

مانرد بهین سمینار ملی مهندسی سطح

پژوهشگاه مواد و انرژی ۲۹ و ۳۰ مهرماه ۱۳۹۳

## Ni-P بررسی رفتار مقاومت به خوردگی سایشی پوشش الکترولس در محیط آب دریا

محمد قادری '

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، نجف آباد، ایران

چکیدہ

در این تحقیق رفتار خوردگی سایشی<sup>۱</sup> پوشش الکترولس نیکل کم، متوسط و زیاد فسفر در شرایط بدون عملیات حرارتی و آنیل شده در محلول آب دریا بررسی شده است. بدین منظور نمونه ها با نیروی ۳۰ N و با فرکانس ۱ Hz به صورت Ball-on- Disk تحت آزمون خوردگی سایشی قرار گرفتند. در مقایسه بین چند آلیاژ مقاوم به خوردگی سایشی مشخص گردید پوشش الکترولس Ni-P بهترین مقاومت را دارد. نتایج نشان می دهد پوشش الکترولس نیکل زیاد فسفر عملیات حرارتی شده (EN-HP/Ht) بهترین مقاومت به خوردگی سایشی را به دلیل تشکیل فازهای فسفید نیکل در حین عملیات حرارتی دارد.

واژههای کلیدی: پوشش الکترولس، Ni-P، خوردگی سایشی، آب دریا.

<sup>&#</sup>x27;-Corrosion and Wear Testing

مقدمه

یکی از راههای تولید نمک، استخراج و تصفیه نمک از آب دریاها می باشد. دستگاههای تصفیه آب دریا علاوه بر نمک، مواد معدنی دیگری که می تواند در صنعت کشاورزی به عنوان کود استفاده شود تولید می کند. بدنه دستگاههای تصویه آب به دلیل شرایط خورنده آب و نیز ناخالصیهای مانند شن و ماسه موجود در دریا که با سرعت از خطوط لوله دستگاه عبور می کنند عمدتاً تحت تاثیر دو عامل خوردگی و سایش قرار می گیرند. بمنظور افزایش عمر بدنه دستگاههای واحد آب شیرین کن که تحت پدیده erosion-corrosion فرسایش می یابد از پوشش های مقاوم به خوردگی و سایش استفاده می شود. تاکنون مطالعات زیادی بر روی پوشش های مقاوم به خوردگی و سایش در محیط آب دریا صورت گرفته است [۱]. در این بین پوشش های الکترولس نیکل به دلیل چسبندگی و مقاومت به خوردگی بالا توجه زیادی را برای استفاده در شرایط آب دریا پیدا کرده است [۲،۳].پوشش های الکترولس Ni-P مقاومت به خوردگی و سختی بالایی دارند. ترکیب این دو مشخصه باعث شده که در بیشتر کاربردهایی که تحت شرایط محیط خورنده توام با سایش است به عنوان پوشش انتخابی مطرح باشد. یکی از شایع ترین خوردگی سایشی در صنعت استخراج آب شور دریا به وسیله پمپهای فشار قوی می باشد. پوشش های الکترولس Ni-P فرایند خودکاتالیتیکی می باشد که در محلولهای الکترولیتی بدون اعمال جريان الكتريكي رسوب مي يابند. مقدار فسفر اين پوشش ها مي تواند به سه دسته كم، متوسط و زياد فسفر تقسيم شود. میکروساختار پوشش الکترولس بصورت نیمه آمورف و نیمه کریستالی تغییر میکنند. پوشش الکترولس نیکل زیاد فسفر (۱۰ تا Wt. %P) شامل چند فاز بین فلزی می باشد. پوشش با مقدار فسفر بالا دارای مقاومت به خوردگی و سایش بسیار خوبی میباشند. یوشش الکترولس متوسط فسفر (۵ تا A wt. % P) می تواند به طور كامل آمورف و يا مخلوطي از آمورف و كريستاله باشد. پوشش الكترولس كم فسفر (P % wt. % C) عموماً به صورت كريستالي رسوب مي كند.

بدین منظور برای ارزیابی خوردگی سایشی در این تحقیق از آب شبیه سازی شده ۳/۵٪ سدیم کلرید استفاده شده است.

