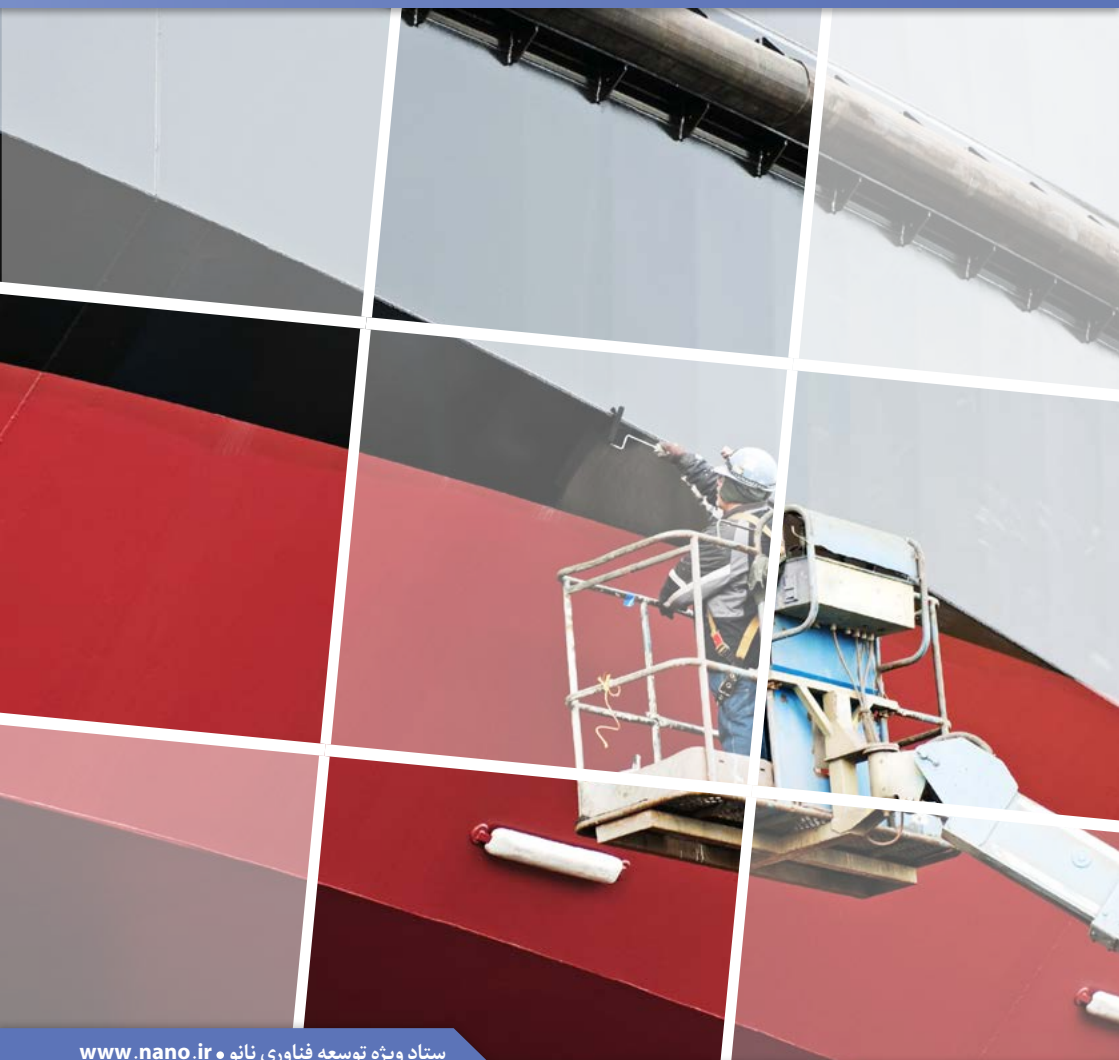


مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۱۵۷

بررسی فنی و اقتصادی رنگ‌های دریایی (معمولی و نانویی)

سال انتشار: ۱۳۹۶

ویرایش نخست



ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهریژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قزابلو report@nano.ir	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
		پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir
		صندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴

۳	مقدمه
۳	رنگ های آنتی فولینگ
۴	تاریخچه صنعت و بازار در پوشش های ضد رسوب
۵	انواع سیستم های آنتی فولینگ
۵	پوشش های آنتی فولینگ حاوی مواد سمی زیست کش
۸	فناوری عاری از قلع
۹	پوشش های آنتی فولینگ غیرسمی (رها ساز فولینگ)
۱۰	نانورنگ های آنتی فولینگ
۱۰	سطوح نانو ساختار برای کنترل فولینگ های زیستی
۱۰	استفاده از نانولوله های کربن
۱۱	عامل دار کردن نانولوله های کربنی
۱۲	پوشش آنتی فولینگ با نانوذرات مس
۱۲	پوشش آنتی فولینگ با نانوذرات سیلیکا
۱۳	چالش ها
۱۳	اقتصاد رنگ های آنتی فولینگ
۱۳	نانورنگ های آنتی فولینگ در سطح بین المللی
۱۴	رنگ های دریایی در ایران
۱۵	شرکت های بین المللی تولید کننده رنگ های آنتی فولینگ
۱۶	تولید کنندگان داخلی رنگ های آنتی فولینگ
۱۷	خلاصه مدیریتی

فناوری نانو رویکردی جدید به همه علوم و فنون است. علم و فناوری نانو به پیشرفت و توسعه در علوم فیزیک، شیمی، مواد و مهندسی کمک بسیاری کرده است. کاربردهای گسترده فناوری نانو در صنایع مختلف به خصوص صنایع دریایی به دلیل قابلیت های منحصر به فرد محصولات تولید شده با استفاده از فناوری نانو در مقایسه با دیگر محصولات موجود در بازار است. این فناوری توانسته در زمان کوتاهی توجه فراوانی را به خود جلب کند. صنایع شیمیایی نقش مهمی را نه تنها در توسعه نانو مواد بلکه در استفاده از آن در کاربردهای مختلف ایفا نموده است. یکی از حوزه هایی که نانو فناوری در آن وارد شده است صنعت پوشش های آلی است. از فناوری نانو در پوشش ها به منظور بهبود مقاومت شیمیایی، مقاومت

سایشی، مقاومت در برابر پرتوی فرابنفش و پوشش های آنتی فولینگ استفاده شده است. تمامی شرکت های بزرگ تولید کننده رنگ و پوشش، سرمایه زیادی را در بخش تحقیق و توسعه خود برای فرموله کردن رنگ هایی کارا تر در برابر عوامل محیطی صرف می کنند. اگرچه فرمول های متنوعی برای رنگ ها و پوشش ها در سال های اخیر ارائه شده است؛ اما هیچ کدام از آن ها نتوانسته به همه نیازهای موجود در یک فرمولاسیون واحد پاسخ دهد. به عنوان مثال یک سیستم پوششی با خواص شیمیایی مناسب، ممکن است مقاومت آب و هوایی ضعیفی داشته باشد و یا یک پوشش با انعطاف پذیری عالی، مقاومت گرمایی یا مقاومت در برابر خراش قابل قبولی نداشته باشد. بنابراین دستیابی به فرمولاسیون رنگی که در تمام شرایط کارا باشد دستاورد بزرگی است. فناوری نانو در پوشش های آلی می تواند به این نیاز پاسخ دهد. افزودن نانوذرات به پوشش ها، می تواند بسیاری از خواص سیستم پوشش را بهبود بخشد و پوششی چند منظوره با تفاوت قیمت پایین ایجاد کند. مزایای اصلی استفاده از پوشش های نانو عبارتند از:

- ظاهر بهتر پوشش
- آسانی تمیز کردن پوشش
- مقاومت شیمیایی بالاتر
- ایجاد خواص ضد لغزش، ضد مه و
- کاهش نفوذ پذیری عوامل خورنده و در نتیجه
- آنتی فولینگ
- مقاومت به خوردگی بهتر
- بهبود هدایت گرمایی و الکتریکی پوشش
- شفافیت نوری
- افزایش مدول پوشش و پایداری گرمایی
- بهبود خواص مکانیکی پوشش
- بهبود چسبندگی بر سطوح مختلف

