



طراحی چندراهه دود ورقه‌ای و شبیه‌سازی فرایند ساخت آن برای استفاده در موتور پرخوران بنزینی پایه گازسوز

سید محمد مهدی میرافضل^۱، علیرضا حاجی علی محمدی^{۲*}، سید محمود موسوی مشهدی^۳، آرش محمدی^۴

^۱ دانشگاه تهران، تهران، ایران، mirafzal@ut.ac.ir

^۲ مرکز پژوهشی موتور و قوای محرکه پیشگام، تهران، ایران، a_hajiali@ip-co.com

^۳ دانشگاه تهران، تهران، ایران، mmosavi@ut.ac.ir

^۴ مرکز تحقیقات موتور ایران خودرو (ایپکو)، تهران، ایران، a_mohammadi@ip-co.com

* نویسنده مسئول، شماره تماس: ۰۲۱۴۴۵۲۰۸۸۲

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۵ بهمن ۱۳۹۳

پذیرش: ۴ خرداد ۱۳۹۴

کلیدواژه‌ها:

چندراهه دود

شکل دهی ورق

فولاد ضد زنگ

نرم‌افزار Autoform

موتور پرخوران

توان تحمل دماهای گرم، وزن کم و قابلیت راه اندازی سریع واکنشگر از ویژگی‌های چندراهه‌های دود ورقه‌ای هستند که استفاده از آن‌ها را برای موتورهای با دمای دود خروجی بزرگتر از ۹۰۰ درجه توسعه داده اند. در این مقاله پیشنهاد جایگزینی چندراهه دود چدنی با درصد نیکل زیاد با چندراهه دود ورقه‌ای برای موتور پرخوران ملی (EF7-TC) ارائه شده است. برای این منظور ابتدا طراحی چندراهه دود با توجه به قیود جانمایی در موتور و تحلیل جریان در چندراهه انجام گرفت سپس با توجه به الگوی به دست آمده، فرایند ساخت با استفاده از نرم‌افزار AUTOFORM شبیه‌سازی شد. در شبیه‌سازی اثر ضخامت ورق، نیروی ورق‌گیری، جنس ورق و ضریب اصطکاک روی پارگی ورق مطالعه شد. نتایج نشان دادند که همبسته فولادی (AISI321) به عنوان جنس مناسب برای فرایند کشش چندراهه دود می‌تواند استفاده شود.

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.



۱- مقدمه

سامانه تخلیه دود^۱ در موتور احتراق داخلی به منظور انتقال گازهای حاصل از احتراق، از محفظه احتراق موتور به فضای محیط استفاده می‌شود. در موتورهای احتراق داخلی با بیش از یک استوانه از چندراهه دود^۲ به منظور انتقال محصولات احتراق، از درگاه خروجی استوانه‌ها به یک خروجی مشترک استفاده می‌شود. با توجه به اینکه هندسه، روش ساخت و جنس چندراهه دود تأثیر بسزایی روی عملکرد آن دارد، انواع مختلفی از چندراهه‌های خروجی در موتورهای مختلف استفاده شده است [۱].

چندراهه دود باید بتواند در شرایط تمام بار موتور که بیشترین دمای دود در آن اتفاق می‌افتد به درستی عمل کند در نتیجه عامل تعیین کننده اصلی در انتخاب جنس چندراهه دود، حداکثر دمای دود است. جنس مورد استفاده در چندراهه دود باید استحکام خستگی قوی در دماهای گرم داشته باشد تا در مقابل تنش‌های حرارتی نوسانی دچار عارضه‌هایی از قبیل تاب برداشتن، ایجاد ترک و نشستی نشود.

برای موتورهای با دمای دود سردتر از ۸۰۰ درجه سانتی گراد مانند موتورهای بنزینی تزریق درگاهی، معمولاً از چدن پرسلیسیم فریتی، برای موتورهای دیزلی سواری و موتورهایی که دمای دود آن‌ها سردتر از ۱۰۰۰ درجه است از چدن سیلیسیم مولیبدن دار (SiMo) و برای موتورهای با دمای دود گرمتر از ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد (موتورهای بنزینی پرخوران) از چدن پر نیکل^۳ (بین ۲۰ تا ۳۶ درصد نیکل) استفاده می‌شود [۲].

استفاده از چدن پرنیکل برای موتورهای پرخوران که دمای دود آن‌ها بیش از ۹۵۰ درجه است، هزینه نهایی قطعه تولید شده را به دلیل درصد زیاد نیکل بالا می‌برد، وزن زیادی دارد، از طرفی با سختگیرانه‌تر شدن قوانین آلایندگی در شرایط راه اندازی سرد، زمان زیادی طول می‌شکد تا واکنشگر به راه بیفتد.

برای غلبه بر این مشکلات یکی از راهکارهای ارائه شده استفاده از چندراهه‌های دود ورقه‌ای فولادی است که قابلیت تحمل دماهای بیشتر از ۱۰۰۰ درجه را دار هستند، سبک اند و به دلیل ظرفیت حرارتی^۴ کوچکتر از چندراهه چدنی، به راه اندازی سریع واکنشگر کمک می‌کند [۱].

روش ساخت چند راهه‌های دود چدنی عمدتاً ریخته گری است ولی چند راهه‌های دود فولادی به روش‌های مختلفی همچون شکل‌دهی با سیال^۵ [۳]، شکل دهی ورق، شکل دهی لوله [۴] و ترکیبی از شکل دهی ورق و لوله (دو لایه) تولید می‌گردند. یکی از روش‌های

اقتصادی ساخت چندراهه دود فولادی، شکل دهی ورق فولادی و اتصال دو قسمت بالایی و پایینی به روش جوشکاری است [۵].

تاکنون طرح‌های زیادی برای چندراهه‌های دود ورقه‌ای ارائه شده است، کووار و نوردینگ در سال ۲۰۰۱ طرح جدیدی ارائه نمودند که فقط قسمتی از قطعه که بیشتر تحت تأثیر تنش‌های گرمایی حاصل از کارکرد موتور هست در آن به صورت دولایه ساخته می‌شود [۶].

گاتیز و همکاران برای موتور دارای پرخوران از چندراهه دود فولادی ساخته شده از لوله استفاده نمودند. تحلیل‌های آن‌ها نشان داد: با استفاده از فولاد ضد زنگ AISI 316L برای چندراهه دود، ضریب اطمینان بالایی از نظر استحکام در تحلیل‌های مکانیکی حاصل می‌شود [۷].

همبسته AISI 444 نیز به توسط سانتاکرو و همکاران برای چندراهه دود ورقه‌ای تولید شده به روش کشش عمیق استفاده شد. نتایج نشان داد استفاده از این همبسته می‌تواند باعث افزایش قابل ملاحظه استحکام دمای گرم چندراهه دود شود و مقاومت خزشی را افزایش دهد [۸].

