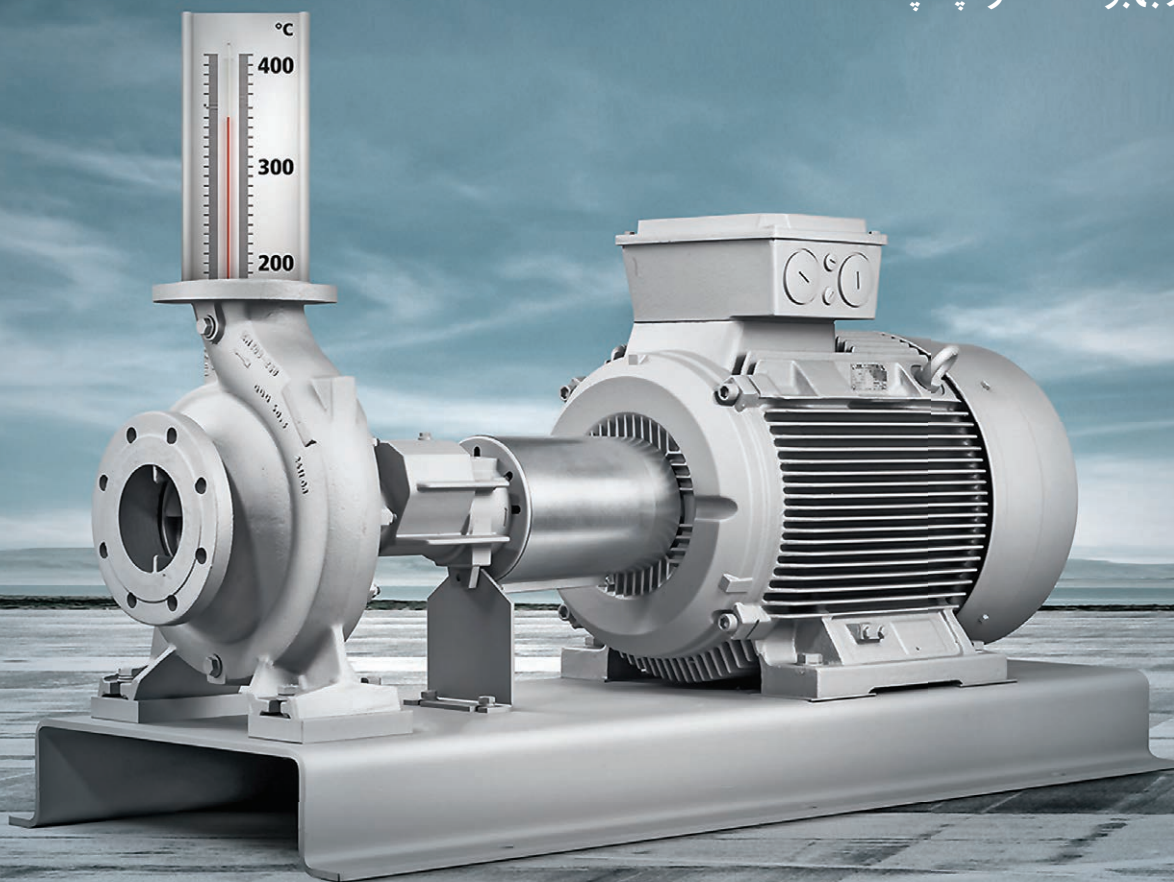


مروری بر کاربردهای نانو پوشش‌های سخت و مقاوم در پمپ‌های صنعتی

ویرایش نخست

- اقتصاد نانو پوشش‌ها در صنعت پمپ
- چند چالش مهم در عملکرد پمپ‌ها
- انواع نانو پوشش‌های سخت و مقاوم
- برخی کاربردهای تجاری شده نانو پوشش‌ها
در بهبود عملکرد پمپ‌ها



مقدمه

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 فرآیندهای سنتی است. از مهم‌ترین و به‌روزترین فرآیندها،



می‌توان به ایجاد پوشش‌های نانو ساختار 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 به خود اختصاص دهند.

حفظ و نگهداری پمپ‌ها و اجزای آنها 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 رفتن هزینه‌های تولید، تعمیر و نگهداری خواهد شد. در سال‌های اخیر با گسترش علم و فناوری نانو، شرکت‌های بزرگ سازنده پمپ‌ها، سعی در استفاده از فناوری نانو برای افزایش راندمان محصولات دارند. قابلیت‌های زیاد فناوری نانو به خصوص در شاخه نانوپوشش‌ها بخش زیادی از فعالیت‌های تحقیق و توسعه شرکت‌های بزرگ را به استفاده از این فناوری معطوف کرده است. در این زمینه یکی از تجهیزات مهم در صنایع مختلف، پمپ‌ها می‌باشد.

