



- ۱- نویسنده اول: اشکان مسیبی (دانشجوی کارشناسی ارشد رشته طراحی کاربردی دانشگاه بو علی سینا همدان)
- ۲- نویسنده دوم: محمد رضا پارسایان (دانشجوی کارشناسی ارشد رشته طراحی کاربردی دانشگاه بو علی سینا همدان)
- ۳- نویسنده سوم: عرفان طاهرخانی (دانشجوی کارشناسی ارشد رشته طراحی کاربردی دانشگاه بو علی سینا همدان)

مقاله کنفرانسی

تاثیر نانو مواد گرافنی در افزایش استحکام مواد کامپوزیتی پلیمری

چکیده

کامپوزیت به دلیل کاربرد زیاد در صنایع مختلف توانسته جایگاه بالایی در حوزه های مختلف به دست آورد، کامپوزیت ها با وجود گستردگی زیاد اما در برخی صنایع با معضلاتی همچون ضعف در ساختار روبرو هستند ما در این مقاله به بررسی استحکام مواد کامپوزیتی پرداخته ایم، با بررسی های انجام شده می توان با اضافه کردن نانو مواد گرافنی به پلیمر ها و کامپوزیت ها تا حد خیلی زیادی معضلات استحکام این مواد را بهبود بخشیم و در صنایع حساسی مانند صنایع هوا فضا و صنایع خودرو سازی که کاربرد های فراوانی دارد، اما به دلیل کم بودن استحکام برای استفاده از مواد کامپوزیتی رنج می برند اما با ساختار جدید با اضافه کردن نانو مواد گرافنی این معضلات حل شد، برای اضافه کردن نانو مواد گرافنی به کامپوزیت ها باید قبل از اینکه رزین ها را به الیاف فایبر اضافه کنیم محلول نانو مواد گرافنی را به رزین مخلوط کرده و بعد از آن اقدام به آغشته کردن مواد به فایبر کنیم، همین امر باعث ایجاد ویژگی های بسیار زیادی در کامپوزیت ها می شو مثلاً باعث رسانایی کامپوزیت های پلیمری می شود که ما فقط به استحکام کامپوزیت ها می پردازیم.

کلید واژه: کامپوزیت، گرافن، رزین، فایبر، مواد هوشمند

Composite materials, due to their extensive applications in various industries, have gained a significant position in different fields. Despite their wide usage, composites face challenges such as structural weaknesses in certain industries. In this article, we have examined the improvement of the strength of composite materials. Through our investigations, it is evident that adding graphene nanomaterials to polymers and composites can substantially enhance their strength, making them suitable for use in sensitive industries such as aerospace and automotive manufacturing. To incorporate graphene nanomaterials into composites, the graphene solution should be mixed with resin before adding it to fiber. This process imparts numerous properties to the composites, including conductivity.

Keywords: Composite, Graphene, Resin, Fiber, Smart Materials



مقدمه

گرافن یک ماده جدید و پیشرفته است که بسیاری از آن ها را در خود جای داده است کاربردهای احتمالی در پزشکی پایه و بالینی، انتخاب ترونیک و اتوماسیون ترکیبات گرافن می توانند موفق باشند به طور مداوم به عنوان بخشی جدایی ناپذیر از سیستم تحویل دارو استفاده می شود در ساخت ترانزیستورها، پردازنده های قطبی، صفحه نمایش لمسی، سلول های خورشیدی و در تولید ما- مواد برای ساخت تجهیزات حفاظت فردی - محصولات و تجهیزاتی ارائه شده در این مقاله به خواص فیزیکی و مکانیکی می پردازد. Katarzyna Kośla و همکارانش به بررسی گرافن یک ماده پیشرفته و جدید با کاربردهای فراوان در پزشکی پایه و بالینی، الکترونیک و اتوماسیون است.^{۱۵} ترکیبات گرافن می توانند به طور موفقیت آمیزی به عنوان بخشی از سیستم های تحویل دارو، در ساخت ترانزیستورها، پردازنده های قطبی، صفحات لمسی، سلول های خورشیدی و در تولید مواد برای ساخت تجهیزات حفاظت شخصی، یعنی محصولات و تجهیزاتی که برای حفاظت از سلامت و جان کاربران طراحی شده اند، استفاده شوند. مروری که در این مقاله ارائه شده است،^{۱۸} به خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت های حاوی گرافن یا ساختار آن و همچنین روش های به دست آوردن کامپوزیت های پلیمری، فلزی و سرامیکی با ساختارهای گرافنی می پردازد.^{۱۲} تجزیه و تحلیل داده ها در مورد استفاده بالقوه از گرافن و کامپوزیت های آن در تجهیزات حفاظت شخصی مانند سنسورهای نظارتی، لباس ها و تجهیزات امنیتی مانند زره بالستیک، کلاه ها و لباس های محافظ نیز مورد بررسی و خلاصه سازی قرار گرفته است.^۱

