

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

باسمه تعالی



### تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب علیرضا قاسمیان متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه/رساله حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات، ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان‌نامه/رساله قبلاً 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 مدرس شهید رجایی است.

نام و نام خانوادگی دانشجو

امضاء



دانشکده مهندسی مکانیک

**مطالعه تجربی و شبیه‌سازی اجزای محدود هیدروفرمینگ  
قطعات مخروطی ورق‌های دولایه به‌روش هیدرودینامیکی با  
فشار شعاعی**

نگارش

علیرضا قاسمیان

اساتید راهنما:

دکتر محمد مراد شیخی

دکتر محمد حسین پور

استاد مشاور: دکتر سید محمد حسین سید کاشی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک – ساخت و تولید

بهمن ماه ۹۳

صور تجلسه دفاع

**تقدیم به مادره، روح پدره،**

**همسر و فرزندان عزیزه**

**به پاس محبت های بی دریغشان**

## قدردانی و تشکر

حمد و سپاس مخصوص خداوندی است که ما را در مسیر کسب علم و دانش رهنمون ساخت تا با تحصیل و استفاده آن در انتقال و خدمت به میهن اسلامی بدون هیچ منت و تکبر قدم برداریم و درود و صلوات بر محمد(ص) و آل طاهرینش، بر خود لازم می‌دانم مراتب تشکر خود را از اساتید راهنمای بزرگوار جناب آقای دکتر محمد حسین پور و جناب آقای دکتر محمد مراد شیخی به خاطر راهنمایی‌های ارزنده‌شان و هم‌چنین استاد مشاور گرانمایه جناب آقای دکتر سید محمد حسین سیدکاشی به سبب همراهی و هدایت صمیمانه، ابراز نمایم.

از دوست گرامی ام جناب آقای مهندس عباس هاشمی که همواره، یاور من بوده اند تشکر می‌کنم و در پایان از جناب آقای مهندس محمد رضا رنجبر مسئول کارگاه قالبسازی دانشگاه و آقای سیدرضا راسخ که در زمینه کارگاهی و تجربه‌های فنی، کمک‌های بی دریغی به بنده ابراز نمودند و همه کسانی که به هر نحوی در پیشبرد این پایان نامه یاریم کردند سپاسگزاری می‌نمایم و آرزوی سلامت و موفقیت برای همگی آرزو می‌کنم.

علیرضا قاسمیان

بهمن ۱۳۹۳

## چکیده:

امروزه ورق‌های فلزی چند لایه، موارد استفاده مختلف در صنایعی از قبیل هوا فضا و خودرو دارند. در این بین استفاده از ورق‌های دولایه فلزی به دلیل ایجاد خواص ترکیبی در صنایع مختلف توسعه یافته است. فرایند کشش عمیق هیدرو دینامیکی با فشار شعاعی می‌تواند در شکل‌دهی این گونه ورق‌ها مورد توجه قرار گیرد. شکل‌دهی قطعات مخروطی در صنعت یکی از فرایندهای پیچیده است. زیرا به علت تماس کم سطح ورق با سنبه در مراحل اولیه شکل‌دهی، تنش زیادی به ورق اعمال می‌شود و باعث پارگی آن خواهد شد.

در این پژوهش کشش عمیق به روش هیدرو دینامیکی با فشار شعاعی ورق‌های دولایه از نظر تجربی و شبیه‌سازی اجزای محدود با استفاده از نرم افزار آباکوس بررسی گردید. ورق دولایه از جنس فولاد (St13) و آلومینیوم (Al1050) انتخاب شد. آزمایش‌های متعددی براساس مسیر فشارهای مختلف انجام شد و فشارهای بحرانی تعیین کننده، به دست آمد. پارامترهایی از قبیل توزیع ضخامت در مسیر فشارهای مختلف، عیوب احتمالی ایجاد شده در طی فرایند و اثر ترتیب چیدمان ورق‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج نشان می‌دهد بحرانی ترین ناحیه در فرایند هیدروفرمینگ قطعات دولایه مخروطی، ناحیه تماس با شعاع سر سنبه است. در فشارهای پایین به علت عدم تماس کامل ورق با سر سنبه، عیوبی از قبیل پارگی، چروکیدگی و گلویی شدن در آن رخ می‌دهد. در یک مسیر فشار معین و مطلوب، قطعه کامل و بدون عیب شکل می‌گیرد و در مسیر فشارهای بالاتر، تأثیری روی کیفیت کشش بوجود نمی‌آید. مسیر فشار مطلوب برای حالت (Al/St)، ۲۵۰ bar و برای حالت (St/Al)، ۲۱۰ bar به دست آمده است.