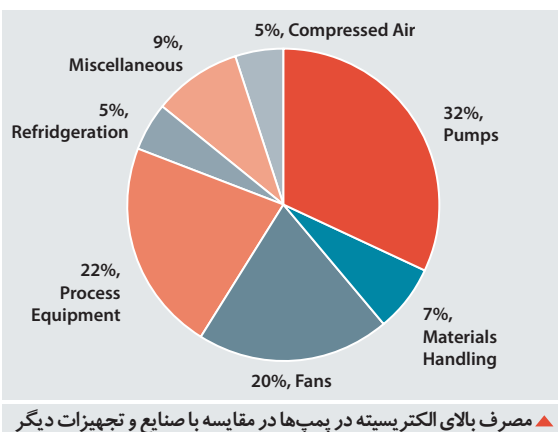
از آنجا که فناوری نانو رویکردی جدید به همه علوم و فنون می‌باشد، کاربردهای گسترده‌ای در صنایع مختلف از جمله صنعت پمپ یافته است. به عنوان مثال بخشی از افزایش راندمان پمپ‌ها در صنعت نفت و گاز را می‌توان به پوشش‌دهی سیل‌های مکانیکی، پره‌ها و نازل‌ها ارتباط داد. سیل‌های مکانیکی، پره‌ها و

نازل‌ها از قطعات بحرانی در پمپ‌ها هستند. از دلایل آسیب دیدگی در پمپ‌ها، مواجهه قطعات آنها با پدیده‌های سایش، خوردگی، تنش‌های حرارتی و کاویتاسیون می‌باشند. از این رو این نوشتار صرفاً به کاربردهای «فناوری نانوپوشش‌های سخت و مقاوم در صنعت پمپ» معطوف شده 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 نیتراسیون و کربوراسیون سطحی بود. بعدها آبکاری و انواع پوشش‌ها معرفی شد که هم‌اکنون در داخل کشور نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگرچه این روش‌ها سال‌ها در دنیا مورد توجه قرار گرفته‌اند، اما در دو دهه اخیر با ظهور فناوری‌های نوین، فرآیندهای سنتی گذشته یا با این فناوری تکمیل و اصلاح شده و یا اینکه جایگزین مناسبی برای آنها

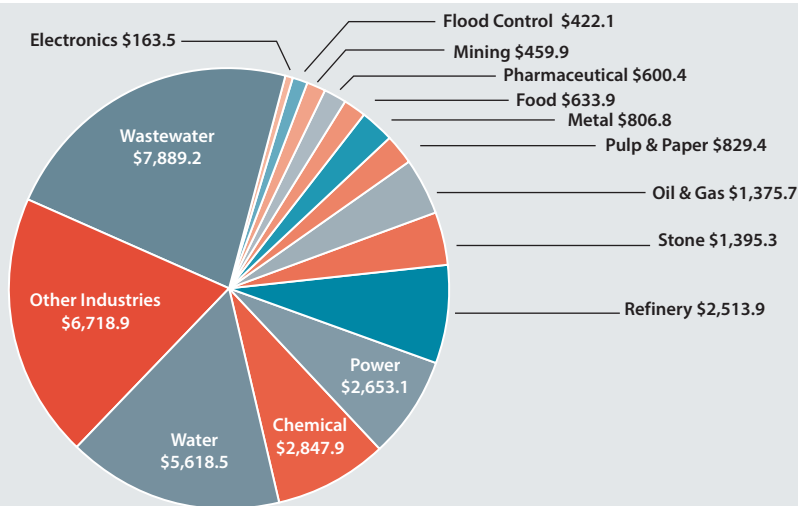
اقتصاد نانوپوشش‌ها در صنعت پمپ

براساس گزارش ارائه شده توسط گروه FREEDONIA در سال ۲۰۱۶، ۷۶ میلیارد دلار تقاضا برای پمپ‌ها در جهان وجود خواهد داشت. از سوی دیگر گزارشات نشان می‌دهد که ۲۰٪ از تقاضای الکتریسیته جهان برای سیستم‌های پمپ و ۹۵٪ مصرف انرژی به اجرای تجهیزات پمپ می‌باشد. لازم به ذکر است که تنها ساخت پمپ‌های پالایشگاه‌های گاز در داخل کشور، سالانه ۴۰۰ میلیون دلار صرفه جویی ارزی به همراه دارد و این تنها بخشی از هزینه‌های پمپ در کشور است. از این رو فناوری نانوپوشش‌ها با کاهش اصطکاک و ایجاد مقاومت به عوامل مخرب، منجر به کاهش اتلاف انرژی، مصرف الکتریسیته و افزایش کارایی پمپ‌ها می‌گردد.



