

# کاربردهای نانو پوشش‌های سخت و مقاوم در صنعت حمل و نقل ریلی

ویرایش نخست



- انواع نانو پوشش‌های سخت و مقاوم
- برخی کاربردهای مهم تجاری شده نانو پوشش‌ها در صنعت حمل و نقل ریلی
- پوشش‌های تزئینی مورد استفاده در صنعت حمل و نقل ریلی

## مقدمه



دهه اخیر با ظهور فناوری‌های نوین، فرایندهای سنتی گذشته یا با این فناوری تکمیل و اصلاح شده و یا اینکه جایگزین مناسبی برای آنها معرفی شده است. برای مثال مضرات زیست‌محیطی در فرآیند آبکاری کروم سخت، تنها یکی از این عیوب است. ضمن اینکه بهبود خواص سطحی حاصل از روش‌های نوین بسیار بیشتر از فرآیندهای سنتی است. حفظ، نگهداری و تعمیرات تجهیزات در صنایع بزرگ مانند صنعت حمل‌ونقل ریلی در برابر سایش، فرسایش، خوردگی و مقاومت به ضربه از موارد مهم می‌باشد. در سال‌های اخیر با گسترش فناوری نانو، شرکت‌های بزرگ دنیا سعی در استفاده از این فناوری در بخش‌های مختلف صنعت حمل‌ونقل ریلی داشته‌اند.

از آنجا که فناوری نانو، یک رویکرد جدید به همه علوم و فنون می‌باشد، این فناوری کاربردهای گسترده‌ای در صنعت حمل‌ونقل یافته است. امروزه صنعت حمل‌ونقل ریلی به ویژه راه‌آهن به عنوان یک وسیله ارتباطی جذاب مورد توجه است. از این رو این نوشتار صرفاً به کاربردهای «فناوری نانوپوشش در صنعت حمل‌ونقل ریلی» معطوف شده است. به عنوان مثال ابزارآلات مورد استفاده در تعمیر چرخ‌ها، ریل‌ها، محورها و تقاطع‌های ریلی مورد استفاده در صنعت حمل‌ونقل ریلی به شدت نیازمند فناوری نانوپوشش‌ها 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. در دو

## یکی از چالش‌های مهم تجهیزات صنعت حمل‌ونقل ریلی



عواملی مانند اصطکاک، سایش و فشار بالای کاری و شرایط محیطی در موتورهای گیربکس‌ها موجب ایجاد فشار و حرارت بر روی سطوح قطعات می‌شود که در نتیجه آن، سطوح قطعات دچار تخریب می‌شوند. از این رو برای حل این چالش، طراحی با استفاده از «مهندسی سطح»<sup>۱</sup> و اعمال فرایندهای پوشش‌دهی مانند نیتروژن‌دهی، آبکاری کروم سخت، فرایند PVD و PACVD توانسته‌اند درصد تخریب قطعات را کاهش دهند ولی به دلیل حساسیت تجهیزات این صنعت و لزوم افزایش راندمان قطعات در سه دهه اخیر، فناوری نانوپوشش به کمک حل این موضوع



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

آمده است. در فناوری نانو پوشش به دلیل ماهیت نانویی بودن پوشش، خواص متفاوت و منحصر به فردی به قطعه بخشیده می شود. افزایش فوق العاده سختی تا محدوده ۵۰ گیگاپاسکال و ضریب اصطکاک ۰/۰۱ از جمله این خواص می باشد تا در نهایت یک ساختار سطحی هموار بر روی قطعات ایجاد گردد تا موجب بالا رفتن عمر کاری، بازدهی و توان بالاتر در قطعات شود. برای آشنایی بیشتر با نانو پوشش ها، در ادامه تعریف و سپس انواع آنها از لحاظ ساختاری آورده شده است.