گرافن نازک ترین ماده شناخته شده برای انسان با ضخامت یک اتم و همچنین بسیار قوی است - حدود ۲۰۰ برابر قوی تر از فولاد علاوه بر این، گرافن رسانای عالی گرما و الکتریسیته است و دارد توانایی های جالب جذب نور این واقعاً ماده ای است که می تواند جهان را تغییر دهد،^۲ با پتانسیل نامحدود ادغام تقریباً در هر صنعتی گرافن همچنین می تواند به فلزات، پلیمرها و سرامیک ها برای ایجاد کامپوزیت اضافه شود که رسانا و مقاوم در برابر حرارت و فشار هستند.^۳ کامپوزیت های گرافن کاربردهای بالقوه زیادی دارند، D.V.Lohar تحقیقات زیادی گرافن می تواند به فلزات، پلیمرها و سرامیک ها اضافه شود تا کامپوزیت هایی ایجاد کند که رسانا و مقاوم در برابر حرارت و فشار هستند.^{۱۹} کامپوزیت های گرافنی کاربردهای بالقوه زیادی دارند و تحقیقات زیادی برای ایجاد مواد منحصر به فرد و نوآورانه در حال انجام است. پتانسیل کامپوزیت های گرافنی شامل ایمپلنت های پزشکی، مواد مهندسی برای هوافضا و انرژی های تجدیدپذیر و بسیاری موارد دیگر می باشد.^۷ در این مقاله مروری بر پژوهش های انجام شده است تا تکنیک های مختلف تولید کامپوزیت های گرافنی و خواص آن ها برای کاربردهای مختلف شناخته شوند.^{۵۴}

گرافن و پیکربندی های چند لایه آن مواد چند منظوره برای کاربردهای گسترده ای هستند. به ویژه می توان از آنها در تولید کامپوزیت های بر اساس ماتریس های فلزی، سرامیکی، پلیمری استفاده کرد. V.V. Kudryashov و همکارانش به بررسی.^۶

کامپوزیت های مواد تغییر فاز نانو (NPCM) با افزودن کسرهای جرمی ۱، ۲، و ۳ درصد مواد بسیار بالا تهیه شد. Ragul Kumar Kittusamy و همکارانش به بررسی^۷، بلورینگی آن ها مشابه PCM پایه برای نمونه با گرافن ۳ درصد، هدایت

حرارتی حالت جامد به میزان ۲۱۹.۸۹ درصد و حالت مایع حرارتی افزایش یافت.^۸ B. A. Widyaningrum و همکارانش به بررسی مواد کامپوزیتی، مواد مهندسی شده‌ای هستند که از ترکیب دو یا چند ماده تشکیل شده‌اند که در سطح ماکروسکوپی جدا و متمایز باقی می‌مانند، در حالی که یک جزء واحد را تشکیل می‌دهند. در این مطالعه، خواص مکانیکی GFRP (پلاستیک تقویت شده با فیبر شیشه‌ای)، نایلون و کامپوزیت آن‌ها با آلومینیوم بر اساس استاندارد ASTM D638-02a ارزیابی شد. در حین بارگذاری کششی، بیشترین کرنش و تنش به دست آمد.^{۱۴} بیشترین استحکام در کامپوزیت GFRP یافت شد، نه در آلومینیوم و کامپوزیت نایلون. مواد کامپوزیتی بهبود خواص مکانیکی را در مقایسه با مواد منفرد نشان دادند.^۹

از جنبه کاوش مواد کامپوزیت سبک وزن جایگزین برای اجزای ساختاری مخزن سوخت خارجی وسیله نقلیه هوافضا، مطالعات کار تحقیقاتی فعلی سه گرید مختلف از آلیاژ آلومینیوم تقویت شده با درصد وزنی گرافن متفاوت که از طریق متالورژی پودر (P/M) پردازش می‌شوند. Joel Jayaseelan و همکارانش به بررسی اکسید گرافن (GO) یکی از نانومواد برجسته است که در تولید مواد کامپوزیت سیمانی استفاده شده است. اکسید گرافن دارای خواص منحصر به فردی است که احتمالاً موجب افزایش استحکام و مقاومت بتن می‌شود.^{۱۸} در این مطالعه، عملکرد اکسید گرافن (GO) بر روی کارایی، استحکام و دوام بتن تازه و سخت شده ارزیابی شد. درصدهای مختلفی از اکسید گرافن به مقدار wt%۰.۰۱، wt%۰.۰۲، wt%۰.۰۳، wt%۰.۰۴ و ۰.۰۵٪ وزنی به سیمان اضافه شد.^۶ آزمایش‌های کارایی از نظر روانی بر روی بتن تازه حاوی GO انجام شد. آزمایش‌های استحکام فشاری، استحکام کششی برشی و استحکام خمشی بر روی بتن سخت شده حاوی GO در ۷ روز، ۱۴ روز و ۲۸ روز انجام شد. آزمایش‌های دوام مانند آزمایش نفوذپذیری سریع کلرید و جذب آب نیز نقش GO در بهبود ویژگی‌های عملکردی بتن را بررسی کردند.^{۱۳} نتایج نشان داد که افزودن اکسید گرافن (GO) ویسکوزیته را افزایش داده و روانی بتن را کاهش می‌دهد. نتایج افزایش استحکام فشاری، استحکام کششی برشی و استحکام خمشی به دلیل افزودن اکسید گرافن (GO) در دوزهای مختلف مشاهده شد. با دوز ۰.۰۳٪ وزنی اکسید گرافن، میانگین استحکام فشاری به ۸۵٪ در ۷ روز و ۹۳٪ در ۱۴ روز نسبت به استحکام ۲۸ روزه رسید. این نشان می‌دهد که استحکام اولیه می‌تواند با بتن حاوی GO به دست آید.^{۱۰}