ترتیب چیدمان ورق‌ها در فرایند هیدروفرمینگ اثر مهمی روی فشارهای بحرانی دارد. به گونه‌ای که هرگاه ورق با استحکام پایین‌تر در تماس با سنبه باشد، فشارهای بحرانی افزایش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی توسط آزمایش‌های تجربی تایید شده است.

واژه‌های کلیدی: کشش عمیق هیدرو دینامیکی، ورق فلزی دولایه، قطعات مخروطی

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: کلیات.....
۲	۱-۱ مقدمه.....
۳	۲-۱ معرفی و دسته‌بندی فرایند هیدروفرمینگ.....
۵	۱-۲-۱ انواع هیدروفرمینگ.....
۸	۳-۱ هیدروفرمینگ ورق‌ها.....
۹	۴-۱ معرفی روش‌های مرسوم هیدروفرمینگ ورق.....
۹	۱-۴-۱ هیدروفرمینگ استاندارد.....
۱۰	۲-۴-۱ کشش عمیق هیدرومکانیکی.....
۱۲	۳-۴-۱ کشش عمیق هیدرودینامیکی.....
۱۳	۴-۴-۱ هیدروریم.....
۱۳	۵-۴-۱ کشش عمیق هیدرودینامیکی به کمک فشار شعاعی.....
۱۴	۵-۱ هیدروفرمینگ قطعات ورقی مخروطی.....
۱۵	۱-۵-۱ پژوهش‌های انجام شده در زمینه هیدروفرمینگ ورق قطعات مخروطی.....
۲۶	۶-۱ مروری بر پژوهش‌های انجام شده در زمینه هیدروفرمینگ ورق‌های چند لایه.....
۲۹	۷-۱ اهداف پژوهش.....
۳۰	فصل دوم: مراحل آزمایشگاهی.....
۳۱	۱-۲ مقدمه.....
۳۲	۲-۲ معرفی قطعات مخروطی مورد تحقیق.....
۳۴	۳-۲ معرفی دستگاه و تجهیزات.....



## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۳۴	۱-۳-۲ دستگاه پرس.....
۳۴	۲-۳-۲ سیستم تولید فشار.....
۳۴	۳-۳-۲ سیال هیدرولیکی.....
۳۶	۴-۲ نوع فرایند هیدروفرمینگ.....
۳۹	۵-۲ وسایل اندازه گیری.....
۴۰	۶-۲ مراحل انجام آزمایش در قالب هیدرودینامیکی با فشار شعاعی.....
۴۱	۷-۲ روش اندازه گیری نسبت کشش قطعات مخروطی.....
۴۳	فصل سوم: شبیه‌سازی اجزای محدود.....
۴۴	۱-۳ مقدمه.....
۴۵	۲-۳ معرفی نرم‌افزار شبیه‌سازی.....
۴۶	۳-۳ مراحل شبیه‌سازی.....
۴۶	۱-۳-۳ ایجاد مدل هندسی.....
۴۷	۲-۳-۳ خصوصیات ماده (ورق).....
۴۹	۳-۳-۳ مونتاژ قطعات.....
۴۹	۴-۳-۳ مراحل شکل‌دهی.....
۵۰	۵-۳-۳ تعیین تماس بین سطوح.....
۵۰	۶-۳-۳ شرایط مرزی و بارگذاری.....
۵۱	۷-۳-۳ المان بندی.....
۵۲	۸-۳-۳ تحلیل فرآیند.....

