

بررسی امکان تولید چندسازه کربن-اپوکسی بر پایه چوب و بررسی ویژگی های سایشی آن به کمک روش نوین طراحی آزمایش تاگوچی

حسین وفایی نژاد^{*}، سید مجتبی زبرجد^۱ و جلیل وحدتی خاکی^۱

^۱ گروه متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

از آنجا که از چوب می توان به عنوان جزء اصلی بسیاری از مواد پیشرفته و نوین استفاده نمود، استفاده امروزی از آن به عنوان ماتریس در چندسازه (کامپوزیت) های کربنی مشتق شده از چوب بسیار متداول و مرسوم است. مقرون به صرفه بودن از لحاظ اقتصادی، بی نیازی به فرآیند های ثانویه شکل دهی و در دسترس بودن از مزایای قابل توجه این دسته از مواد چندسازه ای می باشد. از آنجایی که برای تهیه زمینه چندسازه، باید چوبی گزینش نموده علاوه بر دارا بودن تخلخل های با قطر به نسبت بزرگ و پاتوزیع یکنواخت، استحکام قابل قبولی نیز داشته باشند، چوب درخت^۱ بلوط به عنوان ماده اولیه تحقیق گزینش شده است. چوب خشک شده در دماهای مختلف در معرض گرما قرار داده شده تا بدنه کربنی متخلخل تشکیل شده و در مرحله بعدی با استفاده از فرایند خوراندن، پلیمر اپوکسی به درون تخلخل های کربن تزریق شود تا در پایان شاهد محصول نهایی چندسازه ای باشیم. از میکروسکوپ الکترونیکی روبشی (SEM) برای بررسی ریز ساختار چندسازه تولید شده استفاده شد. از روش طراحی آزمایش تاگوچی برای سنجش ویژگی های سایش و بررسی نتایج آن بهره برده شده است. این تحقیق نشان داده است که اپوکسی به عنوان تقویت کننده در بهبود ویژگی های سایشی چندسازه ای مؤثر است. بر پایه این روش، برای داشتن بهترین نتایج یا همان کمترین نرخ سایشی، چیدمان C_1, B_2, A_1 در آزمایش سایش منجر به حصول این مهم می شود.

واژه های کلیدی: چندسازه (کامپوزیت)، چوب، اپوکسی، سایشی، طراحی آزمایش تاگوچی

مقدمه

امروزه همزمان با معرفی جایگزین های جدید برای چوب، استفاده های نوینی هم برای آن معرفی شده است [۱]. از زمان ادای این جمله معروف تا به حال، کاربردها و استفاده های جدیدی برای این ماده فوق العاده طبیعی پیدا و ارائه شده است. در چندین دهه اخیر نیز توجه محققان و مهندسان از مواد فلزی و آلیاژی گران قیمت و سنگین به سوی مواد کربنی نوین منعطف شده است. کربن های تولید شده از چوب و چندسازه های آن به دلیل داشتن شکل پذیری و جرم حجمی پایین نسبت به فلزات و سرامیک ها، در بسیاری از کاربردهای نوین مهندسی مانند ویژگی های مکانیکی و گرمایی، پایداری ابعادی و ویژگی های سطحی مورد توجه قرار گرفته اند. به علاوه هزینه پایین چوب به عنوان ماده اولیه نکته مهم دیگری در تولید این چندسازه ها می باشد. چوب کربونیزه شده را می توان در اشکال حجمی، سبوس و تکه به عنوان ماتریس یا تقویت کننده در چندسازه های پایه چوب به کاربرد و استفاده نمود با به کاربردن چوب ما می توانیم، همه ویژگی های ساختاری چوب را در عین داشتن یک ترکیب شیمیایی به کلی متفاوت حفظ کنیم [۲]. چوب از شماری مواد آلی تشکیل شده است که با اتصال درونی یک بدنه متخلخل تشکیل می دهند و بدنه این ساختار سلولی متخلخل موازی با تنه اصلی درخت خواهد بود. ترکیب شیمیایی یک نمونه خشک شده شامل ۵۰ درصد وزنی کربن، ۴۴ درصد وزنی اکسیژن و ۶ درصد وزنی هیدروژن می باشد [۳]. سه ساختار پلیمری تشکیل دهنده بدنه اصلی چوب می باشند که عبارت اند از: سلولز، همی سلولز و لیگنین. جزء اصلی در همه بدنه های چوبی سلولز است. سلولز همانند یک بدنه اصلی ماتریسی است که دو جز دیگر یعنی همی سلولز و لیگنین را در درون خود جای می دهد. نسبت حضور این دو جزء به محل برداشتن نمونه از تنه بستگی دارد. انجام فرایند زغال گیری (کربونیزاسیون) در دماهای مختلف منجر به ایجاد بدنه کربنی با جرم حجمی های مختلف می شود که علت آن تغییرات مختلف در چیدمان مولکولی بدنه سلولی چوب است [۴]. در حین فرآیند گرما دهی چوب با آهنگ گرما دهی ۵ درجه سلسیوس

بر دقیقه، همی سلولز در دماهای بین ۱۷۰ تا ۲۴۰ درجه سلسیوس، سلولز در دماهای ۲۴۰ تا ۳۱۰ درجه سانتی گراد و لیگنین در دماهای بین ۳۲۰ تا ۴۰۰ درجه سلسیوس تجزیه می شوند. واکنش ها و انفعالات شیمیایی زیادی همچون ایجاد پیوند بین عناصر چوب و تبخیر برخی ترکیبات آن صورت می پذیرد تا در نهایت زغال در پایان باقی بماند [۵]. تحقیقات گسترده ای در منابع مربوطه در مورد زغال گیری چوب های مختلف و جنبه های گوناگون سازوکار آن انجام پذیرفته است [۶و۱۱]. بدنه کربنی متخلخل تولید شده دارای ویژگی های مناسب مهندسی بسیاری مانند پایداری ضریب اصطکاک، ویژگی های الکترو مغناطیسی مناسب، ضریب انبساط گرمایی پایین، ویژگی های ارتجاعی مناسب و خود روانسازی می باشد [۱۲و۱۳].

