



دانشگاه مازندران

دانشکده فنی و مهندسی

بررسی تجربی و شبیه سازی اجزای محدود اثر سختی و ضخامت لایه پلی یورتان بر شکل دهی قطعات در فرآیند هیدرو فرمینگ ورق

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

استاد راهنما:

دکتر محمد بخشی

دکتر سلمان نوروزی

استاد مشاور:

مهندس عبدالحمید گرجی

نگارش:

حمید مستاجران

مهر ماه ۱۳۸۸

سَلَامٌ عَلَيْكَ يَا مُحَمَّدٌ
سَلَامٌ عَلَيْكَ يَا مُحَمَّدٌ
سَلَامٌ عَلَيْكَ يَا مُحَمَّدٌ
سَلَامٌ عَلَيْكَ يَا مُحَمَّدٌ
سَلَامٌ عَلَيْكَ يَا مُحَمَّدٌ
سَلَامٌ عَلَيْكَ يَا مُحَمَّدٌ
سَلَامٌ عَلَيْكَ يَا مُحَمَّدٌ
سَلَامٌ عَلَيْكَ يَا مُحَمَّدٌ

سَلَامٌ عَلَيْكَ يَا مُحَمَّدٌ

تقدیم به پدر و مادرم،

بی همتا کسانی که به آنان عشق می‌ورزم.

تشکر و قدردانی

اینک که به لطف خدا پس از یک سال تلاش مداوم موفق به انجام این پژوهش شده‌ام، بر خود لازم میدانم تا از اساتید محترم جناب آقای دکتر محمد بخشی و جناب آقای دکتر سلمان نوروزی، اساتید راهنمای این پایان‌نامه که از هیچ کوششی در راستای انجام این پژوهش دریغ نفرموده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. اینجانب بر خود می‌بالم که در محضر اساتید محترم گروه مکانیک- ساخت و تولید این دانشگاه حضور داشته و از آن بهره علمی برده‌ام.

همچنین از مساعدت‌ها و راهنمایی‌های جناب آقای مهندس عبدالحمید گرجی کمال تشکر را دارم. در پایان بر خود لازم میدانم از تمامی دوستان و عزیزانی که مرا در انجام این پژوهش یاری نمودند، به ویژه جناب آقای مهندس مرتضی حسین‌زاده، تشکر و قدردانی نمایم.

سلامتی و بهروزی همه این عزیزان را آرزومندم.

حمید مستاجران

مهر ماه ۱۳۸۸

چکیده

امروزه کاربرد وسیع ورق‌های فلزی در صنایع سبب بهینه‌سازی فرآیندهای شکل‌دهی ورق شده است. یکی از مهم‌ترین فرآیندهای شکل‌دهی ورق، کشش عمیق می‌باشد که به طور وسیعی در تغییر شکل ورق‌های فلزی و تبدیل آن‌ها به قطعات توخالی به کار می‌رود. در طی دو دهه اخیر فرآیند کشش عمیق هیدروفرمینگ به دلیل مزایایی که نسبت به فرآیند کشش عمیق معمولی دارد، مورد توجه محققان و صنعتگران قرار گرفته است. فرآیند کشش عمیق هیدروفرمینگ، فرآیندی است که در آن از سیال برای بهینه‌سازی فرآیند کشش عمیق معمولی استفاده می‌شود. از مزایای این فرآیند نسبت به کشش عمیق معمولی، افزایش نسبت کشش و کاهش تغییرات ضخامت قطعه است. در این پایان‌نامه با اصلاح قالب کشش عمیق هیدروفرمینگ که قبلاً در دانشگاه صنعتی بابل ارائه شده به بررسی اثر سختی و ضخامت دیافراگم پلی‌یورتان استفاده شده در این قالب پرداخته شده است. بررسی اثر پارامترهای مختلف این فرآیند، به صورت آزمایشگاهی و شبیه‌سازی بر روی تولید قطعه‌ای استوانه‌ای از ورق St-14 و به ضخامت 1 mm انجام شده است. در این پژوهش از دو دیافراگم پلی‌یورتانی با سختی‌های (SA) shore-A 80 و shore-A 65 استفاده شده است. با توجه به نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی مشخص شد که برای تولید قطعات سالم و بدون عیب با استفاده از پلی‌یورتان SA 65، به فشار بالاتری نیاز می‌باشد و توزیع ضخامت قطعات تولید شده با پلی‌یورتان SA 65 نسبت به قطعات تولید شده با پلی‌یورتان SA 80 مطلوب‌تر می‌باشد. با اصلاح قالب ارائه شده و با استفاده از پلی‌یورتان SA 80 قطعاتی با نسبت کشش 2/25 و با استفاده از پلی‌یورتان SA 65 قطعاتی با نسبت کشش 2/31 تولید شدند. این در حالی است که برای ورق St-14 در فرآیند کشش عمیق ساده قابلیت کششی بالاتر از 2 گزارش نشده است. در ادامه پنجره شکل‌دهی برای یک نسبت کشش خاص و با استفاده از دو پلی‌یورتان با سختی متفاوت به دست آمد و منطقه مناسب شکل‌دهی برای هر دو پلی‌یورتان مشخص شد. با توجه به بررسی‌های انجام شده در مورد تاثیر ضخامت دیافراگم پلی‌یورتانی بر کمترین فشار لازم برای تولید قطعه بدون عیب، مشخص شد که با افزایش ضخامت دیافراگم، فشار لازم برای حذف چروک و همچنین فشار حد پارگی کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: هیدروفرمینگ، دیافراگم پلی‌یورتان، شبیه‌سازی اجزای محدود

