وزارت علوم تحقیقات و فناوری
پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ

available online @ www.jcst.icrc.ac.ir
نشریه علمی ـ پژوهشی علوم و فناوری رنگ/ ۴ (۱۳۸۹)، ۱۷۴ـ۱۶۹

نشریه علمی-پژوهشی علوم و فناوری رنگ
Journal of Color Science and Technology
www.jcst.icrc.ac.ir

اثر نانو آلومینا بر برخی خواص فیزیکی ـ مکانیکی یک روکش شفاف، بر پایه رزین اکریلیک پایه آبی

علیرضا کاشانی[۱]، سیامک مرادیان[۲*]

۱ـ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵
۲ـ استاد، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش: ۸۹/۵/۱۸ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۸۹/۹/۲۰

چکیده

هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر ذرات نانو آلومینا در یک روکش شفاف اکریلیکی است که به عنوان یک لایه محافظ در برابر سایش در کفپوش چوبی استفاده می‌شود. درصد وزنی نانو آلومینا مورد استفاده ۳٪، ۵٪، ۷٪، ۹٪ و ۱۱٪ بر مبنای مقدار جامد است. نمونه بدون نانو آلومینا به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است. نمونه‌های مایع توسط دستگاه رئومتر برای بررسی اثر نانو آلومینا روی گرانروی مایع مورد آزمایش قرار گرفت. بعد از اعمال رزین و تشکیل فیلم، دستگاه کدرسنج برای بررسی اثر این نانو ذرات روی شفافیت فیلم آزاد حاصل به کار گرفته شد. از دستگاه سایش Taber جهت به دست آوردن شاخص سایش نمونه‌ها استفاده شد سپس با استفاده از سختی میکرو، تغییرات سختی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. افزایش نانو آلومینا تغییر شاخصی را در گرانروی ایجاد نکرده و نتایج کدرسنجی نشان داد که در درصدهای وزنی بالای ۹٪، نمونه‌ها شفافیت خود را از دست می‌دهند اما شاخص سایش برای این نمونه‌ها نزدیک به صفر بوده که نشان دهنده مقاومت به سایش عالی است. سختی میکرو آن‌ها تقریباً یکسان است که مشخص شد سختی در این نمونه‌ها تأثیری بر روی مقاومت به سایش نداشته است.

واژه‌های کلیدی: نانو آلومینا، رزین اکریلیک، کفپوش چوبی، سایش.

Effects of Nano Alumina on Some Physical and Mechanical Properties of an Acrylic Water Based Clear Coat

A. Kashani, S. Moradian*

[1] Department of Polymer Engineering and Color Technology, Amirkabir University of Technology, P.O. Box: 15875-4413, Tehran, Iran

Abstract

This investigation aims to show some effects of nano alumina particles in an acrylic resin that is used as a protective coating against wear. The loads of nano alumina in samples are 3, 5, 7, 9, 11 percentage "based on solid" and a sample without nano alumina marked as reference. Liquid samples were examined by a rheometer to observe effects of nano alumina particles on viscosity then a turbidity instrument was utilized to observe transparency changes of clear coats that contains diverse amount of nano alumina. By means of a Taber abrasion, wear index of samples were achieved; afterward micro hardness used to consider the effects of nano alumina in hardness of samples.Adding nano alumina does not impart significant alternation in viscosity. Turbidity results show haziness in higher load percentage of nano alumina. Wear index of samples in high weight fractions dropped dramatically. Micro hardness of cured samples does not differ significantly. J. Color Sci. Tech. 4(2010), 169-174© Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Nano alumina, Acrylic resin, Parquet, Wear.