رنگ های آنتی فولینگ

بدنه یک شناور نقشی کلیدی در کارایی آن داراست. توانایی فیزیکی شناور در شکافتن آب دریا و امواج، به گونه ای که مقاومت آب در برابر حرکت خود را کاهش دهد، در اقتصاد سوخت بسیار اهمیت دارد. بنابراین، بهبود کیفیت و صافی سطح بدنه شناور در این زمینه نقش محوری و اساسی بازی می کند؛ به این دلیل که یک بدنه کاملاً صاف از نظر هیدرودینامیکی ایده آل است. دو عامل سبب افزایش زبری سطح بدنه شناور می شوند. یکی از این عامل ها، عامل خوردگی و عامل دیگر رسوب بایو فولینگ ها است. تجمع ناخواسته میکروارگانیسم ها، گیاهان و جانوران دریایی بر روی سطوح غوطه ور در آب دریا، بایو فولینگ نامیده می شود. معمولاً پس از ایجاد خوردگی، تعمیراتی روی بدنه شناور صورت می گیرد. «میکروسوراخ» های ایجاد شده در

اثر خوردگی روی سطح باعث تضعیف بدنه در برابر تخریب و یا رسوب بیشتر خزه می شود [۱]. رسوب فولینگ بر روی سطح کشتی و قایق ها مشکلاتی را به دنبال دارد:

- افزایش مقاومت اصطکاکی به دلیل افزایش زبری سطح و افزایش وزن کشتی که سبب کاهش سرعت آن می شود. برای جبران کاهش سرعت، مصرف سوخت افزایش می یابد. افزایش مصرف سوخت، افزایش انتشار ترکیبات مضر و گازهای گلخانه ای را به دنبال دارد. افزایش هزینه سوخت به دلیل رسوب جرم های دریایی تا ۴۰ درصد و کل هزینه ها تا ۷۷ درصد تخمین زده شده است.
- افزایش تعداد دفعات عملیات تعمیر کشتی در خشکی و خارج از آب.
- تخریب پوشش اعمال شده بر روی سطح کشتی که سبب افزایش خوردگی می شود.

رسوبات بیولوژیکی ایجاد شده روی بدنه کشتی به دودسته ماکرو و میکرو تقسیم می شود. چسبیدن خزه ها و اجرام ماکرو و میکرو بر هیدرودینامیک کشتی و شناور اثرگذار است. زبری ایجاد شده به وسیله میکرو فولینگ که با رسوب لجن بر روی سطح پدید می آید، منجر به افزایش ۱ تا ۲ درصدی در مصرف سوخت می شود. ماکرو فولینگ ها به جانوران و گیاهان دریایی اطلاق می شود و اثر آن ها بر مصرف سوخت به میزان زیادی به نوع و ماهیت رسوبات بستگی دارد. در حالی که گیاهان دریایی منجر به افزایش ده درصدی در مصرف سوخت می شوند، جانوران دریایی مانند صدف ها، بازناکل ها و ماسل ها منجر به افزایش چهل درصدی در مصرف سوخت می گردند. علاوه بر افزایش مصرف سوخت، رسوب حجم بالایی از فولینگ در نهایت منجر به افزایش خوردگی بدنه شناور می شود. هر چند جلوگیری از خوردگی بدنه شناور با استفاده از پوشش ها نسبتاً آسان تر است، اما جلوگیری از چسبیدن خزه ها و سایر فولینگ ها به خصوص برای کشتی هایی که با سرعت کم حرکت می کنند، به مراتب پیچیده تر است [۱].

تاریخچه صنعت و بازار در پوشش های ضد رسوب

به منظور درک روند پیشرفت پوشش های دریایی و عواملی که آن را تسریع می کند، دانستن تاریخچه صنعت رنگ های آنتی فولینگ ضروری است.

- ۴۱۲ قبل از میلاد: از متون تاریخی این گونه برداشت می شود که به منظور ایجاد پوشش محافظ، آرسنیک و سولفور با روغن خاصی مخلوط شده و بر روی بدنه شناور اعمال می شده است.
- قرن ۱۶ میلادی: شکل اصلی حفاظت از کشتی های چوبی استفاده از غلافی از مس یا مخلوط آرسنیک و سولفور بود.

■ قرن ۱۷ میلادی: در سال ۱۶۲۵، ویلیام بیل الین شخصی بود که پتنت ترکیب رنگی که حاوی پودر آهن، مس و سیمان بود را ثبت کرد. در سال ۱۶۷۰، فیلیپ هووارد و فرانس واتسون پتنت رنگی حاوی رزین و بیس واکس را ثبت کردند.

■ قرن ۱۹ میلادی: بیش از سیصد پتنت آنتی فولینگ به ثبت رسیده است که در اکثریت آن ها از زیست کش هایی مانند سولفات مس استفاده شده است.

■ اوایل دهه ۴۰ میلادی: تغییرات بسیاری در تکنولوژی رنگ در نتیجه تولید مواد جدید شیمیایی و معرفی روش های آماده سازی سطح و غیره ایجاد شد.

■ در سال ۱۹۷۴: شرکت اینترنشنال پینت^۲ اولین پوشش های آنتی فولینگ (SPC⁺) را معرفی کرد [۲].

■ در سال ۱۹۸۷: اولین پوشش آنتی فولینگ عاری از قلع، controlled depletion polymer، به صورت جهانی معرفی شد.

■ در سال ۱۹۹۹: اولین سیستم رهاساز فولینگ معرفی شد. پوشش های با انرژی آزاد سطحی کم فولینگ ها را بدون استفاده از زیست کش کنترل می کنند.

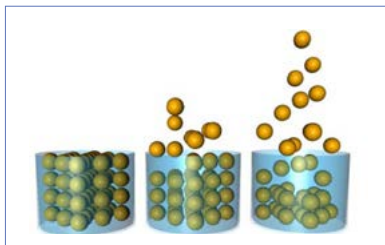
■ در سال ۲۰۰۲: شرکت اینترنشنال پینت اولین سیستم های self-polishing را که در واقع ترکیب تکنولوژی های SPC و CDP^۳ است معرفی کرد [۲].

■ ۲۰۰۷: نسل بعدی پوشش های رهاساز فولینگ بر پایه فناوری فلونورو پلیمر توسط شرکت اینترنشنال پینت معرفی شد.

انواع سیستم های آنتی فولینگ

پوشش های آنتی فولینگ حاوی مواد سمی زیست کش

پوشش های آنتی فولینگ حاوی مواد سمی زیست کش، پوشش هایی هستند که شامل حداقل یک جزء فعال جهت کشتن فولینگ ها باشند [۳]. این پوشش ها با ایجاد یک میکرو لایه غنی از زیست کش در سطح خود از چسبیدن ارگانیسم های دریایی جلوگیری می کنند. همچنین این پوشش ها حاوی اجزای فعال دیگری نیز هستند که از رشد خزها و فولینگ جلوگیری کرده یا از سرعت رشد آن ها می کاهند [۱]. با توجه به انواع مختلف فولینگ، مواد متفاوتی نیز جهت از میان بردن آن ها مورد نیاز است. یکی از متداول ترین ترکیبات مورد استفاده، ترکیبات قلع از جمله تریبوتیل قلع است. این ترکیب در اواسط قرن بیستم تولید شد و پرمصرف ترین ترکیب سمی زیست کش، جهت کشتن فولینگ ها در دهه های گذشته بوده است. از دیگر ترکیبات سمی مورد استفاده در پوشش های آنتی فولینگ می توان به ترکیبات مس، روی و همچنین برخی ترکیبات آلی اشاره کرد. در کنار ترکیبات سمی، نوع دیگری از مواد، با عنوان تقویت کننده، جهت بهبود کارایی پوشش های ضد جرم مورد استفاده قرار می گیرند. این مواد ترکیبات کوچک مولکول آلی یا آلی فلزی هستند که حلالیت پایینی در آب دارند و فعالیت ترکیبات سمی موجود در پوشش را افزایش می دهند [۴]. سازوکار عمل این پوشش های آنتی فولینگ، خروج ترکیبات زیست کش از پوشش و نابود کردن فولینگ ها است. مکانیزم و سرعت خروج این ترکیبات با توجه به انتخاب پایه پوشش، می تواند تغییر کند. این امر منجر به تولید انواع مختلف پوشش های آنتی فولینگ گردیده است.

