۶-۱-۱ مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه هیدروفرمینگ لوله.....
	فصل دوم: ارائه روابط بکار رفته در تحلیل مسئله
۲۸	۱-۲ مقدمه.....
۲۸	۲-۲ کرنش موثر ون مایسز.....
۲۹	۳-۲ رفتارالاستیک-پلاستیک مواد.....
۳۱	۴-۲ تراکم ناپذیری و سازگاری.....
۳۱	۵-۲ تئوری کرانه بالایی.....
۳۳	۱-۵-۲ ناپیوستگی سرعت.....
۳۴	۲-۵-۲ توان برشی و توان اصطکاکی.....
۳۶	۶-۲ روش انرژی.....
۳۶	۱-۶-۲ انرژی کرنشی.....
	فصل سوم: تحلیل فرآیند هیدروفرمینگ در قالب باز با روش کرانه بالایی
۳۹	۱-۳ مقدمه.....
۳۹	۲-۳ تحلیل فرآیند.....

- ۳-۳- ناحیه تغییر شکل ۴۰
- ۳-۴- مشخصات هندسی ۴۱
- ۳-۵- میدان سرعت و نرخ کرنش ۴۲
- ۳-۶- توزیع ضخامت ۴۳
- ۳-۷- تئوری کرانه بالایی ۴۵
- ۳-۸- فشار شکل دهی ۴۷

فصل چهارم: تحلیل فرآیند هیدروفرمینگ در قالب باز به روش انرژی

- ۴-۱- مقدمه ۵۰
- ۴-۲- تحلیل فرآیند بر اساس فرض اول ۵۰
- ۴-۲-۱- توزیع ضخامت ۵۱
- ۴-۲-۲- محاسبه حجم ناحیه تغییر شکل یافته ۵۲
- ۴-۲-۳- انرژی کرنشی ۵۲
- ۴-۲-۴- فشار شکل دهی ۵۳
- ۴-۳- تحلیل فرآیند بر اساس فرض دوم ۵۴
- ۴-۳-۱- توزیع ضخامت ۵۵
- ۴-۳-۱-۱- محاسبه حجم ۵۶
- ۴-۳-۲- انرژی کرنشی ۵۷
- ۴-۳-۳- فشار شکل دهی ۵۸
- ۴-۴- تحلیل فرآیند بر اساس فرض سوم ۵۹
- ۴-۴-۱- توزیع ضخامت ۶۱
- ۴-۴-۱-۱- محاسبه حجم ناحیه تغییر شکل یافته ۶۱
- ۴-۴-۲- به دست آوردن توزیع ضخامت ۶۲
- ۴-۴-۲- انرژی کرنشی ۶۳
- ۴-۴-۳- فشار شکل دهی ۶۵
- ۴-۵- تحلیل فرآیند بر اساس فرض چهارم ۶۶
- ۴-۵-۱- محاسبه حجم ۶۷
- ۴-۵-۲- محاسبه ضخامت ۶۷

۶۹	..... انرژزی کرنشی ۳-۵-۴
۷۰	..... فشار شکل دهی ۴-۵-۴
۷۱	..... تحلیل فرآیند بر اساس فرض جدید ۶-۴
۷۲	..... محاسبه حجم ناحیه تغییر شکل یافته ۱-۶-۴
۷۴	..... انرژزی کرنشی ۲-۶-۴
۷۵	..... فشار شکلدهی ۳-۶-۴

