بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

آلیاژهای حافظه دار و مواد هوشمند

جلسه هشتم
(مواد خودترمیم- ۲)

دکتر رضا اسلامی فارسانی

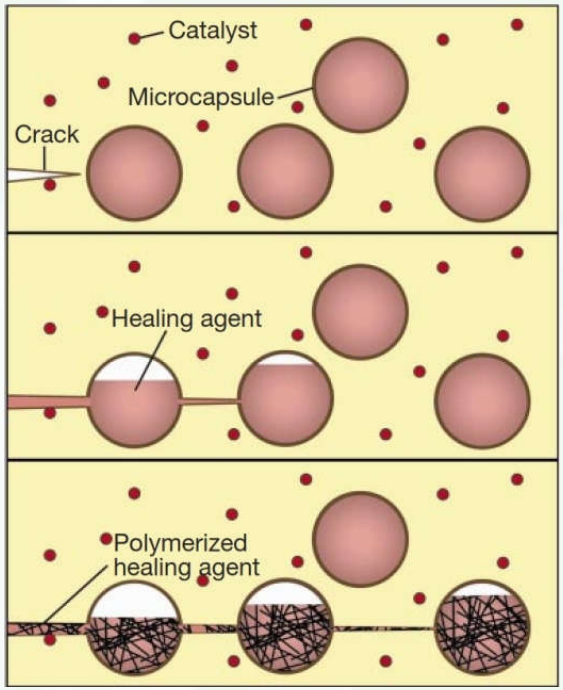
خودترمیمی غیرذاتی در پلیمرها

در این سیستم‌ها زمینه پلیمری به تنهایی قابلیت ترمیم ندارد، بلکه خودترمیمی در آن بواسطه عامل ترمیم ایجاد می‌شود. بطور کلی خودترمیمی غیرذاتی به سه صورت کلی زیر محقق می‌شود:

- ✓ کپسول‌دار کردن
- ✓ استفاده از الیاف توخالی
- ✓ استفاده از شبکه‌های آوندی

خودترمیمی غیرذاتی در پلیمرها

✓ خودترمیمی با کپسول



کپسول در مواد کامپوزیتی و پلیمرها به شکل ذراتی کروی (هسته- پوسته) است که با عامل خودترمیمی پر شده و در ابعاد میکرو یا نانو ساخته می‌شود. با ایجاد ترک، جداره کپسول‌ها شکسته شده و عامل ترمیم که در دمای ترمیم به شکل مایع است توسط نیروی موئینگی به داخل ترک جاری می‌شود. سپس مایع آزاد شده در مجاورت کاتالیزوری که از قبل در محیط پراکنده شده است، پلیمریزه شده و شکاف را ترمیم می‌کند.

خودترمیمی غیرذاتی در پلیمرها

✓ خودترمیمی با کپسول

برای کپسوله کردن عامل ترمیم، فنون مختلفی وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به روش درجا (امولسیون، تعلیق)، توده‌ای، بین سطحی، پخش قابل ذوب و اکسترودژن اشاره کرد.

کپسول‌های مورد استفاده معمولاً از جنس اوره-فرمالدهید، ملامین-فرمالدهید، ملامین-اوره-فرمالدهید و یا پلی‌اورتان‌ها و آکریلات‌ها هستند.

