



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
دانشکده مهندسی مکانیک

عنوان:

بررسی تاثیر تغییرات دما و فشار بر روی نسبت حد کشش و توزیع ضخامت در فرآیند هیدروفرمینگ گرم ورق

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
مهندسی مکانیک - ساخت و تولید

اساتید راهنما:

دکتر محمد بخشی

دکتر عبدالحمید گرجی

نگارش:

سید محمد حسین پور

دی ۱۳۹۳

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

ماحصل آموختہ ایم را تقدیم می کنم بہ:

بہ خانوادہ عزیزم کہ ہموارہ یار و یاورم بودند

بہ اساتید را ہما فداکار و مہربانم کہ دلسوزانہ مرایاری نمودند

و کسانیکہ قلمم بہ یاد آنان می تند.

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس مخصوص خدای تبارک و تعالی که نگاه او نباشد انسان معنا پیدا نمی‌کند.

در ابتدا تشکری ویژه دارم از اساتید راهنمای عزیزم و مهربانم آقایان دکتر محمد بخشی و دکتر عبدالحمید گرجی که مرا در انجام این پژوهش فراتر از یک استاد پشتیبانی و راهنمایی نموده و تجربیاتشان را در اختیار اینجانب قرار دادند.

بر خود لازم می‌دانم از دوست عزیز و مسئول محترم کارگاه ماشین‌ابزار صنایع دانشگاه، آقای مهندس مهدی فلاحتی بخاطر همراهی، مشاوره دلسوزانه و کمک‌های بی‌دریغشان در زمینه کارگاهی که همواره دلسوزانه مرا از راهنمایی‌ها و تجارب خود بی‌بهره نگذاشته‌اند تشکر ویژه داشته باشم و نیز تشکر می‌کنم از پرسنل عزیز و اساتید محترم کارگاه ماشین‌ابزار ساخت و تولید آقایان مهندس علینژاد، مهندس صادقی و مهندس میانسری که مرا یاری نمودند.

همچنین از دوست عزیزم آقای مهندس احسان خسروجردی که اینجانب را در تک تک مراحل انجام این پایان نامه بخصوص بحث شبیه سازی همراهی نمودند تشکر خالصانه می‌کنم.

چکیده

امروزه در صنایع مختلف بخصوص صنعت خودروسازی و هوافضا برای کاهش وزن قطعات و در پی آن کاهش مصرف سوخت، استفاده از مواد سبکی چون آلیاژهای آلومینیوم و منیزیم گسترش یافته است. این آلیاژها به دلیل داشتن استحکام به وزن بالا و نیز خواص ضد خوردگی، به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. در کنار مزیت‌های ذکر شده، این آلیاژها شکل‌پذیری پایینی در دمای اتاق دارند. برای رفع این مشکل، شکل-دهی در دماهای بالا پیشنهاد می‌گردد. برای شکل‌دهی ورق‌های فلزی، فرآیندهای مختلفی وجود دارد که یکی از آنها فرآیند هیدروفرمینگ است. این فرآیند به دلیل مزایایی که دارد در این پژوهش از آن استفاده شده است. برای انجام شکل‌دهی با استفاده از فرآیند هیدروفرمینگ روش‌های مختلفی وجود دارد که در این پژوهش از روش کشش عمیق هیدرودینامیکی با فشار شعاعی استفاده شد. به کارگیری این فرآیند در دماهای بالا روش جدیدی می‌باشد که خیلی کم بدان پرداخته شده است.

در پژوهش حاضر به بررسی اثر پارامترهای مختلف شکل‌دهی مانند فشار سیال، دمای شکل‌دهی، سرعت سنبه و پارامترهای هندسی روی قابلیت شکل‌پذیری ورق از جنس آلیاژ آلومینیوم ۵۰۵۲ برای تولید قطعه استوانه‌ای سرتخت در حالت سرد و گرم هم‌دما پرداخته شد. توزیع ضخامت در قطعه شکل‌گرفته شده و نیروی سنبه مورد نیاز برای شکل‌دهی و نسبت کشش حدی به عنوان سه خروجی فرآیند انتخاب شدند. در ادامه، خروجی‌های به دست آمده با شکل‌دهی در حالت گرم غیر هم‌دما مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که با افزایش فشار بیشینه تا مقداری خاص، نازک‌شدگی بیشینه در قطعه شکل‌گرفته شده کاهش می‌یابد، در حالی که نیروی بیشینه سنبه با بالا رفتن فشار افزایش می‌یابد. همچنین مشخص شد که افزایش دمای شکل‌دهی و کاهش سرعت در دماهای بالا نیز نازک‌شدگی بیشینه را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، افزایش دما نیروی سنبه را کاهش می‌دهد، در حالی که سرعت سنبه تاثیری روی آن ندارد.

کلمات کلیدی: آلیاژهای آلومینیوم، کشش عمیق هیدرودینامیکی با فشار شعاعی، گرم هم‌دما، توزیع

ضخامت، نیروی سنبه، نسبت کشش حدی

فهرست مطالب

- ۱- کلیات ۱
- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- تعریف فرآیند هیدروفرمینگ ۳
- ۳-۱- معرفی انواع اصلی فرآیند هیدروفرمینگ ۴
- ۳-۱-۱- هیدروفرمینگ لوله ۵
- ۳-۱-۲- هیدروفرمینگ ورق ۶
- ۴-۱- انواع هیدروفرمینگ ورق (نحوه شکل دهی) ۷
- ۴-۱-۱- روش ماتریس- سیال ۷
- ۴-۱-۲- روش هیدروفرمینگ سنبه- سیال ۱۱
- ۴-۱-۳- روش ترکیبی هیدروفرمینگ ۱۱
- ۵-۱- دسته بندی روش های شکل دهی بر اساس دما ۱۲
- ۶-۱- مواد سبک وزن ۱۲
- ۷-۱- هیدروفرمینگ گرم ۱۵
- ۸-۱- اهداف پژوهش ۱۷
- ۹-۱- مروری بر پایان نامه ۱۷
- ۲- مروری بر پژوهش های انجام شده ۱۹
- ۳- مراحل آزمایشگاهی ۳۳
- ۳-۱- مقدمه ۳۴
- ۳-۲- معرفی تجهیزات استفاده شده در آزمایش ها ۳۴
- ۳-۲-۱- قالب کشش عمیق هیدرودینامیکی با فشار شعاعی در حالت گرم ۳۴
- ۳-۲-۲- ماتریس ۳۵
- ۳-۲-۳- سنبه ۳۶
- ۳-۲-۴- ورق گیر ۳۶
- ۳-۲-۵- المنت الکتریکی (میله ای) ۳۷
- ۳-۲-۶- واسطه سیال ۳۸
- ۳-۳- اجزای واحد هیدرولیکی ۳۸
- ۳-۳-۱- واحد تامین فشار ۳۸