فصل پنجم: نتایج و بحث

۷۷	..... مقدمه ۱-۵
۷۷	..... نتایج مربوط به فرض اول ۲-۵
۷۸	..... تغییر ضخامت در قطب در طول فرآیند ۱-۲-۵
۷۸	..... توزیع ضخامت در طول ناحیه تغییر شکل یافته در طول فرآیند ۲-۲-۵
۷۹	..... فشار شکل دهی ۳-۲-۵
۸۰	..... نتایج مربوط به فرض دوم ۳-۵
۸۰	..... تغییر ضخامت در قطب در طول فرآیند ۱-۳-۵
۸۱	..... توزیع ضخامت در طول ناحیه تغییر شکل یافته در طول فرآیند ۲-۳-۵
۸۲	..... فشار شکل دهی ۳-۳-۵
۸۲	..... نتایج مربوط به فرض سوم ۴-۵
۸۲	..... تغییر ضخامت در قطب در طول فرآیند ۱-۴-۵
۸۳	..... توزیع ضخامت در طول ناحیه تغییر شکل یافته در طول فرآیند ۲-۴-۵
۸۴	..... محاسبه فشار شکل دهی ۳-۴-۵
۸۴	..... نتایج مربوط به فرض چهارم ۵-۵
۸۴	..... بررسی تغییر ضخامت در قطب در طول فرآیند ۱-۵-۵
۸۵	..... توزیع ضخامت در طول ناحیه تغییر شکل یافته در طول فرآیند ۲-۵-۵
۸۶	..... تعیین فشار شکل دهی ۳-۵-۵
۸۶	..... نتایج مربوط به فرض جدید ۶-۵
۸۶	..... تغییر ضخامت در قطب در طول فرآیند ۱-۶-۵
۸۷	..... توزیع ضخامت در طول ناحیه تغییر شکل یافته در طول فرآیند ۲-۶-۵

- ۵-۶-۳- محاسبه فشار شکل دهی ۸۸
- ۵-۶-۴- تاثیر ضریب کار سختی بر روی فشار شکل دهی ۸۸
- ۵-۶-۵- بررسی تاثیر ضخامت اولیه بر روی فشار شکل دهی ۸۹
- ۵-۶-۶- بررسی تاثیر نصف طول ناحیه تغییر شکل یافته بر روی فشار شکل دهی ۹۰
- ۵-۷-۷- مقایسه نتایج به دست آمده از تحلیل اشکال هندسی مفروض برای لوله تغییر شکل یافته ۹۰
- ۵-۷-۱- مقایسه توزیع ضخامت در قطب در طول فرآیند شکل دهی ۹۰
- ۵-۷-۲- مقایسه توزیع ضخامت در طول ناحیه تغییر شکل یافته ۹۱
- ۵-۷-۳- مقایسه فشار شکل دهی ۹۲

