



Stress Analysis by Finite Element Method in the Exhaust Valve Without Coating and with Silicon Nitride Ceramic Coating in a Two-Stroke Diesel Engine



ARTICLE INFO

Authors

Majid chavoushi.^{1*},
Ahmadreza Raisi Nafchi.¹

¹ Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Borujen, Iran.

* Correspondence

Address: a.raisi1155@gmail.com

How to cite this article

Majid chavoushi, Ahmadreza Raisi Nafchi. Stress analysis by finite element method in the exhaust valve without coating and with silicon nitride ceramic coating in a two-stroke diesel engine. Proceedings of the 6th National Conference on Mechanical-Civil Engineering and Advanced Technologies. 2024; 24(11):71-77.

ABSTRACT

This paper investigates the finite element stress analysis of an uncoated and silicon nitride ceramic coated exhaust valve in a two-stroke diesel engine. The structure of this paper is based on the simulation of four exhaust valve models under three thermal, mechanical, and thermomechanical load conditions using ANSYS Workbench software. The models include an uncoated exhaust valve and three valves with Si₃N₄ ceramic coatings of thicknesses of 0.3, 0.4, and 0.5 mm. The base material of these four valve models is Nimonic80A alloy. The main objective of this research is to investigate the effect of exhaust gas temperature and Si₃N₄ ceramic coating on the stresses applied to the valve. The results show that the highest Von-Mises stress is in the valve seat plate area, with increasing exhaust gas temperature, the Von-Mises stress increases in all loading conditions, and the use of Si₃N₄ ceramic coating can help reduce Von-Mises stress at different points of the exhaust valve. In particular, Si₃N₄ coating with a thickness of 0.4 mm in the thermal and mechanical analysis and a thickness of 0.3 mm in the thermal-mechanical analysis is recommended to reduce Von-Mises stress at key points.

Keywords Exhaust Valve, Finite Element, ANSYS Workbench Software, Von-Mises Stress, Silicon Nitride Coating

ماهانامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه نامه مجموعه مقالات ششمین کنفرانس ملی مهندسی مکانیک، عمران و فناوری های پیشرفته



تحلیل تنش به روش المان محدود در سوپاپ دود بدون پوشش و با پوشش سرامیکی سیلیسیم نیتريد در يك موتور ديزل دوزمانه



چکیده

مشخصات مقاله

نویسنده ها

مجید چاووشی^{۱*}

احمد رضا رئیس نافیچی^۱

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی، بروجن

* احمد رضا رئیس نافیچی

آدرس:

a.raisi1155@gmail.com

این مقاله به بررسی تحلیل تنش به روش المان محدود در سوپاپ دود بدون پوشش و با پوشش سرامیکی سیلیسیم نیتريد در يك موتور ديزل دو زمانه می پردازد. ساختار این مقاله بر شبیه سازی چهار مدل سوپاپ دود در سه حالت بار حرارتی، مکانیکی و حرارتی - مکانیکی با استفاده از نرم افزار انسیس ورکبنچ استوار گردیده است. مدل ها شامل یک سوپاپ دود بدون پوشش و سه سوپاپ با پوشش سرامیکی سیلیسیم نیتريد به ضخامت های ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ میلی متر هستند. جنس ماده پایه این چهار مدل سوپاپ آلیاژ نيمونیک ۸۰A است. هدف اصلی این پژوهش، بررسی تأثیر دمای گاز خروجی و پوشش سیلیسیم نیتريد بر تنش های وارده بر سوپاپ است. نتایج نشان می دهند بیشترین مقدار تنش فون-میسز در ناحیه ی صفحه نشیمنگاه سوپاپ وجود دارد، با افزایش دمای گاز خروجی تنش فون-میسز در همه ی حالت بارگذاری افزایش یافته و استفاده از پوشش سیلیسیم نیتريد می تواند به کاهش تنش فون-میسز در نقاط مختلف سوپاپ دود کمک کند. به طور خاص، پوشش سیلیسیم نیتريد با ضخامت ۰/۴ میلی متر در حالت تحلیل حرارتی و مکانیکی و ضخامت ۰/۳ میلی متر در تحلیل حرارتی-مکانیکی برای کاهش تنش فون-میسز در نقاط کلیدی توصیه شده است.