خودترمیمی غیرذاتی در پلیمرها

✓ خودترمیمی با کپسول

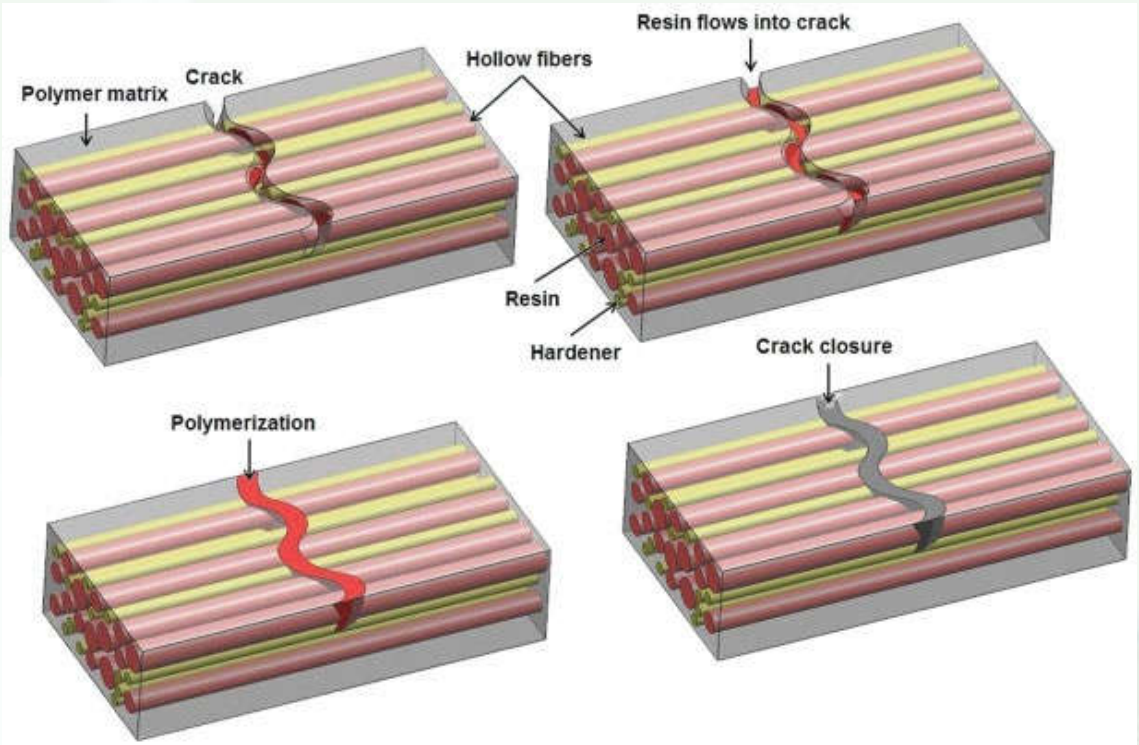
مهم‌ترین عیب در روش خودترمیمی بر مبنای میکرو/ نانوکپسول‌ها، عدم اطمینان از ترمیم کامل است. این مساله به دلیل مقدار کم عامل ترمیم آزاد شده در محیط در مقایسه با حجم مناطق آسیب دیده است.

از آنجایی که وجود میکروکپسول‌ها سبب ایجاد نقص در زمینه پلیمری می‌شود، بنابراین با افزایش غلظت کپسول‌ها مقدار مناطق آسیب‌دیده ناشی از عوامل مخرب افزایش می‌یابد.

خودترمیمی غیرذاتی در پلیمرها

✓ خودترمیمی بر پایه الیاف توخالی

الیاف شیشه توخالی که با عامل ترمیم مناسب (عامل ترمیم دو جزئی) از طریق فرآیند موئینگی پر می‌شوند، در اثر ایجاد ترک در زمینه شکسته شده و عامل ترمیم را وارد محیط ترک می‌کنند. در نتیجه فرآیند پلیمره شدن و عمل ترمیم ترک‌ها انجام می‌گیرد.



خودترمیمی غیرذاتی در پلیمرها

✓ خودترمیمی بر پایه الیاف توخالی

مزایای استفاده از خودترمیمی براساس استفاده از الیاف توخالی عبارتند از:

- ✓ دسترسی به درصد حجمی بیشتری از عامل ترمیم کننده
- ✓ روش‌های فعال‌سازی متنوع
- ✓ بازرسی چشمی منطقه آسیب دیده
- ✓ اختلاط آسان عامل ترمیم در الیاف توخالی

خودترمیمی غیرذاتی در پلیمرها

✓ خودترمیمی بر پایه الیاف توخالی

معایب استفاده از خودترمیمی براساس استفاده از الیاف توخالی عبارتند از:

- ✓ الیاف باید به منظور آزاد سازی عامل ترمیم‌کننده شکسته شود.
- ✓ باید رزین با ویسکوزیته کم به منظور تسهیل نفوذ الیاف استفاده شود.
- ✓ استفاده از الیاف شیشه توخالی در کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف کربن مسائلی را در مورد ضریب انبساط حرارتی ایجاد خواهد نمود.