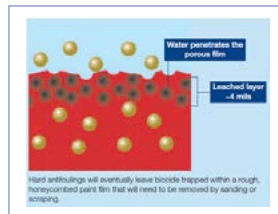


» شکل ۱. زیست کش پراکنده شده در ماتریس رزینی

درجه تأثیر پوشش آنتی فولینگ و همچنین عمر سرویس دهی آن به نوع و مقدار زیست کش ها و همچنین نوع رزین سننزی یا طبیعی به عنوان بایندر بستگی دارد. اینکه تعداد بسیار کمی از زیست کش ها در ترکیبات آنتی فولینگ استفاده می شوند، به این دلیل است که باید خواص ویژه ای از نظر سمیت و حلالیت در آب دریا داشته باشند. برخی از زیست کش ها در آب دریا بیش از حد محلول هستند و یا این که سمیت بالایی دارند و نمی توان با اطمینان از آن ها استفاده کرد. بنابراین سیستم آزاد سازی زیست کش یک عامل مهم تعیین کننده در چگونگی عملکرد پوشش ضد خزه و مدت زمان کارایی آن است. در ادامه انواع پوشش های مورد استفاده برای آزاد سازی زیست کش ها معرفی خواهد شد [۵].

■ پوشش های ماتریس نامحلول

در پوشش های با ماتریس غیر قابل حل، ماتریس پلیمری غیر قابل حل است و با غوطه وری در آب دریا ساییده نمی شود و ضخامت آن کاهش نمی یابد. تعداد زیادی از پلیمرهای تجاری با وزن مولکولی بالا مانند اپوکسی، آکریلیک و رابر کلرینه شده در تهیه این پوشش ها کاربرد دارند. زیست کش ها با نفوذ آب دریا به درون پوشش آزاد می شوند. بعد از مدت زمان معین سرعت آزاد سازی زیست کش پایین تر از میزان مورد نیاز برای مقابله با فولینگ ها می رسد (شکل ۲). این نوع از پوشش ها از نظر مکانیکی بسیار مقاوم هستند و در برابر اکسیداسیون و تخریب نوری نیز پایدار هستند. اما مشکل اینجاست که طول عمر سرویس دهی کوتاهی (۱۲-۱۸ ماه) دارند. مهم ترین مزیت این نوع از پوشش های آنتی فولینگ مقاومت آن ها در برابر سایش و خراش است. این مزیت در قایق هایی که کفشان ساییده می شود، اهمیت می یابد [۱، ۵].



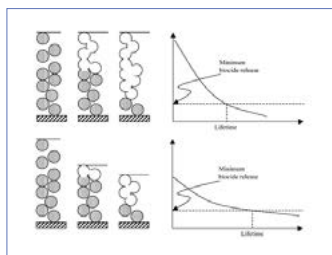
» شکل ۲. پوشش های
آنتی فولینگ ماتریس نامحلول

در این نوع پوشش ها مقادیر زیادی پیگمنت سمی و به دنبال آن بایندری چقرمه و پایدار استفاده می شود. به این منظور پلی وینیل رزین، رابر کلرینه شده، مشتقات سلولزی و آلکیدی های کوتاه روغن مقاوم در برابر آب و برخی از پلیمرهای با وزن مولکولی بالا عملکرد خوبی دارند. ماتریس پلیمری می تواند تنها شامل یک رزین باشد و یا به همراه پلیمری با وزن مولکولی پایین تر به عنوان نرم کننده به کار رود.

مس فلزی و اکسید مس، مواد سمی هستند که معمولاً در این پوشش ها استفاده می شوند. غلظت حجمی بالاتر از ۳۰ تا ۴۰ درصد اکسید مس یا ۲۰ تا ۲۵ درصد مس فلزی برای تماس پیوسته ذرات مورد نیاز است. مشخصه این پوشش ها لایه سخت و مقاوم در برابر سایش آن ها است. این پوشش ها گران هستند، چون حاوی مقدار زیادی پیگمنت گران قیمت می باشند [۶].

■ پوشش های ماتریس محلول

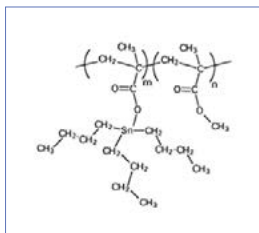
پوشش های با ماتریس قابل حل به منظور جلوگیری از کاهش بازدهی پوشش های آنتی فولینگ با زمان توسعه یافتند. در این پوشش ها، از رزینی با قابلیت حل شدن در آب دریا استفاده شده است. ماده کلاسیک تشکیل دهنده فیلم در این سیستم ها دارای مقادیر بالایی از رزین^۶ است. رزین ماده ای طبیعی است که از تراوشات درختان کاج و صنوبر به دست می آید. رزین حاوی ۸۵-۹۰ درصد اسیدهای است که دو پیوند دوگانه و گروه کربوکسیل دارند. پیوندهای دوگانه کاندوگیت^۷ برپایداری رزین تأثیرگذارند و قابلیت اکسید شدن آن را در معرض هوا افزایش می دهند. بنابراین تنها زمان کوتاهی بعد از اعمال پوشش به کشتی، باید آن را از معرض هوا خارج کرد و در آب انداخت. هنگامی که این پوشش ها در معرض آب دریا قرار می گیرند، گروه های کربوکسیل با یون های سدیم و پتاسیم موجود در آب دریا واکنش می دهند. به دلیل سرعت بالای حل شدن در آب دریا و شکنندگی رزین در فرمولاسیون این پوشش ها از نرم کننده ها و رزین کمکی استفاده می شود. مشکل این پوشش ها این است که در وضعیت ساکن کشتی به خوبی عمل نمی کنند. مشکل دیگر این پوشش ها این است که در مقادیر بالای رزین میزان ساییدگی پوشش با افزایش سرعت کشتی به صورت نمایی افزایش می یابد [۷].



» شکل ۳. سرعت رها سازی
زیست کش در پوشش های ماتریس
محلول و ماتریس نامحلول

■ پوشش های TBT-SPC

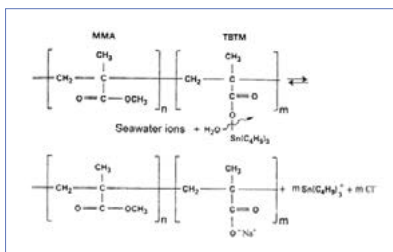
استفاده از کوپلیمرهای آلی قلع مانند کوپلیمرتری بوتیل قلع آکریلات و متاکریلات به عنوان پوشش های ضد جرم در دهه شصت میلادی مطرح شد. فناوری این کوپلیمرها (TBT-SPC) که در سال ۱۹۷۴ ثبت شد، انقلابی در پوشش های ضد جرم و صنعت کشتی سازی ایجاد کرد. این پوشش ها برپایه یک پلیمر آکریلیکی (معمولاً متیل متاکریلات) می باشند که گروه های تری بوتیل قلع به زنجیر اصلی پلیمر متصل شده است [۸].



» شکل ۴. فرمول شیمیایی واحد
تکرار شونده کوپلیمرتری بوتیل قلع
متاکریلات (TBTM) و متیل متاکریلات
(MMA)

در این پوشش ها، بعد از قرار گرفتن در معرض آب دریا، ذرات رنگدانه در تماس با آب دریا حل می شوند. کوپلیمرتری بوتیل قلع آکریلات و متاکریلات آب گریز بوده و از نفوذ آب دریا به درون پوشش جلوگیری می کند. بنابراین آب دریا تنها می تواند حفره هایی را که در اثر حل شدن

رنگدانه ها ایجاد شده پر کنند. پیوند گروه کربوکسیل با TBT تحت شرایط قلیایی ناپایدار است و هیدرولیز می شود [۹].



» شکل ۵. سازوکار رها سازی
کنترل شده کوپلیمر TBT به
وسیله واکنش هیدرولیز

بدین ترتیب است که می توان سرعت آزاد سازی گروه TBT را کنترل کرد. رها سازی TBT از پوشش باعث ایجاد تغییرات اساسی در کوپلیمر آکریلاتی می شود، این تغییرات عبارتند از:

■ افزایش دمای انتقال شیشه ای (از ۲۵°C تا ۱۰۰°C) که سبب شکننده شدن کوپلیمر می شود.

