



دانشگاه صنعتی شیراز

عنوان:

بررسی تجربی و شبیه‌سازی اجزای محدود فرآیند شکل دهی گرم
به روش دمش گاز در قالب های مخروطی

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک - ساخت و تولید

اساتید راهنما:

دکتر سید جمال حسینی پور

دکتر حمید باصری

استاد مشاور:

مهندس اصغر شمسی سربند

نگارش:

حسین - رضامحمدلو

دی ۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

چکیده

قطعات مخروطی در صنعت دارای کاربرد گسترده‌ای می‌باشند، به طوری که در صنایع هوا فضا و صنایع نظامی کاربرد روز افزونی دارند. این قطعات با روش‌های متنوعی تولید می‌شوند که هر یک از این روش‌ها دارای معایب خاص خود می‌باشند. فرآیند شکل دهی به روش دمش گاز یکی از روش‌های نوین است که در شکل دهی قطعات پیچیده مانند قطعات مخروطی استفاده می‌شود.

در این پژوهش، شکل دهی ورق آلیاژ Al5083 در قالب مخروط ناقص با فرآیند دمش گاز به صورت تجربی و شبیه سازی عددی مورد بررسی قرار گرفته است. در آزمایش تجربی، ابتدا ورق با قطر 150mm به وسیله ورق گیر در پیرامون مهار شده و تا درجه حرارت مورد نظر (400°C ، 450°C و 500°C) گرم می‌شود. سپس ورق به کمک فشار گاز به حفره قالب دمیده شده و شکل قالب را می‌گیرد. نرم افزار تجاری المان محدود ABAQUS/Standard 6.8 جهت شبیه سازی مورد استفاده قرار گرفته است. هدف از این پژوهش، بررسی تاثیر پارامترهای هندسی از جمله زاویه، نسبت قطر دهانه به ارتفاع قالب و نیز اثر درجه حرارت فرآیند و فشار بر پرشدگی گوشه قالب و توزیع ضخامت قطعات تولید شده با استفاده از فرآیند شکل دهی به روش دمش گاز است. جهت تعیین تاثیر پارامترها، پرشدگی گوشه قالب و توزیع ضخامت قطعات در فشار متفاوت مطالعه شده است. معیار پرشدگی، شعاع انحنای گوشه‌ی بالایی قطعه می‌باشد که با کاهش شعاع مقدار پرشدگی افزایش می‌یابد. نتایج شبیه سازی و تجربی از تطابق خوبی برخوردار بوده‌اند. نتایج نشان می‌دهد با افزایش فشار شکل دهی، شعاع انحنای گوشه‌ی قطعه کاهش می‌یابد و قالب بیشتر پر می‌شود و نیز با افزایش درجه حرارت، فشار مورد نیاز برای شکل دهی کاهش می‌یابد. با کاهش زاویه مخروط در فشارهای بالاتر پرشدگی قالب بیشتر می‌شود و نیز با کاهش نسبت قطر بزرگ به ارتفاع مخروط (D/H)، شعاع انحنای گوشه‌ی قطعه کاهش یافته و پرشدگی قالب افزایش می‌یابد. مسیرهای فشار اعمالی به ورق هیچگونه تاثیری بر توزیع ضخامت قطعه ندارند و توزیع ضخامت به پروفیل قالب بستگی دارد. با افزایش زمان در فشار و دمای ثابت، شعاع انحنای گوشه‌ی قطعه کاهش یافته و پرشدگی قالب افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: شکل دهی دمشی گاز، مخروط ناقص، شبیه سازی اجزای محدود، آلیاژ Al5083

تشکر و قدردانی

پایان نامه حاضر حاصل بیش از یک سال تلاش مداوم و پیوسته نگارنده بوده است که دستیابی به آن، جز با عنایت پروردگار و با راهنمایی و مساعدت دیگران ممکن نبود. در این راستا اینجانب بر خود لازم می‌داند تا از جناب آقای دکتر حسینی پور، استاد راهنمای این پایان نامه که از انجام هیچ کوششی در این پژوهش دریغ نفرمودند و همواره مشوق و پشتوانه علمی اینجانب بودند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. صبر، توجه، دقت، همیاری و همفکری این بزرگوار پشتوانه اصلی اینجانب در انجام مراحل پایان نامه بوده است.

