

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



تاثیر افزودن نانو ذرات کاربید سیلیسیم Sic بر ضریب اصطکاک و آزمون دینامیکی لنت ترمز

حمانه زارع نژاد^۱، آراین قندی^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مواد - سرامیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

دانشجوی دکتری مهندسی مواد دانشگاه صنعتی شریف - پردیس بین المللی کیش

Zhamaneh@gmail.com

۲- دانشجوی دکتری مهندسی مواد پردیس دانشگاه صنعتی اصفهان

مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد - دانشکده مهندسی مواد

Aryan.ghandi@gmail.com

چکیده

در تحقیق اخیر تاثیر افزودن ذرات نانو کاربید سیلیسیم Sic بر ضریب اصطکاک و آزمون های مربوط به تست دینامیکی در تولید لنت ترمز مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور برای تولید نانو ذرات کاربید سیلیسیم از کاربید سیلیسیم نوع β (آلمانی) در ابعاد میکرونی استفاده شد و با روش ذوب قلیایی نانو ذرات تولید و به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و روش شرر اصلاح شده، اندازه ذرات اندازه گیری شد. نانوذرات کاربید سیلیسیم تولید شده به مقدار ۰.۲٪ در ساخت لنت توسط شرکت سازنده مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان می دهد حضور نانوذرات کاربید سیلیسیم در لنت ترمز باعث افزایش ضریب اصطکاک در دماهای بالای ۲۰۰ °C شده است، همچنین آزمایشات دینامیکی انجام شده حاکی از آن است که نانوذرات کاربید سیلیسیم منجر به کاهش فاصله توقف و افزایش شتاب منفی در لنت ترمز می شود.

کلمات کلیدی:

نانو ذرات کاربید سیلیسیم، لنت ترمز

۱- مقدمه

نانوتکنولوژی به عنوان انقلاب صنعتی قرن آینده، اثرات فراوانی در صنایع گوناگون خواهد داشت. یکی از چشم‌اندازهای امیدوارکننده این تکنولوژی پیشرفته، تحول در صنعت خودروسازی است. یکی از اصلی‌ترین موضوعات نانوتکنولوژی، ساخت مواد با خواص جدید است. این مواد، ارزش افزوده بسیار بالا و کارایی بالاتری در تمام صنایع خواهند داشت که صنعت خودرو نیز از آن مستثنی نخواهد بود. لنت ترمز، ساخت لاستیک‌هایی با مقاومت سایشی بهتر، ساخت قطعات موتور با عمر چند برابر، کاهش مصرف سوخت خودرو و غیره نمونه‌هایی از این کاربرد می‌باشد [۱].

کاربید سیلیسیم یک ماده با کاربردهای گوناگون در صنایع هوا فضا، اتومبیل سازی، صنایع هسته‌ای، الکترونیک و غیره می‌باشد. این ماده سودمند دارای مقاومت مکانیکی بسیار بالا، مقاومت زیاد در برابر پرتوها، عبور نوری زیاد، پایداری حرارتی چشمگیر، پایداری شیمیایی و مقاومت زیاد در برابر اکسیداسیون می‌باشد. در بین کاربردهای گفته شده اندازه کوچک کریستال‌های آن می‌تواند فاکتور مهمی در کنترل ریز ساختارها باشند [۲]. نانو ذرات کاربید سیلیسیم یکی از مواد خام اصلی و مهم برای طرح‌های مهندسی سرامیک در دماهای بسیار بالاست که انعطاف قابل قبولی داشته و در برابر دماهای فوق العاده زیاد مقاومت بسیار زیادی از خود نشان می‌دهد [۳].

لنت ترمز قسمتی از سیستم ترمز وسایل نقلیه است که با به وجود آوردن اصطکاک با کاسه ترمز باعث شتاب منفی در خودرو می‌شود. قدرت این سیستم معمولاً ۱۰ برابر قدرت موتور و حتی بیشتر می‌باشد. لنت وظیفه دارد با تولید نیروی اصطکاکی مناسب انرژی جنبشی چرخ متحرکی را که تحت تاثیر نیروی موتور می‌باشد را گرفته و به انرژی حرارتی تبدیل کند. و سپس انرژی حرارتی را در فضا پخش نماید که با این عمل اتومبیل از حالت حرکت به حالت سکون و یا از سرعت آن کاسته می‌شود. لنت باید ضریب اصطکاکی بالا و پایدار داشته و با تغییرات درجه حرارت خاصیت خود را از دست ندهد و همچنین باید در مقابل سائیدگی استحکام داشته و کاسه ترمز را خراش ندهد و موجب خرابی آن و خسارت ناشی از حرارت نگردد [۷].

