



بررسی علل شکست لاینر موتور دیزل لکوموتیو

چکیده: در این پژوهش عوامل موثر بر روی شکست لاینر موتور توربوشارژر (16215T) لکوموتیو بررسی شده است. با تهیه سه نمونه لاینر از تولیدکننده های مختلف و ارسال به آزمایشگاه، خواص مکانیکی اعم از سختی و استحکام کششی و همچنین درصد عناصر سازنده و تفاوت مقادیر آن ها در نمونه های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. در ادامه تاثیر درصد وزنی عناصر مختلف بر روی خواص مکانیکی چدن خاکستری تحقیق شد. با تهیه تصاویر میکروسکوپی در بزرگنمایی 100X، ساختار زمینه رویت گردید. همچنین شکل و آرایش گرافیت های ورقه ای در نمونه های مختلف با یکدیگر مقایسه و تاثیر آن بر روی شکست و رشد ترک در لاینر بررسی گردید. سه نمونه لاینر، تعیین دسته بندی و نوع ماده سازنده، شده اند. با رویت فسفید یوتکتیک در ریز ساختار دو نمونه A (لاینر کاملاً شکسته شده) و B (لاینر ترک خورده) و همچنین درصد بالای فسفر، عیوب ساختاری و وجود نایجایی ها در دانه بندی سبب شکست این نمونه ها شده است. همچنین توزیع غیر یکنواخت گرافیت ورقه ای در این دو نمونه، طول و ضخامت کم آن ها سبب افزایش استحکام، کاهش جذب و تعدیل انرژی شده است.

واژه های راهنما: لاینر، موتور دیزل، چدن خاکستری، گرافیت ورقه ای، رشد ترک، 16rk215T

* مهسا امانی

کارشناس تعمیرات موتور
شرکت تعمیرات ریلی مپنا

مهدی جوادی

رئیس واحد مهندسی
شرکت تعمیرات ریلی مپنا

مقاله علمی ترویجی

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۵

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰

A failure analysis study of wet liner in locomotive diesel engine

Mahsa Amani*
Engine repair expert,
MAPNA Railway
Operation Development
& Maintenance
Company
Mahdi Javadi
Head of the engineering
department,
MAPNA Railway
Operation Development
& Maintenance
Company

Abstract: In this research, the effective factors on the liner failure of the turbocharged engine (16rk215T) of the locomotive have been investigated. By preparing three liner samples from different manufacturers and sending them to the laboratory, the mechanical properties, including hardness and tensile strength, as well as the percentage of constituent elements and the difference in their values in different samples, were studied. Next, the effect of the weight percentage of different elements on the mechanical properties of gray cast iron was investigated. By preparing microscopic images at 100x magnification, the background structure was seen. Also, the shape and arrangement of lamellar-graphite in different samples were compared with each other and its effect on the fracture and crack growth in the liner was investigated. Three samples of liner, grade and material have been determined. With the appearance of eutectic phosphide in the structures of two samples A (broken liner) and B (liner with crack), as well as the high percentage of phosphorus, structural defects and the presence of dislocations in the grain cause the failure of these samples. Also, non-uniform production of lamellar-graphite in these two samples, its short length and thickness increases strength, reduces absorption and reduces energy.

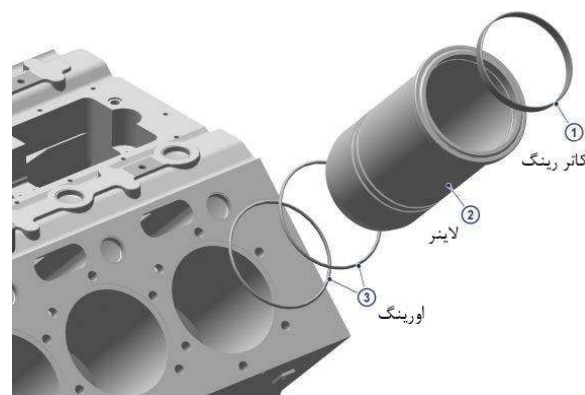
Keywords: Liner, diesel engine, Gray cast iron, Lamellar graphite, Crack growth, 16rk215T

۱- مقدمه

موتورهای دیزلی به علت استفاده از گازوئیل که سوختی ارزان است، کاربرد گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف دریایی، ریلی، نظامی و ... دارند. همچنین از این موتورها به عنوان منبع تولید توان به منظور ایجاد نیروگاه‌های مقیاس کوچک استفاده می‌شود. لاینر قطعه‌ای استوانه‌ای درون موتورهای دیزلی سنگین است که وظیفه هدایت پیستون و ایجاد غشا محافظه احتراق را به عهده دارد.



