



مقاله مروری درباره طراحی بهینه کمک شبیه سازی استحکام و آسیب در شاتون

امین کلهر^{۱*}، علی پور کمالی انارکی^۲، جواد کدخدا پور^۳، علی میر محمدی^۴

^{۱*} دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

^۲ عضو هیات علمی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

^۳ عضو هیات علمی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

^۴ عضو هیات علمی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

* تهران، صندوق پستی ۱۳۶-۱۶۷۸۵، amin25ka@gmail.com

چکیده

موتور احتراق داخلی قطعات بسیاری دارد. در میان این قطعه ها شاتون قطعه ای است که نقش مهم انتقال نیروی تولیدی در سیلندر، از پیستون به میل لنگ را برعهده دارد. شاتون از نظر طراحی، تحلیل تنش ها و کارایی به دلیل اینکه در معرض تنش های نوسانی متعدد در شرایط کارکردی سخت از جمله دمای نسبتا بالا، تنش های با زاویه و غیره، جایگاه خاصی در تحقیقات مهندسی حوزه دارد. هدف این مقاله یافتن بهترین روش جهت بهبود روش طراحی و ساخت و رفع عیوب قطعه شاتون است. در سال های گذشته از فولاد کربن دار برای تولید این قطعه استفاده می شده است اما امروزه استفاده از مواد با استحکام بالاتر مانند آلایژ آلومینیوم، تیتانیوم، وانادیوم و مواد کامپوزیتی در ساخت این قطعه مورد توجه است زیرا فولاد کربن دار نسبت به این مواد مقاومت کمتر و وزن بیشتری دارد. استفاده از مواد جدید علاوه بر بهبود مقاومت این قطعه در برابر تنش های اعمالی، وزن قطعه را نیز کاهش می دهد که خود باعث بهبود بازده موتور می شود. استفاده از روش پوشش دهی نیز راهی سریع و به نسبت ارزان جهت بهبود عملکرد شاتون است. همچنین با تغییر طراحی شاتون می توان مقاومت قطعه را افزایش داد.

کلیدواژه ها: شاتون، پوشش دهی، مواد جدید، بهینه سازی طراحی، فرایند ساخت

A review article on optimal design with the help of simulation of strength and damage of a connecting rod

Amin kalhor^{۱*}, Ali pur kamali anaraki^۲, Javad kadhoda pur^۳, Ali mirmohammadi^۴

^{۱*} PhD Candidate, Mechanical Engineering Department, Shahid rajai teacher training university

^۲ Faculty of Mechanical Engineering Department, Shahid rajai teacher training university

^۳ Faculty of Mechanical Engineering Department, Shahid rajai teacher training university

^۴ Faculty of Mechanical Engineering Department, Shahid rajai teacher training university

* P.O.B. ۱۶۷۸۵-۱۳۶ Tehran, Iran, amin25ka@gmail.com

Abstract

From several components of the internal combustion engine, the connecting rod because of the important role it plays and the task of transmitting the power produced by the cylinder from piston to crankshaft has always been considered both in terms of design and in terms of stress analysis and performance, on the other hand, due to the exposure of the connecting rod to various oscillating stresses in difficult operating conditions, such as high temperatures, angular stresses, etc., has a special place among researchers. In this article tries to find the best way to improve the designing and construction and repair of engine parts by focusing on the connecting rod. In the past, carbon steel was used to produce this part, but today, the use of higher strength materials such as aluminum, titanium, vanadium and composite materials in the construction of this part is considered because carbon steel is less resistant to these materials and weight has more. The use of new materials, in addition to improving the resistance of this part to applied stresses, also reduces the weight of the part, which in turn improves the efficiency of the engine. Using the coating method is also a quick and relatively inexpensive way to improve the performance of the connecting rod. Also, changing the design of the connecting rod can increase the strength of the part.

Keywords

Connecting rod, coating, new materials, design optimization, manufacturing process

۱ مقدمه

(شکل ۲). شاتون بحرانی ترین قطعه موتور است و باید از استحکام کافی و وزن

کم برخوردار باشد تا بتواند تنش های اعمالی را تحمل کرده و از طرفی با بهبود عملکرد موتور بازده آن را افزایش و مصرف سوخت و میزان آلاینده های تولیدی را کاهش دهد. بهینه سازی طراحی و همچنین استفاده از فلزات

شاتون میله اتصال بین پیستون و میل لنگ است و وظیفه انتقال نیروی تولید شده بروی تاج پیستون به میل لنگ را برعهده دارد (شکل ۱) و به کمک میل لنگ حرکت رفت و برگشتی پیستون را به حرکت دورانی تبدیل می کند

مهمترین پارامترها در انتخاب جنس شاتون عبارتند از [۳]:

۱- استحکام تسلیم (حد خستگی)

۲- حساسیت به ترک‌های سطحی

۳- جرم حجمی

۴- قیمت

در گذشته بیشتر از فولاد به روش پتک‌کاری ضربه‌ای جهت ساخت این قطعه استفاده می‌شده است.