Worldwide Sales of Pumps, 2011 (Million \$)

میزان تقاضا برای
پمپ در صنایع مختلف
توسط Flow Control



چند چالش مهم در عملکرد پمپ‌ها

از مهمترین عوامل تخریب پمپ‌ها، می‌توان به پدیده‌های خوردگی، فرسایش و کاویتاسیون اشاره کرد. برای مثال فرسودگی و سایش پروانه و بدنه پمپ موجب کاهش بازدهی عملکرد پمپ و افزایش مصرف انرژی خواهد شد. از این رو برای حل این چالش، طراحان با استفاده از «مهندسی سطح»^۱ و اعمال نانوپوشش‌ها توانسته‌اند درصد تخریب قطعات را کاهش دهند. در سال‌های اخیر فناوری نانوپوشش به کمک حل این موضوع آمده است. فناوری نانوپوشش به دلیل ماهیت نانویی پوشش‌ها، خواص متفاوت و منحصر به فردی به قطعه خواهد بخشید. افزایش فوق‌العاده سختی تا محدوده ۵۰ گیگاپاسکال، ضریب اصطکاک ۰/۰۱، کاهش زبری سطح، بهبود مقاومت به سایش و خوردگی از جمله این خواص می‌باشد تا در نهایت یک ساختار سطحی هموار بر روی اجزای پمپ ایجاد گردد تا موجب بالا رفتن عمر کاری، بازدهی و توان بالاتر در پمپ شود. برای آشنایی بیشتر با نانوپوشش‌ها، در ادامه تعریف و سپس انواع آنها از لحاظ ساختاری آورده شده است.



▲ تخریب پروانه پمپ در اثر پدیده کاویتاسیون



۱. در «مهندسی سطح» با اعمال فرایندهایی و با ایجاد روکشی از موادی بسیار سخت بر تجهیزات (بسته به روش مورد استفاده با ضخامت قابل کنترل بین ۱ نانومتر تا ۱۰۰ میکرومتر)، امکان افزایش سختی و مقاومت قطعات در برابر سایش و خوردگی وجود خواهد داشت.

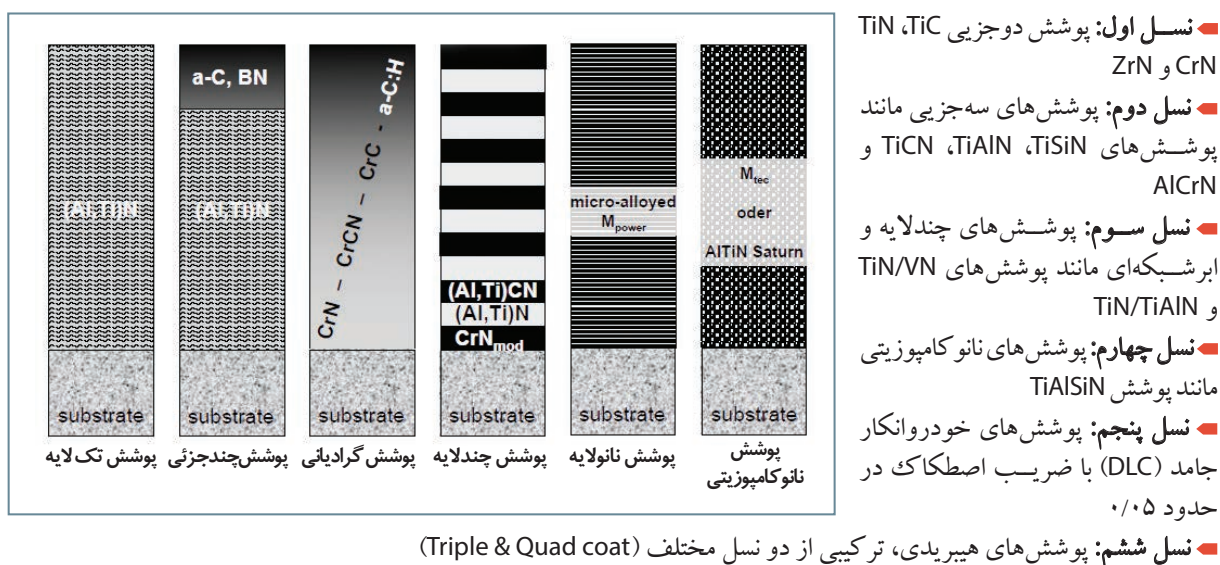
انواع نانو پوشش های سخت و مقاوم

نانو پوشش ها به دسته ای از روکش ها اطلاق می شود 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.

دسته بندی انواع پوشش های مرسوم و نانو پوشش های سخت و مقاوم

فناوری نانو پوشش به دلیل نیازهای صنعتی دست خوش تغییرات شده است، به طوری که تاکنون پوشش های نسل های مختلف توسعه یافته اند. در زیر به این پوشش ها اشاره شده است.

