



Experimental investigation of the effect of changing elements in the cylinder liner of BMP1 diesel engine on surface hardness

MohammadJavad Afarid^{1*}, Majid Ghoreishi¹, Mohammad Hosseinpour Sharafshad²

¹ Mechanical Engineering Department, KNT University, Tehran, Iran

² Management Department, Tehran University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Keywords:

Diesel Engines
Cylinder Liners
Centrifugal Casting
Stress Relief
Machining

ABSTRACT

Cylinder liners are critical and sensitive components in internal combustion engines and must exhibit maximum strength and durability. In this study, the composition of the cylinder liners used in the BMP-1 vehicle was analyzed, and the effects of compositional changes on hardness were evaluated. These results were then compared with the specifications of standard components manufactured from Russian alloy steel 38x2MφA (equivalent to 8509 under the German DIN standard). The study involved comprehensive engineering analyses, followed by the manufacturing of a redesigned cylinder liner with modified elemental composition. The production process included centrifugal casting and subsequent machining operations such as stress relief, primary and secondary face and inner surface machining, grinding, and honing. By adjusting the elemental composition — specifically reducing nickel content from 3.23% to 0.09% and increasing aluminum content from 0.015% to 1.20% — a 15% improvement in durability was achieved.



© 2025 Iranian Society of Engine, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license). (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

* Corresponding author

E-mail address: m.javadafarid1363@gmail.com (M. J. Afarid)

Received 26 April 2025; Accepted 22 May 2025

E-ISSN: 2345-4121/ISSN: 1735-5214

Cite this article: Afarid MJ, Ghoreishi M, Hosseinpour Sharafshad M. Experimental investigation of the effect of changing elements in the cylinder liner of BMP1 diesel engine on surface hardness. The Journal of Engine Research. 2025 May 22;72(1):25-34. doi: [10.22034/ER.2025.2057949.1086](https://doi.org/10.22034/ER.2025.2057949.1086)

بررسی تجربی تأثیر تغییر عناصر در بوش سیلندر موتور دیزلی بی‌ام‌پی ۱ بر سختی سطح

محمدجواد آفرید^{۱*}، مجید قریشی^۱، محمد حسین پورشرافشاده^۲

^۱ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
^۲ دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

بوش استوانه، قطعه‌ای مهم و حساس در موتورهای احتراق داخلی است و تا حد امکان باید دارای استحکام و دوام بالایی باشد. در این پژوهش ضمن بررسی و شناسایی عناصر تشکیل‌دهنده عناصر بوش استوانه خودروی بی‌ام‌پی ۱، تأثیر تغییر آنها بر سختی سطح بررسی شد. همچنین عناصر بوش با استانداردهای قطعه اصلی که از جنس فولاد همبسته با شماره استاندارد 38x2MφA روسیه (۸۵۰۹ بر اساس استاندارد DIN آلمان) مقایسه گردید. در فرآیند انجام کار با مطالعات دقیق مهندسی و پس از آن ساخت بوش استوانه با طراحی مجدد و تغییر برخی عناصر از نظر درصد به کار رفته، ریخته‌گری گریز از مرکز، انجام فرآیند تراشکاری شامل تنش‌گیری، روتراشی و داخل‌تراشی اولیه و ثانویه، سنگ‌زنی و هونینگ انجام گرفته است. در ریخته‌گری نمونه، عناصری مانند نیکل از ۳٫۲۳ به ۰٫۰۹ درصد و آلومینیوم از ۰٫۱۵ به ۱٫۲ درصد تغییر نموده و سختی نمونه ساخته شده تا ۱۵٪ افزایش یافته است.

