افتخاری دیگر از گروه رنگ پدرام با ۴۰ سال سابقه؛

دستیابی به فناوری نانو

قسمت دوم و پایانی

مهندس نازلی قره‌وبسکی

گروههای هیدروکسیل روی سطح نانو ذرات تعداد زیادی پیوند هیدروژنی با نیروی واندروالسی ایجاد می کند و فرآیند تجمع نانو ذرات را به همراه دارد. در نتیجه پلیمر یا پوشش با نانو ذرات تجمع یافته خواص تنزلی نشان می دهد. نانو ذرات بهبود نیافته بخاطر تمایل شدید به تجمع، توزیع یکنواختی در پلیمر یا پوششها نخواهد داشت، اما ذرات نانو TiO_2 بهبود یافته توزیع عالی در مقیاس نانو، در کنستانتره نشان می دهد. توزیع ذرات نانو TiO_2 توسط رفتار پیوندی گروههای لنگری و اثر فضایی زنجیر کربنی طولانی بهبود می یابد. توزیع مناسب ذرات نانو TiO_2 می تواند خواص عمومی پوششها را بهبود بخشد.

بررسی نمودارهای TG پلیمر اکریلیک حاوی مقادیر مختلف نانو ZrO_2و TiO_2 نشان می دهد که وزن نهایی در ۸۰۰C برای پلیمر اکریلیک با ۰/۵ درصد نانو TiO_2 تنها ۴/۷ درصد، بیشتر از پلیمر اکریلیک بدون نانو ذرات می باشد که به این معناست که این مقدار نانو ذره بهبود واضحی در پایداری حرارتی پلیمر اکریلیک بوجود نمی آورد. زمانیکه تعداد نانو TiO_2 در پلیمر اکریلیک تا ۲ درصد افزایش یابد اختلاف بین وزن باقیمانده پلیمر اکریلیک بیشتر می گردد. وزن نهایی پلیمر اکریلیکی با ۲ درصد نانو TiO_2، ۳۶/۸ درصد، بیشتر از پلیمر اکریلیک بدن نانو ذرات می باشد. دمایی که در آن افت وزنی ۵۰ درصد برای پلیمر اکریلیک حاوی ۰/۵ درصد و ۲ درصد TiO_2 مرسوم مشاهده می گردد به ترتیب ۳۳۱ و ۳۴۷ درجه سیلسوس می باشد. وزن نهایی نسبی در ۸۰۰C نیز به ترتیب ۴/۴ درصد و ۱۷/۶ درصد می باشد. وزن نهایی پلیمر اکریلیک با ۲ درصد TiO_2 مرسوم حدود ۲۰ درصد کمتر از پلیمر اکریلیک با ۲ درصد نانو TiO_2 می باشد که این مسأله دلیلی بر موثرتر بودن نانو TiO_2 در بهبود پایداری حرارتی پلیمر نسبت به TiO_2 مرسوم میباشد. این به خاطر این است که پیوندهای کووالانت بین نانو TiO_2 و پلیمر اکریلیک پایداری حرارتی را افزایش می دهد. با بررسی نمودارهای DTA یک پیک گرماگیر در ۳۰۰-۴۵۰C و رزین وجود دارد که به برهم کنش APP-PER-MEL و رزین اکریلیک نسبت داده می شود که نتیجه آن شکل گیری ساختار ذغالی متورم شونده می باشد. در دمای بالاتر از ۷۲۰C لایه محافظ غیر آلی، لایه محافظ اصلی می شود و مانع از روند اکسیداسیون می گردد. یک اختلاف در تنزل حرارتی بین پوشش معمولی و نانو وجود دارد، مساحت پیک گرماگیر و پروفایل نانو پوشش وسیعتر از پوشش معمولی است در حالیکه مساحت پیک گرمازا و پروفایل نانو پوشش باریکتر از پوشش معمولی می باشد. اثر گرماگیری قوی تر و گرمازایی ضعیفتر، از مزایای خواص ضدحریقی نانو پوششها می باشد. نانو TiO_2و پرکننده غیرآلی به عنوان یک بهبود دهنده می تواند با آمونیوم پلی فسفات تا شکل گیری یک ترکیب ذوب شده سرامیک مانند در دمای بالا واکنش دهد. مواد سرامیکی شکل، ساختار زغالی را افزایش می دهد. و زیر لایه را در مقابل آتش محافظت می کند.