جعبه ترمزهای کامپوزیتی که شامل فیلترهای ساخته از کاربیدسیلیسیم هستند، در کارایی ترمز بسیار موثر می‌باشند. کاربیدسیلیسیم در ترمز از افزایش دما جلوگیری کرده و ضریب اصطکاک را افزایش می‌دهد [۴]. ترمزهای سرامیکی معمولاً در وسایل نقلیه تجاری گران قیمت به کار برده می‌شوند [۵]. جعبه ترمزهای کامپوزیت چدن که شامل فیلترهای سرامیکی کاربیدسیلیسیم برای قطارهای پرسرعت نیز استفاده می‌شوند [۴]. همچنین کاربیدسیلیسیم به دلیل مجموعه‌ای از امتیازات برجسته مثل چگالی کم، مقاومت دمایی بالا، استحکام بالا، خصوصیات مربوط به اصطکاک و سرعت فرسایش کم به عنوان ماده جدید ترمز هواپیما معرفی شده است [۶]. بررسی‌های انجام شده در تحقیق اخیر نشان می‌دهد که کاربیدسیلیسیم بهترین ماده سرامیکی برای افزایش ضریب اصطکاک در سرعت‌های بالا و بهبود آزمون‌های دینامیکی می‌گردد.

۲- مواد و روش تحقیق

۱-۲ مواد مصرفی

مواد اولیه مورد استفاده برای انجام واکنش‌های شیمیایی از کمپانی مرک آلمان خریداری شد. شناسایی محصول‌ها به کمک مقایسه داده‌های فیزیکی نمونه‌های شناخته شده و یابه وسیله اطلاعات طیفی آن‌ها انجام گرفته شده است.

جدول ۱ مواد مورد استفاده

ردیف	نام ترکیب	شرکت سازنده	درصد خلوص (%)	فرمول مولکولی
۱	هیدروکسید سدیم	MERCK	98	NaOH
۲	کاربید سیلیسیم میکرونی	MERCK	99	SiC
۳	کلورور سریم	MERCK	98.5	CeCl3

۲-۲ آماده سازی نمونه

۳۰۰ گرم کاربید سیلیسیم آلمانی با مش ۸۰۰ تا ۱۵۰ گرم سود در مجاورت ۹ گرم کلوروسریم به عنوان کاتالیست (به مقدار ۲٪ وزنی) در دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد ذوب و به مدت ۸ ساعت نگهداری و سپس به مدت ۱۲ ساعت در دمای محیط خنک شدند. پس از آن مخلوط مذاب در آب حل شده، عمل شستشو با آب تا رسیدن مخلوط به PH خنثی ادامه یافت. کلورور سریم در آب حل شده و از مخلوط جدا گردید. مخلوط به وسیله قیف بوخنر در خلا آزمایشگاه، آبگیری و به مدت ۲ ساعت درون آون با درجه حرارت ۱۲۰°C خشک گردید، سپس درون هاون چینی مخلوط نانو کاربید سیلیسیم تولید شده، سائیده و ذرات نانو از یکدیگر جدا شدند. کاربید سیلیسیم تولید شده تحت بررسی آنالیز فازی به کمک دستگاه XRD مدل Philips PW-1840 و آنالیز ریز ساختاری به کمک دستگاه SEM/EDS مدل Philips XL-30 قرار گرفتند.

نانو کاربید سیلیسیم تولید شده برای تست بر روی لنت ترمز خودرو به یک شرکت تولید کننده لنت فرستاده شد. شرکت سازنده، نانو کاربید سیلیسیم تولید شده را به جای آزبست همراه با پلیمر

محصول خود آمیخته کرده و لنت جدید بر پایه نانو SiC به جای لنت بر پایه آزبست را به صورت آزمایشی تولید نمود، در تولید این لنت از ۰.۲٪ نانو کاربید سیلیسیم استفاده شد.

