

مروری بر کاربرد نانو پوشش‌های سخت و مقاوم در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی

ویرایش سوم

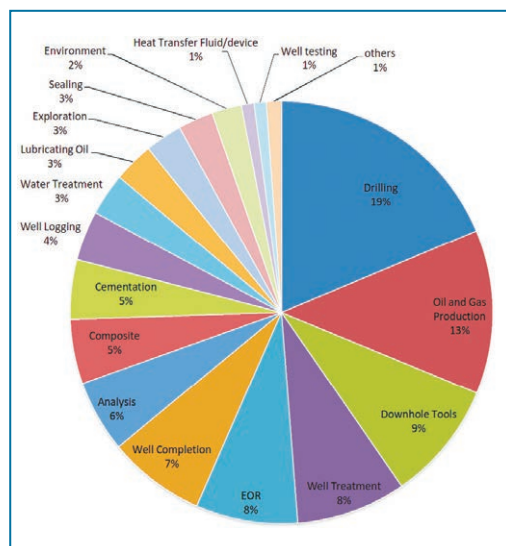


- اقتصاد نانو پوشش‌ها در صنعت نفت، گاز و پتروشیمی
- چند چالش مهم در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی
- برخی کاربردهای تجاری شده نانو پوشش‌ها در تجهیزات صنایع نفت، گاز و پتروشیمی

اقتصاد نانوپوشش‌ها در صنعت نفت، گاز و پتروشیمی

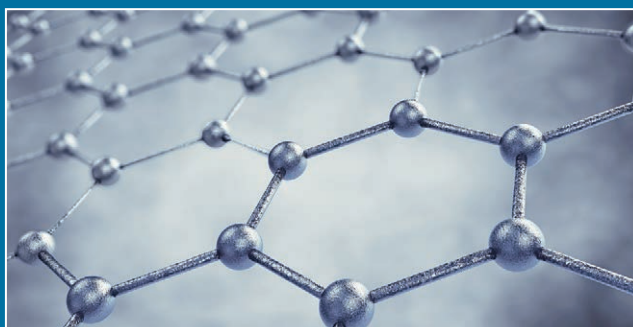
با توجه به گزارش‌های منتشر شده، سهم محصولات صنعتی نفت، گاز و پتروشیمی مرتبط با فناوری نانو در سال ۲۰۱۵، ۱/۲٪ می‌باشد. سهم صنعت نفت و گاز از فناوری نانو در حدود ۲۲ درصد بوده و همچنین سهم پوشش‌ها (تمامی انواع پوشش‌ها با هر ساختاری) ۱۲٪ می‌باشد و این در حالی است که سهم نانوپوشش‌ها در صنعت ذکر شده ۹٪ است.

میزان خسارت تحمیل شده به صنعت نفت از پدیده خوردگی در ایالات متحده و اروپا حدود ۳/۱ درصد تولید ناخالص داخلی برآورد می‌گردد که طبق آمار، خسارات خوردگی که طی ۲۲ سال گذشته در صنایع آمریکا رخ داده است، چیزی حدود ۳۸۰ میلیارد دلار می‌باشد. میانگین سالانه این خسارت‌ها حدود ۱۷ میلیارد دلار است که از کل هزینه سوانح طبیعی از قبیل زلزله، سیل و آتش‌سوزی در این کشور بیشتر می‌باشد.



▲ سهم فناوری نانو در بخش‌های مختلف صنایع بالا دستی نفت

مقدمه



فناوری نانو یک رویکرد جدید به همه علوم و فنون می‌باشد و کاربردهای گسترده‌ای در صنعت نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی یافته است. به عنوان مثال افزایش راندمان کاتالیست‌ها با ایجاد حفره‌های نانومتری، افزایش ازدیاد برداشت نفت با استفاده از نانوهایدروژل‌های فوق‌جاذب، استفاده از نانوفیلترها در صنعت نیروگاهی و سایر کاربردهای دیگر را می‌توان نام برد. این نوشتار صرفاً به کاربردهای «فناوری نانوپوشش‌های سخت و مقاوم در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی» معطوف شده است. بیش از یکصد سال است که از عملیات سطحی و استحکام‌بخشی موضعی سطح، به عنوان راهکاری عملی برای بهبود عملکرد و افزایش عمر قطعات استفاده می‌شود. نخستین فرایندهای سطحی شامل نیتراسیون و کربوراسیون سطح بود. بعدها آبکاری انواع پوشش‌ها معرفی شد که هم‌اکنون در داخل کشور نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر چه این روش‌ها سال‌هاست که مورد استفاده قرار گرفته‌اند اما در دو دهه اخیر با ظهور فناوری‌های نوین، فرایندهای سنتی گذشته یا با این فناوری تکمیل و اصلاح شده‌اند و یا اینکه جایگزین مناسبی برای آنها معرفی شده است. معایبی از قبیل اعوجاج در قطعات حین فرایند نیتروژن‌دهی مایع و گازی، مضرات زیست محیطی در فرایند آبکاری کروم سخت تنها برخی از این عیوب هستند. ضمن اینکه خواص و بهبود عمر حاصل از روش‌های نوین بسیار بیشتر از فرایندهای سنتی است.

حفظ و نگهداری تجهیزات در صنایع بزرگ مانند نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی در برابر سایش، فرسایش و خوردگی از موارد مهم می‌باشد. در سال‌های اخیر با گسترش فناوری نانو، شرکت‌های نفتی دنیا سعی در استفاده از این فناوری در بخش‌های مختلف این صنایع از جمله تجهیزات و قطعات داشته‌اند. پتانسیل بالای فناوری نانو باعث شده است که بخش فراوانی از فعالیت‌های تحقیق و توسعه در شرکت‌های بزرگ نفتی به استفاده از این فناوری معطوف شود.