شکل ۱ لاینر موتور دیزل 16rk215T لکوموتیو آستوم



شکل ۲ اجزا لاینر موتور دیزلی

اگر جنس این قطعه سختی مناسبی نداشته باشد، در سایش با رینگ باعث ورود عناصر آلاینده آهن، آلومینیوم و کروم به روغن می‌شود. همچنین با خروج از تolerانس ابعادی، لاینر و رینگ باعث ورود گاز حاصل از احتراق به بلوکه و افزایش فشار گاز کارتر می‌شود. با در نظر گرفتن محافظه احتراق به عنوان مخزن جدار نازک و بررسی تنش هوپ^۱ می‌توان دریافت به دلیل دو برابر بودن تنش محیطی نسبت به طولی، ترک و شکست لاینر در این جهت محتمل تر است. با نفوذ آب از مدار خنک کاری به درون

کارتر از محل ترک خوردگی، اختلاط آب و روغن اتفاق می‌افتد. همچنین در موارد شدیدتر، تجمع آب در محافظه احتراق که مایعی غیرقابل تراکم است، باعث کج شدن شاتون و آسیب به پاورپیک خواهد بود. اگر جنس لاینر چقرمگی لازم را نداشته باشد، نمی‌تواند در مقابل ضربه‌های پیستون در لحظه اعمال نیرو در اثر احتراق مقاومت کافی را داشته باشد. اگر آسیب شدید باشد و لاینر بشکند، تکه‌های آن در برخورد با شاتون و پیستون به سمت بلوکه و سرسیلندر پرتاب می‌شوند که می‌تواند منجر به نابودی موتور شود. از این رو خودر و همکارانش در سال ۲۰۱۹ با بررسی تنش و کرنش در دو لاینر با مواد سازنده C4 28-48 و C4 35-36 در سه ضخامت ۶/۹۳، ۹/۲ و ۱۳/۱۳ میلیمتر در موتور دیزلی پرکینز ۱۳۰۶ در نرم افزار انسیس دریافتند ماکزیمم کرنش در نقطه ابتدایی اعمال نیرو حاصل از احتراق بر روی پیستون در فاصله ۰/۱۳۵ میلیمتری از ابتدای کورس پیستون برای لاینر چدنی اتفاق می‌افتد. همچنین با محاسبه کرنش طولی برابر ۰/۶ میلیمتر استفاده از این دو ماده را برای ساخت لاینر مناسب دیدند [۱]. کین در سال ۲۰۲۰ بر روی تاثیر توزیع دما بر روی لاینر موتور دیزل ۱۲ سیلندر با آرایش V شکل تحقیق کرده است [۲]. کومار و همکارانش در سال ۲۰۱۵ با تحقیق بر روی پوشش لاینر در موتور HINO-X بر روی نحوه توزیع دما، تنش و کرنش مطالعه کردند. آن‌ها با تحقیق بر روی پوشش PSZ، Al_2O_3 و نیکل-کروم، Al_2O_3 را مناسب‌ترین گزینه یافتند [۳]. کورسکی در سال ۲۰۰۷، با بررسی نتایج حاصل از ۱۵ سال آندوسکوپی لاینر موتورهای دیزلی کشتی‌های نظامی، برنامه‌ای مدون جهت جلوگیری از الماسه شدن و از بین رفتن خطوط هونینگ لاینرها تدوین کرد که باعث کاهش ۳۵-۳۰ درصدی هزینه تعمیر و نگه‌داری شد [۴]. برانکو و همکارانش در سال ۲۰۰۱ بر روی علت ترک خوردن لاینر از محل فلنج نشیمنگاه بلوکه تحقیق کردند. آن‌ها دریافتند تنش‌های حرارتی نقشی بسیار مهمتر از تنش‌های مکانیکی دارد. همچنین با تحلیل خواص مکانیکی در نرم افزار اباکوس دریافتند، استفاده از نمونه چدن خاکستری با درجه ۵۰ یا ۶۰ بجای ۴۰ راه حل مناسبی برای بهبود مقاومت قطعه در مقابل تنش و اعمال نیرو خواهد بود [۵]. صلاح و همکارانش در سال ۲۰۱۵، با بررسی دو نمونه لاینر چدنی و آزمایش درصد عناصر، خواص مکانیکی، صافی سطح، شکل و اندازه گرافیت‌های ورقه‌ای، تاثیر جنس لاینر بر روی عملکرد موتور و میزان انتشارات آن را مطالعه نمودند [۶]. فکاروالدین و همکارانش در سال ۲۰۱۲، با بررسی

