



دانشگاه شهید بهشتی کرمان



انجمن خوردگی ایران



مرکز بین‌الملل علوم تکنولوژی پیشرفته علمی ملی
International Center for Science & High
Technology & Environmental Sciences

پوشش‌های خودترمیم شونده و بررسی عملکرد آنها در کنترل خوردگی

مهدی صمدزاده^۱، نرگس گودرزی^۱، محمود پیکری^۲، سید محمود کثیری‌ها^۳، محمود صمدزاده^۴

چکیده

پوشش‌های پلیمری جهت حفاظت از سطح فلز در برابر مواد خورنده بر روی فلزات اعمال می‌شوند. اما با ایجاد یک ترک و یا نقص در پوشش منطقه ترک تبدیل به آند موضعی شده و فلز به سرعت خوردگی شده و خوردگی حفره‌ای رخ می‌دهد. پوشش‌های خودترمیم شونده به عنوان نسل جدیدی از پوشش‌های هوشمند به حل مشکل پرداخته و یا مخلوط نمودن کپسولهایی در ابعاد نانو و میکرو در ماتریس رنگ و اعمال آنها بر روی سطح فلز، به محض ایجاد ترک بر روی پوشش، کپسولها نیز شکسته شده و ماده خودترمیم شونده کاملاً پلیمرایز شده و سطح ترک را می‌پوشاند و یا به عبارتی ملعع از ارتباط سطح فلز با محیط خورنده می‌گردد، به همین علت به این پوششها، پوشش‌های خودترمیم شونده‌ی ضدخوردگی نیز می‌گویند. در اینجا مشخصات کپسول با تست SEM, TGA و آنالیزور اندازه ذرات تعیین گشته است. فرآیند ترمیم شوندگی ترک نیز با تست EIS, salt spray و میکروسکوپ نوری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: میکرو و نانو کپسول‌ها، پوشش‌های خودترمیم شونده، جلوگیری از خوردگی، ترمیم ترک

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد بازرسی فتی، دانشکده مهندسی نفت آبادان، دانشگاه صنعت نفت

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه صنعت نفت

۳- عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیر کبیر

۴- دانشجوی کارشناسی مهندسی متالورژی صنعتی دانشگاه سمنان



مقدمه

انواع مختلف پوششها و رنگها به منظور بهسازی خواص سطح، زیبا سازی آن و محافظت از آن در برابر عوامل خورنده مورد استفاده قرار می‌گیرند. در طول عمر سرویس پوشش تغییرات ایجاد شده در خواص مکانیکی، منجر به تشکیل میکرو ترکهای در سطح آن می‌شوند. با افزایش تعداد این میکرو ترکها و رشد آنها به تدریج سطح فلز در معرض بخارات جوی و اکسیژن قرار گرفته و در نهایت منجر به جدایش پوشش از سطح و پوسته شدن آن در سطح مشترک فلز- پوشش می‌شود. مطالعات و آزمایشات اخیر دانشمندان نشان می‌دهد که پلیمرها و کامپوزیتهاي خود ترمیم شونده حاوی عوامل ترمیم کننده کپسوله شده قابلیت شگرفی برای تولید موادی با طول عمر بسیار بالا ارائه می‌دهند.

سیستم پوششی خود ترمیم شونده بصورت اتوماتیک مناطق آسیب دیده را ترمیم می‌کند، محل نقص را نسبت به محیط پیرامون ایزوله می‌سازد و از تشکیل زنگ آهن بر روی فنزات جلوگیری می‌کند. کاربرد ترمیم خودبخودی پوشش مخصوصاً برای قطعاتی که در معرض محیط های به شدت خورنده قرار می‌گیرند و یا هزینه های تعمیر بسیار بالا باشد، می‌تواند ارزشمند باشد. با توجه به خسارات هنگفت خوردگی (به عنوان مثال خسارات خوردگی در آمریکا سالانه بیش از ۲۷۶ میلیارد دلار تخمین زده شده و هزینه های کنترل خوردگی ۱۰۰ میلیارد دلار گزارش شده است) رشد، توسعه و کاربردی شدن تکنولوژی پوششهاي خود ترمیم شونده، با بالا بردن طول عمر پوشش اثر مثبت قابل توجهی بر اقتصاد کشورها خواهد داشت. در این مقاله ابتدا فرآيند کپسوله سازی دی سیکلو پنتا دی ان (DCPD) توسط پلیمریزاسیون در جای اوره - فرمالدهید (UF) در محیط امولسیون آب - روغن که الزامات پوششهاي خود ترمیم شونده را برآورده می‌سازد، توضیح داده می‌شود و سپس خواص این کپسولهای، نحوه عملکرد آنها، نحوه انتشار آنها در رزین اپوکسی، اعمال آنها بر روی سطح فلز، کاربرد آنها در پوششهاي ضدخوردگی شرح داده می‌شود.

