



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## بررسی امکان ساخت مینیولد دود به روش شکل دهی ورق

ارائه شده برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

توسط:

علیرضا مهدیه نجف‌آبادی

استاد راهنما:

دکتر بیژن ملایی داریانی

استاد مشاور:

دکتر محمود فرزین

دانشکده مهندسی مکانیک

فروردین ۱۳۸۷



فرم اطلاعات پایان نامه  
کارشناسی ارشد

شماره :  
تاریخ :

مشخصات دانشجو

نام و نام خانوادگی : علیرضا مهدیه نجف آبادی

دانشجو روزانه

شماره دانشجویی : ۸۴۱۲۶۰۱۶ دانشکده : مهندسی مکانیک

رشته تحصیلی : ساخت و تولید

نام و نام خانوادگی استاد راهنما / استادان راهنما: دکتر بیژن ملائی داریانی

عنوان به فارسی : بررسی امکان ساخت مینیفولد دود به روش شکل دهی ورق

عنوان به انگلیسی : FEASIBILITY STUDY ON THE MANUFACTURING OF EXHAUST

MANIFOLD BY SHEET METAL FORMING PROCESS

نوع پروژه : کارشناسی ارشد  کاربردی  بنیادی  توسعه‌ای  نظری

تاریخ شروع : ۱۳۸۵/۷/۱

تاریخ خاتمه : ۱۳۸۷/۲/۲۱

تعداد واحد :

سازمان تأمین کننده اعتبار : معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

واژه های کلیدی به فارسی : مینیفولد دود، خمکاری لوله، انتقال حرارت، خمکاری لوله با فشار داخلی، FEM

واژه های کلیدی به انگلیسی : Exhaust Manifold, Tube Bending, Heat transfer, Bending under Internal Pressure

نظرها و پیشنهادهای به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه :

استاد راهنما / استادان راهنما : دکتر بیژن ملائی داریانی

علیرضا مهدیه نجف آبادی :

تقدیم به،

آرامش دهندگان خستگی‌ها،

روشنایی‌های تاریکی‌ها،

پناه‌های تنهایی‌ها،

پدر و مادر مهربانم.

با تشکر فراوان از زحمات و رهنمودهای دلسوزانه و بی دریغ اساتید گرامی، دکتر بیژن ملایی داریانی و دکتر محمود فرزین، که با کمک‌هایشان پایان رساندن این پایان نامه ممکن شده است.

همچنین لازم می‌دانم به دوستانی که مرا در انجام این پروژه یاری بخشیده‌اند، مراتب تشکر خود را اعلام کنم.

## چکیده

در دنیای تولید خودرو، امروزه رقابت بر تولید خودروهایی با مصرف سوخت کمتر متمرکز شده است. بنابر گزارش ASME، با هر ۱٪ کاهش وزن خودرو ۱٪ از مصرف سوخت آن کاسته خواهد شد. به همین خاطر امروزه روشهای نوین تولید مانند هیدروفرمینگ، در صنایع خودروسازی به کار گرفته می‌شود، استفاده از مواد و ترکیبات جدید مانند کامپوزیتها، پلاستیکها و آلیاژهای سبک در تولید خودرو از دیگر روشهای تولید سبک‌تر قطعات سنگین است.

منی فولد دود ریخته‌گری شده در خودرو EF7، یک نامزد بسیار مناسب برای کاهش وزن با بهبود روش ساخت است. با استفاده از روش خمکاری لوله که پس از امکان سنجی روشهای نوین تولید منی فولد دود برای منی فولد دود مورد نظر انتخاب شده است، تولید منی فولد دود با وزنی کمتر از نصف منی فولد دود ریخته‌گری شده را ممکن ساخته است. در ادامه تحلیل‌های لازم همانند انتقال حرارت برای بررسی میزان افزایش حرارت از دست رفته از منی فولد دود جایگزین، انجام شده است، علاوه بر آن روشهای مختلف خمکاری شبیه‌سازی و مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. خمکاری چرخشی که مناسب برای تولید منی فولد دود شناخته شده است به صورت تحلیلی، عددی و عملی بررسی شده است.

در حین انجام این پروژه، روابط تحلیلی برای خمکاری لوله تحت فشار داخلی به دست آمده است، که روابط تحلیلی به دست آمده با نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی روشهای مختلف خمکاری به خوبی مطابقت دارد.

منی فولد دود پیشنهادی دارای وزن و قیمت کمتر، صافی سطح داخلی بهتر و تolerانس ابعادی بهتر نسبت به منی فولد دود ریخته‌گری شده است. روش تولید انبوه برای ساخت منی فولد دود جایگزین نیز در انتها آورده شده است.