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادها

- ۶-۱- نتیجه گیری ۹۶
- ۶-۲- پیشنهادهایی برای ادامه کارهای آینده ۹۷
- مراجع ۹۸

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳	شکل (۱-۱) - نمایش مراحل انجام فرآیند هیدروفرمینگ ورق
۶	شکل (۲-۱) - نمایش شماتیک سیستم هیدروفرمینگ
۷	شکل (۳-۱) - ترتیب فرآیند هیدروفرمینگ
۷	شکل (۴-۱) - مراحل فشار در نسخه ای از فرآیند هیدروفرمینگ
۸	شکل (۵-۱) - اجزای یک نوع سیستم هیدروفرمینگ
۹	شکل (۶-۱) - قطعات شکل داده شده با استفاده از روش هیدروفرمینگ
۹	شکل (۷-۱) - درپوش موتور ماشین تولید شده با فرآیند هیدروفرمینگ ورق
۱۰	شکل (۸-۱) - کاربرد هیدروفرمینگ در شکل دهی بدنه خودرو
۱۰	شکل (۹-۱) - قطعه ای از هواپیما شکل داده شده با فرآیند هیدروفرمینگ
۱۰	شکل (۱۰-۱) - سه راهه شکل داده شده توسط فرآیند هیدروفرمینگ لوله
۱۱	شکل (۱۱-۱) - دسته دوچرخه شکل داده شده با فرآیند هیدروفرمینگ
۱۱	شکل (۱۲-۱) - چند نمونه از قطعات شکل داده شده با فرآیند هیدروفرمینگ لوله
۱۱	شکل (۱۳-۱) - شاسی خودرو ساخته شده با استفاده از فرآیند هیدروفرمینگ
۱۵	شکل (۱۴-۱) - نمونه آزمون کشش تک محوره برای مواد لوله‌ای شکل
۱۵	شکل (۱۵-۱) - طرح شماتیک فرآیند هیدروفرمینگ در قالب باز
۱۶	شکل (۱۶-۱) - نمایش تجهیزات آزمایشگاهی فرآیند هیدروفرمینگ در قالب باز
۱۸	شکل (۱۷-۱) - نقاط به دست آمده برای اندازه گیری ضخامت
۱۸	شکل (۱۸-۱) - تغییر شکل و حالت تنش دو محوری کشش از لوله
۱۹	شکل (۱۹-۱) - طرح شماتیک فرآیند هیدروفرمینگ در قالب باز
۲۰	شکل (۲۰-۱) - لوله شبکه بندی شده و تغییر شکل یافته در فرآیند هیدروفرمینگ در قالب باز
۲۱	شکل (۲۱-۱) - شماتیک هندسه به کار رفته در فرآیند
۲۱	شکل (۲۲-۱) - لوله های فولادی و آلومینیومی قبل و بعد از آزمون
۲۲	شکل (۲۳-۱) - طرح شماتیک فرآیند هیدروفرمینگ در قالب باز
۲۲	شکل (۲۴-۱) - مولفه های تنش روی المان واقع بر قطب
۲۳	شکل (۲۵-۱) - هندسه لوله متورم شده
۲۳	شکل (۲۶-۱) - مدل هندسی فرآیند هیدروفرمینگ در قالب باز
۲۴	شکل (۲۷-۱) - مدل CAD برای فرآیند هیدروفرمینگ در قالب باز (a) دستگاه ابزار کامل و (b) دستگاه باز با نمونه
۲۴	شکل (۲۸-۱) - شبیه سازی فرآیند با نرم افزار اجزا محدود
۲۵	شکل (۲۹-۱) - پارامترهای هندسی در فرآیند هیدروفرمینگ در قالب باز
۲۵	شکل (۳۰-۱) فرآیند شبیه سازی شده با نرم افزار Ls-Dyna
۳۴	شکل (۱-۲) - مؤلفه های سرعت در مرز دو ناحیه
۴۰	شکل (۱-۳) - لوله قرار گرفته در قالب قبل از اعمال فشار
۴۰	شکل (۲-۳) - لوله تغییر شکل یافته بعد از اعمال فشار

- شکل (۳-۳) - نمایش متقارن محوری لوله در حالت اولیه و تغییر شکل یافته ۴۱
- شکل (۴-۳) - مولفه‌های سرعت در یک نقطه روی لوله تغییر شکل یافته ۴۲
- شکل (۵-۳) - شکل شماتیک از یک جز لوله المان بندی شده ۴۴
- شکل (۶-۳) - نمایش حجم سیال ۴۷
- شکل (۷-۳) - نمایش مراحل تغییر شکل ۴۸
- شکل (۱-۴) - نمایش لوله تغییر شکل داده بعد از اعمال فشار ۵۱
- شکل (۱-۴) - نمایش توزیع ضخامت در لوله تغییر شکل یافته ۵۴
- شکل (۲-۴) - لوله تغییر شکل یافته در فرآیند هیدروفورمینگ در قالب باز ۵۵
- شکل (۳-۴) - نمایش $1/4$ بیضی و نصف قطر بزرگ و کوچک ۵۶
- شکل (۴-۴) - نمایش توزیع ضخامت در لوله تغییر شکل یافته ۵۸
- شکل (۵-۴) - حجم سیال ۵۹
- شکل (۶-۴) - نمایش لوله بعد از اعمال فشار ۵۹
- شکل (۷-۴) - دو مرحله متوالی تغییر شکل ۶۰
- شکل (۸-۴) - هندسه لوله تغییر شکل یافته ۶۳
- شکل (۹-۴) - شکل هندسی برای محاسبه ضخامت ۶۴
- شکل (۱۰-۴) المان بندی لوله تغییر شکل یافته ۶۶
- شکل (۱۱-۴) - نمایش حجم سیال ۶۷
- شکل (۱۲-۴) - مشخصات هندسی لوله تغییر شکل یافته ۶۸
- شکل (۱۳-۴) - خط مماس و عمود بر پروفیل خارجی ۷۰
- شکل (۱۴-۴) - المان k در لوله تغییر شکل یافته ۷۱
- شکل (۱۵-۴) - مراحل مختلف شکل‌گیری ۷۲
- شکل (۱۶-۴) - نمایش مشخصات هندسی لوله تغییر شکل یافته ۷۳
- شکل (۱۷-۴) - شکل هندسی برای محاسبه ضخامت ۷۳
- شکل (۱-۵) - تغییر ضخامت قطب بر حسب ماکزیمم ارتفاع برآمدگی ۷۸
- شکل (۲-۵) - توزیع ضخامت در طول لوله تغییر شکل یافته ۷۹
- شکل (۳-۵) - تغییر فشار شکل دهی بر حسب ماکزیمم ارتفاع برآمدگی ۸۰
- شکل (۴-۵) - تغییر ضخامت قطب بر حسب ماکزیمم ارتفاع برآمدگی ۸۱
- شکل (۵-۵) - توزیع ضخامت در طول لوله تغییر شکل یافته ۸۱
- شکل (۶-۵) - تغییر فشار شکل دهی بر حسب ماکزیمم ارتفاع برآمدگی ۸۲
- شکل (۷-۵) - تغییر ضخامت قطب بر حسب ماکزیمم ارتفاع برآمدگی ۸۳
- شکل (۸-۵) - توزیع ضخامت در طول لوله تغییر شکل یافته ۸۳
- شکل (۹-۵) - تغییر فشار شکل دهی بر حسب ماکزیمم ارتفاع برآمدگی ۸۴
- شکل (۱۰-۵) - تغییر ضخامت قطب بر حسب ماکزیمم ارتفاع برآمدگی ۸۵
- شکل (۱۱-۵) - توزیع ضخامت در طول لوله تغییر شکل یافته ۸۵
- شکل (۱۲-۵) - تغییر فشار شکل دهی بر حسب ماکزیمم ارتفاع برآمدگی ۸۶
- شکل (۱۳-۵) - تغییر ضخامت در قطب بر حسب ماکزیمم ارتفاع برآمدگی ۸۷