روش تحقیق:

مواد:

دی سیکلو پنتا دی ان (DCPD) که قبل از میکرو کپسوله سازی توسط فیلتراسیون و تقطیر در خلاء خاص سازی می‌شود، اوره، کلرید آمونیوم، resorcinol ، فرمالدهید، (Ethylene maleine [۱،۳]-Octanol، anhydride) EMA محلولهای اسیدی و بازی، روغن کرچک، سنتز آزمایشگاهی کپسولها:

ابتدا طریقه‌ی ساخت کپسولهایی در ابعاد میکرون که اولین نسل کپسول‌های ترمیم کننده بودند توضیح داده می‌شود:

میکرو کپسولها از پلیمریزاسیون در جای در امولسیون آب - روغن تهیه می‌شوند. برای این منظور در دمای اتاق ۲۰۰ میلی لیتر آب بدون یون و ۵۰ ml محلول ۲۵ درصد وزنی EMA به عنوان copolymer در یک بشر مخلوط می‌شوند. در صورت استفاده از غلاظتهای کم EMA به عنوان surfactant پدیده‌ی توده‌ای شدن کپسولها رخ می‌دهد که با استفاده از غلاظتهای بهینه‌ی EMA کپسولهای مجرزا و مطلوب تشکیل می‌شوند و این مشکل رفع می‌شود. همچنین PH های پایین می‌توانند باعث توده شدن شوند که باید PH را تا ۴ - ۳/۵ بالا برد. بشر در یک حمام آب با دمای کنترل شده که پروب خارجی دما رویش نصب شده باشد، بصورت معلق قرار می‌گیرد. محلول بوسیله‌ی یک همزن دیجیتال هم زده می‌شود. (همزن سه پره با قطر ۶۳۵ میلیمتر که درست روی کف بشر نصب شده است) ضمن عملیات هم زدن ۵ گرم اوره، ۰/۱۵ گرم کلرید آمونیوم و ۰/۱۵ گرم resorcinol در محلول ریخته و حل می‌کنیم. PH از حدود ۲/۶ تا ۳/۵ با افزودن قطره قطره‌ی هیدروکسید سدیم همراه با HCL بالا می‌رود. یک تا دو قطره ۱-Octanol به عنوان ضد کف جهت حذف حبابهای سطحی افزوده می‌شود. جریان آرامی از DCPD برای تشکیل امولسیون اضافه می‌شود و ۱۰ دقیقه برای پایداری مؤثر فرصت داده می‌شود. پس از رسیدن به پایداری ۱۲/۶۷ گرم محلول الی فرمالدهید ۳۷ درصد وزنی اضافه می‌شود تا کسرمولی ۱/۱۹ برای فرمالدهید به اوره حاصل شود. حالا امولسیون را می‌پوشانیم و اندکی حرارت می‌دهیم تا به دمای ۵۵°C برسیم. بعد از ۴ ساعت هم زدن پیوسته گرم کن و همزن را خاموش می‌کنیم. زمانیکه محلول سرد شد و به دمای اتاق رسید، ذرات معلق میکروکپسول تحت خلاء توسط فیلتر یا عمل سانتریفیوژ جدا می‌شوند. میکروکپسولها توسط آب بدون یون شسته می‌شوند و توسط هوای موجود به مدت ۲۸ - ۲۴ ساعت خشک می‌شوند. [۱]

تشکیل کپسول اوره - فرمالدهید شامل واکنش اوره با فرمالدهید برای حصول methyl urea می‌باشد که در محیط اسیدی چگالتر بوده و تشکیل ماده‌ی پوسته را می‌دهد. کپسوله شدن همزمان با تشکیل پلیمر اوره - فرمالدهید می‌باشد. اوره و فرمالدهید حل شونده در آب هستند، وقتی PH اسیدی شود و دما به 55°C برسد اوره و فرمالدهید واکنش داده و پلی اوره - فرمالدهید می‌دهند. در طی مراحل اولیه‌ی پلیمریزاسیون، مولکول اوره - فرمالدهید غنی از گروه‌های قطبی بوده و سازگار با آب است. تعداد گروه‌های قطبی همزمان با افزایش وزن مولکولی پلیمر کم می‌شود. نهایتاً پس از رسیدن به یک وزن مولکولی خاص هیدروفیل بودن مولکول اوره - فرمالدهید کم و در نتیجه از فاز آبی جدا می‌شود تا جاییکه یک لایه روی قطرات روغنی شکل می‌گیرد. ضخامت پوسته بهینه می‌شود تا جاییکه بتواند بیشترین مقدار ماده‌ی مغزی را در بر بگیرد.^[۱]

در روش مذکور میکرو کپسولهایی با قطر $1000\text{ }\mu\text{m}$ - $100\text{ }\mu\text{m}$ با کنترل نرخ همزنی بین 200 - 2000 دور بر دقیقه حاصل می‌شود. اما فرآیندهای استاندارد کپسوله سازی ابعاد ریزتر در حدود $10\text{ }\mu\text{m}$ قطر را می‌پذیرند که با روش‌های نوین استفاده از پلیمریزاسیون در جا همراه با sonication به این ابعاد ریز دست خواهیم یافت. کپسول های ریزتر به راحتی می‌توانند با بین نشینی در ماتریس پلیمر یا کامپوزیت جا داده شوند. در این روش ابزار sonication تشکیل یک امولسیون رقیق و همگن و کپسول هایی در ابعاد مطلوب را ممکن می‌سازد.^[۲]

ابتکار نوین دیگر در ساخت میکروکپسولها استفاده از روغن کرچک به عنوان ماده‌ی هسته است. میکرو کپسول های حاوی روغن کرچک از پلیمریزاسیون در جای UF به دور قطره روغن کرچک ساخته می‌شوند. شکافهای موجود در پوشش با موقیت توسط روغن کرچک رها شده هنگام شکست میکرو کپسول ترمیم می‌شوند. روش ساخت این نوع میکروکپسول همانند میکرو کپسولهای نسل اول بوده، با این تفاوت که 60 میلی متر روغن کرچک حاوی $7/0$ درصد وزنی cobalt naphthenate و $2/5$ درصد وزنی lead octoate برای تشکیل امولسیون استفاده می‌شود.