در جدول ۱ خواص مکانیکی چند نوع فولاد، که در ساخت شاتون بکار می‌روند، مشاهده می‌شود.

جدول ۱: خواص مکانیکی چند نوع فولاد بکار رفته در ساخت شاتون [۴].

چگالی	استحکام کششی	استحکام تسلیم	
(Kg/m ^۳)	(MPa)	(MPa)	
۷/۸۵	۴۲۰	۲۵۰	CrNi۶۱۵
۷/۸۵	۹۰۰	۷۰۰	Cr۴۴۱
۷/۸۵	۱۱۰۰	۸۰۰	CrNiMo۶۳۴

اما اکنون مواد آلیاژی و کامپوزیتی جهت ساخت این قطعه ترجیح داده می‌شوند. این مواد علاوه بر داشتن استحکام کافی، سبک‌تر نیز هستند و توانایی انتقال حرارت بهتری دارند. از پوشش سرامیک جهت بهبود عملکرد شاتون‌های فولادی نیز استفاده می‌شود.

۲- تحقیقات انجام شده برای بهبود طراحی و جنس شاتون

۲-۱- تحقیقات مربوط به تاثیر جنس شاتون در خواص آن

آقای رامش و همکاران شاتونی از جنس فیبرکربن را با شاتون فولادی و شاتونی از جنس آلایژ آلومینیوم مورد بررسی و مقایسه قرار دادند یافته‌ها نشان داد این جنس موجب افزایش مقاومت قطعه در ابعاد مختلف و کاهش وزن قطعه می‌شود. همچنین کاهش وزن قطعه باعث بهبود عملکرد موتور و افزایش

جایگزین فولاد نظیر مواد کامپوزیتی باعث افزایش استحکام قطعه و کاهش وزن و به طبع آن بهبود عملکرد موتور می‌شود. همچنین پوشش‌دهی باعث بهبود مقاومت قطعات موجود و توانایی سبک سازی آنها خواهد شد.



شکل ۱ نمونه ای از یک شاتون [۱]



شکل ۲ محل قرار گیری شاتون [۲]

شاتون یکی از قطعات تحت فشار زیاد در موتورهای احتراق داخلی است و تحت تنش‌های نوسانی شدیدی قرار دارد. مواد مورد استفاده در ساخت این قطعه علاوه بر داشتن استحکام کافی، باید از انعطاف‌پذیری کافی نیز برخوردار باشند.



سامات و همکارانش اثر فرایند ساخت تکسوفرمینگ بر مقاومت شاتون موتور احتراق داخلی ساخته شده از آلیاژ تغییر یافته Al-Si-Cu شامل Cu ۲درصد، Mg ۰/۳ درصد، Mn ۰/۵ درصد، Fe ۰/۱ درصد، را مورد بررسی قرار داده و به تنش تسلیم بالاتر، مقاومت کششی و سختی بیشتر دست یافتند [۱۳].

رانجان پانی و همکارانش در تحقیقی به کمانش شاتون از آلیاژ فولاد ۴۲CrMo۴ و آلیاژ آلومینیوم Al-۲۰۲۴-T۶، در زمان ایجاد قفل آبی در موتور پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بدلیل مقاومت کم شاتون ساخته شده از آلومینیوم Al-۲۰۲۴-T۶ در مقابل کمانش امکان استفاده از آن در موتورهای دیزل بزرگ وجود ندارد در حالی که شاتون با جنس فولاد Al-۲۰۲۴-T۶ در مقابل کمانش مقاومت خوبی از خود نشان می‌دهد [۱۴].

ژانژینگ و همکارانش در تحقیقی از روش تجزیه و تحلیل CAE برای طراحی و تحلیل شاتون آلیاژ آلومینیوم پیستون آبرو نفت سفید (یک موتور هوایی) استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد پس از طراحی در ناحیه چشمی بزرگ از نظر ضریب اطمینان ضعف وجود دارد که با پهن‌تر کردن این ناحیه مشکل برطرف شده است [۱۵].

ایلیا و همکارانش در تحقیقی به بررسی تاثیر مس بر شاتون ساخته شده از آلیاژ Fe-Cu-C در پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد استفاده از این ماده باعث بهبود مقاومت شاتون در دمای مختلف کارکردی موتور می‌شود [۱۶].

