

# مروری بر بررسی تحلیل تنش در سیلندر کامپوزیتی دوار تقویت شده با نانولوله های کربنی

الناز فهیم آرا

دانشجوی دکتری تخصصی، مهندسی مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی، ری، ایران  
elnazfahimara@iausr.ac.ir

## چکیده

فناوری نانو و تولید مواد در ابعاد نانومتری موضوع جذابی برای تحقیقات است که در دهه اخیر توجه بسیاری را به خود معطوف داشته است. نانو کامپوزیت ها نیز به عنوان یکی از شاخه های این فناوری جدید، اهمیت بسیاری یافته اند به عنوان یک تعریف، نانوکامپوزیت ها مواد مرکبی هستند که لافل یکی از اجزاء تشکیل دهنده آنها دارای ابعاد در محدوده  $1-100\text{nm}$  می باشد و خود شامل سه دسته پلیمری، سرامیکی و فلزی هستند. در مواد نانو کامپوزیت به جزء پخش شونده که به صورت الیاف، صفحات مسطح ریز، ذرات و یا حتی حفره ها و ترکها و... در ابعاد نانو می باشند، فاز دوم یا فاز تقویت کننده و همچنین به جزء پیوسته که می تواند در ابعاد نانومتری و یا بالاتر باشد فاز زمینه گفته می شود زمینه یک فاز نرمی است با قابلیت شکل پذیری انتقال حرارت و چکش خواری خوب که فاز سخت تقویت کننده دارای سختی بالا ضریب انبساط حرارتی کم می باشد را در خود جای داده است. فاز تقویت کننده می تواند پیوسته یا ناپیوسته باشد. کامپوزیت ها با توجه به فاز زمینه که می تواند پلیمر، سرامیک، فلز باشد

**کلمات کلیدی:** تحلیل تنش، کامپوزیت، نانوالیاف کربنی

## ۱. مقدمه

فناوری نانو و تولید مواد در ابعاد نانومتری موضوع جذابی برای تحقیقات است که در دهه اخیر توجه بسیاری را به خود معطوف داشته است. نانو کامپوزیت ها نیز به عنوان یکی از شاخه های این فناوری جدید، اهمیت بسیاری یافته اند به عنوان یک تعریف، نانوکامپوزیت ها مواد مرکبی هستند که لافل یکی از اجزاء تشکیل دهنده آنها دارای ابعاد در محدوده  $1-100\text{nm}$  می باشد و خود شامل سه دسته پلیمری، سرامیکی و فلزی هستند. در مواد نانو کامپوزیت به جزء پخش شونده که به صورت الیاف، صفحات مسطح ریز، ذرات و یا حتی حفره ها و ترک ها و... در ابعاد نانو می باشند، فاز دوم یا فاز تقویت کننده و همچنین به جزء پیوسته که می تواند در ابعاد نانومتری و یا بالاتر باشد فاز زمینه گفته می شود.

در سال های اخیر مواد نانوکامپوزیتی به دلیل ویژگی های منحصر به فردی همانند استحکام زیاد، وزن کمتر، کارایی بیشتر، دوام و پایداری عالی و نیز رفتار مناسب در برابر آتش سوزی نسبت به مواد سختی نظیر بتن آلومینیوم دارای بیشترین کاربرد در صنایع متعددی همچون صنعت هوا فضای صنعت نفت - گاز - صنایع پلاستیک، صنعت برق و صنایع دریایی و صنعت خودروسازی می باشد. ارتعاش ورق های نانو کامپوزیتی بحث بسیار مهمی در زمینه کاربردهای مختلف نانوکامپوزیت ها می باشد. لذا در این راستا در این فصل به بیان کلیات و العاد مختلف نانو کامپوزیت ها پرداخته خواهد شد

علم مواد نانو کامپوزیت، توجه دانشمندان و مهندسان را در سال های اخیر به خود جلب کرده است. نتایج بررسی استفاده از بلوک های ساختمانی در ابعاد نانو، طراحی و ایجاد مواد جدید با انعطاف پذیری و پیشرفت های زیاد در خواص فیزیکی آن ها را ممکن می سازد. قابلیت ارتقاء کامپوزیت ها با استفاده از بلوک های ساختمانی با گونه های شیمیایی ناهمگن در رشته ها و بخش های مختلف علمی مطرح گردیده است. ساده ترین مثال ها از چنین طراحی هایی، به صورت طبیعی در استخوان اتفاق می افتد که یک نانوکامپوزیت ساخته شده از قرص های سرامیکی و چسب های آلی می باشد. بدلیل این که اجزاء سازنده یک نانو کامپوزیت دارای ساختارها و ترکیبات مختلف و خواص مربوط به آنها می باشد، کاربردهای زیادی را ارائه می دهند. از این رو موادی که از آنها تولید می شوند، می توانند چند کاره باشند. با الگو گرفتن از طبیعت و براساس نیازهای تکنولوژی های پدید

آمده در تولید مواد جدید با کاربردهای مختلف در آن واحد برای مصارف گوناگون، دانشمندان استراتژی های ترکیبی زیادی را برای تولید نانوکامپوزیت ها بکار برده اند. این استراتژی ها دارای مزایای آشکاری در تولید مواد دانه درشت مشابه می باشند. نیروی محرکه در تولید نانو کامپوزیت ها، این واقعیت است که آنها خواص جدیدی در مقایسه با مواد رایج ارائه می دهند [۱].

## ۲. کامپوزیت

اصطلاح زمینه و تقویت کننده در علم کامپوزیت استفاده می شود. زمینه یک فاز نرمی است با قابلیت شکل پذیری انتقال حرارت و چکش خواری خوب که فاز سخت تقویت کننده دارای سختی بالا ضریب انبساط حرارتی کم می باشد را در خود جای داده است. فاز تقویت کننده می تواند پیوسته یا ناپیوسته باشد. کامپوزیت ها با توجه به فاز زمینه که می تواند پلیمر، سرامیک، فلز باشد و همچنین فاز تقویت کننده که شامل طبیعت شیمیایی آنها (اکسیدها، کاربیدها و نیتريدها) و نوع شکل آنها (الیاف پیوسته، الیاف کوتاه و ویسکرز کروی) و جهت گیری آنها و روش تولید آنها طبقه بندی می شوند [۱]. که این طبقه بندی عبارتست از:

۱- کامپوزیت زمینه پلیمری

۲- کامپوزیت زمینه فلزی

۳- کامپوزیت زمینه سرامیکی [۱].