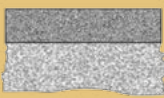
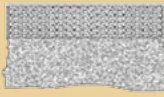
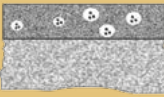


## انواع نانو پوشش های سخت و مقاوم

نانو پوشش ها به دسته ای از روکش ها اطلاق می شود که دارای دو ویژگی زیر باشد:

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

برای آشنایی بیشتر برخی از پوشش های مرسوم سنتی و نانو پوشش ها آورده شده است:

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

خواص	روش های پوشش دهی	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 PVD و PACVD EB-PVD و ESD		ساختار سازنده نانومتری	نانو ساختار کردن
افزایش سختی سطح افزایش مقاومت به سایش و فرسایش	آبکاری نانو Nano-HVOF PVD و PACVD		پراکنده شدن نانو ذرات	نانو کامپوزیت کردن
افزایش چقرمگی شکست کاهش ضریب اصطکاک بهبود مقاومت به سایش	PVD PACVD		پوشش با ضخامت نانومتری	نانو لایه کردن
افزایش عملکرد مکانیکی قطعه افزایش چسبندگی پوشش	Plasma nitriding + PVD یا PACVD		یکی از موارد فوق + لایه نیتride شده	فرآیند دو مرحله ای



## برخی کاربردهای مهم تجاری شده نانو پوشش ها در صنعت حمل و نقل ریلی

### ■ اعمال پوشش بر روی اجزای موتورهای دیزلی



در موتورهای دیزلی ساخته شده توسط شرکت ABB از فناوری نانو پوشش بهره گرفته شده است. به دلیل شرایط کاری موتورها (اصطکاک، سایش و خراش بالا) اکثر اجزای این موتور از جمله توربین، کمپرسور، یاتاقان ها و غیره برای بهبود خواص سطحی پوشش دهی می شوند. برای این منظور، شرکت های قدرتمند در حوزه نانو پوشش به نام شرکت های اورلیکون بالزرز، هازر، آکری به کمک این شرکت آمده اند. یکی از راه های برآوردن کردن مقررات سخت گیرانه و بهبود عملکرد موتورها، استفاده از پوشش های PVD و PACVD بر روی اجزای موتورهاست. با بهره گیری از نانو پوشش ها بر روی اجزای موتورها می توان به خواص خود روان کاری، مقاومت به سایش بالا، افزایش عمر و عملکرد موتور و اجزای آن در اثر کاهش اصطکاک و سایش، افزایش سرعت چرخش، و کاهش تولید و انتشار گاز  $CO_2$  دست یافت.

در موتورهای دیزلی، تقریباً ۱۵٪-۱۰٪ از انرژی بدلیل اصطکاک هدر می رود. از این رو پوشش DLC لایه نشانی شده بر روی قطعات valve train موجب کاهش ۴۰٪ ضریب اصطکاک می شود که در نتیجه مصرف سوخت کاهش می یابد و میزان گاز  $CO_2$  ۱-۲٪ کاهش خواهد یافت. از این رو ترکیبی از سختی، چقرمگی و سهولت در به کارگیری این پوشش ها در محیط های خشن موتورها، آن ها را برای این کاربردها مناسب کرده است. برخی از قطعات پوشش دهی شده عبارتند از:

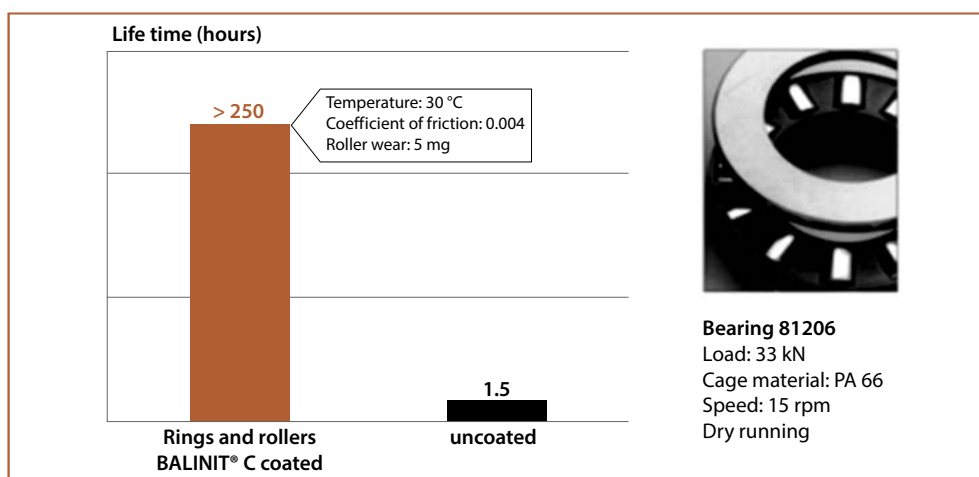
چرخ دنده ها	موتورهای احتراق	کمپرسورها	بلبرینگ ها
پمپ ها و موتورهای هیدرولیک	زنجیرهای محرک	قفسه دنده	چرخ دنده جناحی
اکسل عقب	دیفرانسیل	شفت های یونیورسال	رینگ های پیستون
تزریق دیزل توربو	پین های پیستون	یاتاقان های لغزشی	یاتاقان های چرخشی
wrist pins	قطعات valve train	tappet	valve lifters