**واژه‌های کلیدی:** منی فولد دود، خمکاری لوله، انتقال حرارت، خمکاری لوله با فشار داخلی،

شبیه‌سازی FEM

## فهرست علائم اختصاری

|               |                               |
|---------------|-------------------------------|
| $k$           | ضریب انتقال حرارت رسانایی     |
| $h$           | ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی   |
| $T$           | دما                           |
| $r$           | شعاع متوسط لوله               |
| $t$           | ضخامت لوله                    |
| $p_l$         | نیروی محوری                   |
| $\sigma_c$    | تنش محیطی                     |
| $\sigma_l$    | تنش طولی                      |
| $\sigma_{IP}$ | تنش محوری ناشی از فشار داخلی  |
| $\sigma_{IM}$ | تنش محوری ناشی از خمکاری      |
| $\alpha$      | زاویه در صفحه خمکاری          |
| $v$           | نیروی مرکزگرا                 |
| $\theta$      | جزئی زاویه خمکاری             |
| $p_c$         | نیروی محیطی                   |
| $R$           | شعاع خمکاری                   |
| $\sigma_c$    | تنش محوری                     |
| $\sigma_{cP}$ | تنش فشاری ناشی از فشار داخلی  |
| $\sigma_{cM}$ | تنش فشاری ناشی از ممان خمکاری |
| $\sigma_y$    | تنش تسلیم                     |
| $\delta$      | تغییر واحد طول                |
| $D$           | مدول جریان پلاستیک            |
| $\mu$         | ضریب پواسون                   |

## فهرست مطالب

|    |   |
|----|---|
| ۱  | فصل اول: پیش گفتار.....                                   |
| ۲  | ۱-۱- مقدمه.....   |
| ۵  | ۲-۱- پیشینه کارهای انجام شده.....                         |
| ۹  | ۳-۱- تعریف پروژه و روند پیشبرد آن.....                    |
| ۱۱ | فصل دوم: امکان سنجی ساخت منی فولد دود.....                |
| ۱۲ | ۱-۲- تولید منی فولد دود با روش هیدروفرمینگ.....           |
| ۱۲ | ۱-۱-۲- تعریف هیدروفرمینگ.....                             |
| ۱۲ | ۲-۱-۲- تاریخچه هیدروفرمینگ.....                           |
| ۱۲ | ۳-۱-۲- اصول فرایند.....                                   |
| ۱۴ | ۴-۱-۲- مزایای هیدروفرمینگ لوله.....                       |
| ۱۶ | ۵-۱-۲- معایب و مشکلات فرایند هیدروفرمینگ لوله.....        |
| ۱۶ | ۶-۱-۲- عملیات و تجهیزات لازم برای فرایند هیدروفرمینگ..... |
| ۱۹ | ۲-۲- تولید منی فولد دود با روش ورق کاری.....              |
| ۲۰ | ۳-۲- تولید منی فولد دود با روش خمکاری لوله.....           |
| ۲۰ | ۱-۳-۲- خمکاری فشاری با محرک دوار.....                     |
| ۲۲ | ۲-۳-۲- خمکاری بازویی.....                                 |

|    |  |
|----|--|
| ۲۳ | ..... ۳-۳-۲- خمکاری فشاری  |
| ۲۴ | ..... ۴-۳-۲- خمکاری چرخشی  |
| ۲۸ | ..... ۴-۲- انتخاب روش برای تولید منیفولد                                 |
| ۲۸ | ..... ۱-۴-۲- چرا فرایند ورقکاری برای منیفولد مورد نظر ما مناسب نیست؟     |
| ۲۸ | ..... ۲-۴-۲- چرا فرایند هیدروفرمینگ برای منیفولد مورد نظر ما مناسب نیست؟ |
| ۲۹ | ..... ۵-۲- نمونه‌های امروزی منیفولد دود                                  |
| ۳۰ | ..... فصل سوم: کلیات طراحی منیفولد دود                                   |
| ۳۱ | ..... ۱-۳- هندسه منیفولد   |
| ۳۳ | ..... ۲-۳- انتخاب جنس منیفولد  |
| ۳۶ | ..... فصل چهارم: تحلیل انتقال حرارت منیفولد دود                          |
| ۳۷ | ..... ۱-۴- تحلیل انتقال حرارت با استفاده از نرم افزار ABAQUS             |
| ۳۸ | ..... ۱-۱-۴- تحلیل انتقال حرارت غیر جفت                                  |
| ۳۸ | ..... ۲-۱-۴- تحلیل حالت پایدار   |
| ۳۹ | ..... ۳-۱-۴- تحلیل گذرا  |
| ۳۹ | ..... ۴-۱-۴- تعیین بازه اتوماتیک   |
| ۴۰ | ..... ۵-۱-۴- تعیین بازه ثابت   |
| ۴۰ | ..... ۶-۱-۴- پایان دادن به تحلیل گذرا                                    |
| ۴۱ | ..... ۷-۱-۴- جابه‌جایی اجباری  |



