

کاربرد فناوری نانو در معدن

سال انتشار: ۱۳۹۸

ویرایش نخست



شناسنامه

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهر ویژن	تلفن:	۰۲۱۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قزایلو report@nano.ir	نمابر:	۰۲۱۶۳۱۰۶۳۱۰
نویسندگان:	محسن افسری ولایتی، حسین فلاح دوست	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir www.indnano.ir
پست الکترونیک:	ind@nano.ir	صندوق پستی:	۱۴۵۶۵۳۴۴

فهرست مطالب

فناوری نانو	۳
ساخت نانو حسگرهای تشخیص گازهای سمی، قابل اشتعال و انفجار در معدن	۳
کاربرد فناوری نانو در راه اندازی مجدد معدن متروکه	۵
نانوپوشش ها جهت حفاظت از خوردگی ماشین آلات	۵
نقش نانوروان کارها در افزایش راندمان و کاهش هزینه های نگهداری و تعمیر موتور ماشین آلات حفاری	۷
کاربرد فناوری نانو در کاهش مصرف سوخت دیزلی ماشین آلات معدن	۱۱
کاربرد فناوری نانو در بهبود سیال حفاری	۱۳
استفاده از نانوکامپوزیت ها در ساختار سیال حفاری	۱۶
استفاده از فناوری نانو برای بهینه کردن عملیات مشبک کاری	۱۷
پروژه ProMine: مثالی عملیاتی از کاربرد گسترده فناوری نانو در معدن	۱۸
خلاصه مدیریتی	۲۳

فناوری نانو

فناوری نانو، فناوری تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید در اندازه مولکولی و اتمی است (ابعاد زیر ۱۰۰ نانومتر)، و در دست گرفتن کنترل این ساخته‌ها و استفاده از ویژگی‌هایی که در این ابعاد ظاهر می‌شوند را شامل می‌شود. از مهم‌ترین این ویژگی‌ها می‌توان به نسبت سطح به حجم بالا در ساختارهای نانومتری اشاره کرد. در واقع اتم‌هایی که در سطح قرار دارند، نسبت به اتم‌های درون حجم ذرات اثر بسیار بیشتری بر خواص فیزیکی ذرات دارند. امروزه فناوری نانو در برخی زمینه‌ها به مراحل کاربردی رسیده است که از آن در جهت ارتقای محصولات تجاری و تولید محصولات جدید استفاده می‌شود و از آنجایی که ارتقای سطح کیفی و کمی اکتشاف و استخراج از معادن و صنایع وابسته نیاز به استفاده از فناوری‌های جدید دارد، لذا لزوم آشنایی با این فناوری‌ها از ضرورت‌ها محسوب می‌شود. یکی از این فناوری‌های روبه‌رشد و با اهمیت، فناوری نانو است که در معدن از اهمیت فراوانی برخوردار بوده و توجه بسیاری از کشورهای جهان را به خود معطوف کرده است. برخی از کاربردهای فناوری نانو در معدن در شکل ۱ اشاره شده است.



شکل ۱- کاربردهای فناوری نانو در معدن

ساخت نانوحسگرهای تشخیص گازهای سمی، قابل اشتعال و انفجار در معادن

یکی از کاربردهای فناوری نانو ساخت نانوحسگرهای تشخیص گازهای سمی، قابل اشتعال و انفجار در معادن است تا از بروز حوادث خطرناک برای معدن‌کاران جلوگیری شود. با ورود فناوری نانو به عرصه‌های مختلف، از جمله الکترونیک، امکان ساخت الکترودهایی در مقیاس کوچک فراهم شده که همین امر ساخت حسگرهای نانومتری را میسر کرده است. از ویژگی‌های مهم نانوحسگرها می‌توان به حساسیت و انتخابگری بالاتر اشاره کرد، چرا که محدودیت تشخیص را تا مقیاس نانوبه‌بود بخشیده است. کوچک‌سازی حسگرها باعث می‌شود وزن آن‌ها کاهش یافته و مصرف توان آن‌ها نیز به حداقل برسد و به این ترتیب هزینه مصرفی کم می‌شود. روش‌های تشخیص گاز که تا سال ۱۹۹۵ از آن‌ها استفاده می‌شد، روش‌هایی معمولی بوده‌اند. مشکل اساسی این روش‌ها، پاسخ زمانی بالا و نیاز به دمای بالا برای تشخیص گازها بود. در نتیجه برای رفع این مشکل نیاز به ابزاری با پاسخ زمانی پایین حس می‌شد. بدین منظور پیشنهادهایی برای بهبود

پارامترهای ساختاری از جمله ساختار و جهت کریستالی ارائه شده است. یک حسگر ایدئال عمدتاً باید دارای خصوصیات زیر باشد:

- سرعت پاسخ دهی بالایی داشته باشد؛
- پایداری شیمیایی و دوره عمر طولانی داشته باشد؛
- قدرت تفکیک و گزینش پذیری بالایی داشته باشد؛
- بازگشت پذیری باشد؛
- عوامل محیطی مثل رطوبت، دما و... تأثیری بر روند حسگری آن نداشته باشد؛
- دارای ابعاد کوچک بوده و حمل و نقل و استفاده از آن ساده و کم هزینه باشد؛
- حساسیت بالایی داشته باشد.

مواد نانوساختار به دلیل کاهش دمای کار حسگر گازی، مصرف توان کمتر و ایمنی بیشتر در عملکرد می توانند مواد مناسبی به منظور استفاده در حسگرهای نسل جدید باشند. یکی از مهمترین خصوصیات مواد نانوساختار نسبت بالای سطح به حجم آن ها است. به همین دلیل جذب گازها بر روی حسگر بهتر انجام شده و همچنین حساسیت حسگر، به دلیل افزایش برهم کنش بین آنالیت و قسمت حسگری، بالاتر است. از میان تمام مواد نانوساختار، استفاده از نانوذرات، نانولوله ها و نانومیله ها در این حوزه مدتی است بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر این مواد، استفاده از نانولوله های کربنی، به دلیل خواص جالب و منحصر به فردشان افزایش قابل توجهی پیدا کرده است. ایجاد یا افزایش هدایت الکتریکی، افزایش سطح مؤثر، افزایش دامنه شناسایی گازها، کاهش دمای گاز، ایجاد فصل مشترک های جدید حساس به واکنش سطحی و واکنش با برخی مولکول ها از مزیت های کاربرد نانولوله های کربنی است. امروزه تلاش های اصلی در حوزه حسگرها بر روی بهینه سازی پارامترهای حساسیت، انتخاب پذیری، پایداری و زمان پاسخ آن ها متمرکز شده است. به همین دلیل توجه و بررسی مواد اولیه و اساسی و مسائل مربوط به فرایندهای پردازش برای رسیدن به یک حسگر گازی با بهره وری و عملکرد مناسب حیاتی است. از میان پارامترهای یاد شده، حساسیت سنسچس گاز (تشخیص غلظت گاز در حد ppm) و انتخاب پذیری گاز (تشخیص گازی خاص در مخلوطی از گازها) دو مسئله مهم در بررسی حسگرهای گازی محسوب می شوند. اغلب حسگرهای گازی، بویژه حسگرهای گازی نیم رسانا، در انتخاب پذیری گازها ضعیف تر هستند. از این رو برای رسیدن به انتخاب پذیری بالا و بهبود حساسیت حسگرها، فناوری نانو و استفاده از مواد نانوساختار فرصت های جدیدی را پیش روی فعالان این حوزه قرار داده است. با این وجود تولید صنعتی و تجاری سازی این حسگرها هنوز با موفقیت روبه رو نیست و نیاز به بهبودهایی در این فناوری احساس می شود. اولین چالش در این مسیر یافتن روشی ارزان و کم هزینه برای تولید انبوه حسگرهای گازی است و به نظر می رسد برای رسیدن به مرحله تولید انبوه اندکی زمان نیاز است. هرچند، طرح های پردازی متعددی در مقیاس های آزمایشگاهی با موفقیت آزمایش شده اند، ولی روش ها و فرایندهای پردازی مطلوب آن هایی هستند که دارای حداقل تعداد مراحل پردازش باشند. برای این کار به نظر می رسد فرایندهای مبتنی بر بخار رویکرد امیدوارکننده تری داشته باشند. هرچند که فرایندهای رسوب شیمیایی نسبت به فرایندهای کندوپاش و رسوب بخار شیمیایی مقرون به صرفه تر هستند، ولی کیفیت فیلم های تولید شده توسط فرایندهای رسوب دهی بخار نسبت به فرایندهای رسوب مبتنی بر

راه حل شیمیایی برتر است. در سال های اخیر حساسیت مواد نیم رسانای اکسید شده با کاهش اندازه ذرات در محدوده ۵ تا ۵۵ نانومتر تا حد زیادی بهبود یافته است؛ ولی هنوز مشخص نیست که چگونه کاهش اندازه ذرات بر روی سنجش حسگر و حساسیت آن تأثیر می گذارد. به طور صریح در مجموع، مزایای نانوحسگرها باعث شده است که به عنوان فرصتی وسوسه انگیز برای بازار تلقی شود و این ظرفیت را دارند که قیمت تمام شده آن ها کمتر از قیمت تمام شده حسگرهای موجود در بازار باشد. برای مثال اگر قیمت حسگرهای صنعتی متداول امروزی، چند ده هزار دلار باشند، قیمت نانوحسگرهایی که بتوانند همان کار را انجام دهند به صورت نظری چند ده دلار برآورد می شود. نانوحسگرها همچنین هزینه جاری را نیز کاهش می دهند؛ زیرا به طور ذاتی انرژی الکتریکی کمتری مصرف می کنند. در نهایت از آنجایی که نانوحسگرها هزینه های خرید و اجرا را کاهش می دهند، به کارگیری آن ها می تواند به شکل فراگیر و حتی اضافی در قطعات کاربرد پیدا کند؛ به طوری که اگر یک نانوحسگر از کار بیفتد و از مدار خارج شود بتوان از آن صرف نظر کرد و ضریب امنیت در حد مطلوبی باقی بماند، زیرا تعداد زیادی نانوحسگر باقیمانده در سیستم می توانند کار آن را به عهده گیرند [۱].