تحقیقات زیادی هم طی سال‌های اخیر صورت گرفته است که مبنای آن‌ها بیشتر تحلیل تنش و گرمایی چندراهه دود ورقه‌ای، تحلیل خستگی و آزمون‌های مختلف جهت تعیین عمر جنس‌های مورد استفاده برای چندراهه ورقه‌ای است [۹-۱۳]. همچنین راهبردهای مختلفی برای طراحی چندراهه دود جهت عملکرد بدون ترک و نشستی ارائه شده است [۱۴-۱۵].

همانطور که گفته شد، با توجه به اینکه بیشتر کارهای قبلی انجام شده به بررسی خستگی، خواص مکانیکی تنش و حرارتی و آزمون چندراهه اختصاص یافته است و کمتر روی فرآیند ساخت چندراهه به طور خاص پژوهش شده است، در این تحقیق طراحی چندراهه دود ورقه‌ای با توجه به محدودیت‌های موجود برای یک موتور پرخوران گازسوز انجام گرفته و سپس فرآیند ساخت مدل طراحی شده (با هندسه مشخص) با هدف تعیین جنس، ضخامت و برگشت فنی ورق و متغیرهای ضریب اصطکاک و نیروی ورق گیر مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

۲- طراحی مدل چندراهه دود ورقه‌ای

در موتور EF7-TC که یکی از موتورهای طراحی و ساخته شده در شرکت ایپکو (تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو) است، از یک چندراهه دود چدنی ریخته گری شده استفاده شده که به دلیل دمای گرم گازهای خروجی (در اثر استفاده از پرخوران تا حدود ۹۵۰ درجه سانتیگراد)، از چدن با درصد نیکل زیاد استفاده می‌شود.

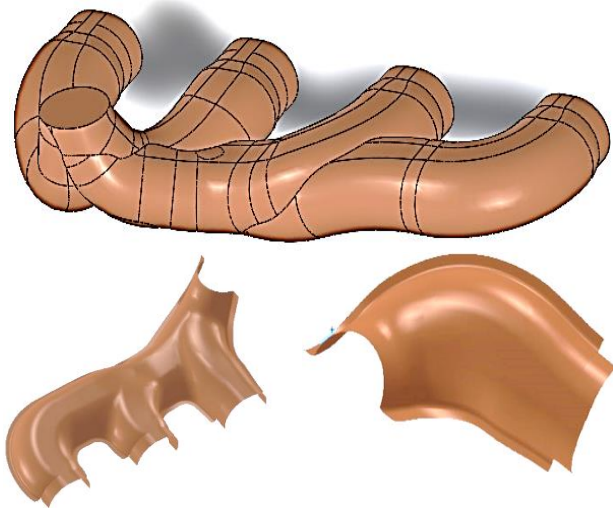
¹ Exhaust system

² Exhaust manifold

³ Niresist cast iron

⁴ Thermal mass (Capacitance)

⁵ Hydroforming



شکل ۲: شکل نهایی چندراهه دود ورقه‌ای



شکل ۱: شکل اولیه چندراهه دود چدنی موتور EF7-TC

۳- شبیه‌سازی عددی جریان

ابتدا با استفاده از تحلیل یک بعدی که توسط نرم‌افزار GT-Power انجام گرفت، بررسی تغییر چند راهه روی عملکرد موتور بررسی شد و بعد از اینکه از عملکرد موتور با تغییر جدید اطمینان حاصل شد. تحلیل سه بعدی جریان با نرم‌افزار Fluent انجام گرفت.

هدف از تحلیل سه بعدی جریان دستیابی به هندسه ای برای چندراهه دود بود که اولاً کمترین پس فشار را ایجاد کند، همچنین سرعت دود در هیچ جای چندراهه به اندازه ای نشود که سر و صدای زیادی ایجاد کند. بدین منظور، حل سه بعدی با استفاده از رایانه‌ای ۸ هسته ای برای تعیین متغیرهای فشار، دما و عدد ماخ در یک چرخه کامل کاری موتور انجام شد.

هندسه چندراهه دود در مراحل مختلف اصلاح شد تا نهایتاً هندسه ای به دست آمد که هر دو شرط ذکر شد را ارضا نمود. بنابراین به عنوان هندسه اصلی چندراهه در مرحله طراحی فرآیند ساخت استفاده شد.

با استفاده از شرایط مختلف کاری موتور پرخوران دمای چند راهه در زوایای مختلف محاسبه شد که توزیع‌های دما، فشار ایستا، پویا و عدد ماخ روی سطح چند راهه برای دو زاویه ۱۰ و ۵۶۰ در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده اند. در شکل ۳ شرایط مرزی دمایی در ورودی و خروجی چندراهه دود آورده شده است. داده‌های حاصل از نرم‌افزار GT-power به دست آمده است. برای تصدیق شرایط مرزی جریان دود در چندراهه، دمای دود در ورودی درگاه‌های مختلف چندراهه دود محاسبه شد.

داده‌های حاصل از آزمون تجربی موتور نیز در شکل ۴ نشان داده شده است. در این شکل دمای در ورودی ۴ درگاه چندراهه دود که با جایگذاری دماسنج در این مناطق اندازه گیری شده است در دوره‌های مختلف کاری موتور پرخوران نشان داده شده است.

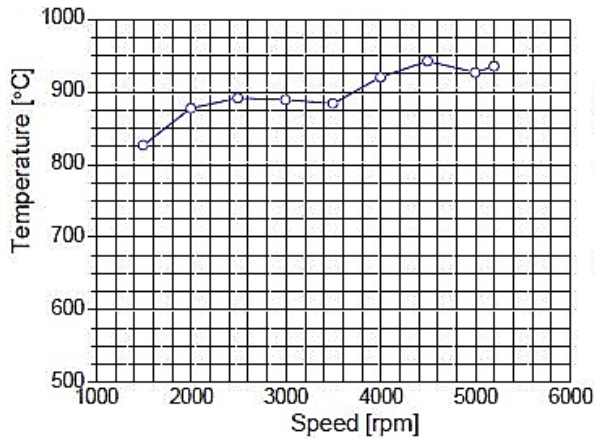
نتایج نشان داده شده در شکل ۴ میانگین دما در نقاط قرارگیری دماسنج در هر دور اند.

با توجه به مزیتی که چندراهه دود فولادی ورقه ای نسبت به چندراهه دود چدنی با درصد زیاد نیکل از جهت استحکام حرارتی و قیمت دارد در این پژوهش پیشنهاد استفاده از این نوع چندراهه در موتور ملی پرخوران ارائه شده است.