شرکت miba به صورت تخصصی بر روی پوشش های قطعات دچار سایش مانند یاتاقان، بلبرینگ و رولبرینگ فعالیت نموده است.



نانونپوشش مورد استفاده	اجزای قطعه	قطعه اصلی
Me-DLC	Pressurization pump	Dissel injection
DLC	Valve	
CrN	Injection	
Me-DLC	Cam shaft	Cam shaft
DLC	Follower	
CrN, a-C	Tappet	
CrN, DLC/Me-DLC	Upper piston ring	Piston
DLC/Me-DLC	Piston pin	
AlPbSi alloy, AlSn alloy	Journal bearing	Crankshaft

► کاربردهای  
نانونپوشش‌ها در  
اجزای موتورهای  
دیزلی



► تاثیر استفاده  
از نانونپوشش  
بر روی عمر  
بلبرینگ‌ها  
(شرکت بالزرز)

### ◀ اعمال پوشش بر روی ابزارآلات مورد استفاده در این صنعت

شرکت‌های Mitsubishi و Korloy از تامین کنندگان بزرگ ابزارآلات ماشین کاری جداکننده ریل، ریل‌های متقاطع، اتصالات ریل‌ها، چرخ‌ها و غیره، دائماً در حال کار بر روی استفاده از فناوری‌های مدرن در ابزارهای ماشین کاری تولیدی خود می‌باشند.

لازم به ذکر است مطالب فنی ارائه شده در ادامه مربوط به ابزارهای برشی است که در آن بخش از قطعه جهت تعمیر و بهبود خواص سطحی استفاده می‌شود.



## چرخ

## ۱ بخش بالایی:

ایجاد نانوپوشش بر روی الماسه‌های ماشین کاری، موجب افزایش مقاومت به شکست ابزار شده، همچنین باعث بهبود کیفیت ماشین کاری فولاد فورج شده و افزایش عمر کاری ابزارآلات ماشین کاری و چرخ می‌شود.

## ۲ بخش آج چرخ:

پوشش‌دهی به روش CVD بر روی ابزارهای ماشین کاری و پرداخت، موجب افزایش مقاومت به شکست زیرلایه شده، همچنین باعث بهبود کیفیت سطح ماشین کاری فولاد فورج شده و افزایش عمر کاری ابزارآلات می‌شود.

## ۳ بخش داخلی:

پوشش‌دهی ابزارهای ماشین کاری در این قطعات به روش CVD برای کاربردهای مقاوم به شکست به خصوص برای ماشین کاری فولاد فورج شده بسیار کارآمد بوده و سبب افزایش عمر کاری ابزار می‌شود.

## ۴ دریل کاری:

دریل‌های نانوپوشش‌دار، ترکیب مناسب برای کنترل تراشه‌ها و ایجاد مقاومت برشی کم برای اجرای ماشین کاری کارآمد در قطعات صنعت راه‌آهن است.



## محور

این محور از جنس فولاد کربنی بوده و توسط ابزارهای نانوپوشش‌دار ماشین کاری و پرداخت شده است. مقاومت به شکست بالا، حصول پایداری بالا در هنگام چرخش شفت محور اغلب در بخش‌هایی که در مواجهه با پدیده سایش است، از نتایج مثبت استفاده از نانوپوشش‌ها است.