اطلاعات مقاله

کلیدواژه‌ها:

موتورهای دیزل
بوش استوانه
ریخته‌گری گریز از مرکز
تنش‌گیری
تراشکاری



© 2025 Iranian Society of Engine, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license). (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

* نویسنده مسئول

پست الکترونیکی: m.javadafarid1363@gmail.com (محمدجواد آفرید)

دریافت ۶ اردیبهشت ۱۴۰۴؛ پذیرش ۱ خرداد ۱۴۰۴
شاپای الکترونیکی: ۴۱۲۱-۲۳۴۵ / شاپای چاپی: ۵۲۱۴-۱۷۳۵

Cite this article: Afarid MJ, Choreishi M, Hosseinpour Sharafshad M. Experimental investigation of the effect of changing elements in the cylinder liner of BMP1 diesel engine on surface hardness. The Journal of Engine Research. 2025 May 22;72(1):25-34. doi: 10.22034/ER.2025.2057949.1086

۱- مقدمه

در موتورهای دیزلی خودروهایی که عمدتاً در شرایط سخت و زمین‌های ناهموار استفاده می‌شوند از قطعاتی استفاده شود که دارای سختی زیاد هستند [۱، ۲].

بوش استوانه یکی از قطعات داخل بدنه این موتورها است. بوش وظایف مختلفی از جمله قراردادن سمبه در مسیر و زاویه مناسب، خنک‌سازی موتور از طریق انتقال حرارت بالای موتور به سیستم خنک‌کننده و عایق‌بندی برای جلوگیری از ورود گازهای ناشی از احتراق به درون موتور را دارد [۳]. بوش استوانه دارای دو نوع تر و خشک است. بوش تر مستقیماً به مایع خنک‌کننده برخورد دارد و حرارت را به طور مستقیم به خارج از موتور منتقل می‌کند. اما بوش خشک به طور مستقیم با مایع خنک‌کننده ارتباط ندارد و توسط لوله‌هایی که در اطراف دیواره استوانه تعبیه شده، حرارت را منتقل می‌نماید. بوش تر در مقایسه با بوش خشک با ضخامت بیشتر (بین ۳ تا ۶ میلی‌متر) تولید می‌شود. دلیل افزایش ضخامت بوش تر نسبت به بوش خشک این است که بوش تر باید در برابر فشار و نیروی رانش بیشتری مقاومت کند. بوش تر دارای کیفیت بالاتری نسبت به بوش خشک است و همچنین تعویض بوش تر به مراتب راحت تر از بوش خشک است [۴].

بوش استوانه دارای خواص مکانیکی همچون مقاومت سختی و سایش، مقاومت به خوردگی، مقاومت در برابر حرارت و فشار، استحکام مکانیکی، قابلیت تراشکاری و غیره است [۵]. فقدان یا کمبود این ویژگی‌ها باعث ایجاد عیوبی در بوش استوانه می‌شود که شامل خط برداشتن استوانه، پله یا لبه‌دار شدن، دوپه‌نی شدن، گلدانی شدن، آینه‌ای شدن و ساییده‌شدن است [۶]. هدف از این پژوهش کاهش عیوب مذکور از طریق تقویت خواص مکانیکی بوش استوانه است. این امر از طریق تغییر و یا تعویض عناصر به کار رفته در بوش استوانه انجام می‌پذیرد [۷].