***Corresponding author: moradian@aut.ac.ir**

۱ـ مقدمه

با توجه به پیشرفت‌های انجام شده در زمینه بهبود خواص روکش‌های آلی با استفاده از نانو ذرات در سال‌های اخیر، استفاده از آن‌ها به عنوان یک لایه محافظ در صنایع مختلف روندی صعودی دارد. یکی از زمینه‌هایی که در آن از روکش‌های آلی استفاده بسیاری می‌شود، صنایع چوب است. ماهیت چوب به صورتی است که سریعاً توسط عوامل محیطی از جمله نور خورشید، رطوبت، مواد شیمیایی، باکتری‌ها، آب و غیره تحت تاثیر قرار می‌گیرد و کیفیت خود را چه از نظر ظاهری و چه از لحاظ دوام فیزیکی از دست می‌دهد. بنابراین، از روکش‌های آلی بهبود یافته با نانو ذرات عمدتاً به عنوان لایه حفاظتی در برابر این عوامل محیطی استفاده می‌شود، ضمناً در بسیاری از این موارد این روکش‌ها علاوه بر نقش حفاظتی باعث عدم تغییر در کیفیت ظاهری به دلیل اندازه کوچک نانو ذرات می‌شوند. [۱-۷].

در یک پژوهش [۸] اثر نانو آلومینا بر مقاومت به فرسایش بر روی رزین اکریلیک، با درصدهای وزنی ۰،۵، ۱، ۲ از نانو آلومینا (متوسط اندازه ذرات: ۲۰ نانومتر) استفاده شده است و توسط دستگاه سایش Taber اثر سایش بر روی براقیت بررسی شده است. با افزایش تعداد دور سایش براقیت فیلم خالص (بدون نانو ذرات) پس از ۵۰۰ دور از ۸۷ به مقدار ۶۳ کاهش پیدا کرد و این در حالی است که با افزایش میزان درصد وزنی نانو ذرات تا ۲٪ ،تغییرات براقیت پس از ۵۰۰ دور به حدود صفر کاهش پیدا کرد.در پژوهش دیگر [۹] در یک رزین اپوکسی آکریلات از ذرات نانو پرکننده مختلف استفاده شده است و درصد حفظ براقیت پس از ۵۰۰ دور سایش گزارش شده است. رزین اپوکسی آکریلات خالص (بدون افزودنی) دارای حفظ براقیت حدود ۴۲٪ پس از ۵۰۰ دور سایش می‌باشد، حال آن که حضور ۴٪ وزنی ذرات نانو آلومینا در این رزین باعث بهبود حفظ براقیت روکش شفاف تا میزان ۹۲٪ شده است. نتایج مشابه با افزودن حدود ۱۵٪ نانو سیلیکا داخل این رزین مشاهده شده است. همچنین حضور ۴٪ نانو رس سبب حفظ براقیت کمتری نسبت به روکش حاوی ۴٪ نانو آلومینا شده است که خود می تواند گویای این نکته باشد که علاوه بر افزایش مقاومت به سایش در مورد روکش‌های حاوی پرکننده‌های نانو نسبت به روکش‌های خالص، در میان نانو پرکننده‌های متداول، نانو آلومینا اثر بهتری دارد.

در این پژوهش سعی شده است که به مطالعه اثر ذرات نانو آلومینا به جای ذرات نانو سیلیکا که در پژوهش‌های اخیر متداول بوده پرداخته شود و دلیل آن به خاطر ماهیت کروی شکل این ذرات برای افزایش سطح مشترک با زنجیره‌های پلیمری و همچنین سختی ذاتی بالای آلومینا می‌باشد.

۲ـ بخش تجربی

۲ـ۱ـ مواد

در این پژوهش از یک رزین اکریلیک پایه آبی کد NA-66 SIMACRYL ساخت شرکت سیماب رزین، همچنین از ذرات نانو آلومینا (با اندازه متوسط ۴۰ نانومتر) پراکنده شده در آب که از شرکت BYK تهیه شده بود، استفاده شد.