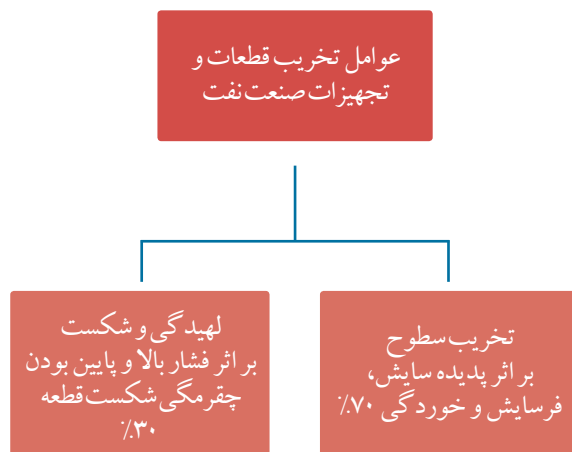




چند چالش مهم در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی

فعالیت‌های صنایع نفت و گاز در محیط‌های کاری پیچیده است که نیاز به پوشش‌هایی با خواص بسیار بالا دارد. خوردگی شدید و محیط‌های ساییده به همراه عوامل مکانیکی و حرارتی در این فرایندها وجود دارد. بسیاری از پوشش‌های موجود محدودیت‌های جدی دارند و برای کاربرد در صنایع نفت و گاز مناسب نیستند. پوشش‌ها خواص مکانیکی قطعه مانند سختی، استحکام و چقرمگی را بهبود می‌بخشند. در عین حال با انتخاب پوشش مناسب، مقاومت در برابر شرایط محیطی مانند اکسیداسیون دمای بالا و خوردگی بهبود می‌یابد. چهار مشکل عمده در صنعت نفت و گاز عبارتند از: خوردگی، فرسایش، خستگی و سایش.

در صنعت نفت، گاز و پتروشیمی به منظور حفاظت قطعات در برابر محیط‌های خورنده از جمله گاز H_2S ، فشار بالای کاری و شرایط محیطی خشن (گرما، گرد و خاک، رطوبت، نمک و غیره) از پوشش‌دهی سطح قطعات استفاده می‌شود. برخی از این قطعات از جمله روتور پمپ گل، پره‌های پمپ، توربین‌ها، شفت پمپ‌های ساتریفیوژ و کمپر سورها، لوله‌های بویلر، ماریچ همزن‌ها، مندرل‌ها، شیرها، سیت و گیت شیرهای دروازه‌ای، شیرهای تویی، مته‌های حفاری، اتصالات سرچاهی، پوشش خارجی لوله‌ها و پوشش سازه‌ها برای افزایش عمر و دوام نیاز به پوشش‌دهی دارند. براساس آمارهای موجود در دنیا، به‌طور متوسط ۷۰ درصد از تخریب قطعات و تجهیزات صنعت نفت به دلیل تخریب سطوح آنها در اثر پدیده‌های مخرب سایش، فرسایش و خوردگی و ۳۰ درصد مابقی به دلیل لهیدگی و شکست آنها می‌باشد.



از این رو برای حل این چالش‌ها، مهندسان سطح با اعمال فرآیندهای پوشش‌دهی مانند نیتروژن‌دهی، آبرکاری کروم سخت و HVOF توانسته‌اند درصد تخریب قطعات را کاهش دهند، ولی به دلیل حساسیت تجهیزات صنعت نفت و لزوم افزایش راندمان کاری قطعات، در سه دهه اخیر فناوری نانوپوشش‌ها به کمک حل این موضوع آمده است.

در فناوری نانوپوشش به دلیل ماهیت نانویی پوشش‌ها، خواص متفاوت و منحصر به فردی 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 نانوپوشش‌ها، در ادامه تعریف و سپس انواع آنها از لحاظ ساختاری آورده شده است.



انواع نانوپوشش‌های سخت و مقاوم

- نانوپوشش‌ها 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 منحصر به فردی باشد. مانند خواص مطلوب مقاوم به سایش، فرسایش و خوردگی.

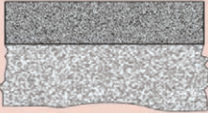
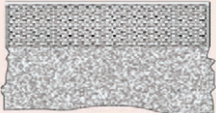
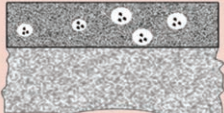

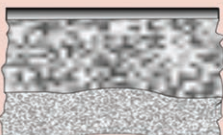
دسته‌بندی انواع پوشش‌های مرسوم و نانوپوشش‌های سخت و مقاوم

فناوری نانوپوشش به دلیل نیازهای صنعتی دست‌خوش تغییرات شده است به طوری که تاکنون نسل‌های مختلف نانوپوشش‌ها توسعه یافته‌اند. در ذیل به این نسل‌های تکامل یافته اشاره شده است.

- **نسل اول:** پوشش دوجزئی تک لایه مانند ZrN ، TiN ، TiC ، CrN و TiN و TiC
- **نسل دوم:** پوشش‌های سه جزئی تک لایه مانند پوشش‌های $TiSiN$ ، $TiAlN$ ، $TiCN$ و $AlCrN$
- **نسل سوم:** پوشش‌های چندلایه مانند پوشش‌های $TiN/TiAlN$
- **نسل چهارم:** پوشش‌های نانولایه و ابر شبکه‌ای مانند TiN/VN
- **نسل پنجم:** پوشش‌های نانو کامپوزیتی مانند پوشش $TiAlSiN$
- **نسل ششم:** پوشش‌های خودروانکار جامد (DLC) با ضریب اصطکاک در حدود ۰/۰۵
- **نسل هفتم:** پوشش‌های هیبریدی، ترکیبی از دو نسل مختلف (Triple & Quad coat)



▼ دسته‌بندی انواع پوشش‌ها و نانو پوشش‌های سخت و مقاوم از لحاظ ساختاری

خواص	مثال	شماتیک	جزء نانو	
بهبود خواص عملکردی نسبت به قطعه پایه	آبکاری HVOF VPS		بدون جزء نانومتری	پوشش متداول
افزایش مقاومت به خوردگی افزایش پایداری حرارتی افزایش مقاومت به سایش	آبکاری نانو PACVD و PVD ESD و EB-PVD		ساختار سازنده نانومتری	نانوساختار کردن
افزایش سختی سطح افزایش مقاومت به سایش و فرسایش	آبکاری نانو Nano-HVOF PACVD و PVD		پراکنده شدن نانوذرات	نانوکامپوزیت کردن
افزایش چقرمگی شکست کاهش ضریب اصطکاک بهبود مقاومت به سایش	PVD PACVD		پوشش با ضخامت نانومتری	نانولایه کردن
افزایش عملکرد مکانیکی قطعه افزایش چسبندگی پوشش	Plasma nitriding + PACVD یا PVD		یکی از موارد فوق + لایه نیتريد شده	فرآیند دومرحله‌ای