کاربرد فناوری نانو در راه اندازی مجدد معادن متروکه

تأثیرگذاری فناوری نانو در حوزه معدن تا حدی است که برخی از معادن که به عنوان «معادن متروکه» شناخته شده اند می توانند دوباره به چرخه اقتصادی بازگردند. معادن متروکه به جایی رسیده اند که بعد از چند سال برداشت، مواد معدنی اندکی دارند که اکتشاف از آن صرفه اقتصادی ندارد. یعنی تا حد امکان با استفاده از فناوری های معمول از آن معدن استخراج شده و میزان کمی از مواد باقی مانده است که البته برای راه اندازی دوباره آن ها بهره گیری از روش های فراوری معمول، صرفه اقتصادی ندارد؛ اما با کمک فناوری نانو می توان این عناصر را به راحتی و با هزینه کمتری جذب کرد. به عنوان مثال معادن عیار پایین طلا و یا عناصر نادر خاکی خیلی ارزشمند هستند؛ اما به دلیل اینکه که میزان شان در این معادن خیلی کم است، انجام عملیات حفاری معدن، استخراج و فراوری مواد معدنی از آن ها توجیه اقتصادی ندارد. نانوجاذب ها برای فراوری این گونه مواد بهترین انتخاب هستند. نانوجاذب ها با قدرت جذب بسیار بالایی این مواد را جذب می کنند و مهم تر از همه اینکه می توان انتخاب کرد که کدام مواد جذب نانوجاذب ها شوند. این نانوجاذب ها با پوشش هایی که روی آن ها قرار داده می شود حتی این امکان را به وجود می آورند که بتوان از باطله های معدنی و از پساب های معادن هم مواد ارزشمند را جداسازی کرد. زیرا گاهی پساب ها شامل میزان کمی از عناصر ارزشمندی هستند که در معدن کاری فراوری می شوند؛ اما چون به طور کامل جداسازی نشده اند، همراه باطله های معدنی دپو شده و یا با پساب ها خارج می شوند [۲].

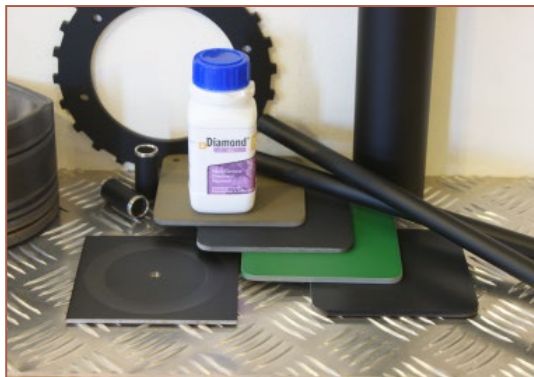
نانوپوشش ها جهت حفاظت از خوردگی ماشین آلات

طی معدن کاری، تجهیزات زیادی استفاده می شود و این تجهیزات در معرض فرسایش زیادی قرار دارند. با استفاده از فناوری نانو و نانوپوشش ها می توان مقاومت این تجهیزات را تا چندین برابر افزایش داده و راندمان کار را بالا برد. یکی از مواردی که در حال حاضر فناوری نانو در آن به طور گسترده و مؤثری مورد استفاده قرار گرفته است، فرایندهای پوشش دهی و به دنبال آن تولید مواد نانو ساختار است. در حقیقت نانوپوشش ها

گونه‌ای از لایه‌های نازک هستند که یا ابعاد آن‌ها در حد نانو است و یا زمینه‌ای (شُل) دارند که ذرات ریز در ابعاد نانو در آن پراکنده شده‌اند و خواص ویژه‌ای را به آن می‌بخشند. بررسی‌های انجام‌گرفته بر روی نانوپوشش‌ها نشان می‌دهد که خواص آن‌ها در بسیاری موارد نسبت به پوشش‌های معمولی بهبود چشمگیری دارد. نانوپوشش‌ها در مقایسه با پوشش‌های میکرومتری از ضریب انبساط حرارتی، سختی و چقرمگی بالاتر و مقاومت بیشتر در برابر خوردگی، سایش و فرسایش برخوردار هستند. مزیت ویژه نانوروش‌های ضدخش و ضدخوردگی این است که امکان تنظیم مستقل سختی و ویژگی‌های سایش روکش را با ترکیب کردن عناصر و ساخت لایه‌های نانومتری فراهم می‌آورد. تاکنون عمده تحقیقات انجام‌شده بر روی نانوپوشش‌ها مربوط به پوشش‌های با سختی بالا و فوق‌سخت است. پوشش‌های فوق‌سخت پوشش‌هایی هستند که سختی آن‌ها بیشتر از ۴۰ گیگاپاسکال است. چهار گروه مهم از نانوپوشش‌ها عبارت‌اند از [۳]:

- پوشش‌های دانه‌ای^۱
- پوشش‌های شبکه‌ای و چندلایه‌ای^۲
- پوشش‌های لایه‌نازک^۳
- پوشش‌های نانوکامپوزیتی

شرکت کاربودئون^۵ یکی از شرکت‌های فعال در حوزه‌ی پوشش‌های سطحی است. این شرکت اخیراً پوشش جدیدی به بازار عرضه کرده است که دوام آن ۲ برابر بیشتر و اصطکاک آن ۶۶٪ کمتر از محصولات فعلی در بازار است. این محصول که در آن از نانوذرات الماس و یک نوع پلیمر استفاده شده است می‌تواند عمر تجهیزات را در صنایع ماشین‌آلات معدنی، خودروسازی، هوافضا و ماشین‌آلات صنعتی افزایش دهد. نانوذرات الماس دارای استحکام بالایی هستند، ابعاد کوچکی دارند و اصطکاک بسیار اندکی ایجاد می‌کنند. کاربودئون از محلول کلونییدی حاوی نانوذرات الماس به ابعاد ۴ تا ۶ نانومتر استفاده کرده که سطح آن با مولکول‌های پلی‌تترافلورواتیلن^۶ پوشش داده شده است؛ بدون این که نیاز به سورفاکتانت اضافی باشد. این محلول جدید که به uDiamond® Vox D شهرت یافته در محصولات جدید شرکت کاربودئون مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۲). به دلیل وجود نانوذرات الماس در این محصول، دوام پوشش افزایش یافته و اصطکاک آن کاهش می‌یابد. البته اثر نانوذرات الماس به این تغییرات محدود نمی‌شود و ساختار پوشش را نیز دستخوش تغییر می‌کند. وجود الماس موجب افزایش دوام سطح می‌شود اما زمانی که ابعاد ذرات الماس به مقیاس نانو کاهش و مساحت سطحی آن افزایش می‌یابد و همچنین زمانی که مولکول‌های PTFE به آن افزوده می‌شود، خواص پوشش، تغییرات بنیادین پیدا می‌کند. تولید این پوشش فرایند ساده‌ای دارد؛ به طوری که محلول uDia-mond® Vox D که پایه آن آب یا حلال دیگری است به ترکیب PTFE اضافه شده و در ادامه محلول نهایی روی سطح مورد نظر اسپری می‌شود. این فناوری طی سال‌های گذشته به خوبی توسعه پیدا کرده به طوری که در ابتدا صرفاً استفاده از نانوذرات الماس در ایجاد پوشش مد نظر بوده است اما در ادامه به پخش کردن صحیح نانوذرات در فاز محلول توجه شد تا بتوان نانوذرات الماس را بهتر در فاز مایع پخش کرد؛ با این کار مصرف نانوذرات الماس به شدت کاهش می‌یابد. در قدم بعد مشخص شد که افزودن مقداری پلیمر PTFE می‌تواند اصطکاک را کاهش دهد و همچنین دوام پوشش به شکل محسوسی افزایش می‌یابد [۴].



شکل ۲- محلول Diamond® Vox D

نقش نانوروان کارها در افزایش راندمان و کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیر موتور ماشین‌آلات حفاری

روان‌کننده‌های جامد معمولی، ترکیبات لایه‌ای مانند گرافیت، سولفید مولیبدن و سولفید تنگستن هستند که لغزش لایه‌ای آن‌ها روی یکدیگر موجب کاهش اصطکاک می‌شود. اما لایه‌ها به تدریج تجزیه شده و در نتیجه باعث چسبیدن آن‌ها به سطح فلزی می‌شود. اندازه نسبتاً بزرگ این پولک‌های لایه‌ای، مانع از ورود آن‌ها به حفره‌های سطح فلز شده و بنابراین این مواد روی سطح فلزی چسبند و با انباشته شدن، کارایی روان‌کنندگی خود را از دست می‌دهند. این کار در نهایت موجب فشرده شدن قطعه‌های فلزی به یکدیگر و فرسودگی آن‌ها می‌شود. بنابراین لازم است تا از روان‌کننده‌های جامد کوچک‌تر و محکم‌تری استفاده شود [۵]. افزودنی‌هایی که به روغن موتور اضافه می‌شوند نیز تحت تأثیر فناوری نانو قرار گرفته و محصولاتی برپایه نانو در این عرصه وارد بازار شده و خصوصیات بسیاری برای آن‌ها ذکر شده است. برخی از این خصوصیات عبارت‌اند از: کاهش ضریب اصطکاک، کاهش مقدار ساییدگی در اجزای موتور، ترمیم سطوح درگیر، بهبود خواص سطحی، افزایش بازده موتور در اثر افزایش فشار در سیلندر، کاهش مصرف سوخت در اثر کاهش اصطکاک، افزایش طول عمر موتور، کاهش مصرف روغن و کاهش هزینه نگهداری و تعمیرات، کاهش صدای موتور، کاهش گازهای آلاینده، جلوگیری از اکسیداسیون روغن، تمیزکردن سیستم سوخت‌رسانی، افزایش قدرت خروجی موتور و بالا رفتن بازده موتور.