■ آب دوست شدن کوپلیمر

با گذشت زمان، آب دریا مقدار بیشتری از ذرات رنگدانه را در خود حل می کند و ناحیه ای که واکنش در آن صورت می گیرد بزرگ تر می شود. هنگامی که تعداد کافی از گروه های TBT از سطح پوشش آزاد شد، بخشی از کوپلیمر آب دوست شده وارد آب می شود و سطح جدیدی از کوپلیمر حاوی قلع در معرض آب دریا قرار می گیرد (اثر خود ساییدگی) [۱۰].

■ فناوری عاری از قلع

به دلیل اثرات جانبی ترکیبات حاوی قلع بر محیط زیست، تحقیقات گسترده ای برای توسعه سیستم های عاری از قلع انجام شده است.

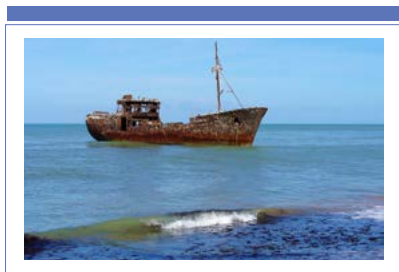
محصولات تجاری شده عاری از قلع به دو دسته کلی تقسیم می شوند [۱۱]:

■ سیستم های با سرعت آزاد سازی کنترل شده CDPS، پوشش های سنتی بهبود یافته به کمک رزین های جدید می باشند. سازوکار عملکرد شبیه به پوشش های آنتی فولینگ بر پایه رزین می باشد. همانطور که پیش از این نیز گفته شد، در پوشش های «ماتریس محلول» سرعت آزاد سازی زیست کش ثابت نیست و پوشش در هنگامی که کشتی ساکن است، کارایی ندارد. علاوه بر این هزینه اعمال پوشش به دلیل طول عمر کوتاه آن بالاست. مطابق این سازوکار ابتدا آب دریا به درون پوشش نفوذ می کند و سپس زیست کش ها از پوشش خارج می شوند. هنگامی که لایه جدید از پوشش در معرض آب دریا قرار گرفت و ساییده شد، لایه های جدید تر در تماس با آب دریا قرار می گیرند و این فرآیند ادامه می یابد [۵].

■ کوپلیمر های self polishing عاری از قلع. سازوکار عملکرد این پوشش ها مشابه با پوشش های TBT-SPC می باشد. این پوشش ها بر پایه آکریلیک است و گروه های گوناگونی به زنجیر اصلی پلیمر

متصل شده است. گروه‌های متصل شده پس از تماس با آب دریا آزاد می‌شوند. در واقع در این پوشش‌ها فیلم حاوی کوپلر آکریلیکی است که با آب دریا واکنش می‌دهد و این واکنش تنها در سطح، صورت می‌گیرد. در نتیجه آزاد سازی زیست‌کش توسط واکنش شیمیایی و نه نفوذ کنترل می‌شود. به این دلیل که این واکنش بیشتر شیمیایی است تا فیزیکی چه در هنگامی که قایق در حال حرکت باشد یا ساکن باشد؛ با سرعت یکسان انجام می‌شود.

پوشش‌های آنتی فولینگ غیر رسمی (رها ساز فولینگ)



پوشش‌های رها ساز فولینگ، پوشش‌هایی غیر رسمی هستند که به جای کشتن اجرام دریایی و فولینگ، قدرت چسبندگی آن‌ها را به سطح کاهش می‌دهند. به این ترتیب اجرام دریایی با اعمال نیروی مکانیکی (برس کشیدن روی سطح) یا هیدرودینامیکی (ناشی از حرکت سازه در آب دریا) از روی سطح زوده می‌شوند. مهم‌ترین ویژگی‌های پوشش‌های رها ساز فولینگ، انرژی سطحی، مدول الاستیک

و دمای گذار از حالت شیش‌های پایین یا قابلیت حرکت مولکولی بالا است. این سه ویژگی اساسی به همراه ویژگی‌های دیگری که دانشمندان برای پوشش‌های رها ساز فولینگ نام برده‌اند، منجر به کاهش نیروی چسبندگی میان اجرام دریایی و پوشش می‌شوند. انواع پوشش‌های رها ساز فولینگ عبارتند از:

الف) پوشش‌های فلورینه: سطح انرژی پایین این پوشش‌ها، تمایل اجرام دریایی برای چسبیدن روی آن‌ها را کاهش می‌دهد. با اتصال منظم و آرایش یافته گروه‌های فلورینه روی سطح و تراکم بالای آن‌ها این تمایل بیش از پیش کاهش می‌یابد [۱۲].

ب) پوشش‌های سیلیکونی: این پوشش‌ها به واسطه انرژی آزاد سطحی، مدول الاستیک و دمای گذار از حالت شیشه‌ای پایین، گزینه‌های مناسبی برای پوشش‌های رها ساز جرم هستند. از میان پلیمرهای سیلیکونی پلی‌دی‌متیل‌سیلوکسان بیش‌ترین کاربرد تجاری را در تولید پوشش‌های رها ساز فولینگ دارد [۱۳]. جهت بهبود عملکرد رها سازی فولینگ در پوشش‌های سیلیکونی از مواد افزودنی سیال در این پوشش‌ها استفاده می‌شود. این سیالات پلیمرهای سیلیکونی کوچک مولکولی هستند که با نام روغن‌های سیلیکونی شناخته می‌شوند. روغن‌های سیلیکونی به واسطه انرژی سطحی پایین به سمت سطح پوشش مهاجرت می‌کنند. با مهاجرت این روغن‌ها انرژی سطحی پوشش کاهش یافته و لایه لغزندگی‌های روی سطح تشکیل می‌شود. به این ترتیب خواص رها سازی فولینگ پوشش تقویت می‌گردد [۱۴].

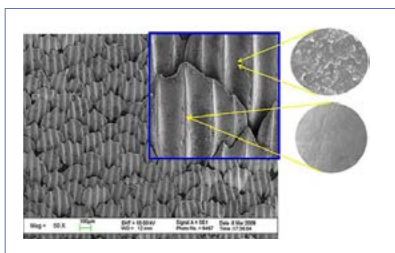
ج) پوشش‌های سیلیکون فلورینه^۸: پلیمرهای سیلیکونی و فلورینه گزینه‌های مورد مطالعه جهت ساخت

پوشش های رهاساز فولینگ بوده و هستند. هریک از این پلیمرها از جهاتی نسبت به دیگری برتری دارد. پلیمرهای فلورینه سطح انرژی پائینی دارند. در عین حال مدول الاستیک بالای این پلیمرها رهاسازی فولینگ از سطح آن ها را با اشکال روبرو می کند. پلیمرهای سیلیکونی با وجود خواص خوبی همچون انرژی آزاد سطحی و مدول الاستیک پایین، پایداری کمی در محیط آبی دارند. استفاده از ساختار ترکیبی سیلیکون فلورینه روشی برای دستیابی به پوششی با ویژگی های مثبت ساختار سیلیکون و فلورینور است. با استفاده از این پوشش ها می توان بر نقاط ضعف هریک از این پوشش ها نیز غلبه کرد.

نانورنگ های آنتی فولینگ

سطوح نانو ساختار برای کنترل فولینگ های زیستی

بایوفولینگ نتیجه مهاجرت ارگانیسم ها به سطح و چسبیدن آن ها است. چسبیدن ارگانیسم ها در مقیاس نانو و میکرو صورت می گیرد. بنابراین برای کنترل بایوفولینگ از طریق خواص سطح، بایستی در مقیاس نانو و میکرو تغییر ایجاد کرد. حوزه های که در سال های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است اثرالگوی سطح (نانو و میکرو) بر فولینگ است. پروژه های با عنوان ^۴AMBIO در اتحادیه اروپا با همکاری گروهی از دانشگاه های مختلف و مؤسسات تحقیقاتی انجام شده است که در آن فناوری نانو برای حل مشکل بایوفولینگ به کار گرفته شده است. تحقیق روی خواص سطح در مقیاس نانو و سازوکار چسبیدن ارگانیسم های دریایی امکان درک عملکرد سیستم های آنتی فولینگ را در مقیاس نانو فراهم می کند. پوشش با ساختار نانو بسیاری از خواص سطحی و بالک یک سطح نجسب از جمله انرژی سطح، هدایت پذیری، زبری، ترشوندگی، مدول، واکنش پذیری فیزیکی و شیمیایی و سازگاری با ارگانیسم ها را کنترل می کند [۱۵]. یکی از مهم ترین مثال های سطوح نانو ساختار در طبیعت، ساختار بدن کوسه است که از چسبیدن ترکیبات بایوفولینگ در سطح جلوگیری می کند (شکل ۶).