### ۱-۲. روش ذوبی در تولید (MMCs)

در روش های ذوبی فلز زمینه ذوب شده با فلز دوم ادغام می شود و کامپوزیت تولید می گردد. مانند روش های گردابی، نیمه جامد- نیمه مایع، ریخته گری کوبشی، پاشش همزمان، درجا و... [۱].

### ۲-۲. روش گردابی یا Vortex

در این روش یک همزن در داخل مذاب وجود دارد که عمل هم زدن را انجام می دهد. در حین هم زدن فاز دوم (سرامیک) از بالا وارد می شوند و مخلوطی از مذاب و سرامیک ایجاد می شود این مخلوط دوغاب کامپوزیتی نیز نامیده می شود. سپس از روش های مختلف ریخته گری می توان قطعات کامپوزیتی تولید کرد [۱]. محاسن عبارتست از:

۱- از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است چون به تجهیزات پیچیده ای نیاز نمی باشد.

۲- محدودیت در شکل و اندازه قطعات وجود ندارد.

۳- اگر تخلیل در حد قابل قبول باشد نیاز به فرآیند ثانویه نمی باشد.

۴- قابلیت بازیابی مجدد وجود دارد.

مشخصات روش گردابی را می توان به سه مورد اشاره کرد [۲]:

الف) انتخاب مواد اولیه: همه موارد انتخاب باید مد نظر قرار گیرد. همچنین چون زمان تماس مذاب با سرامیک نسبتاً طولانی است (در حین هم زدن و ریخته گری) امکان تخریب سرامیک بدلیل واکنش مخرب وجود دارد، پس باید در انتخاب مواد دقت کرد.

ب) اختلاف (ضریب انبساط حرارتی) زمینه و فاز دوم: چون از دمای بالا تولید می شوند این اختلاف سبب تشکیل دانسیته نابجایی در اطراف ذرات می شوند. در نتیجه ذره تحت فشار و زمینه تحت کشش می باشد. به این مسئله تطابق فیزیکی گویند این مسئله از لحاظ پیر سختی مفید است.

ج) خیس شوندگی: باید مد نظر قرار گیرد. عدم خیس شوندگی عدم اختلاط را به همراه دارد. گاهی اوقات برای تکامل خیس شوندگی ذرات پیش گرم شوند. مانند SiC که در ۹۰۰۰C به مدت ۱ تا ۳ ساعت حرارت می دهند. به دلیل:

۱- از بین رفتن رطوبت و ناخالصی های سطحی که باعث می شود کلوخه ای شدن اتفاق نیفتد.

۲- شیمی سطح تعویض می شود. با حرارت SiC تشکیل شده که باعث بهبود تر شوندگی می گردد [۲].

### ۲-۳. مخلوط سازی فاز دوم با مذاب

اولین مرحله جهت تولید کامپوزیت خوب توزیع ذرات فاز دوم در دوغاب است. در این مورد اکسیدهای سطحی را باید در نظر گرفت زیرا ایجاد مزاحمت می کنند. هم چنین برخورد بین ذرات نیز باید در نظر گرفته شود. مهمترین مسئله جهت توزیع ذوب هم زدن می باشد. جهت دستیابی به توزیع خوب در هم زدن، همزن باید شرایط خاصی داشته باشد. همزن هم می تواند جریان شعاعی و هم می تواند جریان محوری ایجاد کند وجود هردو جریان با هم بهترین حالت خواهد بود [۳]. جهت انجام بهینه هم زدن به پارامترهای زیر باید توجه کرد.

۳- شکل و تعداد همزن.

۴- سرعت چرخش همزن

۵- اندازه همزن.

۶- فاصله همزن از کف بوت.

#### ۲-۴. ریخته گری کوبشی

آهنگری در حال مذاب هم نامیده می شود. این روش دو تفاوت اساسی با ریخته گری تحت فشار دارد که عبارتند از:

۱- فشار در ریخته گری کوبش در دامنه  $55\text{MPa}$  تا  $200\text{MPa}$  می باشد ولی در ریخته گری تحت فشار

حداکثر  $15\text{MPa}$  می باشد.

۲- در روش کوبشی فشار با پایان انجماد ادامه دارد ولی در تحت فشار وقتی قالب پر می شود فشار قطع می شود.

به هر حال این روش در مقایسه با روش سنتی مزیت هایی دارد که عبارتند از:

۱- به خاطر فشار زیاد می توان قطعات را نزدیک به شکل نهایی تولید کرد.

۲- سرعت تولید بالاست.

۳- قطعات تولیدی با این روش فاقد تخلخل گازی و انقباضی هستند زیرا:

الف) به دلیل فشار زیاد نیازی به فوق گداز جهت سیالیست کافی نخواهیم داشت، لذا جذب گاز کاهش می یابد.

ب) چون تا پایان انجماد فشار ادامه دارد حفرات انقباضی کاهش می یابد.

۴- بدلیل انتقال حرارت سریع فلز زود منجمد می شود و فرصتی برای جدایش ندارد.

معایب ریخته گری کوبشی در کامپوزیت ها عبارتند از:

۱- فشار زیاد سبب تغییر شکل اولیه کامپوزیت می شوند. (شکلی از فاز دوم که آماده می شود، درون قالب قرار می

گیرد و سپس مذاب به داخل آن نفوذ داده می شود).

۲- با توجه به اینکه باید موادی با انجماد پوخته ای انتخاب کنیم در محدوده انتخاب آلیاژ محدودیت داریم.

۳- نیاز به تجهیزات پیچیده جهت اعمال فشار زیاد می باشد [۴].

#### ۲-۵. کامپوزیت های درجا

به طور کلی کامپوزیت درجا به کامپوزیت هایی اطلاق می شود که فاز دوم در اثر واکنش هایی درون مذاب تشکیل می شود.

۱- فاز دوم در اثر واکنش بین زمینه و یک عامل خارجی مثل گاز، مایع و جامد صورت می گیرد.