هدف عمده استفاده از تقویت کننده در چندسازه ها را می توان در دو مورد خلاصه نمود: بهبود ویژگی های مکانیکی، گرمایی و سطحی چندسازه و نیز کاهش هزینه های مواد اولیه و تولید [۱۴]. از فلز و سرامیک به عنوان فاز تقویت کننده در تولید چندسازه های کربنی مشتق شده از چوب بیشتر استفاده شده است. از کاربردهای این مواد می توان به موارد زیر اشاره نمود: ساخت وسایل و تجهیزات ورزشی، تجهیزات پیشرفته صنایع هوافضا، نازل های پرتاب راکت، دماغه شاتل ها، پره های مورد نیاز در دماهای بالا، مواد مقاوم به اکسیداسیون و خوردگی و بیوموادها [۲و۳].

در این تحقیق به کمک فرآیند خوراندن اپوکسی به درون ساختار متخلخل کربن، چندسازه کربن - اپوکسی با موفقیت تولید شده است. برای بررسی ویژگی های سطحی و سایشی مشخصه های تولید مانند دمای کربونیزاسیون و مشخصه های آزمایش مانند گستره سایش و بار اعمالی مورد توجه قرار گرفته است و با کمک آنها روند تأثیر هر یک را روی عملکرد چندسازه حین سرویس بررسی شده است. طراحی آزمایش یک روش آماری برای ارزیابی اثرگذاری عمل های مختلف بر روی یک متغیر خروجی است. پایه طراحی آزمایش بر این روش استوار است که برخی از روش های گرد آوری داده ها درباره عمل ها و آزمایش های بسیار مؤثرتر و

آزمایش‌ها

تهیه نمونه آزمایش

چوب بلوط ناحیه شمال ایران به عنوان نمونه اولیه تولید چندسازه در نظر گرفته شد. نمونه‌ها به صورت مکعب مستطیل و در ابعاد $10 \times 20 \times 20$ میلی متر تهیه شده‌اند که این کار به کمک ابزار برشی دقیق صورت گرفت. پیش از انجام آزمایش‌ها نمونه‌های چوبی در یک کوره چوب خشک کنی به طور کامل خشک شدند. این کار به منظور خروج آب ساختاری و جلوگیری از پوسیدگی و قارچ زدگی نمونه‌ها آزمایش‌ها صورت گرفت. برای تهیه رزین پلیمیری به عنوان جزء تقویت کننده، اپوکسی با سخت کننده مناسب آن با یک نسبت معین ترکیب شدند.

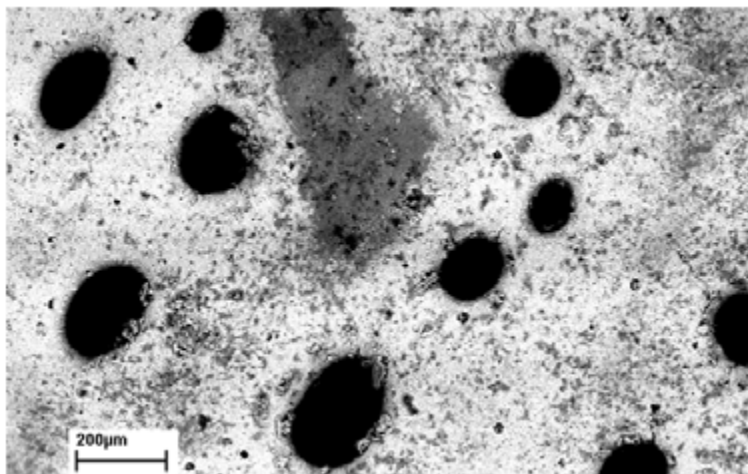
تولید چندسازه

چوب به عنوان ماده خام تولید چندسازه کربن - اپوکسی تا چندین درجه دمای مختلف گرما داده شد تا در اول کار یک بدنه متخلخل آلی در اختیار داشته باشیم (شکل ۱) فرآیند زغال گیری چوب در دماهای مختلف بین ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس انجام پذیرفت. گرما دهی در یک کوره الکتریکی مقاومتی مجهز به اتمسفر محافظ آرگون صورت گرفت و به طور میانگین برای بررسی قابلیت اطمینان و تکرارپذیری آزمایش‌ها در هر دما از ده تا دوازده نمونه استفاده شد در این تحقیق از کربن‌های تولید شده در دماهای 400°C ، 450°C و 500°C برای بررسی ویژگی‌های سایشی استفاده شده است. رزین اپوکسی پیش گرم شده در مرحله بعدی به درون تخلخل‌های کربن تزریق شد. پیش گرم کردن رزین به منظور بالابردن روانی و آسانی حرکت پلیمر درون تخلخل صورت گرفت. از یک دستگاه مکانیکی خلاء برای ایجاد موضعی خلاء درون بدنه کربنی متخلخل استفاده شد تا هوای درون کربن خارج شود و از بازگشت پلیمر به سطح چندسازه جلوگیری شود. از میکروسکوپ الکترونی روشی برای نمایش ریز ساختار چندسازه تولید شده استفاده شد. (شکل ۲)