۲ـ۲ـ روش کار

درصد وزنی نانو آلومینا به عنوان عامل متغیر بر اساس میزان نانو ذرات در رزین جامد انتخاب شد (۳٪، ۵٪، ۷٪، ۹٪ و ۱۱٪) و نمونه‌های فاقد نانو آلومینا به عنوان مرجع در نظر گرفته شد. با استفاده از یک همزن با دور متوسط ذرات نانو آلومینا داخل رزین پراکنده و ۵ نمونه حاوی نانو آلومینا و نمونه مرجع بر روی چوب و شیشه در دمای 25 ± 5 ºC اعمال گردیدند. نمونه‌های چوبی در ابعاد ۱۰ cm × ۱۰ cm بودند و پس از خشک شدن فیلم، سوراخی در وسط آن به شعاع ۱ cm ایجاد گردید تا بتوان از این نمونه‌ها در دستگاه اندازه‌گیری سایش استفاده کرد. فیلم‌های روی شیشه پس از غوطه‌وری در آب از روی شیشه جدا شده و به عنوان فیلم آزاد برای آزمون‌های مکانیکی استفاده شد.

۲ـ۲ـ۱ـ اندازه‌گیری گرانروی

از ویسکومتر شرکت رئوتک[1] جهت اندازه‌گیری گرانروی مایع نمونه‌ها استفاده شد. گرانروی در دمای ۲۵ ºC و با محور[2] شماره ۳ و سرعت ۲۰۰ دور بر دقیقه گرفته شد تا اثر نانو آلومینا بر روی گرانروی رزین مشخص گردد.

۲ـ۲ـ۲ـ کدورت‌سنجی

به منظور مشاهده اثر نانو آلومینا بر روی شفافیت فیلم‌های آزاد از دستگاه کدرسنج استفاده گردید و ۶ نمونه در این دستگاه آزمایش شد. عملکرد دستگاه به این صورت است که با عبور نور از فیلم آزاد (و یا رزین مایع) کدورت نمونه توسط دستگاه بر حسب واحد[3] NTU اعلام می‌شود. از آنجا که نمونه‌های رزین مایع به دلیل امولسیونی بودن، شیری رنگ هستند امکان بررسی آنها وجود نداشته و نمونه‌های فیلم آزاد جهت بررسی در سل دستگاه قرار گرفت.

۲ـ۲ـ۳ـ اندازه‌گیری سایش

دستگاهی که به طور عمده برای ارزیابی مقاومت به سایش استفاده

1- Rheotech
2- Spindle
3- Nephlometer Turbidity Unit

می‌شود، Taber Abrasion است. شاخص سایش با استفاده از کاهش وزن نمونه‌ها محاسبه می‌شود. بدین صورت که نمونه‌ها در ابتدا وزن شده و پس از انجام عمل سایش در تعداد دور مشخص دوباره وزن می‌شوند سپس شاخص سایش با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (تعداد دور سایش توسط دستگاه قابل محاسبه و تنظیم است).

$$\text{شاخص سایش} = \frac{\text{وزن ثانویه(mg)} - \text{وزن اولیه(mg)}}{\text{تعداد دور سایش}} \quad (۱)$$

هرچه شاخص سایش عدد کوچکتری باشد نشان دهنده این است که روکش مقاومت بیشتری به سایش دارد. در این پژوهش نمونه‌های چوبی از قبل آماده شده داخل دستگاه قرار گرفته و پس از ۴۰۰ دور، بدون وزنه اضافه شاخص سایش محاسبه گردید.

۲ـ۲ـ۴ـ میکرو سختی

به منظور اندازه‌گیری سختی روکش در مقیاس میکرو، آزمایش سختی سنج میکروویکرز توسط دستگاه Leica VMHTNOT و از خراشنده نوع ویکرز استفاده شد. در این آزمایش اثر نوک خراشنده در یک سرعت و نیرو مشخص بر روی سطح نمونه پس از برداشتن نیرو توسط میکروسکوپ مشخص است و ابعاد اثر بجا مانده جهت محاسبه سختی سطح در مقیاس ویکرز[1] مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این پژوهش ۳ نیرو/ زمان متفاوت بر روی ۶ عدد نمونه انجام شد که عبارتند از ۲۰S/۱۹۶۰mN، ۶۰S/۴۹۰ mN و ۲۰S/۴۹۰ mN؛ اعداد به دست آمده بر مبنای سختی میکرو ویکرز محاسبه گردید تا اثر نانو آلومینا بر روی سختی سطح در مقیاس میکرو مشخص شود.

