

استفاده از نانو اکسید گرافن در تولید پوشش‌های ضد خوردگی

سال انتشار: ۱۴۰۰



شناسنامه

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

گروه رصد و تولید محتوای بخش ترویج صنعتی

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهرویژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قزابلو report@nano.ir	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
صندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir www.INDnano.ir
پست الکترونیک:	IND@nano.ir	اینستاگرام نانو و صنعت:	@INDnano.ir

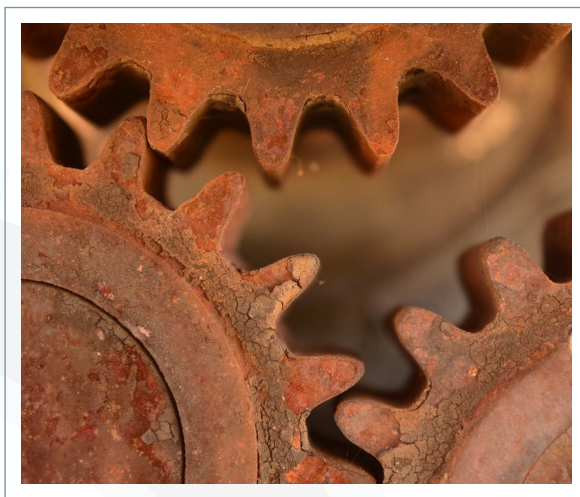
فهرست مطالب

۳	مقدمه
۳	اثرات اقتصادی خوردگی
۴	آسیب های ناشی از خوردگی در صنایع
۶	عوامل مؤثر بر سرعت خوردگی
۶	تأثیر فناوری نانو در جلوگیری از خوردگی
۷	اکسید گرافن
۹	پوشش دهی با اکسید گرافن
۹	پوشش های ضد خوردگی اکسید گرافن در بازار داخل کشور
۱۰	پوشش های ضد خوردگی گرافن در بازار خارج از کشور
۱۰	خلاصه

مقدمه

خوردگی فرایندی است که باعث تبدیل یک فلز فراوری شده به یک ساختار شیمیایی پایدارتر مانند اکسید، هیدروکسید یا سولفید می‌شود. این فرایند باعث تخریب تدریجی مواد در اثر واکنش‌های شیمیایی یا الکتروشیمیایی با محیط پیرامون آن‌ها می‌شود. [۱]

خوردگی مشکلی بزرگ در صنعت محسوب می‌شود که فرایند آن با توجه به شرایط آب و هوایی متفاوت است و می‌تواند منجر به شکست مواد و یک فاجعه شود. پلی را تصور کنید که اسکلت آن در اثر خوردگی ضعیف شده و به یک باره بشکند. خوردگی می‌تواند باعث تحمیل هزینه‌های فراوانی برای نگهداری دستگاه‌ها و ماشین‌آلات شود. [۱] در کشور ایران به دلیل ارتباط آن در شمال و جنوب با دریا، خوردگی مشکلی مهم به حساب می‌آید. بسیاری از تأسیسات در نواحی جنوبی کشور، در اثر خوردگی آسیب فراوانی دیده و هزینه زیادی را متحمل می‌شوند.



شکل ۱- چرخ دنده‌های زنگ‌زده

اثرات اقتصادی خوردگی

بر اساس تخمین‌ها، هزینه‌ای که خوردگی سالانه در جهان به صنایع و کشورها تحمیل می‌کند، چیزی حدود ۲۵۰۰ میلیارد دلار است! (برای مقایسه لازم است اشاره کنیم که درآمد نفتی ایران در سال‌های ۹۸ و ۹۹، ۲۰ میلیارد دلار بوده است [۵])، با توجه به پیشرفت‌های زیادی که در زمینه خوردگی صورت گرفته، جامعه جهانی تاکنون تنها توانسته است که چیزی حدود ۱۵ تا ۳۵ درصد هزینه‌های مربوط به خوردگی را کاهش دهد. [۲]

سالانه حدود ۴٫۵ درصد از تولید ناخالص داخلی ایران، تنها برای جبران هزینه‌های ناشی از خوردگی صرف می‌شود. [۳] در ادامه به آسبایی که خوردگی ممکن است به صنایع مختلف وارد کند، پرداخته خواهد شد:



شکل ۲- مدار الکترونیکی آسیب دیده در اثر خوردگی

آسیب های ناشی از خوردگی در صنایع

آسیب های خوردگی تنها به برخی صنایع خاص محدود نمی شوند و عملاً هر صنعتی را که در آن از فلزات استفاده می شود، درگیر می کند. در ادامه به برخی از این صنایع اشاره می شود.