از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر باصری نیز که راهنمایی پایان نامه اینجانب را برعهده داشتند، سپاسگزاری می‌نمایم. همچنین از مساعدت‌ها و راهنمایی‌های مجدانه جناب آقای مهندس شمسی، استاد مشاور پایان نامه و نیز از کمک‌های دوست عزیزم احسان سلیمانی تقدیر بعمل می‌آید. بر خود وظیفه می‌دانم از تمامی دوستان و عزیزانی که با همفکری و مساعدت خود باعث پیشرفت مراحل پایان نامه اینجانب شدند، تشکر و قدردانی نمایم.

در آخر تا ابد قدردان همدلی‌ها، همیاری‌ها و تشویق‌های بی‌دریغ پدر و مادر مهربان و خانواده عزیزم می‌باشم و سلامتی و بهروزی همه این عزیزان را آرزومندم.

حسین - رضامحمدلو

زمستان - ۱۳۹۰

تقدیم به پدر و مادرم،

بی ہمتا کسانی کہ به آنان عشق می ورزم

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: کلیات
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- فرآیند شکل دهی با گاز
۳	۳-۱- انواع فرآیندهای شکل دهی با گاز
۴	۱-۳-۱- شکل دهی دمشی و شکل دهی خلا
۵	۲-۳-۱- ترموفرمینگ
۶	۳-۳-۱- فرآیند شکل دهی ابرمومسان و اتصال نفوذی
۷	۴-۱- مزایا و معایب فرآیند شکل دهی با گاز
۷	۴-۱-۱- مزایا
۸	۴-۱-۲- معایب
۸	۵-۱- کاربردهای فرآیند شکل دهی با گاز
۱۱	فصل دوم: پیشینه پژوهش
۱۲	۱-۲- مقدمه
۱۲	۲-۲- مروری بر پژوهش های انجام شده در زمینه تولید قطعات ورقی مخروطی
۱۲	۱-۲-۲- فرآیند کشش عمیق
۱۵	۲-۲-۲- فرآیند هیدروفورمینگ استاندارد
۱۷	۳-۲-۲- فرآیند شکل دهی گرم به روش دمش گاز
۲۳	۳-۲- هدف از پژوهش
۲۵	فصل سوم: مراحل آزمایشگاهی
۲۶	۱-۳- مقدمه
۲۶	۲-۳- معرفی دستگاه و تجهیزات
۲۶	۱-۲-۳- دستگاه آزمایش
۲۷	۲-۲-۳- سیستم تولید فشار
۲۷	۳-۲-۳- گاز شکل دهی
۲۷	۳-۳- نوع فرآیند شکل دهی با گاز
۲۸	۱-۳-۳- قطعات شکل دهی

۳۰	۳-۳-۲- تجهیزات کنترلی
۳۳	۳-۴- وسایل اندازه گیری
۳۴	۳-۵- خواص مواد
۳۵	۳-۵-۱- بررسی خواص مکانیکی مواد در حالت گرم
۳۵	۳-۵-۱-۱- آزمایش‌های عملی
۳۵	۳-۵-۱-۲- محاسبات تحلیلی
۳۸	۳-۶- مراحل انجام آزمایش در قالب شکل‌دهی دمشی
۴۰	فصل چهارم: شبیه سازی اجزای محدود
۴۱	۴-۱- مقدمه
۴۱	۴-۲- معرفی روش اجزای محدود
۴۲	۴-۳- مراحل شبیه‌سازی
۴۳	۴-۴-۱- ایجاد مدل هندسی
۴۴	۴-۴-۲- خصوصیات ماده (ورق)
۴۴	۴-۴-۳- مونتاژ قطعات
۴۵	۴-۴-۳-۲- مراحل شکل دهی
۴۶	۴-۴-۳-۵- تعیین تماس بین سطوح
۴۶	۴-۴-۳-۶- شرایط مرزی و بارگذاری
۴۷	۴-۴-۳-۷- المان بندی
۴۸	۴-۴-۳-۸- تحلیل فرآیند
۴۹	فصل پنجم: نتایج و بحث
۵۰	۵-۱- مقدمه
۵۰	۵-۲- صحت سنجی شبیه سازی
۵۷	۵-۳- بررسی اثر پارامترهای فرآیند
۵۷	۵-۳-۱- بررسی اثر مسیر فشار
۵۸	۵-۳-۲- بررسی اثر مقدار فشار (P)
۶۱	۵-۳-۳- بررسی اثر دما (T)
۶۳	۵-۳-۴- بررسی اثر زمان (t)