محلول 5 درصد وزنی PVA (پلی ونیل الکل) هم بکار برد می‌شود.^[۳]

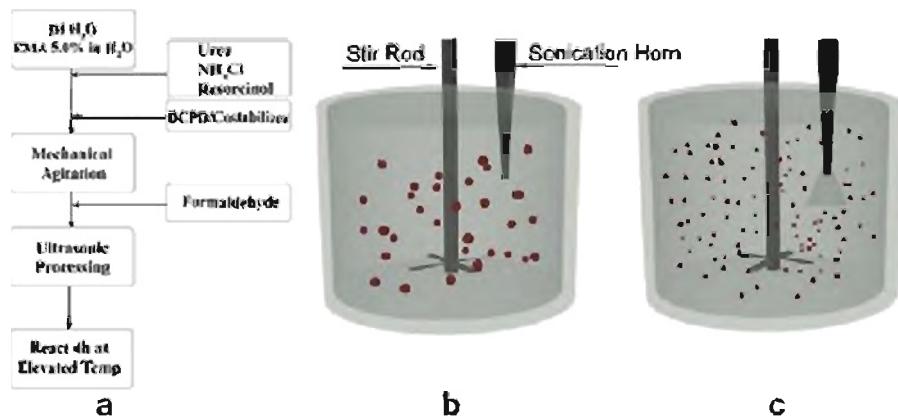
آنالیز عناصر میکرو کپسول نشان می‌دهد که پس از 30 روز قرار گرفتن در هوای آزمایشگاه، محتوی آن 3% - 2 کاهش می‌یابد. بنابراین برای استفاده بعنوان عامل ترمیم کننده باید در این بازه‌ی زمانی درون ماتریس پلیمر قرار گیرد.^[۴]

مشخصات میکرو کپسولها:

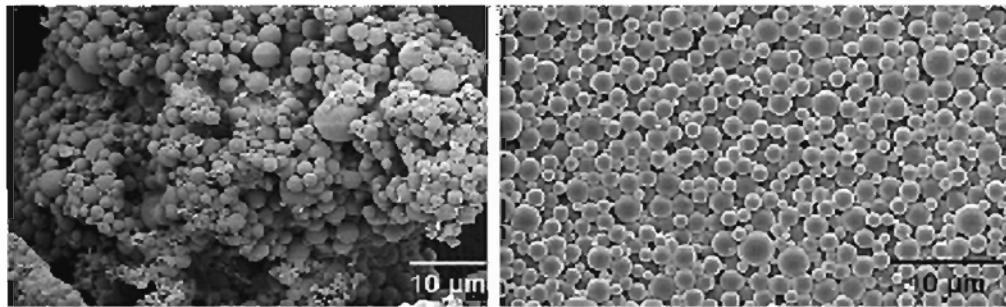
قطر کپسول UF و مورفولوژی سطح آن تأثیر قبیل توجهی بر رفتار شکست کپسول و آزاد سازی ماده‌ی ترمیم کننده در پلیمر خود ترمیم شونده دارد، از سویی شکل کروی این کپسولها باعث تسهیل در شناوری آنها می‌شود. پایداری حرارتی و مکانیکی این کپسول‌ها نیز مورد توجه می‌بلشد. در این بخش مشخصات اسلسی کپسولها مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۱ - اندازه‌ی ذرات کپسولها:

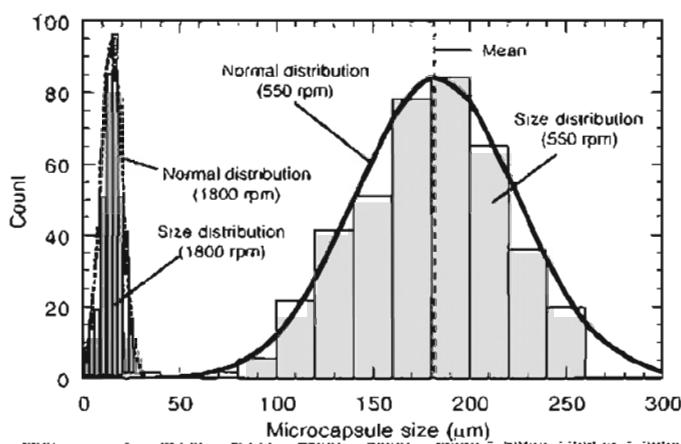
بررسی ابعاد کپسولها توسط میکروسکوپهای نوری و یا SEM و با استفاده از نرم افزارهای آنالیزگر (TDI plus) صورت می‌گیرد. قطر میانگین و انحراف معیار بر طبق حداقل ۰.۲۵ اندازه گیری بدست می‌آید. توزیع ابعادی طبق نمودار به سمت قطرهای کوچکتر تمایل دارد. قطر میکرو کپسولها توسط نرخ همزنی کنترل می‌شود وقتی نرخ همزنی بالا باشد امولسیون رقیقی حاصل می‌شود و قطر کاهش می‌یابد. با تنظیم نرخ همزنی ۲۰۰۰ - ۲۰۰ دور بر دقیقه قطر میکرو کپسول در محدوده μm ۱۰۰۰ - ۱۰ حاصل می‌شود. رابطه‌ی بین قطر متوسط و نرخ همزنی در مقیاس $\log - \log$ خطی است. البته باید دانست که در صورتیکه نرخ همزنی خیلی بالا باشد در اثر زیاد بودن تنفسی برخی کپسولها تخرب می‌شوند و بازده کار پایین می‌آید.