جنس‌های مختلف بوش شامل فولاد، چدن، آلومینوم و سفال است [۸]. همچنین می‌توان موادی مانند مولیبدن، نیکل، وانادیوم، کروم، سیلیکون، فسفر، تیتانیوم، مس و ... را نیز برای ساخت بوش‌های خاص به همبسته‌های بوش اضافه نمود. هر یک از افزودنی‌ها باعث تغییر برخی از خواص بوش خواهد شد. به عنوان نمونه کروم، باعث افزایش سختی و افزایش مقاومت در برابر خوردگی می‌گردد. مولیبدن، باعث افزایش مقاومت سایشی و استحکام و مقاومت در دما و فشار بالا و کاهش اثرات مخرب ناشی از خوردگی‌ها و همچنین افزایش چقرمگی مغز قطعه می‌گردد [۹]. نیکل، باعث بهبود تراشکاری و استحکام یکنواختی می‌گردد. مس، باعث بهبود در برابر خوردگی و کاهش ضریب اصطکاک و ایجاد سطح لغزشی بالا می‌گردد. سیلیکون، باعث تقویت ساختار همبسته می‌گردد. آلومینیوم، با وجود وزن کم، نسبت استحکام بالا، مقاومت در برابر خوردگی، هدایت حرارتی قوی و قابلیت تراشکاری و شکل‌پذیری مناسب دارد [۱۰]. وانادیوم، باعث کاهش شکنندگی، کمک به افزایش سختی و بهبود ساختار فلزی می‌گردد. تیتانیوم، باعث کاهش حفره‌های تشکیل شده در همبسته حین ریخته‌گری می‌گردد. فسفر، باعث بهبود ساختار همبسته می‌گردد. و منیزیم، با وجود سبک بودن باعث افزایش استحکام همبسته بوش می‌شود [۱۱]. توجه به قابلیت و خصوصیت هر یک از عناصر به کار رفته در ساخت قطعه بوش استوانه و تغییر در مقدار عناصر با توجه به این قابلیت‌ها و در نتیجه تغییر در مقدار سختی در این پژوهش به طور خاص مد نظر قرار گرفته است.

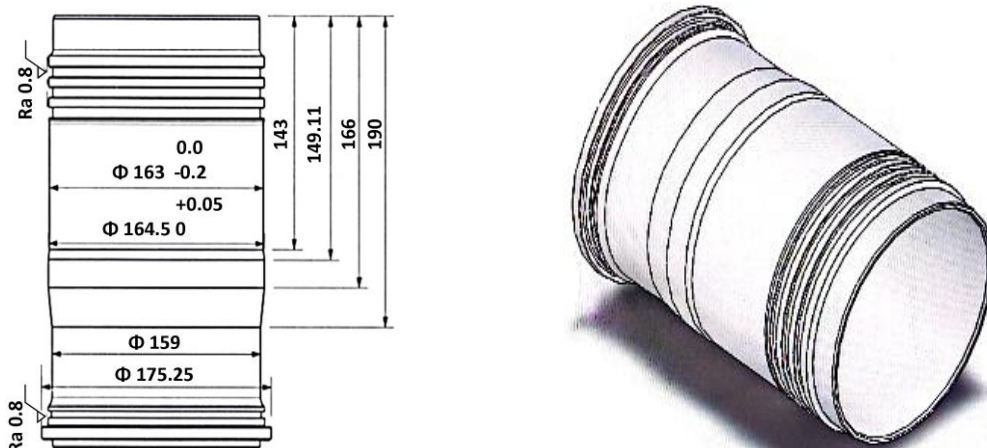
۲- مواد و روش‌ها

تولید این قطعه شامل سه مرحله اصلی طراحی، انتخاب ماده اولیه و فرآیند ساخت است. طراحی قطعه بوش استوانه با توجه به نمونه اصلی و ابعاد واقعی انجام پذیرفت. پس از طراحی با توجه به مشخصات هر یک از عناصر موجود، مواد بوش استوانه جدید به منظور بهبود ویژگی‌ها انتخاب گردیدند و مراحل ساخت قطعه جدید شامل ریخته‌گری، تراشکاری و هونینگ انجام پذیرفت. قبل و بعد از تغییر عناصر همبسته آزمایش‌های مختلف از جمله ترکیب شیمیایی به روش

طیف‌سنجی نوری و آزمون سختی سطح قطعه نمونه اصلی و قطعه نمونه تغییر یافته، انجام شد.

۱-۲- طراحی

بوش استوانه از نوع تر-آب خنک با جرم ۶,۱۶ کیلوگرم، با ابعاد قطر خارجی ۱۷۵,۵ میلی‌متر، قطر داخلی ۱۵۹ میلی‌متر، به طول ۲۶۵ میلی‌متر به همراه ۵ رینگ به منظور جلوگیری از نشتی روغن و روغن‌سوزی کمتر است. طراحی بر اساس این ابعاد و در محیط سالدورک انجام پذیرفت (شکل ۱).