^۱ Hoop Stress

لایندر B: این لایندر نیز تنها پس از چند روز کارکرد، از موقعیت های بحرانی مانند فلنج نشیمنگاه و شیار اورینگ آببندی، دچار ترک خوردگی و در مواردی شکست کامل شده است (شکل ۴، ۵ و ۶).



شکل ۴ شکستن لایندر B از محل فلنج

پنج جنس مختلف جهت ساخت لایندر و بررسی مقاومت این نمونه ها در برابر خوردگی و کاویتاسیون دریافتند آلیاژ نیکل-کروم مناسب ترین گزینه برای ساخت لایندر می باشد [۷]. کومار و سانیا در سال ۲۰۱۴، بر روی علت خرابی لایندر موتور ژنراتور ۱۴ سیلندر با آلیاژ آلومینیوم که باعث خرابی در یاتاقان مجاور نیز شده بود تحقیق کردند. آن ها با اندازه گیری سختی، استحکام کششی و خواص مکانیکی دریافتند علت خرابی مربوط به نوع ساخت و ریخته گری لایندر بوده و خستگی را در این مورد رد نمودند [۸]. هورمازا و همکارانش در سال ۲۰۰۸، با بررسی علل شکست لایندر موتور ۱۲ سیلندر توربوشارژ، علت خرابی را وجود کاویتاسیون در محل های بحرانی با تنش بالا یافتند. همین حفره های ناشی از خوردگی و کاویتاسیون باعث ایجاد تمرکز تنش در قطعه بوده است. بر اساس شکل گرافیت ها، تفاوت دمای سرد شدن در ریخته گری را نیز یکی دیگر از عیوب از ساختاری و رشد ترک دانستند [۹]. راثو و همکارانش در سال ۲۰۱۵، بر روی لایندر از جنس تیتانیوم تحقیق کردند. آن ها با شبیه سازی این لایندر در نرم افزار انسیس دریافتند تنش و کرنش در برابر حرارت احتراق یکسان، در تیتانیوم بسیار کمتر از چدن خاکستری است و امنیت بیشتری دارد [۱۰]. خان و شیند در سال ۲۰۲۰، با مطالعه لایندر موتور دیزل چهار زمانه دریافتند با افزایش ضخامت، تنش هوپ و ماکزیمم تنش حرارتی در قطعه کاهش می یابد [۱۱].

۲- بیان مسئله

سه لایندر A، B و C از سه سازنده مختلف تهیه و بررسی شدند. لایندر A: این لایندر تنها پس از گذشت چند ساعت از مونتاژ، دچار شکست شد. این شکست به طور کامل اتفاق افتاده و با پرتاب تکه های آن به بلوکه باعث نابودی موتور گردید (شکل ۳).



شکل ۵ فلنج شکسته لایندر B



شکل ۳ شکستن بلوکه موتور لایندر A

درصد وزنی عناصر لاینرها با تهیه نمونه های متعدد و آماده سازی آن ها به روش پولکی و سمباده زنی، استاندارد مرجع ASTM E1999-11، ASTM E1010-16 و دستگاه تست PMI MASTER SMART GNR به شرح جدول (۱) است.