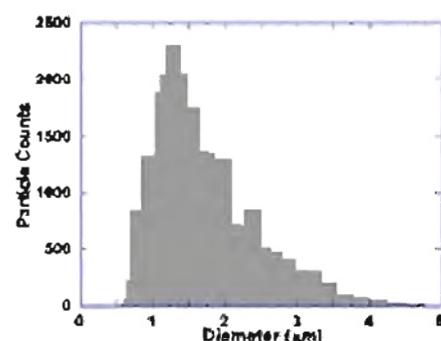
شکل ۱- روش کپسوله کردن برای آماده‌سازی کپسولهای UF حاوی DCPC (a) چارت فرآیند کپسوله کردن (b) شماتیک محلول امولسیونی آمده برای sonication (c) در طول sonication



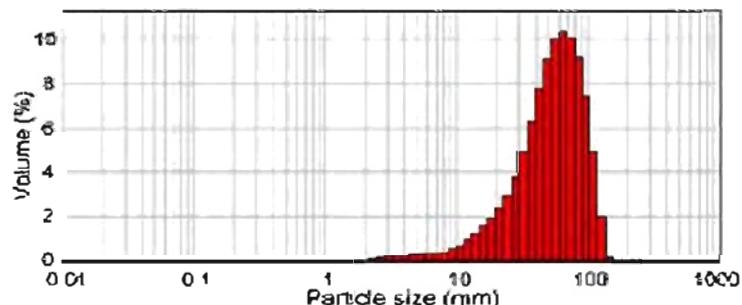
شکل ۲- کپسولهای بهم چسبیده بهنگام استفاده از میزان نامناسب surfactant (a) کپسولهای جدا از هم بهنگام استفاده از میزان بهینه surfactant (b)



شکل ۳) توزیع اندازه ذرات میکروکپسولها بر اساس سرعت هم زدن محلول امولسیون



شکل ۲- توزیع اندازه میکروکپسولها به روش sonication

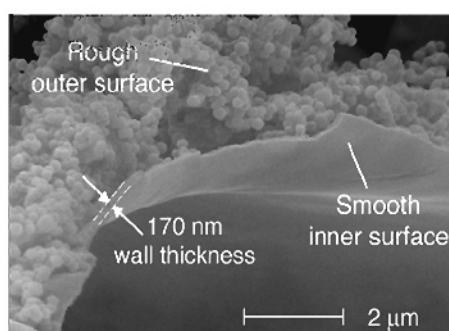


شکل ۵) آنالیز اندازه دانه میکروکپسولهای حاوی linseed oil

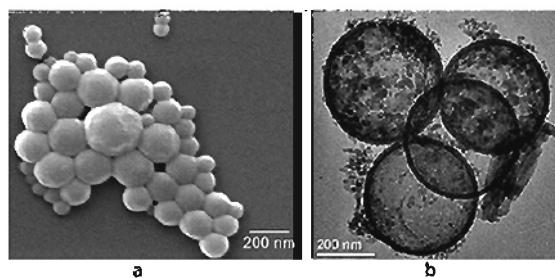
قطر متوسط کپسولهایی که به روش sonication تهیه می‌شوند 165 ± 79 μm است. در حالیکه میکروکپسول های نسل اول قطری در محدوده ۱۰ - ۱۰۰ μm داشتند. هم چنین قطر متوسط کپسولهای حاوی linseed oil که به روش پلیمریزاسیون درجا و بوسیله همزن مکانیکی با ۲۵ دور در دقیقه آماده می‌شوند، حدود ۵۰ μm می‌باشد. [۲,۳,۴]

۲- مورفولوژی پوسته

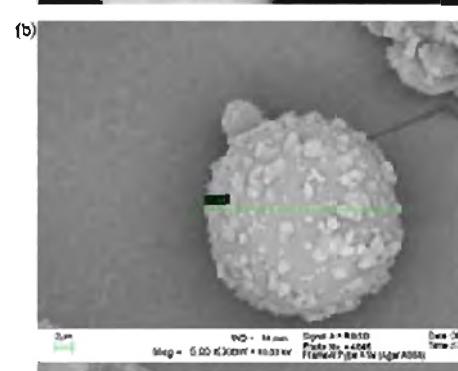
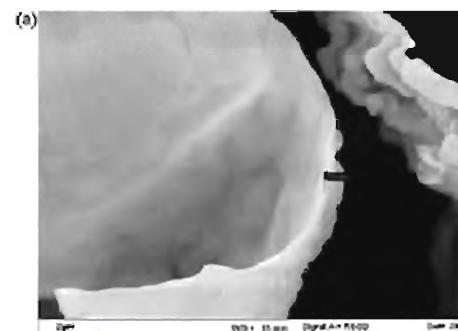
مورفولوژی سطح و ضخامت پوسته‌ی میکروکپسول‌ها توسط میکروسکوپ‌های الکترونی SEM بررسی می‌شوند. در این بررسی مشاهده شده که میکروکپسولها دارای سطحی هستند که در بعضی نقاط خشن و در بعضی نقاط هموار و صاف است. در مرحله‌ی اول مورفولوژی خشن سطح شکل می‌گیرد و سپس مورفولوژی هموار در ادامه‌ی فرآیند پلیمریزاسیون تشکیل می‌گردد. سطح داخلی هموار و بدون ناخالصی با تهی جای می‌باشد اما سطح بیرونی به دلیل وجود نانوذرات UF متخلخل است که البته این تخلخل باعث چسبندگی بهتر مکانیکی میکروکپسول به ماتریس پلیمر می‌شود. برای اندازه گیری ضخامت توسط دیواره‌ی میکروکپسول آنرا توسط تیغهی برشی می‌برند و با SEM مشاهده و سپس ارزیابی می‌کنند، ضخامت متوسط دیواره برای میکروکپسولهایی که با روش sonication تولید می‌شوند در حدود 77 ± 25 nm می‌باشد، در حالیکه این ضخامت برای میکروکپسول‌های نسل اول تنها در ناحیه‌ی داخلی هموار و صاف حدود 220 ± 160 nm است. در مورد دیگر که از هم زن مکانیکی و با دور در دقیقه مورد استفاده قرار گرفت ضخامت دیواره در حدود $0.2 \mu\text{m}$ در پایان حاصل گردید.[۲۰, ۲۱]