|    |  |        |
|----|--|--------|
| ۴۱ | ..... شرایط اولیه  | ۸-۱-۴  |
| ۴۱ | ..... جابه‌جایی اجباری   | ۹-۱-۴  |
| ۴۲ | ..... بارگذاریها   | ۱۰-۱-۴ |
| ۴۲ | ..... میدانهای از قبل تعریف شده                                      | ۱۱-۱-۴ |
| ۴۲ | ..... خواص مواد  | ۱۲-۱-۴ |
| ۴۳ | ..... المانها  | ۱۳-۱-۴ |
| ۴۳ | ..... انجام تحلیل انتقال حرارت با نرم‌افزار و مقایسه با روابط تحلیلی | ۲-۴    |
| ۴۳ | ..... تحلیل انتقال حرارت لوله ساده                                   | ۱-۲-۴  |
| ۴۵ | ..... شبیه‌سازی انتقال حرارت لوله                                    | ۲-۲-۴  |
| ۴۶ | ..... مقایسه نتایج انتقال حرارت                                      | ۳-۲-۴  |
| ۴۷ | ..... انتقال حرارت در منی‌فولد دود                                   | ۳-۴    |
| ۵۰ | ..... فصل پنجم: امکان تولید منی‌فولد دود با استفاده از خمکاری لوله   |        |
| ۵۱ | ..... عیوب موجود در فرایند خمکاری                                    | ۱-۵    |
| ۵۲ | ..... تخت شدگی در سطح خارجی لوله                                     | ۱-۱-۵  |
| ۵۲ | ..... گسیختگی در ناحیه بیرونی خم                                     | ۲-۱-۵  |
| ۵۵ | ..... کماتش موضعی یا چروک خوردگی                                     | ۳-۱-۵  |
| ۵۶ | ..... اعوجاج سطح مقطع  | ۴-۱-۵  |
| ۵۷ | ..... برگشت فنری   | ۵-۱-۵  |

|    |   |
|----|---|
| ۵۷ | ..... برآمدگی ۶-۱-۵   |
| ۵۸ | ..... تحلیل فرایند خمکاری ۲-۵                                       |
| ۵۹ | ..... لوله تحت فشار داخلی ۱-۲-۵                                     |
| ۶۴ | ..... لوله بدون فشار داخلی ۲-۲-۵                                    |
| ۶۸ | ..... خمکاری بازویی ۳-۵   |
| ۶۹ | ..... تحلیل و آنالیز فرآیند خم بازویی با روش اجزاء محدود ۱-۳-۵      |
| ۷۳ | ..... خمکاری فشاری ۴-۵  |
| ۷۴ | ..... تحلیل و آنالیز فرآیند خم فشاری با روش اجزاء محدود ۱-۴-۵       |
| ۷۶ | ..... بررسی اثر پارامترهای مختلف در انجام فرایند خمکاری فشاری ۲-۴-۵ |
| ۸۰ | ..... خمکاری چرخشی ۵-۵  |
| ۸۱ | ..... معرفی ابزارهای کمکی ۱-۵-۵                                     |
| ۸۸ | ..... تحلیل پروسه خم چرخشی به روش المان محدود ۲-۵-۵                 |
| ۹۲ | ..... شرایط تحلیل عددی فرایند خم کاری چرخشی لوله ۳-۵-۵              |
| ۹۴ | ..... مقایسه بین روابط تحلیلی و شبیه سازی ۶-۵                       |
| ۹۴ | ..... شبیه سازی های انجام شده ۱-۶-۵                                 |

|     |  |
|-----|--|
| ۹۶  | ..... ۵-۶-۲- مقایسه نتایج شبیه‌سازی و روابط تحلیلی               |
| ۹۹  | ..... فصل ششم: بررسی عملی ساخت منی‌فولد دود با استفاده از خمکاری |
| ۱۰۰ | ..... ۶-۱- خمکاری لوله   |
| ۱۰۵ | ..... ۶-۲- طراحی و ساخت فیکسچرهای برش و جوش                      |
| ۱۰۷ | ..... ۶-۳- روش ساخت منی‌فولد دود                                 |
| ۱۰۷ | ..... ۶-۴- مقایسه اقتصادی منی‌فولدها                             |
| ۱۰۸ | ..... فصل هفتم: جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات                 |

## فصل اول:

### پیش‌گفتار

در این فصل پس از بیان مقدمه‌ای بر اهمیت کاهش وزن در صنایع خودروسازی، قطعه منی‌فولد دود معرفی شده است؛ که این معرفی شامل اهمیت این قطعه، شرایطی را که منی‌فولد دود در هنگام کارکرد موتور خودرو باید ارضا کند و ارائه شرایط و تعاریف برای منی‌فولد دود است. در ادامه پیشینه کارهای انجام شده در مورد منی‌فولد دود آورده شده است که شامل فعالیتهای انجام شده در مورد طراحی منی‌فولد و تحلیل‌های انجام شده بر آن است، در انتها روند پیشرفت پروژه آورده شده است.

### ۱-۱- مقدمه

امروزه یکی از مهم‌ترین مسائل در هر جامعه مساله میزان سوخت مصرفی به خصوص سرانه بنزین مصرفی روزانه در آن جامعه است، چرا که این موضوع نه تنها از جنبه‌های اقتصادی و محیط زیست مهم است بلکه از نظر وابستگی‌های سیاسی نیز اهمیت پیدا می‌کند. به همین جهت سعی محققان و متخصصان و سازندگان خودرو بر این است که به هر نحوی میزان سوخت مصرفی (به خصوص بنزین) را کاهش دهند و یا حتی در صورت امکان سوخت دیگری را جایگزین آن کنند.