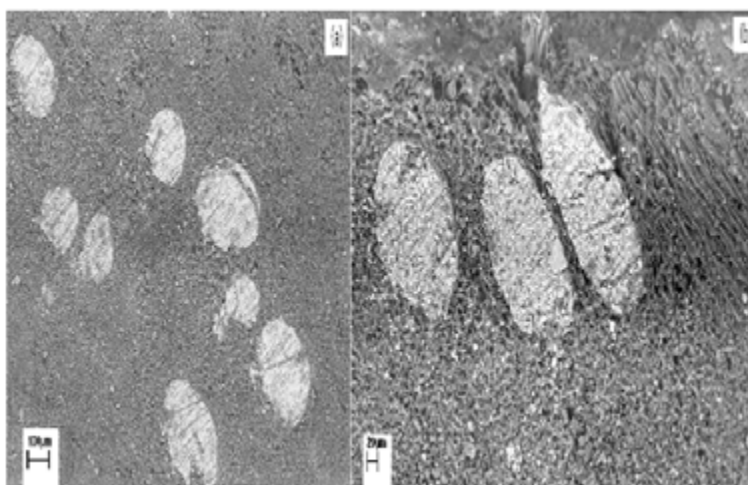
کامل تر از دیگر روش‌ها است. در طراحی آزمایش‌ها عامل‌های مختلفی را که تصور می‌شود بر روی یک فرآیند مؤثر می‌باشند، با در نظر گرفتن دامنه‌ای از مقادیر ممکن برای هر عامل بررسی می‌شود و در این صورت هدف پیدا نمودن ترکیب خاصی از سطوح عامل است که بهترین اثر مطلوب را روی یک فرآیند خاص دارد. روش طراحی آزمایش‌ها تاگوجی یک روش مؤثر در بررسی اثرگذاری عامل‌های مختلف روی مشخصه خروجی است که این جانرخ سایش است [۱۵].

نظریه (تئوری) دکتر تاگوجی از اوایل ۱۹۵۰ در راستای اصلاح سامانه خطوط تلفن در یک شرکت مخابراتی شکل گرفت و در طی دهه ۱۹۸۰ تکامل یافت و از آن به بعد در اکثر شرکت‌های جهان مورد استفاده قرار گرفت. روش تاگوجی ترکیبی از روش‌های آماری و ریاضی است که در بررسی‌های تجربی استفاده می‌شود. این روش می‌تواند با کمترین شمار آزمایش‌ها، شرایط بهینه را تعیین کند. در این روش تغییرات با عاملی به نام نسبت سیگنال به نویز (S/N Ratio) معرفی می‌شود و شرایط آزمایشی که دارای بیشترین میزان S/N باشد به عنوان شرایط بهینه مطرح می‌شود. از برتری‌های این روش می‌توان به این موارد اشاره نمود: سادگی درک و بکارگیری روش، گستره نا محدود کاربردها، کاهش تغییرات بدون جابجایی اثرگذاری آنها، کاهش زمان و هزینه آزمایش‌ها، کاهش شمار آزمایش‌های مورد نیاز. مراحل کار با روش تاگوجی به ترتیب به صورت زیر می‌باشد:

- الف- تعیین تابع هدفی که باید بهینه شود.
- ب- تعیین عامل‌های کنترلی و سطوح هر کدام.
- پ- گزینش یک آرایه متعامد مناسب.
- ت- انجام آزمایش‌ها و اندازه‌گیری خروجی‌ها.
- ث- محاسبه نسبت سیگنال به نویز و گزینش مشخصه‌های مربوط به شرایط بهینه.
- ج- تجزیه داده‌ها و پیش‌بینی خروجی در حالت بهینه.



شکل ۱- بدنه متخلخل کربنی ناشی از فرایند کربونیزاسیون



شکل ۲- ریزساختار چندسازه کربن-اپوکسی مشتق شده از چوب بلوط

برای این آزمون، از چندسازه هایی استفاده شد که ماتریس کربنی آن ها از سوزاندن چوب در دماهای 400°C ، 450°C و 500°C تولید شده بود. تغییرات جرمی نمونه های سائیده شده به کمک یک ترازوی حساس الکتریکی با دقت یک دهم میلی گرم ثبت شد. آهنگ سایشی به صورت کاهش حجم نمونه بر واحد مسافت یا بر واحد بار عمودی گزارش می شود (میلی متر مکعب بر متر یا بر نیوتن). برای بررسی سطح سائیده شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. پیش از تصویر برداری از یک پوشش نازک پلاتین برای افزایش هدایت الکتریکی نمونه ها استفاده شد و حین نمونه سازی به دو طرف بدنه نمونه ها چسبانده شد.

آزمون سایش

آزمون سایشی در دمای اتاق و بدون حضور ماده روانساز، روی چندسازه کربن - اپوکسی انجام شد. سطح سایشی از یک صفحه (دیسک) فولادی سخت شده با سختی ۷۲ راکول سی تولید شده است. نمونه حین آزمایش، ثابت است و صفحه می چرخد و در همه این مدت یک بار عمودی بر سطح بالای چندسازه وارد می شود. برای داشتن یک سطح آزمون مناسب و تمیز، سطوح نمونه ها و صفحه پیش از آغاز چرخش سنباده زنی شدند. برای بررسی ویژگی های سطحی ماده، آزمون سایش در چهار مسافت لغزش با مقادیر ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ متر چهار بار عمودی با مقادیر ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ نیوتن انجام گرفت.