شکل ۷- مورفولوژی سطح میکروکپسولهای حاوی DCPD



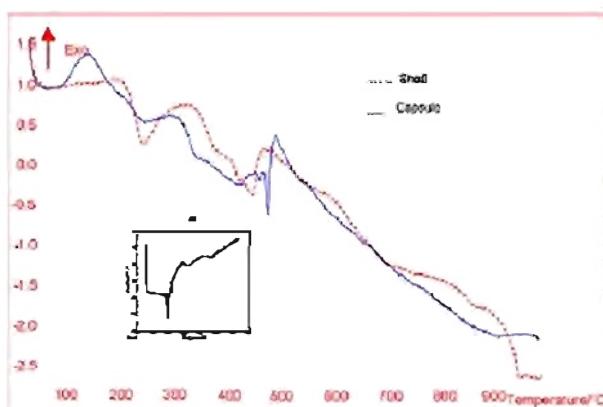
شکل ۶- a) تصویر SEM نانوکپسولهای حاوی DCPD
b) تصویر TEM از هسته و پوسته نانوکپسولها



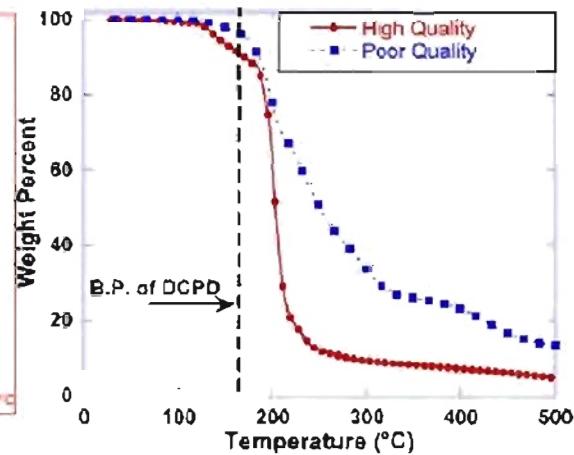
شکل ۸) تصاویر SEM از (a) ضخامت پوسته مورفولوژی کپسول

۳- آنالیز گرمایی کپسولها:

پایداری حرارتی و کیفیت کلی کپسول نهایی توسط (thermo gravimetric analysis) TGA ارزیابی می‌شود. ابتدا نمونه‌ی کپسول تا دمای 80°C به مدت ۲ ساعت گرم می‌شود تا آب باقیمانده تبخیر و کپسول برای تست آماده شود. مطابق شکل ۹ مقایسه‌ای بین رفتار حرارتی کپسول بهینه با پوسته پایدار با کپسول‌های ضعیف حاوی مقدادیر کمتر DCPD صورت گرفته است. در رابطه با کپسول‌های بهینه قبل از 100°C تنها ۱۵٪ افت وزن مشاهده می‌شود. در محدوده دمایی 200°C - 220°C افت شدیدی در وزن رخ می‌دهد که نزدیک به دمای جوش DCPD (170°C) می‌باشد و نشان می‌دهد که کپسول پایدار است تا زمانی که می‌شکند و ماده‌ی ترمیم کننده‌ی تبخیر شده را رها می‌کند. اما برای کپسول‌های حاوی روغن کرجک آنالیز گرمایی در محیط نیتروژن با یک نمونه ۳ میلی گرمی و نرخ گرمایش 20 C/min در محدوده دمایی 200°C - 300°C صورت می‌گیرد. همچنین توسط differential scanning calorimeter اکسیژن نمونه ۳ میلی گرمی حاوی روغن کرجک تحت نرخ گرمایش 20 C/min در محدوده $30-900^{\circ}\text{C}$ قرار می‌گیرد. همانطور که در نمودار شکل ۱۰ در دمای 220°C واکنش گرماده شدید داریم که مربوط به ترکیدن میکروکپسول و آزاد شدن روغن کرجک است.^[۳,۲]



شکل ۱۰) منحنی های آنالیز گرمایی کپسول (—)، روغن کرجک (...)، و رزین فرمالدھید (—)