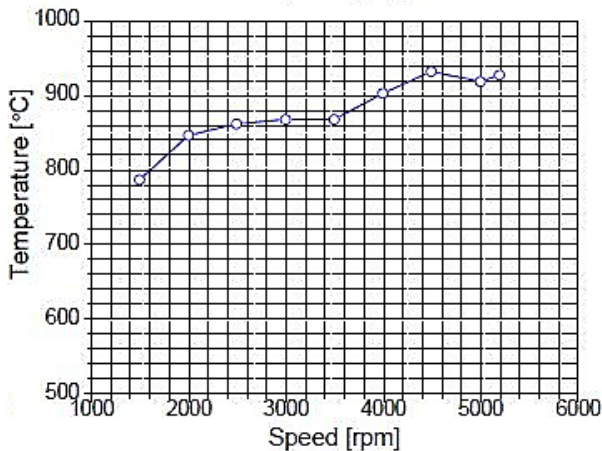
موارد زیر از جمله الزاماتی هستند که در طراحی چندراهه دود ورقه‌ای باید مورد توجه قرار گیرند:

- تحلیل جریان خروجی گازهای حاصل از احتراق و تأثیر متقابل آنها بر یک دیگر
- استحکام ایستایی و خستگی در برابر بارگذاری، ارتعاش و دمای گرم کاری
- سهولت و امکان روش ساخت با توجه به امکانات موجود و ملاحظات جنس ورق
- صرفه اقتصادی تولید و محاسبه تعداد اقتصادی برای روش‌های تولید مختلف
- ملاحظات ابعادی با توجه به جانمایی قطعات مختلف موتور

به دلیل محدودیت در جانمایی چندراهه دود در داخل محفظه موتور و عدم امکان تغییر در ابعاد چندراهه دود، کشیدن چندراهه دود ورقه‌ای بر اساس ابعاد و هندسه شکل موجود چدنی. به کمک نرم‌افزار PRO-ENGEENIER انجام گرفت. شکل نهایی پس از چندین مرحله طراحی و تصحیح به کمک تحلیل جریان گازهای خروجی یک بعدی (نرم‌افزار GT-POWER) و سه بعدی (نرم‌افزار FLUENT) و بررسی جا نمایی در داخل محفظه موتور تأیید شد. امکان، سهولت و اقتصادی بودن ساخت شکل نیز از دیگر ملاحظات بود که در طراحی شکل تأثیر به سزایی داشت به طوری که شکل نهایی در دو قسمت رویی و زیرین طراحی گردید که با یک بار کشش با دستگاه پرس قابل ساخت است.



(ج)



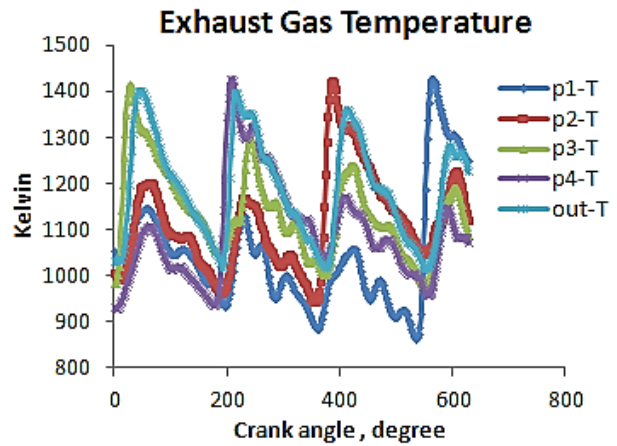
(د)

شکل ۴: دمای ورودی چندراهه دود آزمایشگاهی برای هر یک از چهار ورودی در دوره‌های مختلف کاری برای بار کامل: (الف) ورودی اول، (ب) ورودی دوم، (ج) ورودی سوم و (د) ورودی چهارم [۱۶]

همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، دمای میانگین در دور ۵۸۵۰ دور در دقیقه ۹۰۰ درجه سانتی گراد یا ۱۱۷۳ کلوین است. شکل ۳ نشان می‌دهد که دمای میانگین حدود ۱۲۱۰ کلوین است. به این ترتیب میانگین نتایج ورودی با نتایج عددی سازگاری خوبی دیده می‌شود (خطای ۳ درصد).

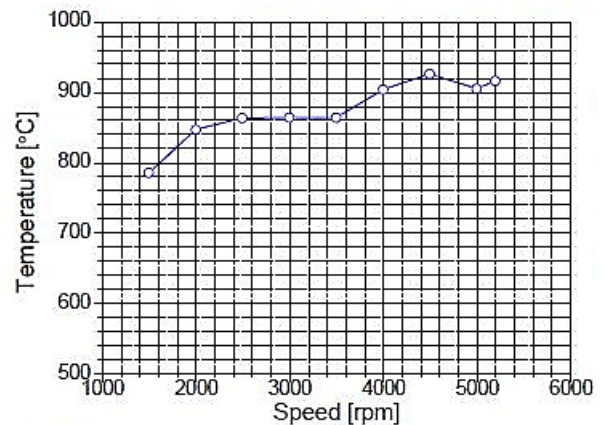
نتایج مربوط به فشار، دما و عدد ماخ برای هندسه ای از چندراهه دود که شروط حداقل پس فشار و سروصدای کم را ارضا نماید در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.

شایان ذکر است هندسه ای که نتایج مورد قبول را ارائه می‌دهند از آزمون هندسه‌های مختلف به دست آمده است. با توجه به نمودار شار خروجی از چندراهه دود بر حسب درجه لنگ، حداکثر شار دود خروجی از چندراهه دود در زوایای ۱۰ و ۵۶۰ درجه لنگ اتفاق می‌افتد. نتایج این زوایا در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده‌اند.