## مواد و روش تحقيق

شکل ۱ و ۲ به ترتیب تصاویر واقعی و شماتیک دستگاه خوردگی سایشی مورد استفاده در این تحقیق را نشان میدهد. شماتیک سایش از نوع خطی و حرکت آن به صورت رفت و برگشتی میباشد (شکل ۲–ب). سه نوع پوشش الکترولس نیکل کم، متوسط و زیاد فسفر بر روی زیرلایه فولاد ۱۰۱۸ AISA به ابعاد ۳۵ ۶/۳۹ × ۲۸/۱ × ۲۸/۱ آبکاری گردید. هر کدام از این پوشش ها در دو حالت عملیات حرارتی شده در دمای ۴۰۰° و بدون عملیات حرارتی مورد مطالعه قرار گرفت. جدول ۱ مشخصات آبکاری پوشش را نشان میدهد. فرکانس ار تعاش (حرکت رفت و برگشتی) دستگاه تلک میباشد. میبر سایش بصورت خطی و با طول ۲۴/۵ میباشد. پین ساینده دستگاه از نوع کروی (بال) و با متد Ball-on-Disk و از فولاد سخت شده با سختی ۶۹ RC میباشد. پانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح

تنش اعمالی ۳۰N انتخاب شد. نمونه ها در داخل آب حاوی ۳/۵ درصد NaCl قرار داده شد. منطقه مسیر سایش بعد از گذشت ۱۵۰۰۰، ۳۰۰۰، ۴۵۰۰۰، ۴۵۰۰۰، ۱۸۰۰۰ و ۵۴۰۰۰ سیکل رفت و برگشتی مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین توسط دستگاه میکروسکوپ نوری عمق سایش هر نمونه بطور جداگانه تعیین شد. دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی بکار رفته در این تحقیق مدل JEOL JSM-۵۹۰۰LV میباشد. برای ارزیابی عمق سایش پوشش ها از میکروسکوپ نوری مدل Olympus BX۶۱ استفاده شد.

$$P_{\max} = \left(\frac{6WE^{**}}{R^{0}\pi^{5}}\right)^{*}$$

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1 - V_n^{\alpha}}{E_n} + \frac{1 - V_n^{\alpha}}{E_n}, \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_n} + \frac{1}{R_n}, \quad W = (N) \text{ if }$$

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1 - V_n^{\alpha}}{E_n} + \frac{1 - V_n^{\alpha}}{E_n} \longrightarrow E^* = 116 \text{ GPa}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_n} + \frac{1}{R_n}, \quad R_1 = 9.6, \quad R_7 = \infty \quad \longrightarrow R^* = 9.6 \text{ mm}$$

$$P_{\text{max}} = \left(\frac{6WE^{*\alpha}}{R^{\alpha}\pi^{\alpha}}\right)^{\frac{1}{\alpha}} = \left(\frac{6\times29.53\times(115\times10^9)^{\alpha}}{(9.5\times10^{-8})^{\alpha}(3.14)^{\beta}}\right)^{\frac{1}{\alpha}} = \cdot.95\times10^{-9} \text{ Pa} \sim 1 \text{ GP}$$

در اینجا W بار اعمالی روی سطح پوشش توسط پین میباشد. R شعاع و E مدول الاستیسیته پین میباشد. در مرحله بعدی به علت سایش پوشش بوسیله پین، سطح تماس پین و پوشش افزایش و در نتیجه تنش تماسی کاهش می یابد و بدین ترتیب شیب منطقه سایش با افزایش تعداد سیکل آزمون کاهش می یابد. به طور کلی عملیات حرارتی پوشش الکترولس Ni-P مقامت به سایش بهتری نسبت به پوشش عملیات حرارتی نشده دارد. سختی پوشش به علت تشکیل ذرات فسفید نیکل در حین عملیات حرارتی می باشد. نتایج تحلیل اندازه گیری عمق سایش آزمون این موضوع را اثبات می کند. همانطور که در شکل ۴ مشاهده میشود، پوشش الکترولس Ni-P عملیات حرارتی شده دارای مقاومت به سایش بهتری در برابر عمق سایش دارند. در شکل ۵ به علت سایش بیش از حد، شکست موضعی در خط مسیر سایش اتفاق افتاده است. شکست باعث نشده که کل سطح پوشش از زیرلایه جدا شود. شکل ۶ تصویر سطح مسیر سایش را نشان می دهد. چسبندگی پوشش با زیرلایه

بسیار بالا میباشد و تنها در قسمتهای مشخص شده با پیکان در سطح پوشش شکست موضعی و حذف پوشش را شاهد هستیم.