برخی کاربردهای تجاری شده نانوپوشش‌ها در تجهیزات صنعت نفت

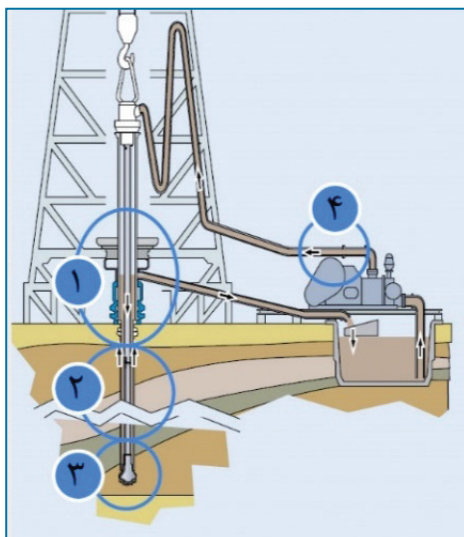


صنعت نفت معمولاً به سه بخش تقسیم می‌شود: بالادستی، پایین دستی و میان دستی

❶ کاربرد نانوپوشش‌ها در صنایع بالادستی

صنعت اکتشاف و حفاری نفت یکی از پرهزینه‌ترین بخش‌های صنایع نفتی می‌باشد. بر این اساس، مهمترین نکته در صنعت حفاری جلوگیری از هرگونه وقفه در عملیات حفاری می‌باشد. مهمترین دلیل وقفه در این صنعت تعمیر و جایگزینی قطعات فرسوده است. به دلیل شرایط خوردگی





و سایشی شدید ناشی از خطوط انتقال گل حفاری، سطح قطعاتی که در تماس با آن قرار می‌گیرند تخریب شده و به مرور نیاز به جایگزینی آن‌ها می‌باشد. نانوپوشش‌های با کارایی بالا، دوره‌ی کاری این قطعات را افزایش داده و مدت زمان وقفه در عملیات حفاری را کاهش می‌دهد. اصولاً تجهیزاتی که در صنعت حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرند مطابق شکل زیر به چهار دسته تقسیم‌بندی می‌شوند.

◀ تقسیم‌بندی تجهیزات مورد استفاده در صنعت حفاری.
تجهیزات گروه ۱ شامل لوله‌های وزنی، اتصالات، پایدارسازها، گروه ۲ و ۴ شامل پمپ گل، مندرل‌ها، ایمپلرها و شیرهای تویی و دروازه‌ای و گروه ۳ شامل مته‌های حفاری می‌باشند.

در دستگاه‌های جدید پمپ گل حفاری ساخته شده توسط شرکت کمرون از فناوری نانوپوشش بهره گرفته شده است. به دلیل شرایط کاری پمپ (اصطکاک بالای اجزاء) و محیط کاری خورنده آن (محیط مرطوب و اسیدی)، اکثر اجزای این پمپ برای بهبود خواص پوشش‌دهی می‌شوند. برای این منظور، دو شرکت قدرتمند در حوزه نانوپوشش به نام شرکت‌های آیون‌باند و هارداید به کمک این شرکت آمده‌اند. برخی از اجزای این پمپ که پوشش‌دهی شده عبارتند از:



Seals	Dies
Shafts	Ball & Plug valves
Stem valves	Impellers
Flow diverters	Nozzles
Cylinders	Rotors-Stators
Pistons	Valve trim
Choke valves	Wear & Neck rings
Housings	Actuators
Control valves	Bushes
Turbine blades	Wear plates
Vanes	Bearings
Butterfly valves	hydraulic systems



با افزایش طول چاه مقدار اصطکاک افزایش می‌یابد. به منظور غلبه بر این نیروی اصطکاک، توان بیشتری به منظور چرخش رشته‌ی حفاری نیاز است. در برخی حالات، اصطکاک بین رشته‌ی حفاری و لوله‌ی جداری بیش از حداکثر گشتاوری است که رشته‌ی حفاری تحمل می‌کند. بنابراین حداکثر طولی که می‌توان با روش‌های معمول حفاری کرد محدود می‌شود. اما با ایجاد نانو پوشش مناسب، نیروی اصطکاک کاهش می‌یابد و امکان حفاری در عمق بیشتر با تجهیزات معمول حفاری فراهم می‌شود.

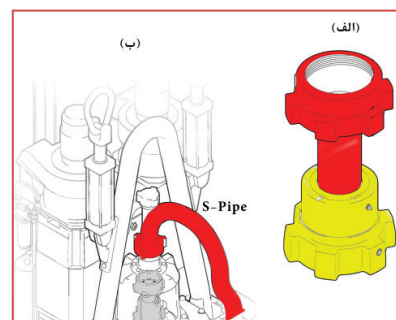
شرکت Alcoa با همکاری Rusnano لوله‌های حفاری آلومینیومی خود را با نانو پوشش مقاوم به سایش و خوردگی پوشش داده است. این پوشش‌ها عمر لوله‌ها را نسبت به لوله‌های بدون پوشش ۳۰ تا ۴۰ درصد افزایش می‌دهند. یکی از قسمت‌های حساس رشته‌ی حفاری، نواحی اتصال لوله‌ها و تجهیزات به یکدیگر می‌باشد.



▲ استفاده از نانو پوشش برای افزایش عمر کاری لوله‌های مورد استفاده در صنعت حفاری

واش پایپ از سه بخش بالایی، لوله‌ی انتقال (Barrel) و بخش پایینی تشکیل شده است. در این تجهیز به دلیل حرکت قسمت پایین و ثابت بودن بخش بالایی و لوله‌ی انتقال، سطح بیرونی لوله‌ی انتقال تحت سایش شدیدی قرار می‌گیرد و به مرور زمان قابلیت خود در درزبندی را از دست داده و نشی گلی حفاری با فشار بالا از این ناحیه رخ می‌دهد و ناگزیر باید تجهیز تعویض گردد. به صورت متداول پوشش Colmonoy 88 با روش پاشش حرارتی بر روی لوله اعمال می‌شود.

► نمایی از الف) تجهیز واش پایپ و (ب) محل نصب آن بر روی تاپ دراپو. خطوط انتقال گل حفاری در این تصویر با رنگ قرمز مشخص شده‌اند.