فهرست مطالب

.....	قدردانی
I.....	چکیده
II.....	فهرست مطالب
IV.....	فهرست شکل ها
۱.....	فصل اول : مقدمه
۲.....	۱-۱- مقدمه
۲.....	۲-۱- فرآیند کشش عمیق هیدروفرمینگ
۴.....	۳-۱- انواع روشهای هیدروفرمینگ ورق
۴.....	۱-۳-۱- هیدروفرمینگ استاندارد
۵.....	۲-۳-۱- کشش عمیق هیدرومکانیکی ساده
۶.....	۳-۳-۱- آکوآ دراو
۷.....	۴-۳-۱- هیدروریم
۸.....	۴-۴-۱- مروری بر پژوهشهای انجام شده در زمینه هیدروفرمینگ ورق
	۵-۵-۱- مروری بر پژوهشهای انجام شده در زمینه به کارگیری دیافراگمهای انعطافپذیر در فرآیندهای
۲۲.....	کشش عمیق
۲۴.....	۶-۱- مروری بر پایان نامه
۲۶.....	فصل دوم : مراحل آزمایشگاهی
۲۷.....	۱-۲- مقدمه
۲۷.....	۲-۲- معرفی تجهیزات استفاده شده در فرآیند هیدروفرمینگ ورق
۲۸.....	۳-۲- شرح قالب کشش عمیق هیدروفرمینگ
۲۹.....	۱-۳-۲- سنبه
۲۹.....	۲-۴-۲- محفظه فشار
۲۹.....	۴-۳-۲- دیافراگم پلیپورتائی
۳۱.....	۵-۳-۲- ماتریس
۳۱.....	۶-۳-۲- آ-رینگ
۳۱.....	۷-۳-۲- شیر کنترل فشار و شیر یک طرفه
۳۱.....	۸-۳-۲- سیال هیدرولیکی
۳۲.....	۴-۴-۲- آزمایش کشش

۳۵	فصل سوم : شبیه سازی اجزای محدود.....
۳۶	۱-۳- مقدمه.....
۳۷	۲-۳- معرفی نرم افزار شبیه سازی.....
۳۹	۳-۳- مراحل شبیه سازی.....
۳۹	۱-۳-۳- هندسه قطعات.....
۴۰	۲-۳-۳- خصوصیات مکانیکی.....
۴۰	۳-۳-۳- مونتاژ قطعات.....
۴۱	۴-۳-۳- مراحل انجام فرآیند.....
۴۱	۵-۳-۳- شرایط تماسی.....
۴۲	۶-۳-۳- شرایط مرزی و بارگذاری.....
۴۳	۷-۳-۳- شبکه بندی.....
۴۴	۸-۳-۳- تحلیل فرآیند.....
۴۵	فصل چهارم : نتایج و بحث.....
۴۶	۱-۴- مقدمه.....
۴۷	۲-۴- انتخاب مسیر فشار مناسب.....
۵۱	۳-۴- مطالعه تاثیر سختی پلی یورتان.....
۵۱	۱-۳-۴- تاثیر سختی پلی یورتان بر فشار شکل دهی.....
۵۵	۲-۳-۴- تاثیر سختی پلی یورتان بر توزیع ضخامت.....
۵۷	۳-۳-۴- تاثیر سختی پلی یورتان بر پنجره شکل دهی.....
۵۸	۴-۳-۴- تاثیر سختی پلییورتان بر نسبت کشش.....
۶۰	۴-۴- مطالعه اثر ضخامت دیافراگم پلی یورتانی بر فشار شکلدهی.....
۶۳	فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۶۴	۱-۵- نتیجه گیری.....
۶۵	۲-۵- پیشنهادات.....
۶۷	منابع و مراجع.....
۷۱	پیوستها.....
۷۲	۱) نقشه قطعات قالب.....
۷۸	۲) زیروال.....
۷۸	۲-الف) زیر روال نوشته شده برای شبیه سازیهای دو بعدی.....
۷۹	۲-ب) زیر روال نوشته شده برای شبیه سازیهای سه بعدی.....