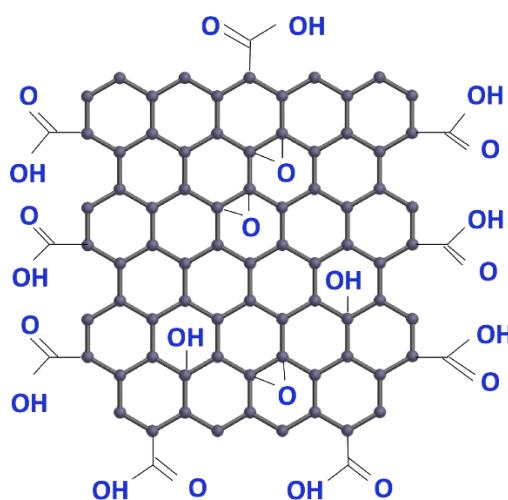
گرافن نوع جدیدی از مواد کربنی با عملکرد عالی است. نه تنها خوبی دارد خواص الکتریکی، مکانیکی و حرارتی، اما همچنین می‌تواند به عنوان پرکننده از مواد لاتکس طبیعی استفاده شود. Lin Li و همکارانش به بررسی نانوکامپوزیت‌های TiO₂ - اکسید گرافن کاهش یافته با بارگذاری‌های اکسید گرافن (GO) به میزان ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ میلی گرم از طریق روش درجا سل-ژل سنتز شدند. ماده اولیه اکسید گرافن، زغال پوسسته نارگیل بود که با استفاده از روش تغییر یافته هارمز با حل کردن گرافیت در مخلوط اسیدی H₂SO₄ و H₃PO₄ پردازش شد. کامپوزیت‌های rGO-TiO₂ با استفاده از پراش اشعه ایکس (XRD)، متر القایی، خازنی و مقاومتی (LCR-Meter) و طیف‌سنجی UV-Vis مشخصه‌یابی شدند. نتایج متر LCR نشان داد که بالاترین رسانایی الکتریکی نمونه ۵.۳۷ × ۱۰^{-۸} Scm-1 با ترکیب GO به میزان ۴ میلی گرم است. نتایج تحلیل XRD نشان داد که نمونه دارای هر دو فاز آاناتاز و روتیل است که فاز آاناتاز فاز غالب بود. فعالیت فوتوکاتالیستی نمونه با استفاده از راکتور فوتوکاتالیستی تحت تابش UV و با استفاده از متیلن بلو به عنوان آلاینده بررسی شد. کامپوزیت با بارگذاری GO به میزان ۴ میلی گرم بهترین درصد تجزیه را با رسیدن به ۸۱.۳۷٪ در ۱۵ دقیقه نشان داد.^{۱۱}

جایگزینی سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر راهی معنادار برای کاهش گرم شدن کره زمین و آلودگی هوا مواد تغییر فاز می‌توانند مقدار زیادی از مواد را ذخیره و آزاد کنند انرژی. پدیده انجماد یک عامل اساسی است که برای انتخاب باید در نظر گرفته شود.^{۱۲} Babapoor, Aziz (PCM). و همکارانش از جنبه بررسی مواد کامپوزیتی سبک جایگزین برای اجزای ساختاری مخزن سوخت خارجی وسایل نقلیه فضایی، پژوهش حاضر به مطالعه سه گرید مختلف آلیاژ آلومینیوم با درصدهای وزنی مختلف گرافن که از طریق روش متالورژی پودر (P/M) پردازش شده‌اند،^{۱۹} می‌پردازد. این کامپوزیت‌های فشرده

سبز تهیه شده تحت پردازش مایکروویو (زینترینگ)، اکستروژن داغ و عملیات حرارتی (T6) قرار گرفتند. کامپوزیت تقویت شده با نانوگرافن برای یکپارچگی ریزساختاری و استحکام مورد بررسی قرار گرفت. ماهیت تقویت گرافنی و وجود شیمیایی آن درون کامپوزیت نیز مطالعه شد و مشخص شد که کامپوزیت اکستروژن شده با عملیات حرارتی (HST) کمترین تشکیل کاربید (Al₄C₃) را نشان داد، به ویژه در کامپوزیت‌هایی که توسط مایکروویو پردازش شده‌اند.^{۲۵} علاوه بر این، نمونه‌های مختلف گریدهای تقویت شده با درصد‌های مختلف گرافن تحت آزمایش‌های مکانیکی مانند تست کشش و سختی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که کامپوزیت‌های تقویت شده با ۲ درصد وزنی گرافن، استحکام تسلیم و استحکام کششی نهایی بهبود یافته‌ای دارند.^{۲۸} مطالعات ریزساختاری و مورفولوژی شکست نیز انجام شد و ثابت شد که کامپوزیت پردازش شده از طریق روش مایکروویو رفتار خوبی از نظر چکش‌خواری و مکانیزم‌های شکست نویدبخش در سطوح بارگذاری بالا نشان می‌دهد.^{۱۳}