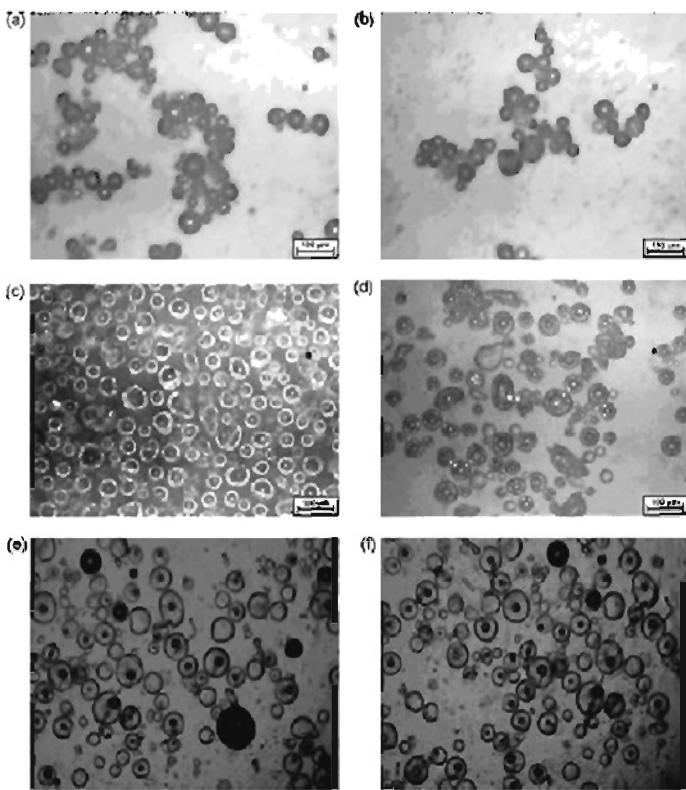


شکل ۹-نمودار آنالیز گرمائی برای کپسولهای آماده شده به روش sonication

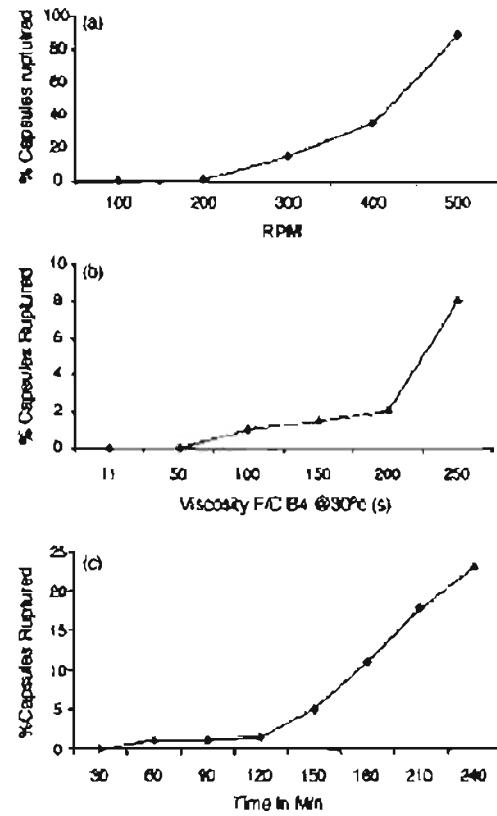
۴- پایداری مکانیکی کپسول ها

پایداری مکانیکی کپسولها با قرار دادن آنها در معرض تنش ایجاد شده حین هم زدن با 200°C دور بر دقیقه در محلولهای رogen معدنی تربلنتین MTO و زرین اپوکسی با ویسکوزیته‌های متفاوت

مشخص می‌شود. نمونه‌ها پس از هر ۱۰ دقیقه در زیر میکروسکوپ نوری مشاهده شده و تعداد کپسولهای شکسته شده شمرده می‌شوند. مطالعات بیشتر جهت پایداری کپسولها با تغییر دور هم زدن در ویسکوزیته ۲۰۰ برای مدت ۱ ساعت انجام می‌شود.^[۳,۲]



شکل ۱۲) پایداری مکانیکی میکروکپسولها (a) آمیخته شده در MTO با سرعت ۲۰۰ rpm در طول ۱ ساعت (b) آمیخته شده در MTO با سرعت ۲۰۰ rpm در طول ۴ ساعت (c) آمیخته شده در رزین اپوکسی با سرعت ۲۰۰ rpm (d) آمیخته شده در رزین اپوکسی با سرعت ۵۰۰ rpm (e) و (f) توزیع میکروکپسولها در فیلمهای تمیز



شکل ۱۱) پایداری مکانیکی میکروکپسولها (a) اثر سرعت بر پایداری مکانیکی (b) اثر ویسکوزیته بر پایداری مکانیکی (c) اثر زمان بر پایداری مکانیکی

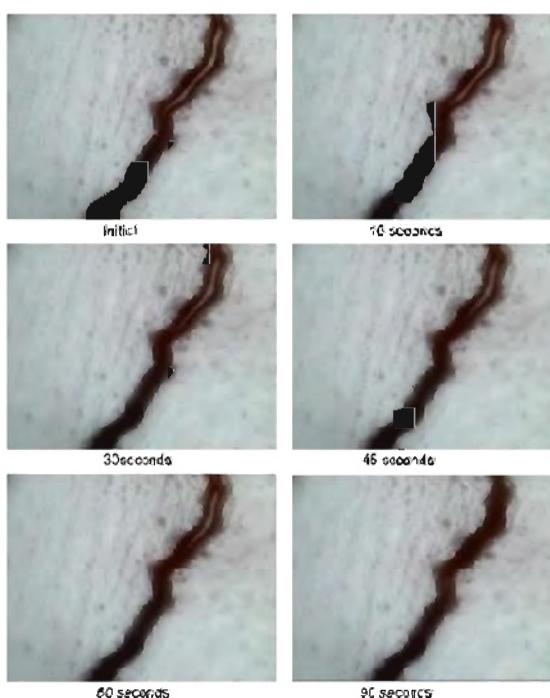
انتشار کپسول‌ها در رزین اپوکسی:

جهت تضمین پایداری میکروکپسولها در حین هم زدن در رزین اپوکسی بهتر است که ابتدا کپسولهای حاوی DCPD و یا oil linseed در یک حمام یخی قرار داده و آنها را به شدت سرد نمائیم. زیرا سرد نمودن آنها موجب استحکام و پایداری کپسول شده و میزان احتمال شکست کپسولها در حین هم زدن را به صفر می‌رساند. پس از سرد نمودن، کپسولها را طی فرآیندهای