نتايج نشان ميدهد اختلاف حجم سايش نمونه الكترولس نيكل كم فسفر قبل و بعد از آزمون تفاوت چنداني ندارد. درحالیکه با افزایش مقدار فسفر در پوشش الکترولس، اختلاف حجم سایش یافته قبل و بعد از عملیات حرارتي افزايش مي يابد. ذرات فسفيد نيكل نظير Ni<sub>r</sub>P ،Ni<sub>r</sub>P و Ni<sub>b</sub>Pr در عمليات حرارتي پوشش الكترولس نيكل كم فسفر نسبت به الكترولس زياد فسفر كمتر تشكيل مي شود [۴]؛ درنتيجه تاثير سختي روى يوشش هاي الکترولس نیکل کم فسفر کمتر است. مطالعات گذشته نشان میدهد که با کاهش مقدار فسفر در یوشش الکترولس در شرایط بدون عملیات حرارتی سختی پوشش افزایش می یاد [۵]. هر چه مقدار فسفر در پوشش کاهش یابد رسوبات در حین آبکاری کریستالی تر بوده و میزان سختی افزایش می یابد [۶]. از طرفی پوشش های زياد فسفر با اعمال عمليات حرارتي به سختي بالا دست مييابد. نتايج عمق اثر سايش با حجم سايش يافته پوشش،ها مطابقت دارد. بهطور کلی پوشش الکترولس نیکل زیاد فسفر در شرایط عملیات حرارتی مقاومت به خوردگی سایشی خوب با کمترین تاثیر عمق سایش از خود نشان میدهد. گزارش شده است که فسفر در پوشش الکترولس به عنوان یک ماده روانکار به سایش پوشش کمک می کند [۷]. برای پوشش با مقدار فسفر بالا، فسفر باقی مانده (ترکیب نشده) باعث روانکاری می شود. شکل ۷ تا ۹ تصاویر پیشرفت مسیر منطقه سایش در طی آزمون خوردگی سایشی را نشان میدهد. همانطور که مشاهده میشود مقاومت خوردگی سایشی نمونههای عملیات حرارتی شده در مقایسه با نمونههای بدون عملیات حرارتی بالاتر است. بمنظور درک بهتر مقايسه رفتار خوردگی سايشی يوشش الكترولس Ni-P، آزمون مشابهی با ديگر آلياژهای انجام گرفت. شكل ۵۵ یک مقایسه ساده بین رفتار مقاومت به خوردگی سایشی آلیاژهای هاستونی C، تیتانیوم درجه ۷، اینکونل و پوشش الکترولس نیکل زیاد فسفر عملیات حرارتی شده را نشان میدهد. نتایج نشان میدهد که اندازه مسیر منطقه سایش یوشش الکترولس نسبت به دیگر مواد کمتر است.

نتيجه گيري

 ۱) رفتار پوشش الکترولس نیکل زیاد فسفر در شرایط عملیات حرارتی در برابر خوردگی سایشی به علت تشکیل فازهای فسفید نیکل نظیر NirP نسبت به دیگر پوشش ها بالاترین می باشد
 ۲) عمق نفوذ پوشش الکترولس بشدت به عملیات حرارتی بستگی دارد. پوشش الکترولس نیکل زیاد فسفر دارای کمترین عمق نفوذ و کمترین خسارت در برابر آزمون خوردگی سایشی می باشد.
 ۳) مقاومت پوشش الکترولس از سایر مواد مقاوم وسخت نظیر اینکونل، ۲۷۵-۲، ۷-۲۱ بالاتر است. بنابراین بعنوان پوشش مقاوم تحت شرایط خوردگی توام با سایش می توان بکار برده شود. پانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح

مراجع

- N. Kanta, A.F., V. Vitry, and F. Delaunois, Wear and corrosion resistance behaviours of autocatalytic electroless plating. Journal of Alloys and Compounds, Y...9. £A7(1-Y): p. LY1-LYF.
- Karthikeyan, S., et al., Wear, Hardness and Corrosion Resistance Characteristics of Tungsten Sulfide Incorporated Electroless Ni-P Coatings. Procedia Engineering, <sup>γ</sup>· <sup>γ</sup><sup>τ</sup>.
   <sup>γ</sup><sup>ξ</sup>(·): p. <sup>γ</sup><sup>γ</sup>· <sup>-</sup><sup>γ</sup><sup>γ</sup>.
- <sup>r</sup>. Lee, C.K., Corrosion and wear-corrosion resistance properties of electroless Ni–P coatings on GFRP composite in wind turbine blades. Surface and Coatings Technology,  $\gamma \cdots \gamma$ .  $\gamma \cdot \gamma (\gamma \gamma)$ : p.  $\xi \wedge \gamma \wedge \xi \wedge \gamma \xi$ .
- $\xi$ . Li, Z.-h., et al., Corrosion and wear properties of electroless Ni-P plating layer on  $AZ^{\gamma}D$  magnesium alloy. Transactions of Nonferrous Metals Society of China,  $\gamma \cdot \cdot \wedge$ .  $\gamma \wedge (\xi)$ : p.  $\lambda \gamma - \lambda \gamma \xi$ .
- •. Ramalho, A. and J.C. Miranda, Friction and wear of electroless NiP and NiP& Nip+PTFE coatings. Wear,  $\gamma \cdot \cdot \circ , \gamma \circ q(\gamma-1\gamma)$ : p.  $\wedge \gamma \wedge \wedge \pi \varepsilon$ .
- <sup>1</sup>. Rossi, S., et al., Corrosion protection properties of electroless Nickel/PTFE, Phosphate/MoS<sup> $\gamma$ </sup> and Bronze/PTFE coatings applied to improve the wear resistance of carbon steel. Surface and Coatings Technology,  $\gamma \cdot \cdot \gamma$ .  $\gamma \vee \gamma (\gamma - \gamma)$ : p.  $\gamma \tau \circ - \gamma \leq \gamma$ .