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ حالت‌های مختلف استفاده از سیال در فرآیند هیدروفرمینگ ورق، (الف) به عنوان سنبه، (ب) درون محفظه فشار..... ۳
- شکل ۲-۱ هیدروفرمینگ استاندارد..... ۵
- شکل ۳-۱ کشش عمیق هیدرومکانیکی ساده..... ۵
- شکل ۴-۱ روش آکوآدراو..... ۶
- شکل ۵-۱ روش هیدروریم..... ۷
- شکل ۶-۱ بیشترین فشار شکل‌دهی در نسبت‌های کشش مختلف استوانه‌های، (الف) آلومینیومی، (ب) فولادی..... ۸
- شکل ۷-۱ مسیرهای فشار استفاده شده در آزمایشات..... ۹
- شکل ۸-۱ توزیع ضخامت به صورت شبیه سازی و تجربی برای، (الف) قطعه آلومینیومی، (ب) قطعه فولادی..... ۱۰
- شکل ۹-۱ شکل شماتیک قالب با ورق‌گیر لاستیکی..... ۱۱
- شکل ۱۰-۱ نمودار توزیع ضخامت به دست آمده برای قطعه شکل داده شده..... ۱۱
- شکل ۱۱-۱ قطعات شکل داده شده با نسبت کشش‌های مختلف..... ۱۲
- شکل ۱۲-۱ (الف) مسیر فشار استفاده شده، (ب) توزیع ضخامت به دست آمده از دو مسیر فشار در جهات مختلف نورد..... ۱۲
- شکل ۱۳-۱ تصویر شماتیک روش هیدروفرمینگ استاندارد ارائه شده..... ۱۴
- شکل ۱۴-۱ قطعه چروک شده در فشار $19/3 \text{ MPa}$ ۱۴
- شکل ۱۵-۱ قطعه سالم تولید شده در فشار $45/5 \text{ MPa}$ ۱۴
- شکل ۱۶-۱ تصویر طراحی جدید قالب متحرک..... ۱۵
- شکل ۱۷-۱ نمونه‌ای از قطعات تولید شده با قالب متحرک..... ۱۵
- شکل ۱۸-۱ تصویر شماتیک قالب متحرک..... ۱۶
- شکل ۱۹-۱ نمودار فشار-زمان برای شکل‌دهی قطعه با شرایط روانکاری مختلف..... ۱۶
- شکل ۲۰-۱ (الف) قطعه معیوب شکل داده شده، (ب) جانمایی سه قطعه برای قرارگیری صحیح ورق..... ۱۷
- شکل ۲۱-۱ (الف) قطعه با چروکیدگی در فلنج، (ب) پارگی در مراحل اولیه شکل‌دهی..... ۱۸
- شکل ۲۲-۱ تصویر شماتیک روش‌های مختلف پیش‌بشکه‌ای کردن، (الف) مثبت، (ب) منفی..... ۱۸
- شکل ۲۳-۱ مراحل تولید قطعه پله‌ای..... ۲۰
- شکل ۲۴-۱ ایجاد پارگی در گوشه‌های قطعه پله‌ای در فشار ۲۲۰ بار، (الف) تجربی، (ب) شبیه‌سازی..... ۲۰
- شکل ۲۵-۱ قطعه مستطیلی تولید شده در فشار ۳۰۰ بار، (الف) تجربی، (ب) شبیه‌سازی..... ۲۰
- شکل ۲۶-۱ تصویر شماتیک از دو تکه قطعه قبل از جوشکاری به همدیگر..... ۲۱
- شکل ۲۷-۱ توزیع ضخامت قطعات تولید شده با روش هیدروفرمینگ و روش انبساط‌دهی..... ۲۲

- شکل ۱-۲۸ (الف) نمایش شماتیک روش تولید طوقه‌ها استفاده از یورتان، (ب) قطعه تولید شده با این روش..... ۲۳
- شکل ۱-۲۹ (الف) نمایش شماتیک استفاده از یورتان به عنوان سنبه شکل‌پذیر، (ب) قطعه تولید شده با این روش..... ۲۳
- شکل ۱-۳۰ (الف) نمایش شماتیک روش تولید قطعات مخروطی با استفاده از یورتان، (ب) قطعه تولید شده با این روش..... ۲۴
- شکل ۲-۱ دستگاه آزمایش اونیورسال (DMG) 600KN..... ۲۷
- شکل ۲-۲: شماتیک قالب کشش عمیق هیدروفورمینگ..... ۲۸
- شکل ۲-۳: نمونه پلی‌یورتان‌های آماده شده جهت آزمایش فشار، (الف) SA ۸۰، (ب) SA ۶۵..... ۳۰
- شکل ۲-۴: بنمودار تنش- کرنش پلی‌یورتان‌های با سختی مختلف..... ۳۰
- شکل ۲-۵: قطعات هیدرولیکی مورد استفاده..... ۳۱
- شکل ۲-۶: قطعات قالب کشش عمیق هیدروفورمینگ..... ۳۲
- شکل ۲-۷: دستگاه تست کشش SANTAM..... ۳۳
- شکل ۲-۸: ورق آماده شده برای آزمایش کشش، (الف) نقشه مهندسی، (ب) نمونه قبل و پس از کشش..... ۳۳
- شکل ۳-۱ (الف) مدل دو بعدی، (ب) مدل سه بعدی در واحد مونتاژ..... ۴۰
- شکل ۳-۲ (الف) مدل شبکه بندی شده دو بعدی، (ب) مدل شبکه بندی شده سه بعدی..... ۴۳
- شکل ۴-۱ مسیره‌های فشار مورد استفاده در آزمایش‌ها، (بدون پیش‌بشکه‌ای، (ب) پیش‌بشکه‌ای مثبت، (ج) پیش‌بشکه‌ای منفی..... ۴۸
- شکل ۴-۲ پیش‌بشکه‌ای مثبت با $H=0$ ۴۸
- شکل ۴-۳ (الف) نمونه برش داده شده جهت بررسی توزیع ضخامت، (ب) تقسیم بندی مقطع شکل داده شده..... ۴۹
- شکل ۴-۴ توزیع ضخامت اندازه‌گیری شده برای نمونه تولید شده با استفاده از مسیره‌های فشار شکل (۸) برای پلی‌یورتان SA ۸۰..... ۵۰
- شکل ۴-۵ قطعات شبیه سازی شده با استفاده از پلی‌یورتان SA ۸۰ در فشارهای، (الف) $2/6 \text{ MPa}$ ، (ب) $2/2 \text{ MPa}$ (ج) $5/8 \text{ MPa}$ ۵۲
- شکل ۴-۶ قطعات تولید شده با استفاده از پلی‌یورتان SA ۸۰ در فشارهای، (الف) $2/8 \text{ MPa}$ ، (ب) $2/3 \text{ MPa}$ (ج) 6 MPa ۵۲
- شکل ۴-۷ قطعات شبیه سازی شده با استفاده از پلی‌یورتان SA ۶۵ در فشارهای، (الف) $2/4 \text{ MPa}$ ، (ب) $2/8 \text{ MPa}$ (ج) $7/6 \text{ MPa}$ ۵۳
- شکل ۴-۸ قطعات تولید شده با استفاده از پلی‌یورتان SA ۶۵ در فشارهای، (الف) $2/5 \text{ MPa}$ ، (ب) $2/4 \text{ MPa}$ (ج) $7/5 \text{ MPa}$ ۵۴
- شکل ۴-۹ توزیع ضخامت قطعات شکل داده شده در فشار 5 MPa با استفاده از دو پلی‌یورتان، (الف) تجربی، (ب) شبیه سازی..... ۵۵
- شکل ۴-۱۰ پنجره شکل دهی به دست آمده از شبیه سازی با استفاده از دو پلی‌یورتان..... ۵۷
- شکل ۴-۱۱ نسبت کشش‌های مختلف و فشار شکل دهی متناظر با آنها برای دو پلی‌یورتان..... ۵۸
- شکل ۴-۱۲ نمونه‌های تولید شده با استفاده از پلی‌یورتان SA ۸۰ در نسبت کشش‌های، (الف) $2/1$ ، (ب) $2/22$ ۵۹
- شکل ۴-۱۳ نمونه‌های شبیه سازی شده با استفاده از پلی‌یورتان SA ۸۰ در نسبت کشش‌های، (الف) $2/1$ ، (ب) $2/22$ ، (ج) $2/25$ ۵۹