TiO_2 و آمونیوم پلی فسفات به شکل زیر با هم واکنش می دهند:

$$2\,TiO_2 + (NH_4)_3PO_4 \xrightarrow{\Delta} TiP_2O_7 + 4NH_3 + 3H_2O$$

نانو TiO_2می تواند یک شبکه Ti-o-Ti با مقیاس نانو درون ساختار ذغال تشکیل داده و مواد محافظ سرامیکی روی سطح ایجاد گردد. ساختار نانو مقیاس Ti-o-Ti آنی اکسیداسیون و پایداری حرارتی نانو پوشش را در مراحل میانی و بعد از آتش سوزی را بهبود می بخشد. با مقایسه منحنی های مقاومت در برابر آتش مشخص می گردد که زمان مقاومت در برابر آتش پوشش نانو از ۸۱ دقیقه برای پوشش معمولی تا ۹۶ دقیقه افزایش می یابد (ضخامت فیلم خشک، ۱ میلی متر). افزایش در زمان مقابله در برابر حریق بهبود خواص ضد حریقی را بخاطر حضور نانو TiO_2 نشان می دهد. ذرات نانو TiO_2 که به خوبی توزیع شده اند یک شبکه نانو نفوذی در ساختار ذغال بوجود می آورند و این شبکه آنی اکسیداسیون ساختار ذغال را افزایش داده و زیر لایه فلزی را در مراحل میانی و نهایی حریق محافظت می کند. در نتیجه ۱۶ درصد نانو TiO_2 به طور موثری خواص مقاومت در برابر حریق پوششهای ضد حریق را بهبود می بخشد.

عملکرد رنگ دهی نانو های سرامیکی

نانوها با اندازه ذراتی کمتر از ۱۰۰ نانومتر، از جنس آلی و غیر آلی، غیر محلول که از نظر شیمیایی یا فیزیکی با زیر لایه یا باید خنثی می باشد. اگر چه اندازه ذرات در محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰ نانومتر در تولیدات جاری عملی مورد نیاز است، اخیراً نانوها کاربرد وسیعی در صنایع پیدا کرده اند. به عنوان مثال، پیگمنت بر پایه میکا(اندازه حدود ۲۰ نانومتر)، با اثر درخشندگی بالا در مواد آرایشی، پوششهای اتومبیل، پلاستیکها و ... استفاده می شود. در کاربردهای مواد آرایشی و بهداشتی هم از TiO_2 و zno در کرم ضد آفتاب جهت جلوگیری از صدمه در برابر نور آفتاب استفاده می شود. پودرهای بازتابنده با اندازه نانو محافظت وسیعی در مقابل uv از خود نشان می دهند. این مواد از نقطه نظر استفاده در مواد آرایشی مطلوبند زیرا نفوذ می کنند و بعد از استفاده غیر قابل رؤیت می گردند. استفاده دیگر از نانو پیگمنتها، یک صفحه فسفری در لوله های اشعه کاتیک می باشد که در صفحه تلویزیون استفاده می شود. با استفاده از این نانوپیگمنت، مغایرت در تصویر رسانی فام و غلظت رنگ بدون تغییر خاصی در فرآیند و قیمت، بهبود می یابد. استفاده از اندازه ذرات پیگمنت کوچکتر در تکنولوژی کریستال مایع، نه تنها پایداری پیگمنت در توزیع واسطه، بلکه استحکام رنگ، کنتراست و انتقال را بهبود می بخشد. همچنین پیگمنت های غیر آلی متعارف مثل دی اکسید تیتان، اکسید روی، اکسید سیلیکون و اکسید منیزیم، در اندازه نانو برای استفاده در پلاستیکها و ابرها مثل PE، EVA و PVC در دسترس می باشند. استفاده از نانو ذرات عملکرد پیگمنت را بهبود می بخشد به عنوان مثال در پوششهای آلی نانو پیگمنتها هم خواص تری بولوژیکال و هم خواص مکانیکی نظیر مقاومت خراشی و سایشی، سختی، کشش و شکست با حفظ دوام را بهبود می بخشد. اثر دیگر نانو ذرات بخاطر اندازه کوچکتر از طول موج مرئی آن می باشد که باعث می شود نه پراکندگی و نه بازتاب در بازه نور مرئی رخ ندهد، بنابراین نانو ذرات شفاف می باشند. این مسأله احتمال فرمولاسیون پوششهای شفاف را با مقاومت خوب در شرایط آب و هوایی مختلف تأمین می کند در حالیکه پر کننده نقش جاذب uv را بازی می کنند. در هر حال بزرگترین مشکل استفاده از نانوپیگمنتها این مسأله است که پودرهای ریزتر، مساحت بالاتری دارند و اختلاط آنها ضعیفتر می باشد و باعث افزایش پدیده تراکم می گردند. پیگمنت های با اندازه ذرات در مقیاس نانو بخاطر مساحت سطح بالا، که پوشش دهی سطح را افزایش داده افزایش تعداد نقاط انعکاس و بهبود خواص پراکندگی، پتانسیل بازاریابی وسیعی دارد. در فرمولاسیون رنگ، به عنوان مثال، اندازه ذرات کوچک در صورت اختلاط همگن با بایندر، توزیع یکنواخت و به همراه خواهد داشت که باعث افزایش استحکام مکانیکی رنگ بعد از خشک شدن می گردد در حالیکه توزیع مناسبی از پیگمنتهای نانو سایر اثرات بهتری در موارد سایشی وصیقلی حساس از خود نشان می دهد. مقالات در مورد سرامیکهای تزئینی با استفاده از نانو ذرات نشان می دهد که در بسیاری از موارد درخشندگی و زیبایی پیگمنت ها اصلاح می گردد. مطالعات اخیر نشان می دهد که این پیگمنت ها توسط نانو کریستال های مس و نقره یا توسط یک لایه نازک اکسید تیتانیوم روی زیر لایه شفاف شکل می گیرد، به عنوان مثال می توان سکویت در سطوح با درخشندگی بالا نام برد. درمورد درخشندگی، نانو کریستالهای شبه کروی مس و نقره به طور جداگانه در لعاب پخش میشوند، جالبکه خواص نوری به نانو ساختار خاص، ترکیبات Cu_2Ag ، همچنین نسبت Cu/Ag ، طبیعت لعاب، وزمانی که پیگمنتها استفاده می شوند روی برهم کنش مواد تأثیر دارد. زمینه جدیدی از کاربرد سرامیکهای تزئینی، استفاده آنها در چاپگرهای جوهر افشان است، جالبکه نانو پیگمنتها قادر به رفع معایب پیگمنتهای در اندازه میکرو می باشند. (به عنوان مثال مسدود شدن نازل، بی ثباتی توزیع و..).چنین مشکلاتی با استفاده از جوهر سرامیکی با اندازه نانو مرتفع می شود. ذرات نانو متری پخش شده در یک حامل آلی که قادر است کیفیت تصویر چاپ شده را در مطلوبی بهبود بخشد. در هر سرعتی عملکرد رنگ دهی پیگمنتهای سرامیکی روی خواص نوری، که در استفاده از نانو ذرات مورد انتظار است پایداری شیمیایی وسرعت تجزیه در لعاب، انتظار می رود که با مساحت سطح پیگمنت افزایش یابد. درپیگمنتهای سرامیکی مرسوم معمولاً با توزیع اندازه ذرات دربازه ۱۰-۱۰۰ میکرومتر بهترین مقدار می باشد. اگر چه نانوپیگمنتهای سرامیکی (۸۰-۱۰۰ نانومتر) درآزمایش چاپ مقدماتی روی کاشی سرامیکی رفتار قابل قبولی از خود نشان می دهد، گسترش رنگ شدیدی در بازه وسیعی از دماهای شعله را به همراه دارد. اساس کاربرد نانو پیگمنت در ماتریکس های سرامیکی تعیین خواص نوری حاصله و تشکیل فاز پیگمنت بعد از حرارت می باشد که عملکرد رنگی آن با میکرو پیگمنتهای مرسوم قابل مقایسه می باشد.