اهمیت افزایش استحکام کامپوزیت

کامپوزیت‌ها به دلیل گستردگی زیاد در صنایع مختلف و همچنین معضلاتی که استفاده از فلز در برخی صنایع ایجاد کرده با همه این‌ها استفاده از کامپوزیت به دلیل مختلف زیادی بر استفاده از فلزات ارجحیت دارد، به همین منظور باید بعضی معضلاتی که کامپوزیت‌ها با آن در صنعت روبرو هستند کاهش داد تا بتوان حداکثر استفاده را از آن‌ها کرد، یکی از معضلات استحکام کامپوزیت هست که در برخی صنایع مشکلاتی را به وجود آورده برای افزایش استحکام کارهای مختلفی می‌توان انجام داد که ممکن است هزینه زیادی را برای تولید به تولید کننده وارد کند.^{۱۴}



تصویر ۱-۱ تصویری از ساختار شیمیایی گرافن

بیان مسئله

-باید بتوان استحکام کامپوزیت را بهبود بخشید تا معضلات برخی از صنایع که در بحث کاهش استحکام کامپوزیت‌ها بود حل شود.

فرضیه‌ها

-محلول گرافن را میتوان به رزین مخلط کرد و الیاف کربن(فایبر) را به آن آغشته کرد.



-با اضافه نمودن گرافن به کامپوزیت میتوان قابلیت های مختلفی را به آن اضافه کرد که کاربرد آن در صنعت بی از بیش افزایش خواهد یافت.

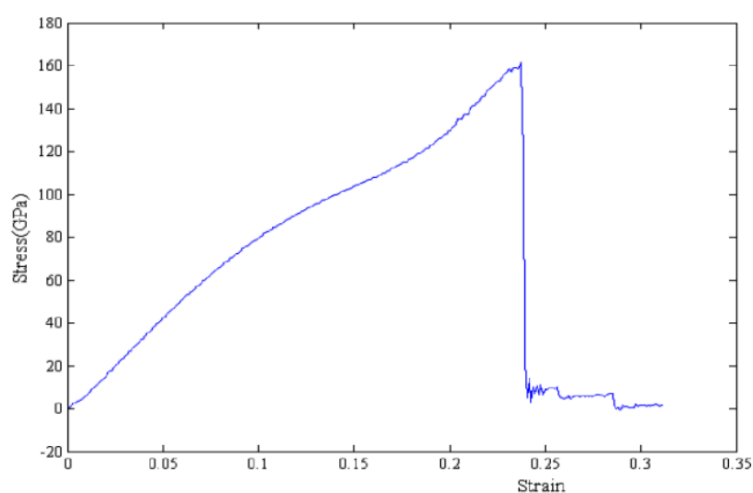
اهداف

-بالا بردن استحکام کامپوزیت

-افزودن ویژگی های مختلف به کامپوزیت

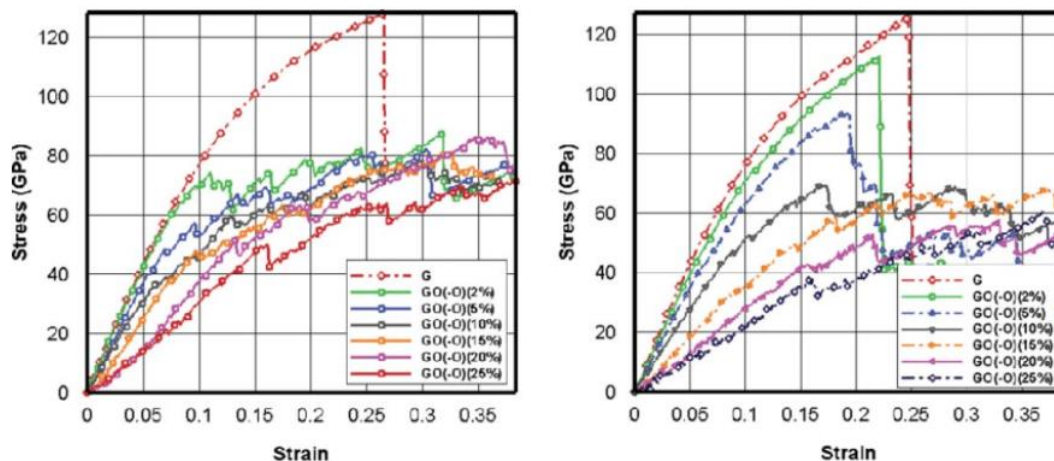
محیط و ابزار بررسی

با بررسی هم صورت گرفته در حوزه مواد هوشمند به این نتیجه رسیدیم که گرافن موادی از سال ۲۰۰۴ کشف شده یکی از بهترین موادی در دنیا هست که استحکام بسیار زیادی دارد، در شکل زیر منحنی تنش و کرنش برای یک صفحه ۵*۵ سانتی متری به ضخامت ۰.۰۱ میلی متری گرافن را مشاهده می کنید.^{۱۵}