مختلف نظیر اضافه نمودن یک عامل خشک کننده جهت زدودن مواد زائدی که در حین ساخت کپسول به روی دیواره آن مانده و یا شتن بازایلن و سلتتریفیوژ کردن آنها تمیز و در معرض هوا خشک می‌نماییم. در نهایت کپسولها را در رزین ریخته با روش لتراسونیک و سرعت بالای هم زدن آنها را در ماتریس اپوکسی منتشر می‌نماییم. [۴]

در روشی دیگر کپسولها به وسیله همزن مکانیکی در رزین منتشر شده و مورد استفاده قرار می-گیرند. انتشار همگن کپسولها در رزین اپوکسی به شدت به زمان خشک شدن کپسول، اندازه کپسول، زمان هم زدن کپسولها در رزین اپوکسی و روش های مختلف آماده سازی کپسول وابسته می‌باشد. پس از مخلوط نمودن کپسولها در رزین اپوکسی، آن را به وسیله بررسی بر روی یک نمونه فولادی به ابعاد $1 \text{ mm} \times 60 \text{ mm} \times 150 \mu\text{m}$ با ضخامت تقریبی $150 \mu\text{m}$ به شیوه دستی اعمال نموده و به آن زمان داده که به طور کامل خشک گردد (به علت فشار زیادی که روش اسپری در هنگام برخورد پوشش به سطح فلز اعمال می‌گردد، امکان شکسته شدن تعداد زیادی از میکروکپسولهای موجود در رنگ می‌باشد، به همین دلیل از روش اعمال با برس دستی استفاده می‌شود). [۳, ۴].

زمینی که پوشش کاملاً خشک شده به وسیله cross cut بر روی نمونه یک خراش ایجاد نموده و تستهای زیر را جهت اثبات خود ترمیم شوندگی پوشش انجام می‌دهیم.



شکل ۱۲) تصاویر میکروسکوپ نوری از فیلمهای

پوشش خود ترمیم شونده



دانشگاه علم و تکنولوژی ایران



اینجمن خوردگی ایران

کارگزاری سازمانی برترین شرکت های

پوشش های خودترمیم شونده و بررسی عملکرد آنها . . .

بررسی خواص خودترمیم شوندگی پوشش

در بررسی خواص ضد خوردگی و خود ترمیم شوندگی پوششها تستهای مختلفی وجود دارد که در ذیل به ۳ مورد از مهمترین آنها اشاره می شود، البته این تستها برای میکروکپسولهای حاوی oil linseed oil انجام شده است.

بدیهی است که برای میکرو و نانو کپسولهای حاوی DCPD نیز تمامی این تستها قابل انجام است.
میکروسکوپ نوری

جهت ترمیم موثر و مناسب، میکروکپسولهای موجود در فیلم رنگ باید به محض ایجاد ترک در فیلم رنگ شکسته شده و ماده ترمیم شونده را رها نماید. مشاهده شده است که سطح پوسته میکروکپسولها نسبتاً زیر بوده (شکل ۸-۱) که چسبندگی خوبی را با فیلم رنگ ایجاد می کند. این امر شکست میکروکپسولها را تحت تنشیهای ایجاد شده به خاطر ترک تسهیل می نماید. فرایند ترمیم ترک در فیلم رنگ در زیر میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی $100\times$ ضبط شده و در شکل ۱ نشان داده شده است. [۴، ۳]

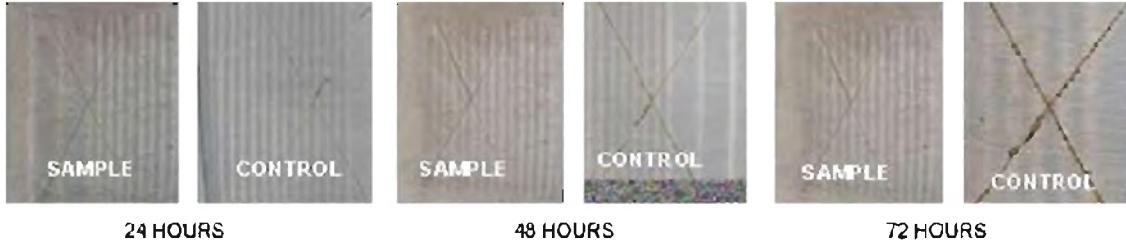
همانطور که در شکل مشاهده می گردد طول اولیه ترک ماکریم بوده که با گذشت زمان کاهش یافته و پس از ۹۰ ثانیه کاملاً ترمیم می شود. این ماده ترمیم شونده (روغن کرچک) به وسیله اکسیداسیون با اکسیژن موجود در هوا خشک شده و یک فیلم یکنواخت و سالم را در طول سطح ترک تشکیل می دهد، در بعضی موارد جهت خشک شدن فیلم ترمیم از کاتالیزور استفاده می نمائیم.

Tsst me نمک Salt spray

خوردگی سطوح فلزی زمانی رخ می دهد که رطوبت و اکسیژن از ترک به سطح فلز - پوشش منتقل گشته و موجب خوردگی می گردد. بنابراین ترمیم ترک یک روش مناسب را جهت حفاظت خوردگی فراهم می کند. کارآیی روغن کرچک به عنوان ماده ترمیم شونده با قرار دادن نمونه پوشش داده شده در معرض مه نمک (salt spray) بررسی می شود.