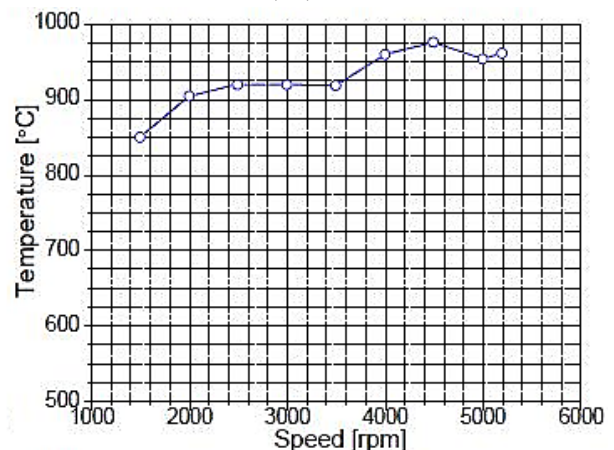


شکل ۳: دمای ورودی برای ورودیهای ۱ تا ۴ چندراهه دود به دست آمده از شبیه‌سازی

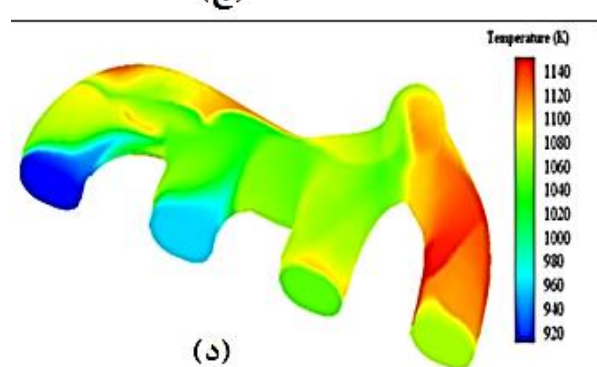
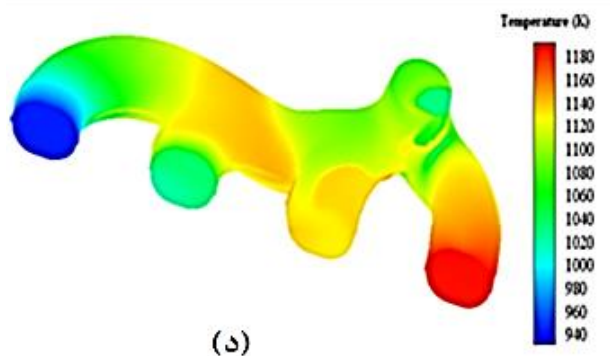
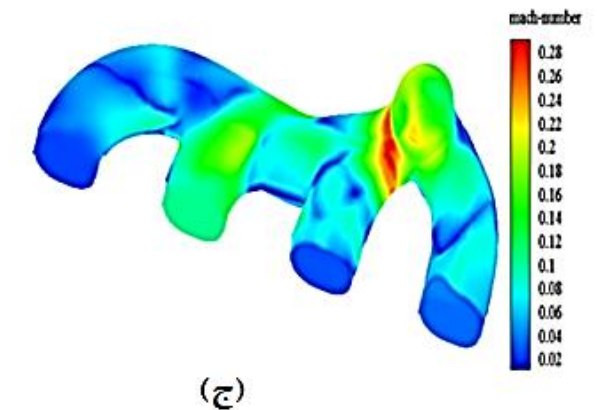
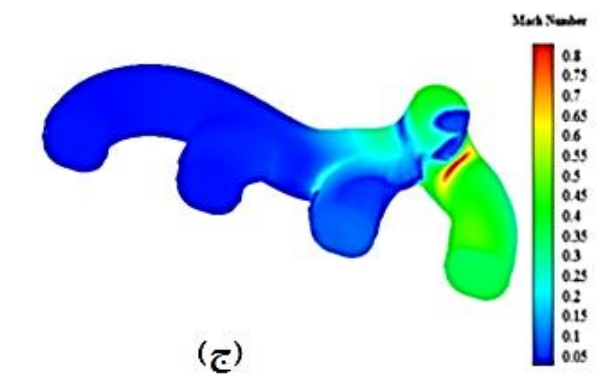
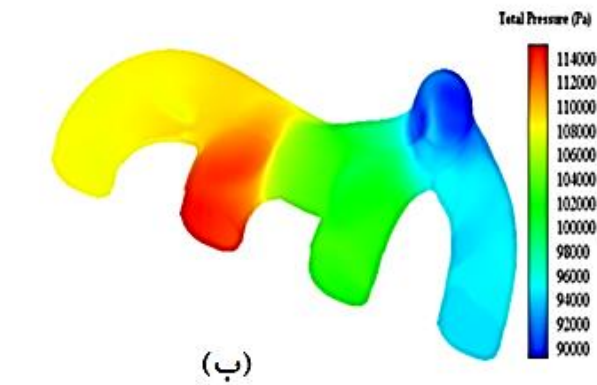
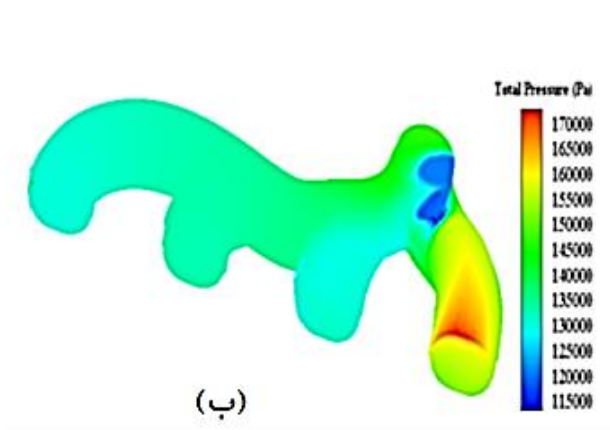
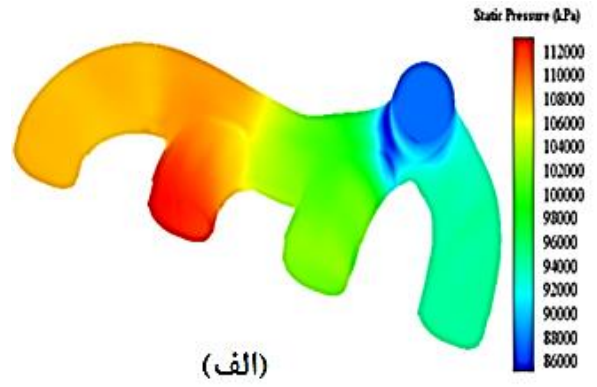
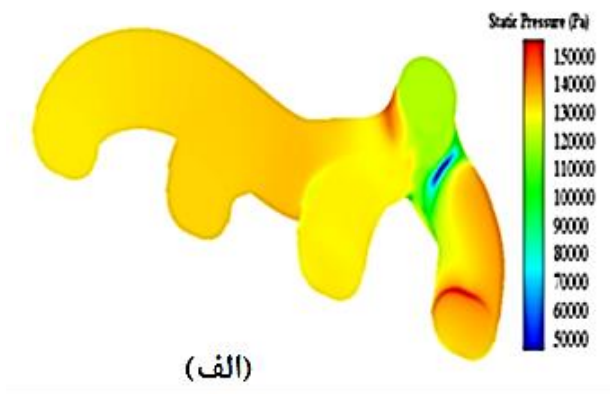
در شکل ۴ نتایج تجربی اندازه گیری دمای دود در ورودی‌های مختلف که با استفاده از نصب حسگر در آن مناطق اندازه‌گیری شده است، نشان داده شده است.



(الف)



(ب)



شکل ۶: مقادیر متغیرهای (الف) فشار ایستا، (ب) فشار کل، (ج) عدد ماخ، (د) توزیع دما برای دود خروجی از استوانه چهارم در زاویه میل لنگ ۵۶۰ درجه

شکل ۵: مقادیر متغیرهای (الف) فشار ایستا، (ب) فشار کل، (ج) عدد ماخ، (د) توزیع دما برای دود خروجی از استوانه دوم در زاویه میل لنگ ۱۰ درجه

ورق امکان پارگی کاهش می‌یابد ولی امکان ایجاد چروک در قطعه افزایش می‌یابد. بنابر نتایج تجربی از ورق‌هایی با حداکثر ضخامت ۳ میلیمتر برای کشش استفاده می‌گردد.