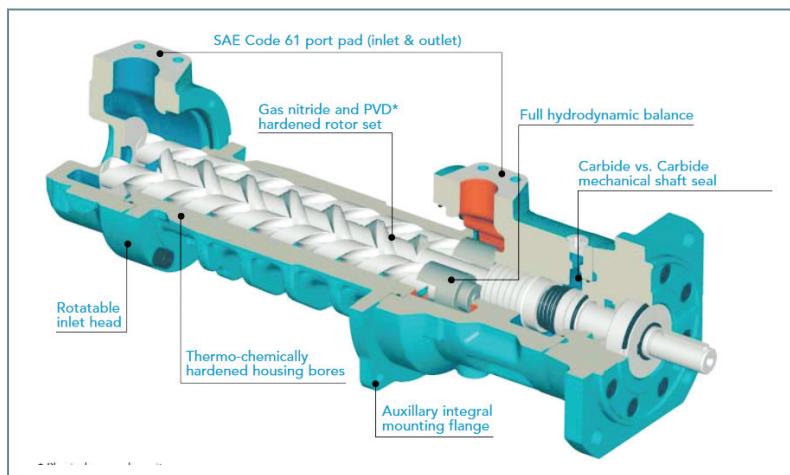


برخی کاربردهای تجاری شده نانو پوشش ها در بهبود عملکرد پمپ ها

پمپ ها در صنایع مختلفی از جمله: نفت، گاز و پتروشیمی، آب، کشاورزی و صنایع غذایی، دارویی، انرژی و نیرو، حمل و نقل و غیره کاربردهای فراوانی دارند. با استفاده از نانو پوشش ها در صنعت پمپ، می توان خوردگی، سایش، کاویتاسیون و مصرف الکتریسیته را به طور چشمگیری کاهش داد. همچنین با حذف روغن های معدنی در پمپ ها می توان از آلودگی محیط زیست جلوگیری کرد. امروزه در سطح جهان نانو پوشش های مختلفی از جمله TiN، CrN، TiAlN، DLC و غیره بر روی پره و نازل پمپ، سیل های مکانیکی، شفت، رینگ و بلبرینگ پمپ ها اعمال می شود. در ادامه کاربرد نانو پوشش ها در پمپ های مورد استفاده در هر صنعت به اختصار توضیح داده می شود.



◀ صنایع نفت، گاز و پتروشیمی



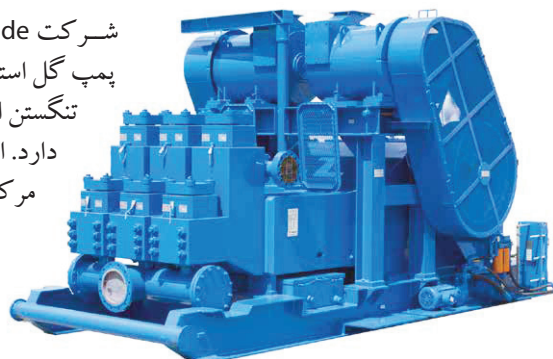
▲ پمپ پیچی تولید شده توسط شرکت EMTEC

پمپ‌های پیچی کاربردهای فراوانی در تاسیسات گاز و ویل رسانی، مشعل‌های نفت‌سوز صنعتی، سرویس روغن کاری، فرآیندهای شیمیایی، صنایع نفت و هیدرولیک سنگین دارند. شکل مقابل یک پمپ پیچی تولید شده توسط شرکت EMTEC با پوشش چندلایه PVD با سختی ۱۲۰۰ ویکرز و مقاومت به سایش عالی را نشان می‌دهد. شرکت ترمیکو از نانو پوشش‌های کاربرد تنگستن - کبالت برای پوشش‌دهی سطح پوسته و پره‌های پمپ‌های گریز از مرکز استفاده می‌نماید. از ویژگی‌های این پوشش می‌توان به زبری سطح پایین و تافنس بالای آن اشاره کرد.



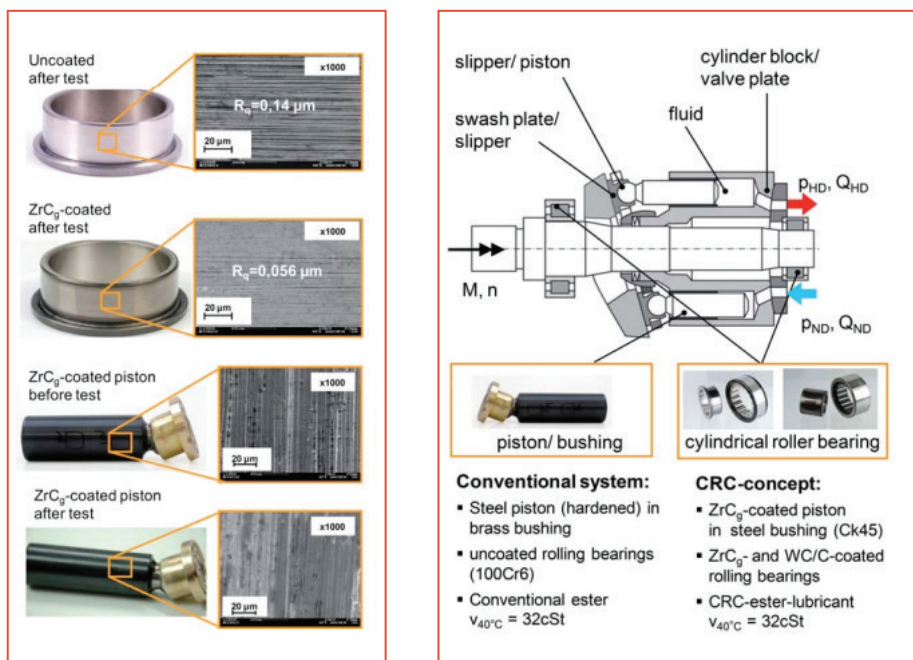
شرکت Hardide از روش‌های CVD دما پایین به منظور پوشش‌دهی قطعات هیدرولیکی پمپ گل استفاده می‌نماید. این پوشش شامل زمینه‌ی فلزی تنگستن و ذرات نانومتری کاربرد تنگستن است که مقاومت به سایش و شیمیایی عالی و همچنین سختی بیش از ۳۵۰۰ HV دارد. این پوشش‌ها در لایه‌نشانی اجزای پمپ‌های گل، شیرها و پمپ‌های گریز از مرکز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