جدول ۱ درصد وزنی عناصر سازنده نمونه لاینرهای مختلف

ردیف	عنصر	A	B	C
۱	C	۳/۱۸	۳/۲۴	۳/۸۷
۲	Si	۱/۸۸	۱/۷۵	۲/۶۳
۳	Mn	۰/۶۷	۰/۷۳	۰/۶۱
۴	P	۰/۵۵	۰/۰۸	۰/۰۴
۵	S	۰/۰۴۴	۰/۰۵۵	۰/۰۳۲
۶	Cr	۰/۳۵	۰/۲۹	۰/۶۲
۷	Mo	۰/۵۰	۰/۳۰	۰/۰۸
۸	Ni	۰/۰۷	۰/۵۰	۰/۳۷
۹	Al	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۱۵
۱۰	Co	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
۱۱	Cu	۰/۱۳	۰/۵۱	۰/۲۲
۱۲	Nb	۰/۰۰۲≥	۰/۰۰۲≥	۰/۰۰۲≥
۱۳	Ti	۰/۰۱۴	۰/۰۰۴	۰/۰۱۱
۱۴	V	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۱
۱۵	Sn	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۱
۱۶	Fe	Base	Base	Base



شکل ۶ ترک خوردن لاینر B

لاینر C: این لاینر دچار شکست نشده است. اما به دلیل ورود گرد و خاک در مناطق کویری در مدار روغن دچار سایش و از بین رفتن خطوط هونینگ شده است. با الماسه شدن سطح لاینر، روغن در جداره آن ذخیره نمی شود و باعث چسبیدن پیستون و خراش لاینر می شود (شکل ۷).



شکل ۷ خط و خش لاینر C

۳-۲- آزمون کشش در دمای محیط



شکل ۸ مقطع برش نمونه ها

لاینرهای موتور دیزلی سنگین عموماً از چدن خاکستری ساخته می شوند. چدن ها آلیاژهای آهن، کربن و سیلیسیم هستند که میزان کربن آن ها از ۲٪ بیشتر و معمولاً ۱-۳٪ سیلیسیم دارند.

۳- آنالیز مواد

۳-۱- تست تعیین ترکیب شیمیایی به روش اسپکترومتری نشری

جدول ۲ استحکام تسلیم در نمونه های مختلف لاینر

C	B	A
۱۰۸	۳۰۱	۲۴۴

۳-۳- آزمون سختی سنجی به روش برینل

مطابق با استاندارد مرجع روش آزمون (ASTM A370(2021)، ASTM E10 (2018)، ISO 6506-1(2014) مقادیر سختی نمونه های مختلف به شرح جدول (۳) است.

جدول ۳ سختی (BHN) در نمونه های مختلف لاینر

C	B	A
۱۵۷	۲۶۵	۲۲۷

دو نمونه A و B، به دلیل سختتر بودن دچار خط و خش بسیار کمتری نسبت به لاینر C شده اند.

۴-۳- آزمون متالوگرافی

مطابق با استاندارد مرجع روش آزمون ASTM E3-17، ASTM E883-17، ASTM E407-15، ISO 945-1(2019)، با میکروسکوپ الکترونی مدل MIRA3 ساخت شرکت TESCAN نتایج در جدول (۴) ذکر شده است.

جدول ۴ ریز ساختار در نمونه های مختلف لاینر

ساختار میکروسکوپی بعد از اچ	ساختار میکروسکوپی قبل از اچ	
فسفید پوتکتیک: ۵٪ فریت: ۴٪ پرلیت: ۹۱٪	گرافیت نوع A اندازه گرافیت ۴-۸	A
فسفید پوتکتیک: ۱٪ فریت: ۷٪ پرلیت: ۹۲٪	گرافیت نوع A اندازه گرافیت ۴-۸	B
کاربید: ۱٪ پرلیت: ۹۹٪	گرافیت نوع A اندازه گرافیت ۳-۸	C

در دو نمونه A و B فسفید پوتکتیک باعث بروز عیوب ذاتی در ساختار زمینه می شود. همچنین زمینه فریتی استحکام این دو نمونه را به شدت کاهش می دهد. در نمونه C، زمینه پرلیتی سبب استحکام ساختار و یکنواختی دانه بندی بوده است. لذا عدم شکست لاینر نمونه C به سبب بهبود ساختار زمینه و فاز های آن نسبت به دو نمونه دیگر می باشد.