ضریب اصطکاک: مقدار روان سازی و یا ضریب اصطکاک تأثیر بسزایی بر فرایند کشش و همچنین کیفیت سطح محصول نهایی دارد. به هر مقدار که این ضریب کاهش یابد فرایند کشش تسهیل شده و کیفیت سطح بالاتری حاصل می‌گردد. از جدول زیر برای انتخاب ضریب اصطکاک ورق‌های فولادی در فرایند کشش استفاده می‌شود.

جدول ۱: ضرایب اصطکاک در شرایط مختلف روانسازی [۱۷]

| شرایط کشش | ضریب اصطکاک |
|-------------------------|-------------|
| بدون استفاده از روانساز | ۰,۱۸ |
| استفاده از روغن | ۰,۱۶ |
| استفاده از روغن و مشمع | ۰,۱۵ |

نیروی ورق گیری: مقدار نیرویی که توسط ورق گیر به قطعه وارد می‌شود و مقدار جریان ورودی به داخل قالب را تنظیم می‌کند، نیروی ورق گیری نامیده می‌شود. افزایش بیش از حد این نیرو باعث کاهش جریان ورودی فلز و پارگی و کاهش این نیرو باعث افزایش بیش از حد جریان فلز به داخل قالب و ایجاد چروکیدگی در لبه‌ها می‌گردد. مقدار این نیرو به طور تجربی بین ۱ تا ۳ مگاپاسکال انتخاب می‌شود.

۴-۲- نتایج تحلیل کشش ورق

مرجع اصلی نرم‌افزار AUTOFORM برای رد یا قبول شکل دهی ورق، نمودار^۲ FLD ورق است که به صورت استاندارد برای هر جنس همبسته موجود است و در غیر این صورت باید توسط یک سری آزمایش عملی این نمودار را به دست آورد.

نتایج کرنش‌های اصلی هر دانه بندی به صورت مختصات یک نقطه در نمودار ثبت شد و اگر مجموع نقاط زیر خط FLD قرار بگیرند یعنی قطعه پاره نشده است. همچنین مبنای نرم‌افزار برای قبول جواب‌های بهینه‌سازی با استفاده از حصول به درصدی از هم‌گرایی قابل تنظیم به نتایج شبیه‌سازی شامل درصدی از نزدیکی به نمودار FLD، مقدار نازک شدگی، مقدار افزایش ضخامت و . . . است که این نتایج به صورت وزن دهی دلخواه قابل انتخاب هستند.

پس از حل مسائل به روش بهینه‌سازی، تنها یک مورد از همبسته‌های فولادی (AISI321) به عنوان جنس مناسب برای فرایند کشش چندراهه دود با شرایط گفته شده در بالا انتخاب شد و شبیه‌سازی و بهینه‌سازی با دیگر همبسته‌ها منجر به ایجاد پارگی در شکل گردید. روند کار بدین صورت بود که ابتدا بهینه‌سازی قسمت زیرین شکل که دارای یک برآمدگی موضعی است (بدین دلیل این قطعه شرایط

۴- طراحی فرایند ساخت مدل چندراهه دود

طراحی فرایند ساخت چندراهه دود ورقه‌ای با استفاده از نرم‌افزار Autoform انجام گرفت. Autoform یک نرم‌افزار تحلیلی است که طراحی قالب، شبیه‌سازی فرایند شکل دهی، بهینه‌سازی متغیرهای مؤثر در شکل دهی، محاسبه مقدار بازگشت فنی، پارگی ورق و نیروی ورق گیری از قابلیت‌های آن است. روند کار بدین صورت است که ابتدا مدل سه بعدی سنبه، ماتریس^۱، ورق گیر و دیگر ابزارهای مورد نیاز با توجه به نوع فرایند شکل‌دهی از روی مدل قطعه نهایی ساخته می‌شود. سپس با انتخاب متغیرهای همچون جنس ورق، ضریب اصطکاک و نیرو ورق گیری فرایند ساخت قطعه شبیه‌سازی گشته و نتایج حاصل از شکل دهی همانند قابلیت شکل پذیری (با توجه به نمودار FLD)، تغییرات ضخامت، مقدار کرنش و تنش در شکل به صورت تصویری و نموداری حاصل می‌گردند.

۴-۱- شرایط شبیه‌سازی کشش ورق

شبکه‌ها در نرم‌افزار Autoform از نوع مثلثی است و کاربر می‌تواند حداکثر اندازه بزرگترین ضلع مثلث را مشخص کند، که در این تحقیق با توجه به ابعاد قطعه ۱ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. شرایط مرزی از طریق شبیه‌سازی فرایند کشش تعریف شد و شرایط بارگذاری مسئله، همان نیروی ورق‌گیری است.

یکی از قابلیت‌های مهم این نرم‌افزار امکان بهینه‌سازی محدوده وسیعی از متغیرهای مؤثر در فرایند ساخت و حصول بهترین نتیجه برای شکل دهی یک شکل ورقه‌ای است. در ادامه به شرح و بررسی متغیرهایی که در شبیه‌سازی فرایند کشش مدل چندراهه دود بهینه‌سازی شده‌اند، پرداخته می‌شود:

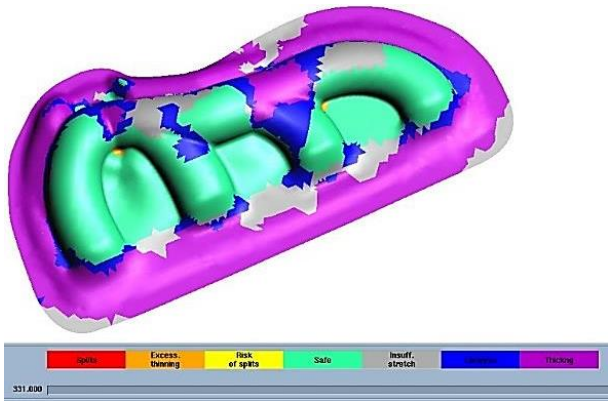
جنس ورق: فولادهای ضد زنگ برای کار کرد در دماهای گرم انتخاب مناسبی هستند. این مواد بخاطر استحکام عالی (دمای محیط و دمای بالا)، مقاومت به خوردگی و اکسیدشدن و همچنین ایجاد سطوح بسیار صاف و صیقلی درون راهگاه‌های چندراهه دود، مواد مطلوب برای ساخت چندراهه دود هستند.