شکل ۱ ابعاد استاندارد قطعه بوش استوانه

۲-۲- انتخاب مواد

با توجه به استاندارد جهانی بوش و ساختار عناصر تشکیل‌دهنده، تعیین و محاسبهٔ عناصر مورد نیاز برای دستیابی به ساختار مورد نظر و افزایش مقدار سختی به نسبت ظرفیت کوره انجام گردید. همبسته‌های کربن، سیلیسیوم، منیزیم، فسفر، گوگرد، کروم، مولیبدن، نیکل، آلومینیوم، کبالت، مس، نیوبیوم، تیتانیوم، وانادیوم، تنگستن، قلع، آرسنیک به همراه عنصر پایه (فولاد) برای استحکام بیشتر و کیفیت بالاتر استفاده شد.

۳-۲- ساخت

۱-۳-۲- ریخته‌گری گریز از مرکز

مواد همبستهٔ انتخاب شده در دمای ذوب ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت در کوره ذوب می‌شوند. بعد از رسیدن به دمای مورد نظر و افزودن عناصر مورد نیاز، یک نمونه از ذوب برای آزمون شیمیایی عناصر تهیه گردید. در صورتی که جواب آزمایش کوانتومتری از نمونه گرفته شده در محدودهٔ استاندارد مورد نظر قرار داشته باشد، می‌توان ذوب‌ریزی را آغاز نمود در غیر این صورت، مواد مورد نیاز تنظیم شده و این عمل تا رسیدن به مقدار استاندارد عناصر طبق کتاب‌های مرجع تولید کننده انجام می‌گیرد.

با استفاده از قالب، ذوب به درون دستگاه گریز از مرکز ریخته شد تا با کمک سرعت دورانی مناسب، ذوب به جداره قالب رفته و شکل بوش استوانه مورد نیاز را پس از سرد شدن و شکل گرفتن ذوب در قالب، دستگاه خاموش و بوش استوانه خام از دستگاه بیرون آورده شد (شکل ۲).

¹ Quantometry



شکل ۲ قطعه ریخته‌گری شده

۲-۳-۲- تراشکاری

پس از ریخته‌گری بوش استوانه، به دلیل حذف مواد اضافی از قطعه خام ریخته‌گری شده و رسیدن به شکل مورد نظر و ابعاد دقیق، مراحل تراشکاری به ترتیب زیر انجام گرفت:

تنش‌گیری (آنیل): اعمال نیرو و یا تغییرات دمایی می‌توانند در قطعه تنش ایجاد کنند. این تنش‌ها می‌تواند سبب تاب برداشتن، ترک برداشتن و یا شکست زود هنگام شوند. در تنش‌زدایی تغییرات در خواص مکانیکی قطعه اتفاق نمی‌افتد. تنش‌گیری توسط عملیات حرارتی آنیلینگ انجام پذیرفت. در عملیات آنیل، سختی قطعه کمتر می‌شود. در این عملیات سختی قطعه از ۳۳ راکول‌سی به حدود ۲۵ راکول‌سی کاهش یافت. انجام تنش‌زدایی موجب راحتی انجام عملیات‌های بعدی (روتراشی و داخل تراشی اولیه و ثانویه) می‌گردد (شکل ۳).



شکل ۳ عملیات آنیل

روتراشی و داخل تراشی اولیه: در این مرحله که به صورت خشن تراشی انجام می‌گیرد؛ قطعه کار بر روی دستگاه تراش نصب شد و با چرخش حول محور خود، ابزار تراش به صورت عمودی نسبت به قطعه قرار گرفت تا مواد اضافی از سطح بیرونی و درونی آن برداشته شود (شکل ۴).