■ آسیب خوردگی برای صنعت الکترونیک

خوردگی در تجهیزات الکترونیکی از علل مهم خراب شدن این دستگاه هاست. معمولاً مشکلات ناشی از خوردگی به سادگی قابل شناسایی نیستند. در خیلی از موارد نیز ممکن است که دستگاه غیر قابل تعمیر و استفاده مجدد شود.

در مدارهای الکتریکی به دلیل نازک بودن اتصالات، خوردگی تأثیر بیشتری از قبل پیدا می کند. همچنین سطحی که دچار خوردگی شده باشد، رسانایی خود را تا حد زیادی از دست داده و به همین دلیل نیز می تواند به سرعت باعث خراب شدن و کار نکردن دستگاه شود. خوردگی در تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی تا حدود زیادی به شرایط نگهداری و همچنین شرایط استفاده بستگی دارد. [۴]

■ اثر خوردگی بر صنایع پتروشیمی و نفت و گاز

جالب این است که سالانه در کشور ما ایران، یکی از مهم ترین صنایعی که تحت تأثیر مستقیم خوردگی است، صنعت پتروشیمی است. صنایع پتروشیمی و شیمیایی، به دلیل اینکه در تماس مستقیم با مواد و بخارات خورنده هستند، شانس خوردگی زیادی دارند. یکی دیگر از دلایل خوردگی در سیستم های پتروشیمی، سیستم های خنک کننده هستند. [۶]



شکل ۳- خوردگی در لوله های نفت

در ایران به دلیل ترش بودن نفت استخراجی، خوردگی اهمیت بیشتری نیز پیدا می‌کند. نفت ایران نفتی ترش است که به دلیل داشتن سولفور، پتانسیل خوردگی در آن زیاد است. بیش از این به خوردگی صنایع نفت و گاز نمی‌پردازیم اما همین کافیست که بدانیم خوردگی از اساسی‌ترین مشکلات صنایع نفت و گاز در تمام جهان است.

■ اثر خوردگی بر صنعت آب

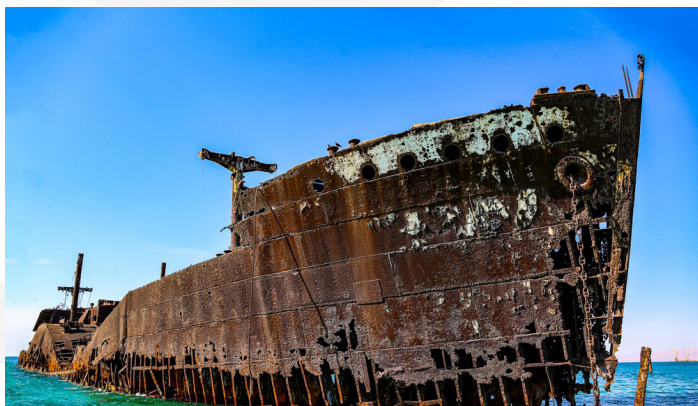
صنایع آب و فاضلاب به دلیل شرایط مرطوبی که دارند، پتانسیل خوردگی در آن‌ها زیاد است. همچنین لوله‌کشی‌های آب در کشورها عمدتاً طولانی و پیچیده هستند. این لوله‌کشی‌ها زیر زمین بوده و از آنجایی که نمی‌توان رصد خوبی نسبت به وضعیت همگی آن‌ها داشت، خیلی از اوقات تشخیص خوردگی آن‌ها سخت خواهد بود. این صنعت نیز سالانه آسیب زیادی از خوردگی می‌بیند.

■ اثر خوردگی بر صنایع دارویی

در این صنایع نیز به دلیل استفاده از مواد مختلف، خوردگی تجهیزات نسبتاً بالاست. (هرچند که تجهیزات آن‌ها از بهترین مواد مقاوم به خوردگی هستند) یکی از محل‌های معمول خوردگی در این صنعت، مخازن هستند.