شکل ۹ نمونه A



شکل ۱۰ نمونه B



شکل ۱۱ نمونه C



شکل ۱۲ تست کشش نمونه A



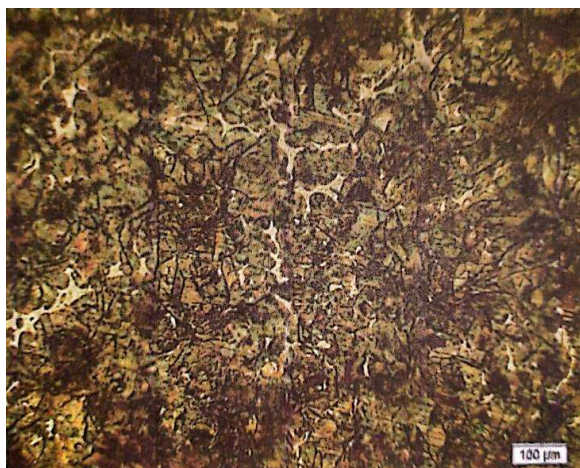
شکل ۱۳ تست کشش نمونه B



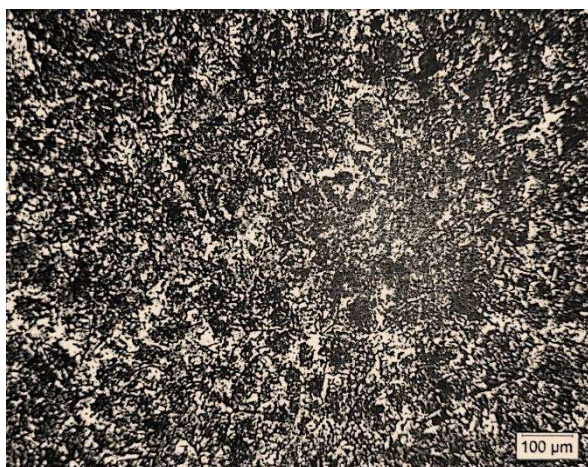
شکل ۱۴ تست کشش نمونه C

مطابق با استاندارد (BS EN 1561 (2011) مقادیر R_m (MPa) در نمونه های مختلف با دستگاه آزمون کشش ۱۰۰ کیلوگرم در جدول (۲) ذکر شده است.
استحکام تسلیم نمونه C به دلیل جنس ضعیفتر پایینتر بوده است.

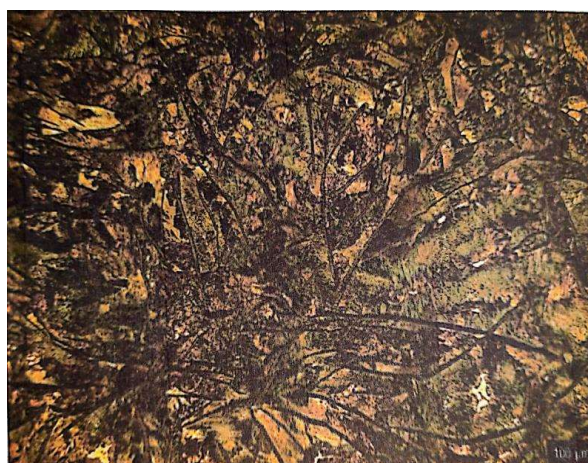
ورقه های گرافیت بیشتر است پس این لاینر به جهت انتقال حرارت و کاهش تنش های حرارتی مناسبتر می باشد (جدول ۱).



شکل ۱۳ لاینر A بزرگنمایی X ۱۰۰



شکل ۱۴ لاینر B بزرگنمایی X ۱۰۰



شکل ۱۵ لاینر C بزرگنمایی X ۱۰۰

۳-۵- تست پوشش سطح

جدول ۵ پوشش در نمونه های مختلف

	C	B	A	
سطح داخلی	فاقد پوشش	فاقد پوشش	فاقد پوشش	
سطح خارجی	فسفاته روی	فسفاته روی	فاقد پوشش	

به دلیل تماس لاینر از سمت خارجی آن با مخلوط آب و سدیک، پوشش فسفاته روی به جهت ضد زنگ بودن آن استفاده گردیده است تا از خوردگی و ضعیف شدن لاینر جلوگیری گردد.