شکل ۴ روتراشی و داخل تراشی

برش کاری اولیه: هدف از این مرحله رسیدن به ابعاد مورد نظر برابر استاندارد است و برش قطعه بوش توسط دستگاه تراش انجام پذیرفت.

روتراشی و داخل تراشی: روتراشی و داخل تراشی از جمله عملیات اصلی تراشکاری هستند. روتراشی برای شکل دهی و پرداخت سطوح خارجی قطعات و داخل تراشی به منظور شکل دهی و پرداخت سطوح داخلی قطعات استفاده می‌شود. در سه مرحله انجام پذیرفت: در مرحله اول روتراشی انجام شد. روتراشی بدین دلیل انجام می‌شود که در زمان تنش گیری، تمامی ابعاد بوش از اندازه قبلی آن تغییر می‌یابد. در مرحله دوم، سطح داخلی بوش استوانه به اندازه نهایی تراشکاری گردید. علت این امر عملیات سنگ کاری است. در مرحله سوم مجدداً روتراشی انجام گردید. این مرحله روتراشی نهایی است که به منظور ایجاد فضا برای سنگ زنی، پله‌ها و جای اورینگ انجام می‌گردد. با توجه به اینکه قطعه کار در این مرحله کاملاً به حالت استوانه‌ای در آمده است، دوباره به دستگاه تراش بسته می‌شود. چهار قسمت از بوش در مرحله بعد توسط دستگاه براده بردار به حالت استاندارد و نهایی رسید و جای حلقه‌ها روتراشی گردید.

۲-۳-۳- سنگ زنی داخلی و بیرونی

سنگ زنی داخلی و بیرونی به منظور دستیابی به سطحی صاف و صیقلی و دقیق و در صورت وجود برداشتن مواد اضافه توسط یک چرخ ساینده انجام می‌شود. پس از سنگ زنی داخلی، قطعه مجدداً بر روی دستگاه سنگ زنی نصب شد و سطح بوش طبق اندازه نقشه استاندارد، سنگ زنی بیرونی انجام گردید (شکل ۵).



شکل ۵ سنگ زنی داخلی و بیرونی

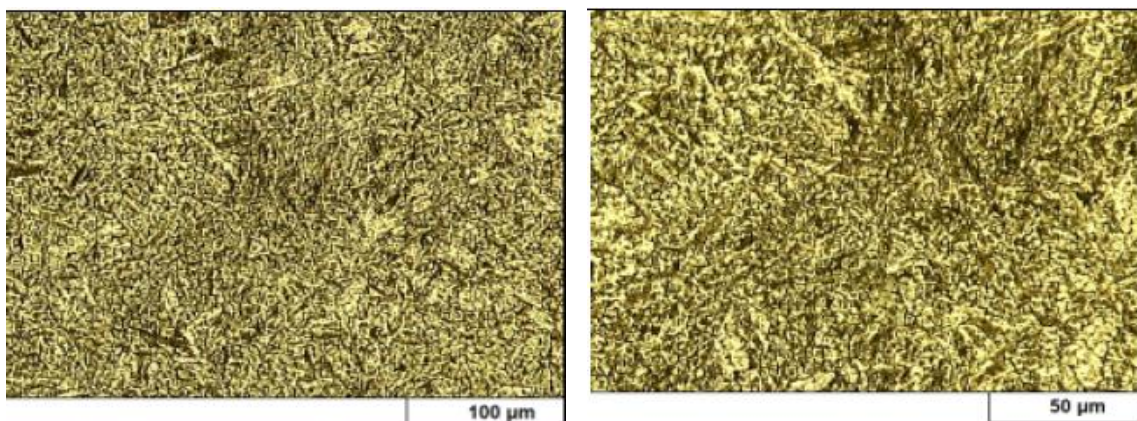
۲-۳-۴- هونینگ

عملیات پرداخت کاری است که برای بهبود کیفیت سطح داخلی قطعه بوش استوانه انجام می‌پذیرد. پس از این که سنگ‌زنی سطح داخلی و بیرونی قطعه انجام گردید، در مرحله بعد قطعه بر روی دستگاه هونینگ نصب و طبق اندازه‌های استاندارد عملیات هونینگ انجام گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ساختار ذره‌بینی

