**مقاله مروری درباره طراحی بهینه بکمک شبیه‌سازی استحکام و آسیب در شاتون**

امین کلهر1\*، علی پورکمالی انارکی2، جواد کدخدا پور3، علی میر محمدی4

|  |
| --- |
| \*1 دانشجوی دكتري دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی  2 عضو هیات علمی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی |
| 3 عضو هیات علمی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی  4 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 قطعه‌ها شاتون قطعه‌ای است که نقش مهم انتقال نیروی تولیدی در سیلندر، از پیستون به میل‌لنگ را بعهده دارد. شاتون از نظر طراحی، تحلیل تنش‌ها و کارایی به دلیل اینکه در معرض تنش‌های نوسانی متعدد در شرایط کارکردی سخت از جمله دمای نسبتا بالا، تنش‌های 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 سال‌های گذشته از فولاد کربن‌دار برای تولید این قطعه استفاده می‌شده است اما امروزه استفاده از مواد با استحکام بالاتر مانند آلیاژ آلومینیوم، تیتانیوم، وانادیوم و مواد کامپوزیتی در ساخت این قطعه مورد توجه است زیرا فولاد کربن‌دار نسبت به این مواد مقاومت کمتر و وزن بیشتری دارد. استفاده از مواد جدید علاوه بر بهبود مقاومت این قطعه در برابر تنش‌های اعمالی، وزن قطعه را نیز کاهش می‌دهد که خود باعث بهبود بازده موتور می‌شود. استفاده از روش پوشش‌دهی نیز راهی سریع و به نسبت ارزان جهت بهبود عملکرد شاتون است. همچنین با تغییر طراحی شاتون می‌توان مقاومت قطعه را افزایش داد.

**کلی**د‌واژگ**ان:** شاتون، پوشش‌دهی، موادجدید، بهینه‌سازی طراحی، فرایند ساخت

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

**Amin kalhor1\*, Ali pur kamali anaraki2, Javad kadkhoda pur3 , Ali mirmohammadi4**

|  |
| --- |
| 1\*PhD Candidate, Mechanical Engineering Department, Shahid rajai teacher training university |
| 2Faculty of Mechanical Engineering Department, Shahid rajai teacher training university |
| 3Faculty of Mechanical Engineering Department, Shahid rajai teacher training university |
| 4Faculty of Mechanical Engineering Department, Shahid rajai teacher training university |

\* P.O.B. 16785-136 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

1. مقدمه

شاتون میله اتصال بین پیستون و میل‌لنگ است و وظیفه انتقال نیروی تولید شده بروی تاج پیستون به میل‌لنگ را بر عهده دارد (شکل1) و به کمک میل‌لنگ حرکت رفت و برگشتی پیستون را به حرکت دورانی تبدیل می‌کند (شکل2). شاتون بحرانی‌ترین قطعه موتور است و باید از استحکام کافی و وزن کم برخوردار باشد تا بتواند تنش‌های اعمالی را تحمل کرده و از طرفی با بهبود عملکرد موتور بازده آن را افزایش و مصرف سوخت و میزان آلاینده‌های تولیدی را کاهش دهد. بهینه‌سازی طراحی و همچنین استفاده از فلزات 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.



شکل1 نمونه ای از یک شاتون [1]



شکل2 محل قرار گیری شاتون[2]

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.

مهمترين پارامترها در انتخاب جنس شاتون عبـارتنـد از [3]:

1- استحكام تسليم (حد خستگی)

2- حساسیت به ترک‌های سطحی

3- جرم حجمی

4- قیمت

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

درجدول1 خواص مكانيكي چند نوع فولاد، كه در ساخت شاتون بكار مي‌روند، مشاهده مي‌شود.

جدول 1: خواص مكانيكي چند نوع فولاد بکار رفته در ساخت شاتون [4].

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| چگالي  (Kg/m3) | استحكام كششي  (MPa) | استحكام تسليم  (MPa) |
| 85/7 | 420 | 250 | CrNi615 |
| 85/7 | 900 | 700 | Cr441 |
| 85/7 | 1100 | 800 | CrNiMo634 |

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.

**2- تحقیقات انجام شده برای بهبود طراحی و جنس شاتون**

**2-1- تحقیقات مربوط به تاثیر جنس شاتون درخواص آن**

آقای رامش و همکاران شاتونی از جنس فیبرکربن را با شاتون فولادی و شاتونی از جنس آلیاژ 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 بازده شده، در نتیجه موجب کاهش مصرف سوخت و کاهش آلایندگی می‌شود [5].