شکل ۴-۱۴ نمونه‌های تولید شده با استفاده از پلی یوزرتان ۶۵SA در نسبت کشش‌های، (الف) ۲/۱، (ب)

۲/۲۲، (ج) ۲/۲۷، (د) ۲/۳۱..... ۵۹

شکل ۴-۱۵ نمونه‌های شبیه سازی شده با استفاده از پلی یوزرتان ۶۵SA در نسبت کشش‌های، (الف) ۲/۱،

(ب) ۲/۲۲، (ج) ۲/۲۷، (د) ۲/۳۱، (د) ۲/۳۵..... ۶۰

شکل ۴-۱۶ اثر ضخامت دیافراگم پلی یورتانی بر کمترین فشار لازم برای تولید قطعه بدون عیب..... ۶۱

فهرست جداول

جدول ۱-۲	خواص روغن بکار رفته در آزمایش‌ها	۳۲
جدول ۲-۲	خواص مکانیکی ورق St-14	۳۳
جدول ۱-۳	ابعاد مدل‌های اجزای محدود	۳۹

فصل اول



مقدمه

۱-۱- مقدمه

هدف اصلی فرآیندهای شکل‌دهی فلزات ایجاد تغییر شکل مطلوب در ماده خام اولیه‌ای است که عموماً این ماده خام اولیه دارای شکل هندسی ساده‌ای می‌باشد. با پیشرفت روزافزون تکنولوژی و رقابت فزاینده، صنایع خودروسازی به سمت کاهش هزینه و زمان تولید، عرضه محصولات سبکتر، باکیفیت بالاتر و سیستم انعطاف‌پذیر در تولید روی آورده‌اند. از این رو، استفاده از مواد جدید و فرآیندهای تولید پیشرفته مد نظر قرار گرفت [۱].

کاربرد وسیع ورق‌های فلزی در بسیاری از صنایع باعث معطوف شدن توجه محققان به بهینه‌سازی فرآیندهای شکل‌دهی ورق شده است. یکی از مهم‌ترین فرآیندهای شکل‌دهی که امروزه در صنایع مختلف نظیر صنایع نظامی و خودروسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد انواع فرآیندهای کشش عمیق می‌باشد. در طی سالهای اخیر نوآوریهای بسیاری در زمینه فرآیند کشش عمیق ورق‌های فلزی صورت گرفته است که یک نمونه مهم آن روش هیدروفورمینگ ورق می‌باشد [۲].

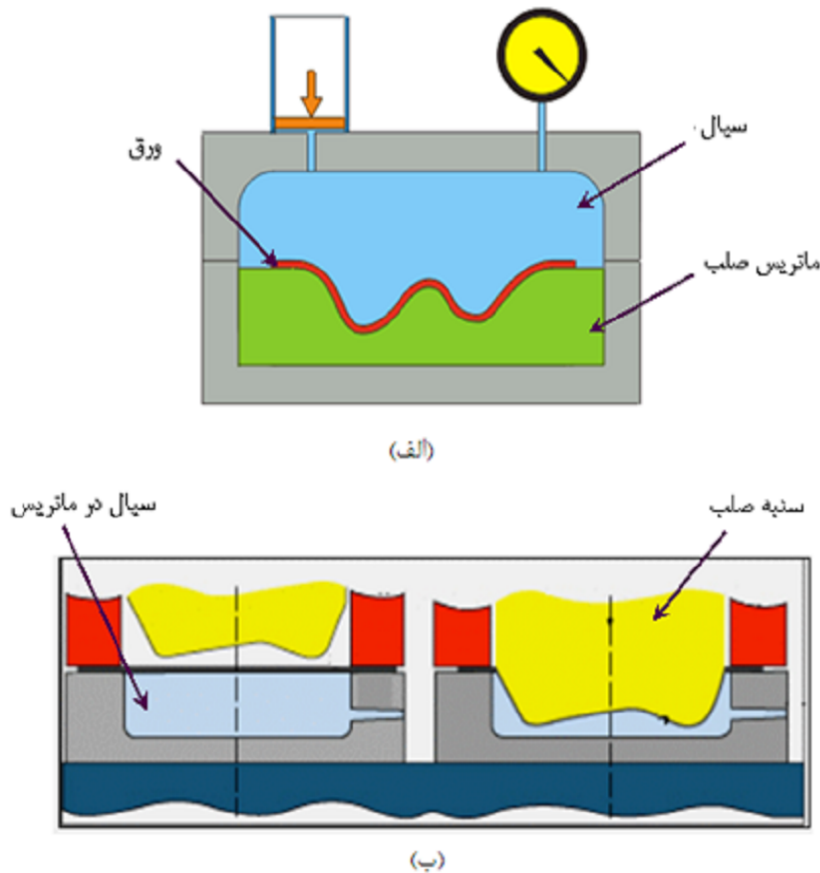
در این فصل ابتدا به معرفی فرآیند کشش عمیق هیدروفورمینگ پرداخته می‌شود و سپس در مورد انواع روش‌های این فرآیند و کاربرد دیافراگم‌های انعطاف‌پذیر در فرآیندهای شکل‌دهی توضیح داده خواهد شد.