۳۹	۲-۳-۳- شیر کنترل فشار، شیر یکسو کننده و فشار سنج
۴۰	۳-۳-۳- سیال هیدرولیکی
۴۰	۴-۳- دستگاه پرس
۴۱	۵-۳- کپسول CO ₂
۴۱	۶-۳- وسایل اندازه گیری
۴۲	۷-۳- مراحل انجام آزمایش
۴۳	۸-۳- ورق مورد استفاده
۴۳	۹-۳- منحنی مسیر فشار
۴۶	۴- شبیه سازی اجزای محدود
۴۷	۱-۴- مقدمه
۴۷	۲-۴- معرفی نرم افزار ABAQUS
۴۹	۳-۴- شبیه سازی اجزای محدود با استفاده از Abaqus/CAE
۵۰	۱-۳-۴- ایجاد مدل هندسی
۵۱	۲-۳-۴- تعیین خصوصیات ورق
۵۲	۳-۳-۴- مونتاژ ورق و قالب
۵۳	۴-۳-۴- مراحل شکل دهی
۵۴	۵-۳-۴- تعیین تماس بین سطوح
۵۴	۶-۳-۴- شرایط مرزی و بارگذاری
۵۵	۷-۳-۴- المان بندی
۵۶	۸-۳-۴- تحلیل فرآیند
۵۶	۴-۴- صحت سنجی نتایج شبیه سازی
۵۹	۵- نتایج و بحث
۶۰	۱-۵- مقدمه
۶۰	۲-۵- شرایط هم دما
۶۰	۱-۲-۵- بررسی اثر فشار شکل دهی روی قابلیت شکل پذیری
۶۰	۱-۱-۲-۵- اثر فشار روی توزیع ضخامت
۶۳	۲-۱-۲-۵- اثر فشار سیال روی نیروی سنبه
۶۶	۲-۲-۵- بررسی اثر دمای شکل دهی روی قابلیت شکل پذیری

۶۶	۵-۲-۱- اثر دمای شکل دهی روی توزیع ضخامت
۶۸	۵-۲-۲- اثر دمای شکل دهی روی نیروی سنبه
۷۲	۵-۲-۳- بررسی اثر سرعت شکل دهی روی قابلیت شکل پذیری
۷۷	۵-۳- مقایسه سه حالت گرم هم‌دما و گرم غیر هم‌دما و سرد
۷۹	۵-۴- کیفیت سطح قطعات شکل گرفته شده
۸۰	۵-۵- بررسی پارامترهای هندسی در توانایی شکل دهی قطعات استوانه‌ای سر تخت
۸۰	۵-۵-۱- اثر شعاع گوشه سنبه
۸۳	۵-۵-۲- اثر شعاع ورودی محفظه قالب
۸۷	۵-۶- بررسی نسبت کشش حدی
۸۹	۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۹۰	۶-۱- مقدمه
۹۰	۶-۲- نتیجه‌گیری
۹۱	۶-۳- پیشنهادها
۹۳	فهرست مراجع
۹۷	پیوست