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۵۴	فصل چهارم: نتایج و بحث
۵۵	۱-۴ مقدمه
۵۵	۲-۴ بررسی تأثیر فشار های مختلف بر توزیع ضخامت
۵۵	۱-۲-۴ بررسی تأثیر فشار های مختلف بر توزیع ضخامت برای حالت (Al/St)
۶۳	۲-۲-۴ بررسی تأثیر فشار های مختلف بر توزیع ضخامت برای حالت (St/Al)
۷۰	۳-۲-۴ مقایسه نحوه چیدمان ورق ها برای حالت (St/Al) و (Al/St)
۷۲	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۷۳	۱-۵ نتیجه گیری
۷۴	۲-۵ پیشنهادات
۷۵	مراجع
۸۰	پیوست

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۳۳	جدول (۱-۲) مشخصات فیزیکی و مکانیکی ورق فولادی St1۴
۳۵	جدول (۲-۲) مشخصات روغن SAE 20 W50
۴۰	جدول (۳-۲) مشخصات پارامتریک قالب

## فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱) انواع شکل دهی با ابزار نرم [۳].....	۴
شکل (۲-۱) یک نمونه از قاب موتور [۴].....	۵
شکل (۳-۱) کشش عمیق هیدرودینامیک [۲].....	۶
شکل (۴-۱) هیدروفرمینگ یک ظرف استوانه ای با استفاده از هیدروفرمینگ ورق ها [۲].....	۶
شکل (۵-۱) هیدروفرمینگ لوله [۲].....	۷
شکل (۶-۱) نمونه هایی از قطعات تولید شده با استفاده از هیدروفرمینگ لوله [۷].....	۸
شکل (۷-۱) فرایند هیدروفرمینگ استاندارد [۹].....	۱۰
شکل (۸-۱) فرآیند کشش عمیق هیدرومکانیکی [۹].....	۱۱
شکل (۹-۱) کشش عمیق هیدرومکانیکی الف: هیدرواستاتیک ب: هیدرودینامیک [۲].....	۱۲
شکل (۱۰-۱) فرایند کشش عمیق هیدرودینامیکی [۱۰].....	۱۲
شکل (۱۱-۱) فرایند هیدروریم [۹].....	۱۳
شکل (۱۲-۱) فرایند کشش عمیق هیدرودینامیکی به کمک فشار شعاعی [۱۱].....	۱۴
شکل (۱۳-۱) شکل دهی قطعه مخروطی در قالب کشش عمیق [۱۲].....	۱۵
شکل (۱۴-۱) هندسه دو سنبه مورد استفاده [۱۳].....	۱۶
شکل (۱۵-۱) چروک های قطعه مخروطی در فرآیند کشش عمیق معمولی [۱۳].....	۱۶
شکل (۱۶-۱) ابعاد هندسی سنبه شکل دهی [۱۴].....	۱۷
شکل (۱۷-۱) قطعه مورد بررسی در کالیبراسیون با تغییر ابزاربندی، (الف) قطعه مجازی، (ب) هندسه [۱۵].....	۱۷
شکل (۱۸-۱) نتیجه تجربی و شبیه سازی فنجان مستطیلی توسط مراحل کالیبراسیون [۱۵].....	۱۸

شکل (۱-۱۹) الف: روش اصطکاکی به عنوان نگهدارنده ورق در کشش فنجان مخروطی ب: فنجان شکل داده شده [۱۶] ۱۹

شکل (۱-۲۰) مراحل کشش فنجان مخروطی با استفاده از یک لایه اورتان حلقوی [۲۲]..... ۱۹

شکل (۱-۲۱) الف: فنجان مخروطی از جنس فولاد نرم ب: فنجان مخروطی از جنس آلومینیوم نرم ج: مشخصات هندسی سنبه استفاده ده [۱۷]..... ۲۰