اتارودین و همکاران در تحقیقی تنش ایجاد شده در سطح شاتون‌هایی با جنس‌های مختلف را بررسی کردند تا بهترین مکان جهت مناسب بودن برای کاهش ماده تشکیل دهنده و در نهایت کاهش وزن مشخص شود. ۵ ماده مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ایشان نشان داد که با توجه به توزیع تنش در طول شاتون بهترین ناحیه جهت کاهش وزن محل اتصال شاتون به میل‌لنگ می‌باشد [۱۷].

لوتیک و همکاران در تحقیقی ابتدا مدلی از یک شاتون آماده کردند، سپس تاثیر استفاده از چند ماده مختلف در ساخت شاتون جهت رسیدن به کمترین تنش بر اساس معیار Von Misses تحلیل کردند. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که بر اساس معیار Von Misses آلیاژ تیتانیوم بهترین عملکرد را دارد [۱۸].

پاندیان و همکاران در تحقیقی پس از ساخت یک مدل کامپیوتری، تاثیر سه نوع آلیاژ ADC۱۲، LM۶ و Al ۶۰۶۱-T۶ را بررسی کردند. با توجه به نتایج ایشان آلیاژ Al ۶۰۶۱ نسبت به بقیه موارد استفاده شده در این تحقیق عملکرد بهتری داشت [۱۹].

۲-۲- تحقیقات پیرامون بهینه‌سازی طراحی و کاهش وزن قطعه

تیواری و همکاران در یک تحقیق از روش المان محدود جهت تجزیه و تحلیل کاهش وزن و هزینه تولید شاتون از جنس فولاد آهنگری شده استفاده

بازده شده، در نتیجه موجب کاهش مصرف سوخت و کاهش آلاینده‌گی می‌شود [۵].

پرفسور چور خواص سه نوع شاتون از جنس‌های تیتانیوم، آلیاژ آلومینیوم و فولاد را از نظر وزن، تنش و استحکام بررسی و مقایسه کرده و خواص هر یک را شرح داده است. با توجه به نتایج ایشان شاتون با آلیاژ آلومینیوم دارای وزن کمتر و مقاومت خوبی است که باعث بهبود عملکرد موتور، افزایش بازده و در نتیجه کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌گی موتور خواهد شد [۶].

موریا و همکاران در تحقیقی اثر استفاده از سه ماده تیتانیوم، آلیاژ آلومینیوم و آلیاژ فولاد منیزیم را مورد بررسی قرار دادند. استفاده از مواد بهتر، وزن کمتر، تغییر طول کمتر و عمر خستگی بالاتر از نتایج این تحقیق می‌باشد. همانطور که قبلاً اشاره شد این عوامل باعث بهبود عملکرد موتور، افزایش بازده در نتیجه کاهش مصرف سوخت و کاهش آلاینده‌گی موتور خواهد شد [۷].

آقای گوپتا و همکاران در مقاله‌ای به بررسی و مرور تحقیقات پیرامون استفاده از مواد مختلف در ساخت شاتون پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد، آلیاژ برلیوم عمر قطعه را بسیار افزایش می‌دهد که افزایش عمر مفید قطعه اطمینان بیشتر بر قطعات را نتیجه خواهد داد. همچنین از نتایج تحقیقات ایشان این است که با بهینه کردن طراحی می‌توان وزن قطعه را کاهش داد [۸].

آقای هو و همکاران در تحقیقی اثر افزودن وانادیوم بر شاتون ساخته شده از فولاد کربن‌دار را مورد بررسی قرار دادند. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که با افزودن وانادیوم و افزایش درصد آن، مقاومت خستگی شاتون افزایش می‌یابد، سختی قطعه و مقاومت کششی آن نیز بهبود می‌یابد که باعث افزایش ضریب اطمینان قطعه می‌شود. همچنین ایشان بیان کرده‌اند که با بهینه کردن طراحی می‌توان وزن قطعه را کاهش داد [۹].

پراباکراند و همکاران در تحقیقی اثر استفاده از کامپوزیت کاربید بور و آلومینیوم در ساخت شاتون را بررسی کردند. مدل شاتون را ساختند. سپس اثر استفاده از این کامپوزیت در ساخت شاتون را تحلیل کردند. نتایج ایشان سبک‌تر شدن شاتون و همچنین استحکام بیشتر در مقابل فشار را نشان می‌دهد [۱۰].