■ اثر خوردگی بر صنعت حمل‌ونقل

صنعت حمل‌ونقل و به‌ویژه حمل‌ونقل دریایی نیز به دلیل استفاده فراوان از فلزات، بسیار تحت تأثیر خوردگی است. یکی از فاکتورهای تعیین‌کننده عمر مفید کشتی‌ها، خوردگی بدنه، اجزا و تجهیزات آن‌هاست. آب شور دریاها سرعت خوردگی را بسیار افزایش داده و منجر به آسیب‌های فراوان می‌شود.



➤ شکل ۴- خوردگی در کشتی‌های فلزی

عوامل مؤثر بر سرعت خوردگی

میزان و سرعت خوردگی می توانند تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار بگیرند. در پژوهش های مختلف به این عوامل پرداخته شده که مهم ترین این عوامل در ادامه لیست شده اند: [۷]

■ میزان آب و رطوبت

■ سرعت و نوع جریان (به ویژه در لوله های انتقال اهمیت دارد)

■ وجود ترکیباتی مانند اکسیژن، CO_2 و H_2S

■ خوردگی های قبلی موجود

■ دمای محیط یا دمای کاری

بررسی تأثیر هر کدام از موارد فوق در سیستم های مختلف در حوصله این متن نمی گنجد. تنها نکته ای که حائز اهمیت است، نیاز به محافظت در برابر در خوردگی در محیط هایی است که این شرایط باعث تسریع خوردگی می شوند.

تأثیر فناوری نانو در جلوگیری از خوردگی

در چند دهه اخیر، با ورود فناوری نانو و صنعتی شدن محصولات آن، در پیشگیری از خوردگی نیز رویکردهای جدیدی معرفی شدند. نانومواد مختلفی مانند نانومواد بر پایه فلز روی معرفی شدند که می توانند خواص مربوط خوردگی را بهبود ببخشند. عمده این مواد به صورت پوشش مطرح شده اند. نانوذرات حاوی روی و همچنین نانوذرات بر پایه گرافن از نانومواد هستند که برای پیشگیری از خوردگی استفاده می شوند. اکسید گرافن یکی از نانومواد است که تأثیر آن بر جلوگیری از خوردگی نشان داده شده است. در حال حاضر از پوشش های آلومین و پلیمری برای جلوگیری از خوردگی استفاده می شود. این پوشش ها یک سد فیزیکی در برابر عوامل خورنده ایجاد کرده و جلوی وارد شدن آسیب به ماده را می گیرند؛ اما حتی این پوشش ها نیز به دلیل داشتن برخی نقوص ساختاری، ممکن است در برابر عوامل خورنده ای مانند یون های کلر ضعیف تر عمل کرده و ممکن است این عوامل از پوشش عبور کرده، به ماده رسیده و باعث خوردگی شوند.

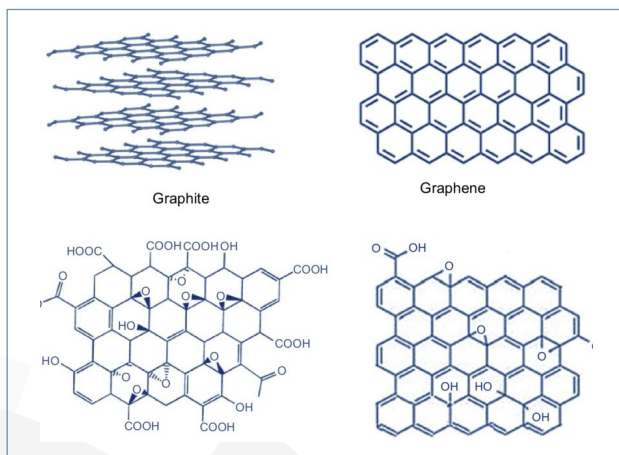
اکسید گرافن به دلیل سطح ویژه بالایی که دارد، با اضافه شدن به این پوشش های پلیمری یا رنگ ها، می تواند جلوی نفوذ این عوامل خورنده را نیز بگیرد و تأثیر بسیار زیادی در افزایش طول عمر پوشش های ضد خوردگی داشته باشد. به همین دلیل نیز مدتی است که برخی شرکت ها به استفاده از نانواکسید گرافن در پوشش های ضد خوردگی روی آورده اند.