- شکل (۵-۱۴) - توزیع ضخامت در لوله تغییر شکل یافته برای ماکزیمم ارتفاع برآمدگی متفاوت ۸۷
- شکل (۵-۱۵) - تغییر فشار شکل دهی بر حسب ماکزیمم ارتفاع برآمدگی ۸۸
- شکل (۵-۱۶) - تاثیر ضریب کار سختی بر روی فشار شکل دهی ۸۹
- شکل (۵-۱۷) - تاثیر ضخامت اولیه بر روی فشار شکل دهی ۸۹
- شکل (۵-۱۸) - تاثیر نصف طول اولیه بر روی فشار شکل دهی ۹۰
- شکل (۵-۱۹) - مقایسه ضخامت در قطب بر حسب ماکزیمم ارتفاع برآمدگی برای اشکال فرض شده ۹۱
- شکل (۵-۲۰) - مقایسه توزیع ضخامت بر حسب ماکزیمم ارتفاع برآمدگی برای اشکال فرض شده ۹۲
- شکل (۵-۲۱) - مقایسه فشار شکل دهی برای هندسه‌های فرض شده ۹۲
- شکل (۵-۲۲) - مقایسه فشار شکل دهی بین پنج فرض برای نصف طول ۳۵ میلی متر ۹۳
- شکل (۵-۲۳) - مقایسه فشار شکل دهی بین پنج فرض برای ضخامت اولیه ۲ میلی متر ۹۳
- شکل (۵-۲۴) - مقایسه فشار شکل دهی بین پنج فرض برای شعاع خارجی اولیه ۱۹.۵ میلی متر ۹۴

فهرست علامتها

p	..... فشار شکل دهی
r_{0i}	..... شعاع داخلی اولیه لوله
r_{0o}	..... شعاع داخلی اولیه لوله
L	..... نصف طول ناحیه تغییر شکل یافته
t_o	..... ضخامت اولیه لوله
t_p	..... ضخامت در قطب
t_E	..... ضخامت در انتهای ناحیه تغییر شکل یافته
t	..... ضخامت لوله تغییر شکل یافته
K	..... نرخ سختی کرنش
n	..... ضریب کار سختی
σ_y	..... تنش تسلیم
$\bar{\sigma}$	..... تنش موثر
$\bar{\epsilon}$	..... کرنش موثر
u	..... انرژی واحد حجم
U	..... انرژی کل
R_o	..... شعاع کره خارجی
R_i	..... شعاع کره داخلی
b_{ho}	..... ماکزیمم ارتفاع برآمدگی خارجی
b_{hi}	..... ماکزیمم ارتفاع برآمدگی داخلی
H_o	..... فاصله بین مرکز لوله و کره خارجی
H_i	..... فاصله بین مرکز لوله و کره داخلی
ϵ_t	..... کرنش در راستای ضخامت لوله
ϵ_z	..... کرنش در راستای طول لوله
ϵ_θ	..... کرنش در راستای محیط لوله
$\bar{\epsilon}$	..... کرنش معادل