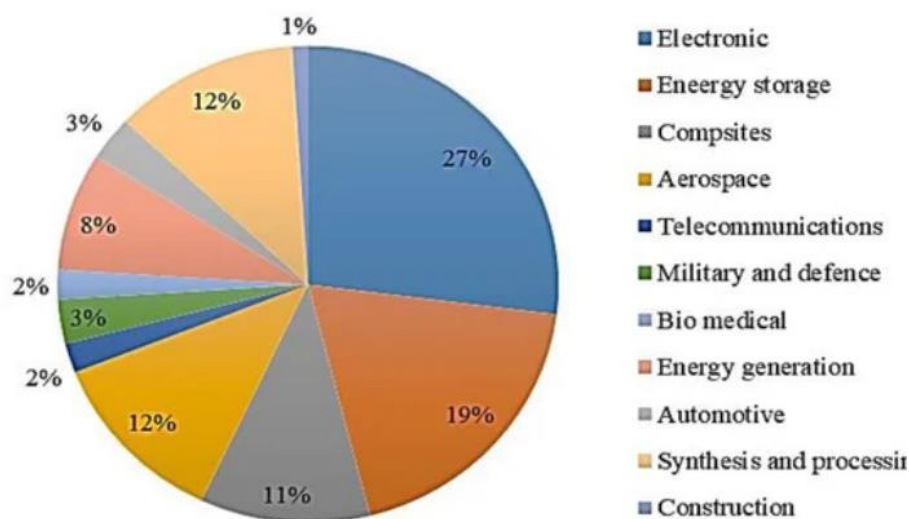
نمودار ۱- منحنی تنش و کرنش گرافن^{۱۶}

حال که با با تحقیقات مختلف گرافن را از مواد دیگر بهتر دانستیم، به بررسی استحکام کششی گرافن در درصد های مختلف می پردازیم، طبق نمودار زیر درصد های مختلفی به (O^-) و (OH) گرافن داده شده و باهم مقایسه شده است.^{۱۷}



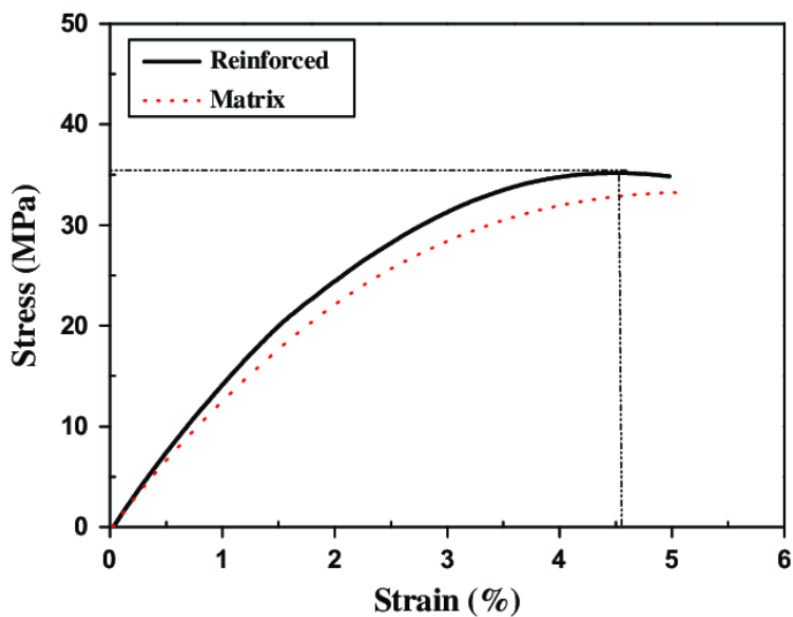
نمودار ۱-۲ تغییرات استحکام گرافن به تغییر درصد آن^{۱۸}

حال به بررسی کاربرد های مختلفی که در صنعت می تواند برپایه گرافن انجام شود می پردازیم بر همین اساس طبق نمودار زیر گرافن تاثیرات زیادی میتواند بر عملکرد صنعت داشته باشد.^{۱۹}



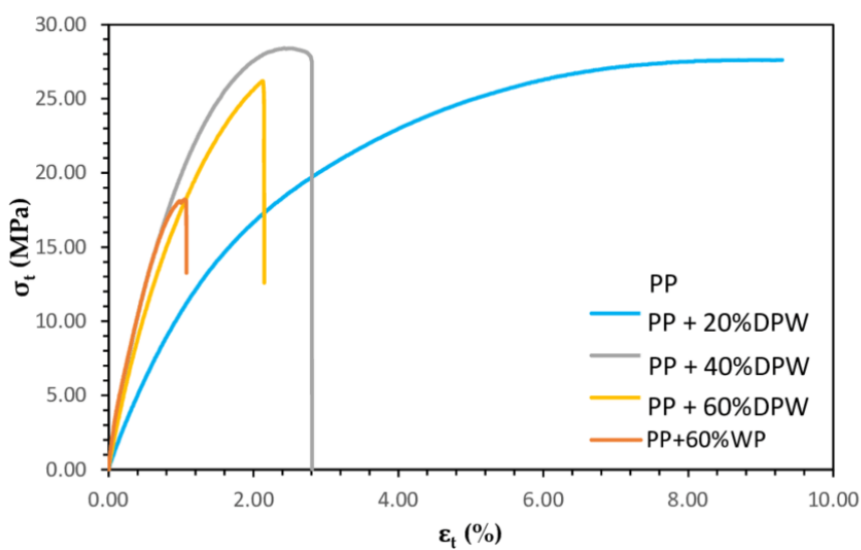
نمودار ۱-۳ تاثیرات گرافن بر قسمت های مختلف صنعت^{۲۰}

در ادامه به بررسی استحکام کامپوزیت ها می پردازیم که به مراتب خیلی کمتر از گرافن است و همین منظور باعث می شود نتوان از کامپوزیت در برخی مکان های که نیازمند استحکام بالایی است استفاده کرد، در نمودار زیر استحکام نمونه ایی از کامپوزیت زمینه پلیمری را مشاهده می کنید.^{۲۱}