بر اساس گزارش ارائه شده توسط انجمن مهندسی آمریکا ASME، به ازای هر ۱٪ کاهش وزن خودرو ۱٪ مصرف سوخت کاهش می‌یابد. بر همین اساس سعی عمده محققین بر کاهش وزن خودرو متمرکز شده است. برای این منظور سازندگان خودرو بیشتر به سمت استفاده از آلیاژهای سبک، استفاده از پلاستیک‌ها و کامپوزیت‌ها، و روشهای جدید شکل‌دهی برای ساخت قطعات سبک-تر و مستحکم‌تر حرکت می‌کنند. به عنوان مثال می‌توان اهمیت این موضوع را در سعی بر ساخت سوپاپ از لوله مشاهده کرد.

با توجه به اهمیت موضوع ارائه شده، یکی از قطعاتی که پتانسیل بسیار مناسبی برای کاهش وزن با استفاده از تغییر فرایند ساخت را دارا است منی‌فولد دود خودرو است.

منی‌فولد دود دارای وظیفه پیچیده‌ای در موتور خودرو نیست ولی بدون آن مطمئناً وسیله نقلیه درست کار نخواهد کرد.

منی‌فولد دود شبکه‌ای از مسیرها است که دود خارج شده از سیلندرها را جمع‌آوری می‌کند و آن را به کاتالیست منتقل می‌کند [۱].

در شکل (۱-۱) یک منی‌فولد دود به همراه دیگر بخشهای سیستم دود آورده شده است. به دلیل اینکه برای افزایش کارایی منی‌فولد در جمع‌آوری دود از خروجی‌های دود باید آنرا مستقیماً به سرسیلندر متصل نمود، نوع و تعداد منی‌فولد از خودرویی به خودرویی دیگر تغییر می‌کند. عموماً در وسایل نقلیه با سیلندرهای خطی از یک منی‌فولد استفاده می‌کنند، درحالی‌که در خودروها با سیلندرهای V شکل از دو منی‌فولد دود استفاده می‌شود.

منی‌فولد دود باید شرایط زیر را ارضا کند:

شرایط آیرودینامیک:

۱- فشار غیر قابل کنترل پشت<sup>۱</sup> سیستم را حداقل کند.

<sup>1</sup> Uncontrolled Back Pressure

۲- فشار بازگشت<sup>۱</sup> را حداکثر کند.

۳- قابلیت کنترل فشار پشت سیستم را داشته باشد.

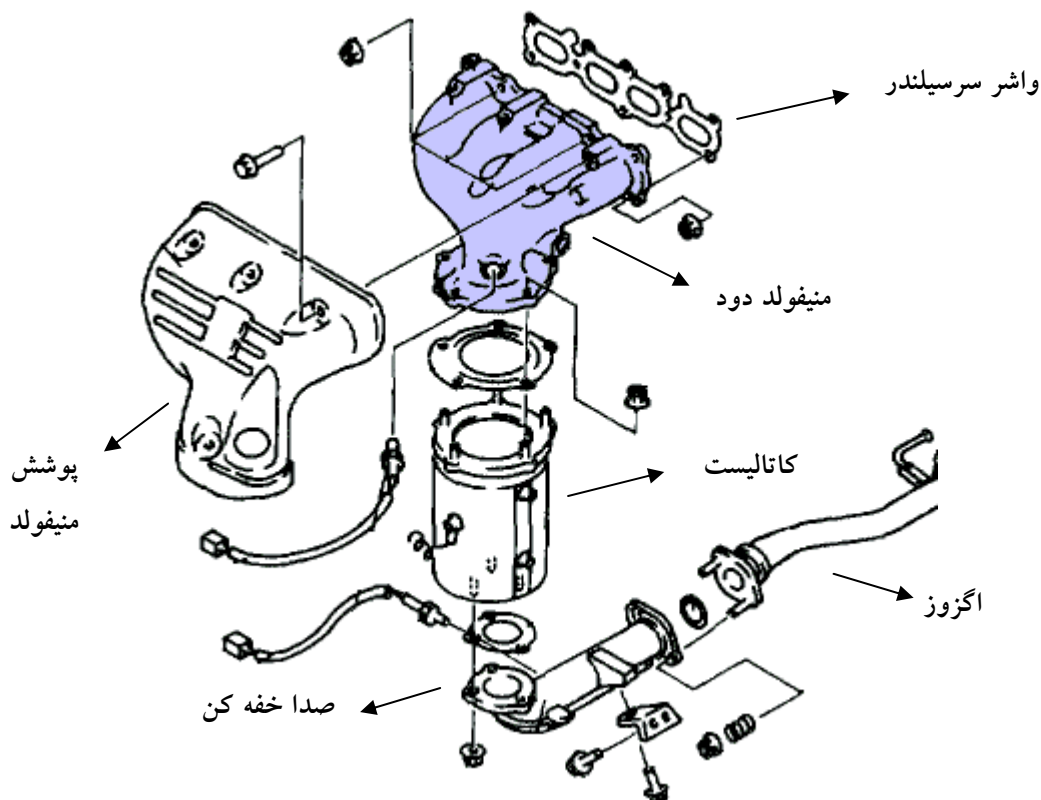
شرایط مکانیکی:

۱- توانایی تنشهای ترمومکانیک ناشی از کار در دماهای مختلف را دارا باشد

[۲].