فهرست شکل‌ها

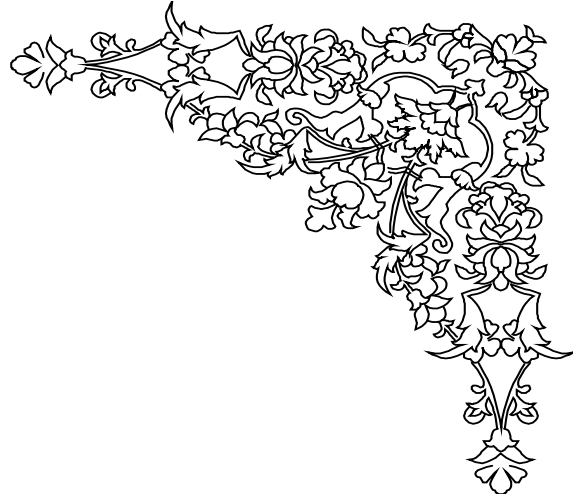
- شکل (۱-۱) دسته بندی قرآیند هیدروفرمینگ از نظر شکل اولیه [۷]..... ۴
- شکل (۱-۲) شماتیک قرآیند هیدروفرمینگ لوله (۱) قرارگیری قطعه اولیه در قالب (۲) بسته شدن قالب (۳) پر شدن داخل لوله (۴) آب‌بندی دو طرف لوله توسط پیستون (۵) شکل‌دهی قطعه کار با اعمال همزمان فشار و نیروی محوری (۶) باز شدن قالب و خروج قطعه کار نهایی [۸]..... ۵
- شکل (۳-۱) نمونه هایی از قطعات تولید شده با استفاده از قرآیند هیدروفرمینگ لوله..... ۶
- شکل (۴-۱) شماتیکی از قرآیند هیدروفرمینگ به روش ماتریس - سیال [۱۰]..... ۷
- شکل (۵-۱) شماتیک قرآیند هیدروفرمینگ استاندارد [۶]..... ۸
- شکل (۶-۱) شماتیکی از قرآیند کشش عمیق هیدرومکانیکی [۴]..... ۹
- شکل (۷-۱) شماتیکی از قرآیند کشش عمیق هیدرودینامیکی [۱۰]..... ۱۰
- شکل (۸-۱) شماتیکی از قرآیند کشش عمیق هیدرودینامیکی با فشار شعاعی [۱۰]..... ۱۰
- شکل (۹-۱) شماتیک روش ترکیبی هیدروفرمینگ..... ۱۱
- شکل (۱۰-۱) دسته‌بندی شکل‌دهی بر اساس دمای قرآیند [۷]..... ۱۲
- شکل (۱۱-۱) میانگین استفاده از آلومینیوم [۱۳]..... ۱۴
- شکل (۱۲-۱) شماتیکی از قرآیند هیدروفرمینگ گرم به روش ماتریس - سیال [۷]..... ۱۶
- شکل (۱۳-۱) شماتیکی از قرآیند هیدروفرمینگ گرم به روش سنبه - سیال [۷]..... ۱۶
- شکل (۱-۲) تنش- کرنش در تست کشش تک محوره برای سه آلیاژ آلومینیوم در دما و نرخ کرنش‌های مختلف [۲۱]..... ۲۱
- شکل (۲-۲) رفتار ماده در آزمون بالچ الف- ۲۲۵ درجه سانتیگراد ب- دمای محیط [۲۴]..... ۲۲
- شکل (۳-۲) تاثیر دما بر ضریب اصطکاک مابین ورق $AlMg4.5Mn$ و ابزار $CrMnMoS8-6$ در فشارهای تماسی مختلف [۲۳]..... ۲۲
- شکل (۴-۲) تاثیر سرعت سنبه بر روی نسبت کشش حدی در دماهای مختلف شکل‌دهی [۱۴]..... ۲۳
- شکل (۵-۲) منحنی‌های تنش-کرنش مهندسی در دماهای مختلف شکل‌دهی [۱۴]..... ۲۴
- شکل (۶-۲) ضخامت قطعه در مناطق مختلف [۳۲]..... ۲۵
- شکل (۷-۲) مقایسه نتایج شبیه‌سازی و آزمایشگاهی برای منحنی‌های نیرو-جابجایی در دماهای مختلف [۳۴]..... ۲۶
- شکل (۸-۲) شکل نهایی ورق پس از آزمون کشش-خمش آلیاژ $AZ31B$: حالت هم‌دما (بالا) و حالت غیر هم‌دما [۳۷]..... ۲۷
- شکل (۹-۲) تاثیر نرخ کرنش بر روی نمای n برای آلیاژ آلومینیومی 5083 حاصل از تست‌های کشش دو محوره [۳۸]..... ۲۸
- شکل (۱۰-۲) تاثیر نرخ کرنش بر روی نمای m برای آلیاژ آلومینیومی 5083 حاصل از تست‌های کشش دو محوره [۳۸]..... ۲۸
- شکل (۱۱-۲) قطعات کشش عمیق یافته با نسبت‌های کشش (الف) ۳ (ب) ۲/۵ (ج) ۲ [۳۹]..... ۲۹
- شکل (۱۲-۲) دیاگرام حد شکل‌دهی در دماهای (الف) $200^{\circ}C$ (ب) $100^{\circ}C$ [۳۹]..... ۲۹
- شکل (۱۳-۲) تغییرات نسبت کشش حدی با دما [۴۱]..... ۳۰
- شکل (۱۴-۲) توزیع ضخامت در جهت نصف‌النهاری برای استراتژی‌های مختلف [۴۲]..... ۳۱
- شکل (۱۵-۲) نسبت کشش حدی ورق‌های آلومینیومی در دو قرآیند کشش عمیق و کشش عمیق هیدرودینامیکی تابعی از دمای فلنج ورق [۲۳]..... ۳۲

- شکل (۱-۳) شماتیکی از فرآیند کشش عمیق هیدرودینامیکی با فشار شعاعی در حالت گرم..... ۳۴
- شکل (۲-۳) قالب استفاده شده در این پژوهش..... ۳۵
- شکل (۳-۳) الف) سنبه استفاده شده (ب) سنبه با راهگاه برای عبور سیال در حالت غیرهمدم..... ۳۶
- شکل (۴-۳) گرمکن الکتریکی برای گرم کردن سیستم..... ۳۷
- شکل (۵-۳) واسطه سیال استفاده شده در آزمایش‌های تجربی..... ۳۸
- شکل (۶-۳) پمپ هیدرولیکی..... ۳۹
- شکل (۷-۳) شیر کنترل فشار و فشارسنج متصل به آن..... ۳۹
- شکل (۸-۳) مدار هیدرولیکی استفاده شده جهت تامین و کنترل فشار..... ۴۰
- شکل (۹-۳) دستگاه آزمایش اونیورسال..... ۴۱
- شکل (۱۰-۳) کپسول گاز دی اکسید کربن و شیر متصل به آن..... ۴۱
- شکل (۱۱-۳) دماسنج‌های استفاده شده در کار تجربی..... ۴۲
- شکل (۱۲-۳) تجهیزات اندازه‌گیری ضخامت و ابعاد هندسی استفاده شده..... ۴۲
- شکل (۱۳-۳) تقسیم‌بندی قطعه برای بررسی توزیع ضخامت..... ۴۳
- شکل (۱۴-۳) نمونه‌ای از مسیر فشار اعمالی در این پژوهش..... ۴۴
- شکل (۱۵-۳) مسیر فشار برای فشارهای بیشینه متفاوت مربوط به قطعه استوانه‌ای با پیشانی تخت..... ۴۵
- شکل (۱۶-۳) مسیر فشار در سرعت‌های سنبه مختلف..... ۴۵
- شکل (۱-۴) نمودار تنش- کرنش آلیاژ آلومینیوم ۵۰۵۲ در دماهای مختلف و در نرخ کرنش ۰/۰۰۱۳ [۴۸]..... ۵۱
- شکل (۲-۴) نمودار تنش- کرنش آلیاژ آلومینیوم ۵۰۵۲ در دماهای مختلف و نرخ کرنش ۰/۰۱۳ [۴۸]..... ۵۲
- شکل (۳-۴) مدل مونتاژ شده اجزا..... ۵۳
- شکل (۴-۴) مقایسه منحنی‌های توزیع ضخامت، در فشار بیشینه ۳۲MPa، دمای ۲۰۰°C و سرعت سنبه mm/min..... ۵۰
- شکل (۵-۴) مقایسه منحنی‌های توزیع ضخامت در دمای محیط، فشار بیشینه ۳۲ MPa..... ۵۸
- شکل (۶-۴) نیرو- جابجایی سنبه در حالت هم‌دم، فشار بیشینه ۳۲MPa و دمای ۲۰۰ °C و سرعت mm/min..... ۵۰
- شکل (۷-۴) مقایسه منحنی‌های نیروی سنبه در دمای محیط، فشار بیشینه ۳۲ MPa..... ۵۸
- شکل (۱-۵) منحنی توزیع ضخامت در فشارهای بیشینه متفاوت (حالت هم‌دم)..... ۶۲
- شکل (۲-۵) نمونه‌ای از قطعه شکل گرفته شده الف- شبیه‌سازی ب- تجربی..... ۶۳
- شکل (۳-۵) نمودار درصد کاهش ضخامت در فشارهای بیشینه متفاوت، در ناحیه B (حالت هم‌دم)..... ۶۳
- شکل (۴-۵) تغییرات تنش بیشینه در ارتفاع‌های مختلف، دما ۲۰۰ °C، فشار ۳۲ MPa و سرعت سنبه ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه الف- ۸ میلی‌متر ب- ۱۴ میلی‌متر ج- ۲۰ میلی‌متر د- ارتفاع نهایی..... ۶۴
- شکل (۵-۵) منحنی نیروی سنبه در فشارهای متفاوت (حالت هم‌دم)..... ۶۵
- شکل (۶-۵) منحنی نیروی بیشینه در فشارهای متفاوت..... ۶۶
- شکل (۷-۵) تصویر قطعه شکل داده شده در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد در حالت هم‌دم..... ۶۶
- شکل (۸-۵) نمودار توزیع ضخامت در دماهای مختلف (حالت هم‌دم)..... ۶۷
- شکل (۹-۵) نمودار درصد کاهش ضخامت در ناحیه A، در دماهای مختلف (حالت هم‌دم)..... ۶۸