۲- فاز دوم در اثر واکنش یوتکتیک در مذاب صورت می گیرد.

به عنوان مثال برای نوع اول کامپوزیت های درجا، با وارد کردن گاز اکسیژن باعث تشکیل اکسید در مذاب به عنوان فاز دوم

می شود. محاسن نوع اول کامپوزیت های درجا عبارتند از:

۱- نیاز به فاز دوم به صورت الیاف یا ذرات نمی باشد.

۲- مشکلات عدم خیس شوندگی وجود ندارد.

۳- مسئله هم زدن نداریم.

۴- توزیع یکنواخت می باشد.

در مورد نوع دوم اگر شرایط انجماد توسط شیب حرارتی (G) سرعت (R) رشد کنترل شود آلیاژ به صورت یوتکتیک یا کامپوزیت

لایه ای و یا میله ای خواهد شد. محاسن نوع دوم کامپوزیت های درجا عبارتند از:

۱- افزایش استحکام.

- ۲- چسبندگی بیشتر ذرات.
  - ۳- عدم واکنش مخرب بین فاز دوم و زمینه.
- و همچنین معایب کامپوزیت های درجا به شرح ذیل می باشد :
- ۱- در اشکال پیچیده نمی توان انجماد جهت دار یا با جبهه مسطح داشت. پس مخصوص اشکال ساده می باشد .
  - ۲- باید آلیاژ کاملاً خالص باشد. فاز خالص جلوی رشد مزدوج را می گیرد [۵].

### ۳. روش های حالت جامد در تولید MMCs

- در این روشها نیازی به ذوب کردن آلیاژ زمینه نمی باشد و در حالت جامد کامپوزیت سازی انجام می شود .
- ۱- روش اتصال دیفوزیونی : در این روش الیاف بین دو ورق زمینه تمیز کاری شده قرار می گیرد ( مانند ساندویچ ) سپس تحت فشار ، دما و زمان قرار می گیرد در نتیجه اتصال نفوذی بین لایه ها و فاز دوم بوجود می آید .
  - ۲- روش نورد
  - ۳- روش اکستروژن
  - ۴- روش متالورژی پودر : شبیه به متالورژی پودر سنتی می باشد با این تفاوت که به پودر فلز، ذرات یا الیاف کوتاه سرامیکی اضافه می شود و محاسن متالورژی پودر به شرح ذیل است :
- الف) پیوند ذرات و زمینه خوب است.
- ب) توزیع خوب می باشد.
- ج) محدودیت در کسر حجمی ذرات نداریم [۵].
- به طور کلی محاسن روش های حالت جامد عبارتند از :
- ۱- نیاز به تجهیزات ذوب نمی باشد .
  - ۲- جدایش اتفاق نمی افتد.

### ۳-۱. تخلخل در کامپوزیت

- تخلخل در کامپوزیت های زمینه فلزی بیشتری از آلیاژهای فلزی است . با افزایش کسر حجمی ذرات مقدار تخلخل افزایش می یابد . دلایل این امر عبارتند از :
- ۱- در موقع هم زدن هوا و گازها وارد مذاب می شوند که به تخلخل تبدیل می شوند .
  - ۲- ذرات به همراه خود لایه هوارا وارد مذاب می کنند .
  - ۳- ذرات به عنوان مراکز جوانه زنی برای حلال های گازی عمل می کنند. هر چه زاویه تر شوندگی بین مذاب و ذره بیشتر باشد عمل جوانه زنی حباب هوا روی ذرات افزایش می یابد .
  - ۴- چون اغلب ویسکوزیته مذاب کامپوزیت بیشتر از ویسکوزیته آلیاژ می باشد عمل خروج گاز قبل از انجماد به کندی انجام می شود [۶].

### ۳-۲. خوردگی کامپوزیت ها

- نسبت به مواد مونولیتیک ضعیف هستند. خوردگی را به دو دسته تقسیم می کنیم که عبارتند از:
- ۱- حفره ای
  - ۲- گالوانیک
- عامل اصلی برای خوردگی کامپوزیت ها خوردگی گالوانیک می باشد. به دلیل حضور دو فاز متجانس در کنار هم پیل تشکیل می شود. جهت خوردگی ابتدا حفره ای شدن اتفاق می افتد که باعث می شود ماده خورنده به فصل مشترک برسد در نتیجه پیل تشکیل می شود. حال اگر جلوی حفره ای شدن را بگیریم مانع از خوردگی کامپوزیت خواهیم شد. در صورتیکه در MMCs در دمای بالا کاربردی داشته باشند خوردگی ممکن است از نوع خوردگی داغ هم باشد که شامل اکسیداسیون و هم شامل

گازهای خورنده می باشد. در خوردگی داغ ابتدا سطح قطعه خورده می شود و گازها خود را به فصل مشترک زمینه فاز دوم می رساند. به طور کلی دو عامل ممکن است اتفاق بیفتد:

- ۱- ورود به فصل مشترک و خورده شدن.
- ۲- ورود به فصل مشترک و تشکیل ترکیباتی که حجم بیشتری دارند که باعث ایجاد تنش می شود در نتیجه اتفاق می افتد [۷].

### ۳-۳. کامپوزیت های زمینه آلومینیومی

کامپوزیت های زمینه آلومینیومی جزو دسته مواد آلومینیومی با کارکرد بالا و سبک وزن به شمار می روند. فاز تقویت کننده در کامپوزیت های زمینه آلومینیومی می تواند الیاف پیوسته، ویسکرها یا ذرات باشند که کسر حجمی به کاررفته این فاز می تواند بین چند درصد تا ۷۰ درصد باشد. خصوصیات کامپوزیت های آلومینیومی مناسب متناسب با کاربردهای مورد نیاز در صنایع مختلف به وسیله اختلاط مناسب زمینه و تقویت کننده و روش ساخت مناسب بدست می آید [۵].