شکل ۵- ساختار
نانومواد گرافنی

اکسید گرافن

کربن یکی از فراوان ترین عناصر کره زمین است که امروزه کاربرد فراوانی در صنایع مختلف دارد. کربن خالص به شکل های مختلفی در طبیعت موجود است که معروف ترین های آن ها الماس و گرافیت هستند. گرافیت ساختاری سه بعدی اما در عین حال لایه لایه دارد. در تصویر بعدی ساختار سه بعدی گرافیت نشان داده شده است. گرافیت ساختار لایه ای دارد که از لایه های گرافن تشکیل شده اند.



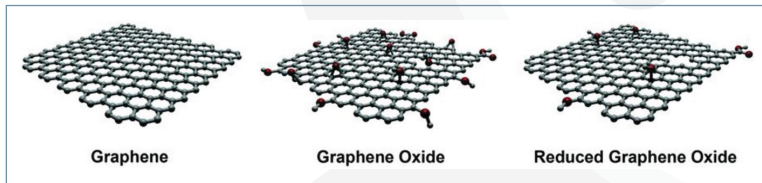
شکل ۶- تفاوت ساختار گرافیت و گرافن. (همان طور که در شکل دیده می شود، گرافیت از لایه های گرافنی تشکیل شده است)

گرافن یکی از آلوتروپ های کربن است که در قرن اخیر کشف شده است و به دلیل خواص خاصی که دارد، از جمله مساحت سطح ویژه بالا، خواص مکانیکی، الکتریکی و حرارتی بسیار خوب، جامعه علمی را بسیار به وجد آورد و باعث توسعه و پیشرفت های زیادی در مواد کامپوزیتی شد. استفاده از گرافن در بررسی های تجربی محدود است، زیرا هزینه های ناشی از روش های تولید گرافن بالاست، همچنین حلالیت کمی دارد و هنگام استفاده در فرمولاسیون های کامپوزیت ها، تمایل زیادی به کلوخه شدن دارد؛ بنابراین اکسید گرافن به جایگزین مناسبی برای گرافن تبدیل شد. اکسید گرافن دارای مقاومت مکانیکی، پایداری شیمیایی و حرارتی خیلی خوبی است. اکسید گرافن یک نانوساختار نویدبخش در کاربردهای سدی است. این ماده به دلیل تراکم زیاد الکترون ها در ساختارش، اجازه نفوذ اتم ها یا ترکیبات کوچک را نمی دهد. [۸]

گرافن ساختاری شش ضلعی دارد که در آن هراتم کربن با ۳ اتم کربن دیگر پیوند دارد. از آنجایی که کربن یک اتم چهار ظرفیتی است، یک الکترون برای پیوند در سطح صفحات گرافن موجود خواهد ماند که قابلیت پیوند دارد. با پیوند این الکترون ها با اکسیژن، گرافن اکسید ایجاد می شود.

گرافن اکسید در واقع صفحات کربنی هستند. این صفحات سطح ویژه بسیار بالایی دارند که به دلیل همین ویژگی، می توانند از نفوذ مواد خورنده به سطح ماده یا فلز جلوگیری کنند. اکسید گرافن عمدتاً همین ویژگی،

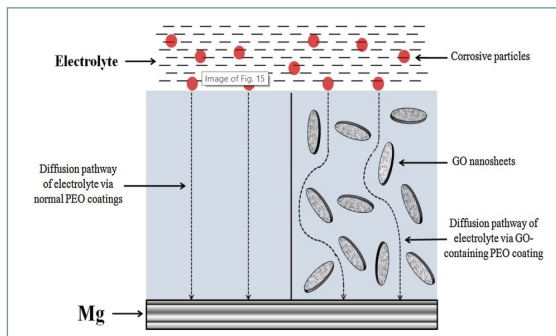
می توانند از نفوذ مواد خورنده به سطح ماده یا فلز جلوگیری کنند. اکسید گرافن عمدتاً در کاربرد جلوگیری از خوردگی به دلیل خواص پایداری شیمیایی، پایداری حرارتی و خواص فوق العاده اش به عنوان مانع فیزیکی آن است که مورد استفاده قرار می گیرد. در عمده کاربردهای به این منظور، این مواد به عنوان پرکننده به پوشش ها یا رنگ های ضد خوردگی اضافه می شوند. اکسید گرافن غالباً به صورت یک ورقه لایه ای سه بعدی خودآرایی می کند که با جلوگیری از تبادل ترکیبات فرار با محیط خارجی، یکپارچگی پوشش را حفظ می کند.