۱-۲- فرآیند کشش عمیق هیدروفورمینگ

در این روش، علاوه بر اعمال نیروی پرس، بطور همزمان از فشار یک سیال نیز برای عملیات شکل‌دهی استفاده می‌شود [۳]. در مقایسه با روش کشش عمیق سنتی، تکنولوژی هیدروفورمینگ ورق مزایای متعددی دارد که مهمترین آنها عبارتند از: شکل‌دهی قطعات پیچیده، شکل‌دهی با نسبت کشش زیاد، دقت ابعادی بالاتر به

دلیل کاهش برگشت فدری، صافی سطح مطلوب و عدم نیاز به قالب پیچیده [۴]. از طرف دیگر کاربرد این فرآیند به دلیل نیاز به تکنولوژی نسبتاً بالا، تا مدت ها به موارد خاص محدود بوده است. با پیشرفت تکنولوژی، ماشین آلات تولیدی، سیستم های آب بندی و فرآیندهای کنترل کامپیوتری در دهه اخیر، فرآیند هیدروفرمینگ به صورت یک روش شکل دهی قابل استفاده در صنعت معرفی شده است.

مطابق شکل (۱-۱) در فرآیند هیدرو فرمینگ ورق، شکل نهایی قطعه کار ممکن است در ماتریس (محفظه فشار) یا بر روی سنبه ماشینکاری شود. در صورتی که شکل نهایی قطعه کار در ماتریس ماشینکاری شود، سیال وظیفه وارد کردن نیرو به ورق برای شکل دادن آن در درون حفره ماتریس را به عهده دارد (شکل ۱-۱-الف). چنانچه شکل نهایی قطعه کار بر روی سنبه ماشینکاری شود، روغن وظیفه چسباندن ورق به سطح سنبه را بر عهده خواهد داشت (شکل ۱-۱-ب).



شکل ۱-۱ حالت های مختلف استفاده از سیال در فرآیند هیدروفرمینگ ورق، (الف) به عنوان سنبه، (ب) درون محفظه فشار

۱-۳- انواع روش‌های هیدروفرمینگ ورق

در زمینه هیدروفرمینگ ورق تحقیقات بسیاری در طی سالهای اخیر انجام شده و روشهای متعددی از سوی محققان ارایه گردیده است که از آن جمله می‌توان به هیدروفرمینگ استاندارد^۱، کشش عمیق هیدرومکانیکی ساده^۲، روش آکوآدراو^۳ و هیدرووریم^۴ اشاره کرد که در ادامه بطور مختصر توضیح داده خواهند شد.

۱-۳-۱- هیدروفرمینگ استاندارد

روش هیدروفرمینگ استاندارد توسط سیرووارودچلوان و همکارش [۲]، کندیل [۳] و ژنگ و همکارش [۴] مورد بررسی قرار گرفت. قطعات اصلی این روش شامل سنبه^۵، ورق گیر^۶، محفظه فشار^۷ و دیافراگم لاستیکی^۸ می‌باشد. تصویر کلی این روش در شکل (۱-۲) نشان داده شده است که در آن، قالب به یک محفظه فشار تبدیل گردیده است و فشار سیال از طریق یک دیافراگم لاستیکی واقع در بین ورق و سیال، به ورق منتقل می‌شود. همانگونه که از شکل (۱-۲) پیداست، یکی از اجزای اصلی روش هیدروفرمینگ استاندارد، یک دیافراگم لاستیکی است که برای آب بندی محفظه سیال مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش فشار بیش از حد محفظه باعث افزایش اصطکاک در ناحیه فلنج خواهد شد و حرکت ورق بر سطح ورقگیر را مشکل تر خواهد کرد [۵]. به علت تماس مستقیم ورق با دیافراگم و نیز تحت تغییر شکل قرار گرفتن دیافراگم، خرابی زودرس در آن اتفاق می‌افتد. بعلاوه، تعویض دیافراگم وقت‌گیر و هزینه‌بر بوده و استفاده از آن موجب افزایش نیروی شکل دهی می‌شود. همچنین استفاده از دیافراگم مانع شکل‌دهی لبه‌های تیز در ورق خواهد شد. از این رو، کاربرد روش هیدروفرمینگ استاندارد در صنعت با مشکلاتی همراه می‌باشد که با استقبال صنعتگران مواجه نگردیده است.