شکل (۱-۲۲) انواع چروکیدگی ایجاد شده در فنجان های مخروطی [۱۷]..... ۲۰

شکل (۱-۲۳) تصاویری از انواع شکست ایجاد شده در فنجان های مخروطی [۱۷]..... ۲۱

شکل (۱-۲۴) قطعه شکل داده شده برای مسیر فشار نهایی ۳۰ MPa، الف- تجربی، ب- شبیه سازی [۲۶]..... ۲۲

شکل (۱-۲۵) منحنی توزیع ضخامت قطعه مخروطی برای مسیر فشار ۳۰ مگاپاسکال [۱۸]..... ۲۲

شکل (۱-۲۶) سه نمونه از هندسه های مورد بررسی [۱۹]..... ۲۳

شکل (۱-۲۷) عیوب ایجاد شده در قطعه مخروطی در اثر فشار نامناسب الف: ترکیب ب: نازک شدگی [۲۰]..... ۲۴

شکل (۱-۲۸) نمونه تجربی و شبیه سازی اجزای محدود قطعه مخروطی سالم [۲۰]..... ۲۴

شکل (۱-۲۹) مناطق بحرانی در قطعه کار [۲۱ و ۲۲]..... ۲۵

شکل (۱-۳۰) درصد کاهش ضخامت در ناحیه بحرانی (A) [۲۲]..... ۲۵

شکل (۱-۳۱) شماتیک قالب هیدروفورمینگ به روش هیدرومکانیکی [۳۳]..... ۲۸

شکل (۱-۳۲) نمونه قطعات با نسبت کشش های مختلف [۳۳]..... ۲۹

شکل (۲-۱) نقشه مهندسی نمونه آزمون کشش..... ۳۱

شکل (۲-۲) نمونه های استاندارد کشیده شده در سه راستای صفر، ۴۵ و ۹۰ درجه نسبت به جهت نورد..... ۳۱

شکل (۲-۳) منحنی تنش- کرنش حقیقی ورق مورد استفاده در راستای نورد (°)..... ۳۳

شکل (۲-۴) نقشه قطعات مورد بررسی، ابعاد به میلی متر..... ۳۴

شکل (۲-۵) دستگاه پرس..... ۳۵

شکل (۲-۶) واحد هیدرولیکی تأمین فشار پیش بالچ..... ۳۶

- شکل (۷-۲) شماتیک قالب کشش عمیق هیدرودینامیکی با فشار شعاعی [۲۷]..... ۳۶
- شکل (۸-۲) (الف) اجزای قالب، (ب) مجموعه قالب در حالت نصب شده بر روی دستگاه آزمایش..... ۳۷
- شکل (۹-۲) اجزای سیستم تامین فشار هیدرولیکی..... ۳۹
- شکل (۱۰-۲) تجهیزات اندازه گیری..... ۳۹
- شکل (۱۱-۲) شماتیک اجزای قالب مورد استفاده در این پژوهش، ابعاد به میلی متر..... ۴۰
- شکل (۱۲-۲) منحنی نوعی مسیر فشار به کار رفته در این پژوهش..... ۴۱
- شکل (۱-۳) هندسه اجزای قالب و گرده در شبیه سازی..... ۴۷
- شکل (۲-۳) مونتاژ اجزای قالب و ورق در شبیه سازی..... ۴۹
- شکل (۳-۳) شرایط مرزی فشار،  $P_S$  فشار محفظه،  $P_R$  فشار در ناحیه فلنج ورق [۳۹]..... ۵۱
- شکل (۴-۳) شرط مرزی فشار و قید اعمالی بر ورق، الف- مدل ورق در شبیه سازی، ب- شماتیک ورق-  
در مجموعه قالب..... ۵۱
- شکل (۵-۳) المان بندی ورق اولیه و اجزای قالب..... ۵۲
- شکل (۱-۴) مقطع برش خورده قطعه مخروطی جهت اندازه گیری ضخامت..... ۵۶
- شکل (۲-۴) مسیر فشار های استفاده شده در شبیه سازی برای حالت (Al/St)..... ۵۶
- شکل (۳-۴) ناحیه های مختلف مورد مطالعه در قطعه مخروطی..... ۵۷
- شکل (۴-۴) نمودار توزیع ضخامت حاصل از مسیر فشارهای مختلف..... ۵۷
- شکل (۵-۴) نمونه قطعه پاره شده در فشار ۱۰۰ bar الف: تجربی ب: شبیه سازی..... ۵۸
- شکل (۶-۴) منحنی شبیه سازی و تجربی توزیع ضخامت برای مسیر فشار حداکثر ۱۰۰ bar..... ۵۸
- شکل (۷-۴) گلوبی شدن قطعه در فشار ۹۰ bar الف: نمونه تجربی ب: نمونه شبیه سازی..... ۵۹
- شکل (۸-۴) منحنی شبیه سازی و تجربی توزیع ضخامت برای مسیر فشار حداکثر ۱۵۰ bar..... ۵۹
- شکل (۹-۴) نمونه ای از قطعه چروکیده شده در فشار ۱۵۰ bar..... ۶۰
- شکل (۱۰-۴) منحنی شبیه سازی و تجربی توزیع ضخامت برای مسیر فشار حداکثر ۲۵۰ bar..... ۶۰