۳-۲ روش آزمون

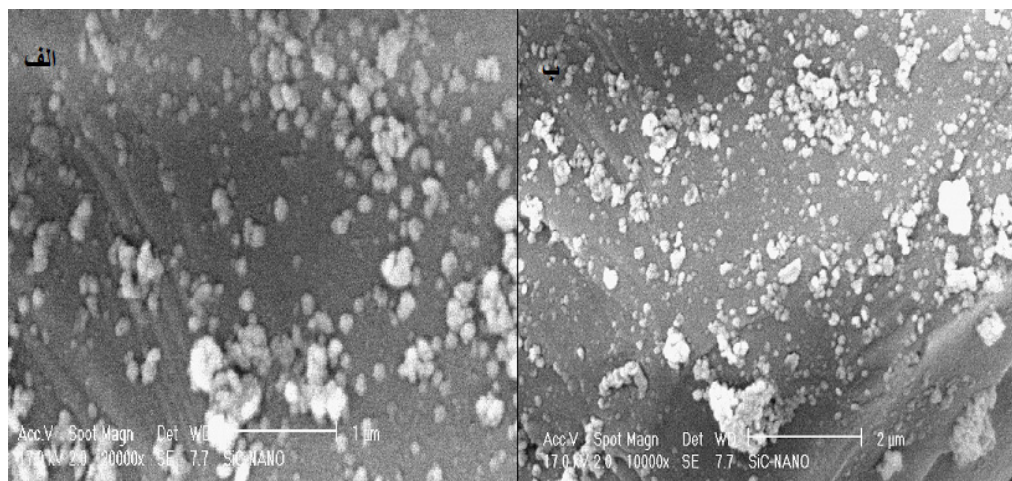
بر روی لنت تولید شده تست ضریب اصطکاک و تست های دینامیکی اندازه گیری فاصله توقف و شتاب منفی طبق استاندارد EEC/۷۱/۳۲۰ انجام گرفته شد. برای انجام تست دینامیکی به کمک روش آزمون ECE R 90 بر روی خودرو در دو حالت استفاده از لنت ترمز معمولی و لنت ترمز تولید شده با نانو ذرات کاربید سیلیسیم در دو سرعت 80 Km/h و 110 Km/h انجام گرفت. این تست ها شامل اندازه گیری فاصله توقف و شتاب منفی خودرو بوده که در این آزمون منظور از فاصله توقف مسافتی است که خودرو از سرعت مورد نظر با اعمال نیروی ترمز گیری شروع به کاهش سرعت تا توقف کامل می کند. همچنین هنگام ترمز گیری سرعت خودرو ثابت بوده و دمای مجموعه ترمز چرخ در دمای کارکرد بوده است، در ابتدای انجام هر آزمون دمای لنت در محدوده ۸۰ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد و یا دمای طرفین دیسک در محدوده ۳۰ تا ۵۰ درجه سانتیگراد اندازه گیری شد. پیش از انجام آزمون از سالم بودن زیر بخش های خودرو اطمینان حاصل شد که شامل چک کردن وضعیت باد چرخ ها، میزان سائیدگی آنها و همچنین بالانس بودن سیستم تعلیق و فرمان بوده است. مسیر انجام آزمون دارای آسفالت با ضریب اصطکاک مناسب و شیب مسیر از نظر طولی و عرضی ۱ یا ۲ درصد تجاوز نمی کرد. شرایط دمایی و سرعت باد در حین انجام آزمون بررسی گردید.

۳ - نتایج و بحث

۳-۱ بررسی ریز ساختار نانو کاربید سیلیسیم تولیدی و اندازه سائز ذرات (Particle Size) توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM ذرات نانو کاربید سیلیسیم تولید شده به روش ذوب قلیایی در بزرگنمایی (الف) ۲۰۰۰X، (ب) ۱۰۰۰۰X در شکل ۱ نشان داده شده است. در این تصاویر وجود ذراتی در مقیاس کمتر از ۱۰۰ نانومتر نشان داده می شود همچنین سائز ذرات نانو کاربید سیلیسیم تولیدی به روش ذوب قلیایی توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی اندازه گیری شد.