لاشاری و همکاران در تحقیقی از روش المان محدود برای بررسی و تحلیل استفاده از آلیاژ آلومینیوم (Al ۲۰۲۴) و چدن خاکستری در ساخت شاتون تحت بارهای مختلف استفاده کردند. با توجه به تغییر شکل ایجاد شده در بخش میانی شاتون از جنس آلیاژ آلومینیوم کمتر از چدن می‌باشد. همچنین چون آلیاژ آلومینیوم از چدن سبک‌تر است وزن کلی قطعه کاهش یافته و در نتیجه در عملکرد موتور تاثیر مثبتی خواهد داشت [۱۱].

آمیتی کومار و همکارانش به بررسی چند آلیاژ جدید در ساخت شاتون پرداختند و تاثیر هر یک از این مواد را بر عملکرد موتور مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان دهنده بهبود عملکرد و مقاومت شاتون در زمان استفاده از آلیاژهایی همچون آلیاژ آلومینیوم ۳۶۰ می‌باشد [۱۲].



طراحی امکان کاهش وزن شاتون نیز وجود دارد که این باعث بهبود عملکرد موتور خواهد شد [۲۶].

آسری و همکارانش در یک تحقیق به بررسی تاثیر پوشش‌دهی پیچ‌های اتصال شاتون با منیزیم فسفات و روی فسفات، بر مقاومت در برابر خستگی در مقابل مواد پوشش داده نشده پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که پوشش‌دهی پیچ‌ها باعث افزایش استحکام و کاهش خرابی شاتون‌ها از این ناحیه می‌شود [۲۷].

۴-۲- خستگی و خرابی قطعه

ویتک و همکاران در تحقیقی تحلیل تنش و خرابی شاتون یک موتور دیزل را بررسی کردند. برای این تحلیل از روش المان محدود استفاده شده است. به این منظور مدل‌های هندسی از شاتون، پیستون و اجزای مجاور ایجاد شد. سپس، مجموع بارهای حاصل از فشار گاز درون سیلندر و نیروهای اینرسی تعریف گردید. با توجه به نتایج بدست آمده نقاط تمرکز تنش در نزدیکی سوراخ‌های اتصال پیچ و مهره قرار دارند که در حالت کارکرد موتور با حداکثر توان امکان ایجاد ترک و به مرور رشد ترک و در نهایت ایجاد شکست در مقطع شاتون را باعث خواهد شد. نتایج نشان دهنده حداکثر مقدار تنش اصلی در منشا ترک به عنوان تابعی از گشتاور سفت شدن پیچ و مهره می‌باشد و اهمیت گشتاور بستن پیچ و مهره در ایجاد ترک را نشان می‌دهد. همچنین بر اساس نتایج هرچه گشتاور بسته شدن افزایش یابد به طبع آن حداکثر تنش ایجاد شده نیز افزایش می‌یابد و امکان ایجاد ترک نیز افزایش خواهد یافت [۲۸].

فراتیتا و همکاران در تحقیقی از روش المان محدود برای تحلیل و تعیین مقاومت خستگی ۲ نوع شاتون که از فولاد ۴۳۴۰ و فولاد ۱۰۵۰ ساخته شده بود استفاده کردند. بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق هرچه سطح ماشین کاری شده صاف‌تر باشد مقاومتش در برابر خستگی افزایش می‌یابد [۲۹].

بوراند و همکارانشان در تحقیقی ابتدا تحلیلی بروش المان محدود از نحوه توزیع تنش در داخل شاتون انجام دادند و سپس این توزیع تنش مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای بدست آمده از این نرم افزار از جمله تنش براساس معیار Von-mises تنش اصلی و تغییر شکل نشان می‌دهد که مقاومت افزایش و وزن کاهش پیدا کرده است. نتایج بدست آمده از تحلیل و ماشین UTM نیز نتایج کلی تحلیل ایشان را تایید می‌کند [۳۰].

پان و همکاران در تحقیقی به بیان خلاصه‌ای از مشکلات خستگی شاتون در مسیر توسعه موتورهای هوایی پرداختند و روش‌هایی جهت رفع این مشکلات به کمک شبیه‌سازی رایانه‌ای، کنترل فرایند تولید و تست عملی استحکام جهت توسعه موتور معرفی کردند [۳۱].

چاو در تحقیقی به بررسی علت خرابی شاتون یک موتور احتراق داخلی در یک نیروگاه گازی پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که خرابی از بخش چشمی

کردند و نتایج بر اساس دیاگرام گودکن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که می‌توان با بهینه‌سازی طراحی قطعه با ثابت نگه داشتن مقاومت در برابر خستگی به میزان ۱۰ درصد کاهش وزن قطعه را کاهش داد که علاوه بر بهبود عملکرد موتور هزینه ساخت قطعه را نیز به میزان ۲۵ درصد کاهش می‌دهد. از طرفی اگر به جای فولاد متداول از فولاد آهنگری شده استفاده شود، باعث کاهش هزینه به میزان ۱۵ درصد خواهد شد و همچنین استفاده از فولاد میکرو آلیاژی وزن قطعه نیز کاهش می‌یابد [۲۰].