شرایط آیرودینامیک پس از ساخت مینیفولد و قرار دادن یک شیر در انتهای مینیفولد و اندازه-گیری فشار پشت، بررسی می‌شود.

هدف اصلی استفاده از مینیفولد دود کاهش مقاومت در برابر جریان دود ( فشار پشت) و افزایش کارایی حجمی موتور است، که باعث افزایش قدرت موتور می‌شود. یک عقیده رایج بین تعمیرکاران موتور این است که کم بودن فشار پشت باعث کاهش ترک موتور می‌شود، آنها به این مطلب استناد می‌کنند که استفاده از مینیفولد دود با قطرهای بزرگتر باعث کاهش ترک موتور می‌شود.



شکل (۱-۱) - مینیفولد دود به همراه دیگر قسمتهای سیستم دود [۱]

<sup>۱</sup> Recovery Pressure

وقتی که در سیلندر مرحله تخلیه اتفاق می‌افتد، پیستون به سمت بالای محفظه سیلندر حرکت می‌کند که باعث می‌شود حجم کلی سیلندر کاهش یابد، با توجه به قانون گازهای کامل هنگامی که حجم کاهش می‌یابد (و سمت راست معادله ثابت است)، فشار باید افزایش یابد.

$$PV = nRT,$$

$P = \text{Absolute pressure,}$

$V = \text{Volume of the vessele,}$

$n = \text{number of moles of gas,}$

$T = \text{Absolute Temperature.}$

در یک زمان معین از مرحله تخلیه سوپاپ گاز باز می‌شود در این هنگام که فشار گاز افزایش یافته به سمت خارج پرتاب می‌شود. به این تخلیه گاز، موج دود می‌گویند. موج دود شامل سه قسمت عمده است، قسمت جلویی<sup>۱</sup> دود که دارای فشار بالا است، در ادامه قسمت با فشار متوسط "بدنه<sup>۲</sup> موج" و در انتها گاز با فشار کم "دنباله<sup>۳</sup> موج" است. فشار بالا در اول موج دود به علت اختلاف بین گاز با فشار بالا داخل سیلندر و فشار اتمسفر در بیرون سیلندر است. پس از مدتی که فشار متعادل می‌شود به علت کاهش فشار از سرعت دود کاسته می‌شود که در این حالت بدنه موج شکل می‌گیرد، دنباله موج در هنگامی شکل می‌پذیرد که فشار دود با فشار اتمسفر برابر می‌شود.

با این وجود فشار در مینیفولد دود بیشتر به خاطر اثر زانویی<sup>۴</sup> است، که به واسطه ممان ناشی از گاز با فشار بالا و گاز با فشار متوسط رخ می‌دهد. در پایان موج دود به خاطر همین اثر فشار از فشار اتمسفر کمتر می‌شود که این مساله باعث می‌شود هوا در مرحله مکش سریعتر به داخل محفظه سیلندر کشیده شود. این افزایش سرعت گاز باعث می‌شود که سوخت بیشتری با گاز مخلوط شود و در نتیجه قدرت موتور افزایش می‌یابد.

در موتورهای چهار زمانه امروزی سوپاپ‌های سیلندر مقداری با یکدیگر همپوشانی<sup>۵</sup> دارند، اگر در هنگام تخلیه دود، سوپاپ هوا باز شود اثر تمیزکاری<sup>۶</sup> افزایش می‌یابد. این همپوشانی باعث

<sup>۱</sup> Head

<sup>۲</sup> Body

<sup>۳</sup> Tail

<sup>۴</sup> Siphoning effect

<sup>۵</sup> Overlap

<sup>۶</sup> Scavenging, کاهش فشار پشت توسط مینیفولد دود و در نتیجه افزایش توان موتور را تمیزکاری مینیفولد دود می‌گویند.

می‌شود که دودهای باقیمانده به طور کامل از سیلندر تخلیه شوند، ولی مقداری از هوای کشیده شده به داخل سیلندر از این راه خارج می‌شود.

میزان اثر تمییزکاری کاملاً به سرعت قسمتهای پرفشار و فشار متوسط موج دود بستگی دارد، مینفولد دود باید به نحوی باشد که سرعت دود را تا حد ممکن افزایش دهد. یک روش برای این کار تنظیم طول اولیه مسیرهای مینفولد است. این مساله باعث می‌شود که توالی موجهای دود رعایت گردد به این خاطر که همواره در مینفولد دود، دود باقی بماند یعنی هنگامی که دنباله دود با فشار و سرعت کم در مینفولد در حرکت است بوسیله فشار جلوی موج دود بعدی، سریعتر از مینفولد دود خارج شود. در موتورهای ۶ و ۸ سیلندر V شکل که بیشتر از یک مینفولد دود وجود دارد، همین اصول رعایت می‌شوند.