۲- پوشش های شبکه ای و چند لا یه ای

این پوششها از هزاران لایه و هر لایه با ضخامتی در حدود ۱ تا ۵ نانومتر ساخته می شوند. هر لایه ساختار کریستالی خاصی دارد و از عناصر مختلفی نظیر نیکل، تیتانیوم، والنادیوم و آلومینیوم ساخته می شوند. این پوششها بسیار متراکم بوده و چگالی بالایی دارند و به عنوان پوششهای چند لا یه با دانسیته بالا نیز شناخته می شوند. استفاده از این نوع پوشش ها روی قطعات صنعتی باعث بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی آنها و همچنین دوام قطعات شده است. از مهمترین پوش‌های شبکه ای می توان به پوشش‌های AlNiZN، CrN/ALN و TiN/CrN اشاره نمود.

۳- پوششهای لایه نازک

پوششهای لایه نازک از لایه های متناوب با فازهای مختلف تشکیل شده اند. این لایه ها سختی و الاستیک بالا و خواص شیمیایی خوبی دارند. دلیل افزایش سختی پوشش های نازک چند لایه، قرارگرفتن لایه های خیلی نازک با طول خط نابجایی متفاوت روی هم و درنتیجه نزدیک شدن استحکام به حد تئوری آن است. به دلیل متفاوت بودن طول خط نابجایی ها در هر لایه، نابجایی ها نمی توانند از یک لایه به لایه دیگر حرکت کنند چرا که طول خط نابجایی ها متفاوت است. همچنین لایه ها به قدری نازک هستند که منابع جابجایی به طور مستقل وارد عمل نمی شوند. بنابراین سختی این پوششها افزایش چشمگیری می یابد. روشهای مرسوم رسوب پوششهای لایه نازک شامل روشهای رسوب فیزیکی بخار، رسوب شیمیایی بخار و رسوب الکترو شیمیایی هستند. روش دیگری که برای پوشش دهی آلیه نازک استفاده می شود روش لایه به لایه ماه دردانین روش بر اساس ایجاد چند لا یه روی یک ماده زیر لایه استوار است به طوریکه هر دو لایه باردار و دارای بار الکتریکی مخالف هستند. این رسوب دهی به شکل متناوب انجام می شود تا اینکه ضخامت مورد نظر حاصل گردد. در سالهای اخیر این روش توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این نوع پوشش دهی را برای قطعات هایی و استحوان مصنوعی می توان به کار گرفت.