کلیدواژه ها سوپاپ دود، المان محدود، نرم افزار انسیس ورکبنچ، تنش فون-میسز، پوشش سیلیسیم نیتريد

۱- مقدمه

موتورهای دیزلی یکی از انواع موتورهای احتراق داخلی هستند که از فشرده سازی هوا برای مشتعل ساختن سوخت خود استفاده می کنند (احتراق تراکمی). فرایند فشرده سازی هوا توسط حرکت پیستون انجام می شود. موتورهای احتراق داخلی در نهایت گازهای خروجی با دما و فشار بالا تولید می کنند. موتورهای دیزلی در صنایع مختلف از جمله نیروگاه ها، خودرو سازی و حمل نقل دریای کاربرد دارند. موتورهای دیزلی مورد استفاده در کشتی ها معمولاً در سفرها و مأموریت های خود برای مدت طولانی کار می کنند؛ بنابراین قطعات آن ها به مدت طولانی در معرض فشار و دمای بالا حاصل از فرایند احتراق قرار می گیرند. دما و فشار بالا می تواند منجر به خرابی این قطعات شود و در نتیجه بر عملکرد موتور تأثیر منفی بگذارد. برای جلوگیری از این نوع خرابی ها نیاز است که روند تهویه و سرد کردن موتور به درستی انجام شود، از سوخت هایی با کیفیت بالاتر و دمای احتراق پایین تر استفاده شود و بر روی قطعات موتور از پوشش های سد حرارتی استفاده شود^[1].

سوپاپ های دود از اجزای مهم و حیاتی در موتورهای دیزلی هستند و مسئولیت هوابندی محفظه احتراق و انتقال گازهای خروجی از سیلندر به سیستم خروجی را بر عهده دارند. سوپاپ های دود تحت تأثیر دما و فشار بالای گازهای خروجی حاصل از فرایند احتراق هستند. دمای بالا باعث کاهش سختی و استحکام مواد می شود^[۱].

پاندی و همکارانش در سال ۲۰۱۲ در پژوهشی به این نتیجه دست یافتند که استفاده از مواد سرامیکی سبک در ساخت سوپاپ ها می تواند مقاومت شکست سوپاپ را در برابر دماهای بالا و تعداد زیاد چرخه افزایش دهد^[3]. صادق البغدادی و همکارانش در سال ۲۰۱۶ در پژوهشی به این نتیجه دست یافتند که اگر سوپاپ دود با زیرکونات گادولینیوم که یک پوشش مانع حرارتی است پوشیده شود آنگاه توزیع گرادیان های دمایی، توزیع تنش فون- میسز و توزیع جابه جایی بر روی سوپاپ دود نسبت به زمانی که سوپاپ بدون پوشش است، کاهش می یابد^[4]. سال ۱۳۸۲ عبدلی بز چلویی به تحلیل حرارتی و مکانیکی سوپاپ دود موتور پیکان ۱۶۰۰ پرداخت اما او تأثیر دمای گاز خروجی از سیلندر بر روی سوپاپ را در نظر نگرفت^[۳]. باقری در سال ۱۳۸۸ با استفاده از روش المان محدود به تحلیل گذرای گرمایی و مکانیکی سوپاپ دودی که مربوط به موتور YXU بود پرداخت^[1].

این مقاله به تحلیل تنش در سوپاپ دود مربوط به یک موتور دیزل دو زمانه می پردازد. موتور دیزل دو زمانه مذکور به عنوان موتور اصلی برای نیروی محرکه در کشتی ها استفاده می شود. در این پژوهش برخلاف کار عبدلی بز چلویی تأثیر دمای گاز خروجی از سیلندر بر سوپاپ دود مدنظر قرار خواهد گرفت. این پژوهش به دنبال ارائه

راهکارهایی برای بهبود عملکرد سوپاپ های دود در موتورهای دیزل است. یکی از نوآوری های این پژوهش استفاده از پوشش سرامیکی سیلیسیم نیترید در صفحه احتراق سوپاپ دود و بررسی تأثیر آن و ضخامتش بر تنش های وارد شده بر سوپاپ دود بوده است. پوشش سرامیکی سیلیسیم نیترید قابلیت تحمل دمای بالا تا ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد و مقاومتی در برابر ۱۰^۹ چرخه بدون شکست را دارد.

۲- شرح مسئله

این مقاله با شبیه سازی چهار مدل سوپاپ دود به تجزیه و تحلیل توزیع تنش در آن ها می پردازد. بدین منظور از نرم افزار انسیس و رکبنج که بر پایه روش المان محدود طراحی شده است، استفاده می شود. این چهار مدل سوپاپ دود عبارت اند از: سوپاپ دود با آلیاژ پایه نیمونیک گرید 80A و بدون پوشش سرامیکی، سوپاپ دود با آلیاژ پایه نیمونیک گرید 80A و پوشش سرامیکی سیلیسیم نیترید با ضخامت 0/3 میلی متر، سوپاپ دود با آلیاژ پایه نیمونیک گرید 80A و پوشش سرامیکی سیلیسیم نیترید با ضخامت 0/4 میلی متر و سوپاپ دود با آلیاژ پایه نیمونیک گرید 80A و پوشش سرامیکی سیلیسیم نیترید با ضخامت 0/5 میلی متر. سیلیسیم نیترید که در این پژوهش به عنوان پوشش برای صفحه احتراق سوپاپ دود استفاده می شود یک ماده سرامیکی پرکاربرد در مهندسی است که با ایجاد پیوند کووالانسی بین اتم های سیلیسیم و نیتروژن تشکیل می شود. جدول ۱ به اندازه ابعاد سوپاپ دود و نشیمنگاه سوپاپ اشاره دارد. جدول ۲ بیانگر خواص فیزیکی، مکانیکی و حرارتی آلیاژ نیمونیک گرید 80A و جدول ۳ بیانگر خواص فیزیکی، مکانیکی و حرارتی سیلیسیم نیترید است.

