

## تأثیر پارامترهای مختلف بر روی خوردگی الکتروشیمیایی پوششهای الکترولس نیکل - فسفر و مقایسه آن با خوردگی غوطه وری این پوششها

سید حسین رفیع زاده<sup>۱</sup> - حبیب اشعئی سرخابی<sup>۲</sup>

چکیده:

در این کار پژوهشی فاکتورهای مختلف از جمله تأثیر زمان آبکاری، pH حمام، ضخامت، درصد فسفر موجود در پوشش و شرایط عملیات حرارتی بر رفتار خوردگی الکتروشیمیایی پوششهای آبکاری الکترولس نیکل-فسفر مورد بررسی و با نمونه های مشابه از طریق خوردگی غوطه وری مقایسه گردید. منحنی ها و نتایج پارامترهای خوردگی نظیر دانسیته جریان خوردگی، مقاومت پلاریزاسیون، پتانسیل و سرعت خوردگی برای نمونه های با عملیات حرارتی و بدون عملیات حرارتی در زمانهای مختلف آبکاری از طریق منحنی های تافل در نمونه محلول شبه آب دریا (5NaCl/3%) تحت شرایط هوادهی بدست آمد. ساختار و مورفولوژی سطح این پوششها نیز توسط طیف پراش اشعه X و میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از رفتار خوردگی الکتروشیمیایی و میکروسکوپ الکترونی نشان می دهد در نمونه های عملیات حرارتی شده خوردگی کاهش یافته است. همچنین در نمونه های عملیات حرارتی و بدون عملیات حرارتی در زمانهای ۱/۵ و ۲ ساعت آبکاری به ترتیب با ترکیب درصد Ni-11.1%P و Ni-10.6%P سرعت خوردگی کاهش یافته و در عوض در نمونه های با زمانهای ۲/۵ و ۳ ساعت آبکاری به ترتیب با ترکیب درصد Ni-9.9%P و Ni-9.1%P خوردگی افزایش یافته و یک خوردگی در مرز مشترک و از نوع بین دانه ای مشاهده شد. خوردگی غوطه وری نمونه ها در مدت چهار ماه نیز مطابقت خوبی با آزمایشات الکتروشیمیایی نشان می دهد.

کلید واژه ها: آبکاری بدون برق Ni-P، خوردگی الکتروشیمیایی، غوطه وری

## مقدمه:

خوردگی یکی از مهمترین عوامل استهلاک قطعات و یکی از معضلات عمده صنعت می‌باشد، بطوریکه امروزه صنایع مختلفی با آن مواجه هستند. اثرات ناشی از خوردگی شامل کاهش کیفیت ظاهری قطعات، افزایش هزینه عملیات، نیاز جایگزینی تجهیزات و هزینه نگهداری اضافی زیان‌هایی را برای دست‌اندرکاران صنایع فراهم آورده است. با توسعه پوشش‌های حاصل از آبکاری بدون برق مشکل مربوط به تخلخل پوششها تا حدود زیادی بر طرف گردیده است. پوشش‌های آبکاری بدون برق نیکل - فسفر دارای مزایای زیادی بوده از جمله مزایای آنها می‌توان به ضخامت یکنواخت، توانائی تولید پوششی با مقاومت خوردگی بالا، سختی و مقاومت سایشی مناسب و قابلیت پوشش دادن اکثر مواد شامل پلیمرها و پلاستیکها اشاره کرد [۱]. مقاومت خوردگی پوشش‌های مورد نظر را می‌توان با انتخاب صحیح فاکتورهایی همچون ضخامت پوشش، درصد فسفر و انتخاب صحیح حمام تغییر داد. مقدار فسفر موجود در پوشش‌های بدون برق نیکل - فسفر در حمام اسیدی هیو فسفیت بستگی به شیمی حمام و شرایط کاری آن دارد. بررسی‌های انجام گرفته نشان‌دهنده آن است که میزان فسفر موجود در پوشش تنها فاکتور مؤثر بر روی مقاومت خوردگی نیست و در این زمینه فاکتورهای دیگری نیز وجود دارند. از جمله فاکتورهائی که به طور گسترده مطالعه نشده می‌توان فاکتور زمان آبکاری و شرایط عملیات حرارتی پوشش را بر روی مقاومت خوردگی اشاره کرد. Singh و همکارانش مطالعاتی را در خصوص اثر زمان آبکاری و عملیات حرارتی بر روی رفتار خوردگی پوشش‌های آبکاری بدون برق نیکل - فسفر در محلول HCl انجام دادند، [۲]. آنها نشان دادند که با افزایش زمان آبکاری، سرعت خوردگی کاهش می‌یابد همچنین یافتند عملیات حرارتی در دمای ۶۷۳ درجه کلوین بمدت یکساعت، دانسیته جریان و سرعت خوردگی را به میزان زیادی کاهش میدهد. Rajagopal و همکارانش آزمایشاتی را در خصوص اثر مقدار فسفر و عملیات حرارتی بر روی سرعت خوردگی پوشش‌های بدست آمده از آبکاری بدون برق نیکل - فسفر در محلول یک مولار اسید سولفوریک انجام دادند [۳]. آنها یافتند که میزان فسفر و عملیات حرارتی تأثیری بر سرعت خوردگی در این پوششها ندارد، همچنین یافتند که هیچگونه انتقال باری بین فازهای ناشی از عملیات حرارتی رخ نمی‌دهد. این تحقیق اثر زمان آبکاری و عملیات حرارتی بر رفتار خوردگی، ساختار و مورفولوژی پوشش‌های بدست آمده از آبکاری بدون برق نیکل - فسفر در محلول آب دریا (۳/۵% NaCl) و مقایسه آن با خوردگی غوطه‌وری در مدت چهار ماه مورد مطالعه قرار می‌دهد.