¹ Hydroforming

² Hydromechanical deep drawing

³ AQUADRAW

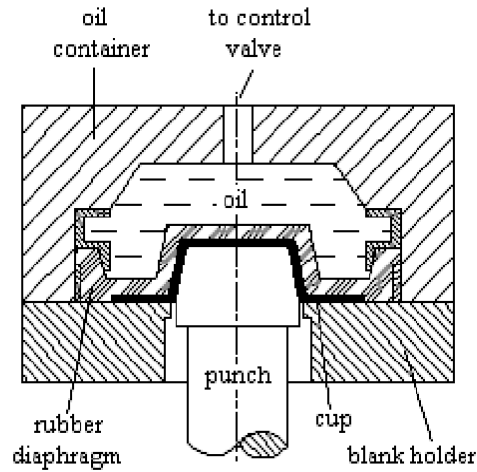
⁴ Hydrorim

⁵ Punch

⁶ Blank holder

⁷ Pressure chamber

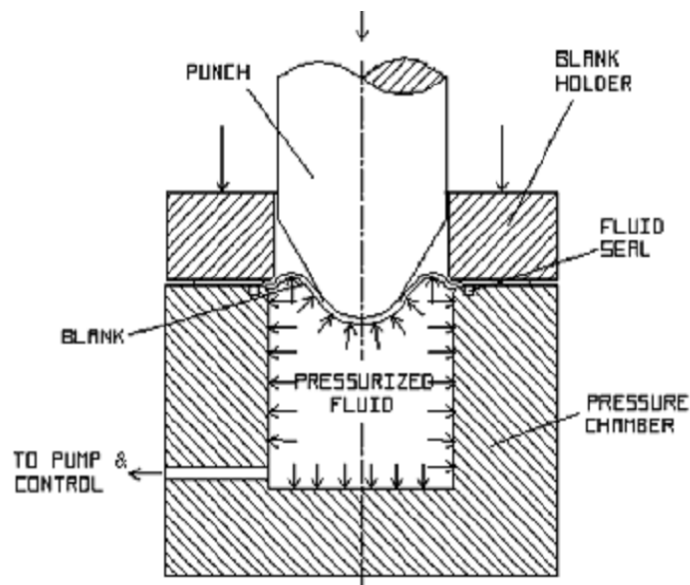
⁸ Rubber diaphragm



شکل ۱-۲ هیدروفرمینگ استاندارد [۵]

۱-۳-۲- کشش عمیق هیدرومکانیکی ساده

به منظور رفع مشکلات روش هیدروفرمینگ استاندارد، از سوی تعدادی از محققان روش کشش عمیق هیدرومکانیکی ساده بر اساس روش هیدروفرمینگ استاندارد ارائه شد که در شکل (۱-۳) شماتیک این روش نشان داده شده است [۴ و ۶]. همانطور که از شکل پیداست، در این روش، دیافراگم حذف شده و ورق بطور مستقیم با روغن در تماس می باشد.

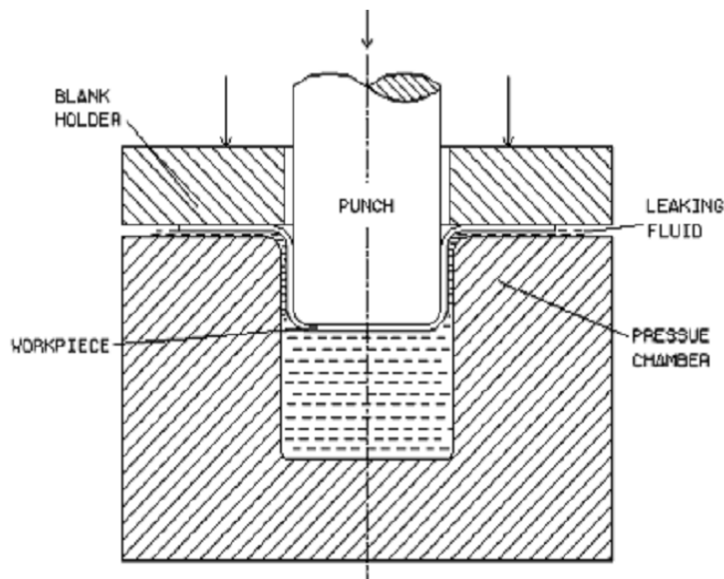


شکل ۱-۳ کشش عمیق هیدرومکانیکی ساده [۵]

عملیات آب بندی در روش کشش عمیق هیدرومکانیکی با استفاده از آ-رینگ انجام می‌گیرد که در اثر نیروی ورقگیر فشرده شده و مانع از خروج سیال از محفظه خواهد شد [۵]. در این روش همانند روش کشش عمیق سنتی، ورق در بین ورقگیر و ماتریس (محفظه فشار) تحت فشار نگه داشته می‌شود. از این رو، نسبت کشش در این روش چندان زیاد نیست. در روش هیدرومکانیکی نسبت به روش هیدروفرمینگ استاندارد سطح کمتری از ورق در ناحیه فلنج تحت تاثیر فشار سیال قرار دارد. به همین دلیل در این روش اصطکاک در قسمت فلنج کاهش یافته است و تا اندازه‌ای حرکت ورق به داخل محفظه فشار راحت‌تر انجام می‌گیرد [۵].

۱-۳-۳- آکوآدراو

برای رفع محدودیت فرآیند کشش عمیق هیدرومکانیکی ساده، روش دیگری از هیدروفرمینگ به نام آکوآدراو ارائه گردید که شماتیک آن در شکل (۱-۴) آمده است [۲ و ۶]. این روش شبیه کشش عمیق هیدرومکانیکی است و بر خلاف هیدروفرمینگ استاندارد از دیافراگم لاستیکی هم استفاده نمی‌شود.