خودترمیمی غیرذاتی در پلیمرها

✓ خودترمیمی بر پایه شبکه‌های آوندی

این شبکه‌ها شامل الیاف یا کانال‌های توخالی هستند که در سه بعد به هم متصل شده‌اند و عامل ترمیم را در خود ذخیره کرده‌اند. پس از ایجاد ترک در زمینه پلیمری، عامل ترمیم از شبکه‌های مجرادار آزاد شده و فرآیند ترمیم انجام می‌شود.

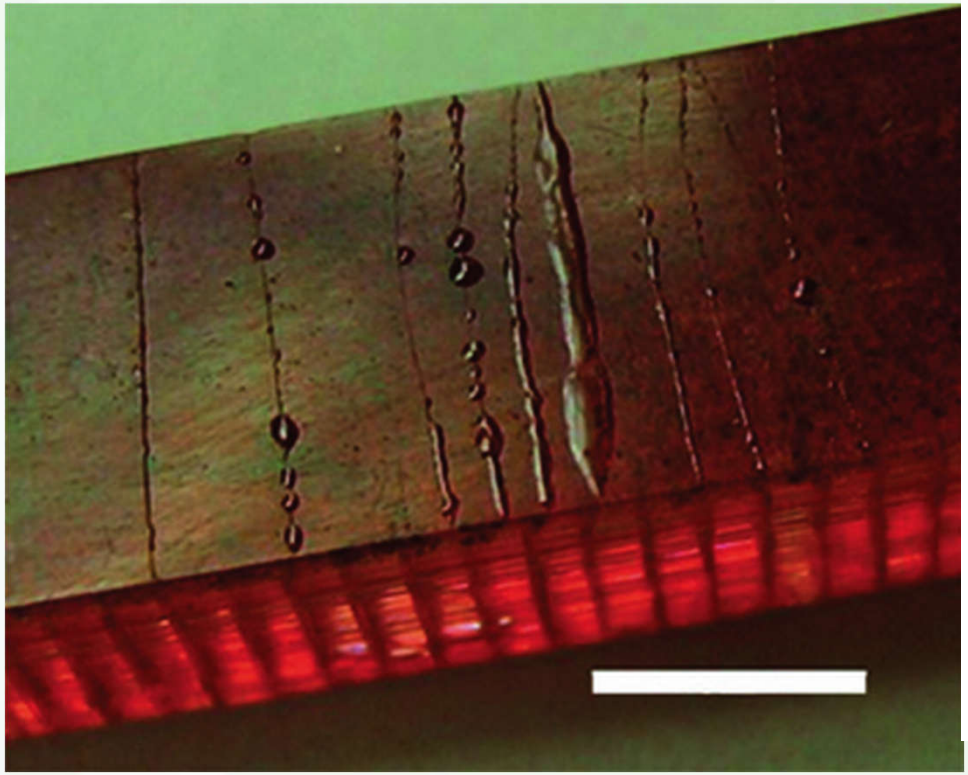
خودترمیمی غیرذاتی در پلیمرها

✓ خودترمیمی بر پایه شبکه‌های آوندی

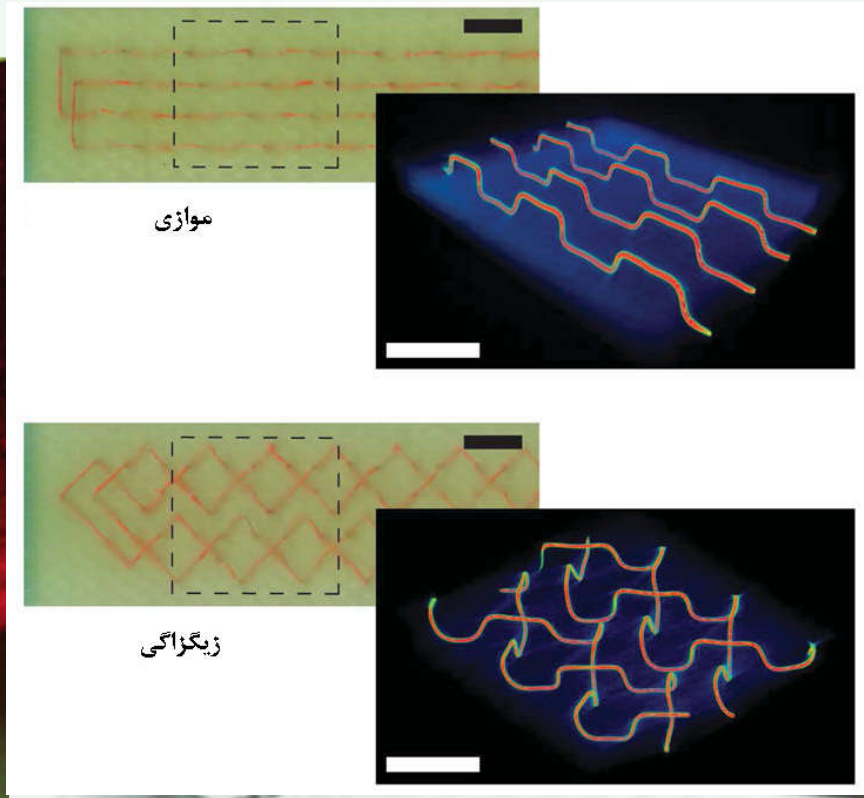
مطالعات انجام شده نشانگر آن است که سیستم‌های شبکه‌ای آوندی از سیستم‌های کپسولی حجیم‌تر بوده و در مواردی کاربرد دارند که وسعت ناحیه تخریب زیاد باشد. اما در انتخاب آنها باید به ضخامت زمینه توجه شود، زیرا در مواردی مانند روکش‌ها این مواد می‌توانند روی شکل ظاهری و خواص روکش اثر منفی داشته باشند. بنابراین استفاده از سیستم‌های شبکه‌ای و آوندی در پوشش‌های خودترمیم توصیه نمی‌شود.

خودترمیمی غیرذاتی در پلیمرها

✓ خودترمیمی بر پایه شبکه‌های آوندی



نمونه کامپوزیت ترمیم شده با شبکه آوندی



الگوهای موازی و زیگزاگی شبکه‌های آوندی

ارزیابی بازده فرآیند ترمیم

هدف از ترمیم، بازیابی عملکرد یا خاصیت از دست رفته در پلیمر تخریب شده است. پرکردن کامل فضای آسیب دیده و ایجاد پیوند بین سطوح آسیب دیده می‌تواند خواص از دست رفته را به سیستم بازگرداند.

در انواع روش های خود ترمیمی میزان بازیابی خاصیت یا عملکرد متفاوت است، لذا لازم است معیاری برای آن تعریف شود که این معیار، بازده فرآیند ترمیم نام دارد.