جدول ۱) اندازه ابعاد سوپاپ دود و نشیمنگاه سوپاپ^[۵]

نماد	پارامتر طراحی	مقدار (میلی متر)
d ₂	قطر صفحه احتراق	181/52
b	عرض نشیمنگاه	17/4
d ₀	قطر ساقه (میل) سوپاپ	40/2
l	طول ساقه (میل) سوپاپ	526/54
α	زاویه نشیمنگاه	۳۰ درجه
t	ضخامت صفحه سوپاپ	3/55

جدول ۲) خواص فیزیکی، مکانیکی و حرارتی آلیاژ نیمونیک گرید 80A^[۶]

خواص فیزیکی	مقدار	واحد
چگالی	۸۱۹۰	$\frac{Kg}{m^3}$
نقطه ذوب	۱۳۲۰-۱۳۶۵	°C
خواص حرارتی	مقدار	واحد
ضریب انبساط حرارتی	1/27×10 ⁻⁵	$\frac{m}{m^{\circ}C}$
هدایت حرارتی ایزوتروپیک	11/2	$\frac{W}{m^{\circ}C}$

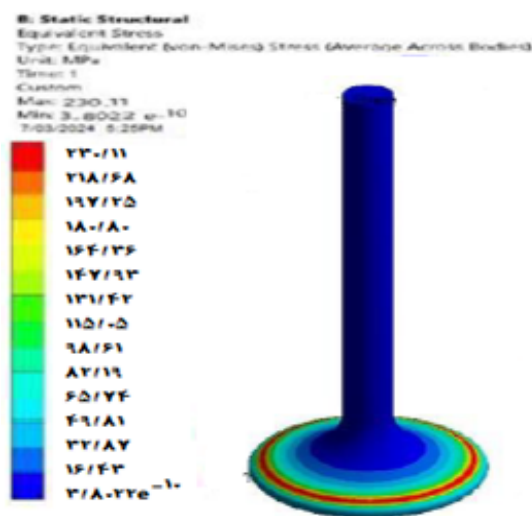
و سپس انتخاب تنش فون-میسز و در نهایت کلیک بر روی حل (Solve) نرم افزار محاسبات لازم را انجام می دهد. سول (Results)، نتایج مربوط به تحلیل ها را ارائه می کند. قابل ذکر است در این پژوهش سه نوع بارگذاری شامل حرارتی، مکانیکی و ترمومکانیکی مورد بررسی قرار می گیرد. باید سیستم تحلیلی مناسب برای هر نوع بارگذاری تنظیم شود.

۴- تفسیر نتایج

در این بخش به تحلیل حرارتی، مکانیکی و حرارتی-مکانیکی در ۴ مدل سوپاپ دود می پردازیم.

۴-۱- نتایج شبیه سازی تحلیل حرارتی در سوپاپ دود

شکل های ۱-الف و ۱-ب، مربوط به شبیه سازی سوپاپ دود بدون پوشش در تحلیل حرارتی و دمای گاز خروجی به ترتیب ۳۴۰ و ۴۲۰ درجه سانتی گراد هستند. شکل های ۱-ت، ۱-ث و ۱-ج، مربوط به نتایج شبیه سازی سوپاپ دود با پوشش سرامیکی سیلیسیم نیتريد هستند. ضخامت پوشش سرامیکی در این شکل ها به ترتیب ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ میلی متر و دمای گاز خروجی ۴۲۰ درجه سانتی گراد است. مشاهده می شود با افزایش دمای گاز خروجی از ۳۴۰ به ۴۲۰ درجه سانتی گراد، مقادیر تنش فون-میسز در سوپاپ دود بدون پوشش افزایش یافته است، بیشترین مقدار تنش فون میسر در تحلیل حرارتی مربوط به ناحیه صفحه نشیمنگاه سوپاپ است. این امر به دلیل انبساط حرارتی سوپاپ و نشیمنگاه سوپاپ در سرسیلندر و وجود تکیه گاه های ثابت در بیرون نشیمنگاه سوپاپ است. تکیه گاه های ثابت در بیرون نشیمنگاه سوپاپ انبساط را محدود می کنند و به نشیمنگاه کمک می کنند تا فقط به سمت سوپاپ دود انبساط پیدا کند که این باعث فشار در ناحیه صفحه نشیمنگاه سوپاپ می شود. مقدار تنش فون-میسز در ناحیه صفحه نشیمنگاه با وجود تغییرات ضخامت پوشش نسبتاً ثابت و در حدود ۳۰۲-۳۰۳ مگاپاسکال است. برای کاهش تنش حرارتی، پوشش با ضخامت ۰/۴ میلی متر پیشنهاد می شود.



