

مروری بر کاربردهای نانو پوشش‌های سخت و مقاوم در سیل‌های مکانیکی

ویرایش نخست



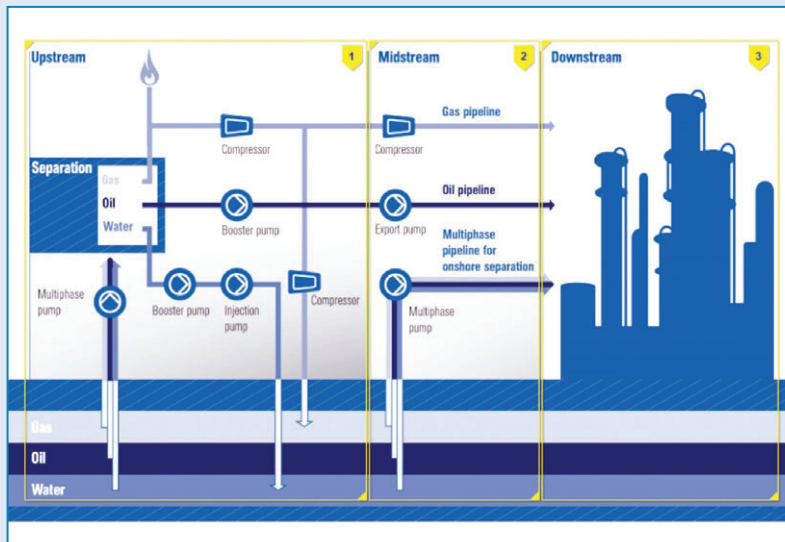
مقدمه

و نگهداری تجهیزات در برابر خوردگی، سایش، فرسایش و عوامل مخرب دیگر، از موارد مهم و تاثیرگذار در افزایش راندمان اقتصادی است که بی‌اعتنایی به این مسائل سبب توقف تولید و همین‌طور بالا بردن هزینه‌های تولید و تعمیر و نگهداری خواهد شد. در سال‌های اخیر با گسترش علم نانو، شرکت‌های بزرگ نفتی سعی در استفاده از فناوری نانو در بخش‌های مختلف صنایع نفت و گاز دارند. پتانسیل‌های زیاد فناوری نانو به خصوص در شاخه نانوپوشش‌ها باعث شده است که بخش فراوانی از فعالیت‌های تحقیق و توسعه شرکت‌های بزرگ نفتی به استفاده از این فناوری معطوف شود. در این زمینه یکی از تجهیزات مهم در صنعت نفت، گاز و صنایع وابسته استفاده از سیل‌های مکانیکی در پمپ‌ها و تجهیزات مورد استفاده در این صنایع می‌باشد.

تکمیل و اصلاح شده و یا اینکه جایگزین مناسبی برای آنها معرفی شده است. معایبی از قبیل اعوجاج در قطعات حین فرایند نیتروژن‌دهی مایع و گازی، مضرات زیست‌محیطی در فرایند آبکاری کروم سخت، تنها برخی از این عیوب هستند. ضمن اینکه خواص و بهبود عمر حاصل از روش‌های نوین بسیار بیشتر از فرآیندهای سنتی است. از مهم‌ترین و به روزترین فرایندها، می‌توان به ایجاد پوشش‌های نانوساختار بر روی سطوح اشاره کرد. این دسته از پوشش‌های سطحی به علت دارا بودن خواصی چون سختی، تراکم و چسبندگی خوب و قابلیت تطبیق ترکیب و ساختار پوشش با شرایط محیطی سایشی و خوردگی، توانسته‌اند جایگاه ویژه‌ای در صنایع بزرگ مانند صنعت نفت، گاز و پتروشیمی به خود اختصاص دهند. در صنعت نفت، گاز و پتروشیمی، حفظ

از آنجا که فناوری نانو، یک رویکرد جدید به همه علوم و فنون می‌باشد، این فناوری کاربردهای گسترده‌ای در صنعت نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی یافته است. به عنوان مثال بخشی از افزایش راندمان پمپ‌ها در صنعت نفت و گاز را می‌توان به پوشش‌دهی سیل‌های مکانیکی ارتباط داد. سیل‌های مکانیکی یک قطعه بحرانی در پمپ‌ها هستند. مهم‌ترین دلیل آسیب دیدگی در پمپ‌ها سطوح لغزش آن‌هاست که به دلیل روانکاری نامناسب تخریب می‌شوند. از این رو این نوشتار صرفاً به کاربردهای «فناوری نانوپوشش سخت و مقاوم در سیل‌های مکانیکی در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی» معطوف شده است.