ارزیابی بازده فرآیند ترمیم

با توجه به انواع آسیب‌های ممکن در پلیمرها و کامپوزیت‌های زمینه پلیمری تقویت شده با الیاف (لایه لایه شدن، ترک خوردگی سطحی، پاره شدن الیاف، ترک ناشی از نیروهای متقاطع، حفره، خراش، ساییدگی، ریزترک‌ها و ...)، بازدهی ترمیم با توجه به رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$\text{بازده ترمیم} = \frac{\text{مقدار خاصیت ترمیم‌شده}}{\text{مقدار خاصیت اولیه}} \times ۱۰۰$$

ارزیابی بازده فرآیند ترمیم

نتایج حاصل از مقایسه بین قابلیت و بازده ترمیم سیستم‌های مختلف خودترمیم‌شونده، نشان دهنده آن است که سیستم‌های ذاتی کمترین حجم ترمیم را به خود اختصاص می‌دهند، چرا که ترمیم در مقیاس مولکولی انجام می‌شود.

سیستم‌های آوندی، قابلیت پوشش حجم تخریب شده بزرگتری را دارند و سیستم‌های کپسولی به لحاظ سطح پوشش ناحیه تخریب شده بین سیستم‌های ذاتی و آوندی قرار می‌گیرند.

بازده ترمیم در زمینه‌های پلیمری گرماسخت بیش از پلیمرهای گرمانرم است

ارزیابی بازده فرآیند ترمیم

در تمام سیستم‌ها نسبت سرعت ترمیم به تخریب کم است.

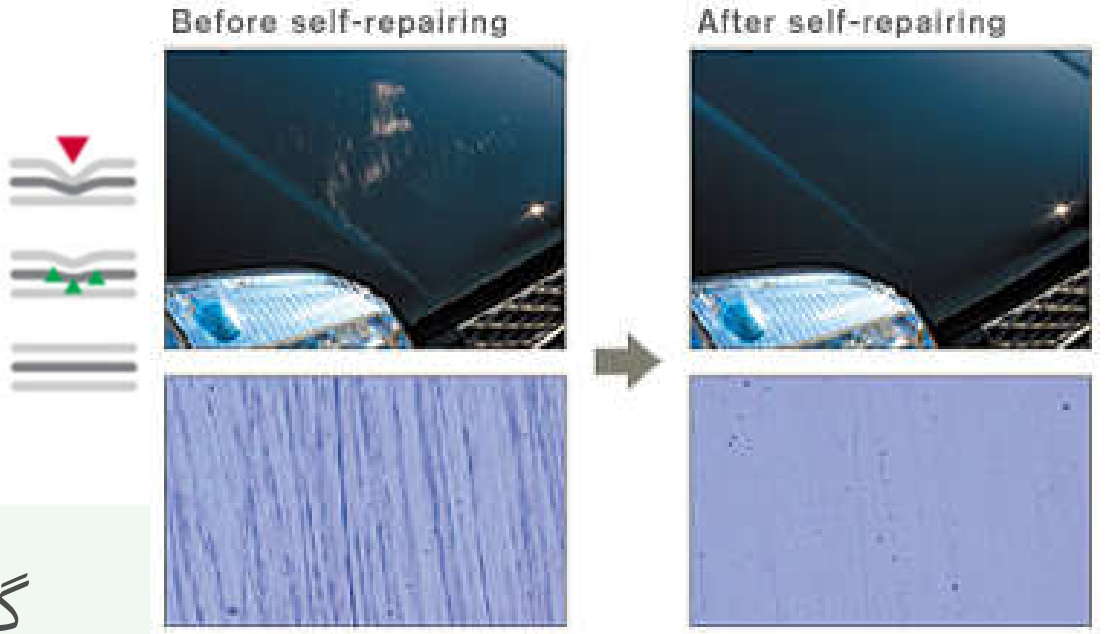
سیستم ترمیم‌کننده بهینه سیستمی است که در آن سرعت ترمیم متناسب با سرعت تخریب بوده و حجم قابل قبولی از نواحی تخریب شده در دفعات متعدد قابلیت ترمیم داشته باشند.

صرف نظر از نوع سیستم خودترمیم‌شونده، کاربرد هوشمندانه این مواد در صنایع مختلف می‌تواند نتایج رضایت‌بخشی در کاهش هزینه‌ها، انرژی و افزایش ایمنی داشته باشد.