نمودار ۴-۱ منحنی تنش و کرنش کامپوزیت زمینه پلیمری^{۲۲}

توسط تحقیقات زیادی که در حوزه کامپوزیت ها صورت گرفته می توان با تغییراتی در تولید کامپوزیت مانند کاهش یا افزایش ماتریس یا تغییرات در زاویه ها فایبر می توان استحکام کامپوزیت ها را افزایش در نمودار زیر با ایجاد تغییرات در حجم استفاده از ماتریس توانسته اند استحکام کامپوزیت را تغییر دهند.^{۲۳}



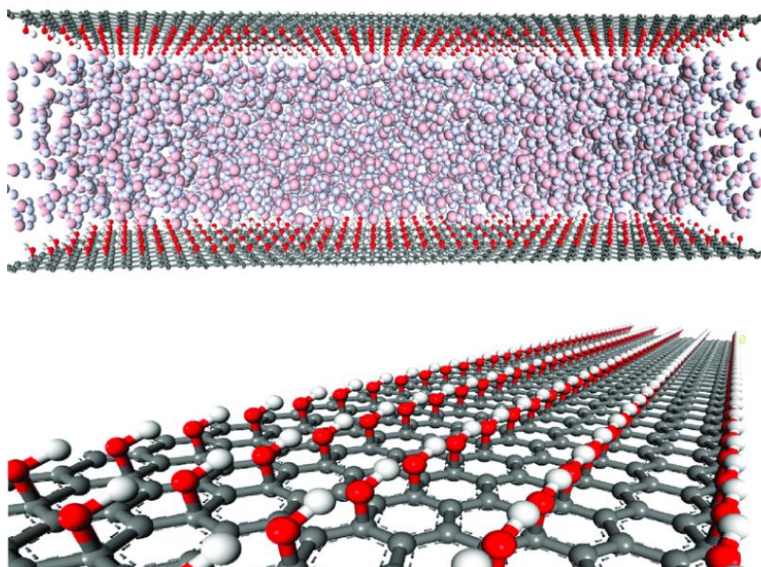
نمودار ۵-۱ منحنی تنش و کرنش کامپوزیت با تغییرات درصد ماتریس^{۲۴}

فرایند انجام کار



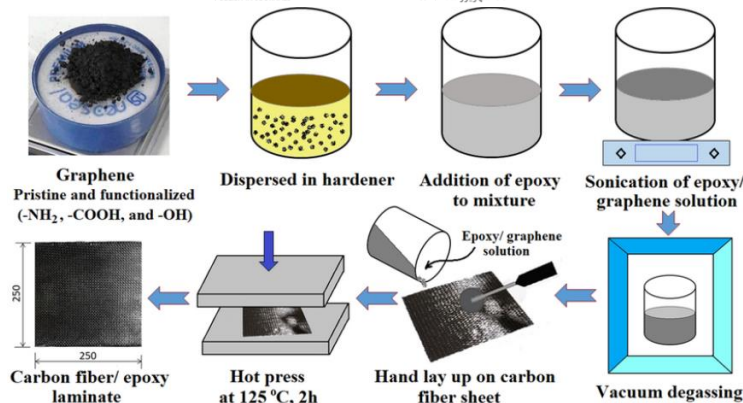
طبق مطالبی که در قسمت محیط و ابزار بررسی بیان شد گرافن موادی است با ساختار خاصی که دارد استحکام ۲۰۰ برابر فولاد دارد از طرفی کامپوزیت گستردگی زیادی در صنعت دارد اما به دلیل عدم استحکام بالا و مثال دیگر نمی توان از آن در برخی از مکان های حساس استفاده کرد بر همین اساس ما در این مقاله سعی کردیم با ترکیب گرافن و کامپوزیت و با برخی از مواد دیگری این معضل را رفع کرد، در این مقاله فقط به کامپوزیت های زمینه پلیمری می پردازیم و با کامپوزیت های زمینه فلزی به دلیل محدودیت در تزریق گرافن به فلز وجود دارد.

نکته اساسی: مقدار تزریق گرافن به رزین ۲ درصد حجم وزنی رزین است باید در تزریق رزین حداکثر دقت را داشته باشیم با افزایش بیش از حد گرافن ممکن است کامپوزیت خروجی خراب شود.



تصویر ۱-۲ تصویری از ترکیب مولکول های کربن با مولکول های گرافن را نشان می دهد.

در این فرایند اولین کار این است که رزین را تا ۵۰ درجه سانتی گراد گرم می کنیم باید توجه کرد اگر رزین بیشتر از این مقدار گرم شود امکان دارد خاصیت چسبندگی رزین از بین برود، بعد از اینکه رزین گرم شد محلول گرافن را با رزین مخلوط کرده و بعد می توانیم، فایبر را به آن آغشته کنیم ، البته می توانیم از پودر گرافن هم استفاده کنیم که در این صورت یک مرحله کار افزایش پیدا خواهد کرد و باید بعد از مخلوط پودر و رزین آن ها را داخل میکسر قرار دهیم تا در هم حل شوند و بعد ادامه فرایند فایبر آغشته به محلول میشود و کامپوزیت به وجود می آید.