در حال حاضر کامپوزیت های زمینه آلومینیومی مختلفی با درجات مختلف توسط روش های گوناگون تولید می شود. ۳ دهه تحقیقات مستمر باعث بوجود آمدن دانش علمی سختی و پرباری در مورد اثرات ذاتی و غیر ذاتی تقویت کننده های سرامیکی روی خصوصیات فیزیکی- مکانیکی، ترمودینامیکی و سایش شناسی کامپوزیت های زمینه آلومینیومی گشت. در سال های اخیر، کامپوزیت های زمینه آلومینیومی در کاربردهای سازه ای و کاربردهای تکنولوژی پیشرفته نظیر فضاپیماها، صنایع دفاعی، اتومبیل و کنترل دما، وسایل ورزشی و تفریحی مورد استفاده قرار گرفته است [۴].

ذکر این نکته بسیار حائز اهمیت است که تحقیقات در مورد ریخته گری کامپوزیت های زمینه آلومینیومی تقویت شده توسط ذرات در طول دهه ۷۰ در هند بسیار گسترش یافته و در دنیای پیشرفته کنونی توانسته باعث تکامل صنایع مختلف گردد و در حال حاضر در فرآیندی پیوستن مواد و اختلاط مواد با یکدیگر نقش عمده ای دارد. این قسمت در حال حاضر مروری بر سیستم های AMC ۱ در ارتباط با نحوه فرآیند تولید، ریز ساختار، خصوصیات و کاربرد آنها دارد [۴].

در کامپوزیت های زمینه آلومینیومی یکی از اجزاء کامپوزیت، آلومینیوم یا آلیاژ آلومینیوم است که به عنوان فاز زمینه مورد استفاده قرار می گیرد. باقی اجزاء در این بستر آلومینیومی واقع می شوند و فاز تقویت کننده نامیده می شود که عمدتاً غیر فلزی و سرامیک هایی نظیر SiC و Al<sub>3</sub>C<sub>2</sub> می باشند. خصوصیات AMC ها می توانند با تغییر اجزاء کامپوزیت و کسر حجمی های آنها تغییر کند فواید اصلی کامپوزیت های زمینه آلومینیومی در مقایسه با مواد تقویت نشده به صورت زیر است:

- ۱- استحکام بیشتر
- ۲- سفتی ۲ بیشتر
- ۳- کاهش دانسیته (وزن)
- ۴- کارکرد بهتر در دمای بالا
- ۵- کنترل ضریب انبساط حرارتی
- ۶- افزایش کارکرد الکتریکی
- ۷- افزایش خصوصیات مقاومت به سایش و ساینده
- ۸- کنترل جرم
- ۹- بهبود قابلیت های دمپینگ

این فواید می تواند به صورت کمی باعث بهبود تعاریف بالا گردد. برای مثال: مدول الاستیک آلومینیوم خالص می تواند از ۷۰ Gpa به ۲۷۰ Gpa افزایش یابد یعنی با استفاده از فاز تقویت کننده الیاف پیوسته آلومینا به میزان ۶۰٪ حجمی این تغییر حاصل شد. از نقطه نظر دیگر، استفاده از ۶۰٪ حجمی الیاف آلومینا در زمینه خالص آلومینیوم باعث کاهش ضریب انبساط حرارتی از ۲۴ به ۷ می گردد. مشابه آن می توان کامپوزیتی با ۹- Al, Si ۲۰٪ SiC تهیه کرد که مقاومت به سایش آن برابر یا بهتر از آهن خاکستری ریخته گری شده باشد. تمام این مثال ها، این مطلب را بیان می کنند که می توان تمام خصوصیات آلومینیوم / آلیاژ آلومینیوم را تا ۲ یا ۳ حتی چندین برابر با انتخاب درست تقویت کننده با کسر حجمی مناسب بهبود داد و افزایش داد [۶].

سیستم های کامپوزیت های زمینه آلومینیومی می تواند ترکیبی از خصوصیات را به نحوی داشته باشد که تاکنون در هیچ سیستم تک جزئی مشاهده نشده است. در سال های اخیر، کامپوزیت های زمینه آلومینیومی در کاربردهای ساختاری و غیرساختاری و در بخش های مختلف مهندسی استفاده گردید می توان به کارکرد خوب، اقتصادی بودن و مزایای زیست محیطی آن اشاره کرد. مزیت عمده استفاده از AMC ها در صنایع حمل و نقل می توان به کاهش مصرف سوخت، کاهش صدا و کاهش آلاینده ها اشاره کرد، با افزایش سخت گیری ها در مورد آلوده نشدن محیط زیست و تأکید بهبود بر اقتصاد مصرف سوخت، استفاده از کامپوزیت های زمینه آلومینیومی در بخش حمل و نقل در سال های آتی امری اجتناب ناپذیر است [۷].

AMC ها می توانند جایگزین بسیار مناسبی برای مواد یک جزئی (مونولیتیک) مانند، آلیاژهای آلومینیوم، آهن و تیتانیوم و کامپوزیت های پایه پلیمری برای کاربردهای گوناگون باشند. در حال حاضر اینگونه به نظر می رسد که جایگزینی کامپوزیت ها به جای مواد تک جزئی زمانی می تواند به صورت گسترده مورد استفاده قرار گیرد که سیستم جدیدی دوباره طراحی گردد تا بتواند درصد حجمی و وزن بیشتری از مواد را در کامپوزیت کاهش دهد و ذخیره نماید. در حقیقت با توجه به بیانیه کنسول علم و صنعت انگلستان، کامپوزیت های زمینه آلومینیومی می تواند هم به عنوان جایگزینی برای مواد موجود (البته به صورت بهینه شدن) و هم به عنوان وسیله ای برای طراحی سیستم های تولید با تغییرات عمده در نظر گرفته شود [۸].

همچنین، با استفاده از روش های شکل دهی دقیق و تکنیک های تقویت کننده انتخابی، کامپوزیت های AMC می تواند به صورت اقتصادی برای کاربردهای تجاری به صورت گسترده یک راه حل قابل اطمینان باشند موفقیت های اخیر در کاربردهای نظامی و تجاری کامپوزیت های زمینه آلومینیومی نسبتاً توسط همین تغییرات جدید و نوآوری ها در طراحی قطعات و اجزاء بدست آمده است. با توجه به این مسائل و مشکلات، انجمن کامپوزیت های زمینه آلومینیومی در اروپا و آمریکا در حال تشویق کنسرسیوم ها و شبکه های تولیدی است تا از AMC ها در کاربردهای بیشتری در زندگی روزمره استفاده شود. در این قسمت مروری بر کامپوزیت های زمینه آلومینیومی با توجه به روش تولید، ریز ساختار و خصوصیات و کاربرد آنها می شود [۸].