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 هریک 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 آلایندگی موتور خواهد شد [6].

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 قبلا اشاره شد این عوامل باعث بهبود عملکرد موتور، افزایش بازده در نتیجه کاهش مصرف سوخت و کاهش آلایندگی موتور خواهد شد [7].

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 [8].

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 [9].

پراباکراناند 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 [10].

لاشاری و همکاران در تحقیقی از روش المان محدود برای بررسی و تحلیل استفاده از آلیاژ آلومینیوم (Al 2024) 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 [11].

آمیتی کومار و همکارانش به بررسی چند آلیاژ جدید در ساخت شاتون پرداختند و تاثیر هریک 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 360 می‌باشد [12].

سامات و همکارانش اثر فرایند ساخت تکسوفرمینگ بر مقاومت شاتون موتور احتراق داخلی ساخته شده از آلیاژ تغییر یافته Al-Si-Cu شامل Cu 2درصد، Mg 3/0 درصد، Mn 5/0 درصد، Fe 1/0 درصد، را مورد بررسی قرار داده و به تنش تسلیم بالاتر، مقاومت کششی و سختی بیشتر دست یافتند[13].

رانجان پانی و همکارانش در تحقیقی به کمانش شاتون از آلیاژ فولاد 42CrMo4 و آلیاژ آلومینیوم Al-2024-T6، در زمان ایجاد قفل آبی در موتور پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بدلیل مقاومت کم شاتون ساخته شده از آلومینیوم Al-2024-T6 در مقابل کمانش امکان استفاده از آن در موتورهای دیزل بزرگ وجود ندارد در حالی که شاتون با جنس فولاد Al-2024-T6 در مقابل کمانش مقاومت خوبی از خود نشان می‌دهد [14].

ژانژینگ و همکارانش در تحقیقی از روش تجزیه و تحلیل CAE برای طراحی و تحلیل شاتون آلیاژ آلومینیوم پیستون آیرو 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 [15].

ایلیا و همکارانش در تحقیقی به بررسی تاثیر مس بر شاتون ساخته شده از آلیاژ Fe–Cu–C پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد استفاده از این ماده باعث بهبود مقاومت شاتون در دمای مختلف کارکردی موتور می‌شود [16].

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. 5 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 [17].

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 [18].

پاندیان و همکاران در تحقیقی پس از ساخت یک مدل کامپیوتری، تاثیر سه نوع آلیاژ ADC12, LM6 و Al 6061–T6 را بررسی کردند. با توجه به نتایج ایشان آلیاژ Al 6061 نسبت به بقیه موارد استفاده شده در این تحقیق عملکرد بهتری داشت [19].

2-2- **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 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 10 درصد کاهش وزن قطعه را کاهش داد که علاوه بر بهبود عملکرد موتور هزینه ساخت قطعه را نیز به میزان 25 درصد کاهش می‌دهد. از طرفی اگر به جای فولاد متداول از فولاد آهنگری شده استفاده شود، باعث کاهش هزینه یه میزان 15 درصد خواهد شد و همچنین استفاده از فولاد میکرو آلیاژی وزن قطعه نیز کاهش می‌یابد[20].

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 30 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 تقریبا 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[21].

پاول اسکوگلند و اسون بنگستون عملکرد شاتون موتور 1/2 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[22].

سيد حميدرضا عارفپور و همکارانش ابتدا به بررسی روش‌های بهینه‌سازی طراحی شاتون پرداخته‌اند و سپس فراينـد بهينـه‌سـازي روي مـدل خـام شاتون با روش اجزاي محدود را انجام داده‌اند. پس از بهینه‌سازی شاتونی سبک‌تر به میزان 5 درصد نسبت به شاتون اولیه بدست آمده است [23].

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 [24].

ترایا و همکارانش در یک تحقیق تطبیقی به بررسی روش‌های مناسب مانند MADM، VIKOR، TOPSIS و AHP جهت مشخص کردن مواد برای ساخت شاتون موتور پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که نتایج حاصل از VIKOR و TOPSIS مناسب‌تر می‌باشند [25].

**2-3- تحقیقات مربوط به ‍‍‍‍‍‍‍‍وشش‌دهی شاتون**

از آقای بالاکریشنان و همکاران در تحقیقی یک شاتون از جنس آلیاژ آلومینیوم را در نرم افزار ANSYS مدل کرده و سپس با سرامیک با ترکیب MgO و ZrO2 پوشش‌دهی کردند و شاتون با پوشش را تحلیل کردند. نتایج تحلیل ایشان نشان می‌دهد که عمر مفید قطعه افزایش می‌یابد و با بهینه کردن طراحی امکان کاهش وزن شاتون نیز وجود دارد که این باعث بهبود عملکرد موتور خواهد شد [26].