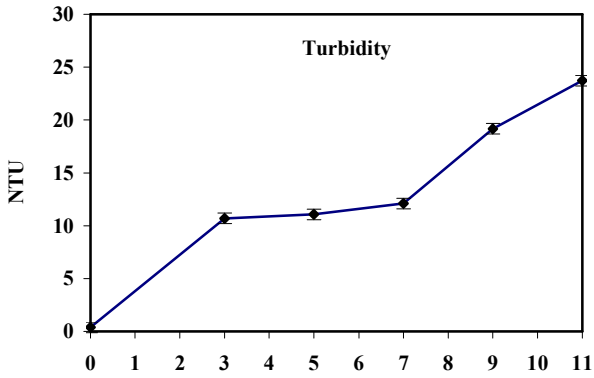
۳ـ نتایج و بحث

۳ـ۱ـ کدرسنجی

اگرچه افزایش نانو ذرات در مقایسه با ذراتی که اندازه‌ای در حدود میکرون و یا بالاتر دارند در یک سامانه شفاف، اثر کمتری گذاشته و شفافیت روکش کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد اما تجمعات نانو ذرات داخل بستر پلیمری و اختلاف شاخص شکست نانو ذرات و رزین خود دو عامل موثر در کاهش شفافیت محسوب می‌شوند [۵].

شکل ۱ نتایج دستگاه کدرسنج را برای ۶ نمونه فیلم آزاد نمایش می‌دهد. اعداد بالاتر نشان دهنده کاهش شفافیت هستند و هرچه اعداد به صفر نزدیک تر شود نشان دهنده یک سامانه شفاف است.

نمونه مرجع دارای مقداری کمتر از ۰,۵ است که نشان دهنده شفافیت بالای نمونه مرجع است. با افزایش درصد وزنی نانو آلومینا (۳٪ وزنی) این عدد به حدود ۱۱ می‌رسد که نشان می‌دهد با افزایش



شکل ۱: میزان کدری نمونه های حاوی درصدوزنی‌های مختلف نانو آلومینا.

نانو آلومینا سامانه تا حدودی کدر می‌شود که این امر را می‌توان به اختلاف شاخص شکست ۰,۴ بین نانو آلومینا و رزین اکریلیک نسبت داد. اما باز هم اعدادی در حدود ۱۲-۱۰ زیاد کدر نیستند و می‌توان آن‌ها را نه شفاف بلکه نسبتاً شفاف نامگذاری کرد. نمونه‌هایی که حاوی ۵٪ و ۷٪ نانو آلومینا بودند عدد کدرسنجی آن‌ها به ترتیب اضافه شد ولی مقدار آنها درخور توجه نبوده و در محدوده ۱۲-۱۰ قرار گرفتند. با افزایش درصد وزنی نانو آلومینا تا ۹٪ عدد به دست آمده در حدود ۲۰ است و در نمونه‌های حاوی ۱۱٪ نانو آلومینا این عدد تقریباً به ۲۵ می‌رسد که یک نمونه نسبتاً کدر را نشان می‌دهد. این افزایش کدورت را می‌توان به عامل تجمعات نانو ذرات در درصدهای بالا نسبت داد و از آنجا که در این درصدها احتمال وجود تجمعات نانو ذرات در اندازه بالاتر از ۰,۲ میکرومتر است و نور از آن‌ها عبور نمی‌کند، سبب کدر شدن نمونه‌ها می‌شود. درحالت کلی به خاطر اختلاف شاخص شکست نانو آلومینا و رزین اکریلیک تأثیر روی شفافیت قابل توجه است. این را می‌توان از اختلاف ۱۰ درجه‌ای بین نمونه‌های حاوی ۳٪ آلومینا و نمونه‌های مرجع به خوبی مشاهده نمود.