۴- پوشش های نانو کامپوزیتی

در بین چهار نوع از پوشش های نانو ساختار، پوشش های نانو کامپوزیتی بیشترین کاربرد را دارند، زیرا با استفاده از آنها می توان خواص منحصر به فرد شیمیایی و فیزیکی را بر روی سطح قطعات ایجاد نمود. در این پوشش ها که اندزه فاز زمینه و تقویت کننده تشکیل شده اند، فاز نانو کریستالی (تقویت کننده) در فاز آمورف (ماده زمینه) جاسازی شده است. فاز آمورف می تواند پوشش های شبه الماسی (like Carbon Diamond) کربونیترید یا برخی ترکیبات دیگر با سختی و حدول الاستیک مناسب باشد. به عنوان فاز تقویت کننده و نانو کریستالی نیز از AlN، TiN، Si_3N_4 می توان استفاده کرد. به عنوان مثال با جاسازی ذرات TiN با اندازه‌های ۸ تا ۱۱ نانومتر در پایه DLC می توان سختی در حدود ۱۵ تا ۷۰ گیگا پاسکال بدست آورد. در این دسته از نانو پوشش ها اندازه فاز نانو کریستال و نحوه توزیع آن به درون فاز آمورف بسیار حائز اهمیت می باشد. هرچه اندازه مواد نانوکریستالی کاهش یابد، تشکیل نابجایی ها به تأخیر افتاده و تغییر شکل پلاستیکی کمتر رخ می دهد. توزیع ذرات نیز باید به نحوی باشد که فاصله بین دو ذره نانو کریستالی در حدود نانومتر باشد. چنانچه این فاصله زیاد باشد باعث ایجاد ترک و گسترش آن در ماده زیر لایه می گردد. فاصله بیش ازحد کم بین این ذرات نیز امکان ایجاد واکنش بین صفحات اتمی دانه های نانو کریستال را بوجود می آورد. لذا در طراحی و ساخت این پوشش های نانو کامپوزیتی، اندازه، درصد حجمی و توزیع این ذرات فاکتورهای مهمی هستند و تغییر هریک از این موارد روی چقرمگی و سختی پوشش تأثیر خواهد گذاشت. روشهای مختلفی برای پوشش دهی نانو کامپوزیت وجود دارد اما اغلب از روش کندوپاش مغناطیسی (magnet run sputtering) پاشش حرارتی و رسوب شیمیایی بخار استفاده می شود. سرعت رسوب دهی بالا و یکنواختی پوشش ایجاد شده در رسوب شیمیایی بخار از مزایای این روش است. برای ایجاد این نوع پوشش ها اغلب از روش پاشش حرارتی و کندوپاش استفاده می شود زیرا این روشها در دماهای پایین به وسیله روش پاشش حرارتی می توان پوششهای سرامیکی تک فاز و پوشش های کامپوزیتی با زمینه سرامیکی را بر روی قطعات رسوب داد. یکی از این پوششها، پوشش مرکب $Al_2O_3/BTiO_2$ که در حال حاضر روی بدنه کشتی ها و زیر دریایی ها با این روش رسوب داده می شود. در این روش یک گاز خنثی با دمای بسیار بالا، سبب پاشش ماده نانو ساختار روی سطح مورد نظر می شود و پس از سرد شدن ذرات پاشیده شده، پوششهای لایه ای روی سطح ایجاد می گردند.

در ادمه به بررسی برخی از این نانو کامپوزیت‌ها می پردازیم:

ترکیبات اپوکسی تقویت شده با نانو

اپوکسی های ترموست پلیمرهای با دانسیته پایین و با خواص چسبندگی عالی می باشند که بطور وسیعی در چسبها، پوششها و بخشهای الکتریکی و لوله کشی استفاده می شوند. شکنندگی پلیمرها بعد از خشک شدن یکی از اشکالات مهم آن است که از گسترش کاربرد اپوکسی ها جلوگیری می کند. اضافه کردن تقویت کننده ها مثل نانو صفحات، نانو ذرات و نانو لوله های کربنی به عنوان ابزاری برای بهبود خواص و از بین بردن محدودیتهای رزین های اپوکسی مورد توجه می‌باشد. تقویت کننده های نانو بر خلاف تقویت کننده‌های مرسوم، در مقادیر کم، خواص مکانیکی و حرارتی را بهبود می بخشد. بخاطر مساحت سطح بالای مورد انتظار در نانو پرکننده ها، منطقه داخل فازی بین ماتریکس و پرکننده شامل بخش قابل توجهی از ترکیب می باشد بنابراین چسبندگی ذرات- ماتریکس برای انتقال مناسب فشار از ماتریکس به پرکننده هایی که اضافه شده بسیار قابل توجه می باشد. به علاوه توزیع مناسب ذرات اساس بهبود مؤثر خواص ترکیبات می باشد. در ادامه به طور خلاصه روشهای تهیه ترکیب رایان نموده و اثر اضافه کردن چندین نوع پرکننده به ماتریکس اپوکسی را بررسی می نمائیم. یافته ها همچنین نشان می دهد که چگونگی توزیع ذرات و وابستگی ذرات ماتریکس روی خواص آن موثر می‌باشد.