از دو خانواده فولادهای ضد زنگ آستنیتی و فریتی برای ساخت چندراهه‌های دود استفاده می‌گردد. همبسته‌های آستنیتی دارای قابلیت کشش بهتر، استحکام در دمای گرم بیشتر و قیمت گرانتری نسبت به انواع فریتی دارد. پس از بررسی چندین چندراهه دود همبسته موجود در واحد الگوبرداری و با استفاده از نتایج گزارش آزمایشگاه شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو همبسته‌های AISI 304, 316, 321 از دسته آستنیتی و AISI 409, 441 از دسته فولادهای فریتی برای بررسی انتخاب گردید.

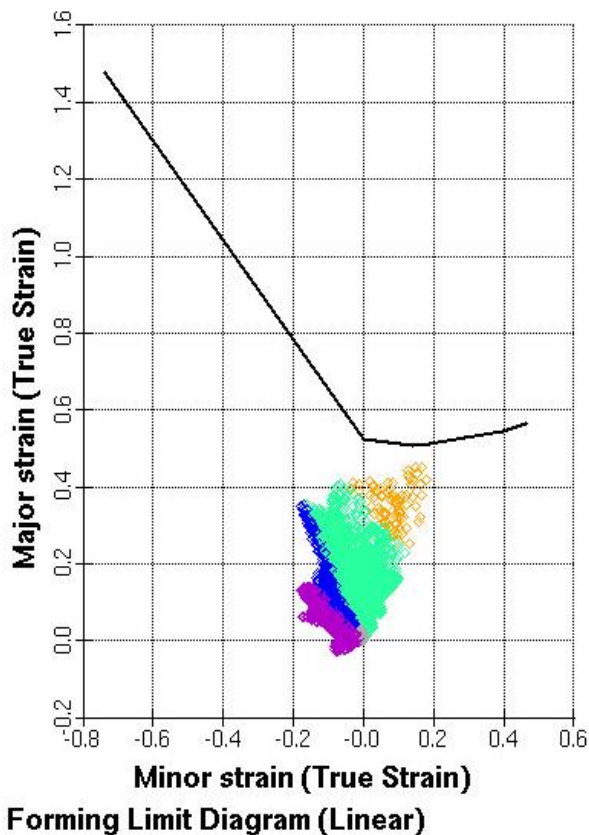
ضخامت ورق: پس از بررسی چند راهه‌های دودی ورقه‌ای ضخامت بین ۱ تا ۲ میلیمتر برای شکل انتخاب گردید. با افزایش ضخامت

² Flow Limit Diagram

¹ Matrix



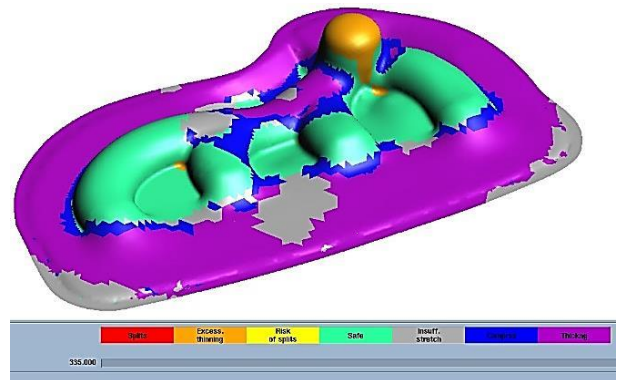
شکل ۹: شکل پذیری قسمت رویی چندراهه دود برای همبسته فولاد AISI321



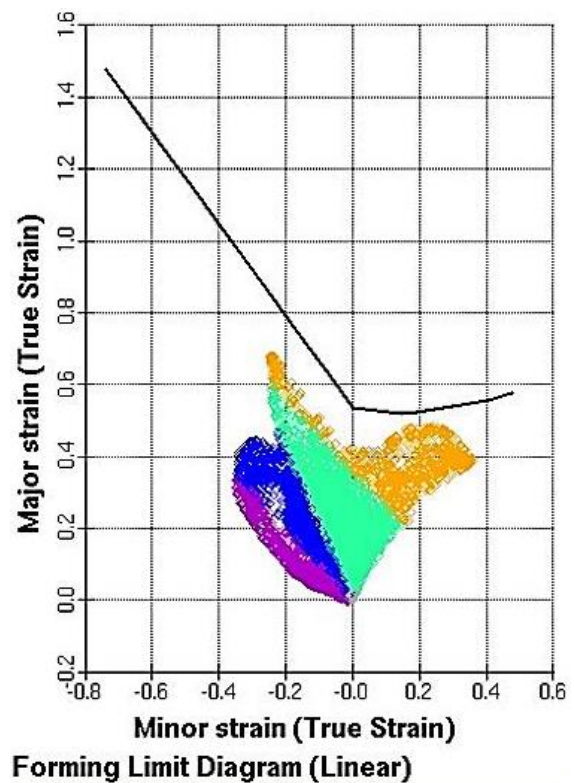
شکل ۱۰: شکل پذیری قسمت رویی چندراهه دود برای همبسته فولاد AISI321

در ادامه نمودار شکل پذیری دیگر همبسته‌های رد صلاحیت شده برای کشش چندراهه دود را قابل مشاهده هستند.

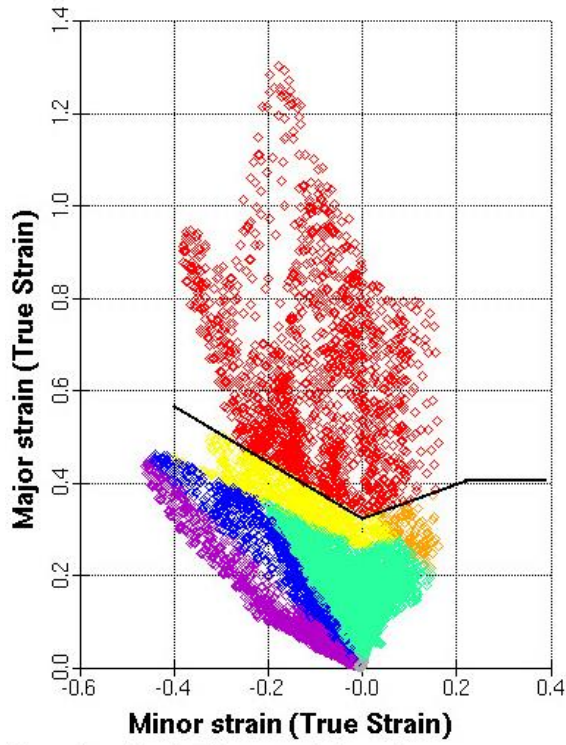
بحرانی تری در کشش داشته و اگر کشش این قطعه موفقیت آمیز باشد، کشش قسمت رویی با همین شرایط موفقیت آمیز خواهد بود) انجام گرفت و از نتایج آن برای شبیه‌سازی فرایند کشش قسمت رویی استفاده شد. در شکل‌های زیر نتایج حاصل از شبیه‌سازی و بهینه‌سازی مدل چندراهه دود را مشاهده می‌شوند. ضخامت ورق برابر با ۱ میلی‌متر، ضریب اصطکاک برابر با ۰,۱۵ و مقدار نیروی ورق گیری ۱ مگاپاسکال محاسبه گردیده است. در شکل ۷ تا ۱۴ نتایج کشش محاسبه شده برای جنس‌های مختلف ارائه شده است. در تمامی این شکل‌ها قسمت‌ها (نقاطی) با رنگ‌های قرمز، نارنجی، زرد، سبز، خاکستری، آبی و بنفش به ترتیب بیانگر نواحی پارگی، نازکی بیش از حد، خطر پارگی، امن، کشش کم، فشرده شد و افزایش ضخامت در ورق کشیده شده اند.