شکل ۷- ساختارهای گرافن، اکسید گرافن و گرافن کاهش یافته

در تصویر بعدی یکی از روش هایی که اضافه شدن اکسید گرافن به بستر پلیمری می تواند موجب کاهش خوردگی شود، نشان داده شده است. در حالت عادی ذرات کوچک که باعث خوردگی می شوند، می توانند با طی کردن مسیری نسبتاً ساده و مستقیم، از بستر پلیمری یا هر نوع پوشش دیگر روی سطح فلز عبور کرده و خودشان را به فلز برسانند. همین امر در گذر زمان، می تواند منجر به خوردگی فلز شود. زمانی که اکسید گرافن به ساختار پوشش اضافه شود، به دلیل ساختار مسطحی که دارد، می تواند جلوی عبور این ذرات را گرفته و عبور آن ها را کند کرده و در نهایت منجر به کاهش سرعت خوردگی شود.

همان طور که گفته شد، گرافن ماده ای با سطح مقطع بسیار زیاد است. سطح ویژه اکسید گرافن چیزی در حدود ۲۴۰۰ مترمربع به ازای هر گرم است! [۹] همین سطح مقطع زیاد است که باعث می شود صفحات گرافن اکسید، جلوی نفوذ مواد خورنده را بگیرند.



شکل ۸- مقایسه مسیر نفوذ مواد خورنده به سمت فلز در حالت بدون

اکسید گرافن و در حضور اکسید گرافن (Zhao ۲۰۱۶)

پوشش دهی با اکسید گرافن

برای پوشش دهی سطوح با اکسید گرافن به جهت جلوگیری از خوردگی، رویکردهای متفاوتی وجود دارد. اکسید گرافن ممکن است با روش های مختلفی به صورت مستقیم (با استفاده از روش های لایه نشانی مانند CVD) یا به صورت غیرمستقیم (از طریق پوشش های آماده ای مانند رنگ ها) روی سطح نشاندن شود. معمولاً استفاده از روش های غیرمستقیم به دلیل هزینه کمتر و راحتی و سرعت مورد استفاده قرار می گیرند. رویکردهای مستقیم عمدتاً رویکردهای پیچیده تری هستند که ممکن است هزینه برتر بوده یا سختی بیشتری داشته باشند؛ اما فناوری که امروزه به صورت تجاری و در مقیاس صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد، استفاده از اکسید گرافن به عنوان افزودنی در رنگ های پوشش دهنده است. این روش به دلیل راحتی و هزینه نسبتاً کم، گزینه ای بسیار منطقی و مناسب برای پوشش های ضد خوردگی است.

اکسید گرافن به دلیل پایداری شیمیایی و حرارتی بالایی که دارد، تحت شرایط مختلف خواص ضد خوردگی خود را حفظ کرده و می تواند از خوردگی جلوگیری کند. همین خواص هستند که آن را به گزینه ای بسیار مناسب برای پوشش دهی فلزات تبدیل می کنند.

پوشش های ضد خوردگی اکسید گرافن در بازار داخل کشور

در حال حاضر محصول ضد خوردگی که به صورت تجاری شده در داخل کشور یافت می شود، رنگ های حاوی اکسید گرافن هستند. در ایران یک شرکت دارای تأییدیه ستاد فناوری نانو اقدام به تولید این پوشش ها می کنند. شرکت نانوآریسا پوشش شرکتی دانش بنیان است که در پارک علم و فناوری گیلان فعالیت می کند. این شرکت تولیدکننده رنگ ها و پوشش های صنعتی است. این شرکت رنگ های ضد خوردگی تولید کرده است که از اکسید گرافن در آن ها بهره گرفته شده است. همچنین رنگ تولید شده توسط این شرکت دارای گواهی نانومقیاس از ستاد توسعه فناوری نانو نیز هست. محصولات این شرکت نسبت به نمونه های مشابه خارجی، قیمت بسیار کمتری دارند.



شکل ۹- رنگ های ضد خوردگی شرکت نانوآریسا

پوشش های ضد خوردگی گرافن در بازار خارج از کشور

شرکت های زیادی در زمینه تولید این محصولات تجاری فعالیت می کنند. در ادامه به برخی از معروف ترین این شرکت ها اشاره می شود.



شرکت AGM (Applied Graphene Materials)

شرکتی انگلیسی است که تخصص اصلی اش تولید کننده دیسپرس کننده های پایه گرافنی است. این دیسپرس کننده ها در صنایع رنگ و پوشش کاربرد زیادی دارند.