صفحه	عنوان
۶۵	۴-۵- بررسی اثر پارامترهای قالب
۶۵	۴-۵-۱- بررسی اثر AR
۶۷	۴-۵-۲- بررسی اثر نسبت D/H
۶۹	۴-۵-۳- بررسی اثر زاویه (ψ)
۷۲	فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادها
۷۳	۶-۱- نتیجه گیری
۷۵	۶-۲- پیشنهادها
۷۶	مراجع
۸۰	پیوست

صفحه	عنوان
۴	شکل (۱-۱) مراحل مختلف فرآیند شکل دهی، دمش؛ مرحله ۱- بسته شدن قالب و ورود گاز محفظه قالب، مراحل ۲ و ۳- افزایش فشار گاز و تغییر شکل ورق، مرحله ۴- شکل نهایی، شکل (۲-۱) دو روش فرآیند ترمو فرمینگ، جیب: بیش فرم دهی، به کمک سنبه، راست: بیش کمک فشار، گاز؛ [۴]
۵	
۷	شکل (۳-۱) مراحل مختلف فرآیند جوشکاری نفوذی و شکل دهی، سوپر پلاستیک [۴]
۹	شکل (۴-۱) محفظه جک هوایمای ایر باس، تولید شده با فرآیند شکل دهی، با گاز؛ [۶]
۹	شکل (۵-۱) سقف کامپوز، تولید شده با فرآیند شکل دهی، با گاز؛ [۶]
۱۰	شکل (۶-۱) مقطع برش، خورده بره موتور هوایمای ساخته شده به کمک فرآیند شکل دهی،
۱۰	شکل (۷-۱) در خودرو ساخته شده به کمک فرآیند شکل دهی، با گاز؛ [۶]
۱۰	شکل (۸-۱) مدل جدید Ford GT که از ده قطعه تولید شده با فرآیند شکل دهی، با گاز از ساخته شده است [۶].
۱۳	شکل (۱-۲) شکل دهی قطعه مخروط در قالب کشش عمده مومما [۸]
۱۳	شکل (۲-۲) حرمک های قطعه مخروط در فرآیند کشش عمده مومما [۹]
۱۴	شکل (۳-۲) روش اصطکاکی، به عنوان نگه دارنده ورق در کشش فنجان مخروطی، با استفاده حلقوی [۱۰]
۱۴	شکل (۴-۲) فنجان مخروطی، مسه، شکل داده شده در قالب با لایه اور تان، حلقوی [۱۰]
۱۴	شکل (۵-۲) مراحل کشش فنجان مخروطی، با استفاده از یک لایه اور تان، حلقوی [۱۰]
۱۵	شکل (۶-۲) شماتیک فرآیند هیدرو فرمینگ استاندارد [۱۱]
۱۶	شکل ۷-۲ نقشه قطعات مخروطی، مورد بررسی، [۱۵]
۱۸	شکل (۸-۲) اثر ابعاد قالب بر منحنی فشار، بهینه [۱۶]
۱۸	شکل (۹-۲) شماتیک قالب مخروطی، ناقص در فرآیند شکل دهی، دمش،
۱۹	شکل (۱۰-۲) تغییرات منحنی فشار (راست) و توزیع ضخامت (جیب) بر حسب زاویه داخلی،
۲۰	شکل (۱۱-۲) مقایسه منحنی فشار، نتایج شبیه سازی و تجربه، [۱۸]
۲۰	شکل (۱۲-۲) تاثیر حساسیت نرخ کرنش و نرخ کرنش، بهینه بر منحنی فشار [۱۹]
۲۱	شکل (۱۳-۲) تغییرات نرخ کرنش، ماکزیمم حاصل از اعمال فشار ثابت و کنترل شده [۲۰]
۲۶	شکل (۱-۳) طرح شماتیک دستگاه شکل دهی، دمش،