ابراهیم و همکاران در تحقیقی به کمک روش المان محدود بهینه‌سازی طراحی شاتون با هدف کاهش وزن آن و تحلیل استاتیکی تغییر وزن تحت بار ۳۰ کیلو نیوتن پرداختند. بخشی از نتایج نشان می‌دهد با کاهش وزن میزان تغییر شکل قطعه تحت بار کاهش یافته که این نشانه افزایش مقاومت قطعه است. همچنین بر اساس نتایج حاصل شده کشش الاستیک قطعه تقریباً ثابت مانده است. همچنین بر اساس نتایج، پس از بهینه‌سازی و کاهش وزن تنش معادل ایجاد شده در قطعه نیز روند کاهشی دارد که نشان دهنده بهبود مقاوت قطعه است. این کاهش وزن و بهبود مقاومت قطعه علاوه بر بهبود عملکرد موتور، ضریب اطمینان بیشتر در استفاده از قطعه جدید را خواهد داشت [۲۱].

پاول اسکولگند و اسون بنگستون عملکرد شاتون موتور ۲/۱ لیتری بنزینی را با آلیاژهای مختلف فولاد مورد مطالعه قرار دادند و همچنین طراحی را بهینه کردند. نتایج نشان دهنده کاهش وزن شاتون و در نتیجه بهبود عملکرد موتور بوده است [۲۲].

سید حمیدرضا عارفپور و همکارانش ابتدا به بررسی روش‌های بهینه‌سازی طراحی شاتون پرداخته‌اند و سپس فرایند بهینه‌سازی روی مدل خام شاتون با روش اجزای محدود را انجام داده‌اند. پس از بهینه‌سازی شاتونی سبک‌تر به میزان ۵ درصد نسبت به شاتون اولیه بدست آمده است [۲۳].

چارخا و همکاران در تحقیقی ابتدا مدلی رایانه‌ای از شاتون را ساختند. سپس تنش را بر اساس معیار Von Mises محاسبه کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد امکان کاهش وزن در شاتون ساخته شده از فولاد آهنگری شده وجود دارد [۲۴].

تراپا و همکارانش در یک تحقیق تطبیقی به بررسی روش‌های مناسب مانند TOPSIS, VIKOR, MADM و AHP جهت مشخص کردن مواد برای ساخت شاتون موتور پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که نتایج حاصل از TOPSIS و VIKOR مناسب‌تر می‌باشند [۲۵].

۳-۲- تحقیقات مربوط به پوشش‌دهی شاتون

از آقای بالاکریشان و همکاران در تحقیقی یک شاتون از جنس آلیاژ آلومینیوم را در نرم افزار ANSYS مدل کرده و سپس با سرامیک با ترکیب ZrO_2 و MgO پوشش‌دهی کردند و شاتون با پوشش را تحلیل کردند. نتایج تحلیل ایشان نشان می‌دهد که عمر مفید قطعه افزایش می‌یابد و با بهینه کردن



یا مواد دیگر و همچنین بهینه‌سازی طراحی، مقاومت قطعه شاتون در شرایط مختلف کارکردی را افزایش می‌دهد. همچنین موجب کاهش وزن قطعه می‌شود. این کاهش وزن منجر به کاهش وزن قطعات دوار موتور و در نهایت بهبود عملکرد و کاهش مصرف سوخت خودرو و کاهش آلایندگی تولیدی توسط آن خواهد شد. از طرفی استفاده از مواد جدید و باز طراحی قطعه شاتون می‌تواند هزینه‌ی تولید قطعه را افزایش دهد زیرا خط تولید قطعه باید برای همخوانی با ماده جدید باز طراحی شود.

نتایج مرور تحقیقات در این مقاله به صورت زیر دسته‌بندی می‌شود.

- ۱- استفاده از مواد جدید می‌تواند عملکرد شاتون و دوار آن را افزایش دهد همچنین مواد سبک‌تر باعث بهبود عملکرد موتور خواهند شد.
- ۲- بهینه‌سازی طراحی قطعه می‌تواند علاوه بر بهبود استحکام شاتون، وزن آن را نیز کاهش دهد و عملکرد موتور را بهبود بخشد.
- ۳- پوشش‌دهی قطعه شاتون راهی مناسب برای بهبود خواص شاتون‌های کنونی می‌باشد.
- ۴- با تحلیل نقاط آسیب‌پذیر شاتون می‌توان آسیب‌های وارده بر شاتون را پیش‌بینی کرد.
- ۵- بازنگری در فرایندهای ساخت و تولید شاتون می‌تواند در بهبود استحکام آن موثر باشد.
- ۶- استفاده از مواد جدید هزینه تولید شاتون را افزایش می‌دهد.