طراحی آزمایش

طراحی آزمایش تاگوچی ابزاری است برای تحلیل تاثیرگذاری عامل های مؤثر مختلف بر خروجی مورد نظر. گزینش عامل کنترل کننده یکی از مهم ترین مراحل در طراحی آزمایش ها است. بر پایه روش جمع عوامل، برای این مسأله باید ۴^۳ یا ۶۴ آزمون صورت گیرد زیرا شرایط به گونه ای است که ما سه عامل را در چهار سطح باید بررسی کنیم ولی با استفاده از آرایه ارتوگونان L₁₆ روش تاگوچی انجام ۱۶ تست برای تحلیل نتایج کفایت می کند که هم باعث صرفه جویی در وقت و هم در میزان ماده مصرفی می شود (جدول ۱). در ادامه با اعمال راهبرد (استراتژی) «هر چیز بهتر، کمتر» در قالب نسبت سیگنال به نویز و بر پایه معادله زیر کمترین میزان آهنگ سایشی مخصوص تعیین می گردد

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} \left(\sum y^2 \right)$$

در معادله بالا، n شمار آزمایش های انجام شده و y مقادیر خروجی هر آزمایش می باشد [۱۵]. جدول ۲ جزئیات طراحی آزمایش و نسبت $\frac{S}{N}$ را برای هر خروجی نشان می دهد.

در روش تاگوچی برای مشخص کردن مشخصه های بهینه و تاثیر گذاری آن ها مشخصه های ورودی فرآیند را به دو دسته عامل های کنترلی و عامل های غیر کنترلی تقسیم می کنیم: عامل های کنترلی (Signal Factor) عامل هایی هستند که به منظور گزینش بهترین شرایط در طراحی چرخه های ساخت بکار میروند و عامل های غیر کنترلی (noise Factor) همه عامل هایی هستند که باعث ایجاد تغییرات می شوند اما ما آن ها را بر حسب شرایط ثابت فرض می کنیم. برای تعیین بهترین میزان عامل های کنترل کننده باید از بهینه سازی تابع کاری استفاده شود. برای محاسبه های آماری از نسبت سیگنال به نویز (S/N Ratio) استفاده شده است. این روش به منظور اندازه گیری میزان حساسیت به متغیرهای نویز استفاده می شود. در حقیقت نسبت به طور دقیق اثرگذاری های نویزها را تعیین می کند.

نتایج و بحث

ریزساختار چندسازه و سطح سائیده شده

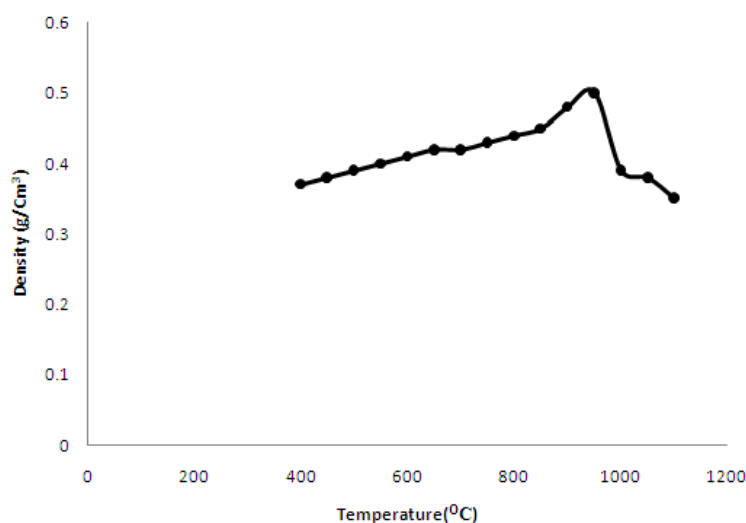
شکل ۲ تصویر میکروسکوپ الکترونی چندسازه کربن - اپوکسی مشتق شده از چوب بلوط را نشان می دهد. چوب خشک شده در شرایط اتمسفر کنترل شده به کربن متخلخل تبدیل شد و در مرحله بعد این تخلخل ها با اپوکسی پر شد. حین فرآیند زغال گیری، شکل ساختار و شمار ماکرو تخلخل ها حفظ شد و نیز هیچ گونه تخلخل جدیدی بین تخلخل های قدیم به وجود نیامد. در نتیجه ما مکان های جدا از هم پر شده از پلیمر را در سطح چندسازه خواهیم داشت در حالی که در چندسازه های کربنی مشتق شده از سبوس یا تکه های چوب شاهد این حالت نخواهیم بود. به طور کلی، تغییرات تخلخل و جرم حجمی در یک چوب حین گرما دادن در یک محیط با اتمسفر کنترل شده با دو عامل کنترل می شود: (۱) کاهش وزن ناشی از تخریب برخی اجزای چوب و نیز تبخیر برخی مواد فرار حین افزایش دما، این پدیده ها باعث کاهش جرم حجمی کربن می شوند. (۲) انبساط گرمایی دیواره های تخلخل های چوب در اثر انبساط بدنه کربن که باعث کاهش قطر تخلخل ها و افزایش جرم حجمی بدنه کربنی می شود به تقریب از دمای ۴۰۰°C تا ۱۰۰۰°C سازوکار دوم نقش اصلی را بازی می کند و در دماهای بالای ۱۰۰۰°C سازوکار اول غالب است. روند تغییرات جرم حجمی با تغییرات دما در شکل ۳ نشان داده شده است. روند تغییرات جرم حجمی با تغییرات دما در شکل ۳ نشان داده شده است. در این آزمون از کربن های تولید شده در دماهای بین ۴۰۰°C تا ۵۰۰°C استفاده شده است که در این بازه ما شاهد افزایش جرم حجمی با افزایش دما هستیم در عمل با افزایش دما در محدوده یاد شده ما شاهد بالارفتن استحکام فشاری کربن هم خواهیم بود و این به دلیل فشرده تر شدن ساختار کربن در اثر افزایش جرم حجمی و کوچک تر شدن خطرهای تخلخل های سطحی به عنوان مراکز تمرکز تنش می باشد. برای اثبات این مسأله آزمون فشار چند محوری روی نمونه های کربنی تهیه شده در ابعاد استاندارد انجام شد. نتایج این آزمون ها در جدول ۳ آمده است.