سنتز

روش صحیح سنتز برای رسیدن به خواص مطلوب ترکیب مهم می باشد. بسیاری از نانو ترکیبات با اختلاط مستقیم ساخته می شود که طی آن پرکننده بطور مکانیکی با رزین اپوکسی بدون حلال مخلوط می شود. عامل خشک کننده اضافه می شود و مخلوط بدون گاز شده و در دمای تخمین زده شده خشک می شود. اگرچه این روش ساده ترین و مؤثرترین روش می باشد. ولی تجمع ذرات و جاگیری ناکامل ذرات اتفاق خواهد افتاد. استفاده از یک حلال در مرحله اختلاط به شکستن تجمع های ذرات کمک می کند اما باید قبل از خشک شدن عامل جدا شود. به علاوه، برش بسیار بالا غالباً اختلاط بسیاری از پرکننده‌های صفحه ای را می شکند، نسبت ظاهری و اثر تقویت کنندگی را کاهش می دهد. محققان گزارش کرده اند که ترکیب حلال، اختلاط و ثابت صوتی بهترین روش برای توزیع و قرار گرفتن مناسب پرکننده است. دیگر محققان گزارش کرده اند که روشهای پلیمریزاسیون در محل به عنوان مؤثرترین روش برای تهیه ترکیبات ترموست می باشد. برای نانو رسها یک عامل خشک کننده با ویسکوزیته پایین جهت آماس رس نیاز است، سپس پلیمرایوکسی اضافه می شود. انتشارمونومرها به درون رس، صفحات را ایجاد می کند. نفوذ بیشتر، ورقه ای شدن با به همراه خواهد داشت و حتی باعث می شود که ذرات بدرون ماتریکس نفوذ کنند. علاوه بر روش تهیه، طبیعت عامل خشک کننده (آبدوستی و ساختار)، تفاوتی مونومرایوکسی، دمای خشک شدن و رفتار سطحی پرکننده، همه در تعیین سطح توزیع و وسعت چسبندگی که نشانگر خواص ترکیب می باشد، نقش دارند.