▲ پمپ گل شرکت Cameron که اکثر اجزای آن شامل پره‌ها، شفت‌ها، نازل‌ها، رینگ‌ها، محرک‌های جریان، روتورها، یاتاقان‌ها، دریچه‌های تویی و کنترلی و... توسط شرکت هارداید و Ionbond پوشش‌دهی می‌شوند.



آب و کشاورزی

سیستم‌های هیدرولیکی در صنعت کشاورزی کاربردهای فراوانی دارند. استفاده از روغن‌های هیدرولیکی در این سیستم‌ها یک خطر جدی برای محیط زیست محسوب می‌شود. استفاده از نانوپوشش‌ها بر روی سطوح پمپ‌های هیدرولیک در کنار کاهش آلودگی زیست محیطی، می‌تواند خواص سایشی و اصطکاکی مناسبی برای آنها فراهم نماید. یکی از پوشش‌های مناسب برای اجزای هیدرولیکی، خانواده نانوپوشش‌های کاربیدهای زیرکونیم می‌باشد. شرکت بالزرز به عنوان یکی از شرکت‌های پیشرو در صنعت پوشش‌دهی، برای بهبود کارایی و افزایش عمر کاری اجزای پمپ‌های پیچی از نانوپوشش‌های WC/C و DLC استفاده می‌نماید.



سایش پیستون و قسمتی از یاتاقان پمپ دارای پوشش و بدون پوشش کاربرد زیرکونیم



◀ صنایع غذایی و دارویی

نمونه‌ای از تجهیزات مقاوم به سایش در صنعت قند و شکر پمپ‌ها هستند. از آن جا که پس از شستشوی نیشکر و چغندر قند، پسماند حاصل حاوی خاک است، تجهیزات مورد استفاده و به ویژه پمپ‌های مورد استفاده در این قسمت باید مقاومت به سایش بالایی داشته باشند. در صورت پوشش دادن سطح داخلی این پمپ‌ها با نانو پوشش‌های مقاوم به خوردگی و سایش، عمر کاری آن‌ها افزایش می‌یابد. به این منظور می‌توان از انواع نانو پوشش‌های مقاوم به سایش استفاده کرد.



▲ تصاویر مربوط به پمپ مقاوم به سایش مدل
AHLSTAR ساخته شده در شرکت Sulzer

نانو پوشش‌های بر پایه الکترولس نیکل که توسط شرکت Surface Technology Inc. توسعه داده شده است، همگی دارای تاییدیه FDA هستند و اغلب آن‌ها هم مقاومت به سایش و هم مقاومت به خوردگی بالایی دارند. با افزایش درصد فسفر مقاومت به خوردگی و با کاهش درصد فسفر مقاومت به سایش و سختی افزایش می‌یابد. خوردگی این نانو پوشش‌ها در آزمون Salt Spray تحت استاندارد ASTM-B-117 بررسی شده است که تا ۱۰۰ ساعت مقاومت به خوردگی از خود نشان داده‌اند. از این نانو پوشش‌ها می‌توان در اکثر قطعات در معرض سایش و خوردگی در صنایع غذایی و نوشیدنی هم چون تیغه‌های برش، همزن‌ها، پیستون هموژنایزر، قطعات پروانه‌ای پمپ، شفت‌ها، بلبرینگ‌ها و غیره استفاده کرد.

پوشش‌های سیل پمپ فرآوری مواد غذایی



سیل‌های پمپ‌های مکانیکی فرآوری مواد غذایی از فولادهای ضد زنگ مانند 316L ساخته می‌شوند. این قطعات برای بهبود خواص سایشی با اکسیدهای سرامیکی و فلزی مانند اکسید کروم، پوشش‌های TiN، DLC و یا مواد حاوی کاربید لایه‌نشانی می‌شوند. پوشش‌های در تماس با غذا دارای سختی ۷۰۰۰-۱۴۰۰ ویکرز می‌باشند که به دلیل مقادیر بالاتر سختی این پوشش‌ها نسبت به مواد ساینده در غذا از پدیده سایش جلوگیری می‌کنند. این پوشش‌ها حتی برای جلوگیری از سایش در برابر مواد بسیار ساینده مورد استفاده قرار می‌گیرند. به دلیل ویژگی‌هایی نظیر صافی و پرداخت سطوح سیل‌ها، به پوشش نیاز است. نکته جالب در مورد سیل‌ها این است که می‌توان اکثر پوشش‌های PVD را بر روی آن‌ها اعمال کرد.