در هنگام طراحی مینفولد دود، در مورد طول و اندازه قطر مینفولد باید دقت لازم صورت پذیرد به این خاطر که طول بلند مسیر باعث کاهش سرعت دود در انتها می‌شود که باعث کاهش اثر تمییزکاری می‌شود. مسیرهایی که بسیار کوتاه هستند به نیروی اضافی برای خروج گاز از مینفولد دود احتیاج دارند، که در نهایت باعث کاهش قدرت موتور می‌شوند.

به این دلیل که در دوره‌های مختلف دود با سرعت‌های مختلف از مینفولد دود عبور می‌کند، پاسخ<sup>۱</sup> مینفولد دود متفاوت است. به صورت کلی در دوره‌های بالای موتور مینفولد دود با طول بزرگتر مناسب‌تر است در حالیکه در دوره‌های پایین مینفولد کوتاه‌تر دارای بازدهی بیشتر است [۳].

یکی از مواردی که در ساخت مینفولد دود باید رعایت کرد، حداقل نمودن ناصافی سطح داخلی مسیر دود است. ناصافی مسیر دود باعث افزایش به هم ریختگی و آشفستگی دود در هنگام خروج از مینفولد دود می‌شود که مستقیماً بر کاهش کارایی موتور اثر دارد و همچنین باعث کاهش اثر تمییزکاری مینفولد دود می‌شود.

## ۱-۲- پیشینه کارهای انجام شده

Mashiro Kanazaki و همکارانش در سال ۲۰۰۱ در دانشگاه Tohoku روش طراحی مینفولد دود بوسیله لوله‌های مخروطی با استفاده از گستره تقسیم بندی شده<sup>۲</sup> MOGA را تحت همین نام ارائه کرده‌اند [۴]. برای به دست آوردن حداکثر قدرت موتور و حداقل کردن میزان آلودگی از روش

<sup>۱</sup> Respond

<sup>۲</sup> Divided Range



گستره تقسیم شده چند هدفی الگوریتم ژنتیک<sup>۱</sup> DRMOGA استفاده شده است. در این مقاله سعی شده است که به هندسه‌ای که ارضا کننده‌ی حداکثر دمای مینفولد در دورهای پایین (۱۵۰۰ rpm) و حفظ توانایی و قدرت مینفولد در دورهای بالا (۶۰۰۰ rpm) باشد، برسند. در این مقاله، طراحی یک مینفولد برای ارضای شرایط فوق بررسی شده است. در این طراحی متغیرها شعاع خم لوله‌ها و نقطه رسیدن لوله‌ها به یکدیگر فرض شده‌اند، در حالت اول بررسی شده شعاع لوله‌ها از قبل معلوم (برابر یکدیگر) قرار داده شده است، بنابراین در این حالت متغیرها فقط نقطه برخورد لوله‌ها (۳ متغیر) است. در حالت دوم شعاع لوله‌ها برابر قرار داده شده (ولی از پیش تعیین نشده است)، در این حالت ۴ متغیر برای طراحی وجود دارد- شعاع لوله‌ها و نقاط برخورد لوله‌ها؛ طرحهای ۱ و ۲ برای مقایسه با یکدیگر ارائه شده‌اند. در حالت آخر شعاع لوله‌ها برابر فرض نشده‌اند پس متغیرهای طراحی ۷ مورد هستند. طرحهای ارائه شده در این مقاله برای بررسی قدرت DRMOGA مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، در طرح اول حفظ توانایی و قدرت مینفولد در دورهای بالا ارضا شده است. در طرح دوم شعاع لوله‌ها و نقاط برخورد لوله‌ها بهینه شده است و هر دو شرط دمای بالا در دورهای پایین و حفظ قدرت در دورهای بالا ارضا شده است و همینطور با افزایش شعاع لوله‌ها به دماهای بالاتری در دورهای پایین می‌توان رسید. در طرح سوم مینفولد دود با توجه به افزایش تعداد متغیرها، به هندسه بهتری رسیده شده است، این طرح مینفولد دود قادر است توان بالاتری را در دورهای بالا نسبت به طرح قبلی حفظ کند، همینطور نتیجه شده است که شعاع لوله‌ها دارای بیشترین تاثیر در حفظ قدرت مینفولد در دورهای بالا است. یکی از نقاط ضعف این مقاله این است که نتایج به دست آمده در نهایت منجر به هندسه‌ای شده است که در مورد امکان ساخت آن هیچ روش ساختی پیشنهاد نشده است.

W.Schmitt و همکارش در شرکت BMW در مقاله‌ای تحت عنوان "مدل سازی عمر شکست اجزای سیستم دود" در سال ۲۰۰۲ اثر بارگذاری همزمان حرارتی و مکانیکی بر اجزای مینفولد را بررسی کردند [۵]. در این مقاله به همراه شبیه‌سازی عددی مینفولد یک روش تحلیلی برای بررسی بارگذاری حرارتی- مکانیکی در مدل ویسکوپلاستیک ترکیب کننده<sup>۲</sup> ارائه شده است. در این مقاله نتایج شبیه‌سازی با روابط تحلیلی به دست آمده در مقاله با یکدیگر مقایسه شده‌اند که مطابقت خوبی با هم دارند.