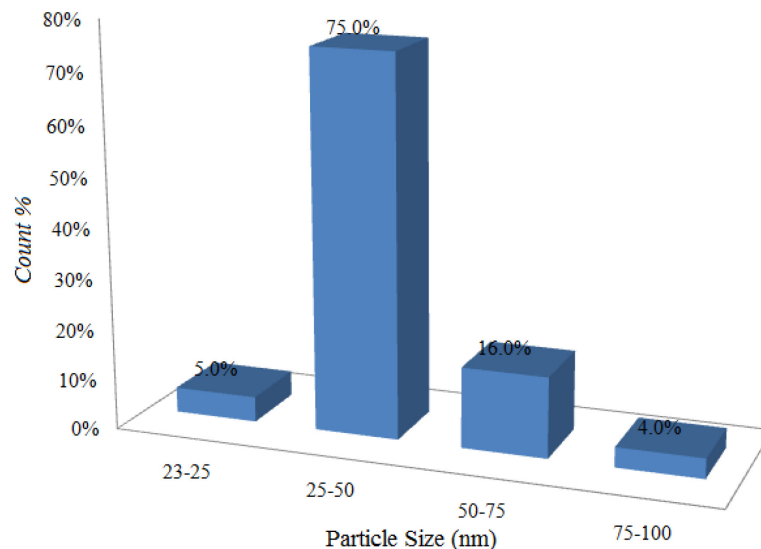
ابعاد نمونه در برخی نقاط اندازه گیری شده در برخی از قسمت های نمونه به شرح جدول ۲ می باشد. نتایج اندازه ذرات به صورت درصد محدوده سایز ذرات در شکل ۲ آمده است.



شکل ۱ تصاویر SEM/EDS نانوکاربید سیلیسیم تولید شده به روش ذوب قلیایی
الف) بزرگنمایی $20000\times$ ، ب) بزرگنمایی $10000\times$

جدول ۲ ابعاد نانو ذرات کاربید سیلیسیم در برخی نقاط اندازه گیری شده

ابعاد نمونه (nm)	ردیف	ابعاد نمونه (nm)	ردیف	ابعاد نمونه (nm)	ردیف	ابعاد نمونه (nm)	ردیف	ابعاد نمونه (nm)	ردیف
25.87	1	49.11	11	44.06	21	58.73	31	29.45	41
77.63	2	45.93	12	27.09	22	33.78	32	47.91	42
30.65	3	36.45	13	65.73	23	39.76	33	70.73	43
56.97	4	23.67	14	43.88	24	50.36	34	52.64	44
35.66	5	25.39	15	37.76	25	45.72	35	46.12	45
41.65	6	31.76	16	32.66	26	27.37	36	34.67	46
35.39	7	74.05	17	54.32	27	98.21	37	40.77	47
24.9	8	26.53	18	32.15	28	41.29	38	29.04	48
48.76	9	42.88	19	38.06	29	36.27	39	24.07	49
43.02	10	50.02	20	59.73	30	28.65	40	44.73	50

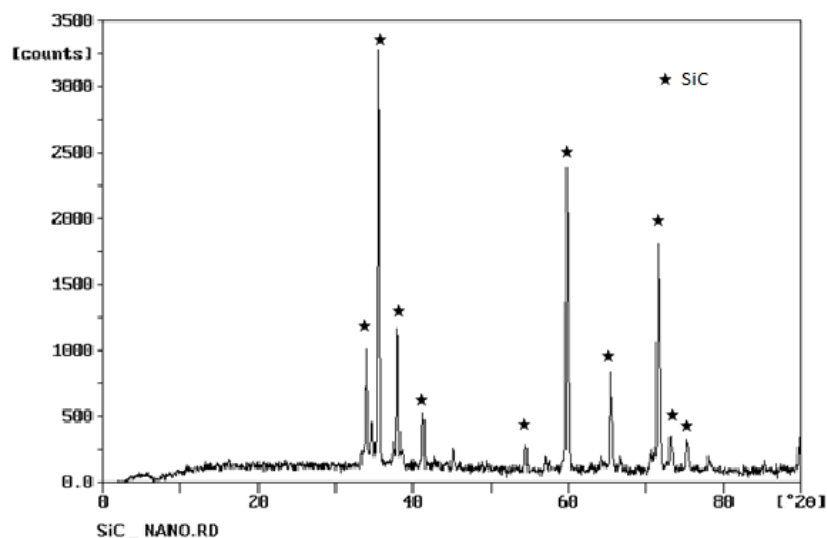


شکل ۲ اندازه ذرات نانو کاربید سیلیسیم تولید شده به روش ذوب قلیایی توسط دستگاه SEM