- شکل (۴-۱۱) نمونه ای از قطعات سالم در فشار ۲۵۰ bar الف: تجربی ب: شبیه‌سازی..... ۶۱
- شکل (۴-۱۲) منحنی شبیه‌سازی و تجربی توزیع ضخامت برای مسیر فشار حداکثر ۳۸۰ bar..... ۶۱
- شکل (۴-۱۳) منحنی تغییرات کاهش ضخامت ناحیه B در فشارهای نهایی مختلف..... ۶۲
- شکل (۴-۱۴) منحنی تغییرات کاهش ضخامت ناحیه D در فشارهای نهایی مختلف..... ۶۳
- شکل (۴-۱۵) مسیر فشار های استفاده شده در شبیه‌سازی برای حالت (St/Al)..... ۶۴
- شکل (۴-۱۶) نمودار توزیع ضخامت حاصل از مسیر فشارهای مختلف برای حالت (St/Al)..... ۶۴
- شکل (۴-۱۷) پارگی ایجاد شده در قطعه در فشار ۷۰ bar الف: تجربی ب: شبیه‌سازی..... ۶۵
- شکل (۴-۱۸) منحنی شبیه‌سازی و تجربی توزیع ضخامت برای مسیر فشار حداکثر ۸۰ bar برای حالت (St/Al)..... ۶۵
- شکل (۴-۱۹) نمونه قطعه دارای گلویی در فشار ۸۰ bar الف: تجربی ب: شبیه‌سازی..... ۶۶
- شکل (۴-۲۰) منحنی شبیه‌سازی و تجربی توزیع ضخامت برای مسیر فشار حداکثر ۱۴۰ bar برای حالت (St/Al)..... ۶۶
- شکل (۴-۲۱) نمونه قطعه دارای چروکیدگی در فشار ۱۴۰ bar..... ۶۷
- شکل (۴-۲۲) منحنی شبیه‌سازی و تجربی توزیع ضخامت برای مسیر فشار حداکثر ۲۱۰ bar برای حالت (St/Al)..... ۶۷
- شکل (۴-۲۳) نمونه قطعه سالم در فشار ۲۱۰ bar الف: شبیه‌سازی ب: تجربی..... ۶۸
- شکل (۴-۲۴) منحنی شبیه‌سازی و تجربی توزیع ضخامت برای مسیر فشار حداکثر ۳۲۰ bar برای حالت (St/Al)..... ۶۸
- شکل (۴-۲۵) منحنی تغییرات کاهش ضخامت ناحیه B در فشارهای نهایی مختلف برای حالت (St/Al)..... ۶۹
- شکل (۴-۲۶) منحنی تغییرات کاهش ضخامت ناحیه D در فشارهای نهایی مختلف برای حالت (St/Al)..... ۶۹
- شکل (۴-۲۷) مقایسه منحنی تغییرات کاهش ضخامت ناحیه B در فشارهای نهایی مختلف برای حالت (Al/St و St/Al)..... ۷۰