۳ـ۲ـ گرانروی

تغییرات گرانروی رزین مایع با افزایش ذرات نانو، عامل مؤثری در جهت طراحی روش اعمال است و مسلماً تغییرات عمده در گرانروی رزین مایع موجب عدم استفاده آن در کاربردی خاص خواهد شد. از طرفی گرانروی رزین می‌تواند عامل مؤثری در جهت همترازی[2]، قلم خوری و یا اسپری رزین باشد [۱۱، ۱۰]. از این رو در این پژوهش اثر افزایش نانو ذرات آلومینا روی گرانروی رزین بررسی شد و ۶ نمونه رزین مایع توسط دستگاه ویسکومتر در دمای ۲۵ °C و با محور

1- Vickers

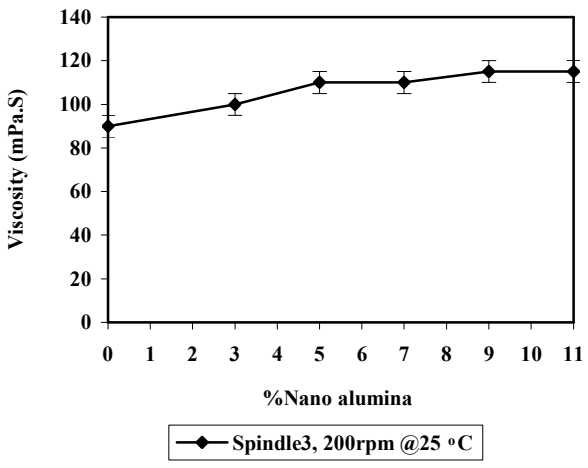
2- Leveling

شماره ۳ و سرعت ۲۰۰ دور بر دقیقه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دهنده این است که تغییرات عمده‌ای روی گرانروی رزین با افزایش نانو ذرات اتفاق نمی‌افتد و گرانروی نمونه‌های از ۹۰mPa.s برای نمونه مرجع تا ۱۲۰ mPa.sبرای نمونه ۱۱٪ حاوی نانو آلومینا افزایش می‌یابد که تغییرات ملموسی نیست (شکل۲).

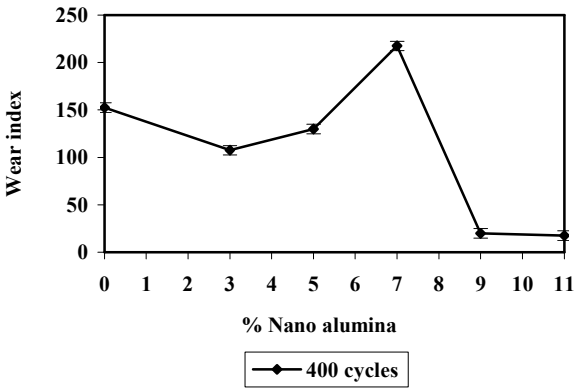
اگر تغییرات گرانروی دقیق‌تر بررسی شوند این نتیجه حاصل می‌شود که پیوندهای فیزیکی و یا شیمیایی احتمالی ایجاد شده بین نانو ذرات و بستر پلیمری می‌تواند روی گرانروی رزین مایع تأثیر گذاشته و گرانروی رزین را افزایش دهد. اما در این سامانه مشاهده می‌شود که این اتفاق نیافتاده است و یا بسیار محدود است و گرانروی رزین بسیار اندک افزایش یافته است. پس می‌توان نتیجه گرفت که پیوند شاخصی در حجم زیاد بین نانو ذرات و زنجیره پلیمری شکل نگرفته و گرانروی رزین در همان حد باقی مانده است.