(الف)

ادامه جدول ۲) خواص فیزیکی، مکانیکی و حرارتی آلیاژ نيمونیک گريد 80A

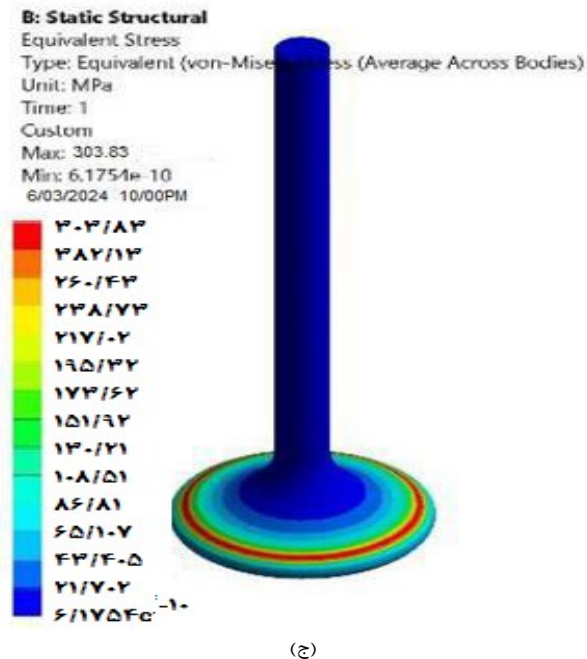
خواص مکانیکی	مقدار	واحد
مدول یانگ	$2/25 \times 10^{11}$	Pa
ضریب پواسون	0/3	----
مدول حجمی	$1/875 \times 10^{11}$	Pa
مدول برشی	$8/654 \times 10^{10}$	Pa
استحکام کششی تسلیم	$7/8 \times 10^8$	Pa
استحکام کششی نهایی	$1/25 \times 10^9$	Pa

جدول ۳) خواص فیزیکی، مکانیکی و حرارتی سیلیسیم نیتريد

خواص فیزیکی	مقدار	واحد
چگالی	۳۲۱۰	$\frac{Kg}{m^3}$
نقطه ذوب	حدود ۱۹۰۰	°C
خواص حرارتی	مقدار	واحد
ضریب انبساط حرارتی	$3/2 \times 10^{-6}$	$\frac{m}{m^{\circ}C}$
هدایت حرارتی ایزوتروپیک	۲۱	$\frac{W}{m^{\circ}C}$
خواص مکانیکی	مقدار	واحد
مدول یانگ	$3/05 \times 10^{11}$	Pa
ضریب پواسون	0/26	-----
مدول حجمی	$2/12 \times 10^{11}$	Pa
مدول برشی	$1/21 \times 10^{11}$	Pa
استحکام کششی نهایی	$7/5 \times 10^8$	Pa

۳- روش حل مسئله

برای انجام شبیه سازی در نرم افزار انسیس ورکبنچ باید از جعبه ابزار (Toolbox) یکی از سیستم های تحلیلی (Analysis System)، توسط کاربر انتخاب شود. در این پژوهش از سیستم تحلیلی ساختار استاتیکی (Static Structural)، استفاده می شود. پس از انتخاب این سیستم تحلیلی، تحلیل مربوطه با همه اجزایش به صورت شماتیک بر روی صفحه نمایش ظاهر می شود. در سول داده های مهندسی (Engineering Data)، داده های مربوط به ویژگی ها و خصوصیات آلیاژ نيمونیک گريد 80A و سیلیسیم نیتريد توسط کاربر وارد می شود. سپس با استفاده از امکانات سول هندسه (Geometry)، مدل سه بعدی از سوپاپ ایجاد می شود. با استفاده از امکانات سول مدل (Model)، مدل سه بعدی مرحله قبل مش بندی می شود. پارامترها مربوط به تنظیمات تحلیل که شامل شرایط مرزی، نوع بارگذاری و محدودیت ها هستند در سول تنظیمات (Setup) وارد می شوند. دمای گازهای خروجی از سیلندر و فشار ناشی از احتراق از شرایط مرزی محیطی این مسئله هستند. در این پژوهش دما گاز خروجی برابر با ۴۲۰ درجه سانتی گراد و برای سوپاپ بدون پوشش علاوه بر دمای ۴۲۰ درجه سانتی گراد، دمای ۳۴۰ درجه سانتی گراد نیز بررسی می شود. فشار برابر با ۱۴ مگاپاسکال و برای سوپاپ دود بدون پوشش فشار ۸ مگاپاسکال نیز بررسی می شود. نشیمنگاه سوپاپ دود در سیلندر به عنوان تکیه گاه ثابت در نظر گرفته می شود. پس از انجام این مراحل در سول راه حل (Solution) با کلیک بر روی گزینه تنش ها (Stresses)