جدول ۱- مشخصه ها و عامل های دخیل در آزمون سایش

| واحد | سطح ۴ | سطح ۳ | سطح ۲ | سطح ۱ | عامل های کنترلی |
|----------------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| درجه سانتیگراد | ۵۵۰ | ۵۰۰ | ۴۵۰ | ۴۰۰ | دمای زغال گیری |
| نیوتن | ۲۰ | ۱۵ | ۱۰ | ۵ | باراعمالی |
| متر | ۱۲۵ | ۱۰۰ | ۷۵ | ۵۰ | مسافت ساییده شده |

جدول ۲- جدول طراحی و تحلیل تاگوچی برای آزمون سایش

| شماره آزمایش | دمای زغال گیری | باراعمالی | مسافت | نسبت سیگنال به نویز |
|--------------|----------------|-----------|-------|---------------------|
| ۱ | ۴۰۰ | ۵ | ۵۰ | ۴۴/۲۶۵۱ |
| ۲ | ۴۰۰ | ۱۰ | ۷۵ | ۴۳/۹۹۹۴ |
| ۳ | ۴۰۰ | ۱۵ | ۱۰۰ | ۴۲/۹۵۰۴ |
| ۴ | ۴۰۰ | ۲۰ | ۱۲۵ | ۴۱/۸۱۰۳ |
| ۵ | ۴۵۰ | ۵ | ۵۰ | ۴۵/۸۱۴۶ |
| ۶ | ۴۵۰ | ۱۰ | ۷۵ | ۴۵/۱۱۴۱ |
| ۷ | ۴۵۰ | ۱۵ | ۱۰۰ | ۴۴/۲۶۵ |
| ۸ | ۴۵۰ | ۲۰ | ۱۲۵ | ۴۲/۸۰۵۲ |
| ۹ | ۵۰۰ | ۵ | ۵۰ | ۴۴/۱۹۴۳ |
| ۱۰ | ۵۰۰ | ۱۰ | ۷۵ | ۴۳/۸۳۵۸ |
| ۱۱ | ۵۰۰ | ۱۵ | ۱۰۰ | ۴۵/۷۳۰۲ |
| ۱۲ | ۵۰۰ | ۲۰ | ۱۲۵ | ۴۶/۹۵۵۱ |
| ۱۳ | ۵۵۰ | ۵ | ۵۰ | ۴۴/۴۲۲۵ |
| ۱۴ | ۵۵۰ | ۱۰ | ۷۵ | ۴۴/۰۲۷ |
| ۱۵ | ۵۵۰ | ۱۵ | ۱۰۰ | ۴۵/۷۳۰۲ |
| ۱۶ | ۵۵۰ | ۲۰ | ۱۲۵ | ۴۷/۹۱۵۵ |



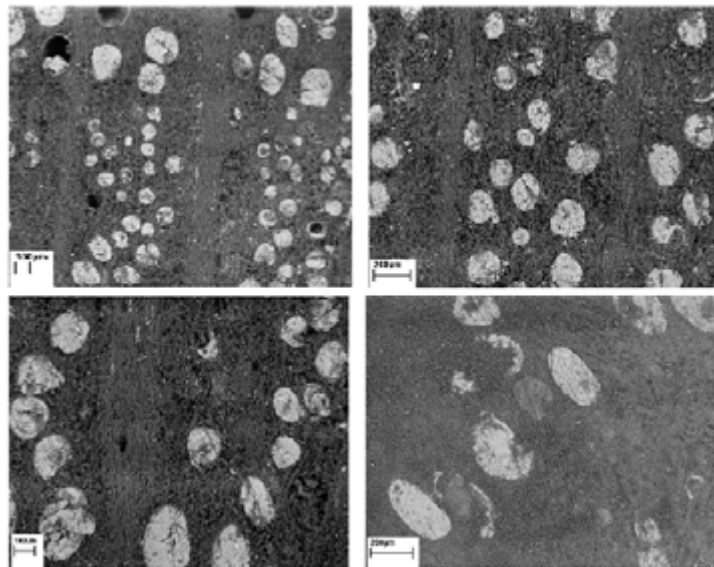
شکل ۳- روند تغییرات جرم حجمی کربن با دمای زغال گیری

جدول ۳- استحکام فشاری کربن نولیدی در دماهای آزمایش

| استحکام فشاری (مگاپاسکال) | دمای زغال گیری (°C) |
|---------------------------|---------------------|
| ۲۹/۳ | ۴۰۰ |
| ۳۲ | ۴۵۰ |
| ۳۶/۴ | ۵۰۰ |
| ۴۰/۱ | ۵۵۰ |

ضعیف تری دارند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پدیده دیگری را که حین آزمون سایشی رخ می دهد را نشان می دهد که جدایش بین فاز ماتریس و تقویت کننده در چندسازه است. گرمای ایجاد شده در اثر تماس مستمر صفحه و چندسازه و ضربات مکانیکی پس از آن باعث افزایش قابلیت حرکت رزین درون تخلخل های کربن می شود و ما شاهد حفره های خالی شده از پلیمر در سطح چندسازه می باشیم (شکل ۴). وجود ساختار لایه ای در ورقه های کربنی موجود در گرافیت و پیوند بین مولکولی ضعیف بین لایه ها، در زمینه چندسازه، خاصیت روانسازی به این چندسازه می بخشد.