شرکت GRAPHENSTONE شرکتی اسپانیایی است که به صورت تخصصی در زمینه محصولات صنایع ساخت و ساز مبتنی بر گرافن (و به ویژه رنگ ها) فعالیت می کند.

شرکت The Sixth Element Materials شرکتی چینی است که از غول های بزرگ تولید گرافن است. این شرکت تولید کننده انواع گرافن هاست که به عنوان یک تأمین کننده بزرگ، گرافن های پودری یا محلول را برای کاربردهای مختلف عرضه می کند که گرافن ضد خوردگی نیز یکی از محصولات این شرکت است.

خلاصه

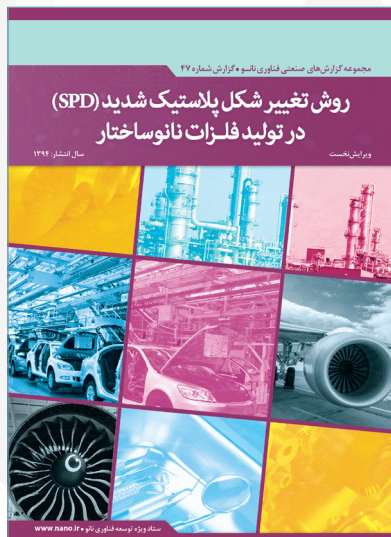
نانوپوشش های مبتنی بر فناوری نانو در صنایع خوردگی، می توانند تأثیر زیادی داشته و مبالغ هنگفتی را برای دولت ها و صنایع حفظ کنند. اگر استفاده از نانوپوشش های گرافنی بتواند هزینه های مربوط به خوردگی را تنها ۵ درصد نیز کاهش دهد، سالانه چیزی حدود ۱۲۵ میلیارد دلار (معادل درآمد نفتی ۶ سال ایران!) در جهان صرفه جویی خواهد شد.

ایران نیز در زمینه استفاده و تولید این فناوری گام برداشته و می تواند آینده ای درخشان در زمینه صنعت خوردگی در پیش داشته باشد.

مراجع

- ۱ <https://link.springer.com/book/10.1007/b97510>
- ۲ <http://impact.nace.org/economic-impact.aspx>
- ۳ <https://nano.ir/news/1/64316?PageSpeed=noscript>
- ۴ Jellesen, Morten S., Vadimas Verdingovas, Helene Conseil, Kamila Piotrowska, and Rajan Ambat. "Corrosion in electronics: Overview of failures and countermeasures." In Proceedings of EuroCorr, vol. 2014. 201
- ۵ <https://www.asianews.ir/fa/newsagency/3457> صادرات-نفت-کمتر-۲۰-میلیارد-دلار
- Groysman, A. "Corrosion problems and solutions in oil, gas, refining and petrochemical industry." *Koroze a ochrana materialu* 61, no. 3 (2017): 100.
- ۷ Revie, R. Winston. Corrosion and corrosion control: an introduction to corrosion science and engineering. John Wiley & Sons, 2008.
- ۸ Ding, Rui, Weihua Li, Xiao Wang, Taijiang Gui, Bingjun Li, Peng Han, Huiwen Tian et al. "A brief review of corrosion protective films and coatings based on graphene and graphene oxide." *Journal of Alloys and Compounds* 764 (2018): 1039-1055.
- ۹ Zhang, Songdi, Huihui Wang, Jianping Liu, and Chenlu Bao. "Measuring the specific surface area of monolayer graphene oxide in water." *Materials Letters* 261 (2020): 127098.
- ۱۰ Zhao, Jingmao, Xiong Xie, and Chen Zhang. "Effect of the graphene oxide additive on the corrosion resistance of the plasma electrolytic oxidation coating of the AZ31 magnesium alloy." *Corrosion Science* 114 (2017): 146-155.

از مجموعه گزارش های صنعتی فناوری نانو در صنایع فلزی منتشر شده است



- مزایای اقتصادی استفاده از فناوری نانو
- استفاده از نانوپوشش فوق سخت در صنایع فلزی
- کاربرد نانولوله های کربنی در فلزات
- کاربرد نانو در متالورژی پودر فلزات
- روش تغییر شکل پلاستیک شدید در تولید فلزات