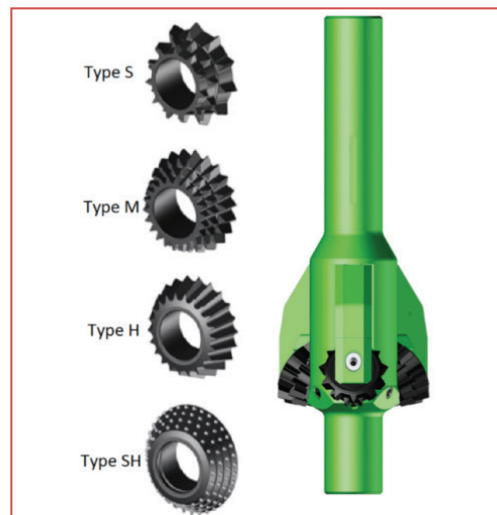
► نمایی از اورشات و قطعات آن

تجهیزات درون چاهی نیز که در پایین لوله‌های حفاری نصب می‌شوند، ممکن است تحت اصطکاک و سایش مشابهی قرار گیرند. پوشش‌دهی این تجهیزات با پوشش‌های با ضریب اصطکاک کم در نواحی تماس، عمر آن‌ها را افزایش می‌دهد. از طرف دیگر انرژی سطحی کم پوشش‌ها مقاومت به خوردگی و فرسایش آن‌ها را نیز افزایش می‌دهد.

اورشات به منظور گرفتن لوله‌ها و تجهیزات مانده در چاه استفاده می‌شود. پوشش سخت اعمالی قدرت ابزار را افزایش می‌دهد. این پوشش به منظور کاهش اصطکاک و نیروی مورد نیاز برای ورود تجهیز مانده در چاه به اورشات استفاده می‌شود.



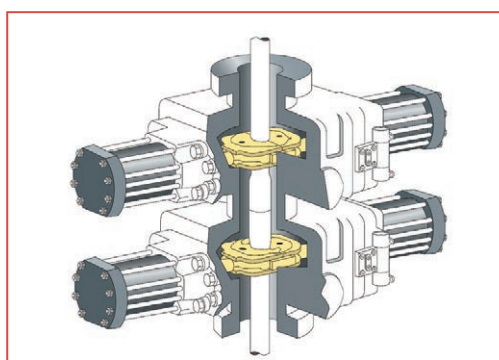
استفاده از پوشش نانو ساختار کاربید تنگستن Hardide بر روی قطعات درون‌چاهی از جمله توربین‌های درون‌چاهی نیز یکی دیگر از کاربردهای پوشش‌های نانو ساختار در صنعت حفاری است که توسط شرکت Hardide انجام شده است. بررسی‌ها نشان داد که با استفاده از پوشش Hardide بر روی شیرهای تویی، دفعات استفاده از این شیرها از ۲۹۰۰۰ (با پوشش مقاوم به سایش Co-Cr) به ۷۰۰۰۰ بار افزایش پیدا کرد. یکی دیگر از پوشش‌های مقاوم به سایش مورد استفاده در تجهیزات درون‌چاهی نانوپوشش کاربید تنگستن کبالت است که توسط شرکت Extreme coating بر روی موتور گل درون‌چاهی پوشش داده شده است. موتور گل درون‌چاهی امکان ایجاد سرعت دورانی بالاتری برای مته حفاری فراهم می‌کند و در عین حال نیازی به سرعت بالای تمام رشته‌ی حفاری نیست. نانوپوشش کاربید تنگستن علاوه بر سختی بالا مقاومت به سایش بالاتری نسبت به سایر پوشش‌های مورد استفاده توسط این شرکت دارد.



▲ تصویری از گشادکننده‌ی چاه به همراه انواع تیغه‌های نانو پوشش‌دار

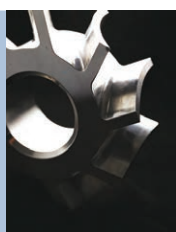


▲ نمونه‌ای از کاربرد پوشش hardide در صنعت حفاری الف) سیت و تویی شیرهای تویی، ب) منحرف کننده‌ی درون‌چاهی ج) تجهیز ESS



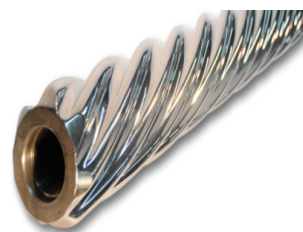
▲ تصویر نمایی از شیرهای فوران گیر (BOP)

سیستم فوران گیر (Blow Out Preventer) اهمیت فراوانی در صنعت حفاری دارد. BOP ها شیرهای بزرگی هستند که در بالای چاه در حین حفاری قرار گرفته و قابلیت بستن کامل چاه در چند ثانیه را دارند. بخش اصلی این تجهیزات، ram ها هستند که در ram های برشی قابلیت برش لوله‌ها در شرایط بحرانی وجود دارد. Ram های برشی دارای تیغه‌های برشی سخت کاری و پوشش داده شده هستند. در مواقع اضطراری با بسته شدن این شیرها لوله‌ی حفاری نیز بریده می‌شود. مهمترین قابلیت این تیغه‌ها سختی بالا و ضریب اصطکاک بسیار کم می‌باشد. ترکیبات مورد استفاده برای پوشش دهی این تیغه‌ها TiN، TiAlN و TiCN با روش PVD می‌باشند.