همانطور که در شکل ۲ دیده می شود، ۷۵٪ از ذرات در مقیاس ۲۵-۵۰ نانومتر، ۱۶٪ در مقیاس ۷۵-۵۰ نانومتر، ۵٪ در مقیاس ۲۳-۲۵ نانومتر و ۴٪ در مقیاس ۷۵-۱۰۰ نانومتر قرار دارند. این نشان می دهد که به طور میانگین اندازه ذرات حدود ۳۹.۳ نانومتر می باشد.

۳-۲ اندازه گیری سایز ذرات (Particle Size) توسط روش شرر اصلاح شده

با استفاده از رسم نمودار $Ln\beta$ در مقابل $Ln\left(\frac{1}{\cos\theta}\right)$ به روش کمترین مربعات خطا و استفاده از عرض از مبدا این نمودار (بر اساس معادله شرر) اندازه دانه محاسبه شده است. الگوی پراش اشعه ایکس از نمونه نانو کاربید سیلیسیم تولید شده در شکل ۳ نشان داده شده است.



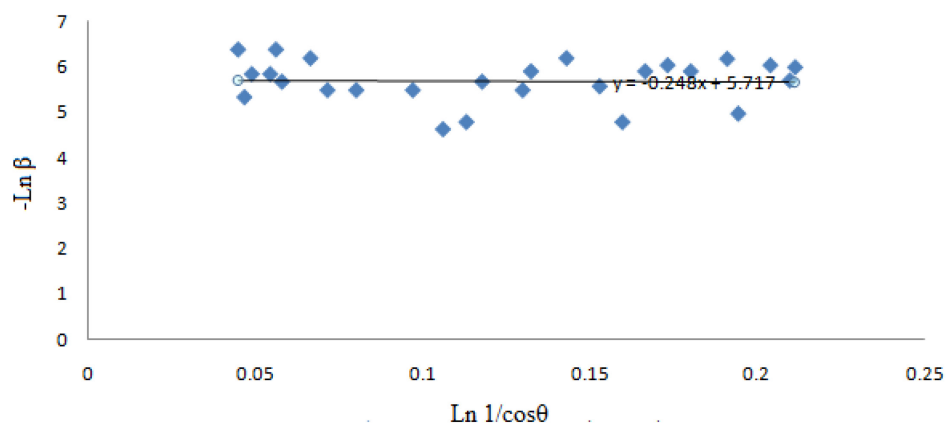
شکل ۳ الگوی پراش اشعه ایکس نانو کاربید سیلیسیم تولید شده به روش ذوب قلیایی

از روی نرم افزار XRD، $\ln\beta$ و $\ln\left(\frac{1}{\cos\theta}\right)$ بدست آمد. مقادیر بدست آمده در جدول ۳ نشان داده شده است. β باید بر حسب رادیان باشد به همین دلیل در $\pi/180$ ضرب می شود. $\ln\beta$ که همان عرض از مبدا نمودار می باشد یک عدد منفی است به همین خاطر نمودار را بر حسب $-\ln\beta$ رسم می کنیم ولی در محاسبات از عدد منفی استفاده می کنیم.