برخی از محصولاتی که به صورت افزودنی حاوی نانومواد وارد بازار شده و تجاری شده‌اند در جدول ۱ آورده شده است.

شرکت ApNano Materials فناوری تولید روان‌کارهای نانویی را در اختیار دارد. Nanolub یک روان‌کننده جامد تولیدی این شرکت است که حاوی نانوذرات سولفید تنگستن کروی معدنی بوده و در مقایسه با روان‌کننده‌های رایج سبب کاهش اصطکاک و سایش به خصوص در مواقعی که نیاز به بارگذاری زیاد است شده و علاوه بر آن سبب افزایش طول عمر دستگاه و کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات می‌شود [۶].

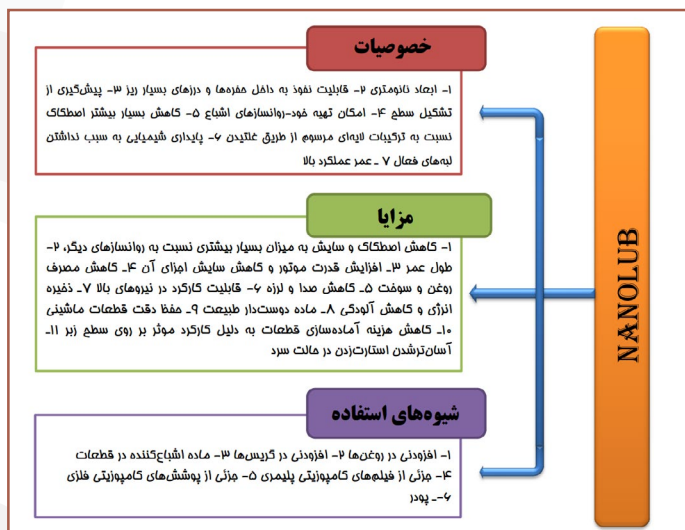
جدول ۱- برخی از افزودنی های روغن های حاوی نانوذرات

ردیف	نوع نانوذره ماده افزودنی	نام ماده افزودنی
۱	WS2	Nanolub
۲	نانوالماس	FN949, Fenom
۳	فولرین	Forsan, Kiwami
۴	مولکول های فلوئور	Polycoat 20 – HWE
۵	نانوذرات طلا	Nano Gold Oil
۶	PTFE نانوذرات	NANOFLONTM X-TREME

کره های نانولوب می توانند مانند بلبرینگ های مینیاتوری بر روی هم بلغزند، خنک تر مانده و کارایی خود را بیشتر حفظ کنند. ابعاد نانومتری آن ها باعث می شود تا بتوانند به داخل منافذ بسیار ریز نفوذ کنند و از دسته ای شدن آن ها کاسته شود. در نتیجه پوشش آن ها بر روی سطوح سخت به میزان قابل توجهی افزایش می یابد و در نهایت، به عنوان ماده ای غیرآلی، به گونه ای زیبا حتی در محیط های نامساعد عمل می کند. نانولوب باعث افزایش روان سازی برای قطعات و سطوح زیر می شود، به گونه ای که تولیدکنندگان می توانند زمان و هزینه کمتری را صرف ماشین کاری قطعات خود کنند. از جنبه زیست محیطی، استفاده از نانولوب باعث کاهش مصرف انرژی و در نتیجه کاهش آلودگی هوا می شود. مهم ترین خصوصیات، مزایا و روش های مختلف استفاده از نانولوب در شکل ۳ نشان داده شده است.

بررسی های جامع در زمینه این مواد، حاکی از آن است که نانولوب ها نسبت به دیگر روان سازهای جامد، کاهش قابل توجهی در اصطکاک، سایش و درجه حرارت به ویژه در بارگذاری های بالا، ایجاد می کنند. به همین دلیل از کندگی، از کار افتادگی و لب پر شدن سطوح فلزی در اثر سایش کاسته می شود. نانولوب ها می توانند به صورت افزودنی به روان سازهای مایع و گریس ها، پوشش فلزی کامپوزیتی، فیلم پلیمری کامپوزیتی یا حتی به تنهایی به صورت پودر مورد استفاده قرار گیرند. نانولوب ها با وارد شدن به درزها و حفرات سطوح و پخش آهسته آن ها هنگام عملکرد، به خوبی بر روی سطوح نسبتاً زیر عمل می کنند. در واقع سطوح قطعات ماشین کاری شده نیازی به عملیات تکمیلی برای صاف کردن و صیقل شدن نخواهند داشت. تا پیش از این، به منظور کاهش اصطکاک لازم بود که سطوح قطعات متحرک در حال تماس، مانند قطعات موتور، با ماشین کاری و عملیات مختلف تا سرحد امکان صاف و صیقلی شوند. در حال حاضر شرکت نیشان از فناوری اصطکاک بسیار پایین ذرات نانو برای کاهش اصطکاک بین قطعات موتور، استفاده می کند. در این سیستم، فیلمی نانومتری از روغن حاوی افزودنی های با اصطکاک پایین به کربن بدون هیدروژن که شبیه الماس^۷ است جذب می شود. در واقع کربن شبیه الماس فیلم سختی است که از کربنی با خواص شبیه الماس ساخته می شود و دارای مقاومت سایشی بسیار بالا و ضریب اصطکاک بسیار پایین است. به دلیل اصطکاک بین صدها قطعه در یک موتور،

انرژی به میزان زیادی اتلاف می‌شود؛ اما با استفاده از فناوری نانو، اصطکاک به میزان ۴۰ درصد نسبت به موتورهای معمولی کاسته می‌شود. می‌توان اصطکاک کلی موتور را با اعمال این فناوری بر روی قطعات موتور، به میزان ۲۵ درصد کاهش داد. شرکت APNANO در حال آزمون نانولوب در سیستم‌های مختلف بی‌نیاز به تعمیر و نگهداری شامل صنایع فضاوردی، پزشکی و دریایی، محیط‌های تولیدی فوق‌تمیز و ماشین‌آلات سنگین نظیر توربین‌ها و ماشین‌های حفاری است؛ اما بهترین و جالب‌ترین رویکرد برای نانولوب، امکان سنجی درزبندی کامل موتورها، بدون نیاز همیشگی به تعویض روغن است. با در نظر گرفتن حرارت و سایش به عنوان عوامل اولیه امروزی در خرابی موتور و سیستم‌های انتقالی، نقش این مواد ضدسایش پرنرنگ‌تر خواهد شد. در برخی آزمون‌ها که با نانولوب انجام شده است، آزمایشگرها قادر به ایجاد اصطکاک کافی در روان‌ساز برای تولید آسیب قابل‌اندازه‌گیری، حتی با افزایش زمان کاربرد نیز نبوده‌اند. طبق تحقیقات، افزودنی‌های بی‌نیازت ضدسایش فروش جهانی در حدود یک میلیارد دلار در مقایسه با بازار ۳۷ میلیارد دلار روان‌سازها داشته‌اند؛ اما اگر نانولوب‌ها موفق شوند، بازار آن‌ها به میزان قابل‌توجهی رشد خواهد کرد و تولیدکنندگان بزرگی نظیر: Shell، Fxon mobile و Chevron Texaco به سمت توسعه فناوری‌های قابل‌رقابت با آن خواهند رفت. عامل مهم دیگر در جذب بازار توسط نانولوب‌ها این است که روان‌سازهایی «سبز» هستند. با افزایش دغدغه در خصوص آلودگی‌های زیست‌محیطی، تمایل بیشتری به استفاده از مواد دوستدار محیط‌زیست ایجاد خواهد شد [۷].

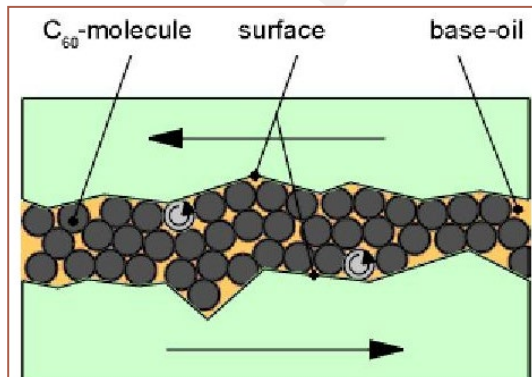


شکل ۳- مزایا و شیوه‌های استفاده نانولوب

افزایش طول عمر موتور حدود ۲ تا ۳ برابر، صرفه‌جویی سوخت از ۵ تا ۸ درصد، کاهش ضریب اصطکاک تا ۸۰ درصد، ایجاد لایه نانوالماس بر روی سطح و ترمیم خودکار سطح، ایجاد آب‌بندی بسیار قوی و افزایش توان

موتور هنگام استارت در اثر آب بندی، افزایش طول عمر روغن موتور تا ۳۰۰۰۰ کیلومتر، کاهش صدای موتور، کاهش گازهای آلاینده تولیدی و کاهش هزینه تعمیرات تا حد زیاد، تنها برخی از مزیت های افزودنی نانودیا موند هستند. مقدار مصرف این محصول، ۱۰ تا ۲۰ گرم در برابر ۱۰۰۰ کیلوگرم روغن موتور است. مقدار افزودنی به شرایط کار موتور بستگی دارد [۵].