۳-۶- تطابق نتایج آزمون با استاندارد

مطابق با استاندارد مرجع BS EN 1561 (2011) نتایج به شرح جدول (۶) است.

جدول ۶ جنس نمونه های مختلف لاینر

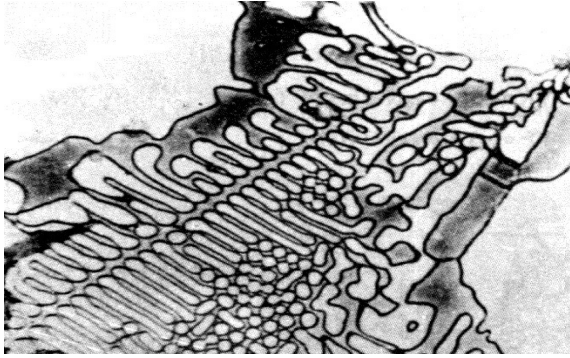
C	B	A
GJL-100 (5.1100)	GJL-300 (5.1302)	GJL-150 (5.1200)

با وجود ضعیفتر بودن نمونه C، به دلیل ساختار زمینه مناسبتر و عدم وجود عیوب ذاتی، این نمونه نسبت به دو لاینر دیگر عملکرد مناسبتری داشته و دچار شکست نیز نشده است.

۳-۷- تصویر ساختار زمینه

چدن خاکستری به دلیل خاصیت جاذب ارتعاشی ناشی از گرافیت های ورقه ای، به عنوان محل نصب ابزارهایی مانند مته ها استفاده می شود. گرافیت جاذب انرژی است و آن را به حرارت تبدیل می کند. در گرافیت نوع A که در ساخت سیلندرهای موتور احتراق داخلی از آن بهره می برند، توزیع یکنواخت در زمینه وجود دارد اما جهت گیری گرافیت ها نظم خاصی ندارد. هرچه طول ورقه های گرافیت کمتر باشد، سرعت انجماد در آن بالاتر بوده و گرافیت زایی به خوبی اتفاق نیفتاده است. می توان گرافیت ها به عنوان حفرات خالی در نظر گرفت زیرا این ماده استحکام خاصی ندارد. طول و ضخامت مستقیم بر روی میزان انتقال حرارت، استحکام، سختی و جذب انرژی دارد.

مطابق با استاندارد EN1561 چدن ها، چدن با جنس EN-GJL-100(5.1100) بیشترین ظرفیت برای انتقال حرارت و دفع انرژی را دارد. مطابق با شکل های (۱۶)، (۱۷) و (۱۸)، در لاینر C نسبت به A و B، طول و درصد کربن آزاد شده به صورت



شکل ۱۹ جدایش فسفر در منطقه مرز بین دانه ها

فسفر اثر قوی روی استحکام فریت دارد و جدایش در ریزساختار را تشدید می دهد. مناطق حاوی فسفر مناطقی هستند که در آخرین مرحله انجماد، منجمد و باعث پس زده شدن کربن از این مناطق می شود. در نتیجه بعد از انجماد، این مناطق سمنتیت کمتری داشته و در عوض فریت بیشتری مانند نمونه A خواهد داشت. به این پدیده Ghost bond اطلاق می شود. هم چنین به خاطر ضریب انتشار پایین این عنصر، امکان یکنواخت کردن ریزساختار بسیار مشکل است. فسفر اندازه دانه های آهن را افزایش داده و لذا باعث تشکیل ترکیبات حجیم و نامطلوب می شود. افزودن فسفر سبب افزایش استحکام و مقاومت خوردگی است. مقدار بالای فسفر می تواند موجب تولید آستدیت^۱ و در نهایتاً شکنندگی چدن شود. مطابق جدول (۷) افزایش فسفر در این لایتر سبب ایجاد فاز فریت که نرم و فاقد استحکام است شده و عیوب ساختاری در برخی نواحی ایجاد کرده است.