جدول ۳ مقادیر $\ln\beta$ و $\ln\left(\frac{1}{\cos\theta}\right)$

$2\theta^\circ$	$\ln 1/\cos\theta$	$\beta = \text{FWHM} \times (\pi/180)$	$\ln \beta$
34.0254	0.0447	0.00171	-6.3712
34.7727	0.0466	0.0048	-5.3391
35.5367	0.0488	0.00291	-5.8396
37.4699	0.0543	0.00274	-5.8396
38.0151	0.056	0.00171	-6.3712
38.6114	0.0578	0.00343	-5.6751
41.2614	0.0663	0.00206	-6.185
42.7909	0.0714	0.00412	-5.4919
45.2175	0.08	0.00412	-5.4919
49.6453	0.0969	0.00412	-5.4919
51.8263	0.1059	0.00961	-4.6449
53.4596	0.1129	0.00823	-4.7999
54.487	0.1176	0.00343	-5.6751
57.1045	0.1297	0.00412	-5.4919
57.6309	0.1322	0.00274	-5.8997
59.8158	0.1428	0.00206	-6.185
61.7378	0.1527	0.00343	-5.5751
63.0265	0.1595	0.00823	-4.799
64.2885	0.1663	0.00274	-5.899
65.4838	0.173	0.0024	-6.032
66.6935	0.1799	0.00274	-5.899
68.5779	0.1908	0.00209	-6.1705
69.1107	0.1941	0.00686	-4.982
70.706	0.2037	0.0024	-6.0322
71.6143	0.2095	0.00334	-5.7017
71.8786	0.2111	0.00251	-5.987

با در دست داشتن مقادیر $\ln\beta$ و $\ln\left(\frac{1}{\cos\theta}\right)$ می توان نمودار مورد نظر را رسم نمود. شکل ۴ نمودار $-\ln\beta$ در مقابل $\ln\left(\frac{1}{\cos\theta}\right)$ را به روش کمترین مربعات خطا نشان می دهد.



شکل ۴ نمودار $-Ln\beta$ در مقابل $Ln(\frac{1}{cos\theta})$ نانو کاربید سیلیسیم

با توجه به نمودار خطی با معادله $y = -0.248x + 5.717$ بدست می آید که عرض از مبدا آن برابر است با 5.717 بنابراین با توجه به معادله $Ln\beta = Ln(K\frac{\lambda}{L}) + Ln(\frac{1}{cos\theta})$ خواهیم داشت :

$$5.717 = Ln(K\frac{\lambda}{L})$$

$$K = 0.89, \lambda = 0.154051$$

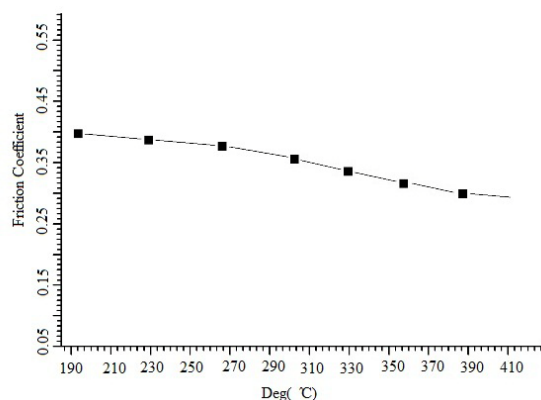
$$5.717 = Ln(0.89 \frac{0.154051}{L})$$

$$L = 41.67nm$$

با روش اصلاح شده شرر اندازه ذرات کاربید سیلیسیم ۴۱.۶۷ نانومتر بدست آمد که نشان داد کاربید سیلیسیم تولید شده به روش ذوب قلیایی در ابعاد نانو می باشد.

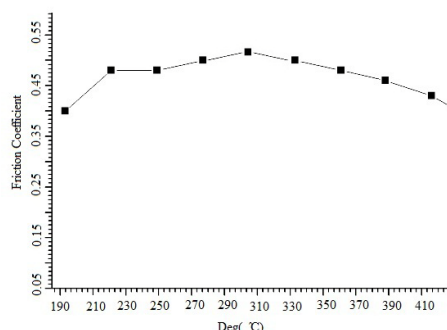
۳-۳ بررسی تاثیر حضور ذرات کاربید سیلیسیم بر خواص مکانیکی لنت ترمز

ضریب اصطکاک لنت ترمز تا حدود دمای $20^{\circ}C - 150^{\circ}C$ افزایش می یابد اما عملاً در دامنه دمایی $315^{\circ}C - 250^{\circ}C$ و در دماهای بالاتر ضریب اصطکاک کاهش می یابد و حتی به پایین تر از ضریب اصطکاک در شرایط اولیه می رسد. تست انجام گرفته توسط شرکت سازنده بر روی نمونه لنت ترمز بدون نانو ذرات کاربید سیلیسیم نشان دهنده کاهش ضریب اصطکاک در دماهای بالا می باشد که در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵ نمودار تغییرات ضریب اصطکاک با دمای لنت بدون نانوکاربید سیلیسیم