از دیگر نانوذرات قابل استفاده در روغن ها می توان به نانوفولرین اشاره کرد که گاهی هم با نام «باکی بال» معرفی می شود. فولرین ها در واقع سومین آلوتروپ اصلی کربن (به غیر از الماس و گرافیت) هستند که از مولکول های بزرگ کروی چنداتمی با فرمول کلی $C(n)$ که معمولاً بزرگ تراز ۶۰ است تشکیل یافته اند. شناخته ترین نوع فولرین C_{60} است که از ۲۰ شش وجهی و ۱۲ پنج وجهی تشکیل شده است و شکلی شبیه به توپ فوتبال دارد. زمانی که گریس حاوی این توپ ها باشد در واقع اصطکاک لغزشی غیرممکن می شود و جای خود را به اصطکاک غلظشی خواهد داد. این بدان معنا است که از ضریب اصطکاک به میزان ۱۰۰۰ برابر کاسته می شود. بنابراین با کاهش اصطکاک، سایش نیز کاسته شده و فرسایش مکانیزم ها متوقف خواهد شد. فولرین ها دانسیته و سختی بالاتری نسبت به الماس دارند. یعنی مولکول C_{60} می تواند در برابر نیروهای بسیار سنگین نیز تاب آورد. بنابراین روغن حاوی این مواد بسیار قوی تر است و قطعات اصطکاکی حتی در نیروهای بسیار بالا با هم تماس پیدا نمی کنند [۷]. در شکل ۴ نحوه تأثیر دو سطح در حال تماس نشان داده شده است. مولکول های فولرین به صورت اجسام چرخنده عمل می کنند و سبب جدا شدن سطوح در حال تماس از یکدیگر می شوند.



شکل ۴- نحوه عملکرد فولرین C_{60} در روان کاری

به خاطر مقاومت و پایداری بالای فولرین ها، در شرایط بارگذاری بالا نیز خصوصیت چرخش بلبرینگ مانند خود را حفظ می کنند.

POLYCOAT افزودنی پیشرفته ای برای روغن موتور و روغن جعبه دنده است. این ماده بر روی سطوح فلزی در سطح مولکولی تأثیرگذار بوده و باعث کاهش اصطکاک، کاهش سایش فلز، افزایش عمر موتور ماشین، بهینه سازی مصرف روغن و صرفه جویی در مصرف سوخت می شود. این افزودنی، مانع از داغ کردن موتور ماشین به سبب کمبود روغن می شود و به راننده اجازه می دهد بدون وجود روغن در موتور ماشین بیش از ۳۲ کیلومتر

رانندگی کند. POLYCOAT 20HWE فیلم نازکی از مولکول های فلئور ايجاد می کند که باعث پخش و توزیع یکسان و مناسب روغن در تمام سطوح داخل موتور می شود. به این ترتیب سطح فلز را صاف و مقاوم در برابر اصطکاک می کند [۶].

افزودنی روغن موتور Nano Gold Oil محصول شرکت تایوانی است. Yuan Nano Tech با توجه به اینکه در واقع طلا بهترین و مناسب ترین پوشش برای جداره داخلی سیلندر است، یکی از محصولات مرغوب در این حوزه است ولی به دلیل قیمت بسیار بالای طلا و محدودیت در روش های تبدیل طلا به دانه های ریز طلا، کمتر از آن استقبال شده است. افزودنی نانوذرات طلا جهت پوشش جداره سیلندر با استفاده از مبنای فناوری نانو ساخته شده و اندازه نانومتری ذرات طلا خصوصیات کاملاً ممتازی به آن داده است. به این طریق پوششی از طلا بر روی جداره سیلندر ایجاد می شود و بازده موتور افزایش می یابد. وقتی طلا به صورت نانوذرات در آید به خاطر چند برابر شدن سطح ویژه دارای خصوصیات منحصر به فردی می شود که آن را به گزینه ای ایده آل برای پوشش جداره سیلندر تبدیل می کند. این خصوصیات عبارت اند از: پایداری دمایی بسیار بالا، پایداری شیمیایی بسیار بالا، سختی کم، رسانایی حرارتی بسیار بالا و قابلیت جذب سطح بالا.

شرکت Shamrock تولید کننده افزودنی nanoFLONTM X-Treme است. این افزودنی دارای خصوصیات کاهش اصطکاک و تحمل فشارهای بسیار بالا در سیستم های روغن موتور است و بیشتر به روغن های روان کننده و گریس اضافه می شود. افزودنی nanoFLON مخلوطی از نانوذرات PTFE، کمپلکس آلی مولیبدن و ترکیباتی حاوی سولفور است. nanoFLON یک افزودنی چند منظوره است که می تواند فشارهای بسیار بالا را تحمل کند. در برابر ساییدگی مقاوم است، به راحتی با روغن پایه مخلوط می شود و ضریب اصطکاک را کاهش می دهد و به همین دلیل در صنایع تولید روغن دنده، گریس و روغن موتور مورد استفاده قرار گرفته است. [۵].

کاربرد فناوری نانو در کاهش مصرف سوخت دیزلی ماشین آلات معدن

استفاده از نانوذرات کاتالیزوری به عنوان افزودنی می تواند در کنترل گازهای آلاینده خروجی مناسب بوده و ضد جرم گرفتگی نیز باشد. این مواد با تغییر چگونگی احتراق سوخت، کار مفید بیشتری را با هر ضربه پیستون ایجاد می کنند و در نتیجه موجب صرفه جویی در مصرف سوخت می شوند. این مواد موجب تسهیل خروج پسماند حاصل از احتراق و در نتیجه تمیز شدن موتور شده و با بهبود مصرف سوخت و افزایش بازدهی موتور موجب کاهش گازهای آلاینده مانند دی اکسید کربن و هیدروکربن ها و ذرات سوخته می شوند و به حفظ محیط زیست کمک خواهند کرد. این افزودنی ها به هیچ اصلاح یا تغییری در موتور نیاز نداشته و تأثیری هم بر کارکرد روان کننده های موتور ندارد. مقدار مورد نیاز این مواد افزودنی بسیار کم است. باید اذعان داشت که در مبدل های کاتالیزوری فعلی برای تسریع فرایند تبدیل آلاینده های سمی، مانند مونوکسید کربن، NOx و هیدروکربن ها، به مولکول های بی ضرر تر و سازگار تر با محیط زیست، از پایه های کاتالیزوری فلزهای گران قیمتی از قبیل پلاتین، پالادیوم و رودیوم استفاده می شود که قیمت و ناپایداری بالایی دارند؛ اما در روش های نانویی، نانو خوشه های فلزی تولید می شوند که با هزینه ای کم، بیشترین فعالیت کاتالیزوری را داشته و موجب بهینه شدن بازدهی این فلزات گران قیمت می شوند. در این روش با تنظیم ترکیب این نانو خوشه ها امکان تعیین

سفارشی عملکرد نانوکاتالیزورها به طوری که دارای کاربردهای خاص صنعتی باشند نیز فراهم می شود. شرکت فنلاندی Oxonica Pigments Oy نوعی کاتالیزت نانوبلور دی اکسیدتیتانیوم در این زمینه تولید می کند. شرکت Oxonica کاتالیزوری از جنس نانوذرات اکسیدسیریم تولید می کند که افزودن آن به سوخت های دیزلی موجب کاهش مصرف سوخت و کم شدن گازهای آلاینده حاصل از احتراق می شود. محصول شرکت Oxonica با نام تجاری Envirox در بازار عرضه شده است (شکل ۵). این افزودنی شامل ذرات ریزی از اکسیدسیریم است و واکنش های احتراق را بین هوا و دیزل تسریع می کند. اکسید سیریم یک ذخیره کننده اکسیژن است که از مونوکسیدکربن، هیدروکربن های دارای اکسیژن آزاد می کند و همچنین اکسیژن جذب می کند تا مقدار اکسیدهای نیتروژن را کاهش دهد. نتیجه، سوختن بهتر است که همان تبدیل بیشتر سوخت به دی اکسیدکربن و تولید کمتر NOX است و کربن کمتری بر روی دیواره سیلندر می نشیند.

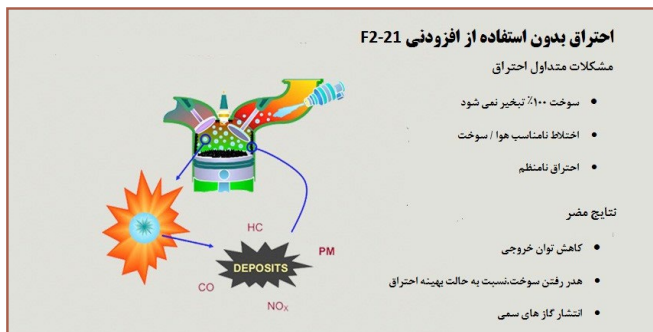


شکل ۵- افزودنی سوخت Envirox محصول شرکت Oxonica

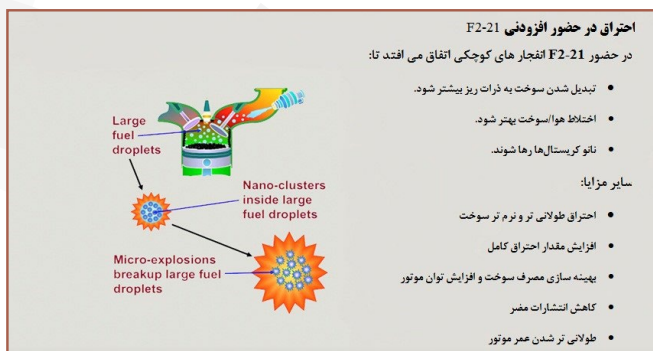
شرکت آمریکایی نانواستلر (Nanostellar) از طریق نانوخوشه های فلزی به نوعی فناوری نانوکامپوزیتی برای ساخت نانوکاتالیزورهای کم هزینه و کارآمد دست یافته است. شرکت نانواستلر هم اکنون از این روش برای تولید کاتالیزورهای فلزی و کاتالیزورهایی که پایه آن ها را نانوکامپوزیت هایی از ذرات فلزی تشکیل می دهند استفاده می کند، که فعالیت و انتخابگری آن ها به شکل سفارشی قابل تنظیم است.