در دوره های نخستین چرخش صفحه فولادی آزمون سایش، تکه های کوچک کربنی از سطح چندسازه کنده می شود و در اثر حرکت های بعدی صفحه روی سطح چندسازه پخش می شوند. وجود این تکه ها و ذرات پراکنده شده کربنی که دارای خاصیت خود روانکاری هستند، نرخ سایش مخصوص چندسازه را کاهش می دهد [۱۳]. کربن های تولید شده در دمای بالاتر دارای استحکام بالاتری هستند و دیرتر به وسیله صفحه فولادی از سطح ماده کنده می شوند بنابراین در لغزش خود روان ساز خود دیرتر وارد عمل می شوند. به همین دلیل چندسازه هایی که ماتریس کربنی آن ها در دماهای بالاتری تولید شده، ویژگی های مقاومت به سایشی



شکل ۴- ریزساختار چندسازه ساییده شده پس از آزمون سایش

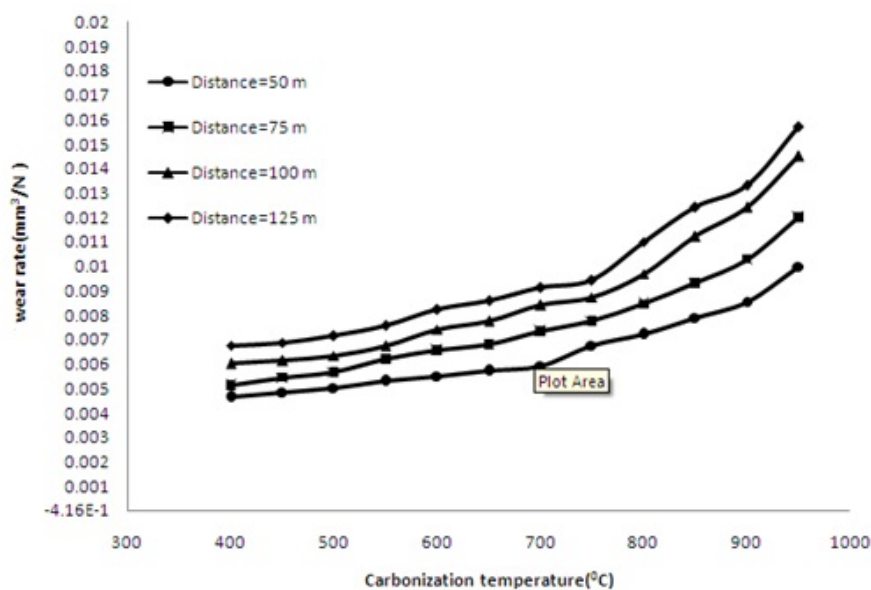
می چسبند و سطح مؤثر تماس بین صفحه و پلیمر را کاهش می دهند و در نتیجه نرخ سایشی مخصوص هم کاهش می یابد. در شرایط تماس بین پلیمر و فلز،

با خارج شدن رزین پلیمری از درون تخلخل های ماتریس، انباشتگی پلیمرها رخ می دهد. این ذرات پلیمری آلوده شده به سطح تماس صفحه فولادی

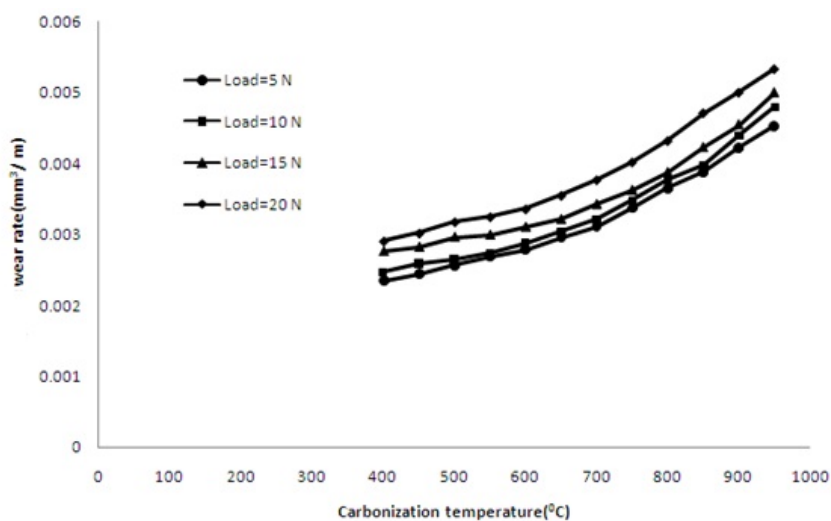
۷ تأثیر مسافت سایشی را روی نرخ سایشی مخصوص در بارهای مختلف نشان می دهد. همان طور که در سه شکل بالا نشان داده شده است؛ نرخ سایشی مخصوص با افزوده شدن دمای زغال گیری و مسافت سایشی به صورت نمایی افزایش می یابد که علت آن همان نقش زغال گیری به عنوان عامل خود روغن کار می باشد. مقاومت سایشی چندسازه با زیادتر شدن بار اعمالی روی سطح چندسازه به طور خطی افزایش می یابد.

هنگامی که زبری سطحی فلز، بالای ۰/۰۵ میکرومتر باشد سازوکار سایشی خراشی مهم ترین عامل است [۱۶] بنابراین بدلیل زبری سطحی بالاتر در تنظیم آزمایش ها، خراشیده شدن عامل کننده شدن ذرات پلیمری و چسبیدن آن ها به صفحه است.