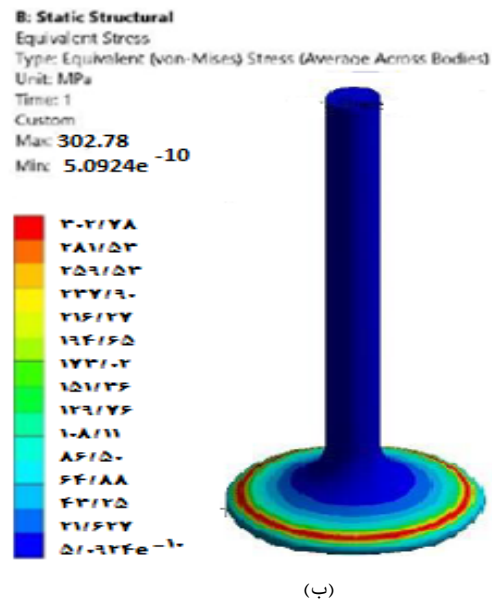


(ج)

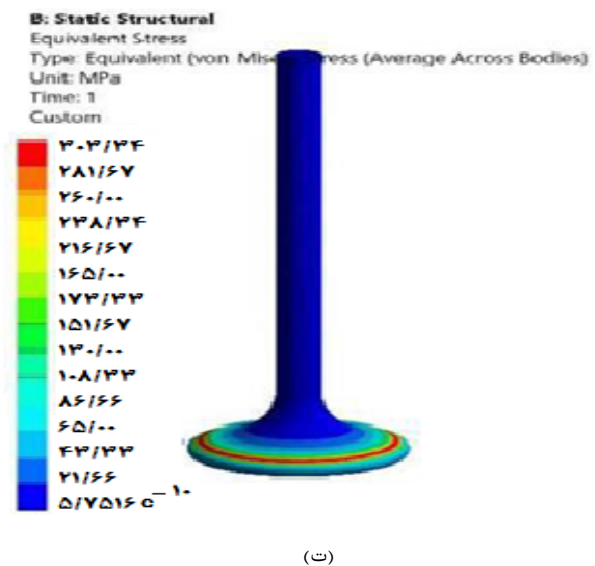
شکل ۱ الف و ب) شبیه سازی سوپاپ دود بدون پوشش در دمای به ترتیب ۳۴۰ و ۴۲۰ درجه سانتی گراد. ت، ث و ج) شبیه سازی سوپاپ دود با پوشش سرامیکی به ضخامت به ترتیب ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ و دمای ۴۲۰ درجه سانتی گراد در تحلیل حرارتی

۲-۴- نتایج شبیه سازی تحلیل مکانیکی در سوپاپ دود

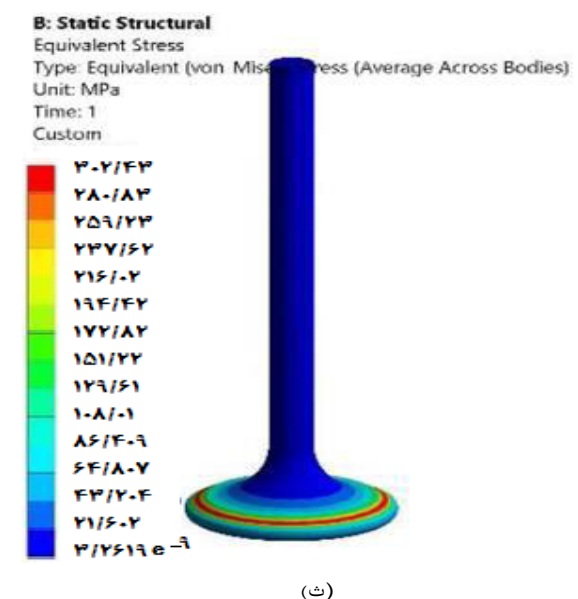
شکل های ۲-الف و ۲-ب، مربوط به شبیه سازی سوپاپ دود بدون پوشش در تحلیل مکانیکی و دمای گاز خروجی به ترتیب ۳۴۰ و ۴۲۰ درجه سانتی گراد هستند. شکل های ۲-ت، ۲-ث و ۲-ج، مربوط به نتایج شبیه سازی سوپاپ دود با پوشش سرامیکی سیلیسیم نیتريد هستند. ضخامت پوشش سرامیکی در این شکل ها به ترتیب ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ میلی متر و دمای گاز خروجی ۴۲۰ درجه سانتی گراد است. مشاهده می شود که مقادیر تنش فون-میسز در تحلیل مکانیکی کمتر از تحلیل حرارتی است، با افزایش دمای گاز خروجی از ۳۴۰ به ۴۲۰ درجه سانتی گراد، شاهد افزایش مقادیر تنش فون-میسز در سوپاپ دود بدون پوشش هستیم، استفاده از پوشش سرامیکی با ضخامت ۰/۴ و ۰/۵ میلی متر باعث کاهش تنش فون-میسز در نقاط کلیدی این نوع سوپاپ شده است. بیشترین مقدار تنش فون-میسز در حالت تحلیل مکانیکی در ناحیه ی صفحه نشیمنگاه سوپاپ است، این امر به دلیل نقش این ناحیه به عنوان محل تماس با تکیه گاه سوپاپ در سیلندر است. هنگامی که سوپاپ بسته می شود، فشار زیادی از سوی سیلندر به این نقطه وارد می شود. سوپاپ دود با ضخامت پوشش ۰/۴ میلی متر کمترین مقدار تنش فون-میسز را با مقدار ۸۲/۶۳۷ مگاپاسکال در ناحیه ی صفحه نشیمنگاه خود دارد.