ماده F2-21. nanoron ساخت شرکت آمریکایی H2OIL است که به منظور بهبود سوخت های سوختی و دیزلی به آن ها افزوده می شود و یک افزودنی بسیار غلیظ (نسبت ۱:۸۰۰) است که در آن از فناوری نانو مایع پویا استفاده شده است. F2-21 درون مخزن سوخت، شبکه سه بعدی بسیار پایداری از نانوخوشه های فوق العاده کوچک (حتی کوچک تر از ابعاد میکروسکوپی) تشکیل می دهد که همگی به طور یکنواخت درون سوخت توزیع شده اند. این نانوخوشه ها بسته به اینکه در کدام مرحله از چرخه احتراق قرار داشته باشند، از فعالیت شیمیایی، فیزیکی و کاتالیزوری برخوردارند. در شکل ۶ شرایط احتراق سوخت بدون استفاده از افزودنی F2-21 (الف) و در حالت استفاده از افزودنی F2-21 مقایسه شده است [۵]. نانوذرات GO_2 با افزوده شدن

به سوخت دیزلی مصرف سوخت را تا حدود ۱۸-۸٪، تولید دوده ۴۰-۳۰٪، تولید مونوکسید کربن ۷۰-۵۰٪ و تولید دی اکسید کربن را ۴۰-۲۰٪ کاهش می دهند. این نانوذرات سبب اشتعال سریع تر و کامل تر در محفظه و در نتیجه کاهش مقدار اتلاف انرژی می شوند. هم اکنون تحقیقات برای افزودن ذرات نانو اکسید سدیم به سوخت های دیزل در دست اقدام است که باعث بالا رفتن بازدهی، صرفه جویی اقتصادی و کاهش میزان مصرف آن ها در بلندمدت خواهد شد [۸].



شکل ۶- الف - احتراق بدون استفاده از افزودنی F2-21 . nanoron



شکل ۶- ب - احتراق در حضور افزودنی F2-21 . nanoron

کاربرد فناوری نانو در بهبود سیال حفاری

در حالت کلی عملیاتی که به منظور تولید سیال هیدروکربنی انجام می گیرد را می توان به اکتشاف، حفاری، تولید و استخراج و نیز فرایندهای ازدیاد برداشت تقسیم بندی کرد که هر کدام از آن ها دارای روش های متعددی جهت بهبود فرایند هستند. عملیات حفاری در حقیقت بخش اولیه دسترسی به سیال درون مخزن است و توسعه مناسب این عملیات، نقش چشمگیری را در افزایش بازده تولید ایفا می کند. در این میان سیالات حفاری موسوم به drilling fluids و یا drilling muds شاه رگ اصلی یک عملیات موفقیت آمیز حفاری

هستند. هزینه یک سیستم سیال حفاری بخش عمده‌ای از هزینه حفاریک چاه جدید را تشکیل می‌دهد و به همین دلیل استفاده از سیالات مفیدتر و بهبود یافته، بخش مهمی از مطالعات محققان را تشکیل می‌دهد [۹].

سیال حفاری باید حداقل ده نیاز را برآورده سازد تا بتوان آن را یک سیال مطلوب نام برد:

■ تمیز کردن چاه و انتقال کنده‌ها به سطح زمین: سیال حفاری وقتی که از نازل‌های مته بیرون می‌آید به واسطه فشار شدیدی که دارد سبب تمیزی کف چاه و لبه‌های مته شده، به این ترتیب طول عمر مته را بیشتر کرده و در عین حال سرعت و بازدهی حفاری را نیز افزایش می‌دهد. این فرایند به عوامل بسیاری بستگی دارد که می‌توان از سرعت سیال در فضای حلقوی، وزن سیال و گران‌زوی آن نام برد.

■ خنک کردن مته و لوله‌های حفاری: در محل مته و در نقاطی از چاه که لوله‌ها با سازند تماس دارند در اثر چرخش مته و لوله‌ها، نیروی اصطکاک تولید گرمای فوق‌العاده زیادی می‌کند که اگر این گرما به سرعت منتقل نشود مته را می‌سوزاند و لوله‌های حفاری نیز در محل تماس شان با سازند بر اثر فرسایش سوراخ می‌شوند، بنابراین وظیفه سیال حفاری جذب کردن این گرما و رها کردن آن در سطح است.

■ روان کردن مته و لوله‌های حفاری: سیال حفاری تا حدودی سبب روان شدن مته و لوله‌های حفاری در چاه نیز می‌شود رسی که در بیشتر سیالات پایه آبی به کار می‌رود خود به عنوان یک روان‌کننده عمل می‌کند.

■ اندود کردن دیواره و جلوگیری از ریزش آن به درون چاه: سیال حفاری باید بتواند دیواره چاه را حتی اگر سست و نامنسجم هم باشد به وسیله یک لایه نازک و غیرقابل نفوذ^۱ اندود کند تا هم از هرزروی سیال و عصاره آن به درون سازند جلوگیری کند و هم به پایداری سنگ‌های سازند و دیواره چاه کمک کرده باشد و مانع ریزش آن‌ها به درون چاه شود.

■ کنترل فشارهای زیرزمینی: در حین حفاری ممکن است سازندهایی که حاوی آب، نفت و یا گاز با فشار بسیار زیاد هستند وجود داشته باشند که کنترل این فشارها نیز از جمله وظایف سیال حفاری به شمار می‌آید.

■ شناور نگه داشتن کنده‌های حفاری و مواد وزن‌افزای سیال هنگام خاموشی پمپ‌ها: اگر در حین عملیات حفاری پمپ‌ها خاموش شود (که ممکن است از چند دقیقه تا چندین روز هم به طول انجامد سیال حفاری باید بتواند کنده‌ها و مواد وزن‌افزای خود را شناور نگه دارد چرا که در غیر این صورت و با ته‌نشینی این مواد، مته و بخشی از لوله‌های حفاری نیز در زیر کنده‌ها و مواد جامد دفن شده و ادامه حفاری با مشکلات جدی همراه خواهد شد. اما اگر سیال از وزن، گران‌زوی و نیروی استحکام ژلاتینی^۲ مطلوبی برخوردار باشد با شناور نگه داشتن مواد جامد از ته‌نشینی آن‌ها جلوگیری می‌کند.

■ ترخیص شن و کنده‌های حفاری روی الک لرزان: سیال حفاری باید به گونه‌ای باشد که وقتی از چاه خارج می‌شود، کنده‌های حفاری و شن‌ها بتوانند به راحتی از آن جدا شده و روی الک لرزان به بیرون از سیستم گردش سیال هدایت شوند و دوباره به داخل چاه برنگردند. اهمیت بسیار این عمل از آن جهت است که شن بسیار فرساینده بوده و بازگشت دوباره آن به سیستم و چاه موجب فرسایش شدید قطعات پمپ‌ها و اتصالات لوله‌های حفاری و دیگر ادوات خواهد شد.

■ تحمل بخشی از وزن لوله‌ها: با ادامه حفاری و عمیق تر شدن چاه، وزن لوله‌های حفاری و ادواتی که وارد چاه می‌شوند نیز افزایش یافته و به همین نسبت دکل نیز باید وزن بیشتری را تحمل کند؛ پس با توجه به قانون ارشمیدس به اندازه وزن سیال هم حجمشان از وزن لوله‌ها کاسته خواهد شد و این کاهش وزن لوله‌ها که توسط

سیال حفاری تحمل می‌شود به نفع جرتقیل‌هایی است که لوله‌ها را آویزان نگه می‌دارند، بدیهی است که هرچه وزن سیال بیشتر باشد لوله‌ها نیز سبک‌تر خواهند شد و به عبارتی وزن ظاهری آن‌ها کمتر خواهد شد.

■ کاهش دادن ضایعات وارد بر سازندهای مجاور و ارائه حداکثر اطلاعات پیرامون آن‌ها: هرچند به منظور حفاظت از سازندها، تثبیت کلیه خواص سیال حفاری در سطحی مطلوب یک ضرورت است؛ با این همه گاهی باید شرایط و خواص سیال را فدا کرد تا در عوض اطلاعات کافی پیرامون سازند حفاری شده به دست بیاید. به عنوان مثال افزودن نفت به سیال کارایی و ضریب تولید چاه را بهتر می‌کند اما اگر نفت در کار زمین شناس اختلال ایجاد کند باید از مصرف آن در سیال خودداری شود.

■ انتقال توان هیدرولیک پمپ‌ها به مته: هنگام برنامه‌ریزی یک سیال حفاری به هیدرولیک آن باید توجه کافی کرد؛ بدین معنی که سرعت گردش سیال حفاری و خواص فیزیکی آن و همچنین نوع ذرات جامد معلق در سیال و درصد آن‌ها را به شکلی باید در نظر گرفت که از کل توان پمپ‌ها تنها اندکی به شکل گرما تلف شود و بیشتر آن در مته و برای تمیزکردن چاه مصرف شود [۱۰]. استفاده از نانوذرات سبب بهبود خواص سیال حفاری می‌شود. طبق مطالعات انجام شده، استفاده از سیال حفاری برپایه نانوذرات علاوه بر بهبود خواص عملیات سبب کاهش هزینه‌ها به نحو چشمگیری می‌شود. در این حالت به این سیالات اصطلاحاً سیال حفاری بهبود یافته از طریق فناوری نانو (NEDF)^{۱۴} اطلاق می‌شود. اصولاً مزایای استفاده از سیال حفاری بهبود یافته از طریق فناوری نانو را می‌توان در چندین مورد برشمرد:

■ هزینه: استفاده از سیالات حفاری در حالت معمولی نیاز به اضافه کردن افزودنی‌هایی دارد که اغلب گران بوده مقادیر زیاد و شرایط خاصی را نیز می‌طلبند. در حالی که با استفاده از نانوذرات، کنترل پذیری سیال و میزان استفاده بهینه شده و هزینه‌ها نیز به نحو چشمگیری کاهش می‌یابد. همچنین با استفاده از این نوع سیالات پیشرفته، میزان برداشت از مخازنی که دارای شرایط خاص مثل عمق زیاد هستند افزایش می‌یابد و با کاهش زمان غیرمفيد در طول پروسه حفاری به دلیل رفع مشکلات، در زمان و هزینه‌ها صرفه جویی خواهد شد.