کاربرد پلیمرها و کامپوزیت‌های خودترمیم‌شونده

پوشش‌های ضدخراش

گوشی خودترمیم LG G-Flex

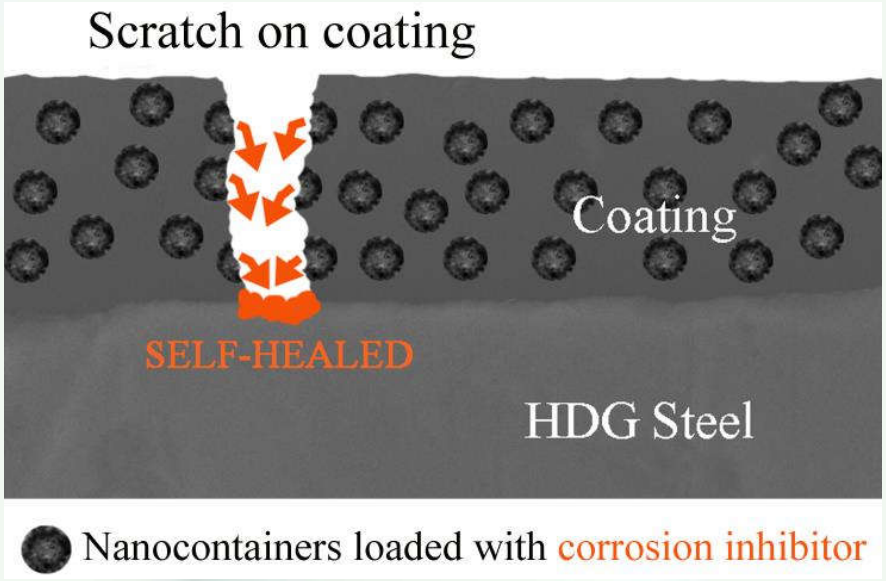


بدنه خودترمیم خودروی نیسان

Company Logo

کاربرد پلیمرها و کامپوزیت‌های خودترمیم‌شونده

پوشش‌های خودترمیم و ضدخراش مقاوم به خوردگی



کاربرد پلیمرها و کامپوزیت‌های خودترمیم‌شونده

صنایع پزشکی

یکی دیگر از کاربردهای مواد خودترمیم‌شونده در بخش پزشکی است. کامپوزیت‌های خودترمیم‌شونده زیست‌سازگار قادر به افزایش عمر کاری استخوان مصنوعی، دندان مصنوعی و غیره هستند.

کاربرد پلیمرها و کامپوزیت‌های خودترمیم‌شونده

صنایع نفت، گاز و پتروشیمی

صنایع نفت و گاز یکی از صنایعی است که بشدت با پدیده خوردگی مواجه است. استفاده از روکش‌های خودترمیم‌شونده محافظ در برابر خوردگی در تجهیزات حفاری سکوهای نفت، خطوط انتقال نفت و گاز و پالایشگاه‌ها در حال توسعه و پیشرفت است.