۴- مراجع

- [۱] <http://alton-co.com/>
- [۲] <http://www.mechanism.ir/>
- [۳] Bhandari, V. B., ۱۹۹۴, "Design of Machine Elements," Tata McGraw-Hill.
- [۴] Balasubramaniam, B., Svoboda, M., and Bauer, W., ۱۹۹۵, "Structural optimization of I. C. engines subjected to mechanical and thermal loads," Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. ۸۹, pp. ۳۳۷-۳۶۰.
- [۵] Ramesh B T, Vinayaka Koppad, Hemantha Raju T, "Analysis and Optimization of Connecting Rod with Different Materials" WJRR, Volume-۴, Issue-۱, January ۲۰۱۷ Pages ۳۳-۳۹
- [۶] A. Somani, G. Chaurse "comparative analysis and design of connecting rod" IJIEET, Vol. ۶, Issue ۲, February ۲۰۱۶.
- [۷] P. K. Maurya, K. H. Ansari, "Design and Optimization of Connecting Rod for Different Material Using Ansys Workbench ۱۶.۰", IJIRAE, Issue ۰۷, Volume ۰۵ (July ۲۰۱۸)
- [۸] P. Agarwal, A. Gubta, V. Saxena, "A Comparative Study of Different Materials of Connecting Rod: A Review", MIT, Vol. ۵, No. ۱, January ۲۰۱۵, pp. ۵۴-۵۷
- [۹] W. Hui, S. Chen, Y. Zhang, C. Shao, H. Dong, Effect of vanadium on the high-cycle fatigue fracture properties of medium-carbon microalloyed steel for fracture splitting connecting rod, "Materials & Design (1980-2015) Volume ۶۶, Part A, ۵ February ۲۰۱۵, Pages ۲۲۷-۲۳۴
- [۱۰] Soorya Prabakaran D and Ramachandran P. "DESIGN AND THERMAL ANALYSIS OF COMPOSITE CONNECTING ROD" International Journal of Engineering and Robot Technology. ۴(۱), ۲۰۱۷, ۲۸-۳۶
- [۱۱] Reema Lashari, Qadir, Muhammad Ramzan Luhur, Abdul Sattar Jamali, Rashid Hussain Lashari "Tensile Strength Analysis of IC Engine Connecting Rod Under ۲۰ kN Load for Aluminum Alloy (AL۲۰۲۴) and Grey Cast Iron" QUEST RESEARCH JOURNAL, VOL. ۱۷, NO. ۲, PP. ۵۰-۵۴, JUL-DEC, ۲۰۱
- [۱۲] AMITKUMAR B. SOLANKI, JIMMY MAIYA, NEETIN MISHRA, ANAND RATHOD, "DESIGN, MODELING AND STRENGTH ANALYSIS OF CONNECTING ROD FOR ۴ STROKE SINGLE CYLINDER ۱۰ HP (۷.۳۵ KW) DIESEL

بزرگ و در فاصله ۵ میلی‌متری بخش روغنکاری شروع شده است و خرابی ناشی از خستگی قطعات بوده است [۳۲].

محسن و همکارانش در یک تحقیق به بررسی تنش و خستگی چشمی بزرگ شاتون به کمک تجزیه و تحلیل عناصر محدود جهت تعیین نقطه تمرکز در کل شاتون پرداخته‌اند. نتایج نشان دهنده تمرکز تنش فشاری زیادی در انتها شاتون (چشمی بزرگ) می‌باشد [۳۳].

ژو و همکارانش در مطالعه‌ای به بررسی و تحلیل شکست شاتون در فرآیند تقسیم شکستگی کنترل شده و همچنین بررسی سه بعدی پیشروی ترک‌ها پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد با کنترل انجام دادن این کار تاثیر بسیاری بر استحکام شاتون دارد [۳۴].

راکیچ و همکارانش در تجزیه و تحلیلی، خرابی شاتون به کار رفته در یک موتور ۱۲ سیلندر دیزلی که روی یک وسیله نقلیه خاص تنظیم شده را مورد مطالعه قرار دادند. تجزیه تحلیل به روش المان محدود جهت ارزیابی وضعیت تنش‌ها انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که شکستگی در محلی که زبری سطحی بیشتری دارد رخ داده است [۳۵].