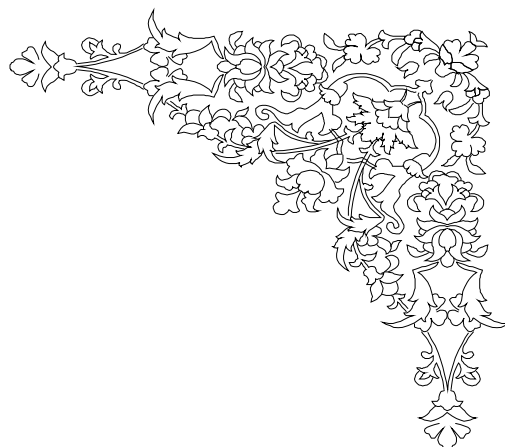
- شکل (۲-۳) دستگاه آزمایش شکل دهی، دمش،
- شکل (۳-۳) تصویر شماتیک قالب فرآیند شکل دهی، دمش، استفاده شده در این پژوهش،
- شکل (۴-۳) قالب های مورد استفاده در آزمایش های تجربی،
- شکل (۵-۳) (الف) شکل (ب) طرح شماتیک قالب استفاده شده در پژوهش،
- شکل (۶-۳) آجهای استفاده شده روی قالب
- شکل (۷-۳) اجزای سیستم کنترل پردازش،
- شکل (۸-۳) فلوجارت پردازش داده ها در برنامه نرم افزاری Labview
- شکل (۹-۳) اجزای سیستم کنترل فشار گاز،
- شکل (۱۰-۳) اجزای کنترل درجه حرارت
- شکل (۱۱-۳) تجهیزات اندازه گیری، الف- ضخامت سنج، ب- کولیس دیجیتال، ج- یروفایل
- شکل (۱۲-۳) مقطع برش خورده قطعه مخروطی، جهت اندازه گیری ضخامت
- شکل (۱۳-۳) نمونه قطعه بالچ شده با روش دمش، گاز توسط قالب دایره ای شکل،
- شکل (۱۴-۳) منحنی نمونه فشار-زمان شکل دهی، در این پژوهش،
- شکل (۱-۴) هندسه قالب و گرده در شبیه سازی
- شکل (۲-۴) مونتاژ اجزای قالب و ورق، در شبیه سازی
- شکل (۳-۴) شرط مرزی فشار و قید اعمالی بر ورق، در شبیه سازی
- شکل (۴-۴) المان بندی ورق اولیه و اجزای قالب
- شکل (۱-۵) ناحیه های مختلف مورد مطالعه در قطعه مخروطی ناقص،
- شکل (۲-۵) قطعه ی نهایی، حاصل از فشار ثابت ۲ بار و درجه حرارت 500°C و زمان ۱۲۰۰
- شبیه سازی (ب) تجربی،
- شکل (۳-۵) منحنی توزیع ضخامت نسبت به فاصله از مرکز قطعه (ب) منحنی، یروفیل، قطعه
- در فشار ثابت ۲ بار و درجه حرارت 500°C
- شکل (۴-۵) قطعه ی نهایی، حاصل از فشار ثابت ۳ بار و درجه حرارت 450°C و زمان ۱۲۰۰
- شبیه سازی (ب) تجربی،
- شکل (۵-۵) قطعه ی نهایی، حاصل از فشار ثابت ۵ بار و درجه حرارت 400°C و زمان ۱۲۰۰
- شبیه سازی (ب) تجربی،