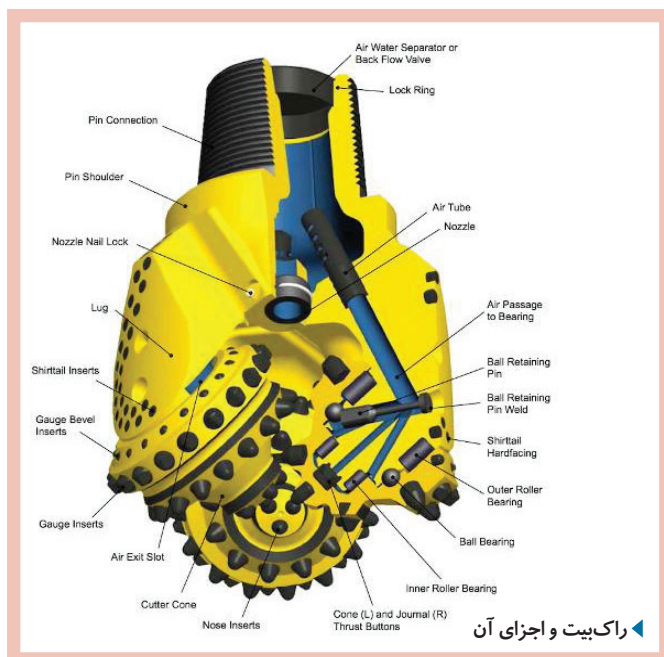
▲ توربین درون چاهی

▶ نانو پوشش کاربرد تنگستن - کبالت بر روی موتور گل درون‌چاهی



کاربرد نانوپوشش در مته‌های حفاری

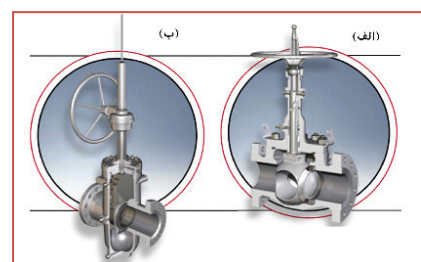
عموماً نفت در عمق ۹۰۰ تا ۵۰۰۰ متری از سطح زمین یافت می‌شود. جهت دسترسی به آن، می‌بایستی زمین حفاری شود. به این منظور از مته‌ها در انتهای رشته حفاری استفاده می‌شود. ترکیبات تنگستن با کربن عبارتند از WC ، W_2C که به سختی الماس و پوشش نانو ساختار DLC می‌باشند.



نانوپوشش‌ها در شیرهای مورد استفاده در

صنعت حفاری

شیرها^۲ بواسطه‌ی گسترده‌ی کاربردی وسیعی که در صنایع و بخصوص در صنعت حفاری، انتقال، پالایش نفت و گاز دارند، مصرف و اهمیت بسیار زیادی دارند. انواع شیرهای تویی و دروازه‌ای شاید از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین آنها باشند. یکی دیگر از موارد کاربرد پوشش‌های نانو ساختار DLC، پوشش‌دهی سطح سیت و گیت‌های شیرهای دروازه‌ای مورد استفاده در حفاری عمیق زیر دریا می‌باشد.



▲ تصویر شماتیک (الف) شیر کروی و (ب) شیر دروازه‌ای



۲ کاربرد نانوپوشش‌ها در صنایع پایین‌دستی نفت

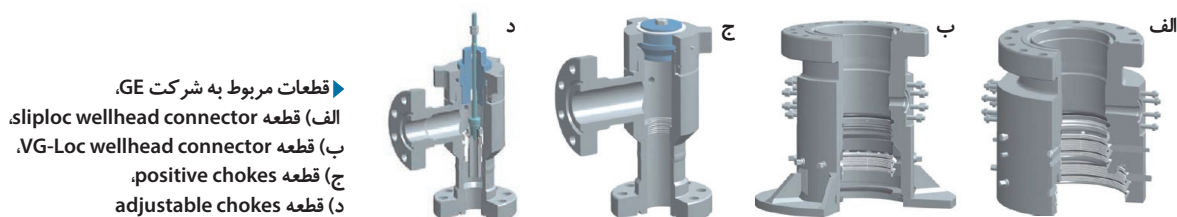
کاربرد نانوپوشش در خطوط انتقال

همانطور که پیش‌تر نیز گفته شد، وجود H_2S در سیال انتقالی، عامل اصلی خوردگی در تجهیزات نفتی است. وجود این عامل مخرب در خط لوله سبب می‌شود که خوردگی به صورت موضعی رخ دهد که استفاده از پوشش‌های DLC و نیز $Ti-Si-C-N$ می‌تواند تاثیر بسیار زیادی (تا ۱۰۰ برابر عمر نمونه‌ی بدون پوشش) در افزایش عمر محصول داشته باشد. یکی از مشکلات موجود در صنعت نفت و پتروشیمی رسوب در لوله‌های انتقال است. در این حالت سطح داخلی لوله به عنوان مکان جوانه‌زنی و رشد رسوبات درون لوله است. این فرآیند را می‌توان با پوشش‌دهی سطح کنترل کرد. پوشش DLC به عنوان پوشش کنترل‌کننده‌ی رشد رسوبات کلسیم مورد استفاده می‌باشد.



ضرورت پوشش‌دهی قالب‌های فورج قطعات در صنعت ساخت نفت، گاز و پتروشیمی

با توجه به بررسی استانداردهای ساخت تجهیزات صنعت نفت API می‌توان مشاهده کرد که برای ساخت این قطعات از فرایند شکل‌دهی فورج یا از فرایند ریخته‌گری استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که در همین قالب‌های فورج و ریخته‌گری، پدیده سایش به شدت مشاهده می‌شود. از این رو با توجه به تحقیقات گسترده و نتایج آن (گزارش کاربرد نانوپوشش‌ها در شکل‌دهی - ستاد ویژه توسعه فناوری نانو)، می‌توان گفت که بهره‌گیری از نانوپوشش‌های سخت منجر به افزایش عمر قالب‌ها و در نتیجه صرفه‌جویی در هزینه‌های تولید خواهد شد.



▶ قطعات مربوط به شرکت GE.
الف) قطعه sliploc wellhead connector.
ب) قطعه VG-Loc wellhead connector.
ج) قطعه positive chokes.
د) قطعه adjustable chokes.

اعمال پوشش بر قطعات توربین‌های گازی

به دلیل شرایط کاری موتورهای توربین‌های گازی در دما و فشار بالا، قطعات این توربین‌ها نیازمند پوشش‌دهی می‌باشند. اجزای مختلف توربین، شرایط متفاوتی را تجربه می‌کنند. لذا پوشش‌های مختلف برای اجزای آن وجود دارد. در شکل قسمت‌های مختلف توربین نشان داده شده که نیازمند پوشش با شرایط کاری متفاوت از جمله پوشش‌های مقاوم به سایش، خوردگی، فرسایش، اکسیداسیون و پوشش‌های سد حرارتی می‌باشند.



بخش مربوط به کمپرسور: ورود هوای ذرات گرد و خاک با سرعت بالا باعث فرسایش تدریجی پره‌ها و تخریب آن‌ها می‌شود. استفاده از پوشش نانو ساختار TiN و CrN و AlCrN بر روی آن می‌تواند ضمن کنترل رسوب ذرات روی پره‌ها از خوردگی ناشی از رطوبت هوا روی آن‌ها نیز جلوگیری به عمل آورد. در شکل بالا وضعیت سطحی پره‌ها در حالت بدون پوشش بعد از ۱۳۳ ساعت کاری و همچنین پره‌ی با پوشش نانو ساختار TiN بعد از ۲۰۲۲ ساعت کاری نشان داده شده است.