۲-۵- تحقیقات پیرامون تاثیر فرایند تولید و نگهداری قطعه

فنگ ژبان و همکارانش در تحقیقی به بررسی رفتار جریان فلز در هنگام قالب‌گیری شاتون و شبیه‌سازی یک پیش‌فرم بهینه پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که قسمت ساق شاتون سریع‌تر خنک می‌شود و در نتیجه بیشتر در معرض ترک خوردگی قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که می‌توان امکان ساخت یک پیش‌فرم مناسب برای بهبود کیفیت میله‌های اتصال را به طور موثر ارائه داد [۳۶].

ژو ژان و همکارانش در یک تحقیق به بررسی تاثیر روغنکاری بر استحکام شاتون موتور پرداخته‌اند. با توجه به آنالیز انجام شده نتایج نشان می‌دهد که تنش در بخش فیلت گرد بیشتر است و باید فیلت‌ها تخت باشند [۳۷].

ژیا و همکارانش در تحقیقی به بررسی تاثیر علائم حک شده بروی شاتون، بر استحکام و عملکرد آن پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که حک کردن علائم در جای بهتر باعث افزایش استحکام شاتون خواهد شد [۳۸].

وانگ و همکارانش در تحقیقی به بررسی تاثیر ۲ روش ریخته‌گری نیمه جامد تخت فشار و ریخته‌گری مایع تحت فشار بر استحکام شاتون پرداخته‌اند. نتایج نشان دهنده افزایش استحکام به میزان قابل توجهی می‌باشد [۳۹].

۳- نتیجه‌گیری

بررسی نتایج مقالات نشان می‌دهد که استفاده از فلزات جایگزین از جمله آلایژ آلومینیوم، تیتانیوم، وانادیوم و مواد کامپوزیتی و یا پوشش‌دهی با سرامیک