جدول ۷ مقایسه درصد عناصر با مقدار استاندارد در لایتر A

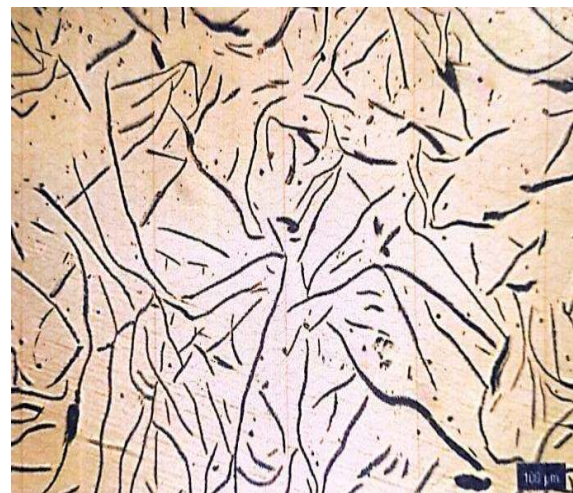
لایتر A		پارامتر	ردیف
مقدار استاندارد	مقدار اندازه گیری شده		
GJL-150			
۳/۲ - ۳/۵	۰/۱۸	C	۱
۱/۸ - ۲/۴	۱/۸۸	Si	۲
۰/۵ - ۰/۹	۰/۶۷	Mn	۳
≤ ۰/۲	۰/۵۵	P	۴
≤ ۰/۲	۰/۰۴۴	S	۵
۱۶۰-۱۹۰	۲۲۷	سختی	۶
۱۱۰-۱۵۰	۲۴۴	کشش	۷



شکل ۱۶ لایتر A بزرگنمایی ۱۰۰X-گرافیت های ورقه ای



شکل ۱۷ لایتر B بزرگنمایی ۱۰۰X-گرافیت های ورقه ای



شکل ۱۸ لایتر C بزرگنمایی ۱۰۰X-گرافیت های ورقه ای

دمایی و سرد شدن قطعه بسیار مهم است زیرا عامل تعیین شکل و ضخامت گرافیت های ورقه ای خواهد بود. میزان فسفر در لاینر A بسیار بیشتر از حد استاندارد بوده و سبب ترد و شکنندگی آن می باشد. میزان پرلیت در ریز ساختار نمونه C، ۹۹٪ بوده که باعث استحکام ساختاری این نمونه است. یکنواختی ریز ساختار این نمونه در مقابل با لاینر های A و B سبب بهبود عملکرد آن بوده است. وجود فاز فریت در ساختار دو لاینر A و B، سبب کاهش استحکام و تضعیف شدید قطعه شده است. همچنین لاینر C به سبب وجود ورقه های گرافیت بلند تر و بیشتر، ضریب انتقال حرارت بیشتری داشته و در مقابل تنش های حرارتی حاصل از احتراق سیلندر عملکرد مناسبتری دارد. مطابق جدول (۹) در نمونه C درصد عناصر و خواص مکانیکی مطابق با استاندارد GJL-100 بوده و فاز پرلیت ۹۹٪ سبب استحکام این قطعه می باشد. با تمام این تفاسیر به دلیل هزینه بالای تعمیرات موتورهای دیزلی لکوموتیو ها، باید لاینری انتخاب شود تا از خرابی های سنگین موتوری و از دست دادن لکوموتیو جلوگیری گردد. لذا لاینر C مناسبترین گزینه در میان نمونه های موجود جهت خرید انتخاب گردید.

۵- تشکر و قدردانی

بدینوسیله از شرکت تعمیرات و توسعه بهره برداری ریلی مپنا، مرکز تعمیرات لکوموتیو راه آهن بافق و شرکت ساخت لکوموتیو مپنا که ما را در انجام این تحقیق یاری کردند، صمیمانه سپاسگزاریم.

۶- مراجع

- [1] A. Wahab, A. Khuder, A. Al-Filfily, and K. Sowoud, "Mechanical Stresses Analysis In Cylinder Liner For Perkins 1306 Diesel Engine," *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, vol. 42, pp. 9-13, 06/10 2019, doi: 10.26480/jmerd.04.2019.09.13.
- [2] K. Trung, "The temperature distribution of the wet cylinder liner of v-12 engine according to calculation and experiment," *Journal of Thermal Engineering*, vol. 7, pp. 1872-1884, 12/30 2021, doi: 10.18186/thermal.1051265.
- [3] M. A. Kumar, A. P. Rao, and J. H. N. Rao, "Design and Analysis of Dry Cylinder Liners Used in Diesel Engines," in *International Journal of Science Engineering and Advance Technology*, vol. 2, pp. 518-526, 2015.