اعمال نانو پوشش‌های کربن شبه الماس (DLC) با ضریب اصطکاک خیلی پایین بر روی اجزا و قطعات

پوشش کربن شبه الماس (DLC) به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد در مقایسه با دیگر پوشش‌های سخت و مقاوم، کاربردهای فراوانی در صنعت نفت در دنیا پیدا کرده است. شرکت DLC-Company از پوشش‌های DLC در اجزای مختلف تجهیزات نفت بهره گرفته است. پوشش DLC در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی در انواع دریچه‌ها و قطعاتی که در تماس با یکدیگرند به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. قطعات مذکور در محیط‌هایی با نیروی اصطکاک بالا و در تماس با سیال‌های شیمیایی خورنده مانند H_2S قرار دارند. از این رو پوشش DLC به دلیل ضریب اصطکاک بسیار پایین، خنثی بودن شیمیایی و مقاومت به سایش و خوردگی، برای پوشش‌دهی این قطعات بسیار مناسب می‌باشد. از سوی دیگر نشان داده شده است که استفاده از پوشش‌های DLC نیروی لازم برای تغییر حالت شیر را به میزان ۲۰٪ کاهش می‌دهد. از جمله کاربردهای این پوشش عبارتند از:

3. Diamond Like Carbon (DLC).



▼ کاربرد پوشش‌های DLC در صنعت نفت و گاز؛ کاربردهای مقاوم به سایش، فرسایش، خوردگی و ضد رسوب

پمپ‌ها	دریچه‌های تویی	Gate seats	Gate valves
سطوح تحت لغزش	اجزای ممانعت کننده از ضربه	بلبرینگ	سرته‌ها (Drill bits)
دریچه دیافراگمی	دریچه Balancing	Choke valves	shut off gate
دریچه‌های پروانه‌ای	Knife gate	دریچه پنوماتیکی	n-way دریچه



▲ انواع مغزی‌ها با پوشش شبه الماس. برگرفته از وبسایت شرکت DLC-Company.

از سوی دیگر، پوشش‌های نانو کامپوزیتی سری TriboBond شرکت IonBond از جنس DLC به عنوان گزینه‌ی مناسب برای محیط خشن پیشنهاد می‌شود. در بین این سری، پوشش TriboBond42 پوششی است چندلایه متشکل از Cr، CrN و a-C:H با ضریب اصطکاک فوق‌العاده پایین (زیر ۰/۱)، دارای سختی ۲۸۰۰-۲۰۰۰ ویکرز که به صورت هیبریدی تولید می‌شود. این پوشش در شرایط تماسی که نیرو به شدت بالاست استفاده می‌شود تا گشتاور مورد نیاز برای حرکت اجزاء و قطعات را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد.

اعمال یک پوشش چندلایه از ساختارهای مختلف الماس بر روی انواع شیرهای خطوط انتقال، توسط شرکت Mesco به روش PECVD سبب افزایش مقاومت به خوردگی و سایش آنها شده است. این پوشش چندلایه پس از نیتروژن دهی پلاسمایی بر روی قطعه اعمال می‌شود. مهم‌ترین بخش این پوشش چندلایه، لایه‌ی آمورف کربن است که در کنار نانو کامپوزیت‌های DLC و پلی کریستال کربن این پوشش را تشکیل می‌دهند.

برای بهبود خواص مقاومت به سایش قطعات، فعالیت‌های زیادی صورت گرفته است. از جمله این فعالیت‌ها می‌توان به همکاری مشترک شرکت نانوتک با شرکت کامرون برای تولید نوعی روان‌ساز در پوشش‌ها با نام تجاری TriboTuff® برای کاربرد در دریچه‌ها و تجهیزات

صنایع نفت و گاز اشاره کرد. این پوشش فوق روانکار برای اولین بار امکان ایجاد ضریب اصطکاک نزدیک به صفر را در قطعات و تجهیزات فراهم می‌کند که با این کار مصرف انرژی فسیلی کاهش می‌یابد. این روان‌ساز می‌تواند دوام و عملکرد قطعات به کار رفته در تجهیزات موجود در زنجیره تولید نفت و گاز را بهبود دهد.



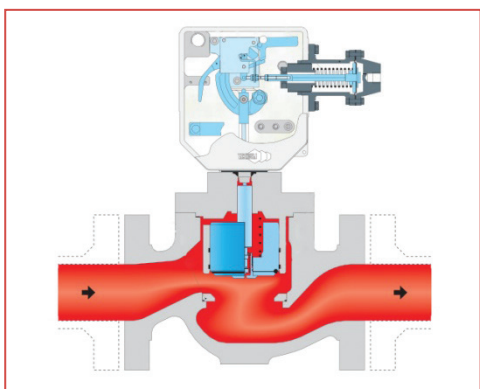
برخی کاربردهای تجاری شده نانوپوشش‌ها در تجهیزات صنعت گاز

یکی از راه‌های بهبود کارایی تجهیزات در صنعت نفت و گاز استفاده از نانوپوشش‌هاست. با اعمال نانوپوشش ضد خوردگی، استحکام قطعه افزایش یافته و کارایی و عمر کاری آن بهبود می‌یابد. دکل‌ها و تجهیزاتی که در آب‌های دریایی قرار گرفته‌اند، تحت شرایط خوردگی بسیار شدیدی هستند. برای حل این مشکل می‌توان از نانوپوشش‌های ضد خوردگی استفاده کرد.



برخی از این نانوپوشش‌ها شامل پوشش‌های نانو کامپوزیت نیتریدی، نانو کامپوزیتی نیکل / اکسید آلومینیم، نانو کامپوزیت آلومینیم / اکسید تیتانیوم، نانوپوشش کربید تنگستن / نیکل-کبالت و غیره می‌باشد. این نانوپوشش‌ها کاربردهای متنوعی دارند که عبارتند از:

۱. خطوط لوله‌ی فرایندی، اتصالات و شیرها؛
۲. سیستم انتقال و گازرسانی؛
۳. نازل‌ها؛
۴. تجهیزات آزمون در شرایط خوردگی شدید.