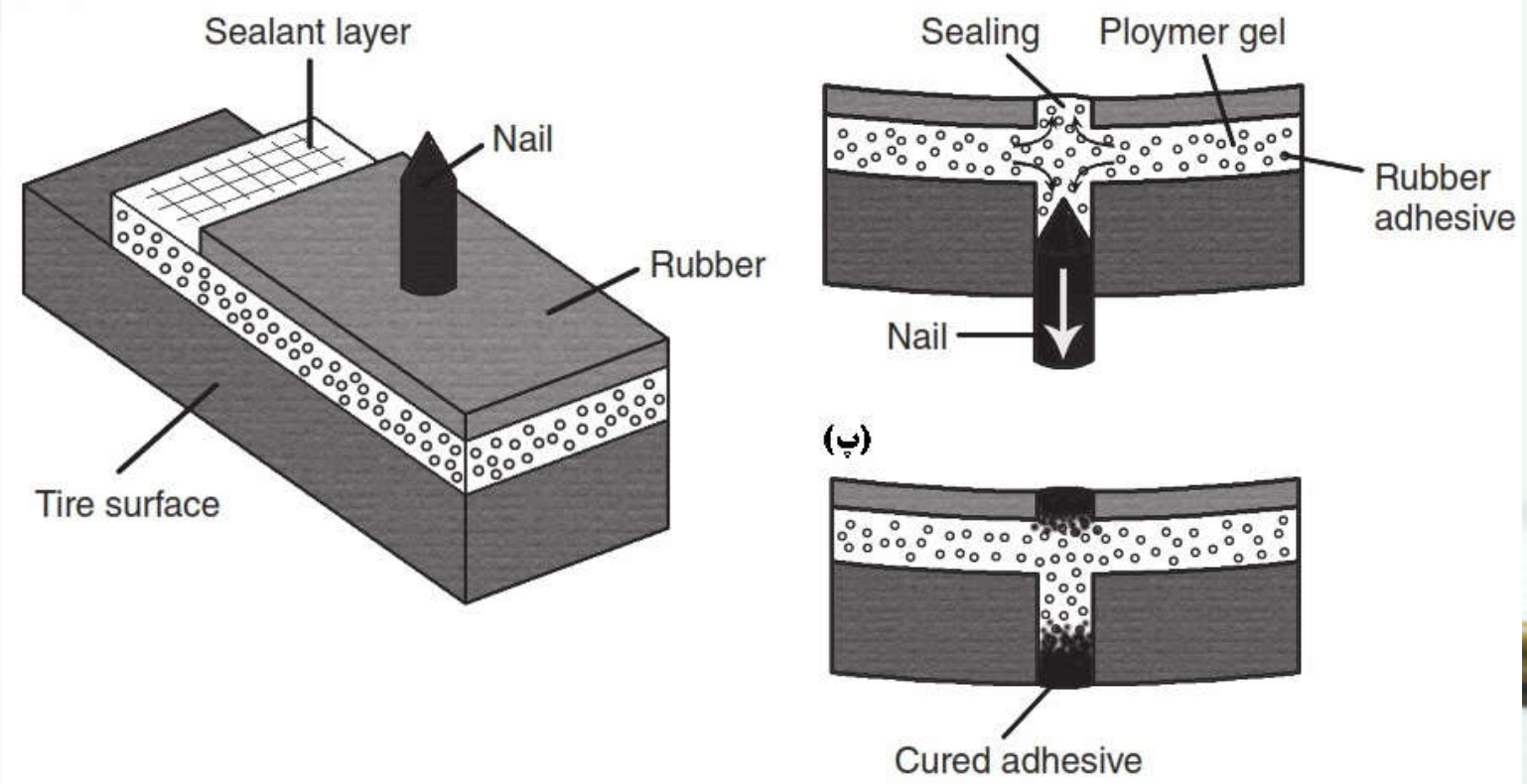
کاربرد پلیمرها و کامپوزیت‌های خودترمیم‌شونده

صنایع نظامی

- ✓ زره‌پوش‌ها، شیشه‌های ضد گلوله، بدنه کشتی‌های نظامی
- ✓ فیلم یونومری خودترمیم‌شونده ضد گلوله با نام "سورلین"، توسط محققین پایگاه هوانوردی پاتوکسِنت ریور به منظور مقابله با گلوله و ترکش پدافند هوایی در بدنه هواپیماها و هلی‌کوپترهای نظامی مورد استفاده قرار گرفته است.