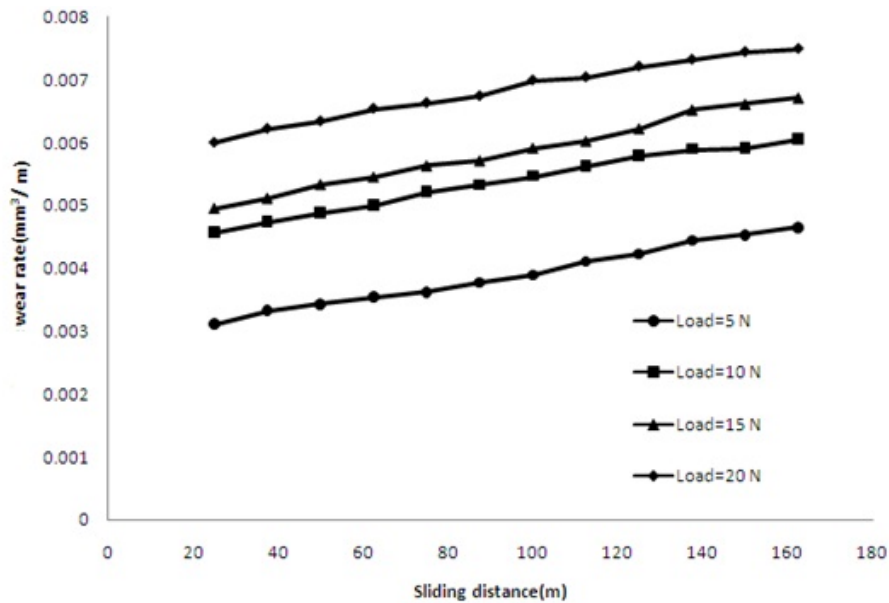
نمودار تأثیرات دمای زغال گیری بر روی نرخ سایش مخصوص چندسازه کربن اپوکسی در مسافت ها و بارهای مختلف در شکل ۵ و ۶ نشان داده شده است و نیز شکل



شکل ۵- تأثیر دمای زغال گیری روی نرخ سایش در مسافت های مختلف



شکل ۶- تأثیر دمای کربونیزاسیون روی نرخ سایش در بارهای مختلف



شکل ۷- تاثیر دمای مسافت سایش روی نرخ سایش در بارهای مختلف

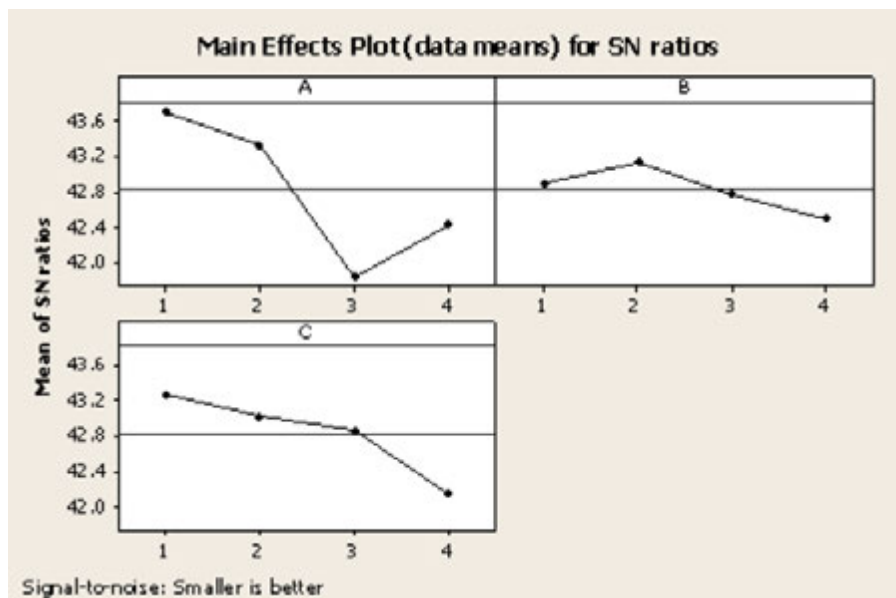
دمای زغال گیری مهم ترین عامل دخیل در سایش چندسازه است. مسافت ساییده شده و بار اعمالی به ترتیب دومین و سومین عوامل از نظر درجه اهمیت خواهند بود. تأثیر هر یک از عامل های کنترلی روی نتیجه آزمون ها در شکل ۸ آمده است. جدول سیگنال به نویز تاگوچی نشان می دهد که چیدمان A_1 , B_2 , C_1 در آزمایش سایشی منجر به حصول کمترین نرخ سایشی مخصوص می شود.

تحلیل سایشی به کمک طراحی آزمایش تاگوچی

بر پایه طراحی معین شده برای آزمایش و مقادیر به دست آمده برای نرخ سایش های مخصوص ۱۶ آزمایش، نسبت سیگنال به نویز برای هر آزمایش به دست آمده و در جدول ۳ آمده است. جدول پاسخ برای راهبرد سیگنال به نویز حالت هر چه کمتر، بهتر هم در جدول ۴ بیان شده است. با استفاده از قابلیت پیش بینی روش تاگوچی، نسبت سیگنال به نویز متوسط $43/8513$ برای این آزمایش ها به دست آمد و نیز نشان داده شده است که

جدول ۴- جدول پاسخ و تاثیر عامل های معین تاگوچی

| سطح | دما | بار | مسافت |
|------------|-------|-------|-------|
| ۱ | ۴۳/۷۱ | ۴۲/۹ | ۴۳/۲۸ |
| ۲ | ۴۳/۳۳ | ۴۳/۱۴ | ۴۳/۰۲ |
| ۳ | ۴۱/۸۵ | ۴۲/۷۷ | ۴۲/۸۶ |
| ۴ | ۴۲/۴۳ | ۴۲/۵۱ | ۴۲/۱۵ |
| رتبه اهمیت | ۱ | ۳ | ۲ |



شکل ۸- نمایش تاثیر مشخصه های کنترلی در نرخ سایش

می گیرد. آزمون فشار روی کربن و سایشی روی چندسازه انجام پذیرفت نشان داده شد که افزایش دمای زغال گیری، نرخ سایشی مخصوص چندسازه را افزایش می دهد و نیز افزایش مسافت ساییدن و بار هم باعث افزایش نرخ سایشی مخصوص می شود. میزان تأثیر و اهمیت هر یک از مشخصه های دخیل روی مقاومت سایشی چندسازه با روش طراحی و آزمایش تاگوچی معین شد.