» شکل ۶. تصویر میکروسکوپ SEM از سطح بدن کوسه. سطح هر کدام از این برجستگی ها ساختار نسبتاً صافی دارد که مانع از چسبیدن ترکیبات فولینگ بر روی آن ها می شود.

استفاده از نانولوله های کربن

دلیل اصلی استفاده از نانولوله های کربنی در پوشش های رهاساز فولینگ تغییر در خواص سطحی است. یکی از مهم ترین ویژگی های پوشش های رهاساز فولینگ انرژی آزاد سطحی پایین آن ها است. انرژی آزاد سطحی پایین امکان تشکیل پیوندهای قوی میان فولینگ و سطح پوشش را به حداقل می رساند. روی

چنین سطحی اجرام دریایی تنها از طریق پیوندهای فیزیکی با سطح ارتباط دارند. تحقیقات نشان می‌دهد که کمترین چسبندگی در مورد سطوحی با انرژی سطحی ۲۲-۲۴ میلی ژول بر مترمربع حاصل می‌شود. یکی از مهم‌ترین نانوذرات مورد استفاده در پوشش‌های رها ساز فولینگ نانولوله‌های کربن هستند. مقادیر پایین استفاده از این نانوذرات، به واسطه نسبت سطح بالا، تغییرات بزرگی در ساختار پوشش ایجاد می‌کنند [۱۶]. پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهند، که حضور نانولوله‌های کربن در ساختار پوشش‌های سیلیکونی علاوه بر تسهیل رهاش فولینگ از سطح پوشش، خواص مکانیکی و پایداری آن‌ها را افزایش می‌دهد. شکل ۷ نمایی از پوشش ضد رسوب AMC (نانولوله‌های کربنی در زمینه رزین اپوکسی) بر روی بدنه کشتی را نشان می‌دهد [۱۷].



» شکل ۷. نانوپوشش آنتی فولینگ AMC
(نانولوله کربنی در زمینه رزین اپوکسی)

عامل دار کردن نانولوله‌های کربنی

پیش از این اشاره شده که پلیمرهای سیلیکونی و فلورینه گزینه‌های مناسبی جهت ساخت پوشش‌های رها ساز فولینگ هستند. هریک از این پلیمرها از جهاتی نسبت به دیگری برتری دارد. پلیمرهای فلورینه سطح انرژی پایینی دارند. در عین حال مدول الاستیک بالای این پلیمرها رها سازی فولینگ از سطح آن‌ها را با مشکلاتی روبرو می‌کند. پلیمرهای سیلیکونی با وجود خواص خوبی همچون انرژی آزاد سطحی و مدول الاستیک پایین، پایداری کمی در محیط آبی دارند. اتصال گروه‌های فلورینه به زنجیر پلیمری [۱۸] گرچه روش مناسبی برای ورود ترکیبات فلورینه به ساختار پوشش است، ولی به دلیل وزن مولکولی بالای زنجیر، مهاجرت آن به سمت سطح با سرعت پایین تری رخ می‌دهد. این امر سینتیک مهاجرت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هم چنین مقادیر بالای ترکیبات فلورینه در پوشش‌های رها ساز فولینگ علاوه بر افزایش هزینه، موجب شکننده شدن ساختار سطح آن می‌گردد. روش موثری که می‌توان برای وارد کردن ترکیبات کوچک مولکول فلورینه به ساختار پوشش پیشنهاد کرد، استفاده از نانوذرات عامل دار شده است [۱۹]. نانولوله‌های کربنی که با ترکیبات حاوی گروه‌های فلورینه عامل دار شده‌اند، قادرند به سطح پوشش مهاجرت کرده و خواص سطح آن را تغییر دهند.

Biocyl نام تجاری برای پوشش شامل نانولوله‌های کربنی چند دیواره بر پایه رزین‌های سیلیکونی است. این محصول برای سیستم‌های رها ساز فولینگ دوست دار محیط زیست و پوشش‌های دریایی طراحی شده است. برای دستیابی به بهترین عملکرد رنگ‌های دریایی، biocyl در فرمولاسیون‌های بر پایه سیلیکون

(سیلیکون، سیلیکون-اپوکسی وغیره) به کار می رود. با استفاده از این ماده، حفاظت در برابر فولینگ با سمی شدن پوشش حاصل نمی شود؛ بلکه نانو ساختار ایجاد شده بر روی سطح توسط Biocyl از چسبیدن ارگانیسم های دریایی جلوگیری می کنند. این بدین معنی است که به عنوان مثال بازناکل ها از روی سطح با جریان آب یا با حرکت کشتی با سرعت حداقل چهار گره دریایی کنده می شوند [۲۰].



» شکل ۸. نمونه ای از کاربرد
نانوپوشش آنتی فولینگ Biocyl
در بدنه قایق

پوشش آنتی فولینگ با نانوذرات مس

همانطور که پیش از این گفته شد، مس به دلیل خواص ضد میکروبی خود در پوشش های آنتی فولینگ به کار می رود. محققان استرالیایی و ایرلندی عملکرد آنتی فولینگ مس را در فرم های مختلف ماکرو، میکرو و نانو بررسی کردند. آن ها به این نتیجه رسیدند که مس در شکل نانو بهترین خواص آنتی فولینگ را در پلی دی متیل سیلوکسان داراست [۲۱].

پوشش آنتی فولینگ با نانوذرات سیلیکا

پلیمرهای سیلوکسانی کلاس جالبی از مواد هستند و پلی دی متیل سیلوکسان با واحد تکرار شونده $[-Si(CH_3)_2O-]$ عضوی از این مجموعه است که بیش از بقیه کاربرد دارد. الاستومرهای پلی دی متیل سیلوکسان خواص مکانیکی ضعیف و همچنین استحکام کششی پایینی دارند. بنابراین ضروری است که این ماده به کمک پرکننده های معدنی به منظور بهبود خواص مکانیکی مورد نیاز در کاربردهای تجاری بهبود یابد. پلی دی متیل سیلوکسان به طور سنتی با سیلیکا تقویت می شود و اتصالات شیمیایی بین دو فاز، به کمک باندهای هیدروژنی بین گروه های سیلانی بر روی سطح سیلیکا و اتم های اکسیژن بر روی زنجیر پلیمر برقرار می شود. استفاده از سیلیکا در مقیاس نانو بر دینامیک پلیمر و رفتار ویسکوالاستیک آن نیز اثر می گذارد. در سال های اخیر به نانو کامپوزیت های پلیمری به دلیل خواص مکانیکی و حفاظتی خوب آن ها در مقایسه با کامپوزیت های معمول در مقیاس میکرو و ماکرو بسیار پرداخته شده است. وارد کردن نانوذرات پرکننده به ماتریس الاستومری منجر به افزایش سختی ماتریس در نتیجه سختی ذرات و همچنین ایجاد سایت های اضافی اتصالات عرضی در فصل مشترک ذره-ماتریس می شود.

علاوه بر کسر حجمی نانوذرات، متغیرهای دیگر مربوط به پرکننده، مانند اندازه ی ذرات بصورت منفرد یا

تجمعی، مورفولوژی فضایی یا ساختار و مشخصات سطحی نانوذرات برپاسخ مکانیکی نانوکامپوزیت پلی دی متیل سیلوکسان-سیلیکای حاصل اثرگذارند. بهترین خواص زمانی بدست می آید که پرکننده به خوبی درون ماتریس الاستومری پراکنده شود [۱۲].

چالش‌ها

چالش‌های بسیاری وجود دارد که صنعت رنگ‌های آنتی فولینگ با آن مواجه است و می‌تواند منجر به تغییراتی در بازار این رنگ‌ها شود.