بر اساس استاندارد مرجع آماده‌سازی نمونه‌های متالوگرافی (ASTM E3-17)، تصاویر ذره‌بین نوری (-ASTME 883 17) به منظور تعیین ساختار مارتنزیت عملیات برگشت ۱ شده به همراه مقداری بینایت در مرکز نمونه با بزرگنمایی: ۱۰۰ میکرومتر و ۵۰ میکرومتر بررسی شد (شکل ۶).



شکل ۶ ساختار ذره‌بینی با بزرگنمایی ۱۰۰ μm و ۵۰ μm

۳-۲- نتایج آزمون‌های سختی سطح

بر اساس استاندارد مرجع ASTM E 92(2023) / ISO 6507-1(2023) / ISIRI 7810-1(99) و با نیروی اعمالی: 10 (Kgf) HV و زمان ۱۰-۱۵ ثانیه آزمایش شد. نتایج آزمون برای قطعه اصلی به صورت جدول ۱ و قطعه ساخته شده به صورت جدول ۲ است.

اعداد جدول‌های شماره ۱ و ۲ به صورت میانگین در جدول شماره ۳ آورده شده و پس از آن نمودار مقایسه‌ای سختی سطح نمونه‌های اصلی و ساخته شده در شکل ۸ ارائه گردیده است.

جدول ۱ آزمون سختی سطح نمونه اصلی

موقعیت	سختی نقطه ۱	سختی نقطه ۲	سختی نقطه ۳	میانگین نمونه اصلی
سطح (محل ۱)	۵۷۹	۵۷۲	۵۶۶	۵۷۲
سطح (محل ۲)	۶۷۱	۶۶۲	۶۹۰	۶۷۴
سطح (محل ۳)	۷۴۶	۷۶۳	۷۳۰	۷۴۶
میانگین	۶۶۵	۶۶۶	۶۶۲	۶۶۴

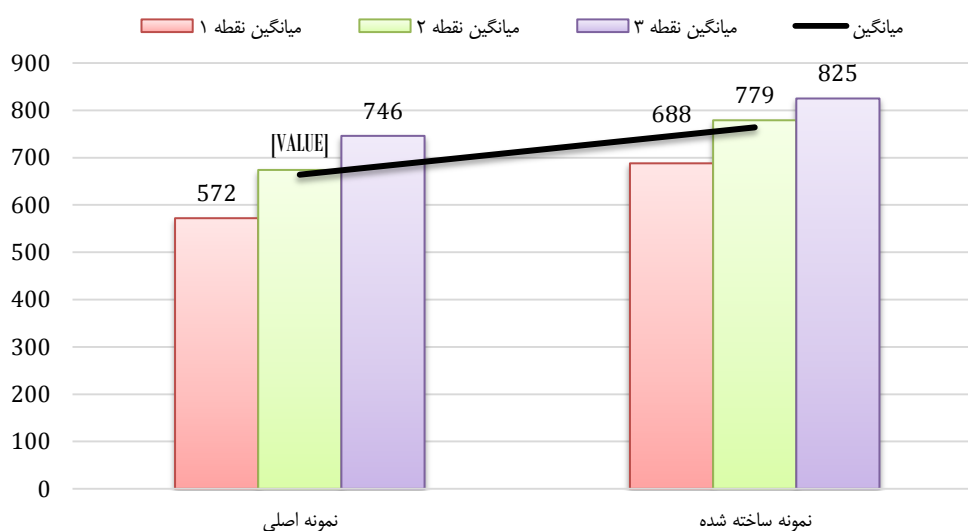
¹ Tempering

جدول ۲ آزمون سختی سطح قطعه ساخته شده در محل مشخص شده

موقعیت	سختی نقطه ۱	سختی نقطه ۲	سختی نقطه ۳	میانگین نمونه اصلی
سطح (محل ۱)	۶۸۷	۶۸۴	۶۹۴	۶۸۸
سطح (محل ۲)	۷۸۳	۷۷۰	۷۸۵	۷۷۹
سطح (محل ۳)	۸۳۳	۸۳۷	۸۰۶	۸۲۵
میانگین	۷۶۸	۷۶۴	۷۶۲	۷۶۴