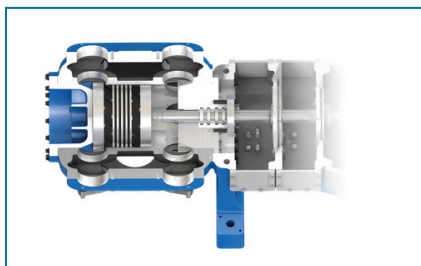


در سیستم‌های انتقال گاز از ایستگاه‌های اندازه‌گیری و تنظیم فشار استفاده می‌شود. انواع مختلفی از شیرها در ایستگاه‌های کنترل فشار مورد استفاده قرار می‌گیرند که نیازمند نانوپوشش می‌باشند. شیرهای Slam Shut به منظور قطع کامل و سریع جریان گاز در زمان کاهش و یا افزایش فشار نسبت به محدوده‌ی تنظیمی استفاده می‌شوند. از پوشش کروم سخت برای قطعات مختلف این قطعه استفاده می‌شود. قطعات مختلف این شیرها شامل بدنه، قطعات اتصالی، پوسته و فنرها با کروم سخت، روی و غیره پوشش داده می‌شوند.

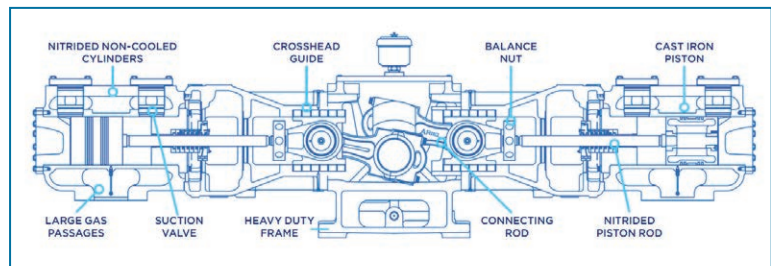
◀ شیر Slam Shut مورد استفاده در ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز



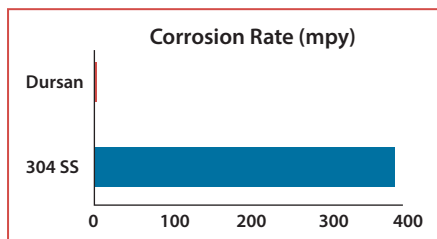
فناوری نانو به منظور بهبود عملکرد کمپرسورهای مورد استفاده در پمپ‌های گاز CNG قابلیت استفاده دارد. در شکل زیر بخش‌های اصلی یک کمپرسور گاز CNG نشان داده شده است. نیتروژن‌دهی قطعات در این پمپ به منظور افزایش کارایی آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. محفظه‌ی سیلندر این کمپرسورها از مواد گوناگون با عملیات حرارتی متنوعی ساخته شده است. Piston rod در این سیلندر از جنس فولاد سخت کاری AISI 4140 می‌باشد. هم‌چنین پوشش کاربید تنگستن برای این قطعه استفاده می‌شود. این پوشش مقاومت به خوردگی و سایش مناسبی بر روی آن ایجاد می‌کند.



▲ سیلندر پمپ رفت و برگشتی کمپرسور گاز طبیعی



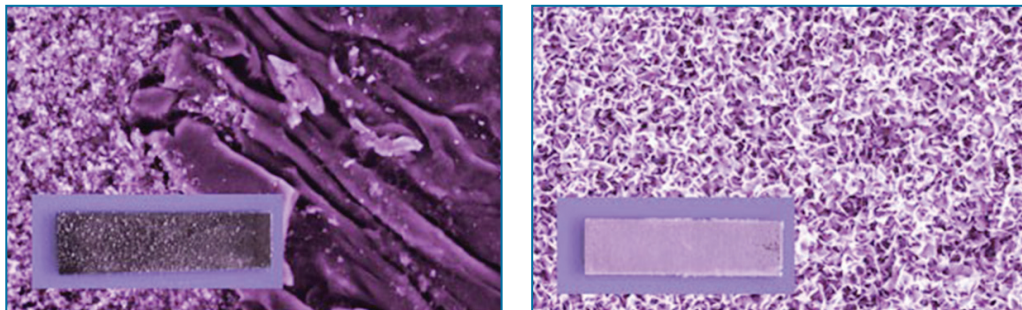
▲ بخش‌های اصلی کمپرسور CNG برگرفته از کاتالوگ شرکت Ariel



▲ مقایسه نرخ خوردگی در پوشش Dursan با فولاد زنگ‌زن ۳۰۴ بدون پوشش

شرکت سیلکون‌تک نانو پوششی را تولید کرده است که برای استفاده در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی قابلیت دارد. این پوشش برای محیط‌های بسیار خورنده مناسب است و مقاومت به خوردگی را بهبود می‌بخشد. روش اعمال این پوشش فرایند CVD است و پوشش حاصل خنثایی، سختی و مقاومت به خوردگی را در فولاد زنگ‌زن ایجاد می‌کند. در شکل زیر مقایسه نمونه فولاد زنگ‌زن با پوشش Dursan و بدون پوشش نشان داده شده است.

محققان آلمانی در موسسه تحقیقات ماکس پلانک پوششی بر روی بستر آلومینیمی ایجاد کردند. اثر محیط خورنده پس از ۲۱ روز بر روی نمونه بدون پوشش و نمونه با پوشش خود ترمیم‌شونده در شکل زیر نشان داده شده است.



▲ اثر پوشش خود ترمیم‌شونده بر مقاومت به خوردگی آلومینیم



برخی کاربردهای تجاری شده نانوپوشش‌ها در تجهیزات صنعت پتروشیمی

در صنایع مختلف از جمله صنعت پتروشیمی، برای افزایش عمر کاری و همچنین کارایی تجهیزات از سه نوع پوشش با عناوین، آسترها، پوشش‌های میانی و پوشش‌های بالایی استفاده می‌نمایند. همچنین، یکی از مهم‌ترین کاربردهای نانوپوشش‌ها در صنایع پتروشیمی، بهبود مقاومت خوردگی لوله‌های انتقال است. مقاومت در برابر خوردگی در تجهیزات صنایع بزرگی مانند پتروشیمی و همچنین کیفیت انتقال مواد شیمیایی مسئله مهم و اصلی است که عدم توجه به آن می‌تواند باعث توقف تولید و در نتیجه افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری شود. با توجه به بررسی‌های انجام شده به نظر می‌رسد کاربرد نانوپوشش‌ها در صنایع پتروشیمی و پالایشگاهی بیشتر معطوف به پوشش‌های نانو کامپوزیتی پلیمری است و در درجه بعد پوشش‌های سرامیکی قرار می‌گیرند.