۳ـ۳ـ مقاومت به سایش

شکل ۳ شاخص سایش[1] را برای ۶ نمونه مشخص می‌کند. این شاخص سایش پس از ۴۰۰ دور عبور دیسک ساینده از روی سطح نمونه‌ها محاسبه شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود با افزایش درصد وزنی نانو آلومینا تا ۵٪ تغییرات محسوسی روی شاخص سایش نمونه اتفاق نیافتاده و با احتساب انحراف معیار محاسبه شده تقریباً نمونه‌ها در یک محدوده قرار می‌گیرند. اما در نمونه حاوی ۷٪ نانو آلومینا به یکباره شاخص سایش افزایش یافته و به حدود ۲۲۰ می‌رسد که تا حدودی خلاف انتظار است و مقاومت به سایش کاهش می‌یابد اما در نمونه‌های حاوی ۹٪ و ۱۱٪ نانو آلومینا شاخص سایش تا نزدیک صفر کاهش یافته که نشان دهنده مقاومت بالای سایش در این نمونه‌ها است.



شکل ۲: گرانروی نمونه‌های حاوی نانو آلومینا.



شکل ۳: شاخص سایش برای نمونه‌های حاوی نانو آلومینا.

با توجه به نتایج گرفته شده از آزمایش کدرسنجی که نشان می‌داد در نمونه‌های حاوی ۹٪ و ۱۱٪ آلومینا اثرات تجمعات نانو ذرات منجر به شکل‌گیری اندازه ذرات تاحد میکرو می‌شد و مقاومت به سایش عالی این نمونه، این طور می‌توان نتیجه گرفت که در درصدهای بالا به خاطر وجود تجمعات با اندازه ذرات بالا مقاومت به سایش افزایش می‌یابد. گویی که احتمال این می‌رود ذرات میکرو آلومینا مقاومت به سایش به مراتب بالاتری را نسبت به ذرات نانو پراکنده شده در این سامانه ایجاد نمایند. در مورد افزایش ناگهانی شاخص سایش در نمونه‌های حاوی ۷٪ نانو آلومینا، اظهار نظر دقیق نیازمند انجام آزمایش‌های مکانیکی بیشتری است .

در حالت کلی سایش به دلیل تخریب سطح و عدم مقاومت زنجیره‌های پلیمری واقع در سطح در برابر عوامل خارجی ساینده و تخریب آن‌ها و در نتیجه جدایش آن‌ها از سطح می‌باشد. حال نقش نانو ذرات می‌تواند بدین صورت باشد که با ایجاد پیوندهای قوی بین زنجیره‌های پلیمری (فیزیکی و یا شیمیایی) تخریب و جدایش زنجیره‌ها را به راحتی ممکن نسازد و دربرابر عوامل ساینده آن‌ها را محافظت کند و با ایجاد یک سطح سخت از فرسایش و تخریب سطح جلوگیری کند [۱۴-۱۲]. اما در حالتی که نانو ذرات برهم‌کنش قوی‌ای با زنجیره‌های پلیمری احاطه کننده آن‌ها ندارد افزایش آن‌ها نه تنها ممکن است تأثیری بر سختی سطح و مقاومت به سایش نداشته باشد، حتی ممکن است به علت وجود فضاهای خالی که به سبب حضور آن‌ها در بستر پلیمری ایجاد شده است راه را برای نفوذ عوامل ساینده و تخریب زنجیره‌ها بازتر کنند و مانع برهم‌کنش ذاتی زنجیره‌های پلیمری با یکدیگر شده و راه را برای تخریب باز کنند که اگر هم چنین اتفاقی در سامانه نانو آلومینا (اکریلیک) رخ داده باشد، افزایش شاخص سایش در نمونه حاوی ۷٪ نانو آلومینا منطقی است.