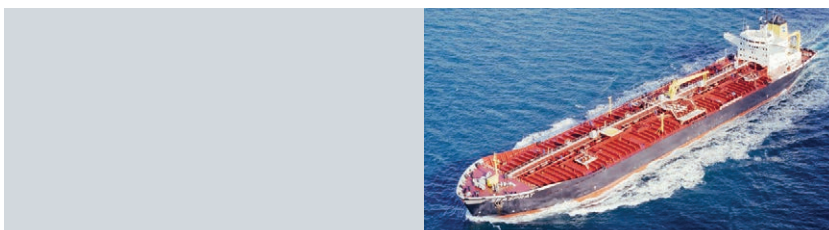
صنایع دریایی

از اواخر دهه ۸۰ میلادی، شرکت بالزرز پوشش‌های PVD را برای پیستون‌ها، توزیع‌کننده‌ها و پمپ‌های تک سیلندر در موتورهای دیزلی دریایی استفاده کرده است. پیستون‌ها در پمپ‌های تزریقی موتورهای بزرگ توسط انواع پوشش‌های DLC لایه‌نشانی می‌شوند که به اقتصاد بهتر و کاهش ایجاد گازهای مضر کمک می‌کند. تعدادی از پوشش‌های کاربردی در صنایع دریایی به طور خلاصه در جدول زیر آمده است.



خلاصه‌ای از پوشش‌های مورد استفاده در صنایع دریایی

کاربرد	جنس پوشش	روش پوشش‌دهی	توضیحات
۱ قطعات حساس پمپ‌ها	TiN, CrN, ZrN TiCN, TiAlN, AlTiN TiAlCrN, TiAlVN	PVD	کاهش خوردگی کاتیواسیونی / کاهش میزان سایش و خستگی
۲ پمپ‌های فشار بالا	پوشش DLC	PVD-PACVD	سختی و مقاومت به خوردگی بسیار بالا
۳ پیستون‌ها در پمپ‌های تزریقی موتورهای بزرگ	انواع پوشش DLC	PVD-PACVD	کاهش ایجاد گازهای مضر / کاهش مصرف سوخت
۴ شفت، پره‌ها و ایمپلرها	پوشش‌های سرامیکی و فلزی	پلاسمای شعله‌ای / سایر روش‌ها	مقاومت به خوردگی، سایش، فرسایش و کوریئاسیون

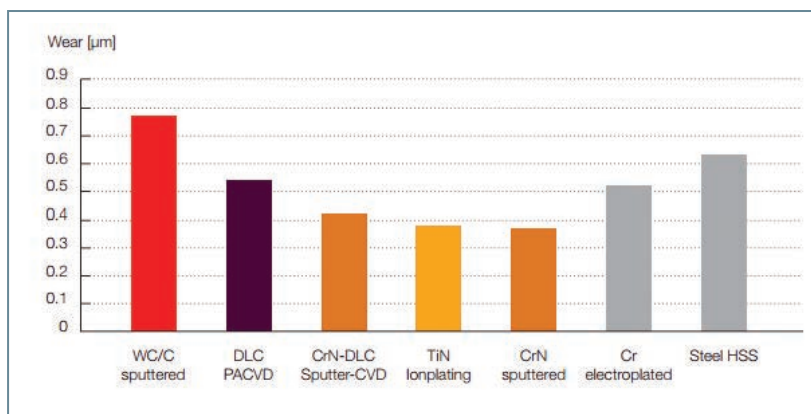
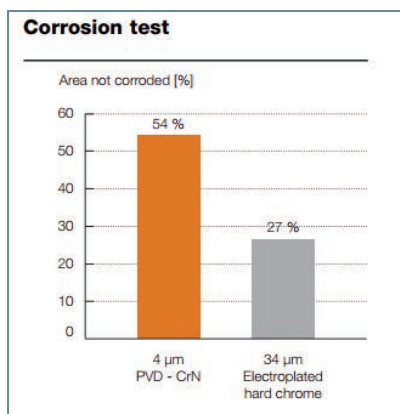


صنایع عمومی

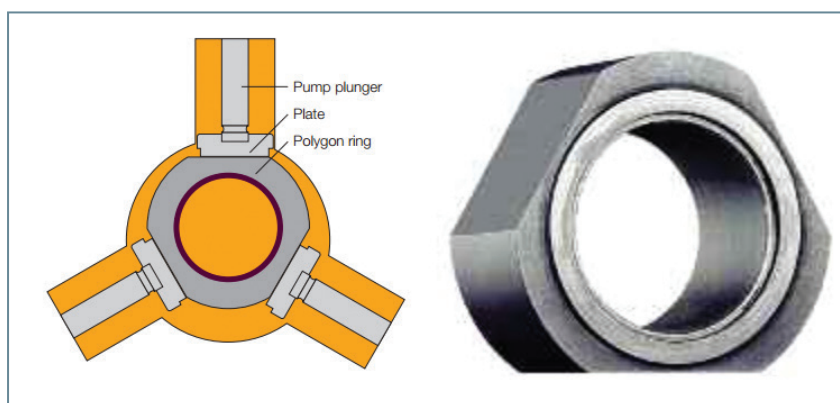


شرکت بالزرز از نانو پوشش های DLC بر روی قطعات پمپ های مورد استفاده در صنایع عمومی استفاده می کند. همچنین این شرکت از پوشش های CrN نیز در برخی پمپ ها استفاده می کند. این پوشش با ضخامت ۵۰ میکرون برای کاربردهای دقیق و تحت سایش خراشی کاربرد دارد.