جدول ۳ مقایسه آزمون سختی سطح نمونه اصلی و ساخته شده

نمونه	میانگین نقطه ۱	میانگین نقطه ۲	میانگین نقطه ۳	میانگین	افزایش سختی
سطح (محل ۱)	۶۸۷	۶۸۴	۶۹۴	۶۸۸	
سطح (محل ۲)	۷۸۳	۷۷۰	۷۸۵	۷۷۹	٪۱۵



شکل ۷ نمودار مقایسه سختی سطح قطعه اصلی و ساخته شده

۳-۳- ترکیب شیمیایی به طیف‌سنجی نشری نوری^۱

با استاندارد مرجع آزمون ASTM E415-2 و به منظور بررسی مقدار درصد وزنی عناصر به کار رفته شده در نمونه قطعه اصلی و قطعه ساخته شده مطابق جداول ۴ و ۵ بررسی شد.

جدول ۴ درصد وزنی عناصر به کار رفته در نمونه اصلی

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V	W
۰٫۴	۰٫۲۹	۰٫۴۱	۰٫۰۱۴	۰٫۰۱	۱٫۳	۳٫۲۳	۰٫۳۵	۰٫۱۴	۰٫۱۳	۰٫۰۱
Ti	Co	Al	Sn	Pb	As	Sb	Zr	Nb	Fe	
Trace	۰٫۰۲	۰٫۰۱۵	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۳	۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	Base	

¹ Optical Emission Spectrometry

جدول ۵ درصد وزنی عناصر به کار رفته در نمونه ساخته شده

C.	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
۰,۴۵	۰,۲۸	۰,۵	۰,۰۲۵	۰,۰۱۵	۱,۵۶	۰,۲۶	۰,۰۹	۱,۰۳
Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Sn	As	Fe
۰,۰۱	۰,۰۴	۰,۰۰۵	۰,۰۰۲	۰,۰۱۳	۰,۰۲	۰,۰۰۵	۰,۰۰۲	Base

۴- نتیجه گیری

یکی از مهمترین قطعات در موتور خودروهای دیزلی درون‌سوز، بوش استوانه است. با توجه به نیاز به ساخت و بهبود کیفیت از طریق افزایش سختی، فرآیند ساخت و بهینه‌سازی این نوع بوش انجام شد. در این راستا تمامی مشخصات بوش استوانه نمونه اصلی، بررسی شد. سپس با توجه به خصوصیات مواد تشکیل دهنده قطعه بوش استوانه از ابتدا طراحی مجدد و ریخته‌گری گردید و برای تبدیل قطعه ریخته‌گری شده به قطعه استاندارد مورد استفاده، عملیات آنیل، روتراشی و داخل تراشی اولیه و ثانویه، هونینگ و ... انجام شد. نتیجه این عملیات این بود که سختی سطح از ۶۶۴ ویکرز در نمونه اصلی به ۷۶۴ ویکرز تغییر یافت. یعنی سختی سطح پس از تغییر عناصر و عملیات ساخت، ۱۵ درصد افزایش داشت. علاوه بر این در ریخته‌گری تغییراتی اعمال شد که هم از لحاظ هزینه مواد اولیه همبسته و هم از لحاظ کم کردن موادی که از نظر زیست محیطی غیر استاندارد و سمی هستند، همبسته مورد استفاده را بهبود بخشید. گفتنی است عملیات‌های دیگری مانند سخت‌کاری به روش نیتروژن‌دهی سطحی^۱، آزمون سایش نیز انجام گردیده که در مقالات بعد ارائه خواهد شد.