نوع پوشش	Wt. % P*	pН	دما (C°)
الكترولس نيكل-كم فسفر (LP)	۴/۵±۰/۲	۶/۲±۰/۲	۸۵±۰/۳
الكترولس نيكل–متوسط فسفر (MP)	۵±۰/۲	۵±۰/۲	۸۸±۰/۳
الكترولس نيكل-زياد فسفر (HP)	۴/۸±۰/۲	۴/۸±۰/۲	۸۷±۰/۳
	1 m 1		

جدول ۱: مشخصات آبکاری پوشش الکترولس Ni-P

میانگین سه نقطه EDS از سطح مقطع پوشش

جدول ۲: داده های بدست آمده از حجم سایش پوشش الکترولس در منطقه مسیر سایش در سیکل های مختلف

	حجم سایش یافته ( <sup>*</sup> mm)						
نوع پوشش	10	۳۰۰۰	40	<i>\$</i>	٩	14	04
Ni-HP	۷۵/۹۰۳	_	_	-	-	-	-
Ni-HP Ht	۱۷/۳۸۶	۳۷/۰۰۳	47/419	-	41/181	81/418	۸۴/۸۸۳
Ni-MP	84/914	44/111	49/141	۶١/۶٨٩	91/924	-	-
Ni-MP Ht	26/210	4./471	41/441	-	۵۳/۹۲۲	٧٠/۵١٢	٨٠/٠۶٠
Ni-LP	47/.44	49/DVV	9./974	-	V1/TD9	V0/049	٩٠/٧٩٨
Ni-LP Ht	41/176	۴۷/۸۵۰	۵۷/۱۴۱	-	۷۲/۸۰۵	۷۸/۵۶۸	۸۰/۵۱۰

	عمق سايش يافته (μ)						
نوع پوشش	10	۳۰۰۰	40	<i>\$</i>	٩	۱۸۰۰۰۰	۵۴۰۰۰۰
Ni-HP	170	-	-	-	-	-	-
Ni-HP Ht	۴	6	v	-	٨	١.	٣٠
Ni-MP	۲.	۳۸	47	۴۷	٥٣	-	-
Ni-MP Ht	۵	v	٨	-	۱.	١٣	٣۴
Ni-LP	٩	18	۲.	-	19	79	۵۸
Ni-LP Ht	٨	10	١٧	-	۲۵	۲۸	٥۴

جدول ۳: داده های بدست آمده از عمق سایش پوشش الکترولس در منطقه مسیر سایش در سیکل های مختلف



شکل ۱: تصویر دستگاه آزمون خوردگی سایشی (reciprocating corrosion and wear experimental)



الف

پانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح



شکل ۲: تصویر شماتیک دستگاه آزمون خوردگی سایشی؛ الف) نمای کلی ب) مسیر حرکت پین روی نمونه



شکل ۳:



```
شکل ۴:
```



شكل ۵: پوشش الكترولس نيكل زياد فسفر



شکل ۶: سطح پوشش الکترولس Ni-P بعد از آزمون خوردگی سایشی





شکل ۹: تصویر مسیر سایش پوشش الکترولس نیکل-کم فسفر در شرایط با و بدون عملیات حرارتی



شکل ۱۰: تصویر مسیر سایش پوشش الکترولس نیکل زیاد فسفر در مقایسه با آلیاژهای ۲۷۵-C، Ti-۷ و اینکونل بعد از ۵۴۰۰۰ دور