اپوکسی- ورقه های سیلیکات

مطالعات گسترده ای روی ورقه های سیلیکات در رزین اپوکسی بخاطر هزینه پایین نسبی و سادگی تهیه ترکیبات با افزایش خواص مکانیکی صورت گرفته است. رس مونتموریلونیت (MMT) که یک سیلیکات طبیعی و لایه لایه است در این بخش بررسی می شود. این رسها با ترکیبات آلکیل آمونیوم تصفیه می شود تا جداسازی ورقه ها ساده تر شود و فضای لازم برای نفوذ اپوکسی را تأمین می کند. طبیعت عامل خشک کننده، دمای خشک شدن و تصفیه سطح پرکننده در درجه جا گرفتن و ورقه ورقه شدن، نقش مهمی بازی می کند. همانگونه که قبلاً هم بیان شد. نانو ترکیبات ورقه ای افزایش در خواص مکانیکی را به همراه خواهد داشت. در یک تحقیق دانشمندان MMT تصفیه نشده را با یک MMT آکتادسیل آمونیوم مقایسه کرده اند. با بررسی تصاویر TEM برای ترکیبات مشخص می گردد که درجات تجمع بیشتری در ترکیب MMT تصفیه نشده وجود دارد. اختلاف انرژی سطحی بسیار زیاد بین رس ارتقاء نیافته و پلیمر ممکن است ذرات را به سمت تجمع تحریک کند. عدم حضور عامل لیتر کلیتور الکیل آمونیوم نیز ممکن است در این فاکتور مشارکت داشته باشد. اگر چه حدول یانگ همانند فشار و کشیدگی در شکست در مقابل اپوکسی خالص بهبود نشان می دهد، MMT ارتقاء یافته با مواد آلی ۲۰ درصد بهبود روی رس ارتقاء نیافته نشان می دهد. به علت درجه بالاتر و ورقه ورقه شدن و در نتیجه مساحت سطح بالاتر، رس بطور محکم تری در ماتریس قرار می گیرد. علاوه بر رسهای آلی در تمام موارد، Tg ترکیبات بخاطر اثر پلاستیکی شدن زنجیر آلکیل یا شکستن ساختار اپوکسی کاهش می یابد. محققان دریافته اند که مقدار ورقه ورقه شدن به طول زنجیر ترکیب آلکیل آمونیوم بستگی دارد. دانشمندان ۳ طول زنجیر مختلف آمونیوم آلی با ۷ تا ۱۷ کربن را مورد آزمایش قرار داده اند. طرحهای پراش اشعه X برای رسهای با ۷ تا ۱۷ کربن مورد آزمایش قرار گرفته اند، چندین فاکتور جالب را آشکار می سازد. اول اینکه فضای اساسی برای رس با زنجیر ارتقاء یافته کوچکتر از ۱۵/۲ آنگستروم در طول فرایند خشک شدن ثابت باقی می ماند در حالیکه آلکید ارتقاء یافته با زنجیر طولانی تر افزایش فضایی از ۱۸ تا ۵۴ آنگستروم دارد و نهایتاً در انتهای چرخه خشک شدن ناپدید می شود. بنابراین تقریباً نانو ترکیبات ورقه ورقه شده با ارتقاء دهنده ۱۷ کربنه قابل حصول است اما تنها رس ۷ کربنه قادر به قرار گرفتن در ترکیب می باشد. محققان دریافتند که برای رس با زنجیره طولانی تر، پیش خشک شدن نمونه ها باعث پلیمریزاسیون بیشتر که کاتالیز شده توسط اسید آمین نوع اول می گردد. برای رس ۷ کربنه، آبگریزی توده رس بسیار پایین است تا پس از ارتقاء بطور مناسبی در اپوکسی نفوذ کند. حدول و نیروی کششی برای ترکیبات رس آلی ۷، ۱۱ و ۱۷ کربنه در ۱۰ درصد وزنی مورد آزمایش قرار گرفته است. اگرچه تنها ۳ طول زنجیر مورد آزمایش قرار گرفته است روند مشخصی مشاهده می شود که در طول زنجیر بالاتر از ۱۲ کربن نیاز است تا قابلیت تقویت کردن نانو پرکننده حداکثر شود. طبق این بررسی حدول کششی برای زنجیر ۱۲ و ۱۷ کربنه افت در بارهای خطا دارد که نشانگر آن است که بهبودی بیشتری در زنجیرهای با بیش از ۱۲ کربن وجود ندارد. اگرچه آزمایش افزودن طول زنجیره تصویر واضح قوی از طول کششی می‌دهد. همچنین برای اطمینان باید رسهای با بیش از ۱۷ کربن نیز مورد آزمایش قرار گیرد. محققان دانشگاه AMنگواس این روند را در اپوکسی ها با ورقه های زَیرکونیوم تایید می کنند. پیشنهاد اینکه آمینهای با زنجیر طولانی تر ترکیب منعطف تر و کمتر شکننده را به وجود می آورد. مطالعات انجام شده دیگری نشان می دهد که دمای خشک شدن عامل مهم دیگری است که برای تهیه ترکیبات نانورس باید بررسی کرد. دانشمندان دو نانو رس نانومر (MMT تصفیه شده با اکتادسیل آمین، یک پایه آمینی اولیه) و کلویزت (MMT تصفیه شده با چربی متیل بیس(۲- هیدروکسی اتیل) آمونیوم نوع چهارم) را مورد آزمایش قرار داده اند. محققان دو روش خشک شدن را که شامل خشک شدن در دمای اتاق و دردمای افزایشی از ۱۲۰C تا ۱۴۰C می باشد را مورد آزمایش قرار داده اند. دمای افزایشی درطول اختلاط تحرک مولکولی را افزایش داده و نفوذ اپوکسی و عامل خشک کننده بدون رس را تسهیل می کند. بنابراین جاگیری و ورق ورق شدن ترکیب حاصل می شود. داده های گرماسنجی روبشی دیفرانسیلی (DSC) نشان می دهد که در غیبت هاردنر ترکیب رس نانورس برخلاف دیگر رسها در طول اولین چرخه گرمایشی کاملاً خشک می شود. عامل اینترکلیت در شبکه اپوکسی قرار می گیرد و پلیمر را جامد می کند. اگرچه ورقه ها بخشی از شبکه اپوکسی - آمین قرار می گیرد بصورت یک پل عمل می نماید. با بررسی نتایج برای حدول و نیروی پیچشی دو ترکیب مشخص می گردد که حضور نانو رس حدول ترکیب را در مقایسه با اپوکسی خالص افزایش می دهد در مقایسه با کلویسیت رس نانومر حدول بالاتری در بارگیری های مشابه در دمای بالا و پایین اختلاط و خشک شدن از خود نشان می دهد، اما نتایج برای استحکام برعکس می باشد. برای هر دو رس، استحکام برای دمای افزایشی بیشتر می باشد چرا که رس بهتر در ماتریس توزیع شده و فضای خالی کمتر می باشد. نانورم نیروی پیچشی کمتری از خود نشان می دهد و دانسیته شبکه بالاتری داشته و پلیمر خشندگی بیشتری دارد. پلیمریزاسیون اپوکسی با آمین نوع اول پیوسته به رس، بیشتر شبیه چگال اطراف ذرات می باشد به علاوه، در حالیکه اپوکسی با رس آلی واکنش می دهد، واکنش های کمتری با عامل خشک کننده اتفاق می افتد و مقداری آمین آزاد در ترکیب خشک شده باقی می ماند.