شکل ۷: شکل پذیری قسمت زیرین چندراهه دود برای همبسته فولاد AISI321

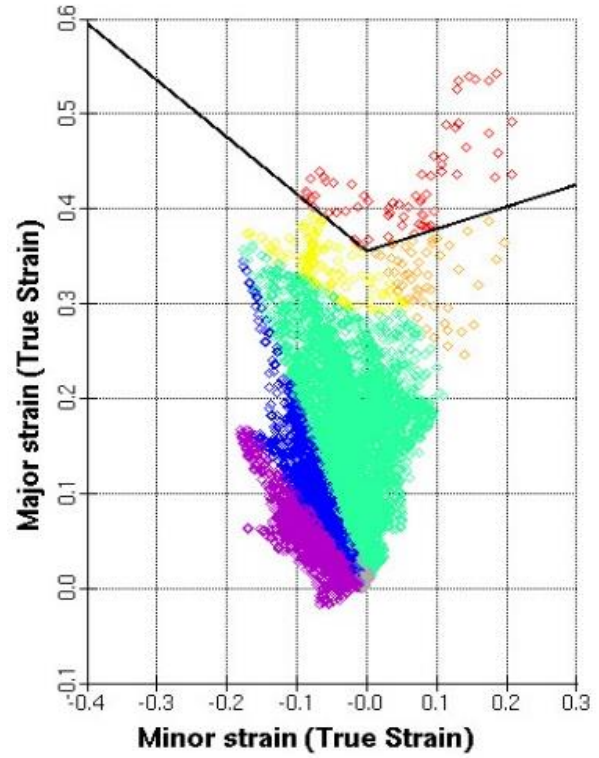


شکل ۸: شکل پذیری قسمت زیرین چندراهه دود برای همبسته فولاد AISI321



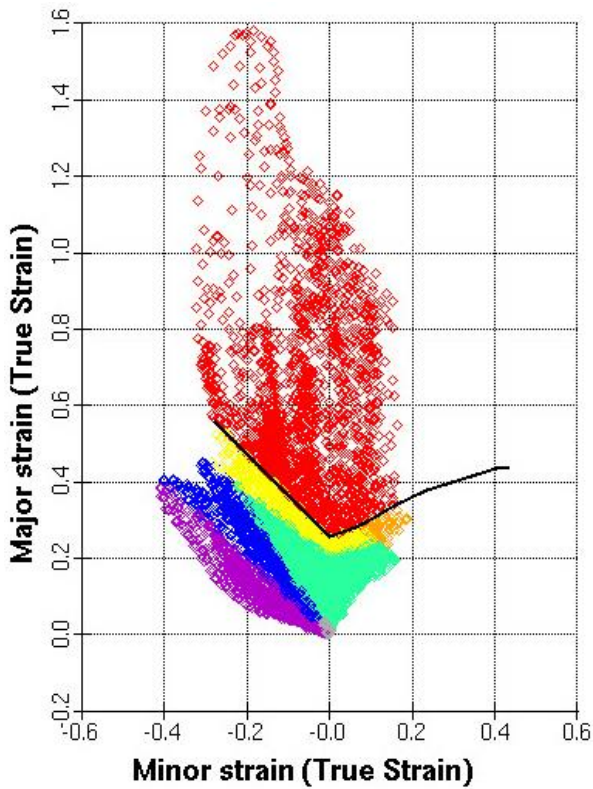
Forming Limit Diagram (Linear)

شکل ۱۳: شکل پذیری همبسته AISI 409



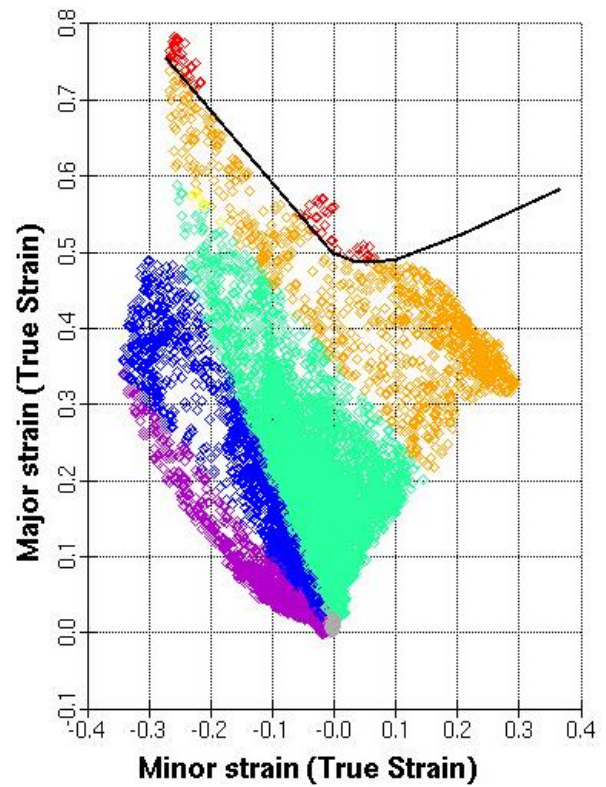
Forming Limit Diagram (Linear)

شکل ۱۱: شکل پذیری همبسته AISI 316



Forming Limit Diagram (Linear)

شکل ۱۴: نمودار شکل پذیری همبسته AISI 441



Forming Limit Diagram (Linear)