K.H.Park و همکارانش در سال ۲۰۰۲ در مرکز تحقیقات موتور Hyundai کره جنوبی، "مدلسازی و طراحی مینفولد تحت بارگذاری ترمومکانیکال" را انجام دادند [۶]. در این مقاله عبارت

<sup>1</sup> Divided Range Multi objective Genetic Algorithm (DRMOGA)

<sup>2</sup> Viscoplastic constitutive

ایندکس تنش حرارتی<sup>۱</sup> (TSI) به دلیل راحتی تخمین برای پارامترهای مختلف در طراحی اولیه منی فولد دود در مقایسه با تحلیل‌های غیرخطی شکست<sup>۲</sup> و همچنین زمان‌بر بودن عملیات‌های شبیه‌سازی FEM پیشنهاد شده است. با توجه به عبارت معرفی شده (TSI)، در نقطه‌ای از منی فولد دود در فلنج خروجی که لوله‌ها به یکدیگر می‌رسند به عنوان نقطه بحرانی معرفی شده است، و حالت بهینه منی فولد دود با حداقل کردن میزان TSI به دست آمده است. علی‌رغم اینکه TSI نسبت تنش الاستیک موثر به تنش تسلیم است ولی این پارامتر نمی‌تواند به صورت عددی عمر شکست منی فولد دود را پیش‌بینی کند، مزیت اصلی این ایندکس امکان تخمین سریع آن با تغییر پارامترهای طراحی منی فولد است، برای تعیین TSI فقط لازم است که مسیر جریان دود در منی فولد را به صورت یک چند جمله‌ای جبری به دست آورد. با افزایش تغییرات دما، قطر لوله‌ها و ضخامت منی فولد دود میزان TSI افزایش می‌یابد. در این مقاله همینطور تحلیل FEM برای به دست آوردن رابطه بین TSI و کرنش پلاستیک برای مقایسه با نتایج تحلیل انجام شده است. برای این کار شبیه‌سازی به این صورت انجام شده است که منی فولد دو سیکل حرارتی را از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد به ۲۰ درجه و دوباره به ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد طی کرده است. نتایج به دست آمده از تحلیل FEM به خوبی با نتایج به دست آمده از روابط تحلیلی مطابقت دارند.

Samsu Yoonl و همکارانش در سال ۲۰۰۴ در مقاله‌ای تحت عنوان "تنش حرارتی و تحلیل شکست منی فولد دود" [۷]، منی فولد دود تحت بارگذاری ابتدا حرارتی و سپس مکانیکی را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مقاله مدل‌های قبلی مورد استفاده برای تحلیل منی فولد دود با در نظر گرفتن وابستگی گستره کرنش به حد الاستیک، بهبود داده شده‌اند. همچنین در این مقاله تحلیل تنش یک منی فولد دود با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS انجام شده است، این تحلیل دارای دو مرحله است. در مرحله اول میزان انتقال حرارت منی فولد دود به دست آمده است. در مرحله دوم ابتدا نیروی بستن توسط پیچ‌ها به منی فولد دود منتقل شده است، سپس یک سیکل حرارتی به این صورت که منی فولد از دمای محیط تا دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد گرم می‌شود و به دمای محیط برگردانده می‌شود، دو بار تکرار می‌شود. پس از پایان اعمال سیکل‌های حرارتی میزان خرابی<sup>۳</sup> منی فولد به دست آمده است، که بیشترین میزان آن در محل اتصال لوله‌ها رخ داده است.

J.Galindo و همکارانش یکی از معدود کارهای انجام شده در زمینه طراحی منی فولد دود برای موتور دیزل توربوشارژ سرعت-بالا برای بهبود شرایط گذرا را در مقاله‌ای تحت همین نام در سال

<sup>1</sup> Thermal stress index

<sup>2</sup> Fatigue

<sup>3</sup> Damage

۲۰۰۴ ارائه کردند [۸]. در طراحی منی فولد دود باید به این نکته توجه داشت که هر مقدار افزایش سطح منی فولد دود باعث افزایش میزان تلفات انرژی حرارتی می‌شود، که کاهش انرژی حرارتی نقش اساسی در کارایی دینامیکی موتور در حالت بارگذاری گذرا دارا است، بنابراین باید جنس منی فولد دود در موتور دیزل را به نحوی انتخاب کرد که حداقل میزان تلفات انرژی در آن صورت پذیرد. در فعالیت انجام شده از کد یک بعدی گاز-دینامیک استفاده شده است، به این صورت که طول منی فولد به نقاطی به عنوان نقاط محاسباتی تقسیم شده است و در این نقاط همزمان معادلات بقای جرم، انرژی و ممان حل شده‌اند. در این مقاله منی فولد با جنسهای مختلف مانند ریخته‌گری چدن، آهنی و فولاد ضد زنگ، در حالت گذرا مورد بررسی قرار گرفته‌اند. با تعریف اینرسی حرارتی<sup>۱</sup> برای هر یک از منی فولدهای ذکر شده، میزان انرژی تلف شده در طی حالت گذرا با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همچنین یک منی فولد دو جداره ساخته شده است و به صورت عملی نتایج به دست آمده در این مقاله با کارکرد آن مقایسه شده‌اند. علی‌رغم اختلاف زیاد اینرسی حرارتی بین منی فولد از جنس فولاد ضد زنگ ( $576,5 \text{ KJ/Wm}$ ) و منی فولد آهنی ( $44 \text{ KJ/Wm}$ )، تنها حدود  $1,7\%$  بیشتر انرژی حرارتی در منی فولد آهنی در حالت گذرا و در مدت زمان  $0,28 \text{ s}$  کمتر از منی فولد فولاد ضد زنگ منتقل شده است، با این حال اگر ممان بیشتر در حین کار موتور مورد نیاز است استفاده از منی فولد با اینرسی حرارتی کمتر پیشنهاد می‌شود.