اپوکسی- نانوسیلیکای کروی:

بخاطر هزینه پایین و سادگی اصلاح سطح برای بهبود چسبندگی ماتریکس، ذرات نانو سیلیکا کروی، تقویت کننده مهم دیگری برای رزینهای اپوکسی می باشد. توزیع مناسب ذرات و جداسازی معمولاً اساس رسیدن به بهترین خواص مکانیکی ترکیب می باشد. محققان زیادی همچنین نشان دادند که فاصله بین ذرات بطور مهمی در سفتی ترکیب نقش دارد. توزیع ذرات در ابتدا با تصحیح کننده های سطح جهت بهبود سازگاری ماتریکس و جلوگیری از توده شدن کنترل می شود. در یک ذره سیلیکای بهبود یافته با گروههای انتهایی اپوکسی، انتهای زنجیره اپوکسی می تواند به شکل پیوند متقاطع در بیاید زمانیکه با عامل خشک کننده مخلوط شود و یک شبکه اطراف ذرات ایجاد می کند. با مقایسه اپوکسی- نانو سیلیکای اصلاح نشده با اپوکسی نانو سیلیکای اصلاح شده مشخص می گردد که ذرات تصفیه سطحی شده توزیع بیشتر و یکنواخت تر دارد در حالیکه ذرات اصلاح نشده تمایل به تجمع دارند. دانشمندان دریافتند که آنها قادرند توزیع ذرات خوبی را تا ۱۴ درصد حجمی بدون از دست دادن شفافیت نوری ترکیب بدست آورند. بهبود قابل توجهی در حدول پیچشی، استحکام و سفتی مشاهده می شود. مقاومت فشاری حداکثر افزایش می یابد. حدول و نیروی پیچشی از ۱۸ تا ۵۴ آنگستروم دارد و نهایتاً در انتهای چرخه خشک شدن ناپدید می شود. بنابراین تقریباً نانو ترکیبات ورقه ورقه شده با ارتقاء دهنده ۱۷ کربنه قابل حصول است اما تنها رس ۷ کربنه قادر به قرار گرفتن در ترکیب می باشد. محققان دریافتند که برای رس با زنجیره طولانی تر، پیش خشک شدن نمونه ها باعث پلیمریزاسیون بیشتر که کاتالیز شده توسط اسید آمین نوع اول می گردد. برای رس ۷ کربنه، آبگریزی توده رس بسیار پایین است تا پس از ارتقاء بطور مناسبی در اپوکسی نفوذ کند. حدول و نیروی کششی برای ترکیبات رس آلی ۷، ۱۱ و ۱۷ کربنه در ۱۰ درصد وزنی مورد آزمایش قرار گرفته است. اگرچه تنها ۳ طول زنجیر مورد آزمایش قرار گرفته است روند مشخصی مشاهده می شود که در طول زنجیر بالاتر از ۱۲ کربن نیاز است تا قابلیت تقویت کردن نانو پرکننده حداکثر شود. طبق این بررسی حدول کششی برای زنجیر ۱۲ و ۱۷ کربنه افت در بارهای خطا دارد که نشانگر آن است که بهبودی بیشتری در زنجیرهای با بیش از ۱۲ کربن وجود ندارد. اگرچه آزمایش افزودن طول زنجیره تصویر واضح قوی از طول کششی می‌دهد. همچنین برای اطمینان باید رسهای با بیش از ۱۷ کربن نیز مورد آزمایش قرار گیرد. محققان دانشگاه AMنگواس این روند را در اپوکسی ها با ورقه های زَیرکونیوم تایید می کنند. پیشنهاد اینکه آمینهای با زنجیر طولانی تر ترکیب منعطف تر و کمتر شکننده را به وجود می آورد. مطالعات انجام شده دیگری نشان می دهد که دمای خشک شدن عامل مهم دیگری است که برای تهیه ترکیبات نانورس باید بررسی کرد. دانشمندان دو نانو رس نانومر (MMT تصفیه شده با اکتادسیل آمین، یک پایه آمینی اولیه) و کلویزت (MMT تصفیه شده با چربی متیل بیس(۲- هیدروکسی اتیل) آمونیوم نوع چهارم) را مورد آزمایش قرار داده اند. محققان دو روش خشک شدن را که شامل خشک شدن در دمای اتاق و دردمای افزایشی از ۱۲۰C تا ۱۴۰C می باشد را مورد آزمایش قرار داده اند. دمای افزایشی درطول اختلاط تحرک مولکولی را افزایش داده و نفوذ اپوکسی و عامل خشک کننده بدون رس را تسهیل می کند. بنابراین جاگیری و ورق ورق شدن ترکیب حاصل می شود. داده های گرماسنجی روبشی دیفرانسیلی (DSC) نشان می دهد که در غیبت هاردنر ترکیب رس نانورس برخلاف دیگر رسها در طول اولین چرخه گرمایشی کاملاً خشک می شود. عامل اینترکلیت در شبکه اپوکسی قرار می گیرد و پلیمر را جامد می کند. اگرچه ورقه ها بخشی از شبکه اپوکسی - آمین قرار می گیرد بصورت یک پل عمل می نماید. با بررسی نتایج برای حدول و نیروی پیچشی دو ترکیب مشخص می گردد که حضور نانو رس حدول ترکیب را در مقایسه با اپوکسی خالص افزایش می دهد در مقایسه با کلویسیت رس نانومر حدول بالاتری در بارگیری های مشابه در دمای بالا و پایین اختلاط و خشک شدن از خود نشان می دهد، اما نتایج برای استحکام برعکس می باشد. برای هر دو رس، استحکام برای دمای افزایشی بیشتر می باشد چرا که رس بهتر در ماتریس توزیع شده و فضای خالی کمتر می باشد. نانورم نیروی پیچشی کمتری از خود نشان می دهد و دانسیته شبکه بالاتری داشته و پلیمر خشندگی بیشتری دارد. پلیمریزاسیون اپوکسی با آمین نوع اول پیوسته به رس، بیشتر شبیه چگال اطراف ذرات می باشد به علاوه، در حالیکه اپوکسی با رس آلی واکنش می دهد، واکنش های کمتری با عامل خشک کننده اتفاق می افتد و مقداری آمین آزاد در ترکیب خشک شده باقی می ماند.