(ب)

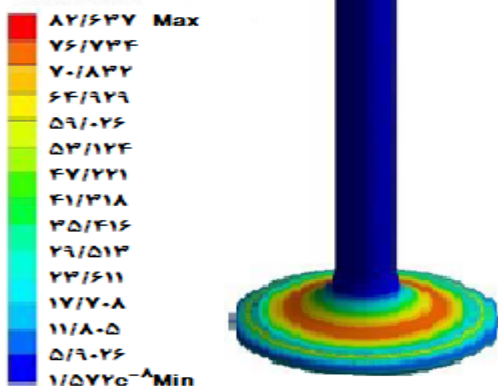


(ت)



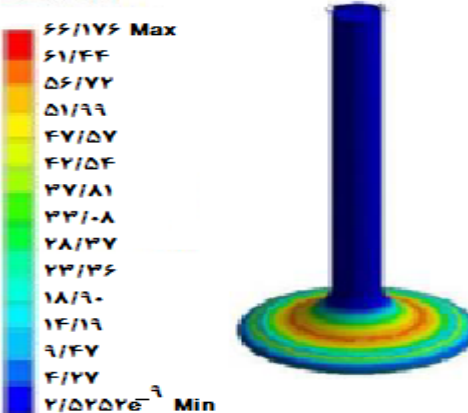
(ث)

Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress (Average Across Bodies)
Unit: MPa
Time: 1
Custom
Max: 80.637
Min: 1.572e-8
7/3/2024 8:21 PM



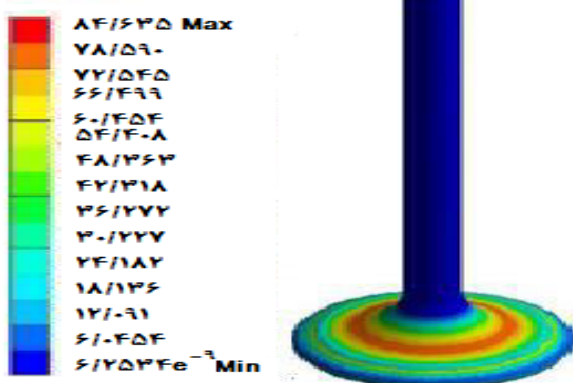
(ث)

Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress (Average Across Bodies)
Unit: MPa
Time: 1
Custom
Max: 66.178
Min: 2.522e-9
7/3/2024 4:49 PM



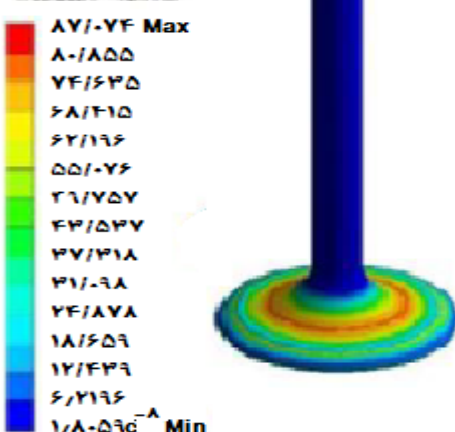
(الف)

Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress (Average Across Bodies)
Unit: MPa
Time: 1
Custom
Max: 84.635
Min: 6.253e-9
7/3/2024 6:09 PM



(ج)

Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress (Average Across Bodies)
Unit: MPa
Time: 1
Custom
Max: 87.629
Min: 2.291e-9
6/3/2024 4:28 PM



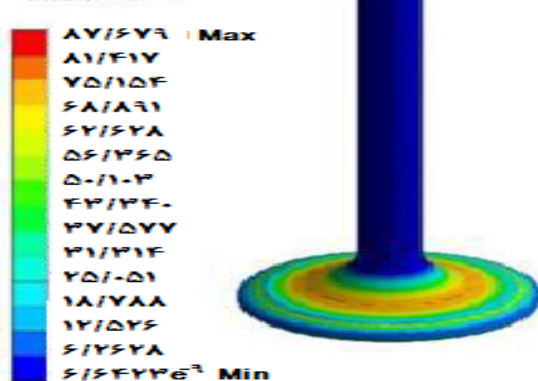
(ب)