یک سیستم از محلی دچار از کارافتادگی می‌شود که ضعیف‌تر باشد. این قانون به صورت کلی به تمام حوزه‌های صنایع قابل تسری است. در بسیاری از حوزه‌های مهندسی به منظور رسیدن به راندمان کاری بهینه، لازم است تا عملیات سطحی روی قطعات اعمال شود. بیش از یکصد سال است که از عملیات سطحی و استحکام بخشی موضعی سطح، به عنوان راهکاری عملی برای بهبود عملکرد و افزایش عمر قطعات استفاده می‌شود. نخستین فرایندهای سطحی شامل نیتروژن‌دهی و کربوراسیون سطح بود. بعدها آبکاری انواع پوشش‌ها معرفی شد که هم‌اکنون در داخل کشور نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگرچه این روش‌ها سال‌ها در دنیا مورد توجه قرار گرفته‌اند اما در دو دهه اخیر با ظهور فناوری‌های نوین، فرایندهای سنتی گذشته یا با این فناوری

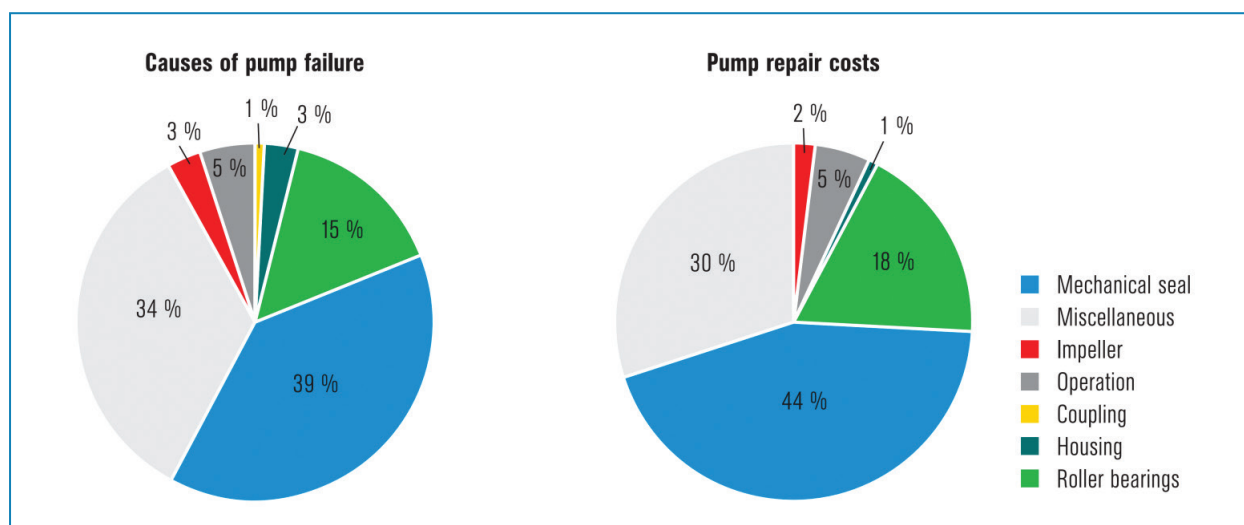


▲ موارد کاربرد سیل‌های مکانیکی در بخش‌های مختلف صنعت نفت



اهمیت بکارگیری نانو پوشش ها در سیل های مکانیکی

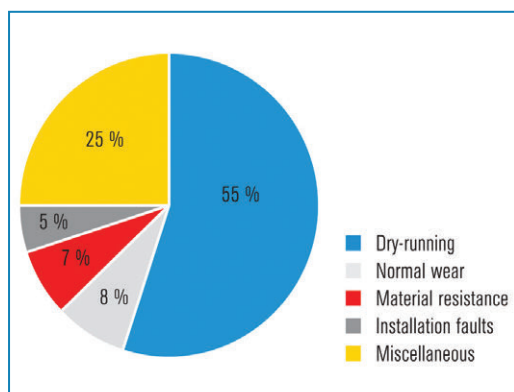
قابلیت اطمینان و به صرفه بودن اقتصادی پمپ ها به سبب افزایش دوره ی زمانی تعمیر تجهیزات بسیار حائز اهمیت می باشد. سیل های مکانیکی پمپ ها کوتاه ترین زمان تعویض را بین قطعات مختلف پمپ ها دارند. بنابراین بیشترین تاثیر بر روی دوره ی زمانی تعویض ناشی از سیل های مکانیکی می باشد. بررسی های بین المللی نشان می دهد که سیل های مکانیکی عامل ۳۹٪ از کارافتادگی پمپ ها و همچنین این کار افتادگی حدود ۴۴٪ تمامی هزینه های تعمیر پمپ ها است.



▲ هزینه ی تعمیر پمپ ها و دلائل از کارافتادگی پمپ ها

چند چالش مهم در عملکرد سیل های مکانیکی