- شکل (۵-۶) منحنی توزیع ضخامت نسبت به فاصله از مرکز قطعه در (الف) فشار ثابت ۳ بار و
 ۵۴ ۴۵۰°C (ب) فشار ثابت ۵ بار و درجه حرارت ۴۰۰°C
- شکل (۵-۷) شکل ۵-۸ منحنی، یروفیل قطعه در (الف) فشار ثابت ۳ بار و درجه حرارت
 ۵۵ ثابت ۵ بار و درجه حرارت ۴۰۰°C
- شکل (۵-۸) قطعه‌ی استوانه‌ای حاصل از فشار ثابت ۵ بار و درجه حرارت ۵۰۰°C و زمان
 ۵۶ شبیه سازی (ب) تجربه،
- شکل (۵-۹) منحنی توزیع ضخامت نسبت به فاصله از مرکز قطعه‌ی استوانه‌ای حاصل
 ۵۶ ۵ بار و درجه حرارت ۵۰۰°C
- شکل (۵-۱۰) منحنی مسیره‌های فشار اعمال شده به ورق
 ۵۷ شکل (۵-۱۱) منحنی، یروفیل حاصل از شبیه سازی طے، دو مسیر فشار ثابت و خطے،
- شکل (۵-۱۲) منحنی توزیع ضخامت نسبت به فاصله از مرکز قطعات حاصل از شبیه سازی
 ۵۸ فشار ثابت و خطے،
- شکل (۵-۱۳) (الف) منحنی توزیع ضخامت نسبت به فاصله از مرکز قطعه حاصل از شبیه
 ۵۹ یروفیل قطعه حاصل از شبیه سازی در فشارهای مختلف و درجه حرارت ۵۰۰°C
- شکل (۵-۱۴) اثر مقدار فشار بر ضخامت گوشه‌ی قطعه در فشارهای مختلف و درجه حرارت
 ۶۰ شکل (۵-۱۵) اثر مقدار فشار بر میزان پرشدگی قالب در فشارهای مختلف و درجه حرارت
- شکل (۵-۱۶) منحنی، یروفیل قطعه حاصل از شبیه سازی در فشار ۲ بار و درجه حرارت‌های
 ۶۱ شکل (۵-۱۷) منحنی توزیع ضخامت نسبت به فاصله از مرکز قطعه حاصل از شبیه سازی
 ۶۲ درجه حرارت‌های مختلف
- شکل (۵-۱۸) اثر تغییرات درجه حرارت بر میزان پرشدگی قالب حاصل از شبیه سازی در
 ۶۲ درجه حرارت‌های مختلف
- شکل (۵-۱۹) منحنی یروفیل قطعه نسبت به فاصله از مرکز حاصل از شبیه سازی در زمان-
 ۶۳ دقیقه در فشار ثابت ۲ بار و درجه حرارت ۵۰۰°C
- شکل (۵-۲۰) منحنی توزیع ضخامت نسبت به فاصله از مرکز قطعه حاصل از شبیه سازی در
 ۶۴ ۲۰ دقیقه در فشار ثابت ۲ بار و درجه حرارت ۵۰۰°C
- شکل (۵-۲۱) منحنی شعاع گوشه‌ی انحنای قطعه حاصل از شبیه سازی نسبت به زمان‌های
 ۶۴ دقیقه در فشارهای مختلف و درجه حرارت ۵۰۰°C

صفحه	عنوان
۶۵	شکل (۲۲-۵) وضعیت قطعه در طول فرآیند در قالب $AR < 1$
۶۶	شکل (۲۳-۵) وضعیت قطعه در طول فرآیند در قالب $AR > 1$
۶۷	شکل (۲۴-۵) وضعیت قطعه در طول فرآیند در قالب $AR = 1$
	شکل (۲۵-۵) (الف) منحنی توزیع ضخامت نسبت به فاصله از مرکز قطعه حاصل از شبیه
۶۸	پروفیل قطعه حاصل از شبیه سازی با نسبت $3/14$ و $2/75$ در فشار ثابت ۳ بار و درجه
	شکل (۲۶-۵) منحنی شعاع گوشه‌ی انحنای قطعه حاصل از شبیه سازی با نسبت $3/14$ و
۶۹	مختلف و درجه حرارت $500^{\circ}C$
	شکل (۲۷-۵) (الف) منحنی توزیع ضخامت نسبت به فاصله از مرکز قطعه حاصل از شبیه
۷۰	پروفیل قطعه حاصل از شبیه سازی در فشار ثابت ۹ بار و درجه حرارت $500^{\circ}C$
	شکل (۲۸-۵) منحنی شعاع انحنای گوشه‌ی قطعه حاصل از شبیه سازی در قالب‌هایی با زاویه
۷۱	و 30° درجه در فشارهای مختلف و درجه حرارت $500^{\circ}C$

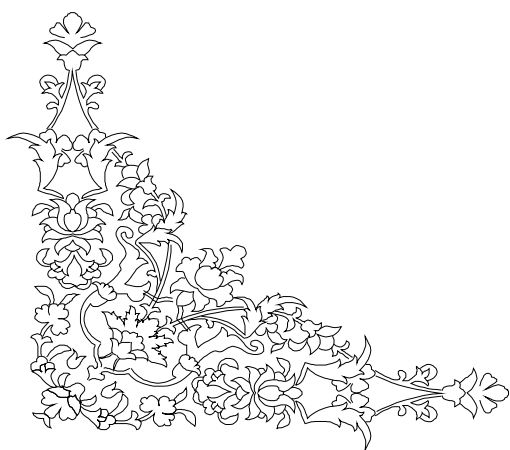
فهرست جداول:

صفحه	عنوان
۲۹	جدول (۱-۳) اندازه‌های اصلی قالب فرآیند شکل دهی دمشی در آزمایش‌های تجربی، ابعاد
۳۵	جدول (۲-۳) ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیوم تجاری ۵۰۸۳ مورد استفاده در تحقیقات
۳۸	جدول (۳-۳) خواص مکانیکی و فیزیکی ورق آلومینیوم آلیاژی ۵۰۸۳
۴۳	جدول (۱-۴) اندازه‌های اصلی قالب فرآیند شکل دهی دمشی در شبیه سازی، ابعاد به



فصل اول

کلیات



۱-۱- مقدمه

روش‌های تولید و توسعه آن‌ها از زمینه‌هایی است که همواره در طی دوره‌های مختلف زندگی بشری، از اهمیت بالایی برخوردار است. دلیل این امر ارتباط مستقیم و پیوسته این فرآیندها با پیشرفت صنعت و تکنولوژی می‌باشد. در بین روش‌های مختلف تولید، فرآیندهای شکل دهی فلزات به دلیل تولید قطعاتی با خواص مکانیکی عالی و با کم‌ترین اتلاف ماده و همچنین کاربرد گسترده محصولات آن در صنایع ساخت و تولید از جمله صنایع خودرو سازی، هواپیماسازی، ماشین آلات صنعتی و موارد مشابه، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. هدف اصلی در فرآیندهای شکل دهی فلزات ایجاد تغییر شکل مطلوب در ماده خام اولیه با هندسه‌ای نسبتاً ساده به یک محصول با شکل نسبتاً پیچیده طی یک یا چند مرحله عملیات شکل‌دهی می‌باشد [۱]. اصول نظری و صنعتی فرآیندهای شکل‌دهی فلزات بدون شک همچنان در حال گسترش است که عامل اصلی آن صرفه‌جویی در انرژی و مواد اولیه، افزایش بازدهی در روش‌های مختلف تولید با کاهش هر چه بیشتر عملیات بعدی، کاهش عملیات نهایی روی محصول و در نتیجه کاهش هزینه‌های جانبی تولید برای کسب توانایی رقابت در عرصه تجارت جهانی است. از این رو، استفاده از فرآیندهای تولید پیشرفته و سیستم‌های انعطاف‌پذیر در صنعت همواره مورد توجه محققان و صنعتگران بوده است [۲].

یکی از فرآیندهایی که امروزه به شدت توجه تولیدکنندگان را به خود جلب نموده، استفاده از محیط‌های انعطاف‌پذیر در تولید قطعات توخالی و پیچیده است. شکل دهی با دمش گاز^۱، فرآیندی است که در دهه‌ی اخیر به صورت یک روش شکل‌دهی قابل استفاده به جای استفاده از ابزار صلب در صنعت معرفی گردیده است. در این فصل، ابتدا فرآیندهای شکل دهی با گاز معرفی و دسته بندی شده است و پس از آن، مزایا و معایب فرآیند شکل دهی با گاز نسبت به سایر فرآیندهای شکل‌دهی ورق و کاربردهای آن اشاره شده است.

۱-۲- فرآیند شکل‌دهی با گاز

فرآیند شکل‌دهی با گاز برای اولین بار توسط سوری‌ها استفاده شده است. این روش به جام (آبگینه)- سازان سوری در قرن اول میلادی نسبت داده می‌شود که دریافته بودند حباب شیشه‌ای روی انتهای لوله‌ی دمش را می‌توانند در بسیاری از قالب‌های توخالی شکل دهند [۳].

بطور کلی در فرآیند شکل‌دهی با گاز، در ابتدا ورق به وسیله ورق گیر در پیرامون مهار شده و تا درجه حرارت مورد نظر گرم می‌شود. سپس ورق به کمک فشار گاز به حفره قالب دمیده شده و شکل قالب را می‌گیرد [۴].