▼ شرایط انتخاب / کاری پوشش‌های مورد استفاده در صنایع پالایشگاهی و پتروشیمی

شرایط انتخاب	شرایط کاری
سختی، انعطاف‌پذیری، خم‌پذیری (plyability)، مقاومت به خراش، مقاومت به gouging	دوام
مقاومت در برابر تابش فرابنفش، مقاومت در برابر رطوبت، مقاومت در برابر حرارت	هوازدگی
مقاومت اسیدی، مقاومت بازی، مقاومت در برابر حلال‌های شیمیایی	مقاومت شیمیایی



Thermowells وظیفه حفاظت از سنسورهای دمایی نصب شده در فرایندهای صنعتی را به عهده دارد. این قطعات باید بتواند شرایط دمایی بالا را تحمل کند و همچنین باید به طور زیادی مقاومت به فرسایش بالایی داشته باشد تا اندازه‌ای که آنها باید قابلیت تحمل تأثیرات این محیط شدید را داشته باشد.

◀ Thermowell مورد استفاده در صنعت پتروشیمی



آسیب‌های سایشی، فرسایشی می‌تواند عمر اجزا پمپ را کوتاه کند. بدنه‌ها، خطوط مکشی، رینگ‌های سایشی و روتورها همه می‌توانند برای رسیدن به مقاومت به فرسایش مشابه پوشش داده شوند. با روش HVOF می‌توان پوشش‌های ضخیم کاربیدی با ضخامت ۰/۰۱ - ۰/۲۰ اینچ را ایجاد کرد که می‌توان مقاومت به اکسیداسیون و خوردگی را در محیط‌های نفتی که پمپ در معرض فشار و حرارت شدید قرار دارد را بالا برد.



▲ تصویری از درزگیر دیافراگمی

درزگیرهای دیافراگمی:

این درزگیرها از یک غشای انعطاف‌پذیر ساخته شده‌اند که یک محفظه را درزگیری و تفکیک می‌کند. ماهیت انعطاف‌پذیر این درگیرها اجازه‌ی انتقال فشار را فراهم می‌سازد اما به مواد موجود در آن اجازه‌ی عبور نمی‌دهد. استفاده‌های مرسوم این دیافراگم‌ها شامل محافظت از حسگرهای فشار از سیالی است که می‌بایست فشار آن اندازه‌گیری شود.

انتخاب مواد برای این نوع از دیافراگم‌ها به فشار کاری، محل نصب تجهیز، دما، مدت زمان پاسخگویی، نوع سیال و... وابسته است. در نظر گرفتن تمامی این عوامل در انتخاب یک درزگیر مناسب ضروری است. براساس نوع کاربری این تجهیز، در برخی موارد نیاز به مواد با قابلیت کاری بسیاری بالایی می‌باشد تا امکان تحمل شرایط کاری شدید را داشته باشد. شرکت ABB از پوشش Diaflex پنت شده در این دیافراگم‌ها استفاده می‌کند. این پوشش از مواد نانو ساختار تشکیل شده است و

سختی حدود ۴۰۰ HV دارد که مشابه الماس است. این پوشش از نوع پوشش سه جزئی تیتانیوم و سیلیکون (SiTiN) از دسته‌ی نیتrideها می‌باشد. با استفاده از فرایند PVD این پوشش با ضخامت ۳-۵ μm روی سطح فولاد زنگ‌زن L316 پوشش داده می‌شود که از دیافراگم در برابر شرایط کاری خراشان محافظت می‌کند. این پوشش قابلیت کاربرد در محدوده‌ی دمایی ۷۰۰-۱۰۰۰ $^{\circ}\text{C}$ داشته و پایدار می‌ماند. شکل پایین صفحه تصویر یک دیافراگم پس از هشت ماه کارکرد را نشان می‌دهد که همچنان بدون آسیب قابلیت استفاده دارد.



▲ پوشش‌دهی سطوح داخلی کمپرسور

سایش لغزشی در اجزاء چرخشی از قبیل نواحی یاتاقان‌ها در شفت‌ها یک فاکتور محدودکننده عمر می‌باشد. همچنین کمپرسورهای رفت و برگشتی در معرض پدیده‌های سایشی خیلی زیاد در مناطق لغزشی بوش‌ها می‌باشد. Caboflam فرایندهای تکنولوژیکی پاشش شعله‌ای را برای پوشش‌های کاربیدی در زمینه فلزی از طریق تجهیزات HVOF استفاده می‌کند. این نوع پوشش‌ها استحکام اتصال عالی، میکروسختی بالاتر را نسبت به پوشش‌های ایجاد شده با تجهیزات انفجاری مرسوم ایجاد می‌کند.



▲ قطعه‌ای از پمپ پوشش داده شده با روش HVOF مورد استفاده در صنایع پتروشیمی

▲ تصویر سطح دیافراگم پس از هشت ماه کارکرد



خلاصه مدیریتی

در سال‌های اخیر حل مشکلات صنایع نفت و گاز، به‌عنوان اصلی‌ترین صنعت کشور، بسیار مورد توجه فناوران و شرکت‌های دانش‌بنیان قرار گرفته است. از سوی دیگر فناوری

نانو، به عنوان یکی از فناوری‌های کلیدی قرن بیست و یکم به عنوان راهکاری موثر برای بهبود فرآیندها و ارتقای عملکرد تجهیزات در این صنعت خواهد بود.



صنایع نفت و گاز 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 ۱۳۹۲ تاسیس نمود. هدف این مرکز حل مشکلات صنعت در حوزه سایش، فرسایش و خوردگی با تاکید بر توان فناوری داخلی می باشد. 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 تسهیل نماید.

تجهیزات نفت و گاز نقش به‌سزایی در توسعه این صنعت دارد، ولی متأسفانه به دلیل شرایط کاری شدید و محیط عملکرد آن، قطعات و تجهیزات مورد تخریب قرار گرفته و هزینه‌های بالایی برای این صنایع داشته است. در این گزارش سعی شده تا با نگاهی به فناوری نانوپوشش‌ها بتوان مشکلات تجهیزات

معرفی مرکز توسعه نانوپوشش



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 فناور 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 در صدد بهره‌مندی صنایع و شرکت‌های متقاضی از این فناوری می‌باشد. اهداف مهم این مرکز به قرار زیر 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

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.

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