#### ۴-۳. انواع کامپوزیت های زمینه آلومینیومی

کامپوزیت های زمینه آلومینیومی به ۴ نوع با توجه به نوع فاز تقویت کننده تقسیم می شوند:

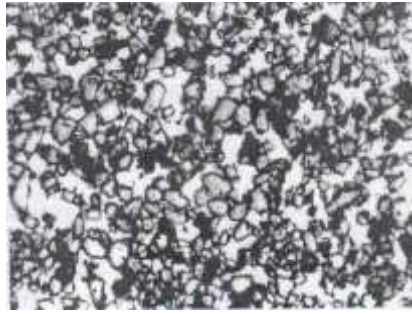
- ۱- تقویت شده با ذرات
- ۲- تقویت شده با الیاف کوتاه یا ویسکرها
- ۳- تقویت شده با الیاف پیوسته
- ۴- تقویت شده با بالک فیلامان ها

برخی از نکات مهم این ۴ نوع کامپوزیت ها به صورت تشریحی در ذیل آورده شده است [۱].

#### ۴-۵. کامپوزیت های زمینه آلومینیومی تقویت شده با ذرات (PAMC)

این کامپوزیت ها به طور کلی شامل تقویت کننده هایی با اندازه تقریباً یکسان و کوچکتر از ۵ میکرون باشند. تقویت کننده های سرمایی به طور کلی اکسیدها، کاربیدها هستند و دارای کسر حجمی کمتر از ۳۰٪ در کاربردهای ساختاری و ضد سایش و بیش از ۷۰٪ در کاربردهای الکترونیکی می باشند. به صورت کلی، این دسته از کامپوزیت ها می توانند هم توسط روش حالت جامد (فرآیند RM) و هم حالت مایع (ریخته گری تلامپی، نفوذ دهی و درجا) تهیه شوند [۱].

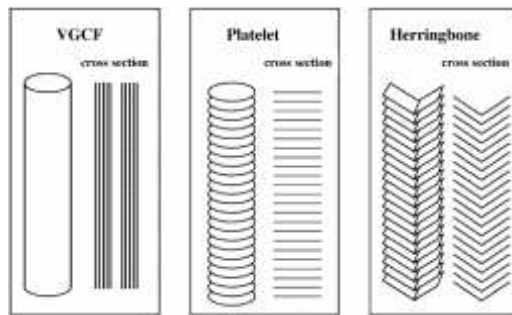
خصوصیات مکانیکی PAMC ها نسبت به الیاف پیوسته/کوتاه/ویسکر ضعیفتر و نسبت به آلومینیوم هایی که اصلاً تقویت نشده اند دارای خصوصیات مکانیکی بسیار بهتری هستند. این کامپوزیت ها به صورت ایزوتروپیک هستند و می توانند تحت فرآیند های شکل دهی ثانویه نظیر اکستروژن، رولینگ و آهن گری قرار بگیرند [۱].



شکل ۱-۱ ریز ساخار کامپوزیت های زمینه آلومینیومی ریخته گری شده را که حاوی بیش از ۴۰٪ ذرات تقویت کننده SiC هستند [۱].

### ۳-۶. نانوالیاف کربنی (Carbon Nano-Fibers-CNFs)

نانوالیاف کربنی، نانوساختارهای استوانه ای با لایه های گرافن می باشند که به صورت های مخروط انباشته<sup>۱</sup>، فنجان (Cups)، و یا صفحات (Plates) و بدون هسته ی توخالی<sup>۲</sup>، اما با سایت های لبه ای بسیار در دیوار بیرونی مرتب شده اند (شکل ۳-۱). VGCFs (فیبر کربن رشد یافته از بخار) و انواع کوچکتر آنها از نظر اندازه، VGCFNs (نانوالیاف کربن رشد یافته از بخار)، از جمله فیبرهای کربنی کوتاه می باشند که بعلاوه پتانسیل آنها برای پیشرفت خواص حرارتی، الکتریکی، محافظ فرکانس و مکانیکی توجه زیادی را به خود معطوف کرده اند. این مواد به طور گسترده در سیستم های مختلف مانند کامپوزیت ها مورد استفاده قرار می گیرند که به دلیل خواص استثنایی و قیمت پائین آنها می باشد [۱۰].



شکل ۳-۱: ساختار انواع نانوالیاف های کربنی [10].

### ۳-۷. نانولوله های کربنی (Carbon Nanotubes)

از زمان کشف نانولوله های کربنی در سال ۱۹۹۱، این ساختارها به دلیل خصوصیات منحصر به فرد در زمینه های بسیار متنوعی مورد توجه قرار گرفته اند. نانولوله های کربنی از واحدهای کربنی<sup>۲</sup> تشکیل شده اند. آنها یک ساختار یکپارچه با شبکه های شش وجهی لانه زنبوری با قطر چند نانومتر و طول چند میکرومتر دارند. دو گروه از نانولوله های کربنی وجود دارند: نانولوله های کربنی چند جداره<sup>۳</sup> و نانولوله های کربنی تک جداره. نانولوله های کربنی چند جداره<sup>۴</sup> را می توان به صورت لوله های گرافنی متراکم و نزدیک به هم با لایه های متعددی از ورقهای گرافنی تعریف کرد که با حفره ای با قطر به طور معمول ۲ تا ۲۵ نانومتر متحدالمرکز با فاصله ۰,۳۴ نانومتر از هم جدا شده اند [۱۰].

نانولوله کربنی تک جداره از یک ورقه گرافیتی تک که به طور یکپارچه پیچیده شده است تشکیل شده و یک استوانه با قطر ۱-۲ نانومتر را ایجاد کرده است.