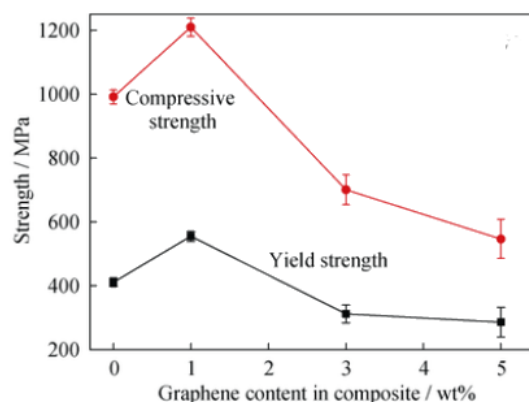
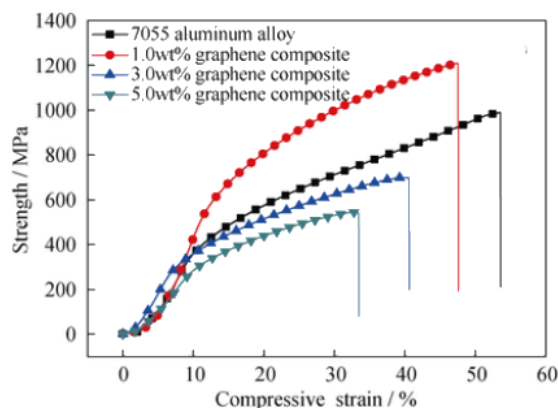
تصویر ۱-۳ تصویری از فرایند تولید مواد نانو گرافنی کامپوزیتی.

یافته های علمی

بعد از انجام مراحل و اتمام عملیات به یک نانو مواد گرافنی کامپوزیتی دست پیدا می کنیم، حال می توان در به دلیل استحکام بالایی که به وسیله گرافن در کامپوزیت به وجود آمده در صنایع مختلف کاربرد های زیادی داشته باشد، طبق نمودار زیر با افزودن گرافن بر کربن است طبق نمودار زیر هرچقدر مقدار درصد گرافن را تحت شرایط خاص افزایش دهیم، استحکام کامپوزیت افزایش می یابد ولی باید به دو نکته توجه داشت :

۱- با افزایش درصد گرافن رزین حالت چسبندگی خود را از دست می دهد و باید طبق نمودار دقت کرد که افزایش درصد گرافن باعث ممکن است باعث خراب شدن کامپوزیت خروجی شود، (درصد رزین در قسمت فرایند انجام کار آمده است).

۲- با افزایش گرافن باعث ترد تر شدن کامپوزیت می شود و ممکن است کامپوزیت انعطاف پذیری خود را نداشته باشد.



نمودار ۱-۶ منحنی تنش و کرنش مواد نانو گرافن کامپوزیتی

پیشنهادهای



می توان با افزودن گرافن به کامپوزیت علاوه بر استحکام شرایط خاص دیگری را برای کامپوزیت به وجود آورد برای مثال رسانایی یکی از مشکلات کامپوزیت ها در برخی صنایع عدم رسانایی این مواد است که می توان با افزودن گرافن کامپوزیت ها را به مواد رسانا تبدیل کرد.

منابع

- ¹ Preparation and properties of composite materials containing graphene structures and their applicability in personal protective equipment: A Review-Katarzyna Kośla*, Magdalena Olejnik, and Karolina Olszewska Received Nov 18, 2019; accepted Apr 23, 2020
- ² Green Synthesis of High-performance Graphene Reinforced Geopolymer Composites: A Review on Environment-Friendly Extraction of Nanomaterials- R. S. Krishna 1*, J. Mishra 1, A. Adetayo 2, S. K. Das3, 4 and S. M. Mustakim- Received: March 2020 Revised: July 2020 Accepted: August 2020
- ³ Incorporating nano graphene oxide to poly-methyl methacrylate; antibacterial effect and thermal expansion-Reem Gamal 1*, Yasser F. Gomaal, Ashraf M. Said- Received: 3 July 2019 Revised: 10 July 2019 Accepted: 10 July 2019
- ⁴ Literature Review of Graphene Composites-D.V.Lohar-Volume 6, Special Issue 1, January 2017
- ⁵ Synthesis and Characterization of Hybrid-Nano Graphene Oxide Composites Membranes for Water Treatment-Sammah Naeem Ghazi, Safaa Sabri Najim *, Ahmed Majeed Abbas- Received 19 January 2023 Accepted 27 March 2023 Published 01 April 2023
- ⁶ Dft Study Of Few-Layer Graphene-Metal Composites-V.V. Kudryashov, A.M. Ilyin *-Al-Farabi Kazakh National University, NNLOT, al-Farabi 71, 050040 Almaty, Kazakhstan-Vol. 2 (No. 2), 2015: 12-17
- ⁷ Study of self-healing capability of composite material with phase changing paraffin wax and graphene- Gondela Yaswanth Kumar 1, Kanu Priya Jhanji 2, Amit Kumar R- International Conference on Materials Science and Engineering (ICMSE 2022)
- ⁸ Performance Characteristics of Concrete With Nano- Graphene Oxide Inundations-Geetha Ellala*Shrihari Saduwale- August 2nd, 2022
- ⁹ SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION: COMPOSITE OF GRAPHENE OXIDE BASED PALM KERNEL SHELL WASTE WITH Fe3O4-B. A. Widyaningrum1, D. Apriani2, P. Amanda1, Ismadi1 and Sutanto- Date 13 Dec 2019
- ¹⁰ Poly(lactic acid) composites based on graphene oxide particles with antibacterial behavior enhanced by electrical stimulus and biocompatibility- Paulo Arriagada, 1 Humberto Palza, 1 Patricia Palma, 2 Marcos Flores,3 Pablo Caviedes 4- Received 2 August 2017; revised 7 November 2017; accepted 4 December 2017
- ¹¹ A Facile Route to Synthesize Nanographene Reinforced PBO Composites Fiber via in Situ Polymerization-Mingqiang Wang 1,†, Shuai Zhang 2,†, Jidong Dong 1,†, Yuanjun Song 1, Jiao Mao 1, Huaquan Xie 1, Yue Qian