فصل اول

مقدمه

۱-۱- هیدروفرمینگ

هیدروفرمینگ یکی از روش‌های ساده و دقیق در شکل‌دهی فلزات است که برای اولین بار قبل از جنگ جهانی دوم توسط آلمان‌ها مورد استفاده قرار گرفت. آنها برای ساخت بعضی از قطعات هواپیما از این روش استفاده می‌کردند.

این فرآیند بر مبنای ثبت اختراع قالب زنی هیدرولیکی در دهه پنجاه میلادی توسط فرد جرارد لیسر^۱ و جان فاکس^۲ از شرکت شیل^۳ در شهر سین‌سینیتی^۴ در آمریکا است که اساساً برای تولید شیرهای آشپزخانه به کار می‌رفت. این کار به این علت بود که علاوه بر تقویت مقاومت فلزات، عملیات قالب زنی هیدرولیکی باعث به وجود آمدن سطوح دانه‌دانه‌ای کمتر در قطعه می‌شد و کیفیت سطح بهتری را نتیجه می‌داد. اما پیشرفت عمده این فرآیند در سالهای ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ صورت گرفت [۱].

در سال ۱۹۹۰ فرآیند هیدروفرمینگ در صنعت خودروسازی به کار گرفته شد. امروزه هیدروفرمینگ به دلیل مزیت‌هایی که نسبت به دیگر روش‌های شکل‌دهی دارد به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. اساس کار این روش بر اساس شکل‌دهی توسط فشار سیالات می‌باشد. در این روش قطعه مورد نظر با استفاده از فشار سیال که توسط سیستم‌های هیدرولیکی ایجاد می‌شود، به شکل از پیش تعیین شده حفره یا قالب^۵ در می‌آید. با توجه به توضیحی که داده شد مشخص است که برای انجام فرآیند هیدروفرمینگ نیاز به یک پرس هیدرولیک، یک سیستم تقویت‌کننده فشار، سیستم هوشمند کنترل‌کننده فشار و همچنین یک قالب به منظور ایجاد شکل مورد نظر نیاز است. امروزه این روش به عنوان جای‌گزینی برای فرآیند سنبه ماتریس در ساخت اجزاء مختلف مورد نیاز در صنعت، به‌ویژه صنعت خودرو به کار گرفته می‌شود. زیرا این روش می‌تواند ضمن بالا بردن استحکام، وزن قطعه را نیز کاهش داده و دور ریز مواد را به حد اقل برساند. البته دقت ابعادی قطعات تولید شده با این روش بسیار بالا می‌باشد. همچنین با استفاده از هیدروفرمینگ به همراه استفاده از فولاد با استحکام بالاتر و ضخامت کمتر می‌توان به کاهش وزن قابل توجهی دست یافت. ضمناً با حذف نقاط جوش به واسطه تولید قطعات یکپارچه، صلیبیت قطعه افزایش می‌یابد [۲].