جدول ۸ مقایسه درصد عناصر با مقدار استاندارد در لاینر B

ردیف	پارامتر	لاینر B	
		مقدار استاندارد	مقدار اندازه گیری شده
۱	C	۲/۹۵ - ۳/۴۵	۳/۲۴
۲	Si	۲/۱ - ۲/۹	۱/۷۵
۳	Mn	۰/۵۵ - ۰/۷۵	۰/۷۳
۴	P	۰/۱ - ۰/۲	۰/۰۸
۵	S	۰/۰۴ - ۰/۰۷	۰/۰۵۵
۶	سختی	۱۹۰-۲۶۰	۲۶۵
۷	کشش	۳۰۰-۴۰۰	۳۰۱

مطابق جدول (۸) سیلیسیم در چدن های خاکستری باعث افزایش گرافیت زایی و تثبیت ورقه های آن می شود، لذا با کاهش این مقدار در لاینر B، کاهش طول و مقدار ورقه های گرافیت را نتیجه می دهد که مستقیماً بر روی ضریب انتقال حرارت و جذب انرژی موثر است.

جدول ۹ مقایسه درصد عناصر با مقدار استاندارد در لاینر C

ردیف	پارامتر	لاینر C	
		مقدار استاندارد	مقدار اندازه گیری شده
۱	C	۳/۴ - ۳/۹	۳/۸۷
۲	Si	۲/۱ - ۲/۶	۲/۶۳
۳	Mn	۰/۵ - ۰/۸	۰/۶۱
۴	P	≤ ۰/۳	۰/۰۴
۵	S	≤ ۰/۱۵	۰/۰۳۲
۶	سختی	≤ ۱۷۰	۱۵۷
۷	کشش	۱۰۰ ≤	۱۰۸

۴- نتیجه گیری

در هر دو لاینر A و B وجود فسفید یونکتیک در ساختار زمینه امری است که باعث ایجاد ایرادات ساختاری موضعی می شود. این عیوب مانند نابه جایی یا مناطق مرزی خود را نشان داده و سبب تمرکز تنش می گردند. در هنگام ریخته گری کنترل شرایط

- [8] S. T. Balla and P. P. Kumar, "Finite Element Analysis of a Diesel Generator Cylinder," *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT)*, vol. 03, no. 03, 12/03 2014, doi: 10.17577/IJERTV3IS030345.
- [9] W. Hormaza, L. Mateus, and A. Maranon, "Failure analysis of a cylinder sleeve from a turbocharged diesel engine," *Engineering Failure Analysis*, vol. 16, no. 5, pp. 1355-1365, 2009, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2008.09.010>.
- [10] K. S. Rao, K. Srinivas, B. Vinay, D. Aditya, K. V. Krishna, and K. S. R. Krishna, "Analysis of engine cylinder liners," *Int. Res. J. Eng. Technol*, vol. 2, no. 09, pp. 631-640, 2015.
- [11] S. Khan and S. Shinde, "Thermo Mechanical Analysis of Cylinder Liner," *International Journal of Engineering Research and General Science*, vol. 4, no. 3, pp. 01-11, 2020.
- [4] Z. Korczewski, "Failures' identification of cylinder liners of marine diesel engines in operation," *Journal of Polish CIMAC*, vol. 2, no. 2, pp. 211-221, 2007.
- [5] C. Branco, V. Infante, A. S. e Brito, and R. Martins, "A failure analysis study of wet liners in maritime diesel engines," *Engineering Failure Analysis*, vol. 9, no. 4, pp. 403-421, 2002, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1350-6307\(01\)00027-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1350-6307(01)00027-9).
- [6] S. H. Ali, D. Hassan, A. Mohamd, and M. Nigm, "Characterization of Coated Diesel Engine Cylinder Liner Material using Surface Metrology Techniques," *Journal of Surface Science and Coating Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 1-18, 2015.
- [7] M. F. Fakaruddin, "MATERIALS SELECTION FOR WET CYLINDER LINER," *IOSR Journal of Engineering*, vol. 02, pp. 23-32, 09/01 2012, doi: 10.9790/3021-02932332.