شکل (۴-۲۸) مقایسه منحنی توزیع ضخامت در مناسب ترین فشارهای نهایی برای

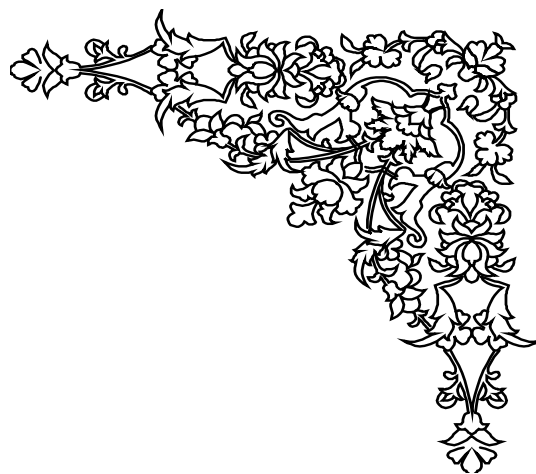
حالت (St/Al و Al/St)..... ۷۱

شکل (۴-۲۹) مقایسه فشار شکل دهی را در وضعیت های پارگی، گلویی، چروکیدگی و

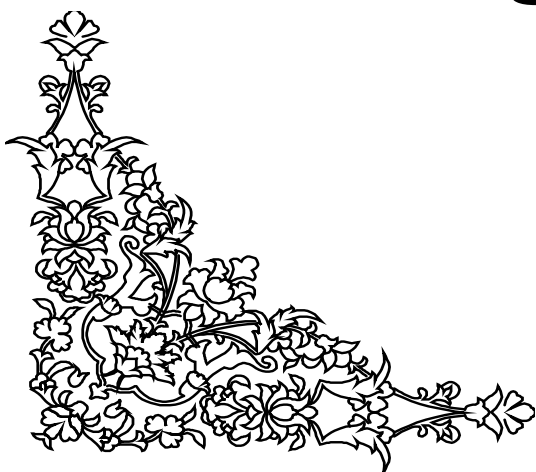
ایجاد قطعه سالم برای حالت (Al/St و St/Al)..... ۷۱



# فصل اول



# کلیات



شکل‌دهی ورق‌های فلزی به صورت مخروطی، یکی از فرایندهای پیچیده شکل‌دهی فلزات است. با توجه به این که در ابتدای فرایند، سطح تماس نوک سنبه با ورق کم است، باعث ایجاد تنش‌های زیاد در ورق شده و منجر به پارگی آن خواهد شد. به علت این که بیشتر سطح ورق در ناحیه بین سر پانچ و ورق گیر آزاد است، روی دیواره ورق مقداری چین و چروک بوجود می‌آید. قطعات مخروطی به وسیله روش‌های دیگر شکل‌دهی نظیر اسپینینگ و شکل‌دهی انفجاری طی چندین مرحله شکل داده می‌شوند، که هر کدام از این روش‌ها دارای محدودیت‌هایی مانند چند مرحله بودن فرایند، نیاز به ماشین‌آلات خاص، زمان طولانی شکل دادن و غیره هستند [۱].

در حال حاضر با توجه به فضای رقابتی، منابع محدود مواد اولیه و مالی، سوخت مصرفی و همچنین مشکلات زیست‌محیطی، ضرورت استفاده از فناوری‌های جدید در عرصه شکل‌دهی قطعات روزبه‌روز بیشتر احساس می‌شود. یکی از روش‌های نوینی که از دهه ۱۹۹۰ در تولید قطعات، از آن استفاده می‌شود، روش هیدروفرمینگ است. استفاده از روش هیدروفرمینگ، نقش مهمی در کاهش وزن قطعه، هزینه ابزار و هزینه تولید دارد. در این روش، سنبه یا ماتریس، با محیط سیال جایگزین شده و فشار سیال، موجب جریان مواد به داخل حفره قالب و در نهایت شکل‌گیری آن می‌شود.