شکل ۱۲: شکل پذیری همبسته AISI 304

- [2] H. Yamagata, The science and technology of materials in automotive engines, Woodhead Publishing Limited Cambridge, UK, 2005
- [3] D. I. Chang, R. Nees, M. Morin, Application of Hydroforming Technology for Exhaust Manifolds, SAE paper No.960804, 1996
- [4] D. Schmoedel, C. Hielscher, R. Huber, M. Geiger, Metal Forming of Tubes and Sheets with Liquid and Other Flexible Media, Annals of the CIRP, Vol. 48, No. 2, pp. 497-513, 1999
- [5] P. Kenyon, Th. Ketelhut, V. Stempien, Stamped exhaust manifold for vehicle engines, patent No. EP1041255 A3, 2003
- [6] T. Nordin, Ol. Kovar, Air Gap Insulated Exhaust Manifold, Patent no us 6,247,552 B, 2001
- [7] E. Gutierrez, M. Martinez, R. Muro, High Performance Turbo Exhaust Manifold, Florida International University, November 16, 2011
- [8] P. Santacreu, S. Saedlou, L. Faivre, A. Acher, J. Leseux, Ferritic Stainless Steel Grade with Improved Durability for High Temperature Exhaust Manifold, SAE Paper No.2011-01-0194, 2011
- [9] P. Santacreu, L. Faivre, A. Acher, Life Prediction Approach for Stainless Steel Exhaust Manifold, SAE Paper No.2011-01-0732, 2012
- [10] P. Santacreu, L. Faivre, A. Acher, Damage Mechanisms of Stainless Steels under Thermal Fatigue, SAE Paper No.2014-01-0917, 2014
- [11] K. Avery, J. Pan, C. Engler-Pinto, Z. Wei, F. Yang, S. Lin, L. Luo, D. Konson, Fatigue Behavior of Stainless Steel Sheet Specimens at Extremely High Temperatures, SAE Paper No.2014-01-0975, 2014
- [12] C. Miraval, P. Santacreu, S.Saedlou, A. Acher, Test Method Development for Material Selection of Diesel Exhaust Line, SAE Paper No. 2014-01-1493, 2014
- [13] S. Vyas, A. Patidar, S. Kandreegula, U. Gupta, Multi-Physics Simulation of 6-Cylinder Diesel Engine Exhaust Manifold for Investigation of Thermo-Mechanical Stresses, SAE Paper No. 2015-26-0182, 2015
- [14] M. Chen, Y. Wang, W. Wu, J. Xin, Design of the Exhaust Manifold of a Turbo Charged Gasoline Engine Based on a Transient Thermal Mechanical Analysis Approach, SAE Paper No. 2014-01-2882, 2014
- [15] T. Gocmez, U. Deuster, an Integral Engineering Solution for Design of Exhaust Manifolds, SAE Paper No. 2009-01-1229, 2009
- [16] M. Rezaei, 400hrs Thermal Cycle test report, EF7TC project, IPCO, 2015
- [17] T. Altan, A. Erman Tekkaya. Sheet Metal Forming: Fundamentals, chapter 7: Friction and Lubrication. ASM International, 2012

همان گونه که از شکل نمودارها مشخص است مقادیر کرنش‌های اصلی بعضی از نواحی چندراهه دود با جنس همبسته‌های ذکر شده از حد شکل پذیری گذشته و پاره گردیده است. تنها همبسته AISI 321 موفق به دستیابی به نتیجه قابل قبول گردید و باقی همبسته‌ها در شرایط کشش مشخص شده مخصوصاً در قسمت زیرین که زانده داشته و عمق کشش افزایش پیدا می‌کند، پاره شده‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله طراحی چندراهه دود ورقه‌ای برای ساخت به توسط روش شکل دهی ورق (کشش) انجام گرفت. نتایج تحلیل عددی جریان نشان دادند که شکل طراحی شده وضعیت مناسبی از جهت افت فشار دود و سر و صدا دارد.

سپس فرایند کشش ورق برای دو ورق بالایی و پایینی چند راهه به کمک نرم‌افزار Auto Form شبیه‌سازی گردید. شبیه‌سازی‌ها نشان دادند که برای رسیدن به روش تولید مطلوب ضریب اصطکاک باید در کمترین حد خود باشد که استفاده از ورق با کیفیت، روان ساز و مشمع مخصوص کشش به این امر کمک می‌کند.

با توجه به اینکه کشش قسمت زیرین از حساسیت بیشتری (به دلیل وجود برآمدگی و افزایش کشش موضعی) برخوردار است ابتدا مسئله برای قسمت زیرین حل گشت و پس از بدست آمدن مقادیر متغیرها و حل مسئله قسمت رویی با این مقادیر جواب قابل قبولی برای قسمت رویی نیز به دست آمد.

جنس ورق از همبسته AISI 321 انتخاب گردید و ضخامت ورق برابر با ۱ میلی متر بدست آمد. ضریب اصطکاک در کمترین مقدار خود یعنی ۰٫۱۵ محاسبه گشت و همچنین نیروی ورق گیری برابر با ۱ مگاپاسکال است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله، مراتب تشکر و قدردانی خود را از کارشناسان واحدهای طراحی، شبیه‌سازی مهندسی و مواد شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (ایپکو) اعلام می‌دارند. همچنین از مدیر محترم طرح EF7TC جناب آقای دکتر آزادی جهت در اختیار قرار دادن نتایج آزمون‌های تجربی مورد نیاز صحنه گذاری قدردانی می‌شود.

مراجع

- [1] R. Van Basshuysen, F. Schäfer, Internal Combustion Engine Handbook: Basics, Components, Systems, and Perspectives, SAE International, USA, 2004



Design and manufacturing process simulation of sheet metal exhaust manifold for turbocharged bi fuel engine

M. M. Mirafzal¹, A. Hajalimohammadi^{2*}, S. M. Mousavi Mashhadi³, A. Mohammadi⁴

¹ University Of Tehran, Tehran, Iran, mirafzal@ut.ac.ir

² Iran Khodro Powetrain Company, Tehran, Iran, a_hajali@ip-co.com

³ University Of Tehran, Tehran, Iran, mmosavi@ut.ac.ir

⁴ Iran Khodro Powetrain Company, Tehran, Iran, a_mohammadi@ip-co.com

*Corresponding Author, Telephone Number: +98-2144520882

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 4 February 2015

Accepted: 25 June 2015

Keywords:

Exhaust manifold

Sheet metal forming

Stainless steel

AUTOFORM software

Turbocharged engine

ABSTRACT

High thermal strength, low weight and capability of fast catalyst convertor warm up are main advantages of sheet metal exhaust manifolds which made it the best option for engines with maximum exhaust temperature more than 900 °C. A sheet metal exhaust manifold has been designed in this paper for EF7-TC engine which is four stroke bi-fuel CNG-gasoline engine. The proposed sheet metal exhaust manifold would be replaced with current Ni resist cast iron manifold. Design of exhaust manifold has been undertaken following the packaging constraints in the engine and required exhaust gas flow characteristics. Manufacturing process of design sheet metal exhaust manifold was simulated using AUTOFORM software. In finite element analysis effects of sheet thickness, its material and friction coefficient were investigated on sheet tearing. Results showed that AISI321 can be used as a material for sheet metal with designed geometry. And drawing of sheet with these characteristics can lead to no defects on final formed sheet.

© Iranian Society of Engine (ISE), all rights reserved.