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 [27].

**2-4- 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 [28].

فراتیتا و همکاران در تحقیقی از روش المان محدود برای تحلیل و تعیین مقاومت خستگی 2 نوع شاتون که از فولاد 4340 و فولاد 1050 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 [29].

بوراند و همکار ایشان 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 [30].

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 [31].

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 بزرگ و در فاصله 5 میلی‌متری بخش روغنکاری شروع شده است و خرابی ناشی از خستگی قطعات بوده است [32].

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 یزرگ) می‌باشد [33].

ژو و همکاراش 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 [34].

راکیچ و همکارانش درتجزیه و تحلیلی، خرابی شاتون به کار رفته در یک موتور 12 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 [35].

**2-5- 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 پیش فرم بهینه پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که قسمت ساق شاتون سریع‌تر ختک می‌شود و در نتیجه بیشتر در معرض ترک خورگی قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که می‌توان امکان ساخت یک پیش فرم مناسب برای بهبود کیفیت میله‌های اتصال را به طور موثر ارائه داد [36].

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 [37].

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 [38].

وانگ و همکارانش در تحقیقی به بررسی تاثیر 2 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 [39].

**3- نتیجه‌گیری**

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

1- استفاده از مواد جدید می‌تواند عملکرد شاتون و دوام آن را افزایش دهد همچنین مواد سبک‌تر باعث بهبود عملکرد موتور خواهند شد.

2- بهینه‌سازی طراحی قطعه می‌تواند علاوه بر بهبود استحکام شاتون، وزن آن را نیز کاهش دهد و عملکرد موتور را بهبود بخشد.

3- پوشش‌دهی قطعه شاتون راهی مناسب برای بهبود خواص شاتون‌های کنونی می‌باشد.

4- با تحلیل نقاط آسیب‌پذیر شاتون می‌توان آسیب‌های وارده بر شاتون را پیش‌بینی کرد.

5- بازنگری در فرایندهای ساخت و تولید شاتون می‌تواند در بهبود استحکام آن موثر باشد.

6- استفاده از مواد جدید هزینه تولید شاتون را افزایش می‌دهد.

4- مراجع

[1] [http://alton-co.com/](%20http://alton-co.com/)

[2] http://www.mechanism.ir/

[3]Bhandari, V. B., 1994, “Design of Machine Elements,” Tata McGraw-Hill.

[4] Balasubramaniam, B., Svoboda, M., andBauer, W.1995, “Structural optimization ofI. C. engines subjected to mechanical andthermal loads,” Computer Methods inApplied Mechanics and Engineering, Vol.89, pp. 337-360.

[5] Ramesh B T, VinayakaKoppad, HemanthaRaju T, “Analysis and Optimization of Connecting Rod with Different Materials “WJRR, Volume-4, Issue-1, January 2017 Pages 33-39

[6] A.Somani, G.chaure“comparative analysis and design of connecting rod” IJIET, Vol.6, Issue 3,February 2016.

[7]P. K. Maurya, K. H. Ansari, “Design and Optimization of Connecting RodforDifferentMaterial Using AnsysWorkbench 16.0”, IJIRAE, Issue 07, Volume 5 (July 2018)

[8] P.Agarwal, A.Gubta, V.saxena, “A Comparative Study of Different Materialsof Connecting Rod: A Review’, MIT, Vol. 5, No. 1, January 2015, pp. 54-57

[9] W.Hui, S.Chen, Y.zhang, C.shao, H.Dong, Effect of vanadium on the high-cycle fatigue fracture propertiesof medium-carbon microalloyed steel for fracture splittingconnectingrod, “[Materials& Design (1980-2015)](https://www.sciencedirect.com/science/journal/02613069)[Volume 66, Part A](https://www.sciencedirect.com/science/journal/02613069/66/part/PA), 5 February 2015, Pages 227-234

[10]SooryaPrabakaran D and Ramachandran P. “DESIGN AND THERMAL ANALYSIS OF COMPOSITE CONNECTING ROD” International Journal of Engineering and Robot Technology. 4(1), 2017, 28-36

[11] ReemaLashari, Qadir, Muhammad RamzanLuhur, Abdul SattarJamali, RashidHussainLashari “Tensile Strength Analysis of IC Engine Connecting Rod Under 20kN Load forAluminum Alloy (AL2024) and Grey Cast Iron” QUEST RESEARCH JOURNAL, VOL. 17, NO. 2, PP. 50–54, JUL–DEC, 201