در طی سال‌های اخیر، فناوری هیدروفرمینگ برای شکل‌دهی قطعات متنوع و پیچیده مورد توجه زیادی قرار گرفته و در زمینه‌های مختلف ساخت و تولید از جمله صنایع خودروسازی، صنایع هوافضا و صنایع نفت و گاز و مواد شیمیایی کاربرد وسیعی یافته است. این روش برای شکل‌دهی قطعات یکپارچه در یک مرحله کاملاً مناسب است و تبدیل به جایگزین شایسته‌ای برای فرایندهای سنبه و ماتریسکاری و جوشکاری سنتی شده است. این روش می‌تواند وزن قطعه را کاهش داده، دورریز مواد را به حداقل رسانده و منجر به ساخت قطعات مستحکم‌تر و مقاوم‌تر که نیاز به جوشکاری کمتر نیز داشته باشند، شود. هم‌چنین می‌تواند دقت ابعادی را در کاربردهای خاص بهبود بخشد [۲].

ورق‌های فلزی دولایه به دلیل مزایایی که دارند، دارای جایگاه ویژه در تولید قطعات پوسته‌ای مخروطی هستند. برخی از این مزایا عبارتند از: بهبود قابلیت شکل‌پذیری، افزایش مقاومت در برابر خوردگی و سایش، افزایش میرایی صوت و ارتعاش، خواص الکتریکی و گرمایی مطلوب، مقاومت در برابر رطوبت و ضربه، کاهش برگشت فنری و چین‌خوردگی و در نهایت کاهش هزینه و سبکی وزن قطعات مرکب. این قطعات در صنعت هوا و فضا، صنایع نظامی، صنایع خودروسازی، ماشین‌آلات صنعتی، تجهیزات کشاورزی، لوازم آشپزخانه و دیگر صنایع کاربردهای فراوانی دارند.

از بین روش‌های شکل‌دهی هیدروفرمینگ، فرایند کشش عمیق هیدرودینامیکی با فشار شعاعی، روشی مطلوب در تولید قطعات با هندسه‌های پیچیده و با نسبت کشش بالا در یک مرحله است. در این فرایند، عامل شکل‌دهی، سیال پرفشار، مانند آب یا روغن است. به همین دلیل دارای مزایایی

مانند توانایی ایجاد شکل‌های پیچیده روی ورق اولیه، طبق شکل سنبه، افزایش نیروی اصطکاک بین سنبه و ورق و امکان انتقال نیروهای بزرگ‌تر در منطقه شکل‌دهی، توانایی اعمال فشار شعاعی در اطراف لبه خارجی ورق و روانکاری ناحیه تماس ورق و قالب در ناحیه فلنج و بنابراین حذف تماس فلز با فلز که منجر به کاهش اصطکاک و تنش‌های شعاعی می‌شود که نهایتاً از پارگی زود هنگام ورق، جلوگیری می‌کند. این فرایند منجر به نسبت کشش بالا، کیفیت سطح بالا، دقت ابعادی بالا و توانایی تولید قطعات با شکل‌های پیچیده، می‌شود.

## ۲-۱ - معرفی و دسته‌بندی فرایند هیدروفرمینگ :

فرایند هیدروفرمینگ یکی از روش‌های نوین شکل‌دهی فلزات با استفاده از فشار بالای سیال است. مزایای روش هیدروفرمینگ عبارتند از [۲]:

- کاهش مراحل تولید
- شکل‌دهی قطعات پیچیده با سطح مقطع‌های متفاوت در یک قطعه
- کاهش زمان تولید
- کاهش هزینه‌های تولید
- کاهش سایش ابزار مصرفی
- کاهش وزن قطعات تولید شده (بهینه‌سازی)
- حذف فرایند جوشکاری در تولید قطعات حساس
- کاهش خرابی قالب و افزایش طول عمر قالب
- حذف آلودگی صوتی در محیط کار
- کاهش تجهیزات متعدد (انواع پرس‌ها) برای تولید قطعات
- صافی سطوح قابل توجه نسبت به دیگر روش‌های ساخت