1. Fred Jr Leuthesser

2. John Fox

3. Schaible

4. Sinsinity

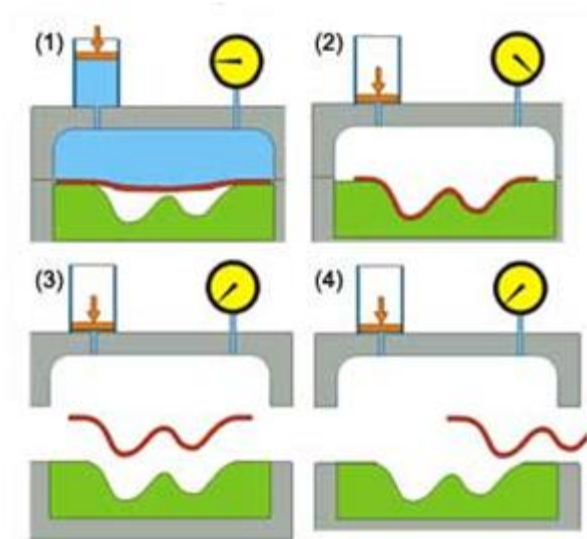
5. Die

فرآیند هیدروفرمینگ بر اساس قطعه‌ای که فرآیند روی آن انجام می‌گیرد به دو نوع تقسیم‌بندی می‌شود.

- هیدروفرمینگ ورق^۱
- هیدروفرمینگ لوله^۲

۱-۱-۱- هیدروفرمینگ ورق

شکل (۱-۱) مراحل انجام فرآیند هیدروفرمینگ ورق را نشان می‌دهد. هیدروفرمینگ ورق از نظر شرایط مرزی لبه‌های ورق به دو صورت انجام می‌پذیرد. حالت اول حالت Draw in و حالت دوم حالت Stretching می‌باشد.



شکل (۱-۱) - نمایش مراحل انجام فرآیند هیدروفرمینگ ورق

در حالت Draw in، ورق مورد نظر بر روی قالب از پیش تعیین شده قرار می‌گیرد، اما لبه‌های این ورق آزاد بوده و قادر است که به طور آزادانه به سمت داخل قالب حرکت کند. در حالت Stretching لبه‌های ورق مورد نظر را مقید کرده و اجازه حرکت به سمت داخل قالب به آن داده نمی‌شود. طبیعی است که به دلیل کشش آزادانه ماده که در حالت Draw in وجود دارد در اثر اعمال یک فشار برابر، ورق نسبت به حالت Stretching دچار تغییر شکل بیشتر، اما نازک شدن جداره کمتری می‌شود. در هیدروفرمینگ ورق، بر اساس ویژگی‌های قطعه مورد نظر یکی از این دو حالت را به کار می‌گیرند.

1. Sheet Hydroforming

2. Tube Hydroforming

۱-۱-۲- هیدروفرمینگ لوله

هیدروفرمینگ لوله یکی از فرآیندهای شکل‌دهی قطعات توخالی با مقاطع مختلف است که در آن قطعه اولیه (لوله) با اعمال فشار هیدرولیکی داخلی، شکل حفره قالب را به خود می‌گیرد. در این فرآیند یک لوله توخالی، درون قالب معکوسی که شکل نهایی مطلوب را دارد، قرار داده می‌شود. سپس پیستون‌هایی با فشار هیدرولیکی بالا، از طرفین لوله همزمان با حرکت به سمت داخل لوله، سیال را نیز با فشار بالا به درون لوله تزریق می‌کنند که باعث انبساط آن تا انطباق با قالب می‌شود. لوله‌های شکل یافته سپس از قالب خارج می‌گردند. به سبب اینکه فشار سیال درون لوله در همه جای آن یکنواخت است ضخامت لوله تولید شده از این روش دارای تغییرات کمی هستند. همچنین مشکل پارگی^۱ یا خستگی^۲ ورق در اثر شکل‌دهی و همچنین ترک‌های مؤثری درون ورق نیز از بین می‌رود. ضمناً قطعه تولید شده با این روش بازگشت فوری کمتری نسبت به روش‌های دیگر دارد. به این ترتیب طراحان می‌توانند از نازک‌ترین ورق ممکن جهت کاهش وزن و حداکثر استحکام بهره‌گیرند [۳]. البته لازم به ذکر است موفقیت در این فرآیند، نیازمند هماهنگی بالا بین پارامترهای تاثیر گذار بر فرآیند مانند فشار اعمالی و خصوصیات مکانیکی ماده اولیه می‌باشد.