Yasar Degar و همکارانش در کنفرانسی که در سال ۲۰۰۴ درباره نرم‌افزار ABAQUS برگزار شده است در مقاله‌ای "تحلیل عددی کوپل CFD و FE برای منی فولد دود موتور دیزل" یک منی فولد دود را در ابتدا بوسیله یک نرم‌افزار سیالاتی محاسبه نموده و نتایج ناشی از این شبیه‌سازی که شامل دمای نقاط مختلف و ضریب انتقال حرارت در داخل مسیرهای دود است را به نرم‌افزار تحلیل‌گر تنش انتقال داده‌اند، در نهایت توزیع تنش در منی فولد دود به دست آمده است [۹]. از نتایج جالب این مقاله می‌توان به این موضوع اشاره کرد که با وجود اینکه نتایج با نمونه‌ی عملی مقایسه نشده است، ادعا شده است که به علت استفاده از المان‌های C3D10 در نرم‌افزار ABAQUS نتایج به دست آمده قابل اعتماد هستند.

Anderas Koschan از دانشگاه Tennessee و همکارانش با استفاده از تکنیک اسکن سه بعدی برای قطعات از پیش ساخته شده در مقاله‌ای تحت عنوان "مدلسازی حرارتی و عکس برداری از قطعات ماشین" در سال ۲۰۰۶ منی فولد دود را به عنوان یک مورد مطالعاتی مورد بررسی قرار داده‌اند [۱۰]. همانطور که در مقاله اشاره شده است از روش عکس برداری و اسکن سه بعدی برای

<sup>1</sup> Thermal Inertia

طراحی‌های معکوس بدون نیاز به نقشه CAD استفاده می‌شود. در این مقاله بیشتر به شرح نرم‌افزار MuSES<sup>۱</sup> ارائه شده توسط این تیم و تحلیل نتایج حرارتی به دست آمده پرداخته شده است. اصول کار این نرم‌افزار در دو قسمت توضیح داده شده است. در قسمت اول روابط انتقال حرارت که از آنها برای توزیع دما برای شناسایی تصویر استفاده می‌شود آورده شده‌اند، در بخش بعدی نحوه شناسایی منحنی‌ها، زاویه‌ها و خطوط توسط نرم‌افزار توضیح داده شده است. در ادامه برای بررسی میزان دقت نرم‌افزار مینفولد دود خودروهای مختلف مانند Toyota Corolla, Ford Taurus و Dodge RAM تست شده‌اند. از نتایج این مقاله در مورد کارکرد این نرم‌افزار باید به این موارد اشاره کرد که دقت و کارایی سیستم و نرم‌افزار به هندسه مینفولد و خواص گرمایی جنس مینفولد دود بستگی دارد.

همانطور که در مقالات ارائه شده در مورد مینفولد مشاهده می‌شود، در تمامی مقالات به بررسی شرایط بارگذاری ترمومکانیک و یا بررسی سیالاتی مینفولد محدود شده‌اند و در مورد ساخت مینفولد و تغییر روش ساخت، امکان و چگونگی انجام آن بحث نشده است، که از این نظر هم پایان‌نامه ارائه شده در مورد ساخت یک قطعه سبک‌تر، کاربردی و قابل استفاده است.

### ۱-۳- تعریف پروژه و روند پیشبرد آن

متأسفانه مینفولد دود در تمام خودروهای ایرانی با استفاده از روش ریخته‌گری تولید می‌شود که به نسبت اندازه قطعه دارای وزن زیادی است. ولی همین قطعه در ماشینهای ساخت خارج کشور بوسیله ورق تولید می‌شود که در مقایسه با نمونه‌های مشابه داخلی دارای وزن تقریباً نصف و یا حتی کمتر است.

در این پایان‌نامه مینفولد دود موتور ملی EF7 که به روش ریخته‌گری از جنس چدن تولید می‌گردد، مورد بررسی قرار گرفته و روش تولید دیگری غیر از ریخته‌گری در جهت کاهش وزن، افزایش راندمان و بهبود صافی سطح داخلی مسیر دود پیشنهاد گردیده است. سپس مدل و نقشه قطعه بر اساس این روش تولید مشخص و تحلیل‌های لازم مانند تحلیل انتقال حرارت برای تعیین ضخامت مناسب لوله‌ها، جهت اطمینان از عملکرد مناسب طرح جدید ارائه شده و سپس مراحل ساخت قطعه، برای تولید یک نمونه مشخص شده‌اند.

<sup>1</sup> Multi Service Electro-Optic Signature