چهار مشکل عمده در صنعت نفت و گاز عبارتند از: پدیده خوردگی، فرسایش، خستگی و سایش.

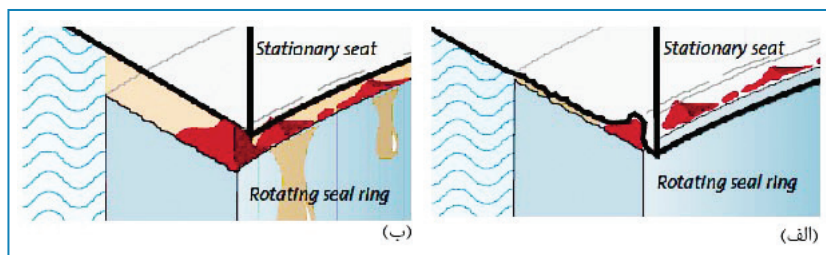


▲ دلائل تخریب سیل های مکانیکی

سیل های مکانیکی یک قطعه بحرانی در پمپ ها هستند. مهمترین دلیل آسیب دیدگی در پمپ ها سطوح لغزش آنهاست که به دلیل روانکاری نامناسب تخریب می شوند. در گذشته مواد مورد استفاده برای درزگیرها از جنس مواد سخت مانند کاربید تنگستن، گرافیت و کربن، برنز، فولاد زنگ نزن و استلایت ساخته می شدند. به منظور جلوگیری از پدیده ی Galling سطوح در تماس با یکدیگر معمولاً سختی نابرابر داشتند و یکی از قطعات نقش خود روانکار داشت در حالیکه سطح دوم از مواد مقاوم به سایش ساخته می شدند. مشکلی مانند سایش و همچنین مشکلات ذاتی قطعات شامل مقاومت به ترکیبات شیمیایی، استحکام محدود و غیره، منجر به از کار افتادگی آنها شده و می بایست حداقل یکی از این قطعات تعویض شوند. آنالیزی که بر روی تخریب سیل ها توسط شرکت Eagleburgmann



انجام شد نشان می‌دهد که تخریب ۵۵٪ از سیل‌های مکانیکی ناشی از حرکت خشک سطوح است. لذا حدود ۲۱٪ تمام خرابی پمپ‌ها ناشی از حرکت خشک سطوح در درزگیرهای مکانیکی است. استفاده از نانو پوشش‌ها در این قطعات سبب بهبود خواص، افزایش عمر کاری تجهیزات و صرفه‌جویی اقتصادی می‌شود. در فناوری نانو پوشش به دلیل ماهیت نانویی، خواص متفاوت و منحصربه‌فردی در سطح قطعه ایجاد خواهد شد. افزایش فوق‌العاده سختی تا محدوده ۵۰ گیگا پاسکال و ضریب اصطکاک ۰/۰۵ از جمله این خواص می‌باشد. برای آشنایی بیشتر با نانو پوشش‌ها، در ادامه تعریف و سپس انواع آنها از لحاظ ساختاری آورده شده است.