نانولوله های کربنی می توانند مانند فلزات یا نیمه رسانه ها عمل کنند و با توجه به ساختار، قطر و چرخش خواص فلزی یا نیمه رسانا داشته باشند. مجموعه اندازه، ساختار و توپولوژی نانولوله ها باعث ایجاد خصوصیات مکانیکی و سطحی مهم در این

<sup>۱</sup> Stacked Cones  
<sup>۲</sup> No Hollow Core  
<sup>۳</sup> Multi-Walled Carbon Nanotubes  
<sup>۴</sup> Single-Walled Carbon Nanotubes

ترکیبات می شود. ساختار نانولوله های کربنی سراسر از کربن های هیبرید شده  $\gamma$ sp تشکیل شده است که به طور قابل توجه از کربن های هیبرید شده  $\beta$ sp در الماس قویتر هستند.

در واقع نانولوله های کربنی پایداری شیمیایی خوبی دارند و دارای استحکام کششی منحصر به فرد (۱۰۰ برابر بیشتر از استیل و ۱۰ برابر قویتر از Kelvar (مارک تجاری برای فیبر های سنتزی پارا آمید) و مدول یانگ بالا (مدول الاستیسیته: نسبت تنش به تنش مواد جامد خطی در پایین تر از استحکام تسلیم، استحکام تسلیم: میزان تنشی که باعث آغاز تغییر فرم پلاستیک یا شارش ماده می شود) (۷ برابر استیل) می باشند. علاوه بر این نانولوله های کربنی با مساحت سطح تا  $2m^2/g$  از آلومینوم سبک تر است و تا دماهای بالای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد پایداری حرارتی دارد و هدایت حرارتی آن  $6000 W/mK$  است که دو برابر الماس می باشد. مهم این که الکترونها بسته به نحوه آرایش نانولوله های کربنی به طور متفاوتی در طول نانولوله حرکت می کنند که باعث ایجاد خصوصیات نیمه رسانه یا فلزی در این مواد می شود [۱۰].

### ۳-۸. روش های شناخته شده برای تهیه نانولوله های کربنی

فرساب یا قطع لیزری<sup>۵</sup> تخلیه قوس الکتریک<sup>۶</sup> تجزیه کاتالیزوری هیدروکربن ها تبدیل CO با فشار بالا<sup>۷</sup> لایه نشانی بخار شیمیایی مواد آلی فلزی<sup>۸</sup>.

در این روش CNT با کاپرالیته، قطر و طول متفاوت سنتز می شود. به علاوه، کربن هایی که در ساختار CNT شرکت نکرده اند و باقیمانده کاتالیستهای فلزی در محصول نهایی وجود دارند. ذکر این نکته حائز اهمیت است که خارج کردن محصولات فرعی و ناخالصی ها نسبت به تهیه این ترکیبات بسیار پرهزینه تر می باشد [۱۰].

### ۴. پژوهش های صورت گرفته در این راستا

آکاواچی و همکاران در پژوهشی به بررسی تأثیر تئوری تنش برشی بر روی ارتعاش آزاد و تنش ورق مستطیلی هدفمند بر روی بستر الاستیک پرداخته است. آکاواچی در این پژوهش بستر الاستیک خود را بستر خطی دو پارامتری پسترناک در نظر گرفته است. همچنین با روش حل تئوری مرتبه ی بالا تحلیل ارتعاشات آزاد ورق مستطیلی هدفمند را انجام داده است و برای صحت گذاری نتایج کار، معادلات را با حل معادلات به روش ناور تطبیق داد [۹].

هاشمی و همکاران در پژوهشی به بررسی ارتعاشات ورق دایروی از جنس مواد هدفمند با شعاع متغیر پرداخته است. در این ارتعاش آنان به بررسی ورق دایروی هدفمند بر بستر الاستیک پسترناک پرداخته اند و شرایط مرزی گوناگون را برای این تحلیل انجام داده اند و تئوری کلاسیک برای تئوری تحلیل ورق ها در این پژوهش برگزیده شده است. از دیگر شرایطی که در این پژوهش لحاظ شده است، ثابت فرض نمودن ضریب پواسون می باشد [۱۰].

ماتسونگا در پژوهشی به بررسی ارتعاش آزاد و پایداری صفحات توابع مندرج با توجه به تئوری تغییر شکل مرتبه ی دوم و مراتب بالاتر، پرداخته است. او در این پژوهش با توجه به تأثیرات ضرایب تنش های برشی و تأثیرات ضرایب پواسون به بررسی تنش های خمشی و فرکانس های طبیعی ورق و تئوری مورد نظر خود پرداخته است. همچنین او تئوری مرتبه ی دوم خود را با اعمال در قانون همپلتون به دست آورده است [۱۱].

ژانگ در پژوهشی به مدلینگ و آنالیز صفحات FGM با سطح ورق طبیعی و با استفاده از تئوری تنش برشی مرتبه بالا پرداخته اند. آنان در این پژوهش موفق شدند مدل ورق FGM را با سطح فیزیکی کاملاً صاف واقعی بسازند. آنها نشان دادند که سطح فیزیکی طبیعی مدل بادها تغییر می کند، در نتیجه جابه جایی ها در فرم های متفاوت ظاهر می شوند، به صورتی که آثار ترکیبی خمشی و کششی در معادلات سوسپته ظاهر نمی شوند و معادلات حاکم به صورت فرم های ساده هستند، در نتیجه مراحل حل شبیه صفحه ی ایزوتروپیک همگن می باشد [۱۲].

<sup>۵</sup> Laser ablation

<sup>۶</sup> Electric ARC discharge

<sup>۷</sup> HIPCO

<sup>۸</sup> MOCVD



ردی و همکاران به حل تحلیل خمش، ارتعاش و تنش ورق FGM با استفاده از ترکیب تئوری مرتبه ی سوم و قوانین تنش، پرداخته اند. آنان همچنین در این تحلیل به بررسی اثر نحوه ی پخش در ضخامت و تأثیرات نوع پخش در ساختار ماده پرداخته اند و این تحلیل را به صورت مجزا برای تنش، خمش و ارتعاش ورق FGM انجام داده اند [۱۳].