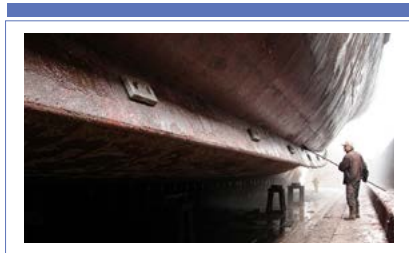
نخست کاهش در ساخت کشتی و شناورهای جدید است. برای بازار پوشش‌های دریایی این امر به معنی کاهش حجم تقاضا برای شناورهای تازه ساخته شده است. صنعت پوشش‌های دریایی همچنین از تأخیر در ساخت کشتی‌های جدید و کشتی‌های تعمیری زیان می‌بیند. به این دلیل که این تأخیرها به نفع صاحبان صنایع کشتی‌سازی است.

دوم، شرکت‌های کشتیرانی، به دلیل حفظ بقای خود در دوره بحران‌های اقتصادی، با هم تجمیع شده و یکی می‌شوند. این مسأله باعث افزایش قدرت خرید مشتری‌های واحد شده و بر قیمت‌های پوشش‌های آنتی فولینگ اثر می‌گذارد تا به حد امکان کاهش یابند. این کاهش قیمت باعث کاهش توانایی شرکت‌های رنگ در سرمایه‌گذاری برای پروژه‌های تحقیقاتی در دوره‌های می‌شود که بیش از هر زمان دیگر به آن نیاز است. چالش مهم دیگر زمان طولانی توسعه پوشش‌های آنتی فولینگ است. به این دلیل که روش‌های تست شتاب یافته و قابل اعتماد برای بررسی فرمولاسیون‌های جدید و خواص آن‌ها وجود ندارد. در واقع، انجام آزمون‌های میدانی بهترین روش بررسی عملکرد این پوشش‌هاست که بسیار زمان‌بر می‌باشد. با این وجود، بررسی‌های نشان می‌دهد که سود شرکت‌های تولیدکننده رنگ‌های آنتی فولینگ دریایی در سال ۲۰۱۱، پنج میلیارد دلار بوده که در سال ۲۰۱۸ به ۱۰ میلیارد دلار می‌رسد. در پایان این بحث، مهم‌ترین نکته‌ای که باید به آن توجه کرد این است که نیاز به کاهش مصرف سوخت بزرگ‌ترین محرک در صنعت رنگ‌های آنتی فولینگ است. در پاسخ به این نیاز پوشش‌های رهاساز فولینگ بسیار مناسب بوده و مصرف سوخت را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهند.

اقتصاد رنگ‌های آنتی فولینگ

نانورنگ‌های آنتی فولینگ در سطح بین‌المللی

فناوری نانو در پوشش‌های سطحی، خواصی از قبیل انرژی سطحی، هدایت بارهای الکتریکی، تخلخل، ترشوندگی، اصطکاک، زبری و فعالیت شیمیایی و برهم‌کنش با میکروارگانیسم‌ها را کنترل نموده و به این صورت قابلیت ارائه پوشش ضدخزه با ویژگی‌های ممتازی از قبیل: عدم سمیت، تأثیر بر روی طیف وسیعی از موجودات دریایی، دوست‌دار



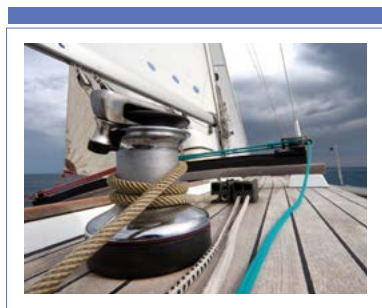
محیط زیست، دوام بالا و غیره را ایجاد می نماید. با استفاده از این سیستم ها می توان میزان سوخت مصرفی را تا ۴۰ درصد کاهش داد و در سال معادل ۷/۵ میلیون دلار صرفه جویی کرد.

این فناوری قابلیت دست یابی به بازار تا ۷۰ درصد حجم فروش جهانی را دارد و با توجه به ممنوعیت استفاده از پوشش های حاوی قلع (تری بوتیل تین "TBT")، مراکز تحقیقاتی موسسات بزرگ اقدام به طراحی و ساخت پوشش های ضد خزه با فناوری نانو نموده اند. حجم خسارت ناشی از فولینگ روی قطعات و تجهیزات مورد استفاده در صنعت دریایی عبارتند از:

- کشتی هایی که شامل خزه می باشند به میزان ۴۰ درصد سوخت بیشتری مصرف می نمایند.
- میزان مصرف پوشش های ضد خزه در سطح جهان تقریباً معادل ۷۰۰ میلیون دلار در سال می باشد.
- پاکسازی خطوط لوله در زیر دریا و سازه های دریایی و جلوگیری از خزه بستن آن ها در سال، ۱۵ میلیارد دلار در سطح جهان هزینه خواهد داشت.
- خسارات ناشی از خزه برای مخازن آب و تانک های پساب و تصفیه خانه ها شامل یک میلیارد دلار در سال می باشد.

فناوری نانو رنگ های جدید بسیار مقاومی در برابر خوردگی و اثرات محیط ارائه می نماید که با توجه به طول عمر شناورها و دوام بیش از ۲۰ سال این رنگ ها برپنده شناورها و تجهیزات زیر دریایی می توان این امر را به معنای مادام العمر بودن این رنگ ها دانست.

رنگ های دریایی در ایران



رنگ های دریایی تولید شده توسط شرکت های داخلی بیشتر بر پایه فناوری قدیمی CDP (کنترل آزاد سازی زیست کش با روش فیزیکی) و بسیار کمتر بر پایه فناوری های self-polishing می باشد. متأسفانه فناوری های جدید به علت بالا بودن قیمت و عدم توسعه صنایع رنگ سازی در ایران وارد کشور نشده است. رنگ های معمولی دریایی CDP بر اساس زمان سرویس دهی و کیفیت خود از لیتری ۱۵ هزار تومان تا ۴۰ هزار تومان توسط شرکت های داخلی به فروش می رسد.

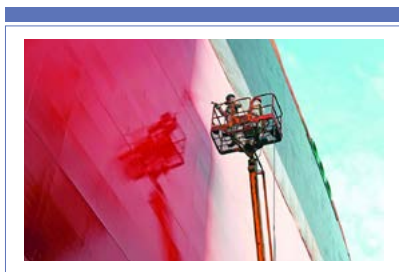
رنگ های دریایی self-polishing با قیمت لیتری ۶۰ هزار تومان به فروش می رسد. رزین های سیلیل آکریلاتی که در این رنگ ها مصرف می شوند، گران بوده و توسط شرکت های خاصی در دنیا تولید می شوند و خرید و وارد کردن این رزین ها به کشور بسیار دشوار است. محصولات رنگ های دریایی شرکت های خارجی که بر پایه فناوری های جدید می باشند، مانند رنگ های رهاساز فولینگ بسیار گران قیمت است. به عنوان مثال رنگ intersleek 700 شرکت اینترنشنال پینت که یک رنگ سیلیکونی است، لیتری ۲۰۰ هزار تومان بوده و سایر رنگ های شرکت اینترنشنال پینت در رده intersleek قیمتی در همین محدوده دارند. در واقع کاربرد فناوری نانو بیشتر در فناوری های جدید و در پوشش های رهاساز فولینگ می باشد. با استفاده از فناوری نانو

می‌توان انرژی آزاد سطحی را در رنگ‌های سیلیکونی و فلوئورینه کاهش داد و همچنین خواص مکانیکی و پایداری را در این پوشش‌ها بهبود بخشید.

با وجود گران قیمت بودن پوشش‌های رها ساز فولینگ، در ایران نیز مشتری‌هایی برای این محصول وجود دارد. سازمان‌هایی مثل نیروی دریایی برای قایق‌های تندرو خواهان این محصولات هستند. ولی به دلیل مشکلاتی که در تهیه مواد اولیه فناوری‌های جدید وجود دارد، تولید داخلی این محصولات تا کنون ممکن نشده است.