▲ رسوبات سخت در سطح سیل و افزایش ضخامت آن‌ها (الف)، که منجر به جدایش سطوح سیل می‌شود.

انواع نانو پوشش‌های سخت و مقاوم

نانو پوشش‌ها به دسته‌ای از روکش‌ها اطلاق می‌شود که دارای دو ویژگی زیر باشد:

- ۱ در یکی از اجزای آن (ساختار یا اجزای سازنده) دارای ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد.
- ۲ نسبت به حالت متداول دارای خواص ویژه و منحصربه‌فردی باشد. مانند خواص مطلوب مقاوم به سایش، فرسایش و خوردگی.

دسته‌بندی انواع پوشش‌های مرسوم و نانو پوشش‌های سخت و مقاوم

فناوری نانو پوشش به دلیل نیازهای صنعتی دست‌خوش تغییرات شده است، به طوری که تاکنون پوشش‌های نسل‌های مختلف توسعه یافته‌اند. در زیر به این پوشش‌ها اشاره شده است.

■ **نسل اول:** پوشش دوجزئی TiN ، TiC ، CrN و ZrN

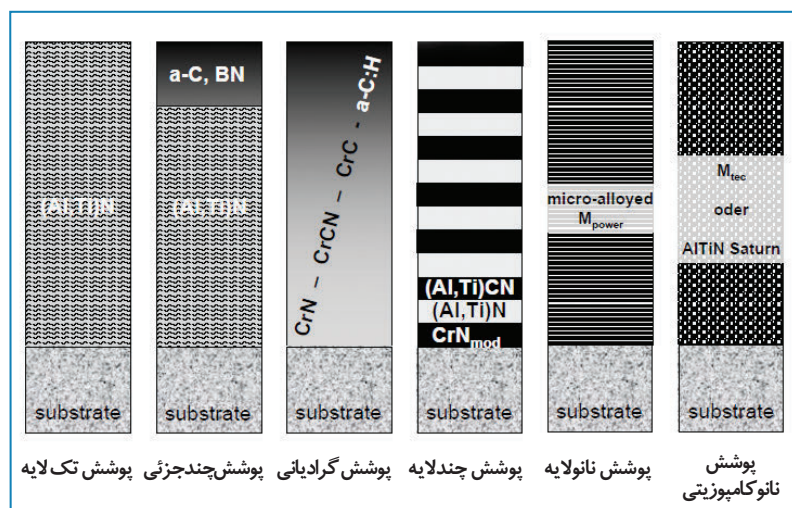
■ **نسل دوم:** پوشش‌های سه‌جزئی مانند پوشش‌های AlCrN ، TiCN ، TiAlN ، TiSiN و AlTiN

■ **نسل سوم:** پوشش‌های چندلایه و ابرشبکه‌ای مانند پوشش‌های TiN/VN و TiN/TiAlN

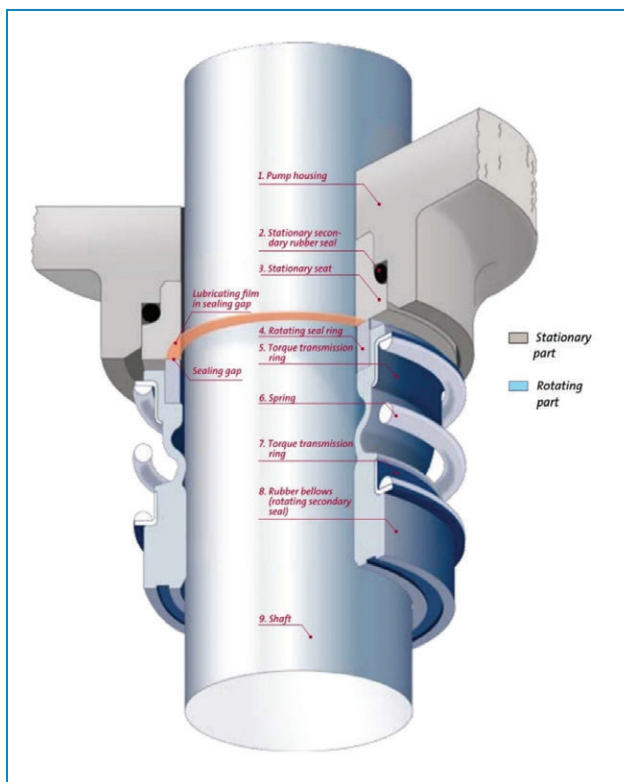
■ **نسل چهارم:** پوشش‌های نانو کامپوزیتی مانند پوشش TiAlSiN