۱-۳- انواع فرآیندهای شکل‌دهی با گاز

به طور کلی، فرآیند شکل‌دهی با گاز را می‌توان به پنج دسته تقسیم کرد که عبارتند از:

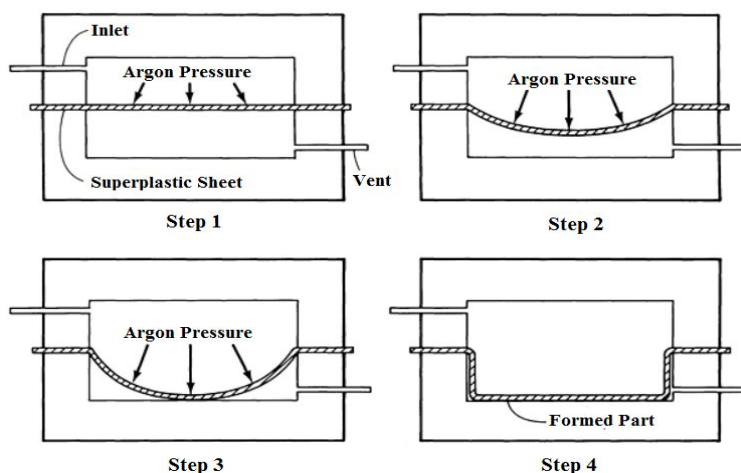
- شکل‌دهی دمشی
- شکل‌دهی خلا
- ترموفرمینگ
- شکل‌دهی ابرمومسان و اتصال نفوذی

^۱ - Gas forming

۱-۳-۱- شکل‌دهی دمشی^۱ و شکل‌دهی خلا^۲

در هر دو روش شکل‌دهی دمشی و خلا، فشار گاز به یک سمت ورق اعمال می‌شود و ورق را به قالب فشار داده و شکل می‌دهد. در شکل‌دهی خلا، فشار اعمال شده محدود به فشار اتمسفر است، و سرعت و ظرفیت شکل‌دهی محدود است. در شکل‌دهی دمشی، فشار لازم برای شکل‌دهی به کمک منبع فشار تامین می‌شود. فشار ماکزیمم ۶۹۰ تا ۳۴۰۰ کیلو پاسکال است. در شکل (۱-۱) فرآیند شکل‌دهی دمشی نشان داده شده است [۴].

در فرآیند شکل‌دهی دمشی، قالب و ورق معمولاً تا درجه حرارت شکل‌دهی گرم می‌شوند و فشار گاز اعمال شده به ورق باعث می‌شود که ورق فرم قالب را بگیرد. فشار در سمت دیگر ورق همان فشار اتمسفر است. در قسمت دیگر قالب می‌توان برای بهبود کیفیت محصول، خلا یا فشار معکوس ایجاد کرد. همچنین لبه‌های ورق در جای خود ثابت نگه‌داشته می‌شود و مانند کشش عمیق جابه‌جا نمی‌شود. بنابراین ورق فقط کشیده شده و تمام ماده بکار رفته برای فرم‌دهی قطعه همان ورق داخل قالب است که باعث نازک شدن ورق در قطعات پیچیده و عمیق می‌شود و تغییرات ضخامت زیادی تولید می‌کند [۴].



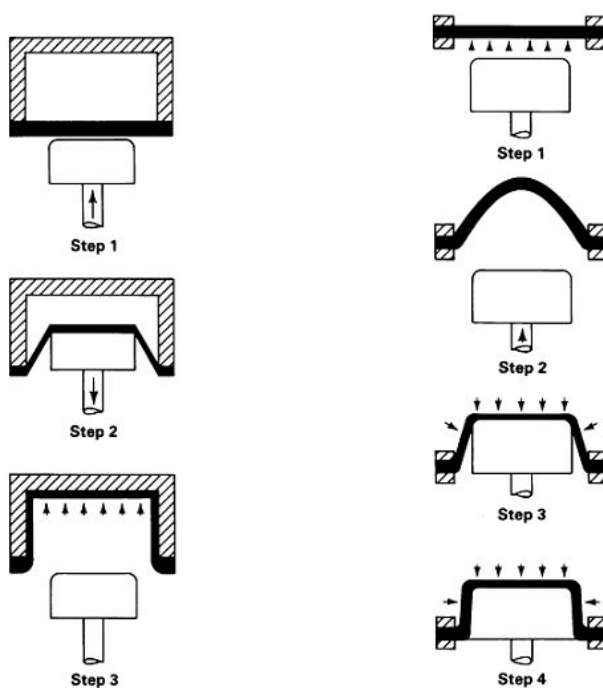
شکل ۱-۱- مراحل مختلف فرآیند شکل‌دهی دمشی: مرحله ۱- بسته شدن قالب و ورود گاز آرگون به محفظه قالب، مراحل ۲ و ۳- افزایش فشار گاز و تغییر شکل ورق، مرحله ۴- شکل نهایی قطعه [۴].