در مورد نمونه‌های حاوی ۹٪ و ۱۱٪ نانو آلومینا احتمال این می‌رود که برداشتن تجمعات نانو ذرات در مقیاس حدود میکرو از روی سطح مشکل باشد و این تجمعات داخل زنجیره‌ها به راحتی از روی

1- Wear Index

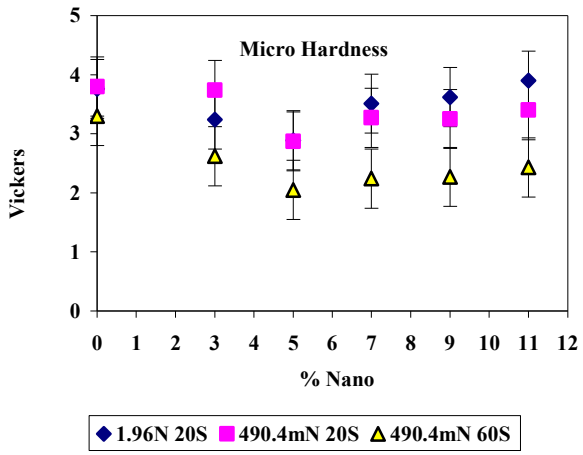
سطح جدا نشده (در مقایسه با ذرات نانو) و برهم‌کنش قوی خود نانو ذرات با یکدیگر سبب می‌شود که مقدار کمتری از روی سطح به واسطه سایش زدوده شود و کاهش وزن و در نتیجه شاخص سایش کم باشد و از طرف دیگر زنجیره‌های پلیمری توسط این تجمعات ذرات نانو آلومینا محافظت شده در نتیجه تخریب آن‌ها کمتر باشد.

۳ـ۴ـ سختی مقیاس میکرو

از عواملی که می‌تواند منجر به مقاومت روکش در برابر سایش شود، سختی سطح است. یعنی هر چقدر سختی سطح بالاتر رود مقاومت به عوامل ساینده نیز بیشتر می‌شود [۱۳]. از این رو، آزمایش سختی میکرو ویکرز با این هدف انجام شد و در آن از ۳ نیرو / زمان مختلف برای مقایسه سختی نمونه‌های مختلف استفاده شد که عبارتند از: ۱۹۶۰ mN/S ۲۰ و ۴۹۰/۴ mN / S ۲۰ و ۴۹۰/۴ mN / S ۶۰.

همان‌طوری که در شکل ۴ مشخص است با افزودن نانو آلومینا، تغییرات شاخصی روی سختی میکرو انجام نشده و با احتساب انحراف معیار، همگی در یک محدوده ۴-۲ هستند. از طرفی دیگر، این اعداد نشان دهنده سختی بسیار پایین است که در کل این روکش، یک روکش نرم است که با افزایش ذرات نانو آلومینا دچار تغییر آشکاری در جهت سخت شدن نمی‌شود پس می‌توان نتیجه گرفت که سختی عامل مؤثری در جهت افزایش مقاومت به سایش در این نمونه‌ها نبوده است.

همان‌طوری که در شکل ۴ دیده می‌شود برای نمونه‌هایی که عامل زمان متغیر بوده است یعنی دو سری نیرو/ زمان ۴۹۰/۴ mN / S ۲۰ و ۴۹۰/۴ mN / S ۶۰ در کل به میزان بسیار اندک با افزایش زمان سختی کاهش یافته است ولی مقدار آن بسیار کم و قابل اغماض است و برای نمونه‌هایی که عامل نیرو متغیر بوده است یعنی دو سری نیرو/ زمان ۱۹۶۰ mN/S ۲۰ و ۴۹۰/۴ mN / S ۲۰، نتایج تفاوت چندانی نکرده و در بعضی نقاط همپوشانی کامل دارد که نشان دهنده این است که ۳ برابر کردن نیرو هیچ تأثیر خاصی را روی نتایج نداشته است.



شکل ۴: سختی مقیاس میکرو نمونه‌ها در درصد وزنی مختلف نانو ذرات.