■ **نسل پنجم:** پوشش‌های خودروانکار جامد (DLC) با ضریب اصطکاک در حدود ۰/۰۵

■ **نسل ششم:** پوشش‌های هیبریدی، ترکیبی از دو نسل مختلف (Triple & Quad coat)



برخی کاربردهای تجاری شده نانوپوشش‌ها در بهبود عملکرد سیل‌های مکانیکی



سیل‌های مکانیکی در تجهیزات دوار شامل توربین‌ها، کمپرسورها و پمپ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. قابلیت اطمینان سیل، متغیر اصلی برای قابلیت اطمینان تمام تجهیز است. عملکرد سیل‌های مکانیکی بر روی کارایی پمپ‌ها موثر است. زمانی که سیل مکانیکی به درستی کار کند، چندان مورد توجه قرار نمی‌گیرد، اما زمانی که شروع به نشت می‌کند، مشکلات عدیده‌ای ایجاد می‌شود.

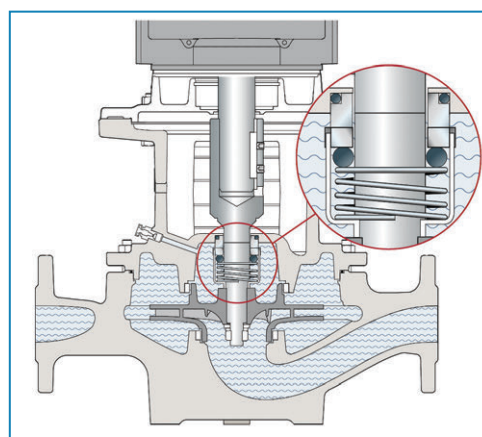
سیل مکانیکی شامل دو جزء اصلی است: قطعه چرخان و قطعه ثابت، که قطعه چرخان به صورت محوری وارد قطعه ثابت می‌شود.

عواملی مانند شرایط کاری شدید و محیط عملکردی مخرب، انباشت رسوبات سخت بر روی سطوح و ایجاد ذرات سایشی، حرارت اصطکاکی، مواد سخت سازنده، عدم تنظیم دقیق فاصله و ضخامت لایه‌ی روانکار و سایر عوامل، سبب تخریب سیل‌های مکانیکی می‌شود و هزینه‌های بالایی برای این صنایع داشته است.

▶ قطعات مورد استفاده در سیل مکانیکی

انواع مختلف پوشش‌ها شامل HVOF، DLC، پاشش پلاسما و پوشش‌های حاصل از PVD برای پوشش‌دهی سیل‌های مکانیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مشکل پوشش‌های DLC و PVD ضخامت کمتر از $10\text{ }\mu\text{m}$ این پوشش‌هاست و امکان کنده شدن آن‌ها در اثر ذرات سخت وجود دارد. از طرف دیگر پوشش‌های PVD و پاشش حرارتی امکان پاشش بر روی سطح خارجی قطعات را دارند. از پوشش‌ها درایده ایجاد شده به روش رسوب‌دهی شیمیایی فاز بخار (CVD) برای کاربردهای متنوع از جمله صنعت نفت و گاز استفاده می‌نمایند. پوشش‌ها درایده به صورت اتم به اتم از فاز گازی بلوری شده و یک پوشش مناسب با قابلیت اعمال بر روی سطوح پیچیده را فراهم می‌کند.