- شکل (۵-۱۰) نمودار درصد کاهش ضخامت در ناحیه B، در دماهای مختلف..... ۶۸
- شکل (۵-۱۱) نمودار نیروی سنبه در دماهای مختلف (حالت هم‌دما) ۶۹
- شکل (۵-۱۲) نمودار نیروی بیشینه در دماهای مختلف (حالت هم‌دما)..... ۶۹
- شکل (۵-۱۳) تنش بیشینه ایجاد شده در قطعه در دماهای مختلف با استفاده از شبیه‌سازی..... ۷۰
- شکل (۵-۱۴) نمودار تجربی توزیع ضخامت در دماهای مختلف، ضخامت ورق ۱/۵ میلی‌متر..... ۷۰
- شکل (۵-۱۵) نمودار درصد کاهش ضخامت بیشینه در ناحیه A در دماهای مختلف، ضخامت ورق ۱/۵ میلی‌متر..... ۷۱
- شکل (۵-۱۶) نمودار درصد نازک شدگی بیشینه در ناحیه B در دماهای مختلف، ورق به ضخامت ۱/۵ میلی‌متر..... ۷۱
- شکل (۵-۱۷) نمودار نیروی سنبه در دماهای مختلف، ضخامت ورق ۱/۵ میلی‌متر..... ۷۱
- شکل (۵-۱۸) نمودار نیروی سنبه در دماهای مختلف، ضخامت ورق ۱/۵ میلی‌متر..... ۷۲
- شکل (۵-۱۹) منحنی توزیع ضخامت در سرعت‌های سنبه مختلف در حالت هم‌دما..... ۷۳
- شکل (۵-۲۰) درصد کاهش ضخامت بیشینه در سرعت‌های سنبه مختلف و در ناحیه B (حالت هم‌دما)..... ۷۴
- شکل (۵-۲۱) منحنی نیروی سنبه در سرعت‌های سنبه متفاوت در حالت هم‌دما..... ۷۴
- شکل (۵-۲۲) تنش بیشینه شکل‌دهی در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد و سرعت‌های ۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر بر دقیقه ۷۵
- شکل (۵-۲۳) مقایسه تنش بیشینه در قطعه در جابجایی سنبه یکسان قبل از نیروی بیشینه در سرعت‌های مختلف..... ۷۵
- شکل (۵-۲۴) توزیع ضخامت در سرعت‌های سنبه مختلف در حالت هم‌دما (ورق به ضخامت ۱/۵ میلی‌متر) ۷۶
- شکل (۵-۲۵) درصد کاهش ضخامت بیشینه تجربی در سرعت‌های سنبه در ناحیه A (ورق به ضخامت ۱/۵ میلی‌متر)..... ۷۶
- شکل (۵-۲۶) درصد کاهش ضخامت بیشینه تجربی در سرعت شکل‌دهی در ناحیه B (ورق به ضخامت ۱/۵ میلی‌متر)..... ۷۶
- شکل (۵-۲۷) منحنی‌های توزیع ضخامت برای سه حالت سرد، گرم هم‌دما و گرم غیر هم‌دما..... ۷۸
- شکل (۵-۲۸) منحنی نیروی سنبه بر حسب جابجایی آن در سه حالت دمای سرد، گرم هم‌دما و گرم غیر هم‌دما..... ۷۹
- شکل (۵-۲۹) دمای الف - ۲۰۰ درجه سانتیگراد ب- دمای محیط..... ۸۰
- شکل (۵-۳۰) منحنی‌های توزیع ضخامت در شعاع‌های گوشه سنبه متفاوت..... ۸۱
- شکل (۵-۳۱) منحنی درصد کاهش ضخامت بیشینه در ناحیه شعاع گوشه سنبه (B) در شعاع گوشه سنبه متفاوت..... ۸۱
- شکل (۵-۳۲) منحنی درصد کاهش ضخامت بیشینه در ناحیه کف (A) در شعاع گوشه سنبه متفاوت..... ۸۲
- شکل (۵-۳۳) منحنی نیروی سنبه در شعاع‌های گوشه سنبه مختلف در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد..... ۸۲
- شکل (۵-۳۴) مدل‌های شبیه‌سازی شده در فشار سیال ۳۲ مگاپاسکال و شعاع ورودی محفظه قالب (الف) ۳ میلی‌متر (ب) ۸ میلی‌متر..... ۸۴
- شکل (۵-۳۵) مدل‌های شبیه‌سازی شده در فشار سیال ۱۰ مگاپاسکال و شعاع ورودی محفظه قالب (الف) ۳ میلی‌متر (ب) ۸ میلی‌متر..... ۸۴
- شکل (۵-۳۶) منحنی توزیع ضخامت در شعاع‌های ورودی محفظه قالب مختلف و فشار سیال ۱۰ مگاپاسکال..... ۸۵
- شکل (۵-۳۷) منحنی نیروی بیشینه سنبه در شعاع‌های ورودی قالب مختلف در فشار ۱۰ مگاپاسکال..... ۸۵
- شکل (۵-۳۸) منحنی توزیع ضخامت در شعاع‌های ورودی محفظه ماتریس متفاوت و در فشار سیال ۳۲ مگاپاسکال..... ۸۶
- شکل (۵-۳۹) منحنی نیروی بیشینه سنبه در شعاع‌های ورودی محفظه ماتریس متفاوت و در فشار سیال ۳۲ مگاپاسکال..... ۸۶
- شکل (۵-۴۰) نسبت کشش حدی در دماهای مختلف..... ۸۸
- شکل (۵-۴۱) نسبت کشش حدی در فشارهای سیال مختلف..... ۸۸