1, Yudong Huang 1,* and Zaixing Jiang 1,2,*- Received: 24 May 2016; Accepted: 28 June 2016; Published: 4 July 2016

¹² The potential of nano graphene oxide and chlorhexidine composite membranes for use as a surface layer in functionally graded membranes for periodontal lesions- Syed Saad Bin Qasim 1 • Jasim Ahmed 2 • Maribasappa Karched 3 • Adel Al-Asfour 4 -Received: 8 August 2023 / Accepted: 20 November 2023 / Published online: 16 December 2023

¹³ The Performance Enhancement of Paraffin as a PCM During the Solidification Process: Utilization of Graphene and Metal Oxide Nanoparticles- Babapoor, Aziz*+; Haghighi, Ali Reza• Jokar, Seyyed Mohammad* Ahmadi Mezzin, Mehdi- Vol. 41, No. 1, 2022

¹⁴ Graphene-polymer Composites for Enhancing the Mechanical Properties- Graphene-polymer Composites for Enhancing the Mechanical Properties- To cite this article: Xiao Zhang et al 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 538 012001

¹⁵ Effects of nano-graphene on the physico-mechanical properties of bagasse/polypropylene composites-Majid Chaharmahali • Yahya Hamzeh • Ghanbar Ebrahimi • Alireza Ashori • Ismail Ghasemi-Received: 4 June 2013 / Revised: 25 August 2013 / Accepted: 3 September 2013 Ó Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013-

¹⁶ Synthesis of α -Al 2O₃-graphene composite: a novel product to provide multi-functionalities on steel strip surface-Tapan Dash1 • Tapan Kumar Rout 2 • Binod Bihari Palei3 • Shubhra Bajpai3 • Saurabh Kundu2 • Amar N. Bhagat2 • Bijoy Kumar Satpathy4 • Susanta Kumar Biswal 1 • Abhinay Rajput3 • Ashok Kumar Sahu 3 • Surendra Kumar Biswal-Received: 21 September 2019 / Accepted: 2 April 2020 / Published online: 1 June 2020 © Springer Nature Switzerland AG 2020

¹⁷ 3D printing of graphene-based polymeric nanocomposites for biomedical applications-Magda Silva 1,2,3†, Isabel S. Pinho1,2,3†, José A. Covas 3 , Natália M. Alves 1,2* and Maria C. -Paiva†:A- (۲۰۲۱)

¹⁸ Mechanical performance of graphenex/poly(ether ketone ketone) composite sheets by hot pressing-Q. B. Wang1 , D. L. Jia1 , X. H. Pei1 , X. L. Wu 2 , F. Xu2*, Z. H. Ye2 & H. X. Wang- 2۱۲:۴۱۱۴ (۲۰۲۲)

¹⁹ The potential of nano graphene oxide and chlorhexidine compositemembranes for use as a surface layer in functionally graded membranes for periodontal lesions-Syed Saad Bin Qasim 1 • Jasim Ahmed 2 •Maribasappa Karched 3 • Adel Al-Asfour-eceived: 8 August 2023 / Accepted: 20 November 2023 / Published online: 16 December 2023

²⁰ Advances in Preparation Methods and Conductivity Properties of Graphene-based Polymer Composites-Ali Tarhini1 • A. R. Tehrani-Bagha1-Received: 9 March 2023 / Revised: 25 May 2023 / Accepted: 2 June 2023 / Published online: 5 July 2023-

²¹ Influence of SiO₂ and nano graphene particles on the microstructure and mechanical behavior of A356 alloy metal composites-Samuel Dayanand1,a, S Manjunath Yadav1,b, Madeva Nagaral2,c, Satish Babu Boppana3,d, Manjunatha T H4,e, V Auradi5,f-Received 06 Nov 2023 - Accepted 18 Apr 2024

²² Experimental Study of the Probabilistic Fatigue Residual Strength of a Carbon Fiber-Reinforced Polymer Matrix Composite- Xiang-Fa Wu 1,2,* and Oksana Zholobko 1,- Received: 13 October 2020; Accepted: 19 November 2020; Published: 21 November 2020

²³ Experimental Analysis of Mechanical Properties of Composite Material Reinforced by Aluminium-Synthetic Fibers- Husain Mehdi1 , Anil Kumar1 , Arshad Mahmood2 , Manoj Saini1- Volume 4 Issue 2, (Year 2014)

²⁴ Thermal/Mechanical Response of a Polymer Matrix Composite at Cryogenic Temperatures- Karen S. Whitley and Thomas S. Gates Langley Research Center, Hampton, Virginia- March 2003