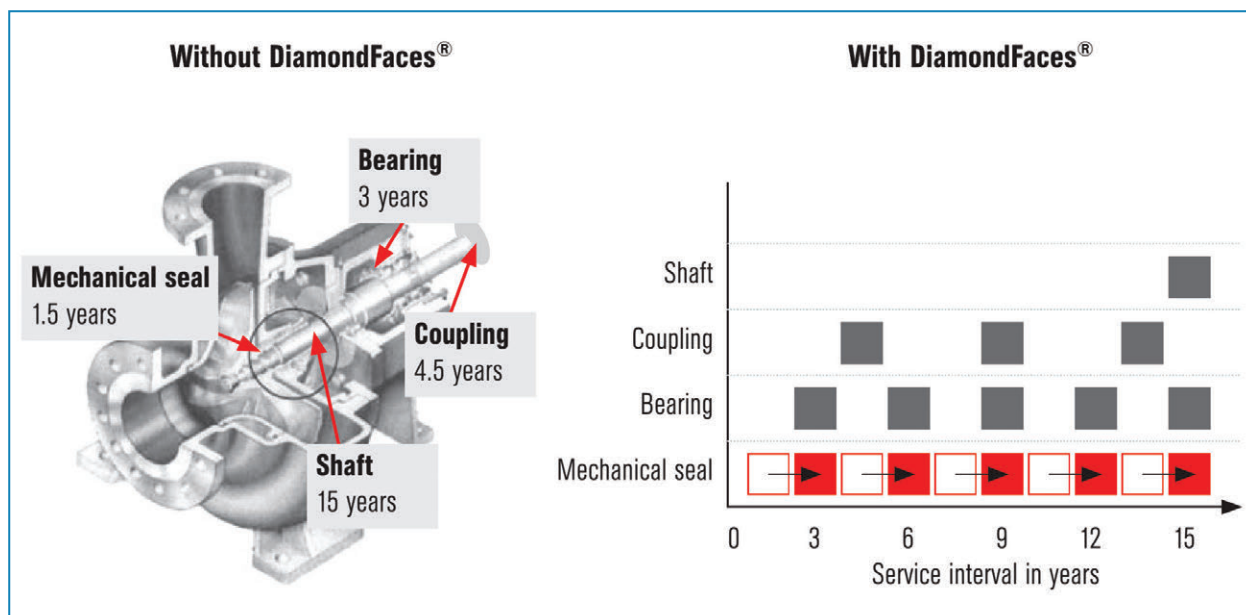
بنابراین این پوشش نه تنها سطوح سیل اصلی را محافظت می‌کند، بلکه امکان استفاده از آن در سطوح ثانویه و سطوح داخلی سیل‌ها مانند O-ring و سایر سطوحی که در معرض جریان فرسایشی قرار دارند نیز وجود دارد.



▲ نمونه‌ای از سیل‌های صنعتی مورد استفاده



شرکت Eagleburgmann، با بهره‌گیری از پوشش DiamondFace (پوشش از جنس بلورهای خالص الماس) امکان استفاده از سیل‌ها برای محیط‌های مختلف کارکرد پمپ سیل‌های نفتی و گازها را فراهم کرده است. این پوشش با کاهش ضریب اصطکاک، افزایش مقاومت به سایش و مقاومت شیمیایی، کاهش زبری سطح و همچنین افزایش چسبندگی، سبب افزایش عمر کاری و کاهش چشم‌گیر هزینه‌های ناشی از تعویض سیل‌های مکانیکی می‌گردد.