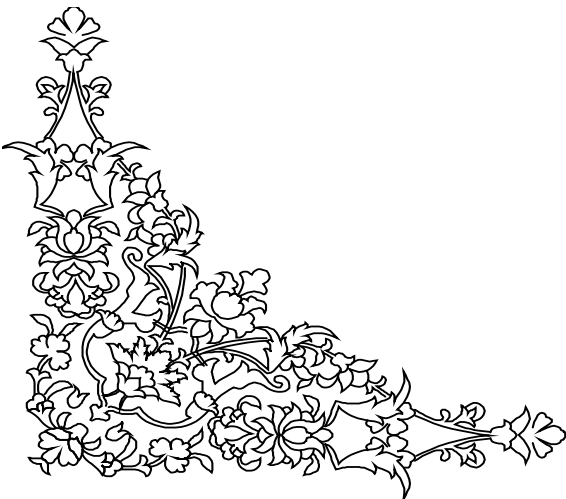
فهرست جدول‌ها

- جدول (۳-۱) درصد عناصر آلیاژی..... ۴۳
- جدول (۴-۱) خواص مکانیکی حرارتی..... ۵۰



فصل اول

کلیات



۱-۱- مقدمه

تمامی وسایلی که در گوشه و کنار محیط زندگی خود با آن سر و کار داریم و از آنها استفاده می‌کنیم حاصل انجام یک سری فرآیندها با استفاده از دستگاه‌ها، نیروی انسانی و صرف هزینه و زمان مناسب بر روی مواد اولیه و خام هستند. همواره یکی از بزرگترین مشکلات بشر، ابداع روش‌های جدید تولید و بهبود روش‌های موجود برای ساختن قطعات مورد استفاده می‌باشد. از جمله روش‌های تولید می‌توان به شکل‌دهی قطعات فلزی، ریخته‌گری و تزریق پلاستیک اشاره کرد که این موارد در سال‌های اخیر پیشرفت‌های قابل توجهی داشته‌اند. این پیشرفت‌ها در شکل‌دهی قطعات فلزی قابل ملاحظه‌تر است. فرآیند شکل‌دهی فلزات یکی از انواع فرآیندهای تولید می‌باشد. در این فرآیند فلز در اثر اعمال نیرو و ایجاد تغییر شکل مومسان به یک شکل نهایی مورد نظر می‌رسد. فرآیندهای شکل‌دهی به دو بخش عمده دسته‌بندی می‌شوند: فرآیندهای شکل‌دهی حجمی و فرآیندهای شکل‌دهی ورق. شکل‌دهی حجمی فلزات به نوعی از فرآیندهای شکل‌دهی اطلاق می‌شود که یک حجم زیادی از فلز بر اثر اعمال نیروها تغییر شکل داده و به فرم نهایی تبدیل شود. فرآیند شکل‌دهی ورق نوعی از فرآیندهای شکل‌دهی فلزات است که در آن با اعمال نیروی خارجی و ایجاد تغییر شکل مومسان بر روی ورق مسطح، یک قطعه با شکل خاص به وجود می‌آید. نیروی خارجی اعمال شده باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا ماده را وارد ناحیه پلاستیک کرده و بعد از برداشتن نیرو از روی ورق تغییر شکل دائمی قابل ملاحظه‌ای در آن به وجود آید. فرآیندهای مانند کشش عمیق و خمکاری از این نوع شکل‌دهی هستند. در فرآیندهای شکل‌دهی ورق، اکثر تنش‌های موجود در قطعه، تنش‌های کششی است، در حالی که در فرآیندهای شکل‌دهی حجمی اغلب تنش‌ها فشاری هستند. انواع گوناگون فرآیندهای شکل‌دهی ورق‌های فلزی، در صنایع نوین پرسکاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. بسیاری از قطعات تولید شده در فرآیندهای شکل‌دهی ورق در ساخت قطعات هواپیماها، خودروها، ماشین‌آلات صنعتی و لوازم خانگی بکار گرفته می‌شوند [۱].

برای تولید قطعات با کیفیت بالاتر و کاهش هزینه‌ی تولید و نیز کاهش زمان تولید، مهندسان به دنبال توسعه و یا استفاده از فرآیندهای جدید هستند. یکی از فرآیندهایی که امروزه نظر محققان و صنعتگران را به

خود جلب نموده، فرآیند هیدروفرمینگ می‌باشد. در این فرآیند شکل‌دهی با استفاده از فشار سیال و نیروی پرس انجام می‌گیرد. با توجه به ویژگی‌ها و خصوصیات این فرآیند، در سال‌های اخیر این فرآیند برای تولید قطعات ورق‌فلزی، جایگزین مناسبی برای روش‌های گوناگون دیگر می‌باشد.