شرکت‌های بین‌المللی تولیدکننده رنگ‌های آنتی‌فولینگ

الف) شرکت اینترنشنال پینت



اینترنشنال پینت جزء شرکت آکزونوبل^{۱۱} است. آکزونوبل یک شرکت جهانی تولید رنگ‌ها و پوشش‌ها و همچنین مواد شیمیایی است. گروه اینترنشنال پینت در سنگاپور رهبری می‌شود و سیزده آزمایشگاه در زمینه رنگ‌های دریایی را کنترل و در ۶۰ کشور جهان فعالیت می‌کند. این شرکت ادعا می‌کند که در تکنولوژی رنگ‌های آنتی‌فولینگ، پوشش‌های مقاوم در برابر سایش و پوشش‌های رها ساز فولینگ در دنیا اول هستند. این شرکت اولین پوشش‌های آنتی‌فولینگ را در سال ۱۹۷۴ ارائه کرده است [۲۲].

ب) شرکت همپل^{۱۲}

شرکت همپل یک تولیدکننده جهانی رنگ‌های تزئینی، حفاظتی و دریایی است. در سال ۱۹۱۷، شرکت همپل اولین پوشش ضد خزه در جهان را برای بدنه کشتی‌ها براساس علم و تکنولوژی مدرن معرفی کرد و امروز از تولیدکنندگان اصلی پوشش‌های رها ساز فولینگ به شمار می‌رود. این شرکت در سال ۱۹۷۲ اولین پتنت سیلیکونی خود را به ثبت رساند و اولین پوشش خود برپایه سیلیکون را با نام تجاری HEMASIL در سال ۱۹۹۹ به بازار عرضه کرد. این محصول پیشرفته سطحی صاف و نجسب روی شناور ایجاد می‌کند و از چسبیدن خزه‌ها و دیگر اجرام دریایی بر سطح جلوگیری می‌کند. پوشش سیلیکونی نیروی درگ در آب، مصرف سوخت و انتشار گاز دیاکسید کربن را کاهش می‌دهد [۲۳].

ج) جوتن^{۱۳}

مرکزیت شرکت جوتن در کشور نروژ می‌باشد. این شرکت طیفی از رنگ‌های دکوراتیو، دریایی، حفاظتی و پوشش‌های پودری در بیش از ۹۰ کشور جهان ارائه می‌دهد. جوتن مجموعه‌ای از پوشش‌های آنتی‌فولینگ با عملکرد عالی را تولید می‌کند. جوتن مجموعه‌ای از ۷۱ شرکت و ۳۶ مرکز تولیدی در همه قاره‌هاست. بیش از

۳۰۰۰۰ شناور توسط شرکت جوتن رنگ آمیزی شده است [۲۴].

د) چوگوکو^{۱۴}

شرکت چوگوکو یک تولیدکننده جهانی رنگ در ژاپن است که رنگ های دریایی و صنعتی تولید می کند. این شرکت از سال ۱۹۱۷ رنگ های دریایی تولید می کند و شبکه سرویس دهی آن در چهل کشور جهان در آسیا، آمریکا، خاورمیانه و اروپا پراکنده است. آزمایشگاه های تحقیقاتی این شرکت در ژاپن، سنگاپور و چین فعالیت می کند [۲۵].

تولید کنندگان داخلی رنگ های آنتی فولینگ

الف) شرکت شیمیایی پارس پامچال

توجه به توسعه صنعتی و دریایی ایران در اوایل دهه پنجاه هجری شمسی، شرکت پارس پامچال با اخذ دانش فنی تولید رنگ های دریایی و تخصصی از انجمن بین المللی ترانس اوشن^{۱۵}، به عنوان عضو ایرانی این انجمن پایه گذار تولید رنگ های دریایی و حفاظتی در کشور شد. نهایتاً در سال ۱۳۵۶ پارس پامچال به عنوان اولین تولید کننده رنگ های صنعتی، دریایی، ساختمانی و رزین در ایران، جزء شرکت های بورس قرار گرفت. این شرکت هم اکنون به طور سالیانه پانزده هزار تن انواع رنگ های تخصصی دریایی، حفاظتی و صنعتی و معادل ده



هزار تن رنگ های مصرفی در صنعت ساختمان و نیز ده هزار تن انواع رزین های آلکیدی، خشک کن ها، هاردنر و رزین تخصصی بر پایه اپوکسی تولید می کند. قیمت های رنگ های دریایی شرکت شیمیایی پارس پامچال در محدوده لیتری ۲۳ هزار تومان تا ۴۰ هزار تومان می باشد [۲۶].

ب) شرکت باژاک

شرکت رنگ سازی باژاک (سهامی خاص) از سال ۱۳۶۶ فعالیت تولیدی خود را در زمینه رنگ ها و پوشش های حفاظتی و دریایی در شهر صنعتی کاوه (ساوه) شروع نمود. شرکت باژاک با بهره جستن از تجربه افراد متخصص که بیش از سی و پنج سال در عرصه تولید رنگ فعال بوده اند، توانست در زمان کوتاهی مورد توجه مصرف کنندگان قرار گرفته و در زمره چند شرکت مورد اعتماد این حوزه قرار گیرد. شرکت باژاک اولین دریافت کننده گواهی ISO 9001 و ISO 14001 از شرکت DNV در ایران می باشد و نیز گواهی ISO 17025 در مورد تأیید صلاحیت آزمایشگاه را نیز از مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران دریافت نموده است. باژاک پس از ۷ سال همکاری با شرکت همپل دانمارک و اخذ دانش فنی کلبه رنگ های صنعتی و دریایی جهت ادامه خدمات خود در زمینه رنگ های دریایی با شرکت KCC^{۱۶} کره که یکی از بزرگ ترین کارخانجات

رنگ‌سازی جهان را در اختیار دارد، قراردادی را به امضاء رسانده است که طی آن، محصولات با مارک KCC-BAJAK را در صورتی که مشتریان متقاضی آن باشند تولید و در اختیار قرار می‌دهد. همچنین در هر نقطه‌ای از جهان می‌تواند از طریق شبکه توزیع KCC رنگ را به کشتی‌ها تحویل نماید [۲۷].

ج) رنگ‌سازی سحر

این شرکت تولید کننده انواع آستری‌ها و رنگ‌های زیرخط آبخور، بالای خط آبخور، مخصوص سطوح داخلی و مخصوص سطح عرشه می‌باشد. استفاده از این نوع رنگ‌ها علاوه بر حفاظت از سطح و ایجاد بدنه صاف و عاری از خزه و زنگ، باعث می‌شود تا سطح تمیز و زیبا جلوه نماید و از جمع شدن خزه و دیگر موجودات دریایی در سطح جلوگیری کند [۲۸].

د) رنگ‌سازی روناس

رنگ دریایی ضد خزه روناس به شماره کد RTB-1338-R پوشش چند منظوره و عاری از قلع و سایر مواد سمی ممنوع است و به دلیل دارا بودن مواد ضد خزه امکان استقرار و رشد میکروارگانیسم‌ها موجود در آب دریا روی بدنه شناور را از بین خواهد برد. این پوشش با قابلیت self polishing در مجاورت آب دریا به سادگی آلودگی‌ها را زده و تازگی و شفافیت خود را حفظ می‌نماید. این رنگ به عنوان لایه نهایی روی بدنه کشتی در ناحیه زیرخط آبخور و بخشی از بدنه که در معرض دائمی یا متناوب آب دریا قرار دارد به کار برده می‌شود [۲۹].

خلاصه مدیریتی

در سال‌های اخیر حل مشکلات صنایع دریایی، به عنوان یکی از صنایع مهم کشور، بسیار مورد توجه فناوران و شرکت‌های دانش بنیان قرار گرفته است. از سوی دیگر فناوری نانو، به عنوان یکی از فناوری‌های کلیدی قرن بیست و یکم به عنوان راهکاری موثر برای بهبود فرایندها و ارتقای عملکرد قطعات و تجهیزات در این صنعت خواهد بود.

به دلیل شرایط کاری پیچیده و محیط عملکرد قطعات و تجهیزات مورد استفاده در صنعت دریایی در معرض تخریب و از کار افتادگی قرار گرفته و هزینه‌های بالایی برای این صنایع داشته است. در این گزارش سعی شده تا با نگاهی به فناوری نانو بتوان مشکلات ناشی از پدیده فولینگ در سطح شناورها و کشتی‌های مرور نمود و برای آن‌ها راهکاری مبتنی بر فناوری نانو ارائه داد.