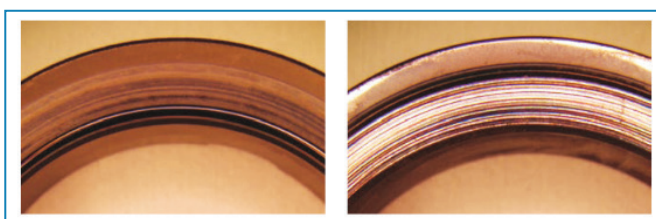


▲ مقایسه عمر کاری پمپ گریز از مرکز با استفاده از پوشش DiamondFace و بدون این پوشش

همچنین محققان شرکت ARGONNE با استفاده از پوشش‌های الماسه حاوی نانوذرات بلوری (UNDC) به افزایش بازدهی و صرفه اقتصادی بالای سیل‌ها دست یافته‌اند. پوشش UNDC برای سیل‌های دوار با اصطکاک کم به صورت تجاری و توسط شرکت ADT تجاری شده است. این پوشش منجر به کاهش اصطکاک در فصل مشترک سیل به میزان ۷۵٪ می‌شود.



▲ سیل نوع A05 UNDC که شامل رینگ با پوشش UNDC (سمت چپ) و قطعه SiC دوار در سمت راست



▲ مقایسه بین سطح سیل سیلیکون کاربید بدون پوشش (سمت راست) و با پوشش UNDC پس از کارکرد در آب که هیچ‌گونه سایشی در سطح آن مشاهده نمی‌شود.

▲ نمونه‌ای از پوشش UNDC پس از پولیش.





▲ سیل مکانیکی از نوع CSS

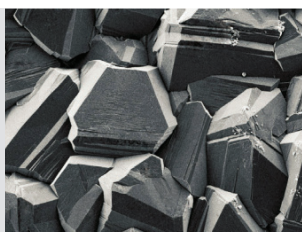
انواع مختلفی از پوشش DLC با سختی HV ۴۰۰۰-۱۰۰۰ و ضخامت $10-0.1 \mu m$ جهت لایه‌نشانی سیل‌های مکانیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هنگامی که این پوشش در تماس با خود قرار می‌گیرد حتی زمانی که روانکاری انجام نشود، میزان سایش ناچیز $0.02-0.08$ نانومتر بر ساعت مشاهده می‌شود. از طرف دیگر به دلیل حرارت تولیدی کم، ظرفیت سرمایشی کمی نیاز دارد. هزینه کلی سیل‌های مکانیکی با پوشش DLC، به دلیل پایین آمدن هزینه تعمیر و نگهداری و قابلیت این پوشش در کارکرد در شرایط سخت به صورت چشم‌گیری کاهش می‌یابد. این پوشش بسیاری از خواص الماس را داراست و از لحاظ شیمیایی خنثی و همچنین دارای زبری سطحی پایین می‌باشد. در صورت استفاده از این پوشش در سیل‌های مکانیکی پمپ، به دلیل زبری سطحی پایین، نیروی مورد نیاز برای به کار انداختن تجهیز در حدود ۲۰٪ کاهش می‌یابد.

سیل‌های شرکت AESSEAL مطابق با استاندارد API 682 ساخته می‌شوند. یکی از محصولات این شرکت سیل مکانیکی مدل CSS می‌باشد. سطح تماس این سیل‌ها با پوشش‌هایی از جمله کربن و الماس مصنوعی پوشش داده می‌شوند.

شرکت WCIS TOTALSEAL از فناوری نانو جهت پوشش دهی Sleeve شفت‌ها در سیل‌های مکانیکی استفاده کرده و مدعی است این پوشش نسبت به پوشش مرسوم کاربرد تنگستن عمری معادل ۳ تا ۴ برابر بیشتر دارد. این شرکت برخی از ویژگی‌های نانو پوشش مورد استفاده خود (NANO) در مقایسه با پوشش‌های پاشش حرارتی را استحکام چسبندگی دو برابری، افزایش ۴ برابری مقاومت سایشی، بهبود چکش‌خواری و تافنس بیان کرده است. این پوشش به دلیل دارا بودن خواصی چون سختی (در حدود HV ۱۱۰۰) و چگالی بالا (تخلخل کمتر از ۱٪) از خوردگی در فصل مشترک پوشش و بستر جلوگیری می‌کند.