۱-۲- تعریف فرآیند هیدروفرمینگ

فرآیند هیدروفرمینگ از زمان جنگ جهانی دوم مرسوم بوده است. اولین قطعات شکل داده شده با این روش در سال‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ میلادی تولید شده‌اند. اما به دلیل نیاز به تکنولوژی بالا، کاربرد این فرآیند مدت‌ها به موارد خاص محدود بوده است. از سال ۱۹۸۰ توسعه صنعتی آن آغاز شد و از سال ۱۹۹۰ به عنوان یک فرآیند قابل قبول در صنایع خودروسازی مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش که همواره یک پرس، قالب و یک سیستم تامین فشار وجود دارد، ورق اولیه در اثر اعمال همزمان نیروی پرس و فشار سیال به شکل سنبه یا حفره قالب در می‌آید [۲، ۳].

در طی سال‌های اخیر، فرآیند هیدروفرمینگ ورق به عنوان جایگزینی مناسب برای شکل‌دهی قطعات پیچیده ورق‌مورد توجه قرار گرفته است [۴]. فرآیند هیدروفرمینگ یک روش کشش عمیق می‌باشد که در آن از یک سیال تحت فشار بطور خاص در درون محفظه فشار به عنوان محیط تغییر شکل دهنده استفاده می‌شود [۵]. این فرآیند در مقایسه با فرآیند کشش عمیق سنتی دارای مزایایی می‌باشد که از جمله‌ی این مزیت‌ها می‌توان به نسبت کشش بالاتر، دقت ابعادی بیشتر، کاهش برگشت‌پذیری، کاهش هزینه قالب، کیفیت سطح بیشتر، تولید قطعات با نسبت استحکام به وزن بالاتر اشاره کرد [۲]. از محدودیت‌های هیدروفرمینگ می‌توان به سیکل تولید آهسته‌تر قطعات نسبت به روش‌های سنتی، نیاز به قالب‌هایی با سطح پرداخت عالی، سرعت تولید پایین، نیاز به پرس با تناژ بالاتر جهت غلبه بر فشار سیال، قیمت پرس بالاتر و مشکلات آب‌بندی اشاره کرد.

بر اساس مقالات انتشار یافته در زمینه هیدروفرمینگ، تحقیقات زیادی در این ارتباط صورت گرفته و روش‌های متعددی ارائه گردیده است که در ادامه به دسته‌بندی و توضیح کلی این روش‌ها پرداخته می‌شود.

هیدروفرمینگ فرآیندی است که در آن شکل‌دهی به کمک ابزار نرم انجام می‌شود. شکل‌دهی به کمک ابزار نرم به دو دسته‌ی کلی زیر تقسیم‌بندی می‌شود [۲]:

۱- شکل‌دهی به کمک لایه لاستیکی

۲- شکل‌دهی به کمک سیال

در این فرآیند، برای فرم‌دهی اشکال، مواد اولیه داخل قالب قرار گرفته و بعد از بسته شدن قالب، مایع با فشار قوی به داخل قالب تزریق شده و شکل مورد نظر را به مواد می‌دهد. سپس قالب باز شده و بعد از تخلیه سیال، قطعه از داخل قالب خارج می‌گردد.

۱-۳- معرفی انواع اصلی فرآیند هیدروفرمینگ

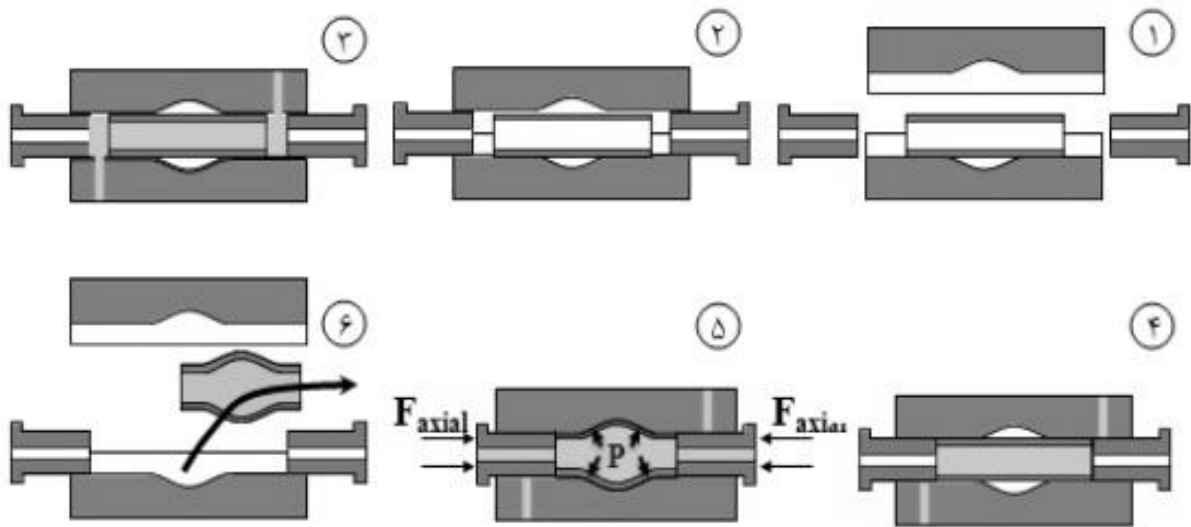
فرآیند هیدروفرمینگ با توجه به شکل قطعه خام اولیه و هندسه قطعه کار نهایی به دو دسته تقسیم می‌شود که به نام‌های هیدروفرمینگ لوله و هیدروفرمینگ ورق معروفند که در ذیل توضیح داده می‌شود [۶]. در شکل (۱-۱) دسته بندی فرآیند هیدروفرمینگ از نظر شکل اولیه را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۱) دسته‌بندی فرآیند هیدروفرمینگ از نظر شکل اولیه [۷]