آنگ و همکاران در پژوهشی به بررسی تنش ورق میندیلین، مبتنی بر روابط جابجایی در صفحه، پرداخته اند. آن ها ابتدا قوانین حاکم بر حرکت صفحات میندیلین را بر اساس جنبه های جابه جایی و تعداد درجات آزادی بازنویسی نمودند و سپس براساس این قوانین بازنویسی شده ماتریس های سختی و جرم صفحه ی مورد نظر بدست آمده و فرکانس های طبیعی را بر مبنای قوانین تنش به دست آورده اند [۱۴].

لیو و همکاران در تحقیقی به حل دقیق ارتعاش ورق های ارتوتروپیک مستطیلی شکل تئوری میندیلین پرداخته اند. آنان حل دقیق دسته را برای ورق ارتو تروپیک مستطیلی میندیلین با استفاده از روش جداسازی متغیرها، ارائه نمودند - همچنین آنان حل دقیق ورق اورتوتروپیک مستطیلی را با ورق های دیگری از جمله ورق ایزوتروپیک مستطیلی نیز مورد بررسی و تطبیق نتیجه پرداخته اند و برای صحنه گذاری نیز با روش P-Riez تطبیق داده اند [۱۵].

اوهیا و همکاران به بررسی تنش ورق مستطیلی میندیلین با روش جمع آثار باستون های داخلی مستقر بر گوشه های الاستیک پرداخته اند. آنان در این تحقیق بستر مورد نظر را در حالت های سه گانه ی جانبی - چرخشی و برشی تحلیل نموده اند. آنان نشان دادند پایداری صفحه و ستون ها منوط به یکسان بودن چرخش صفحه و ستون ها می باشد و با مثال های عددی میزان تأثیر تعداد ستون ها را بر فرکانس ارتعاش ورق تحلیل نموده اند [۱۶].

پرادهان و همکاران به بررسی ارتعاش آزاد تیر تیمبو شنکو - اویلر از جنس مواد هدفمند با روش ریلی - رتیز پرداخته اند. آنان در این پژوهش شرایط مرزی گوناگون را مورد بررسی و تحلیل قرار داده اند. مبنای این تحلیل ها روش کلاسیک و روش مرتبه ی اول برشی است. نتایج مختلف بدست آمده برای شرایط مندی مختلف با هر دو روش مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است [۱۷].

هو و همکاران به بررسی و تحلیل صفحات در هم پیچیده و تاب خورده با استفاده از تئوری مرتبه ی اول تنش برشی پرداخته اند. آن ها روابط خود را بر اساس تئوری عمری ورق ها و شل ها و تئوری مرتبه ی اول برشی بنا نهادند و روابط بین تنش - تنش معادلات خود را بر مبنای تانسور تنش گرین، قرار دادند و همچنین معادلات تعادل بر مبنای کار مجازی تحلیل شده است. همچنین آن ها برای صحنه گذاری کار خود، نتایج را بر روی تیر یک درگیر دار «کانتلیور» اعمال کردند و نتایج منطبق بر مراجع تیر مورد نظر، نشان از صحت کار آنها بود [۱۸].

لی و همکاران در پژوهشی به محاسبه ی فرکانس طبیعی و پاسخ ارتعاش اجباری و تحلیل نیروهای تنشی ورق های مخروطی با استفاده از روش ریلی - رتیز پرداخته اند. آنان در این تحلیل نیز از اعمال روش ریلی - رتیز و قاعده ی همپلتون بر روی معادلات خود استفاده نموده اند. همچنین شرایط مرزی مختلف برای ورق مخروطی شکل در این تحلیل لحاظ شده است. فرکانس های طبیعی با حل مقادیر و بردارهای ویژه ی معادلات حرکت و ماتریس های سختی و جرم بدست آمده اند و نتایج عددی و مثل های عددی این پژوهش با مراجع معتبر سنجیده شده است [۱۹].

افتخاری و همکاران در تحقیقی به بررسی یک روش ترکیبی برای تنش ورق های مستطیلی پرداخته اند. آنها در این تحلیل به ترکیب دو روش ریلی و تفاضل مربعات پرداخته اند. در این پژوهش ابتدا نتایج با مشتقات جزئی با در نظر گرفتن شرایط اولیه و شرایط مرزی، با روش ریلی رتیز بررسی شد و سپس شرایط مرزی بر اساس گسسته سازی های صورت گرفته در روش تفاضل مربعات با معادلات موجود ترکیب شده اند و نتایج با مراجع معتبر سنجیده شده است [۲۰].

## ۵. نتیجه گیری و پیشنهادات

فناوری نانو و تولید مواد در ابعاد نانومتری موضوع جذابی برای تحقیقات است که در دهه اخیر توجه بسیاری را به خود معطوف داشته است. نانو کامپوزیت ها نیز به عنوان یکی از شاخه های این فناوری جدید، اهمیت بسیاری یافته اند به عنوان یک تعریف، نانو کامپوزیت ها مواد مرکبی هستند که لاقط یکی از اجزاء تشکیل دهنده آن ها دارای ابعاد در محدوده ی  $100\text{nm}$  -

۱ می باشد و خود شامل سه دسته پلیمری، سرامیکی و فلزی هستند. در مواد نانو کامپوزیت به جزء پخش شونده که به صورت الیاف، صفحات مسطح ریز، ذرات و یا حتی حفره ها و ترک ها و... در ابعاد نانو می باشند، فاز دوم یا فاز تقویت کننده و همچنین به جزء پیوسته که می تواند در ابعاد نانومتری و یا بالاتر باشد فاز زمینه گفته می شود. از زمان کشف نانولوله های کربنی در سال ۱۹۹۱، این ساختارها به دلیل خصوصیات منحصر به فرد در زمینه های بسیار متنوعی مورد توجه قرار گرفته اند. نانولوله های کربنی از واحدهای کربنی  $sp^2$  تشکیل شده اند. آنها یک ساختار یکپارچه با شبکه های شش وجهی لانه زنبوری با قطر چند نانومتر و طول چند میکرومتر دارند.