▲ پوشش سیل شفت برای خطوط انتقال نفت خام



▲ تصویر از قطعه با پوشش الماسه و تصویر میکروسکوپی از سطح پوشش

خلاصه مدیریتی

نگاهی به فناوری نانوپوشش‌ها بتوان مشکلات سیل‌های مکانیکی در حوزه سایش، فرسایش و خوردگی را مرور نمود و برای آنها راهکاری ارائه داد.

در این رهگذر کارگروه صنعت و بازار ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، «مرکز توسعه نانوپوشش» را در سال ۱۳۹۳ تأسیس نمود. هدف این مرکز حل مشکلات صنعت در حوزه سایش، فرسایش و خوردگی با تأکید بر توان فناوری داخلی می‌باشد. لذا برای دستیابی به این مهم سازندگان تجهیزات لایه‌نشانی و مراکز خدمات فناوری را گرد هم آورده است تا بتواند از طریق حمایت‌های مالی و معنوی خود مسیر رسوخ فناوری نانوپوشش در صنایع کشور را هر چه بیشتر هموار نماید.



افزایش عمر کاری و بهبود عملکرد سیل‌های مکانیکی مورد استفاده در صنایع نفت و گاز، به‌عنوان یکی از پرکاربردترین قطعات این صنایع، بسیار مورد توجه فناوران و شرکت‌های دانش‌بنیان قرار گرفته است. از سوی دیگر فناوری نانو، به‌عنوان یکی از فناوری‌های کلیدی قرن بیست و یکم به‌عنوان راهکاری موثر برای بهبود فرآیندها و ارتقای عملکرد در این صنعت خواهد بود. متأسفانه به‌دلیل شرایط کاری شدید و محیط عملکرد سیل‌ها نظیر انباشت رسوبات سخت بر روی سطح و ایجاد ذرات سایشی، حرارت اصطکاکی، مواد سخت‌سازنده، عدم تنظیم دقیق فاصله و ضخامت لایه روانکار، سبب تخریب سیل‌های مکانیکی می‌شود و هزینه‌های بالایی برای این صنایع داشته است. در این گزارش سعی شده تا با

معرفی مرکز توسعه نانوپوشش



رصد آخرین تحولات جهانی در حوزه پژوهشی و صنعتی فناوری نانوپوشش

صنایع علاقمند به آشنایی با خدمات این مرکز و نیز بهره‌مندی از آن می‌توانند به وب‌سایت مرکز توسعه نانوپوشش ایران به نشانی www.NanoCoating.ir مراجعه نمایند.

مرکز توسعه نانوپوشش یکی از زیرمجموعه‌های کارگروه صنعت و بازار ستاد ویژه توسعه فناوری نانو در سال ۱۳۹۲ با هدف رسوخ فناوری نانوپوشش‌ها در صنایع و شرکت‌های متقاضی و همچنین هدایت و حمایت شرکت‌های فناوری در حوزه نانوپوشش تشکیل شد. در حال حاضر این مرکز با ارائه خدماتی همچون مشاوره و عارضه‌یابی، مهندسی، تحقیق و توسعه، آموزش تخصصی و حمایت‌های مالی ویژه درصدد بهره‌مندی صنایع و شرکت‌های متقاضی از این فناوری می‌باشد. اهداف مهم این مرکز به قرار ذیل است:

- آشنایی صنایع با پتانسیل‌های بالقوه و بالفعل فناوری نانوپوشش
- ارائه خدمات فنی، مشاوره‌ای، تحقیق و توسعه‌ای به صنایع
- حل مشکلات صنعتی موجود با تکیه بر توانمندی فناوری
- رسوخ، بکارگیری و توسعه فناوری نانوپوشش در صنایع
- کمک به فناوران جهت عرضه فناوری به صنعت
- بازارسازی و بازاریابی فناوری نانوپوشش
- کمک به افزایش بهره‌وری صنایع از طریق بکارگیری فناوری نانوپوشش

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو



صندوق پستی:
۱۴۵۶۵-۳۴۴

پست الکترونیک:
report@nano.ir - info@nanocoating.ir

پایگاه اینترنتی:
www.nano.ir

نمابر:
۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰

تلفن:
۰۲۱-۶۳۱۰۰