۴ـ نتیجه‌گیری

نتایج نشان دهنده این است که در درصدهای وزنی بالای ۹٪ تجمعات نانو ذرات شکل گرفته، منجر به کاهش شفافیت روکش می‌شود. اما از طرف دیگر این تجمعات که در مقیاس میکرو هستند مقاومت خوبی در برابر سایش نشان می‌دهند. ایجاد تجمعات میکرو که سبب کدرشدن می‌شوند توسط دستگاه کدرسنج در درصدهای وزنی بالای ۹٪ ثابت شد. همچنین مشاهده شد که با افزایش نانو ذرات، سختی نمونه‌ها ثابت مانده است که نشان می‌دهد عامل سختی سطح تأثیری بر روی مقاومت به سایش نمونه‌ها نداشته است. در کل این طور می‌توان نتیجه گرفت که در این سامانه به دلیل اینکه واکنش فیزیکی مؤثری بین نانو ذرات و زنجیره‌های پلیمری شکل نمی‌گیرد تغییری روی خواص از جمله گرانروی و یا سختی به وجود نمی‌آید و تنها ایجاد تجمعات در اندازه میکرو در درصدهای وزنی بالای ۹٪ عاملی برای مقاومت به سایش می‌باشد که می‌تواند به دلیل مقاومت خود این تجمعات در برابر سایش و حفاظت از زنجیره‌های پلیمری اطراف آن‌ها باشد که در کل مقاومت به سایش را افزایش داده است.

۵ـ مراجع

1. A. Silivane, M. Ocheane, Wood protection coatings and preservatives,http://www.freedoniagroup.com/woodprotection, accessed online Feb. 2008.
2. M. Groenewott, Highly scratch resistant coatings for automotive applications. *Prog. Org. Coat*. 61(2008), 106-109.
3. B. Ramezanzadeh, S. Moradian, H. Yari, A. Kashani, N. Tahmasebi, The effect of base coat pigmentation on mechanical properties of an automotive basecoat/clearcoat system during weathering. *Polym. Degrad. Stab*. 94(2009), 1281-1289.
4. D. Lackner, S. Analyst, A world of nanobusiness deals, in Proceeding of the 7th international nanobusiness workshop, Oxford, UK, (2005), 60-63.
5. P. M. Ajayan, L. S. Schadler, P. V. Braun, Nanocomposite science and technology. Wiley-VCH, 2003, 167-181.
6. B. J. Ash, L. S. Schalder, R. W. Siegel, Effects of nano particles on mechanical behavior of epoxy. *Mater. Lett*. 53(2002), 83-87.
7. T. Li, Q. Chen, L. S. Schalder, R. W. Siegel, J. Mendel, G. C. Ervin, The glass transition behavior of an acrylic nano composite. *Polym. Compos*. 54(2004), 109-112.

8. J. Hagas, M. Knospe, Wear resistance of acrylic coatings, http://www.BYK-Chemie.com/coatings/wear,accessed online Feb. 2008.
9. G. Celiker, D. Yucel, A. Berber, High scratch resistance nanocomposites. *Polym. Compos.* 57(2006), 89-92.
10. R. W. Siegel, S. K. Chang, B. J. Ash, J. Stone, P. M. Ajayan, R. W. Doremus, L. S. Schadler, Mechanical behavior of polymer and ceramic matrix nanocomposites. *Scr.Mater.* 44 (2001), 2061-2064.
11. B. J. Ash, L. S. Schadler, R. W. Siegel, Glass transition behavior of alumina/polymethylmethacrylate nano composites. *Mater. Lett.* 55(2002), 83-87.
12. B. J. Ash, D. F. Rogers, C. J. Wiegand, L. S. Schadler, R. W. Siegel, B. C. Benicewicz, T. Apple, Mechanical behavior of Al_2O_3/polymethylmethacrylate nano-compocites. *Polym. Compos*. 23(2002), 1014-1019.
13. W. G. Sawyer, K. D. Freudenberg, P. Bhimaraj, L. S. Schadler, A study on friction and wear behavior of PTFE filled with alumina nanoparticles. *Wear*. 254(2003), 573-580.
14. B. J. Ash, R. W. Siegel, L. S. Schadler, Glass transition temperature behavior of alumina/PMMA nano composites. *Polym. Sci.* 42(2004), 4371-4383.