دو گروه از نانولوله های کربنی وجود دارند: نانولوله های کربنی چند جداره و نانولوله های کربنی تک جداره. این کامپوزیت ها به طور کلی شامل تقویت کننده هایی با اندازه تقریباً یک سان و کوچکتر از ۵ میکرون باشند. تقویت کننده های سرامیکی به طور کلی اکسیدها، کاربیدها هستند و دارای کسر حجمی کمتر از ۳۰٪ در کاربردهای ساختاری و ضد سایش و بیش از ۷۰٪ در کاربردهای الکترونیکی می باشند. به صورت کلی، این دسته از کامپوزیت ها می توانند هم توسط روش حالت جامد (فرآیند RM) و هم حالت مایع (ریخته گری تلاطمی، نفوذ دهی و درجا) تهیه شوند.

### مراجع

1. Kant, T. and Swaminathan, K., "Estimation of Transverse/Interlaminar Stresses in Laminated Composites- a Selective Review and Survey of Current Developments," *Composite Struct*, Vol. 49, pp. 65-75, 2000.
2. Pipes, R.B. and Pagano, N.J., "Interlaminar Stresses in Composite Laminates under Uniform Axial Extension," *J. Compos. Mater*, Vol. 4, pp. 538-548, 1970.
3. Pipes, R.B. and Pagano, N.J., "Interlaminar Stresses in Composite Laminates- an approximate Elasticity Solution," *Journal of Applied Mechanics*, Vol. 4, pp. 668-672, 1974.
4. Pipes, R.B. and Daniel Moire, I.M., "Analysis of the Interlaminar Shear Edge Effect in Laminated Composites," *J. Compos. Mater*, Vol. 5, pp. 255-59, 1971.
5. Tang, S. and Levy, A., "A boundary layer theory-part II: Extension of Laminated Finite Strip," *J. Compos. Mater*, Vol. 9, pp. 42-52, 1975.
6. Hsu, P.W., and Herakovich, C.T., "Edge effects in angle-ply composite laminate," *J. Compos. Mater*, Vol. 11, pp. 422-28, 1977.
7. Wang, S.S. and Choi, I., "Boundary-Layer Effects in Composite Laminates. Part I: Free-edge Stress Singularities," *ASME J. Appl. Mech*, Vol. 49, pp. 541-548, 1982.
8. Wang, S.S. and Choi, I., "Boundary-Layer Effects in Composite Laminates, Part II: Free-edge Stress Solutions and Basic Characteristics," *ASME J. Appl. Mech*, Vol. 53, pp. 744-750, 1986.
9. Whitcomb, J.D. and Raju, I.S. and Goree, J.G., "Reliability of the Finite Element Method for Calculating Free Edge Stresses in Composite Laminates," *Comput Struct*, Vol. 15, No. 1, pp. 23-37, 1982.
10. Murthy, P.L.N., and Chamis, C.C., "Free-edge Delamination: Laminate Width and Loading Conditions Effects," *J Comp Technol Res*, Vol. 11 No. 1, pp. 15-22, 1989.
11. Cho, M. and Kim, H.S., "Iterative Free-Edge Stress Analysis of Composite Laminates under Extension, Bending, Twisting and Thermal Loadings," *Int J Solids Struct*, Vol. 37, No. 3, pp. 435-59, 2000.
12. Shu, X.P. and Soldatos, K.P., "Cylindrical Bending of Angle-Ply Laminates Subjected to Different Sets of Edge Boundary Conditions," *Int J Solids and Struct*, Vol. 37, pp. 4285-4307, 2000.
13. Nosier, A. and Bahrami, A., "Interlaminar Stresses in Antisymmetric Angle-Ply laminates," *Composite Struct*. Vol. 78, pp. 18-33, 2007.
14. Sarvestani, H. Y. and Sarvestani, M. Y., "Interlaminar Stress Analysis of General Composite Laminates," *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 53, pp. 958-967, 2011.

15. Kapoor, H. and Kapania, R.K., S.R. Soni, "Interlaminar Stress Calculation in Composite and Sandwich Plates in NURBS Isogeometric Finite Element Analysis," *Compos Struct*, Vol.107, pp.537-548, 2013
16. . Seok Ahn, K.-Sung Woo, "Interlaminar Stress Distribution of Laminated Composites Using the Mixed-Dimensional Transition Element," *J compos Mater*, Vol. 48, pp. 3-20, 2014
17. Yazdani , M. and Rezghi , M. and Khalili Lanji, M.R. and Moomivand , B., "Analysis of Free Edge Stresses in a Cross-Ply Composite Plate by Applying Shooting Method," In Persian, *Modaress Mech Eng*, Vol. 13, No. 9, pp. 1-11, 2013
18. Afshin M. and Taheri-Behrooz, F., "Interlaminar Stresses of Laminated Composite Beams Resting on Elastic Foundation Subjected to Transverse Loading," *Computational Materials Science*, Vol.96, pp. 439–447, 2015
19. Ren, J.G., "Exact Solution for Laminated Cylindrical Shell in Cylindrical Bending," *Composite science and Technology*, Vol. 29, pp. 168-187, 1987.
20. Chaudhuri, R.A., "On the Prediction of Interlaminar Stresses in a Thick Laminated General Shell," *Int. J. Solids Struct*, Vol. 26, No. 5-6, pp. 499- 510, 1990.

## **A review of Study stress analysis of rotating composite cylinder with carbon nanotubes**

Alnaz Fahimara

Graduate Student, Mechanical Engineering Islamic Azad Jassib, Iran., E-mail:  
elnazfahimara@iausr.ac.ir

**Abstract.** Nanotechnology and material production in Nanometric dimensions is a fascinating subject for research that in recent decades has attracted the attention of many. Nanocomposites as a branch of the new technology have great importance. As a compliment; nanocomposites are Composites that at least one of the components of the sample size is in the range of nm100-1 and includes three categories of polymer, ceramic and metal. In nanocomposites materials broadcast Component that in the form of fibers, flat fine particles or even holes and cracks and.... are in the nanoscale dimensions that is yclept the second phase or reinforcing phase. As well as the continuous component that can be Nanometric dimensions or higher is yclept the Foundation phase. The Foundation phase is a soft phase with good ductility and formability of heat transfer that the hard phase amplifier that has a low thermal expansion coefficient and high hardness in its place. Amplifier phase can be continuous or discontinuous. According to the Foundation phase composites can be a polymer, ceramic, metal.

**Keywords:** stress analysis, composite, Carbon Nano-Fibers-CNFs.