هم‌چنین معایب و محدودیت‌های هیدروفرمینگ عبارتند از [۲]:

- سیکل زمانی بالا برای تولید
- نیاز به قالب‌های با کیفیت سطح بالا
- نیاز به پرس‌های نسبتاً سنگین‌تر برای غلبه بر فشار داخل محفظه که در مقابل حرکت سنبه روی ناحیه نسبتاً بزرگی مقاومت می‌کند.
- هزینه‌های تجهیزات هیدروفرمینگ تا حدود ۳۰ درصد بالاتر از ابزارهای استمپینگ است.
- عمر نسبتاً کوتاه سیستم‌های آب‌بند و هم‌چنین طولانی‌تر بودن زمان مورد نیاز برای تعویض قالب‌های هیدروفرمینگ در مقایسه با قالب‌های استمپینگ

هیدروفرمینگ یکی از انواع فناوری شکل‌دهی با ابزار نرم است. همان‌طوری که در شکل (۱-۱) نشان داده شده، فناوری شکل‌دهی با ابزار نرم خود شامل دودسته زیر است [۳]:

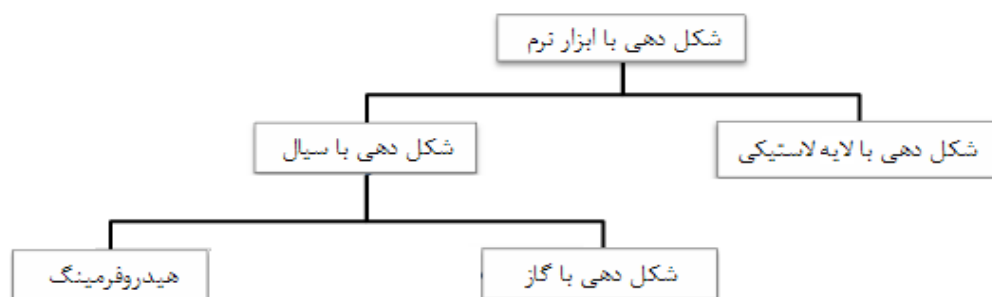
۱- فناوری شکل دهی با پد لاستیکی

۲- فناوری شکل دهی با سیال

شکل دهی با سیال نیز شامل دو گونه زیر است:

الف : شکل دهی با گاز (به عنوان مثال بالچینگ سوپر پلاستیک ورق های فلزی)

ب : هیدروفرمینگ



شکل (۱-۱) انواع شکل دهی با ابزار نرم

در هیدروفرمینگ، روغن، آب و یا دیگر سیالات به عنوان سنبه یا ماتریس استفاده می شوند. هیدروفرمینگ روش مناسبی برای حجم تولید انبوه و متوسط است. امروزه افزایش کاربرد فناوری هیدروفرمینگ برای تولید اجزای سبک وزن خودرو، عمدتاً "بخاطر مزایای فراوان قابل دستیابی با این فرایند در بهبود خواص قطعه و همچنین توسعه فناوری ساخت تجهیزات شکل دهی است. فناوری هیدروفرمینگ می تواند به کاهش وزن تا ۳۰٪ در مقایسه با قطعات تولید شده به روش های سنتی دست یابد. علاوه بر این کاهش چشمگیر تعداد قطعات تولید شده در یک مجموعه مونتاژی را می توان به همراه بهبود خواص قطعه کار مانند صلبیت مشاهده نمود. بهره‌وری اقتصادی هیدروفرمینگ نیز به همراه کاهش تجهیزات شکل دهی و زمان تولید، ممکن شده است [۴].

قطعات هیدروفرم غالباً در ساختار وسایط نقلیه مانند سیستم اگزوز، اجزا انتقال حرکت واکسل، قطعات بدنه خودرو و قاب موتور به کار می روند. شکل (۱-۲) یک نمونه از قاب موتور را نشان می دهد.