اپوکسی- نانولوله کربنی:

با وجود قیمت بالای این مواد، نانو لوله های کربنی (CNTs) توانایی تقویت و سفت کردن استثنایی از خود نشان می دهند که چندین برابر پرکننده های مرسوم یا نانو پرکننده ها می باشند. مشکل اساسی بهینه سازی خواص ترکیب باCNTs تا رسیدن به توزیع مناسب درماتریکس می باشد. نیروی واندروالس قوی بین لوله ها و تمایل آنها به یکدیگر باعث تجمع توده می‌شود و آنها را در بسیاری از حلالها، غیر محلول کرده و کاملاً در اختلاط برشی می شکنند. دانشمندان یک روش جدید برای پراکندگی CNTs در ماتریکس اپوکسی با استفاده از پلاسما پیشنهاد کرده اند. رفتار پلاسما، رادیکال آزاد در دسترس برای پیوند به اندرید مالئیک (MA) ایجاد می کند. حلقه عامل خشک کننده دو آمینه اپوکسید روی MA باز شده و می تواند با مونومراپوکسی پلیمریزه شود و بخشی از ماتریکس اپوکسی گردد. مقایسه تصویری CNTs تصفیه نشده نسبت به حالت تصفیه شده MAبا در مورد پراکندگی CNTs درون اپوکسی را آشکار می سازد. ترکیبات CNTs تصفیه نشده حتی با اضافه کردن ۰/۱ درصد وزنی، سیاه بوده و مات هستند که نمایانگر تجمع بالایی از CNTمی باشد. CNTهای تصفیه شده با MA مقدار یکسان کاملاً شفاف هستند که نشانه توزیع بهتر در ماتریکس می باشد سازگاری CNTs- MA با ماتریکس همچنین در مطالعات انکسار مشخص شده است که در مقایسه با CNTهای تصفیه نشده به علت چسبندگی ضعیف به ماتریکس بسیار سریع پیوندشان جدا می گردد. به علاوه با اضافه کردن ۰/۱ درصد وزنی MA-CNT به ترکیب به ۶۰ درصد نیروی کشش، ۴۰ درصد کشیدگی در برابر شکست، حدول کششی و پایداری حرارتی بالاتر را به دنبال خواهد داشت. در نهایت هدایت قابل حصول برای ترکیب MA-CNT صد برابر بیشتر از CNT های تصفیه نشده می باشد توزیع بهتر اجازه می دهد تا CNTs- MA در طول ماتریکس با یکدیگر در تماس باشند و یک شبکه هادی را ایجاد می کنند.

نتیجه:

در نتیجه می توان گفت که هدف نهایی از اضافه کردن نانو پرکننده یا پرکننده های مرسوم به ماده افزایش خواص ماتریکس می باشد. مقدار رسیدن به این هدف شدیداً به توزیع مواد افزودنی درون ماتریکس و چسبندگی ذرات به ماتریکس بستگی دارد. مزیت بزرگ پرکننده ها با اندازه نانو نسبت به پرکننده های مرسوم، ابعاد نانوی آنها می باشد. نسبت ظاهری بزرگ و نسبت سطح به حجم بالای نانو پرکننده ها امکان برهمکنش بیشتر با ماتریکس را ایجاد می کند و این برهمکنش مشابه با به