همانطور که در نمودار مشخص است در دماهای بالاتر از 200°C ضریب اصطکاک لنت ترمز کاهش می یابد. در لنت های معمولی با افزایش دما ضریب اصطکاک کاهش می یابد و کارایی خود را از دست می دهند، به همین دلیل سعی شده است با اضافه کردن نانوذرات SiC از کاهش ضریب اصطکاک در دماهای بالا جلوگیری کرد. شکل ۶ تغییرات ضریب اصطکاک با دما در لنت ترمز تولید شده با ذرات نانوکاربید سیلیسیم را نشان می دهد.



شکل ۶ نمودار تغییرات ضریب اصطکاک با دمای لنت تولید شده با نانوکاربید سیلیسیم

همانطور که در شکل ۶ مشخص است با افزایش دما، ضریب اصطکاک لنت ترمز افزایش یافته است که این به دلیل وجود نانوذرات کاربید سیلیسیم در لنت ترمز می باشد. نانوذرات کاربید سیلیسیم باعث بالا رفتن خواص مکانیکی لنت ترمز شده است و این امر منجر به طولانی شدن عمر لنت ترمز می گردد. در گذشته سعی شده بود که ذرات کاربید سیلیسیم به لنت ترمز اضافه شود ولی چون ابعاد آن در حد میکرون بوده است با ایجاد یک مرز بزرگ با سایر مواد لنت، مرکز تجمع تنش می شدند که منجر به ترک و شکست لنت می شد، [۵] با به کار بردن نانوذرات کاربید سیلیسیم این جدایش

سطحی بسیار ناچیز شده و از شکست لنت ترمز جلوگیری می کند. همچنین نانو کاربید سیلیسیم به خاطر استحکام بالا، سایش لنت را به تاخیر انداخته و باعث بیشتر شدن عمر لنت ترمز می گردد.

۳-۴ بررسی نتایج تست دینامیکی بر روی لنت ترمز تولید شده با ذرات نانو کاربید

سیلیسیم

جدول ۴ نتایج مربوط به خودرو با لنت ترمز معمولی را نشان می دهد.

جدول ۴ نتایج مربوط به خودرو با لنت ترمز معمولی

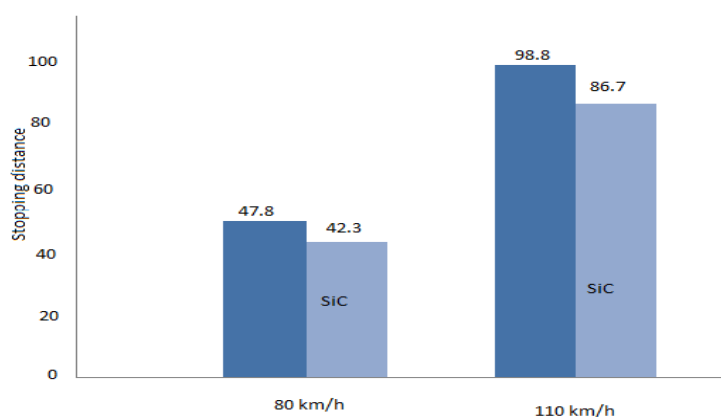
Without SiC	V(Km/h) required	V(Km/h) actual	MFDD (m/s ²)	Stopping distance(m)
1	80	80.2	5.8	47.8
2	80	81	5.45	46.1
3	110	110.1	5.3	89.5
4	110	109.9	5.01	98.8

در این تست منظور از فاصله توقف (Stopping distance)، مسافتی می باشد که خودرو از سرعت مورد نظر با اعمال نیروی ترمز گیری شروع به کاهش سرعت تا توقف کامل میکند. هرچه این مسافت کمتر باشد نشانگر عملکرد بهتر لنت ترمز می باشد. پارامتر دیگر شتاب منفی سرعت می باشد که هرچه بیشتر باشد نشان دهنده کیفیت بهتر لنت ترمز می باشد. جدول ۵ نتایج مربوط به خودرو با لنت ترمز تولیدی با ذرات نانو کاربید سیلیسیم را نشان می دهد.