References

- [1] Lloyd AC, Cackette TA. Diesel engines: environmental impact and control. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2001 Jun 1;51(6):809-47. doi: [10.1080/10473289.2001.10464315](https://doi.org/10.1080/10473289.2001.10464315)
- [2] Forozandehnasab M. Investigation of a preventive service model of service and maintenance for common rail diesel engines. *The Journal of Engine Research*. 2022 Mar 21;66(66):46-56. doi: [10.22034/er.2022.697912](https://doi.org/10.22034/er.2022.697912) [In Persian]
- [3] Rahmatinejad B, Rahimi Asiabaraki H, Azimpour Shishevan F. Static analysis, fatigue and buckling of connecting rod by finite element method. *The Journal of Engine Research*. 2024 Nov 21;71(3):32-44. doi: [10.22034/er.2024.2045296.1066](https://doi.org/10.22034/er.2024.2045296.1066) [In Persian]
- [4] Kryshtopa S, Kryshtopa L, Melnyk V, Dolishnii B, Prunko I, Demianchuk Y. Experimental research on diesel engine working on a mixture of diesel fuel and fusel oils. *Transport problems*. 2017;12(2):53-63. doi: [10.20858/tp.2017.12.2.6](https://doi.org/10.20858/tp.2017.12.2.6)
- [5] Moradi Kelardeh S, Hosseini V, Sadeghi A. Fatigue Life Improvement of engine mounting bracket using cumulative fatigue test and numerical modeling. *The Journal of Engine Research*. 2019 Aug 23;55(55):29-37. [In Persian]
- [6] Rahmatinejad B, Rahimi Asiabaraki H, Azimpour Shishevan F. Diagnosing Dimensional Defects and Valve Cracks Using Machine Vision and Acoustic Emission. *Karafan Journal*. 2023 Nov 22;20(3):149-68. doi: [10.48301/kssa.2023.391572.2501](https://doi.org/10.48301/kssa.2023.391572.2501) [In Persian]
- [7] Jia D, Li C, Deng W, Ji H, Hao L. Effects of Hyperelliptic Bearings Bush on Connecting Rod Big-End Lubrication and Design Optimization. *Lubricants*. 2023 Jul 12;11(7):293. doi: [10.3390/lubricants11070293](https://doi.org/10.3390/lubricants11070293)
- [8] Kirichek A, Fedonin O, Solovyov D, Fedonina S. Expanding Technological Capabilities of The Combined Hardening of Steel by Deformation. In *MATEC Web of Conferences 2019 (Vol. 297, p. 05004)*. EDP Sciences. doi: [10.1051/mateconf/201929705004](https://doi.org/10.1051/mateconf/201929705004)
- [9] Mesquita RA, Barbosa CA, Gonçalves CS, Slaviero AL. Effect of hardening conditions on mechanical properties of high speed steels. *International Heat Treatment and Surface*

¹ Nitriding

- Engineering. 2011 Mar 1;5(1):36-40. doi: [10.1179/174951411X12956208225221](https://doi.org/10.1179/174951411X12956208225221)
- [10] Kamyab M, Hajialimohammadi A, Motalebi S, Jadali A. Investigating the effect of the coating process on improving the quality of mechanical bonding in the casting of aluminum cylinder block with cast-in iron liner. The Journal of Engine Research. 2023 Jun 22;70(2):80-98. doi: [10.22034/er.2023.2014449.1017](https://doi.org/10.22034/er.2023.2014449.1017) [In Persian]
- [11] Tahchieva AB, Llorca-Isern N, Cabrera JM. Duplex and superduplex stainless steels: microstructure and property evolution by surface modification processes. Metals. 2019 Mar 19;9(3):347. doi: [10.3390/met9030347](https://doi.org/10.3390/met9030347)