■ فنی: از لحاظ فناوری نیز با استفاده از NEDF می‌توان حفاری‌های نوین مانند افقی / جهت دار را نیز بهبود بخشید و حفاری زیر-تعادلی^{۱۵} را کنترل کرد.

■ رفع مشکل چسبندگی لوله‌ها: استفاده از NEDF در عملیات حفاری سبب شکل‌گیری یک نانولایه بر روی سطح رشته‌های حفاری شده و از این رو باعث کاهش تمایل چسبندگی گل کبره^{۱۶} به سطوح شده و مشکلات چسبندگی لوله‌ها را تا حدود زیادی کاهش می‌دهد.

■ رفع مشکل هرزروی گل حفاری^{۱۷}: در حین استفاده از گل حفاری مقداری از سیال آن به دلیل وجود کانال‌ها، شکست‌ها و غیره به درون سازند رفته و سیال رفته‌رفته سنگین‌تر شده و گردش آن در چاه و انتقال ذرات داخل چاه به سطح زمین سخت‌تر می‌شود؛ در حالی که معمولاً کنترل خاصی روی این مسئله وجود ندارد. با استفاده از نانوذرات، میزان توانایی حمل ذرات درون چاه توسط سیال بهینه شده و امکان تثبیت فشار و دانسیته سیال تحت شرایط متنوع عملیاتی به وجود می‌آید که در نهایت سبب کاهش هرزروی سیال می‌شود.

■ رفع مشکل فرسایش دیواره چاه: زمانی که سیال در چاه با موانع برخورد می‌کند ممکن است دچار چرخش شده و در این حین بدنه چاه را دچار فرسایش کند. به منظور کاهش این اثرات باید گران‌روی و سرعت سیال بهینه باشد که با استفاده از نانوذرات می‌توان به این هدف دست یافت. به گونه‌ای که مقایسه یک سیال پایه معمولی

و بدون افزودنی، یک سیال پایه دارای افزودنی و یک سیال پایه دارای نانوذرات (نانوسیال)، نشان دهنده این است که در نانوسیال، فرسایش دیواره چاه همزمان با افزایش گرانروی سیال و کاهش سرعت آن، کمترین مقدار را دارد.

■ کاهش نیروی کشش و گشتاور درون چاه: اغلب به دلیل نیروی اصطکاک میان رشته های حفاری و دیواره چاه، نیروهای کششی و گشتاوری مشکل سازی در چاه پدید می آید که سیالات حفاری معمولی قادر به کاهش آن ها نیستند. در حالی که NEDF یا نانوسیال ها به دلیل توانایی تشکیل لایه های نانومتری بر روی سطوح، قادر به کاهش مقاومت اصطکاک بین لوله ها و دیواره چاه هستند.

■ پایداری حرارتی: همان گونه که می دانیم گرانروی یک سیال حفاری و از آنجا توانایی آن در پیش روی درون چاه با افزایش دما کاهش می یابد. در حالی که سیال حفاری مناسب باید در شرایط دما و فشار بالای درون چاه، قابلیت ها و خواص خود را تا حد ممکن حفظ کند. در این حالت نانوذرات که دارای هدایت حرارتی فوق العاده هستند، در انواع، ترکیبات و اندازه های متنوع می توانند منجر به تولید نانوسیالاتی شوند که دارای گرانروی مشخص و از لحاظ دمایی پایدار هستند [۹]. استفاده از سیالات حفاری هوشمند دارای قابلیت کنترل مغناطیسی به صورت درجا^{۱۱}، می تواند سبب کنترل گرانروی سیال تحت یک میدان مغناطیسی شود. در این راستا با استفاده از نانوذرات مغناطیسی (اکسید آهن) و بنتونیت، می توان سیال حفاری بسیار مناسبی که دارای خواص ژئولوژیکی و انتقال حرارت چشمگیری است تولید کرد. در این حالت دو نوع سیال حفاری متفاوت مورد بررسی قرار گرفته اند: الف) سیالاتی بر پایه ذرات هیبریدی که در آن ها نانوذرات مغناطیسی در فضاهای بین لایه ای ذرات بنتونیت قرار گرفته اند. ب) سیالاتی بر پایه مخلوط های ساده نانوذرات و ذرات بنتونیت. بررسی مغناطیسی این سیالات نشان می دهد که گرانروی آن ها می تواند با افزایش شدت میدان مغناطیسی به طرز چشمگیری تحت تأثیر قرار گیرد. طبق مطالعات، زمانی که سیال مغناطیسی بر پایه ذرات بنتونیت و نانوذرات آهن تحت تأثیر یک میدان مغناطیسی قرار می گیرد، ذرات دچار بازاریابی شده، برهم کنش نیروهای دوربرد^{۱۵}، نیروهای جاذبه و اندروالس و سایر نیروها مجدداً به تعادل رسیده و امکان کنترل وسیعی روی پارمترهای مختلف از جمله گرانروی سیال، دانسیته و هدایت حرارتی آن به وجود می آید [۱۱].

استفاده از نانوکامپوزیت ها در ساختار سیال حفاری

می توان با استفاده از نانوکامپوزیت های گروماست^{۱۶} و افزودن آن ها به سیالاتی مانند سیال حفاری از هرزروی سیال به درون سازند جلوگیری کرده و نیز مقاومت دیواره چاه را نیز افزایش داد. هرزروی سیال به اصطلاح به معنای تمایل فاز مایع سیال حفاری جهت عبور کردن از میان فیلتر کیک تشکیل شده و ورود به داخل سازند است. در این حالت اغلب هرزروی پایین و شکل گیری لایه نازکی از فیلتر کیک که دارای تراوایی کمی است از نشانه های عملکرد مثبت یک سیال حفاری است. این نوع افزودنی های سیال حفاری را اغلب به صورت چندکاره انتخاب می کنند. برای مثال به گونه ای که هم هرزروی و هم افزایش مقاومت دیواره چاه بهینه شود. ذرات نانوکامپوزیتی گروماست مورد استفاده در این روش می توانند دارای شکل های متفاوت پودری، گلوله ای، دانه ای، فیبرهای کوتاه، میله ای، سیلندری و غیره و نیز دارای اندازه های متنوع باشند. این گونه نانوذرات مقاومت حرارتی و تجزیه ای و سختی مناسبی در شرایط نامناسب از خود نشان می دهند. همین

خواص منحصربه‌فرد آن‌ها را تبدیل به مواد مناسبی برای استفاده در شرایطی با دما و فشار بالا می‌گرداند. این ذرات می‌توانند دارای وزن مخصوصی بین ۷۵/۰ تا ۱/۷۵ بوده و با افزودنی‌های دیگری نظیر کلسیم‌کربنات، لیتیم‌کربنات، سنگ‌آهک، سنگ مرمر و برخی اکسیدهای فلزی مورد استفاده قرار گیرند [۱۲].

استفاده از فناوری نانو برای بهینه‌کردن عملیات مشبک‌کاری

مشبک‌کاری^{۱۷}: فرایندی در حفاری است، که جهت سوراخ‌کردن لوله جداري برای عبور جریان سیال، از مخزن نفتی به درون ستون چاه استفاده می‌شود [۱۳]. عملیات مشبک‌کاری در چاه‌های نفت و گاز جزء عملیات تکمیلی چاه محسوب می‌شود. روش‌های متفاوتی برای مشبک‌کاری وجود دارد که استفاده از آن‌ها به خصوصیات سنگ مخزن، جنس casing درون چاه، فاصله دستگاه تا دیواره چاه و... بستگی دارد. در حال حاضر چندین روش مختلف برای این کار مورد استفاده قرار می‌گیرد که روش‌های متداول آن هزینه‌بر و در عین حال خطرناک هستند و علاوه بر احتمال آسیب به casing و سازند خطرات انسانی ناشی از حمل و استفاده از مواد منفجره و نیز اسیدها همیشه وجود دارد. استفاده از فناوری‌های روز همچون نانو در این بخش نیز می‌تواند به کاهش هزینه‌ها و خطرات کمک کند. استفاده از مواد نانو ساختار به جای مواد مورد استفاده فعلی و استفاده از لیزرهای پرتوان به جای مواد منفجره بخشی از این موارد است.

جنس مواد به کار رفته در ابزار مشبک‌کاری اهمیت حیاتی در موفقیت این عملیات دارند. در این میان نانومواد می‌توانند مفید واقع شوند، به عنوان مثال گلوله‌هایی که در عملیات مشبک‌کاری استفاده می‌شوند فلزی‌اند، لذا بعد از مشبک‌کاری این گلوله‌های فلزی تبدیل به نخاله می‌شوند و برای خروج این نخاله‌ها نیاز به اسیدکاری چاه خواهد بود که هزینه زیادی در بر دارد. اما با استفاده از بعضی مواد نانو ساختار که پس از عملیات مشبک‌کاری و به مرور زمان از بین می‌روند دیگر نخاله‌ای وجود نخواهد داشت و عملیات اسیدکاری نیز منتفی می‌شود. همچنین استفاده از نانוגلوله‌هایی با ترکیب وزنی ۹۰ درصد تنگستن و ۱۰ درصد پودر چسب که به صورت هرمی شکل ساخته شده‌اند برای مشبک‌کاری لوله‌های جداري بسیار مطلوب به نظر می‌رسند. این مواد ساختار کریستالی دارند و اندازه دانه‌هایشان بین ۲۵ نانومتر تا ۱ میکرون است.