جدول ۵ نتایج مربوط به خودرو با لنت ترمز تولیدی با ذرات نانو کاربید سیلیسیم

With SiC	V(Km/h) required	V(Km/h) actual	MFDD (m/s ²)	Stopping distance(m)
1	80	80.3	6.27	42.3
2	80	80	6.3	44.8
3	110	109.4	5.58	86.7
4	110	109.9	5.61	95

شکل ۷ نتایج مربوط به لنت ترمز تولیدی با ذرات نانو کاربید سیلیسیم و بدون نانو کاربید سیلیسیم را نشان می دهد.



شکل ۷: نتایج مربوط به لنت ترمز تولیدی با ذرات نانو کاربید سیلیسیم و بدون نانو کاربید سیلیسیم

از مقایسه نتایج دو لنت ترمز بدون نانو ذرات کاربید سیلیسیم و تولید شده با نانو کاربید سیلیسیم مشاهده می شود که خودروی دارای لنت ترمز تولید شده با ذرات نانو کاربید سیلیسیم فاصله توقف کمتر و شتاب منفی بالاتری می باشد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که افزودن نانو ذرات کاربید سیلیسیم باعث بهبود خواص مکانیکی و خواص دینامیکی لنت ترمز گردیده است.

نتیجه گیری

۱- اندازه کریستال نانو ذرات کاربید سیلیسیم بدست آمده به کمک روش ذوب قلیایی در تحقیق اخیر دارای اندازه میانگین 40 nm از روش اندازه گیری سایز ذرات با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و اندازه 42 nm از روش شرر اصلاح شده می باشد.

۲- نانو ذرات کاربید سیلیسیم تولید شده به روش ذوب قلیایی توسط شرکت سازنده لنت به کار گرفته شد و آزمایشات استاتیکی (ضریب اصطکاک) و آزمایشات دینامیکی کارکرد لنت را مورد تایید قرار داد.

۳- استفاده از نانو کاربید سیلیسیم در لنت ترمز از کاهش ضریب اصطکاک در دماهای بالای 200°C جلوگیری کرده و باعث افزایش ضریب اصطکاک در دماهای بالای 200°C گردید.

۴- آزمایشات دینامیکی نشان داد که در حضور ذرات نانو کاربید سیلیسیم فاصله توقف کاهش و شتاب منفی افزایش می یابد.

۵- ذرات کوچک نانو کاربید سیلیسیم باعث جدایش بین سطوح مختلف لت نشده و استحکام و اصطکاک بالایی برای لت ایجاد می کند.

مراجع

- [1] P.M. Ajayan , L.S. Schadler , P.V. Braun ,” Nanocomposite Science and Technology”, 2003, ISBN: 3-527-30359-6
- [2] Kim.Jin.Sang, Yun.Seok-Min, Lee.Young-Seak, “Characterization of nanocrystalline porous SiC powder by electrospinning and carbothermal reduction, Journal of Industrial and Engineering Chemistry”, 2010, 16, 273-277
- [3] Sharma.Rajbeer ,Rao.D.V.Sridhara ,Vankar.V.D ,”Growth of nanocrystalline silicon carbide and nanocrystalline silicon oxide nanoparticles by sol gel technique” ,Materials Letters, 2008, 62, 3174-3177
- [4] T.Miyauchi, T.Tsujimura, J.Nakayama, K.Shimuzu,” Influence of silicon carbide filters in cast iron composite brake blocks on brake performance and development of production process”, wear, 2009, 267, 833-838
- [5] Akira.Okada, “ceramic technologies for automotive industry:current status and perspectives, Material Science and Engineering”, 2009, 161, 182-187
- [6] Chaoqun, Z. Litong, Z. Qingfeng, Z. Shngwu, F. Laifei, C, “Simulated three-dimensional transient temperature field during aircraft braking for C/SiC composite brake disc”, Material and Design, 2011, 32, 2590-2595
- [7] D.G. Grieve, D.C. Barton, “Light-weight disk brake materials,advances in automotive braking technology”, Mep, 1996, 87-106