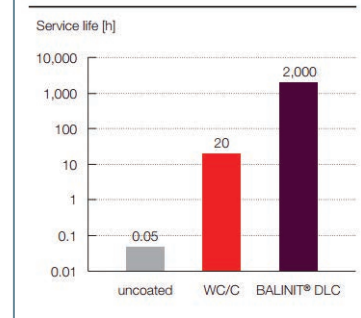
پوشش TiAlN با مقاومت به سایش عالی، مقاومت فشاری و مقاومت به دمای بالا تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد، در پمپ ها و قطعات ماشین های هیدرولیک و قطعات موتور ها کاربرد زیادی دارد.



▲ نمودارها مقایسه خواص سایشی و خوردگی پوشش های این شرکت با روش های مختلف پوشش دهی را نشان می دهد.



Service life of common-rail injector plungers



▲ تصویر شماتیک و یک قطعه لایه نشانی شده از پمپ انژکتوری دیزلی توسط شرکت بالزرز (پوشش Balinit DLC)

▲ عمر سرویس در نمونه بدون پوشش و با پوشش Balinit DLC یا WC/C





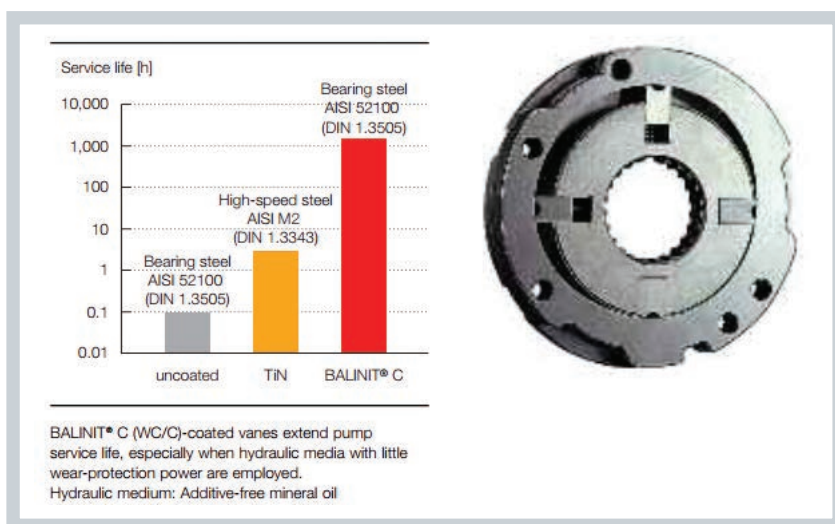
▲ سایش و دفرمه شدن قطعه برنزی در کنار سایش کمتر از یک میکرون برای قطعه با پوشش DLC

نیروی بالا در بسیاری از موتورهای هیدرولیک، روانکاری را مشکل می‌سازد و سایش چسبنده رخ می‌دهد. پوشش DLC، اصطکاک استاتیک بین غلطک و فولاد خاکستری پیستون‌ها را تا ۴۰٪ و همچنین هدر رفتن انرژی در استارت موتور را ۱۸٪ کاهش می‌دهد و لازم به ذکر است که فرآیند Stick-slip رخ نمی‌دهد.

پوشش WC/C کارایی یاتاقان‌ها را افزایش می‌دهد و طبق گزارش‌های واصله، تقریباً پس از ۵۸۰۰۰ دور، سایشی قابل مشاهده نبوده است، در مقابل غلتک‌های فولادی پوشش داده نشده به اندازه ۱۰ میکرومتر سایش نشان داده‌اند. ساخت برخی اجزای پمپ‌های پیستونی محوری از فولاد پوشش داده شده با DLC به جای برنز، دوام پمپ‌های پیستونی محوری را بسیار افزایش می‌دهد.