کاربرد پلیمرها و کامپوزیت‌های خودترمیم‌شونده

تایرهای خودترمیم‌شونده



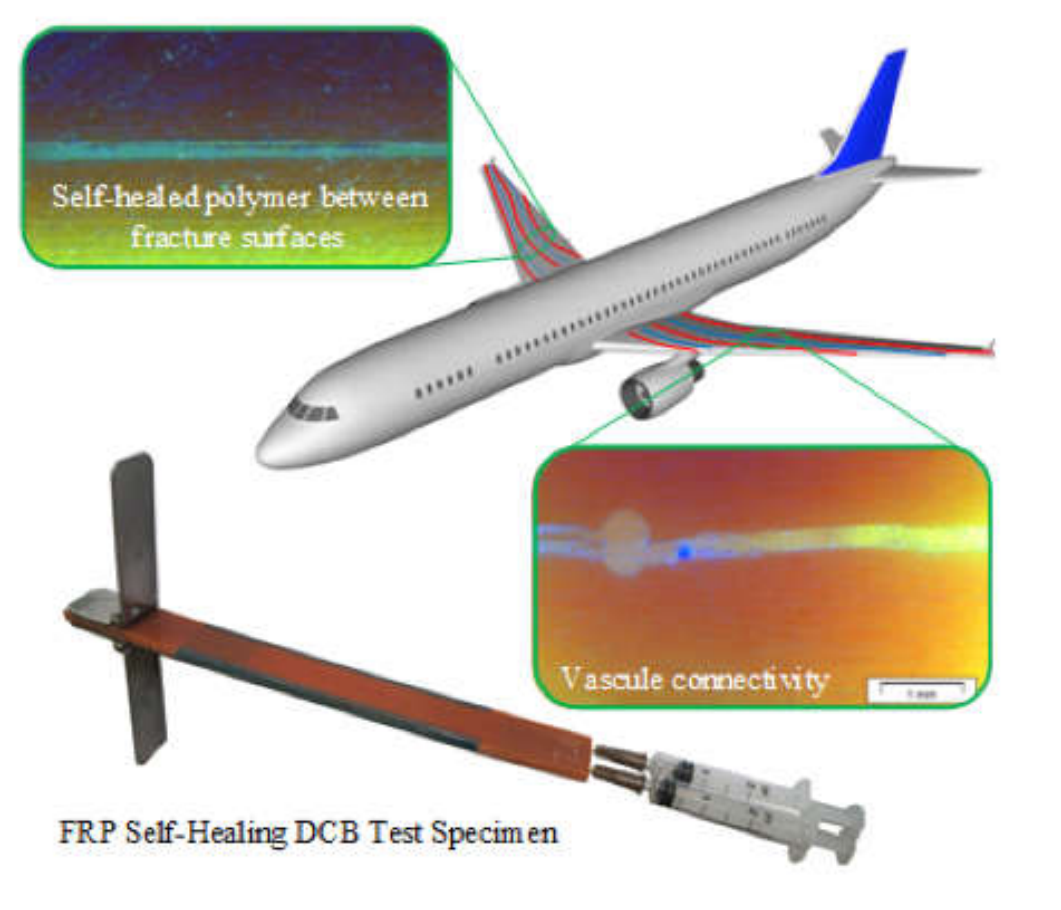
کاربرد پلیمرها و کامپوزیت‌های خودترمیم‌شونده

صنایع هوافضا

کامپوزیت‌های زمینه پلیمری خودترمیم‌شونده در بسیاری از بخش‌های سازه‌های پیشرفته هوافضایی کاربرد دارند. ترمیم مدارهای الکتریکی مورد استفاده در فضاپیماهایی که از جو خارج می‌شوند یا هواپیماهای جنگی بسیار مشکل است، بنابراین مدارهای الکتریکی خودترمیم‌شونده یکی از کاربردهای مواد خودترمیم‌شونده پلیمری در صنایع هوافضا بشمار می‌آیند.

کاربرد پلیمرها و کامپوزیت‌های خودترمیم‌شونده

صنایع هوافضا



از کامپوزیت‌های هوشمند خودترمیم‌شونده می‌توان در بدنه، بال، مخازن سوخت و سایر قسمت‌های سازه‌های هوایی که در معرض ضربه و آسیب قرار دارند، استفاده نمود.