۱-۳-۱- هیدروفرمینگ لوله

فرآیند هیدروفرمینگ لوله نخستین بار در سال ۱۹۴۰ میلادی توسط گری و همکاران به منظور شکل-دهی لوله برای ساخت لوله‌های T شکل از جنس مس ابداع گردید [۶]. در این فرآیند قطعه خام که لوله می‌باشد، داخل قالب قرار می‌گیرد. با بسته شدن قالب دو پیستون در دو انتهای لوله به گونه‌ای قرار می‌گیرند که قالب به طور کامل آب‌بندی نگردد. در ادامه درون لوله به طور کامل با سیال پر شده و در همین حین، هوای موجود در قالب از طریق روزنه‌های موجود در پیستون‌ها خارج می‌شود. پس از آن دو انتهای لوله توسط پیستون‌ها به طور کامل آب‌بندی می‌شود. بعد از آب‌بندی، با اعمال همزمان فشار داخلی سیال و پیشروی محوری پیستون، قطعه خام اولیه شکل قالب را به خود می‌گیرد. با شکل‌گیری قطعه به شکل قالب، فشار سیال بالا رفته و این افزایش فشار داخلی به منظور شکل‌گیری شعاع‌های کوچک می‌باشد. در پایان با تخلیه سیال قطعه کار از قالب خارج می‌گردد. در شکل (۱-۲) شماتیک این فرآیند نشان داده شده است.



شکل (۱-۲) شماتیک فرآیند هیدروفرمینگ لوله (۱) قرارگیری قطعه اولیه در قالب (۲) بسته شدن قالب (۳) پر شدن داخل لوله (۴) آب‌بندی دو طرف لوله توسط پیستون (۵) شکل‌دهی قطعه کار با اعمال همزمان فشار و نیروی محوری (۶) باز شدن قالب و خروج قطعه کار نهایی [۸]

از جمله مزیت‌های فرآیند هیدروفرمینگ لوله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۲، ۶]:

۱- کاهش وزن قطعات

۲- افزایش دقت ابعادی

۳- کاهش مراحل تولید به علت نیاز به عملیات ثانویه کمتر

۴- بهبود خواص مکانیکی و یکنواختی آن در کل قطعه

۵- کاهش برگشت فنری

۶- قیمت کم ابزار نسبت به روش‌های سنتی

از جمله محدودیت‌های این فرآیند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۹]:

۱- هزینه تجهیزات پرس بالا

۲- زمان فرآیند بالا

۳- اطلاعات کم در رابطه با تکنولوژی فرآیند

در شکل (۱-۳) نمونه‌هایی از قطعات تولیدی با استفاده از فرآیند هیدروفرمینگ لوله را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۳) نمونه‌هایی از قطعات تولید شده با استفاده از فرآیند هیدروفرمینگ لوله [۶]

۱-۳-۲- هیدروفرمینگ ورق

فرآیند هیدروفرمینگ ورق از سال‌های قبل از جنگ جهانی دوم گسترش یافته است. از اولین کاربردهای صنعتی آن می‌توان به ساخت بدنه هواپیما و اتومبیل اشاره کرد. هیدروفرمینگ ورق در واقع همان فرآیند کشش عمیق می‌باشد با این تفاوت که از فشار سیال نیز برای شکل‌دهی استفاده می‌شود. در واقع در این فرآیند شکل‌دهی توسط نیروی سنبه و فشار سیال صورت می‌پذیرد.

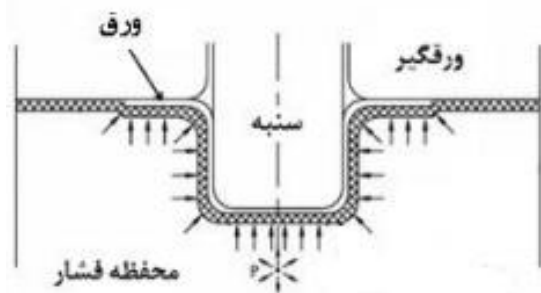
با وجود اینکه در سال‌های اخیر پیشرفت‌های زیادی در زمینه‌ی هیدروفرمینگ ورق انجام شده ولی توسعه و کاربرد آن در صنعت نسبت به هیدروفرمینگ لوله کمتر بوده است. دلایل اصلی این امر آن است که اولاً تولید محصولات حاصل از هیدروفرمینگ لوله با روش‌های سنتی دشوارتر است. ثانیاً ناحیه تحت فشار ورق در این فرآیند بیشتر از هیدروفرمینگ لوله می‌باشد.

۴-۱- انواع هیدروفرمینگ ورق (نحوه شکل‌دهی)

فرآیند هیدروفرمینگ ورق با توجه به نحوه‌ی شکل‌دهی یا نحوه‌ی اعمال فشار سیال به دو دسته سنبه-سیال و ماتریس-سیال تقسیم‌بندی می‌شود.

۱-۴-۱- روش‌های ماتریس-سیال

در این روش سیال نقش ماتریس را ایفا می‌کند، بطوریکه با اعمال فشار سیال به درون محفظه قالب، ورق به دور سنبه می‌چسبد و شکل سنبه را به خود می‌گیرد. در واقع در این روش شکل‌دهی با فشار سیال به همراه حرکت سنبه صورت می‌گیرد. شکل (۴-۱) شماتیکی از فرآیند هیدروفرمینگ به روش ماتریس سیال را نشان می‌دهد.