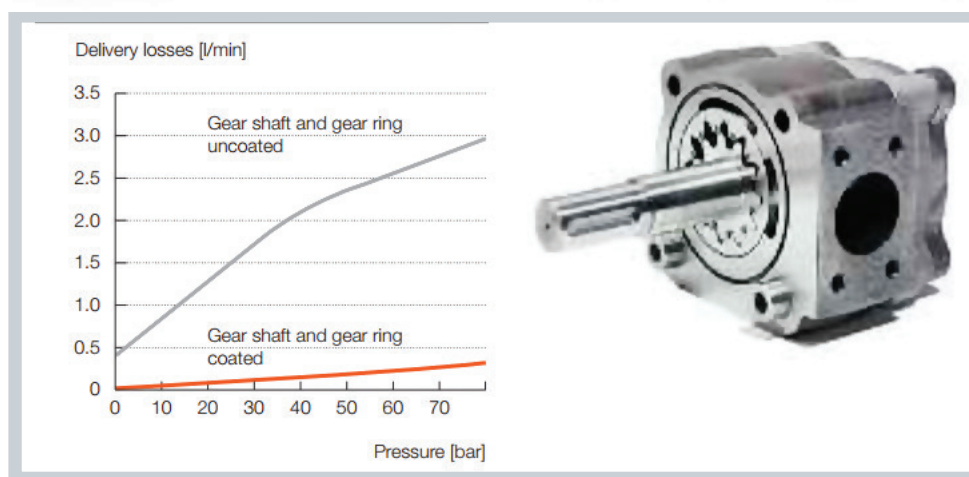
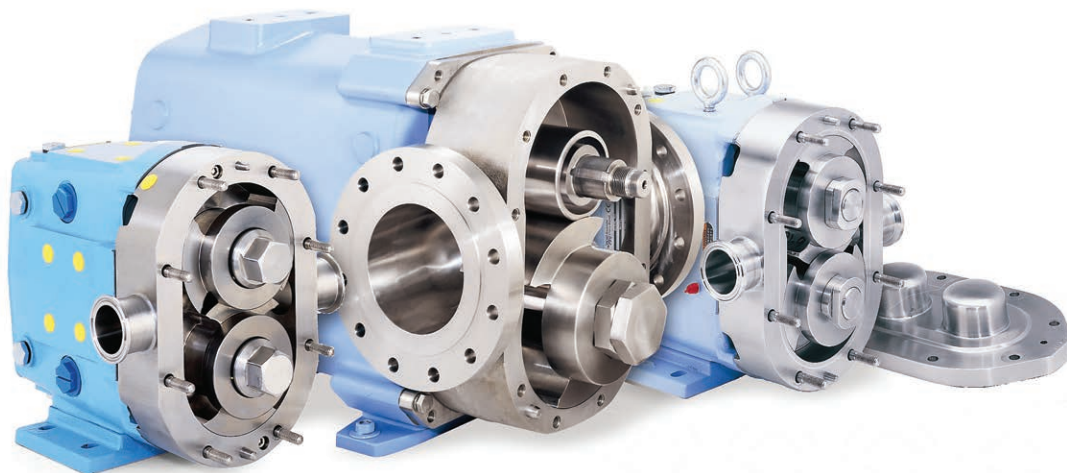


در پمپ‌های پره‌ای با روغن فاقد افزودنی، پره‌های بدون پوشش تنها پس از چند دقیقه قرارگیری در شرایط تست، دچار سایش می‌شوند. نمودار زیر نشان می‌دهد که پره‌های دارای پوشش DLC نسبت به نمونه بدون پوشش و نمونه با پوشش TiN عمر سرویس بسیار بیشتری دارند. اجزای این پمپ‌ها (شفت و رینگ) با انواع مختلف سایش مواجه می‌شوند. یک لایه سخت نازک TiAlN سایش را تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد.



▲ افزایش عمر قطعات پمپ با پوشش WC/C





▲ کاهش تلفات با پوشش دهی شفت و رینگ در چرخنده

▼ برخی از پوشش های مورد استفاده در صنایع عمومی

کاربرد	جنس پوشش	روش پوشش دهی	توضیحات
۱ پمپ های هیدرولیک و جابه جایی	ZrC	PVD/CVD / PACVD/ Spray	ممانعت از آلودگی محیط زیست و خواص سایشی و اصطکاکی مناسب
۲ پمپ پیچی / شفت و رینگ	TiAlN		مقاومت به سایش و سختی بالا
۳ پمپ های پیستونی / پره پمپ های پره ای	DLC		دوام بسیار بالا / کاهش اصطکاک استاتیک / کاهش هدر رفت انرژی
۴ باتاقان در پمپ پیستون شعاعی	WC/C		کاهش شدید سایش



خلاصه مدیریتی

در این گزارش سعی شده تا با نگاهی به فناوری نانوپوشش‌ها بتوان مشکلات پمپ‌ها 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 تسهیل نماید.



افزایش عمر کاری و بهبود عملکرد پمپ‌های مورد استفاده در صنایع، به عنوان یکی از پرکاربردترین قطعات این صنایع، 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 فرآیندها و ارتقای عملکرد در این صنعت خواهد بود. به دلیل شرایط کاری شدید و محیط عملکرد پمپ‌ها نظیر سایش، فرسایش و خوردگی شدید و همچنین تنش‌های حرارتی، تمامی این عوامل منجر به تخریب پمپ‌ها می‌شوند و هزینه‌های بالایی برای صنایع مصرف کننده در بر خواهد داشت.

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 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
- بازاریابی 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