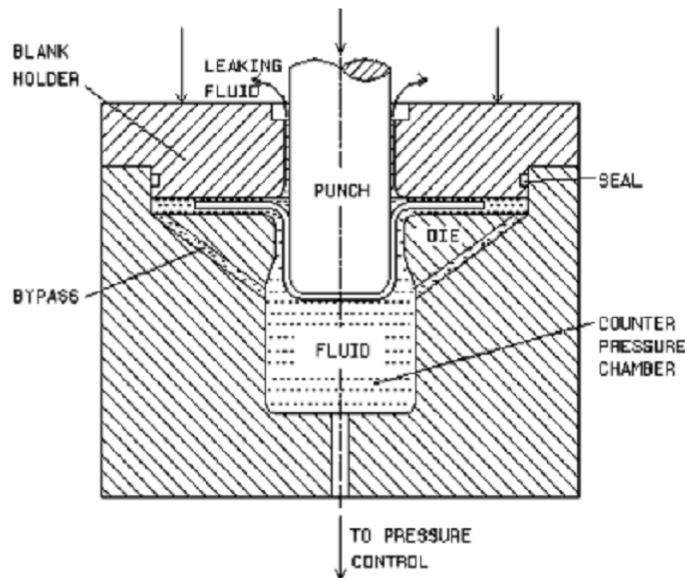
شکل ۱-۴ روش آکوآدراو [۵]

در روش آکوآدراو، ورق گیر در فاصله معینی از ورق قرار می‌گیرد و با وارد شدن فشار روغن، ورق به ورق گیر می‌چسبد. به این ترتیب بین ورق و سطح بالایی محفظه فشار هیچگونه تماسی وجود نخواهد داشت و اصطکاک بین ورق و سطح محفظه در ناحیه فلنج حذف می‌شود [۵]. کاهش اصطکاک در قسمت فلنج موجب افزایش نسبت کشش می‌گردد، اما به علت اینکه ورق در یک سمت با محیط نرم یعنی با روغن در تماس می‌

باشد، در حین انجام فرآیند، در ناحیه فلنج ورق چروکیدگی به وجود می آید که یک محدودیت اصلی این روش محسوب می گردد. در این روش آب بندی وجود ندارد و سیال می تواند به بیرون محفظه جریان یابد. در نتیجه افت شدیدی در فشار روغن به وجود می آید که برای جبران آن باید فشار را توسط پمپ هیدرولیکی افزایش داد [۵].

۱-۳-۴- هیدروریم

کشش عمیق هیدروریم یا هیدروفورمینگ با فشار شعاعی نیز شبیه روش آکوآدراو می باشد. در این روش با برگرداندن^۱ سیال به پشت ورق و ایجاد یک فشار شعاعی به لبه ورق، حرکت ورق به داخل محفظه آسان تر می شود. شکل (۱-۵) شماتیک این روش را نشان می دهد [۴ و ۵]. همانطور که از شکل مشخص است، در این روش، ورق در هر دو سمت در بین ورقگیر و قالب با سیال در تماس می باشد و با هیچ یک از آنها تماس ندارد. در نتیجه اصطکاک در قسمت فلنج ورق به طور کامل حذف شده و باعث افزایش نسبت کشش حدی برای قطعات استوانه ای تا ۳/۲ و برای قطعات مستطیلی تا ۳/۶ شده است [۵]. از طرف دیگر به دلیل غوطه ور بودن ورق در فاصله ورقگیر و سطح بالایی محفظه فشار، احتمال ایجاد چروکیدگی در ورق نسبت به روش های دیگر بیشتر می باشد که به منظور جلوگیری از چروکیدگی به فشار بالاتری نیاز می باشد. همچنین به علت نشت روغن، افت شدیدی در فشار روغن به وجود می آید که برای جبران آن باید فشار را توسط پمپ هیدرولیکی افزایش داد.



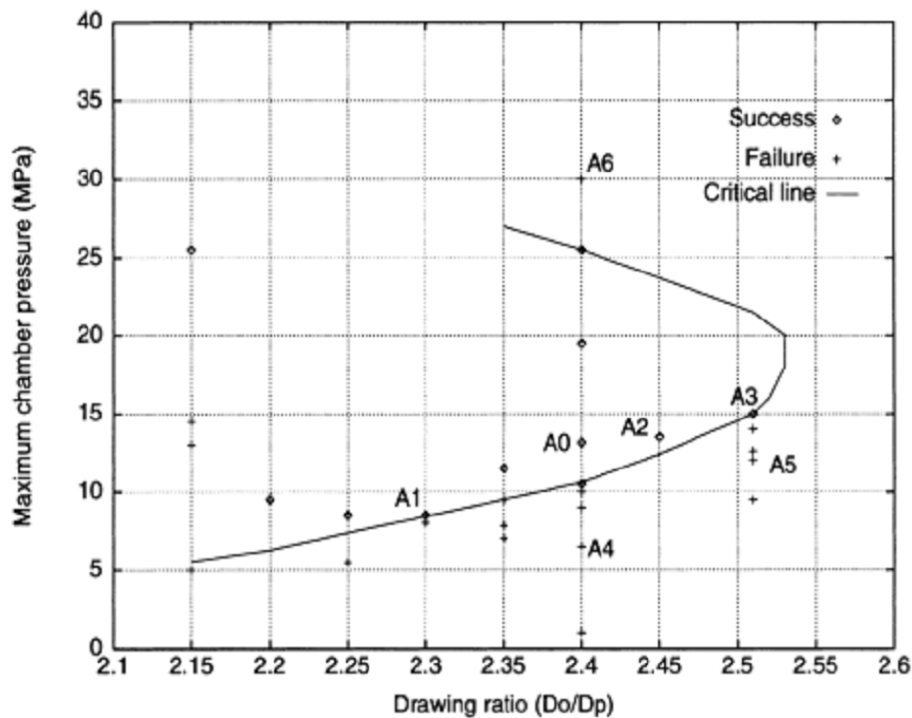
شکل ۱-۵ روش هیدروریم [۵]