مواد و روشها:

فلز پایه برای فراهم نمودن پوششهای آبرکاری بدون برق نیکل - فسفر عبارت از فولاد ساده کربنی نوع (GI1035Si) که ترکیب شیمیائی آن توسط آنالیز کوانتومتری در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱) آنالیز فولاد ساده کربنی

|            |             |            |            |            |
|------------|-------------|------------|------------|------------|
| C 0.00345  | Si 0.10186  | S 0.01803  | P 0.03311  | Mn 0.29895 |
| Ni 0.01891 | Cr 0.01438  | Mo 0.00329 | V 0.00109  | Ca 0.00025 |
| Cu 0.01132 | W 0.00230   | Ti 0.00061 | As 0.00099 | Sn 0.00603 |
| Co 0.00567 | Al 0.000475 | Pb 0.00126 | Fe 99.4738 |            |

برای آماده کردن نمونه‌های فولاد ساده کربنی به منظور پوشش دهی نمونه‌ها ابتدا برای حذف لایه‌های اکسیدی توسط سمباده‌های ۴۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ مورد پرداخت قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها به مدت ۱ دقیقه در محلول سود یک نرمال تحت ولتاژ آندی ۵ ولت چربی‌زدائی شده و پس از شستشوی مجدد با آب مقطر جهت مرحله فعالسازی در محلول ۳۰٪ اسید کلریدریک به مدت یک دقیقه قرار گرفت. سپس در آخرین مرحله نیز نمونه‌ها پس از شستشو با آب مقطر وارد حمام آبرکاری بدون برق شدند [۴].

با توجه به اینکه حمامهای اسیدی دارای پایداری بیشتر، شرایط مناسب و نیز کیفیت بالاتر پوششها می‌باشند از حمامهای اسیدی استفاده شده است. در این حمام با تغییر نسبت اجزاء شرکت کننده سعی در بهینه کردن خواص حاصله در پوشش گردید. مقادیر موجود در جدول (۲) نتیجه بهینه‌سازی از نظر شرایط آبرکاری را نشان می‌دهد.

جدول (۲) نمونه حمام آبرکاری بدون برق Ni-P

| عوامل تشکیل دهنده | سولفات نیکل | هیپوفسفیت سدیم | گلی سین | سیترات سدیم | نیترات سرپ | pH    | T (°C) |
|-------------------|-------------|----------------|---------|-------------|------------|-------|--------|
| غلظت g/lit        | ۳۰          | ۲۵             | ۲۰      | ۲۰          | ۰/۰۰۲      | ۴/۵-۶ | ۸۶-۸۸  |

برای تعیین درصد فسفر موجود در پوشش از روش اسپکتروفتومتری استفاده گردید [۵]. به همین منظور از دستگاه اسپکتروفتومتر دوپرتوی Perkin - Elmer Spectrophotometer مدل UV/VIS 550 SE استفاده شد.