^۱- Blow forming
^۲- Vacuum forming

این فرآیند برای تولید قطعات سازه‌ای و تزئینی از جنس تیتانیوم، آلومینیم و سایر فلزات استفاده می‌شود. با توجه به درجه حرارت بالای (۹۰۰ درجه سانتی‌گراد) شکل‌دهی قطعات تیتانیومی و واکنش پذیری زیاد این فلز، برای کم کردن اکسیداسیون و تخریب سطوح از گاز آرگون استفاده می‌شود، اما برای قطعات آلومینیمی نیازی به آن نیست [۴].

۱-۳-۲- ترمو فرمینگ^۱

این فرآیند شکل‌دهی بر گرفته از تکنولوژی پلاستیک است که برای شکل‌دهی مواد ابرمومسان استفاده می‌شود. در این روش از اجزای متحرک قالب و یا از قبل تنظیم شده به همراه فشار گاز یا خلا برای شکل‌دهی استفاده می‌شود. شکل (۱-۲) دو مثال از این فرآیند را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲ دو روش فرآیند ترمو فرمینگ، چپ: پیش فرم دهی به کمک سنبه، راست: پیش فرم دهی به کمک فشار گاز [۴].

^۱ Thermo-forming

در سمت چپ (مراحل ۱ و ۲) ابتدا سنبه به درون قالب نفوذ کرده و یک پیش فرم در ورق ایجاد می کند. در ادامه (مرحله ۳) سنبه از قالب خارج شده و فشار گاز باعث چسبیدن ورق به قالب و در نتیجه شکل دهی نهایی ورق می شود. در سمت راست، ابتدا ورق بدون حرکت سنبه دمیده می شود (مراحل ۱ و ۲). در مرحله بعد سنبه به درون قطعه حاصل از مرحله قبل حرکت کرده و فشار معکوس، ورق را کاملاً به سنبه می چسباند. به کمک این تکنیک ها در نازک شدگی قطعه نهایی بهبود زیادی حاصل می شود [۴].

۱-۳-۳- فرآیند شکل دهی ابروموسان و اتصال نفوذی^۱ یا SPF/DB

فرآیند حاصل از ترکیب روش های اتصال نفوذی و شکل دهی ابروموسان را SPF/DB می نامند. با وجودی که اتصال نفوذی یک فرآیند شکل دهی نیست، اما مکمل خوبی برای فرآیندهای شکل دهی ابروموسان است و توانایی های این فرآیند را بالا می برد. با توجه به نزدیکی فشار و درجه حرارت لازم برای هر دو فرآیند، ترکیب این دو با بازده بالا امکان پذیر است. از طرف دیگر تنش سیلان پایین مواد ابروموسان، اتصال نفوذی آن ها را تسهیل می کند، به گونه ای که بسیاری از آلیاژهای ابروموسان را می توان تحت فشار لازم برای شکل دهی ابروموسان، جوشکاری کرد. فرآیند ابروموسانی که تاکنون با این فرآیند انجام شده، شکل دهی دمشی است. در شکل (۱-۳) نمونه ای از این فرآیند نشان داده شده است. تعدادی ورق را در نقاط مشخص اتصال نفوذی کرده سپس با اعمال فشار گاز به فضای بین ورق ها، کل قطعه منبسط شده و در نتیجه دو ورق خارجی مطابق شکل قالب شکل می گیرد و ورق های داخلی سازه داخلی را شکل می دهند. برای کنترل نقاط اتصال، از قطعات جدا کننده^۲ بین ورق ها در مکان هایی که نباید متصل شود، استفاده می شود [۴].

^۱ - Diffusion Bonding

^۲ - Stop-off