## ◀ ریل



الماسه‌های نوع SPS که در ابزار برش برای تعمیر ریل مورد استفاده قرار می‌گیرند دارای ۱۲۸ دندانه می‌باشند. همچنین الماسه‌های نوع SPEW و LPE که نوعی دیگری از ابزار برش برای تعمیر ریل است دارای ۱۹۸ دندانه می‌باشد. نکته مشترک در این ابزار، پوشش دهی این ابزارها با نانو پوشش‌های سخت و مقاوم است.

مقاومت به سایش الماسه‌ها در ابزارهای برش و تعمیر و نگهداری ریل، محور و چرخ‌ها به وسیله پوشش‌های آن‌ها با بهره‌گیری از فناوری نانو پوشش‌ها فراهم می‌شود. در نتیجه عمر کاری ابزارها و همچنین کیفیت سطحی قطعات پس از ماشین کاری افزایش خواهد یافت.

### 1 ▶ Rail contour milling:

به صورت گسترده با نانو پوشش‌های PVD و الماسه‌های کاربردی افزایش عمر ابزار آلات ماشین کاری rail contours را فراهم می‌سازند.

### 2 ▶ بخش کناری Rail milling:

در این بخش از الماسه‌های نانو پوشش‌دار با دقت بالا برای افزایش بازدهی و دقت ماشین کاری ریل‌های مشترک و تقاطع‌ها استفاده می‌شود.



## ◀ پوشش‌های تزئینی مورد استفاده در صنعت حمل و نقل ریلی



پوشش‌های سخت به صورت گسترده برای اهداف تزئینی بر روی سطوح و فراهم کردن خواص ظاهری با کیفیت بالا مورد استفاده قرار گرفته است. در سال‌های اخیر تقاضاهای زیادی جهت جایگزینی آبکاری به دلیل آلودگی‌های زیست محیطی وجود داشته است. با توجه به تقاضای موجود برای ایجاد پوشش‌های تزئینی بر روی پلاستیک‌ها، ابتدا باید یک لایه پوشش آبکاری جهت افزایش چسبندگی ایجاد کرد سپس پوشش تزئینی مورد نظر را لایه‌نشانی کرد. با توجه به مسئله مطرح شده شرکت هازر توانسته است با لایه‌نشانی پوشش DLC بدون استفاده از یک لایه میانی برای افزایش چسبندگی، آن‌ها را بر روی پلاستیک‌ها اعمال نماید.

فناوری ePD شرکت اریکون بالزرز تعدادی زیادی از خواص برای پوشش‌ها را نسبت به رنگ‌های متداول انتخابی پیشنهاد می‌کند که می‌توان به انعطاف پذیری رنگ، سازگاری با محیط زیست، مقاومت به خوردگی، ویژگی‌های ایمنی، شفافیت نور، Capacitive sensing، تنوع در به کارگیری انواع زیرلایه‌ها،

طراحی برای شب/روز و شفافیت را اشاره کرد. شرکت آیون‌باند<sup>۲</sup> دارای یک طیف گسترده‌ای از رنگ‌های استاندارد در سراسر طیف فلزات می‌توان ایجاد نماید. با این حال، طراحان شرکت‌های بزرگ ممکن است یک نوع رنگ ویژه را درخواست کنند.



## خلاصه مدیریتی

در سال‌های اخیر با توجه به پیشرفت چشمگیر فناوری نانوپوشش‌ها در کشور امید است تا بتوان با بهره‌گیری از این فناوری مشکلات موجود در مواجهه با سایش، فرسایش و ضربه در صنعت حمل‌ونقل ریلی را مرتفع کرد. در این گزارش سعی شد تا با نگاهی به فناوری نانوپوشش، بتوان مشکلات تجهیزات صنعت حمل‌ونقل ریلی در حوزه سایش، فرسایش و خوردگی را مرور نمود و برای آنها راهکار ارایه داد. در این رهگذر کارگروه صنعت و بازار ستاد ویژه



توسعه فناوری نانو، «مرکز توسعه نانوپوشش» را تاسیس نموده است. هدف این مرکز حل مشکلات صنعت در حوزه سایش، فرسایش و خوردگی با تاکید 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.

## 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 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 بازار یابی 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](http://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

تلفن:  
۰۲۱-۶۳۱۰۰۰۰  
نمابر:  
۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰

طراحی و اجرا: توسعه فناوری مهریژن