پی‌نوشت‌ها

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1. barnacles | 6. rosin |
| 2. Mussels | 7. Cojugate |
| 3. International Paint | 8. fluorinated silicone coatings |
| 4. Self Polishing Antifouling | 9. Advanced Nanostructured Surfaces for the Control of Biofouling |
| 5. controlled depletion polymer | |

- | | |
|-----------------|----------------|
| 10. Tributyltin | 15. transocean |
| 11. akzonobel | 16. kcc-paint |
| 12. hempel | |
| 13. jotun | |
| 14. chugoku | |

منابع

1. <http://www.fathommaritimeintelligence.com/hull-coatings-for-vessel-performance.html>.
2. <http://www.international-marine.com/marinehome.aspx>.
3. Dürr, S. and J.C. Thomason, Biofouling. 2009: John Wiley & Sons.
4. Yebra, D.M., S. Kiil, and K. Dam-Johansen, Antifouling technology—past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings. Progress in organic Coatings, 2004. 50(2): p. 75-104.
5. <http://www.yachtpaint.com/usa/diy/media-center/product-information-sheet.aspx>.
6. Benson, P., D. Brining, and D. Perrin, Marine fouling and its prevention. Marine Technology Society Journal, 1973. 10(1).
7. Rascio, V.J. and C. Guidice, Research and development of soluble matrix antifouling paints for ships, offshore platforms, and power stations: a review. V. J. D. Rascio and C. A. Guidice, Corrosion Reviews 1989, 1989. 8: p. 87-153.
8. Hails, G. and J.D. Symonds, Antifouling paint comprising a copolymer containing organo tin salt and a pigment having a component which reacts with sea water and another component which does not react with sea water. 1980, Google Patents.
9. Anderson, C.D., in IBC UK Conferences Limited. 1998: United Kingdom. p. 1-12.
10. Anderson, C.D. and J.E. Hunter, in CDA. 1995: United Kingdom. p. 1-12.
11. Anderson, C.D. and J.E. Hunter, in NAV2000 Conference Proceedings. 2000: Venice.
12. Brady, R.F., A fracture mechanical analysis of fouling release from nontoxic antifouling coatings. Progress in organic coatings, 2001. 43(1): p. 188-192.
13. Champ, M.A. and P.F. Seligman, Organotin: environmental fate and effects. 2012: Springer Science & Business Media.
14. Khandeparker, L. and A.C. Anil, Underwater adhesion: the barnacle way. International journal of adhesion and adhesives, 2007. 27(2): p. 165-172.
15. Advanced nanostructured surfaces for the control of biofouling, in Final activity report of AMBIO.

16. Harris, P.J.F., Carbon nanotube science: synthesis, properties and applications. 2009: Cambridge University Press.
17. Beigbeder, A., et al., Preparation and characterisation of silicone-based coatings filled with carbon nanotubes and natural sepiolite and their application as marine fouling-release coatings. Biofouling, 2008. 24(4): p. 291-302.
18. Mielczarski, J.A., et al., The surface-segregated nanostructure of fluorinated copolymer– poly (dimethylsiloxane) blend films. Langmuir, 2009. 26(4): p. 2871-2876.
19. Deng, J., et al., Mechanical and surface properties of polyurethane/fluorinated multi-walled carbon nanotubes composites. Journal of applied polymer science, 2008. 108(3): p. 2023-2028.
20. <http://www.nanocyl.com/product/biocyl-x1/>.
21. Chapman, J., et al., Antifouling performances of macro-to micro-to nano-copper materials for the inhibition of biofouling in its early stages. Journal of Materials Chemistry B, 2013. 1(45): p. 6194-6200.
22. <https://www.akzonobel.com/products/paints-and-coatings>.
23. <http://www.hempel.com/>.
24. <http://www.jotun.com/>.
25. www.cmp.co.jp/global/.
26. <http://www.parspamchal.com/index.php/en/>.
27. <http://bajakpaint.com/>.
28. <http://saharpaint.com/>.
29. www.ronass.com/indexf.html.

مجموعه نرم افزارهای «نانو و صنعت»



مجموعه نرم افزارهای نانو و صنعت با هدف معرفی کاربردهای فناوری نانو در بخش ها و صنایع مختلف طراحی و منتشر شده است. در این نرم افزار اطلاعاتی مفید و کاربردی در قالب فیلم مستند، مقاله، کتاب الکترونیکی و مصاحبه با کارشناسان، در اختیار فعالان صنعتی کشور و علاقمندان به فناوری نانو قرار داده شده است. تاکنون شش عنوان از مجموعه نرم افزارهای نانو و صنعت با موضوع کاربردهای فناوری نانو در صنایع «نفت»، «خودرو»، «نساجی»، «ساخت و ساز»، «بهداشت و سلامت» و «کشاورزی»، ارائه شده است. مرکز پخش: ۶۶۸۷۱۲۵۹ - www.nanosun.ir

از مجموعه گزارش های صنعتی فناوری نانو منتشر شده است



- نانو حسگرهای تشخیص سرطان
- کاربرد فناوری نانو در صنعت کفپوش های نساجی
- کاربرد فناوری نانو در صنعت ترانزیستور و مدارهای مجتمع
- پوشش ها، کفپوش ها و سازه های مقاوم در برابر لغزش
- بررسی و کاربرد نانوفوتوکاتالیست ها در حوزه های مختلف
- کاربرد فناوری نانو در روش فیلتراسیون اسمز مستقیم
- آزمایشگاه روی تراشه
- کاربرد نانولوله های کربنی در فلزات
- کاربردهای نانومواد سلولز در صنایع مختلف، حوزه کامپوزیت و پلیمر
- کاربرد فناوری نانو در خازن ها
- کاربرد نانوکاتالیست ها در بهبود عملکرد پیل های سوختی
- سلول های خورشیدی شفاف
- کاربردهای فناوری پلاسمای قوسی خزننده در صنایع
- نانوذرات مغناطیسی، تشخیص و درمان هدفمند بیماری ها
- کاربرد فناوری نانو در منسوجات پزشکی و بهداشتی
- کاربرد نانومواد سلولز در فیلم های بسته بندی خوراکی
- کاربردهای نانوذرات نورتاب در بهبود سلول های خورشیدی
- نانو حسگرهای تشخیص و اندازه گیری گاز دی-اکسید گوگرد
- راهکارهای مقابله با آلودگی هوا توسط فناوری نانو
- نانو حسگرهای تشخیص و اندازه گیری گاز دی-اکسید کربن
- نانو حسگرهای تشخیص توالی دی ان ای و ژن های معیوب
- نانوذرات و دارورسانی به چشم
- کاربرد منسوجات نانوفناورانه در وسایل نقلیه
- کاربرد فناوری نانو در تصفیه آب خاکستری
- کاربرد نانوسلولز در چاپ سه بعدی
- کاربرد نانو مواد سلولزی در روکش های خوراکی
- کاربرد نانو کاتالیزورها در کنترل و رفع آلودگی محیط-زیست
- بهبود شرایط بهداشتی سطوح تجهیزات در صنایع غذایی، نوشیدنی و دارویی با استفاده از فناوری نانو
- کاربردهای فناوری نانو در انرژی
- نانو امولسیون، نقش و کاربرد آن در پزشکی
- کاربرد فناوری نانو در تولید منسوجات عایق گرمایی
- کاربرد فناوری نانو در تولید منسوجات عایق صوتی
- بهبود عملکرد پوشش های مقاوم به خوردگی با استفاده از نانو لوله های کربنی
- کاربرد فناوری نانو در صنعت چرم
- کاربرد فناوری نانو در حذف آلودگی آرسنیک از آب
- کاربرد فناوری نانو در منسوجات بی بافت
- کاربرد نانومواد سلولز در مقوا
- نانو بارکدها
- کاربرد فناوری نانو در چاپ منسوجات
- کاربرد فناوری نانو در تولید لیاف
- کاربرد فناوری نانو در وسایل نقلیه
- فناوری نانو؛ نقش و کاربرد آن در دندانپزشکی
- کاربرد سیالات فوق بحرانی در صنعت داروسازی
- فناوری پلاسمای؛ نقش و کاربرد آن در زیست پزشکی
- بررسی فنی و اقتصادی نانوپوشش های جاذب امواج الکترومغناطیسی