۱-۱-۲-۱- جزئیات سیستم فرآیند هیدروفرمینگ لوله

به طور کلی هر سیستم هیدروفرمینگ لوله شامل ماده اولیه یا قطعه کار، محصول نهایی، ابزار و قالب، تجهیزات و پرس، مسائل محیطی (روغن و سیال مورد استفاده قابل بازیافت است و نباید آلودگی محیطی ایجاد کند)، فصل مشترک بین ابزار و قطعه کار (اصطکاک) و نواحی تغییر شکل می‌باشد. تمامی موارد مذکور در ادامه به طور خلاصه ذکر شده است و ضمناً در شکل (۱-۲) نیز دستگاه هیدروفرمینگ لوله به طور شماتیک به نمایش در آمده است.

پانچ . در هیدروفرمینگ با توجه به نوع قطعه، سیستم دارای ۲ پانچ آب‌بندی می‌باشد که به صورت محوری نسبت به دو انتهای لوله اولیه قرار می‌گیرند. در ضمن یک پانچ فشار متقابل از بالا برای کنترل سیلان ماده نیز وجود دارد [۴].

ماده اولیه. لوله اولیه بسته به شکل هندسی قطعه نهایی می‌تواند به صورت‌های لوله مستقیم، لوله خم‌دار و لوله فرم‌دار باشد. همچنین جنس لوله باید به گونه‌ای انتخاب شود تا علاوه بر عدم مشاهده هرگونه عیب بر روی قطعه نهایی، مشخصات محصول نظیر توزیع ضخامت، شکل هندسی و صلبیت وزنی تأمین شود. برخی از خصوصیات مورد نیاز مواد مورد استفاده در این روش عبارتند از: ازدیاد طول نسبی بالا و یکنواخت، توان

1. Failure

2. Fatigue

کار سختی بالا، ناهمسانگردی^۱ پایین، کیفیت سطحی خوب و عاری از خراش، تolerانس ابعادی بسته و قطعه اولیه عاری از پلیسه [۴].

انواع لوله‌های مورد استفاده در این روش شامل لوله و پروفیل‌های کشیده شده بدون درزجوش^۲ می‌باشد. ضمناً برای شکل‌دهی اشکال پیچیده باید از موادی استفاده شود که دارای پلاستیسیته کمی هستند مانند ورق‌های لیتیم، آلومینیم و منیزیم.

ابزار و قالب. به‌طور کلی ویژگی‌های مربوط به قالب‌های هیدروفرمینگ عبارتند از:

۱. استحکام بالا به دلیل وجود تنش‌های ناشی از فشار بالای سیال و نیروهای محوری

۲. پرداخت سطحی خوب به منظور کاهش اصطکاک و افزایش شکل‌پذیری

۳. استفاده از اجزای قابل تعویض

تجهیزات و پرس. از پرس‌های هیدرولیک برای تولید قطعات هیدروفرمینگ استفاده می‌شود. نیروی ورق‌گیر مورد نیاز بستگی به مقدار فشار درونی و ابعاد قطعه دارد [۴]. چارچوب پرس هیدرولیک به‌طور شماتیک در شکل (۱-۲) نشان داده شده است.

روانکارها: با توجه به نوع فرآیند هیدروفرمینگ که در آن باعث ایجاد فشارهای زیاد و سطوح تماس وسیع بین لوله و قالب می‌شود، عوامل موثر بر اصطکاک موجود در فرآیند عبارتند از سطح قالب شامل پرداخت سطحی، سختی و پوشش‌دهی آن، جنس مواد، نوع روانکار و فشار تماس. هنگام تماس لوله با سطح قالب یک فصل مشترک اصطکاکی به وجود می‌آید و با افزایش فشار، سطح تماس زیاد شده و احتمال ایجاد اصطکاک چسبنده به وجود می‌آید. با توجه به نوع فشار مورد استفاده در فرآیند هیدروفرمینگ از قوانین متناسب با آن فشار برای کاهش اصطکاک استفاده می‌شود. برای جلوگیری از پارگی قطعه به دلیل نازک‌شدگی و همچنین کاهش اصطکاک افزایشی بین ابزار و لوله در هنگام عملیات هیدروفرمینگ، انتخاب روانکار مناسب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. عوامل موثر در انتخاب روانکار مناسب عبارتند از: فشار داخلی، سرعت حرکت تغذیه محوری و طول تماس.

1. Anisotropy

2. Seamless Tube