نتیجه گیری

چوب خشک شده با حفظ همه ویژگی های ساختار تشریحی خود طی گرما دیدن در اتمسفر کنترل شده به یک بدنه متخلخل کربنی تبدیل شد. به دلیل این خاصیت ذاتی خارق العاده و پایداری شکلی تخلخل های موجود، خوراندن رزین اپوکسی به درون این حفره های امکان پذیر می باشد و چندسازه نهایی تولید می شود. پلیمر به درون حفره های بی شمار استوانه ای شکل کربن نفوذ می کند و ماده مرکب جدیدی بر پایه چوب شکل

منابع

- 1- C.E. Byrne, D.C. Nagle, Cellulose derived composites – A new method for materials processing, *Materials Research Innovations*, 1 (1997) 137-144.
- 2- C.E. Byrne, D.C. Nagle, Carbonization of wood for advanced materials applications, *Carbon*, 35 (1997) 259-266.
- 3- C.E. Byrne, D.C. Nagle, Carbonized wood monoliths--Characterization, *Carbon*, 35 (1997) 267-273.
- 4- C.S.M. Turney, D. Wheeler, A.R. Chivas, Carbon isotope fractionation in wood during carbonization, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70 (2006) 960-964.
- 5- D.H. Wu, M.S. Chang, Use of Taguchi method to develop a robust design for the magnesium alloy die casting process, *Materials Science and Engineering: A*, 379 (2004) 366-371.
- 6- D. Özçimen, A. Ersoy-Meriçboyu, A study on the carbonization of grapeseed and chestnut shell, *Fuel Processing Technology*, 89 (2008) 1041-1046.
- 7- G. Kranthi, A. Satapathy, Evaluation and prediction of wear response of pine wood dust filled epoxy composites using neural computation, *Computational Materials Science*, 49 609-614.
- 8- J. Aurrekoetxea, M. Sarrionandia, X. Gómez, Effects of microstructure on wear behaviour of wood reinforced polypropylene composite, *Wear*, 265 (2008) 606-611.

- 9- K. Ishimaru, T. Hata, P. Bronsveld, Y. Imamura, Microstructural study of carbonized wood after cell wall sectioning, *Journal of Materials Science*, 42 (2007) 2662-2668.
- 10- N.C. Brown, *Forest products, their manufacture and use*, J. Wiley, 1919.
- 11- O. Paris, C. Zollfrank, G.A. Zickler, Decomposition and carbonisation of wood biopolymers--a microstructural study of softwood pyrolysis, *Carbon*, 43 (2005) 53-66.
- 12- P. Gao, M. Wu, B. Li, Y. Liu, Structure characterization and oxidation mechanism study of porous biomorphic carbon template derived from basswood, *Materials Research Bulletin*, 44 (2009) 644-648.
- 13- S. M. Kwon, N.-H. Kim, D.-S. Cha, An investigation on the transition characteristics of the wood cell walls during carbonization, *Wood Science and Technology*, 43 (2009) 487-498.
- 14- T. C. Wang, T.-X. Fan, D. Zhang, G.-D. Zhang, The fabrication and wear properties of C/Al and (C + SiC)/Al composites based on wood template, *Materials Letters*, 60 (2006) 2695-2699.
- 15- T. C. Wang, T.-X. Fan, D. Zhang, G.-D. Zhang, Fabrication and the wear behaviors of the carbon/aluminum composites based on wood templates, *Carbon*, 44 (2006) 900-906.
- 16- Y. R. Rhim, D. Zhang, M. Rooney, D.C. Nagle, D.H. Fairbrother, C. Herman, D.G. Drewry Iii, Changes in the thermophysical properties of microcrystalline cellulose as function of carbonization temperature, *Carbon*, 48 31-40.

Technical Report**Fabrication of Wood-based Carbon/Epoxy Composite and Investigation its Wear Resistance Using Taguchi Method****H. Vafaenezhad*¹, S. M. Zebarjad¹ and J. Vahdati Khaki¹****Abstract**

Since wood is the main component of the applied raw materials, it can be used as matrix in carbon composite, also it can be taken into consideration as a cost effective advanced application and has this potential to suppress many expensive fabrication and finishing procedures. Wood samples from Oak tree (*Quercus suber*) were heated at different temperatures to produce porous carbon templates. Subsequently, the Carbonized wood was infiltrated with an epoxy in order to fabricate the final carbon/epoxy composite. Scanning electron microscopy was used to elucidate parameters affecting on microstructure and wear properties of products. In this context, design of experiments method (DOE) of Taguchi was implemented to analyze the wear performance of a new class of cellulose based composites. This work indicates that epoxy shows good reinforcement characteristics as it improves the sliding wear resistance of the carbon matrix and that factors like carbonization temperature, sliding distance and normal load are the important factors affecting the wear behaviors.

Keywords: Carbon composites, Carbonization, Wear, Taguchi method

* Corresponding author: Email: Hossein.vafa@gmail.com