^۱ By-pass

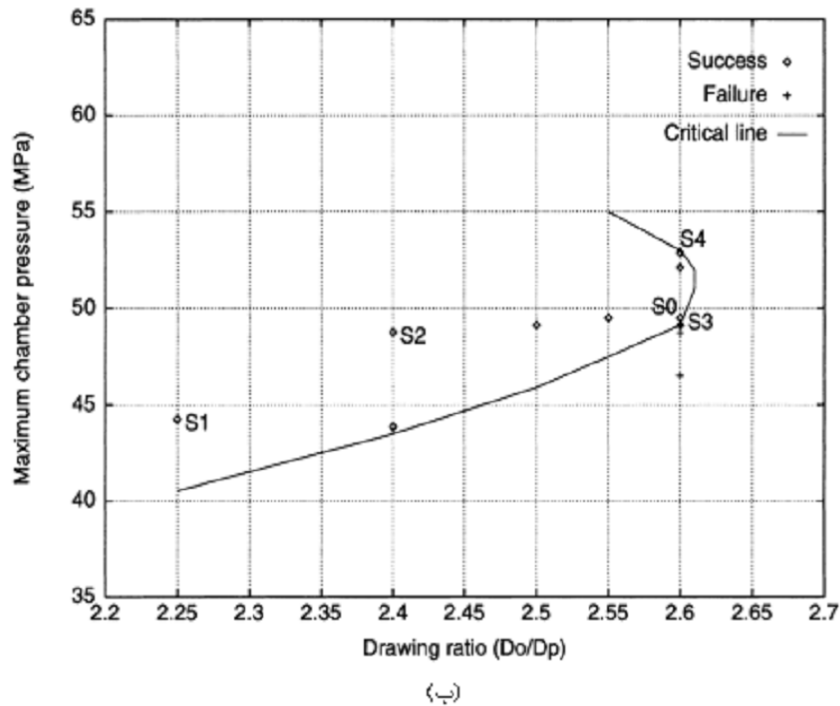
۴-۱- مروری بر پژوهش‌های انجام شده در زمینه هیدروفرمینگ ورق

در دهه‌های اخیر فرآیند هیدروفرمینگ به دلیل مزایای آن نسبت به فرآیند کشش عمیق معمولی، مورد توجه محققان قرار گرفته است. یکی از بزرگترین مزایای فرآیند کشش عمیق هیدروفرمینگ نسبت به کشش عمیق معمولی این است که با کنترل صحیح فشار سیال در حین حرکت سنبه می‌توان به نسبت‌های کشش بالاتر دست پیدا کرد. لذا توجه اکثر محققان بر روی انتخاب فشار مناسب با هدف بدست آوردن نسبت کشش بالاتر معطوف شده است.

ژنگ و همکارانش [۷] کشش استوانه‌های آلومینیومی و فولادی را با استفاده از روش کشش عمیق هیدرومکانیکی بررسی کردند. آنها در آزمایشات خود توانستند استوانه‌های آلومینیومی را تا نسبت کشش ۲/۵ و استوانه‌های فولادی را تا نسبت کشش ۲/۶ تولید کنند. شکل (۶-۱) فشار شکل‌دهی در نسبت‌های کشش مختلف را برای استوانه‌های آلومینیومی (A_i) و فولادی (S_i) نشان می‌دهد.

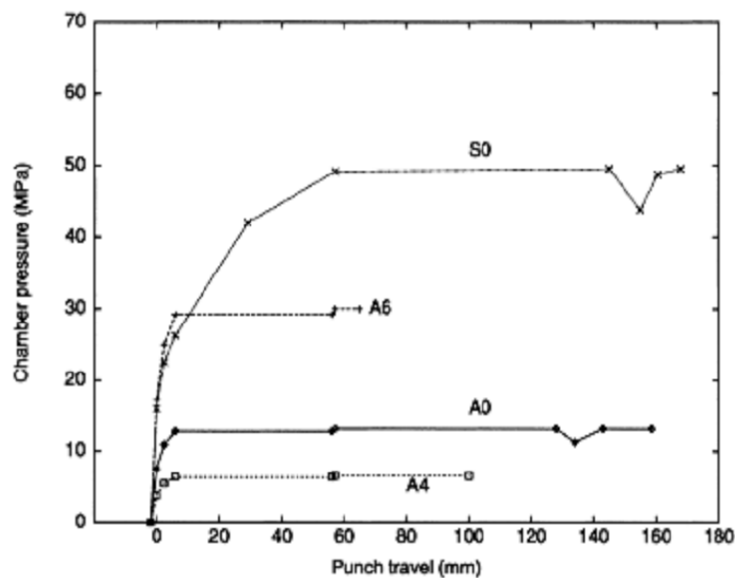


(الف)



شکل ۱-۶- بیشترین فشار شکل دهی در نسبت‌های کشش مختلف استوانه، (الف) آلومینیومی، (ب) فولادی [۷]

آنها دریافتند که برای تولید نمونه‌های سالم، باید فشار محفظه در $\frac{1}{3}$ ابتدای کورس سنبه به بیشترین مقدار خود برسد و پس از آن ثابت نگهداشته شود. مسیرهای آزمایش شده در انتهای کورس خود نوعاً دارای یک افت فشار ناگهانی و برگشت سریع به بیشترین مقدار خود می‌باشند (شکل ۱-۷).



شکل ۱-۷- مسیرهای فشار استفاده شده در آزمایشات [۷]