شکل ۲ الف و ب) شبیه سازی سوپاپ دود بدون پوشش در ترتیب ۳۴۰ و ۴۲۰ درجه سانتی گراد. ت، ث و ج) شبیه سازی سوپاپ دود با پوشش سرامیکی به ضخامت به ترتیب 0/3، 0/4 و 0/5 و دمای ۴۲۰ درجه سانتی گراد در تحلیل مکانیکی

۳-۴ نتایج شبیه سازی تحلیل حرارتی-مکانیکی در سوپاپ دود

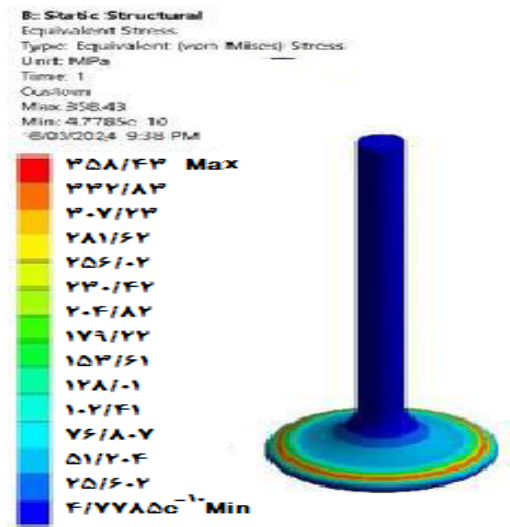
شکل های ۳-الف و ۳-ب، مربوط به شبیه سازی سوپاپ دود بدون پوشش در تحلیل حرارتی-مکانیکی و دمای گاز خروجی به ترتیب ۳۴۰ و ۴۲۰ درجه سانتی گراد هستند. شکل های ۳-ت، ۳-ث و ۳-ج، مربوط به نتایج شبیه سازی سوپاپ دود با پوشش سرامیکی سیلیسیم نیتريد هستند. ضخامت پوشش سرامیکی در این شکل ها به ترتیب ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ میلی متر و دمای گاز خروجی ۴۲۰ درجه سانتی گراد است. تحلیل انجام شده یک تحلیل حرارتی-مکانیکی است که تنش های ناشی از توزیع ناهمگن دما و بارهای مکانیکی را در نظر می گیرد. با افزایش دمای گاز خروجی از ۳۴۰ به ۴۲۰ درجه سانتی گراد، شاهد افزایش مقادیر تنش فون-میسز در

Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress (Average Across Bodies)
Unit: MPa
Time: 1
Custom
Max: 87.629
Min: 2.291e-9
6/3/2024 4:28 PM

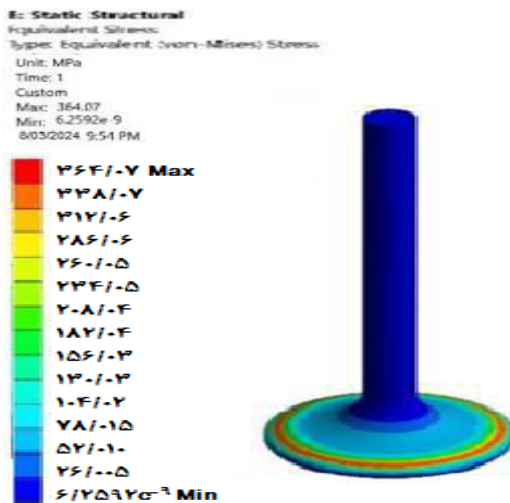


(ت)

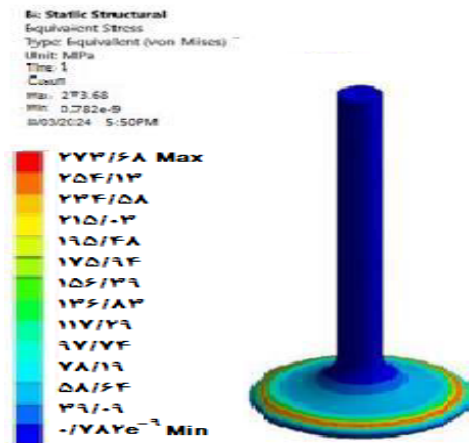
سوپاپ دود بدون پوشش هستیم. در همه‌ی سوپاپ‌های مورد بررسی در این تحلیل، بیشترین مقدار تنش فون-میسز در ناحیه‌ی صفحه نشیمنگاه سوپاپ درج شده است. استفاده از پوشش سرامیکی سیلیسیم نیتريد با ضخامت 0.3 میلی‌متر یا 0.4 میلی‌متر بر روی صفحه احتراق سوپاپ به کاهش تنش در نقاط کلیدی کمک کرده است.