قبل از قرار دادن نمونه در معرض مه نمک، سطح پوشش داده شده با cross-cut مخدوش شده و نمونه های کنترل نیز بدون میکروکپسولها می باشد. پس از ۷۲ ساعت از قرار دادن نمونه ها در معرض مه نمک، نمونه های شامل میکروکپسول عاری از هر گونه خوردگی در محل خطهای مخدوش می باشد (شکل ۱)، در حالی که نمونه های کنترل پس از ۴۸ ساعت علائمی از خوردگی در آنها پدیدار گشته است. دلیل اصلی مقاومت در برابر خوردگی فیلم ترمیمی به این خاطر است که روغن کرچک رها شده از میکروکپسولهای شکسته شده، سطح ترکها را پر نموده و

در معرض اکسیژن هوا، به صورت اکسیداتیو پلیمرایز گشته و بنابراین از نفوذ اکسیژن و بخار آب به سطح فلز جلوگیری می‌نماید. [۳,۵]

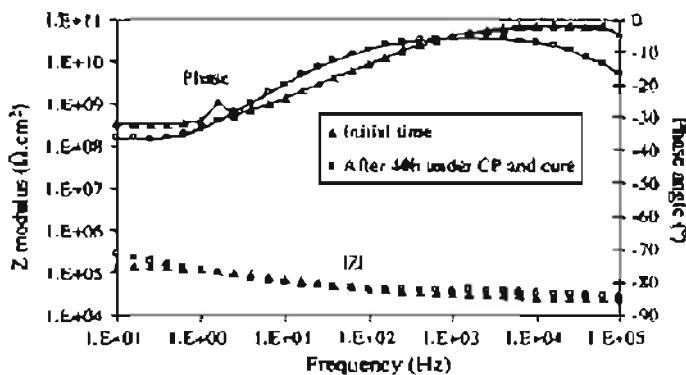


شکل ۱۴) بازده پوششهای خود ترمیم شونده و کنترل در محیط مه نمک در بازه های زمانی مختلف

تست EIS [۵]

در بررسی خاصیت خود ترمیم شوندگی پوشش با تست EIS باید به این نکته اشاره داشت که در این روش از نمودارهای Bode جهت آنالیز خواص ضد خوردگی پوشش استفاده می‌نماییم. نمودارهای Bode از پوشش با ضخامت $800 \mu\text{m}$ ، مساحت ترک ایجاد شده $200 \times 5 \text{ cm}^2$ و همچنین ناحیه خورنده ای به میزان 14 cm^2 و بعد از حدود 40 h که نمونه در ناحیه خورنده قرار گرفته است، ثبت می‌شوند. (شکل ۱۵)

مدول امپدانس با توجه به ناحیه خورنده (منطقه ترک) داده شده است. در ناحیه های با فرکانس پائین فاز پوشش مرجع مخدوش شده و در منطقه با بسامد پایین، فاز پوشش نمونه در طول مدتی که در معرض محیط خورنده قرار دارد به سمت کاهش پیش می‌رود و مدول امپدانس به صورت آهسته افزایش خواهد یافت. همانگونه که از نمودار نیز مشخص است دو نمودار مربوط به زمان اولیه و 40 ساعت پس از ایجاد ترک تا حدود زیادی به یکدیگر نزدیک خواهند شد، که این به معنای بازیافت خواص اولیه است.



شکل ۱۵- نمودار bode plot برای پوشش خواش داده شده در معرض محیط خورنده

جمع بندی:

همانگونه که مشاهده شد، DCPD و روغن کرچک به گونه‌ای موفقیت آمیز در محفظه پوسته اوره- فرمالدهید در ابعاد میکرو و نانو کپسوله شده و در رزین اپوکسی پخش شدند. میکروکپسولها قدرت مناسبی در برابر نیروهای برشی ایجاد شده در حین آمیخته شدن با رنگ و اعمال رنگ دارند. سطح نسبتاً زبر و مورفولوژی ناهموار میکروکپسول موجب ایجاد چسبندگی خوب بین میکروکپسول و رنگ می‌شود. میکروکپسولهای موجود در رنگ، در حین ایجاد ترک در رنگ، ماده ترمیم شونده رارها نموده و موجب ترمیم ترک و خواص ضدخوردگی مناسب می‌گردد. در پایان می‌توان به این نکته اشاره داشت که این روش در آینده ای نه چندان دور پایه گذار نسل جدیدی از پوششها در صنعت رنگ و پوشش‌های صنعتی خواهد بود.

مراجع

- [1] Brown EN, Kessler MR, Sottos NR, White SR. In situ poly(urea– formaldehyde) microencapsulation of dicyclopentadiene. *J Microencapsulate* 2003;20(6):719–30.
- [2] B.J. Blaiszik a, N.R. Sottos b,d,* , S.R. White. Nanocapsules for self-healing materials. *J Composites Science and Technology* 2007
- [3] C. Suryanarayanaa, K. Chowdoji Raob, Dhirendra Kumar, Preparation and characterization of microcapsules containing linseed oil and its use in self-healing coatings, *J Organic coating* 2008,
- [4] White SR, Sottos NR, Geubelle PH, Moore JS, Kessler MR, Sriram SR, et al. Autonomic healing of polymer composites. *Nature* 2001;409(6822):794–798
- [5] V. Sauvant-Moynot, et al., Self-healing coatings: An alternative route for anticorrosion protection, *Prog. Org. Coat.* (2008),doi:10.1016/j.porgcoat .2008.03.004



دیگران سازمان ایران

۲۷۸



انجمن خوردگی ایران



کنیل اسکال کاربری پژوهش مهندسی

بازدهی‌من کنگره ملی خوردگی (۲۴-۲۲ اردیبهشت ۸۸)