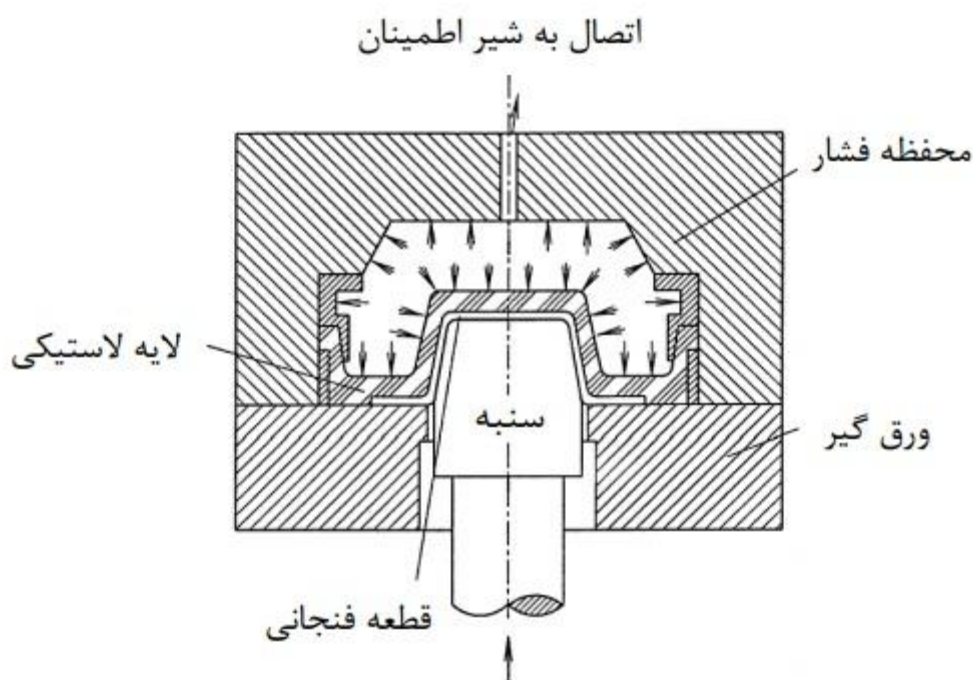


شکل (۴-۱) شماتیکی از فرآیند هیدروفرمینگ به روش ماتریس - سیال [۳]

هیدروفرمینگ ورق به صورت‌های مختلف و با قالب‌هایی با اشکال گوناگون انجام می‌شود که این روش‌ها را به دسته‌های گوناگون دسته‌بندی می‌کنند که عبارتند از هیدروفرمینگ استاندارد، کشش عمیق

هیدرومکانیکی، کشش عمیق هیدروریم، کشش عمیق هیدرودینامیکی و کشش عمیق هیدرودینامیکی با فشار شعاعی.

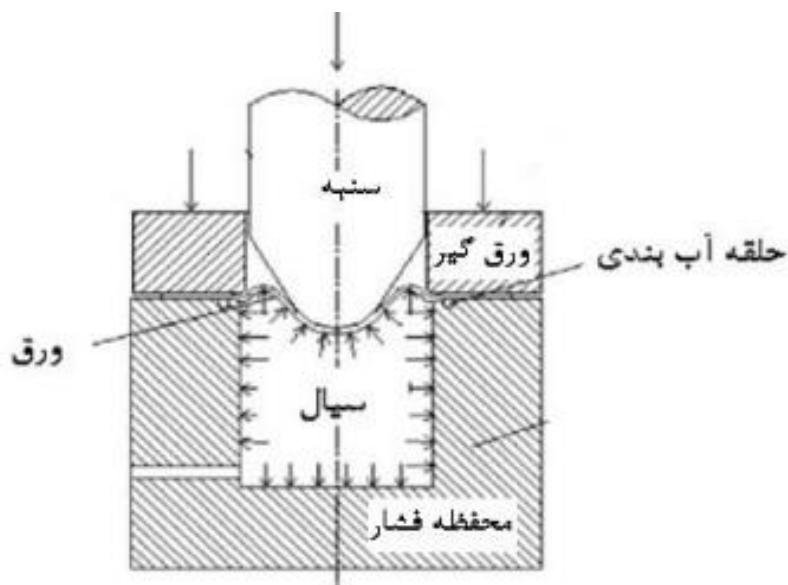
در روش هیدروفورمینگ استاندارد لایه لاستیکی بین ورق و ورق گیر قرار دارد که با افزایش فشار محفظه بر اثر نفوذ سنبه به درون آن، ورق در تماس با لایه لاستیکی شکل سنبه را به خود می‌گیرد. از سوی دیگر این دیافراگم لاستیکی عمل آب‌بندی را نیز انجام می‌دهد. استفاده از دیافراگم لاستیکی دارای مزایا و معایبی می‌باشد. از جمله مزیت‌های آن می‌توان به اعمال فشار جانبی بر لبه ورق و شکل‌دهی راحت‌تر بر اثر داشتن خاصیت الاستیکی و نیز موجب کاهش نیروی اصطکاک حاصل از کاهش تماس فلز با فلز اشاره کرد. از جمله معایب آن می‌توان به عدم شکل‌گیری لبه‌های تیز و مشکل بودن کنترل چروکیدگی اشاره کرد. شکل (۵-۱) شماتیک فرآیند هیدروفورمینگ استاندارد را نشان می‌دهد.



شکل (۵-۱) شماتیک فرآیند هیدروفورمینگ استاندارد [۶]

در روش کشش عمیق هیدرومکانیکی قالب مورد استفاده از سنبه، ماتریس و ورق گیر تشکیل شده است. ماتریس از سیال پر می‌شود و در واقع سیال نقش ماتریس را بازی می‌کند. در این روش سیال به طور مستقیم با ورق در تماس است. ورق بین ورق گیر و ماتریس قرار گرفته و با حرکت سنبه به درون قالب، فشار

محفظه افزایش می‌یابد. این افزایش فشار سیال موجب افزایش نیروی ورق‌گیر شده و برای جلوگیری از نشتی احتمالی، بین ماتریس و ورق‌گیر از آب‌بند استفاده می‌شود. افزایش نیروی ورق‌گیر باعث آب‌بندی بهتر می‌شود. در شکل (۴-۱) تصویر شماتیک این فرآیند نشان داده شده است.



شکل (۶-۱) شماتیک از فرآیند کشش عمیق هیدرومکانیکی [۴]

یکی دیگر از این روش‌ها کشش عمیق هیدرومکانیکی می‌باشد. در این روش بر خلاف کشش عمیق هیدرومکانیکی از آب‌بند استفاده نمی‌شود که این خود یک مزیت نسبت به دیگر روش‌ها می‌باشد که باعث سادگی قالب می‌شود. در واقع در این روش بر خلاف روش‌های قبلی، ورق بین ماتریس و ورق‌گیر محکم گرفته نمی‌شود و این امر باعث جریان بهتر و راحت‌تر ورق به درون قالب می‌شود. از سوی دیگر این موضوع باعث نشتی در حین انجام فرآیند می‌شود. در واقع نشتی باعث کاهش اصطکاک بین ورق و دهانه‌ی ماتریس می‌شود [۴]. در شکل (۶-۱) شماتیک این روش نشان داده شده است.