همچنین به کمک نانوپوشش‌ها، فناوری‌های پوشش‌دهی به سمت کنترل بهتر اصطکاک و سایش حرکت می‌کنند. برخی از این پوشش‌ها به دلیل جذب سولفور و فسفر باعث کاهش گران‌روی شده و خواص روان‌روی بهتری را در سیال به وجود می‌آورد. فناوری حوزه نانو منجر به تولید نانوکامپوزیت‌ها و نانوپوشش‌هایی شده که ضمن بالا بردن مقاومت در برابر خوردگی از اصطکاک هم جلوگیری می‌کنند. بنابراین در قسمتی که باید مشبک‌کاری انجام شود می‌توان از این پوشش‌ها استفاده کرد. به طور مثال در سال‌های اخیر گونه‌ای از پوشش‌های نانو ساختار که از فازهای فلزی و سرامیکی تشکیل شده‌اند استفاده شده‌است. این پوشش‌ها به علت نانو ساختار بودنشان و هم‌وزنیته یکسان در طول پوشش، به طور قابل توجهی برای casing تست مورد مشبک‌کاری کاربردی‌اند. این پوشش‌ها علاوه بر سختی بالا دارای ضریب اصطکاک پایینی هستند و خواص هدایت الکتریکی و حرارتی بالایی دارند، سختی آن‌ها در مقابل ضربات و آسیب‌های احتمالی بر اثر مشبک‌کاری در حدود ۴۰ تا ۶۰ گیگا پاسکال است و ضریب اصطکاک حدود ۰/۳ که در مقایسه با سطح فولاد قابلیت فوق‌العاده‌ای دارد [۱۴].

پروژه ProMine: مثالی عملیاتی از کاربرد گسترده فناوری نانو در معدن

پروژه ProMine به منظور کاهش وابستگی اتحادیه اروپا به فلزات وارداتی و افزایش قابلیت استخراج به شرکت ها کمک خواهد کرد تا تولید مواد معدنی جدید مبتنی بر فناوری نانو را توسعه دهند. مقادیر زیادی از ذخایر معدنی غیر قابل بهره برداری در سنگ های تشکیل شده در سراسر اتحادیه اروپا وجود دارد، که ارزش تقریبی آن در حدود ۱۰۰ میلیارد یورو و محل این ذخایر در حد فاصل بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متری زیر سطح زمین است. این که آیا این مواد استفاده نشده، مورد بهره برداری قرار می گیرند یا نه و همچنین زمان انجام بهره برداری، به میزان دسترسی فناوری های جدید اکتشاف و استخراج معادن و روند قیمت های جهانی مواد بستگی دارد. توسعه یک پایگاه داده معدنی مبتنی بر GIS در سراسر اروپا، یکی از اهداف اصلی پروژه Pro-Mine است. اهداف کلیدی دیگر این پروژه عبارت اند از ارزیابی مقادیر دفع زباله قابل استفاده و مواد معدنی و فلزات استراتژیک. این پروژه همچنین بر توسعه روش های جدید بهره برداری زیست محیطی و محصولات جدید معدنی مبتنی بر استفاده از فناوری پیشرفته تمرکز خواهد کرد. فناوری نانو در این حوزه نقش مرکزی ایفا خواهد کرد. ProMine با بودجه ای بیش از ۱۷ میلیون یورو، یکی از بزرگترین پروژه های چارچوب هفتم اتحادیه اروپا است که دانش نانو و نانو مواد را پوشش می دهد و یکی از موارد معدودی است که طی آن اتحادیه اروپا از معادن و صنایع فلزی حمایت می کند.

ProMine شامل سه گروه و شش بسته کاری است:

■ گروه ۱- ارزیابی منابع: هدف از ارزیابی منابع این است که اطمینان حاصل شود، تمام منابع معدنی بالقوه (شناخته شده و ضمنی) در اتحادیه اروپا کاملاً مستند شود. گروه ۱ شامل دو بسته کاری است: الف) مدل سازی پتانسیل منابع معدنی زمین شناسی در سراسر اروپا ب) مدل سازی 4D از کمربندهای معدنی.

■ گروه ۲- محصولات جدید: در این گروه، فناوری های جدید برای بهبود تولید صنایع استخراجی اروپا ایجاد خواهد شد و پنج محصول جدید با ارزش، بر پایه مواد اولیه نانومقیاس در بازار عرضه می شود. محصولات تحویل شده عبارت اند از: ۱) پودر نانورنیوم برای آلیاژهای فوق العاده مقاوم در صنعت هواپیما و هوافضا، ۲) نانوسیلیکا برای صنایع ساخت و ساز و کاتالیزور، ۳) پودرهای نانو برای پوشش کاغذ، ۴) نانو اکسی سولفات آهن و هیدروکسی سولفات آهن برای سرامیک ۵) الیاف فلزی برای صنایع Hi-Tech. گروه ۲ شامل دو بسته کاری است: الف) نانو محصولات جدید به دست آمده از بهره برداری معادن و ب) روش های تولید فلزات سازگار با محیط زیست و استفاده از مواد ثانویه.

■ گروه ۳- ارزیابی ثبات و استفاده از دانش: در این گروه، تأثیر کلی پروژه ProMine ارزیابی و تقویت خواهد شد. این گروه به بهره وری دانش و مدیریت نتایج فنی و غیر فنی از ProMine می پردازد. گروه های هدف، جامعه علمی و مقامات دولتی در سطح محلی، منطقه ای و اتحادیه اروپا و ذی نفعان اروپایی هستند. ضروری است که نانو محصولات جدید پایدار، با اثر زیست محیطی پایین، مشخص شود. مسائل زیست محیطی و تأثیرات اجتماعی و اقتصادی مرتبط با توسعه این محصولات جدید ارزیابی و تعیین شده همچنین تجزیه و تحلیل چرخه عمر برای محصولات جدید انجام خواهد شد. گروه ۳ شامل دو بسته کاری است: الف) ارزیابی پایداری و تأثیرات محیطی و ب) مدیریت دانش و بهره برداری.

یکی از مصادیق کاربردی ProMine، استفاده از فناوری نانو در صنعت بتن و ایفای نقشی جهانی در



صنعت بتن و مصالح ساختمانی به عنوان بخشی از پروژه ProMine است. بهبود خواص بتن با کمک نانومواد مشتق شده از سنگ های زائد معادن به منظور افزایش تخلخل و انعطاف پذیری، باعث می شود بتن قوی تر برای همان مقدار ورودی و با قدرت مشابه با استفاده از ورودی کمتر تولید شود. هزینه تولید این نوع بتن، براساس استفاده از افزودنی های سنتزی، بسیار گران است. اما با استفاده از زباله های معدن، امکان دستیابی به همان کیفیت و قدرت و با قیمت بسیار ارزان تر وجود دارد [۱۵].

پتنت ها و اختراعات مختلفی در مورد کاربرد مستقیم و یا غیرمستقیم فناوری نانو در بخش های مختلف صنعت معدن به ثبت رسیده است و این مسئله نشان دهنده اهمیت این موضوع در سطح جهان است. در جدول ۲ چند نمونه از این پتنت ها آورده شده است.

جدول ۲- محصولات خارجی فناوری نانو مرتبط با صنعت معدن

شماره پتنت	Title	Original Assignee	Inventor	چکیده
US7419516B1	USE OF OXIDE NANOPARTICLES IN SOOT REDUCTION	Petroleum and other fuel additives	Sudipta Seal et al.	تهیه نانوذرات اکسید فلزات خاکی نادر به روش مایسل معکوس و نقش مؤثر آن ها در افزایش بهره وری موتور و مصرف کمتر سوخت در هرمایل پیمایش وسایل نقلیه به دلیل دارا بودن نسبت حجم به سطح زیاد و توانایی بالا در جذب اکسیژن در سطح هنگام احتراق
US7632788B2	NANOSPHERE ADDITIVES AND LUBRICANT FORMULATIONS CONTAINING THE NANOSPHERE ADDITIVES	Methods for friction modification and wear reduction using fully formulated lubricants containing nanoparticles	Tze-chi Jao et al.	کاهش ضریب اصطکاک و پوشش بین سطوح روان کاری شده به کمک تولید و استفاده از نانوذرات کروی محلول در روغن
US7887604B1	MICROEMULSION (NANOTECHNOLOGY) FUEL ADDITIVE COMPOSITION	There is another pathway for water to enter the Combustion chamber.	Richard H. Hicks et al.	میکروامولسیون تهیه شده به کمک فناوری نانو به عنوان افزودنی سوخت سبب بهبود بهره وری سوخت و کاهش انتشار گازهای خروجی ناشی از احتراق داخلی ماشین آلات، در صورت استفاده از دوز مؤثر از حدود ۲۰ تا ۵۰۰ ppm، می شود.

ادامه جدول ۲- محصولات خارجی فناوری نانو مرتبط با صنعت معدن

شماره پتنت	Title	Original Assignee	Inventor	چکیده
US7994105B2	LUBRICANT HAVING NANOPARTICLES AND MICROPARTICLES TO ENHANCE FUEL EFFICIENCY, AND A LASER SYNTHESIS METHOD TO CREATE DISPERSED NANOPARTICLES		Jagdish Narayan	ترکیبی از نانو و میکروذرات در هنگام استفاده در روغن موتور می تواند تغییرات مورفولوژیکی سطح مانند صاف کردن و صیقل دادن سطوح سایش موثر، بهبود ضریب اصطکاک و افزایش بهره وری سوخت تا ۳۵٪ در انواع وسیله نقلیه تحت شرایط واقعی و کاهش انتشار آگزوز تا ۹۰٪ را موجب شود. نانوذرات از یک طبقه از مواد سخت انتخاب می شوند مانند آلومینا، سیلیکا و... میکروذرات از یک طبقه از مواد ساختاری لایه ای، مانند گرافیت و... انتخاب می شوند. نسبت نانو به میکرو در ترکیب پیشنهاد شده با مشخصات موتور و شرایط رانندگی متفاوت است.
US8182555B2	NANO-SIZED ZINC OXIDE PARTICLES FOR FUEL		Richard W. Tock et al.	ترکیب این سوخت شامل سوخت مایع مقدار خاصی از نانوذرات اکسید روی است. اندازه ذرات اکسید روی می تواند برای بهبود احتراق و یا افزایش اکسیداسیون شیمیایی کاتالیزوری سوخت استفاده شود.
US8222190B2	NANO GRAPHENE-MODIFIED LUBRICANT		Aruna Zhamu, Bor Z. Jang,	ترکیبات روان کاری با ویژگی های روان کننده بهبود یافته شامل: (ا) یک مایع روان کننده؛ و (ب) پلاکت های نانوغرافنی (NGPs) در مایع پخش شده هستند. در مقایسه روان کارهای تولید شده با استفاده از نانوذرات گرافیت یا نانولوله های کربن، روغن های اصلاح شده NGP دارای هدایت حرارتی بسیار بالا، قابلیت اصطکاک، قابلیت ضدسایش و پایداری ویسکوزیته بالاتری هستند.