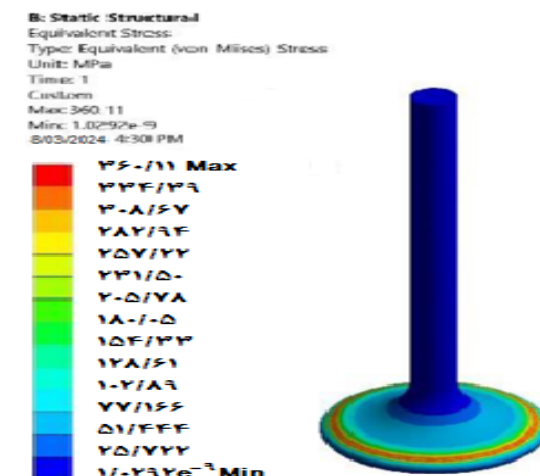
(ث)



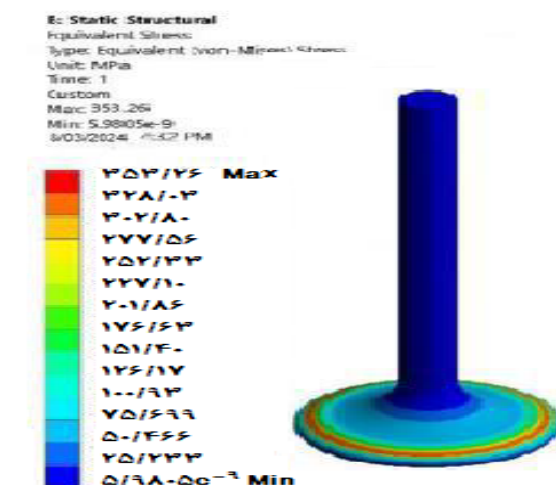
(ج)



(الف)



(ب)



(ت)

شکل ۳ الف و ب) شبیه‌سازی سوپاپ دود بدون پوشش در دمای به ترتیب 420°C و 340°C درجه سانتی‌گراد. ت، ث و ج) شبیه‌سازی سوپاپ دود با پوشش سرامیکی به ضخامت به ترتیب 0.3 ، 0.4 و 0.5 میلی‌متر دمای 420°C درجه سانتی‌گراد در تحلیل حرارتی-مکانیکی

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله با عنوان «تحلیل تنش به روش المان محدود در سوپاپ دود بدون پوشش و با پوشش سرامیکی سیلیسیم نیتريد در یک موتور دیزل دو زمانه»، از شبیه‌سازی‌های حرارتی و مکانیکی برای ارزیابی تأثیر دمای گاز خروجی از سیلندر و همچنین تأثیر پوشش سرامیکی سیلیسیم نیتريد بر روی تنش‌های فون-میسز در سوپاپ دود استفاده شد. نتایج نشان دادند که با افزایش دمای گاز خروجی تنش فون-میسز در همه‌ی حالت‌های بارگذاری افزایش یافته است. بیشترین مقدار تنش فون-میسز در ناحیه‌ی صفحه نشیمنگاه سوپاپ ثبت شده است. این امر به دلیل نقش این ناحیه به عنوان محل تماس با تکیه‌گاه سوپاپ در سیلندر و محدودیت انبساط توسط تکیه‌گاه‌های ثابت است. پوشش سرامیکی نواحی تنش‌زا را تغییر نمی‌دهد. استفاده از پوشش

- using the finite element method. Masters degree, Iran Institute of Science and Technology, 2003. (In Persian).
- 3- Pandey A, R.K Mandloi R.K, Raghuwanshi N.K. Failure Analysis of Internal Combustion Engine Valves: A Review. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2012; 1(2), 173-181.
- 4- Al-Baghdadi M, Ghadh N.A, Ahmed S.S. Mechanical and thermal stresses analysis in diesel engine exhaust valve with and without thermal coating layer on valve face. ENERGY AND ENVIRONMENT SPECIAL ISSUE ON APPLIED MECHANICS RESEARCH. 2016; 7(3), 253-262.
- 5- MAN Corporation. MAN B\$W L35MC6. Project Guide (6thed). Denmark: MAN Diesel. 2009.
- 6- Gawale S.S. Design and Optimization of IC Engine's Exhaust Valve. International Engineering Research Journa. 2016; 8(4), 1014-1021.

سرامیکی سیلیسیم نیتريد به کاهش تنش فون-ميسز در نقاط مختلف سوپاپ دود كمك كرده است. به طور خاص، پوشش سياليسيم نيتريد با ضخامت ۰/۴ ميلي متر در حالت تحليل حرارتي و مكانيكي و ضخامت ۰/۳ ميلي متر در تحليل حرارتي-مكانيكي براي کاهش تنش فون-ميسز در نقاط كليدي توصيه مي شود.

مراجع

- 1- Bagheri A. Transient Thermal and Mechanical Analysis of Exhaust Valve Using Finite Element Method. Journal of Mechanical Engineering. 2009; 39, 1. (In Persian).
- 2- Abdoli Bozcheloi D. Thermo-mechanical analysis of the exhaust valve of an internal combustion engine