- Engines", 4th Conference on Material Science and Engineering, ۲۰۱۹
- [۳۰] S. C. Naikwadi, D. H. Burande, "Stress Analysis and Topology Optimization of Air Compressor Connecting Rod", IJERT, Vol. ۸ Issue ۰۹, ۲۰۱۹
- [۳۱] Zhong-jian Pan, Xiang-fu Zou, Zhi-dong Zhou, Kai Zhou, "Fatigue Research for Connecting Rod of Aero Piston Engine", ijcm, ۲۰۲۰
- [۳۲] J. Chao, "Fretting-fatigue induced failure of a connecting rod", Engineering Failure Analysis ۹۶ (۲۰۱۹) ۱۸۶-۲۰۱
- [۳۳] Mohammed Mohsin Ali Ha, Mohamed Haneef, "Analysis of Fatigue Stresses on Connecting Rod Subjected to Concentrated Loads At The Big End", the 4th International conference on Materials Processing and Characterization. ۲۰۱۵
- [۳۴] Zhou Shia, Shuqing Koua, "Analysis of quality defects in the fracture surface of fracture splitting connecting rod based on three-dimensional crack growth", Results in Physics ۱۰ (۲۰۱۸) ۱۰۲۲-۱۰۲۹.
- [۳۵] Slavko Rakić, Ugljesa Bugaric, Igor Radisavljevic, Zeljko Bulatovic, "Failure analysis of a special vehicle engine connecting rod", Engineering Failure Analysis (۲۰۱۷).
- [۳۶] Fengxian Li a, Peng Chena, Jin Hana, Long Denga, Jianhong Yi a, Yichun Liua, Jürgen Eckertb, "Metal flow behavior of P/M connecting rod preform in flashless forging based on isothermal compression and numerical simulation", materials ۲۰۲۰; ۹(۲): ۱۲۰۰-۱۲۰۹
- [۳۷] Jun-chao Zhu, Han-hua Zhu, Shi-dong Fan, Liang-jun Xue, You-feng Li, A study on the influence of oil film lubrication to the strength of engine connecting Rod Components, engineering failure analysis (۲۰۱۶)
- [۳۸] Jia, D., Li, Y., Deng, X., Lei, J., Deng, W., "Design research on forging mark of connecting rod", Engineering Failure Analysis (۲۰۲۰)
- [۳۹] Yong-fei WANG, Sheng-dun ZHAO, Chen-yang ZHANG, "Microstructures and mechanical properties of semi-solid squeeze casting ZL۱۰۹ connecting rod", Trans. Nonferrous Met. Soc. China ۲۸(۲۰۱۸) ۲۳۵-۲۴۳
- ENGINE-A REVIEW", International Journal of Mechanical And Production Engineering, Volume- ۶, Issue-۱, Jan.-۲۰۱۸
- [۱۳] Samat S, Omar MZ, Baghdadi AH, Mohamed IF, Aziz AM, Mechanical Properties and Microstructures of a Modified Al-Si-Cu Alloy Prepared by Thixoforming Process for Automotive Connecting Rods, *Journal of Materials Research and Technology*, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.12.080>
- [۱۴] Amiya Ranjan Pani, Ritesh Kumar Patel, Gaurab Kumar Ghosh, "Buckling analysis and material selection of connecting rod to avoid hydro-lock failure", Materials Today: Proceedings, ۲۰۱۹
- [۱۵] Zhongjian Pan a,b,c,* , Yi Zhang, " Numerical investigation into high cycle fatigue of aero kerosene piston engine connecting rod", Engineering Failure Analysis ۲۰۲۰.
- [۱۶] Edmond Iliaa, Philippe Plamondonb, Jean-Philippe Masseb, Gilles L'Espéranceb, "Copper precipitation at engine operating temperatures in powder-forged connecting rods manufactured with Fe-Cu-C alloys", Materials Science & Engineering A ۷۶۷ (۲۰۱۹).
- [۱۷] MOMIN ATHARUDDIN, J.A.SANDEEPKUMAR, P.HUSSAIN, Dr.P.MALLIKARJUNA REDDY, "DESIGN & ANALYSIS OF A CONNECTING ROD WITH DIFFERENT MATERIALS" JES, vol ۱۰, Issu ۱۱, ۲۰۱۹
- [۱۸] Aditya A. Lotake, Shakir M. Mulani, Sohel M. Mulani, Rajratna D. Meshram, Yashpal M. Khedkar, "Comparative Stress Analysis of Connecting rod using ANSYS for Different Materials", IJNTR, Volume-۵, Issue-۴, April ۲۰۱۹ Pages ۷۹-۸۱
- [۱۹] A. Pandiyan, G. Arunkumar and G. Premkumar, "Design, Analysis and Topology Optimization of a Connecting Rod for Single Cylinder 4-Stroke Petrol Engine", Vehicle Structures & Systems, ۱۱(۴), ۴۳۹-۴۴۲, ۲۰۱۹
- [۲۰] Ambrish Tiwari, Jeetendra Kumar Tiwari, Sharad Kumar Chandrakar, International Journal of Advanced Mechanical Engineering. "Fatigue Analysis of Connecting Rod Using Finite Element Analysis to Explore Weight and Cost Reduction Opportunities for a Production of Forged Steel Connecting Rod " Volume ۴, Number ۷ (۲۰۱۴), pp. ۷۸۲-۸۰۲
- [۲۱] Aisha Muhammad, Ibrahim Haruna Shanono, "Static Analysis and Optimization of a Connecting Rod", International Journal of Engineering Technology and Sciences ۶:۱ (۲۰۱۹) ۲۴-۴۰
- [۲۲] Paul Skoglund, Sven Bengtsson, "MATERIALS FOR HIGHLY LOADED PARTS SUCH AS CONNECTING RODS", Höganäs AB, S-۲۶۳ ۸۳ Höganäs Sweden, January ۲۰۰۰
- [۲۳] Seied reza aref pur, asghar ramezani, shaihan shahrokhy 'Car connecting rod optimization process', Journal of Mechanical Engineering, November ۲۰۱۱, Volume ۲۰, Number ۷۹; From page ۲۴ to page ۳۰ (in Persian).
- [۲۴] Pranav G Charkha, Santosh B Jaju, "Analysis & Optimization of Connecting Rod", Second International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, ۲۰۰۹
- [۲۵] Vishal Teraiyaa*, Dishen Jariwalab, Hiren V. Patelb, Dharmesh Babariyab, "Material Selection of Connecting Rod using Primary Multi Attribute Decision Making Methods: A Comparative Study" Advances in Materials & Processing: Challenges & Opportunities (AMPCO-۲۰۱۷).
- [۲۶] S. Balakrishnan, T. Suresh Prabhu, M. Natrayan, "IJIRSET, Vol. ۵, Issue ۴, April ۲۰۱۶
- [۲۷] Acri, A., Beretta, S., Bolzoni, F., Colombo, C., Vergani, L.M., "Influence of manufacturing process on fatigue resistance of high strength steel bolts for connecting rods", Engineering Failure Analysis (۲۰۱۹)
- [۲۸] Lucjan Witek, Pawel Zelek, "Stress and failure analysis of the connecting rod of diesel engine" Engineering Failure Analysis ۹۷ (۲۰۱۹) ۳۷۴-۳۸۲
- [۲۹] M. Frătița, F. Popescu, K. Uzuneanu, V. Mereuță, I. Ion, "Fatigue analysis of the connecting rod in internal combustion