ادامه جدول ۲- محصولات خارجی فناوری نانو مرتبط با صنعت معدن

شماره پتنت	Title	Original Assignee	Inventor	چکیده
US58349774B2	PREPARATION METHOD OF LUBRICATING OIL AND LUBRICATING OIL PRODUCED THEREBY	Preparation method of lubricating oil and lubricating oil produced thereby.	Cheol Choi et al.	روش تهیه نانوروان کارهای روغنی مخلوط شامل مراحل زیر است: الف) تهیه راه حل ترکیبی با افزودن و مخلوط کردن یک نانوپودر و یک پراکنده کننده به یک حلال و پودر کردن نانوپودر به سطح ذرات اولیه؛ ب) تغییر سطح نانوپودر؛ ج) جایگزین حلال محلول ترکیبی به یک روغن روان کننده و د) مخلوط کردن حداقل دو روغن نانوروغن آماده سازی با استفاده از نانوپودرهای مختلف، به طریق فیزیکی و شیمیایی.
US9494023B2	NANO-SENSORS FOR OIL AND GAS RESERVOIR CHARACTERIZATION	Novel water dispersed, nano-sensor composition based on. InP/ ZnS quantum dots ("ODs) and atomic silver clusters	Daniel H. Turkenburg et al.	چالش توسعه کامل بازیابی ثانویه مخازن نفت، کسب اطلاعات کافی در مورد شرایط مخزن است. این اختراع نانوحسگرهای جدید جهت تشخیص ترکیب پراکندگی آب، بر اساس نقاط کوانتومی InP / ZnS (ODs) و شاخه های نقره اتمی ارائه می دهد که همراه با ویژگی های اختصاصی حسگر، تشعشعات قابل رؤیتی را نشان می دهد. نانوحسگرهای QD و نقره در شرایط مخزن شبیه سازی شده برای تعیین قابلیت های انتخاب شده خود در این شرایط مخزن مورد آزمایش قرار گرفتند.
US9574155B2	LUBRICANT WITH NANODAMONDS AND METHOD OF MAKING THE SAME	Lubrication, and more specifically to anti-wear lubricants, and in particular, lubricant compositions that include a dispersion of nano diamonds.	Michael Markovitz et al.	ترکیبی برای روان کار و روش ساخت آن ارائه شده است. ترکیب روان کار شامل مایع روان کاری، آب و نانوذرات کربنی شامل نانوالماس است. روش شامل مخلوط کردن ترکیب روان کاری به وسیله روش ultrasonic است.

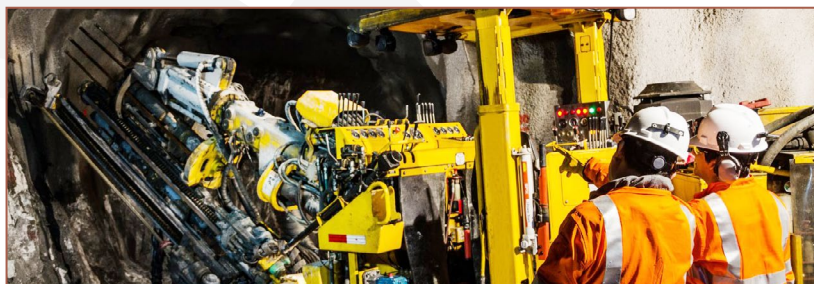
ادامه جدول ۲- محصولات خارجی فناوری نانو مرتبط با صنعت معدن

شماره پتنت	Title	Original Assignee	Inventor	چکیده
US20140038862A1	ANT-WEAR PERFORMANCE OF LUBRICANTS USING CARBON NANO PLATELETS	This disclosure relates to lubricating engines using formulated lubricating oils to reduce wear and improve engine fuel efficiency.	Tabas-sumul Haque et al.	ارائه یک روغن موتور روان کار و یک روش بهبود حفاظت از سایش در روان کار موتور با استفاده از این روغن روان کاری است. این روش شامل استفاده از روغن به عنوان یک روغن فرموله شده شامل روغن پایه نفتی به عنوان یک جزء اصلی، افزودنی ضدسایش به عنوان اولین جزء و نانولایه های کربن به عنوان جزء دوم است.
US20160060563A1	ENGINE OIL ADDITIVE COMPOSITION COMPRISING NANODIAMOND AND METHOD FOR PREPARING SAME	The present invention relates to an engine oil additive composition, and a method for preparing the same, and in particular to an engine oil additive composition wherein nano-diamond is enough dispersed in oil.	Hyun Tae KIM	این اختراع مربوط به یک ترکیب افزودنی روغن موتور است که در آن با استفاده از ترکیبات نانوالماس اصلاح شده با سطح آب گریز قادر است به مدت طولانی در روغن به صورت پراکنده باقی بماند. براساس این اختراع، نانوالماس به مدت طولانی در روغن موتور پراکنده می شود، در نتیجه کاهش اصطکاک و سایش دستگاه مانند موتور و در نتیجه بهبود بهره وری سوخت را موجب می شود.
WO2007103497A2	GEAR OIL COMPOSITION CONTAINING NANOMATERIAL	The present invention relates to a novel use of nanomaterials as a viscosity modifier and thermal conductivity improver for gear oil and other lubricating oil compositions	Frances Lockwood et al.	این اختراع مربوط به استفاده جدید از نانومواد به عنوان یک اصلاح کننده ویسکوزیته و بهبود رسانندگی حرارتی برای روغن دنده و سایر ترکیبات روغن کاری است. روغن دنده این اختراع شاخص ویسکوزیته بالاتر، پایداری برشی بالاتر و هدایت گرمایی بهبود یافته نسبت به روغن دنده های فعلی است. استفاده از نانوذرات نیز ضریب اصطکاک را کاهش می دهد.

ادامه جدول ۲. محصولات خارجی فناوری نانو مرتبط با صنعت معدن

شماره پتنت	Title	Original Assignee	Inventor	چکیده
WO2008153593A1	NANOMATERIAL-BASED GAS SENSORS	The present invention relates to gas sensors, and more particularly to electrochemically functionalized nanomaterial-based gas sensors	Marc Deshusses et al.	یک دستگاه سنجش گاز (نانوحسگر) حاوی بستری با حداقل یک جفت الکتروود هادی است که به وسیله یک شکاف از هم فاصله گرفته اند و یک نانومواد نیمه رسانای الکتروشیمیایی کاربردی، در شکاف بین الکتروودها قرار گرفته تا یک شبکه نانوساختار را تشکیل دهد.
WO201024477A1	The mixture for the gasoline saving by nano-technology	Cost reduction, fuel economy, environmental protection and automobile smoke decrement	Tai Weon Choi et al	این فناوری باعث کاهش مصرف سوخت، کاهش دود، افزایش قدرت خودرو و حفاظت از محیط زیست می شود. فناوری نانو در کمک به صرفه جویی در انرژی کاربرد دارد.

خلاصه مدیریتی



در پایان می توان گفت، جامعه معدنی برای پیش برد اهداف خود نیازمند هم سویی با موج سریع انقلاب فناوری نانو است. این تفکر به تولید محصولات بیشتر، با کیفیت بالاتر، بهبود بهره وری ماشین آلات، کاهش آسیب ابزار آلات حفاری و افزایش عمر آن ها، استخراج اصولی و کامل معادن کشف شده و در نهایت بهبود و رونق فضای کسب و کار در حوزه معدن منجر خواهد شد. لذا لازم است تا ضمن معرفی هر چه بیشتر این فناوری جدید به معدن کاران، صنایع معدنی و فعالان این عرصه و همچنین حمایت از تولید کنندگان داخلی حوزه فناوری نانو، شرایط جهت استفاده از این فناوری به منظور دسترسی به اهداف این بخش عظیم صنعتی در ارتقای سطح رفاه هم وطنان و حضور آن ها در بازارهای رقابتی جهانی تسهیل شود.

پی‌نوشت‌ها

- ۱ Super hard
- ۲ Nano grade
- ۳ Super lattice
- ۴ Thin films
- ۵ Carbodeon
- ۶ PTFE
- ۷ Diamond Like Carbon
- ۸ Cake
- ۹ Nano Enhanced Drilling Fluids
- ۱۰ Under-balanced drilling
- ۱۱ Pipe sticking
- ۱۲ Mud cake
- ۱۳ Lost circulation
- ۱۴ In-situ
- ۱۵ Long-range
- ۱۶ Thermoset
- ۱۷ Perforation

مراجع

- ۱ <https://tamadkala.com>
- ۲ <http://asremesonline.ir>
- ۳ <https://article.tebyan.net>
- ۴ <http://nanonews.ir>
- ۵ <http://www.opex.ir>
- ۶ جلیلیان تبار، ف. (۱۳۹۰، آبان). کاربردهای فناوری نانودر ماشین‌آلات کشاورزی. مقاله ارائه شده در اولین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه.
- ۷ <https://www.tabirestan.com>
- ۸ <http://www.iranminehouse.ir>
- ۹ Abdo, J., Haneef, M.D. (2010). Nanoparticles: Promising Solution to Overcome Stern Drilling Problems, NSTI-Nanotech., 21(3), 635-638.
- ۱۰ <https://shayankar.ir>
- ۱۱ <http://www.aade.org>
- ۱۲ Bicerano, J., U.S. Patent, US0029878A1, 2009-1-29.
- ۱۳ <https://fa.wikipedia.org>
- ۱۴ <https://www.iranspe.com>
- ۱۵ Tompuri, V. (2009). Developing new mineral-based nano products through Pro-Mine. GEO forum, 3, 4-6.