[12] AMITKUMAR B. SOLANKI, JIMMY MAIYA, NEETIN MISHRA, ANAND RATHOD, “DESIGN, MODELING AND STRENGTH ANALYSIS OF CONNECTING ROD FOR 4 STROKE SINGLE CYLINDER 10 HP (7.35 KW) DIESEL ENGINE-A REVIEW”, International Journal of Mechanical And Production Engineering, Volume- 6, Issue-1, Jan.-2018

]13] 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 forAutomotive Connecting Rods, *Journal of Materials Research and Technology*, https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.12.085

[14] Amiya RanjanPani, Ritesh Kumar Patel, Gaurab Kumar Ghosh,” Buckling analysis and material selection of connecting rod to avoid hydro-lock failure”, Materials Today: Proceedings,2019

[15]Zhongjian Pan a,b,c,\*, Yi Zhang ,” Numerical investigation into high cycle fatigue of aero kerosene piston engine connecting rod”, Engineering Failure Analysis 2020.

[16] 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 767 (2019).

[17]MOMIN ATHARUDDIN, J.A.SANDEEPKUMAR, P.HUSSAIN, Dr.P.MALLIKARJUNA REDDY, “DESIGN & ANALYSIS OF A CONNECTING ROD WITHDIFFERENT MATERIALS” JES, vol10, Issu11, 2019

[18] 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-5, Issue-4, April 2019 Pages 79-81

[19] 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, 11(4), 439-442, 2019

[20]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 4, Number 7 (2014), pp. 782-802

[21] Aisha Muhammad, Ibrahim HarunaShanono, “Static Analysis and Optimization of a Connecting Rod”, International Journal of Engineering Technology and Sciences 6:1 (2019) 24 -40

* [22] Paul Skoglund, Sven Bengtsson,” MATERIALS FOR HIGHLY LOADED PARTS SUCH AS CONNECTING RODS”, Höganäs AB, S-263 83 Höganäs Sweden, January 2000

[23] Seied reza aref pur, asghar ramezani, shaian shahrokhy ‘Car connecting rod optimization process’, Journal of Mechanical Engineering, November 2011, Volume 20, Number 79; From page 24 to page 30(in Persian).

[24] Pranav G Charkha, Santosh B Jaju.”Analysis & Optimization of Connecting Rod”, Second International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, 2009

[25] 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-2017).

[26]S.Balakrishnan, T. Suresh Prabu, M.Natrayan“”IJIRSET, Vol. 5, Issue 4, April 2016

[27] 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 (2019)

[28]LucjanWitek ,PawełZelek“Stress and failure analysis of the connecting rod of diesel engine” Engineering Failure Analysis 97 (2019) 374–382

[29]M Frătița, F Popescu, K Uzuneanu, V Mereuță, I Ion, “Fatigue analysis of the connecting rod in internal combustion

Engines”, 8th Conference on Material Science and Engineering, 2019

[30] S. C. Naikwadi, D. H. Burande, “Stress Analysis and Topology Optimization of Air Compressor Connecting Rod”, IJERT, Vol. 8 Issue 09, 2019

[31]Zhong-jian Pan, Xiang-fuZou, Zhi-dong Zhou4 Kai Zhou, “Fatigue Research for Connecting Rod of Aero Piston Engine”, ijcmaa, 2020

[32] J. Chao, “Fretting-fatigue induced failure of a connecting rod”, Engineering Failure Analysis 96 (2019) 186–201

[33]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. 2015

[34] 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 10 (2018) 1022–1029.

[35]Slavko Rakić, Ugljesa Bugaric, Igor Radisavljevic, ZeljkoBulatovic ,” Failure analysis of a special vehicle engine connecting rod”, Engineering Failure Analysis (2017).

[36]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”, m a t e r r e s t e c h n o l . 2 0 2 0;9(2):1200–1209

[37]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 engineconnecting Rod Components, engineering failure anlaysis (2016)

[37] Jia, D., Li, Y., Deng, X., Lei, J., Deng, W.,” Design research on forging mark of connecting rod”, Engineering Failure Analysis (2020)

[39] Yong-fei WANG, Sheng-dun ZHAO, Chen-yang ZHANG,” Microstructures and mechanical properties ofsemi-solid squeeze casting ZL104 connecting rod”,Trans. Nonferrous Met. Soc. China 28(2018) 235−243