برای تشخیص ساختار و فازهای روکشهای بدست آمده در قبل و بعد از عملیات حرارتی، از دستگاه اشعه X استفاده شد. دستگاه طیف‌سنج XRD بکار رفته در تعیین ساختار روکشها از نوع Zimens مدل D5000 می‌باشد.

جهت مطالعه مورفولوژی سطح و همچنین سطوح خورده شده نمونه‌های پوشش داده شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده گردید. به این منظور از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی نوع LEO مدل i 400 استفاده شده است.

برای بررسی رفتار خوردگی پوششهای حاصل از آبکاری بدون برق نیکل - فسفر با استفاده از روشهای الکتروشیمیایی نمونه‌هایی از فولاد ساده کربنی به ابعاد  $1\text{cm}^2$  را پس از آماده‌سازی توسط یک سیم رابط لحیم شده و بعد از گذراندن مراحل تمیزکاری در حمام آبکاری بدون برق نیکل - فسفر قرار داده شد. برای بررسی اثر زمان آبکاری، ضخامت و ترکیب درصد پوشش بر روی رفتار خوردگی، نمونه‌ها تحت زمانها و pH های مختلف حمام تهیه شده و برای تست خوردگی مورد آزمایش قرار گرفتند. لازم به ذکر است که نمونه‌های آبکاری شده پس از آماده شدن در داخل پلیمر مخصوص در قالبهای مشخص مانع شد تا اتصالات و سیم رابط با محیط خورنده هیچگونه تماسی نداشته باشد [6].

آزمایشات خوردگی الکتروشیمیایی با روش پلاریزاسیون چرخه‌ای و توسط دستگاه پتانسیواستا- گالوانواستا مدل Amel2053 حاوی Function Generator با کارت پیشرفته PCL 818L متصل به کامپیوتر برای رسم نمودارها انجام گردید. سل به کار برده شده برای تست خوردگی از نوع سه الکترودی بوده که در آن از الکترود کالومل (SCE) به عنوان الکترود رفرنس، از الکترود پلاتین به عنوان الکترود مخالف و نیز نمونه‌های پوشش داده شده به عنوان الکترود کار طبق استاندارد ASTM G5-82 انجام گردید [7]. برای تجزیه و تحلیل منحنی‌ها و پارامترهای خوردگی نظیر دانسیته جریان و پتانسیل خوردگی، مقاومت پلاریزاسیون محلول، شیبهای آندی و کاتدی و سرعت خوردگی آلیاژهای نیکل - فسفر تهیه شده، از نرم‌افزار AUTOLAB استفاده گردید. محلول خورنده در این کار پژوهشی محلول  $3/5\%$  NaCl تحت شرایط هوادهی بوده است.

در روش خوردگی غوطه‌وری از نمونه‌هایی که در روش الکتروشیمیایی ذکر کردیم استفاده گردید. قبل از آزمایش خوردگی، نمونه مانع شده و وزن نمونه با دقت  $0/0001$  گرم اندازه‌گیری و سپس در محلول خورنده  $3/5\%$  NaCl قرار دادیم. مدت زمان آزمایشات غوطه‌وری چهار ماه بوده و پس از هر ماه نمونه‌ها از محلول خارج و پس از شستشو با آب و قرارگیری در حمام استون، تحت امواج التراسونیک لایه‌های خورده شده بر روی آن از سطح جدا می‌شود و در دسیکاتور قرار گرفته و پس از ۲۴ ساعت نمونه را دوباره توزین و میزان کاهش وزن را محاسبه کردیم. در این مرحله برای حذف محصولات خوردگی چسبیده به سطح از دستگاه التراسونیک نوع UP مدل 400S استفاده نمودیم. لازم به ذکر است مراحل مربوط به آزمایشات خوردگی غوطه‌وری بر طبق استاندارد ASTM G31-72 [8] انجام گرفت.

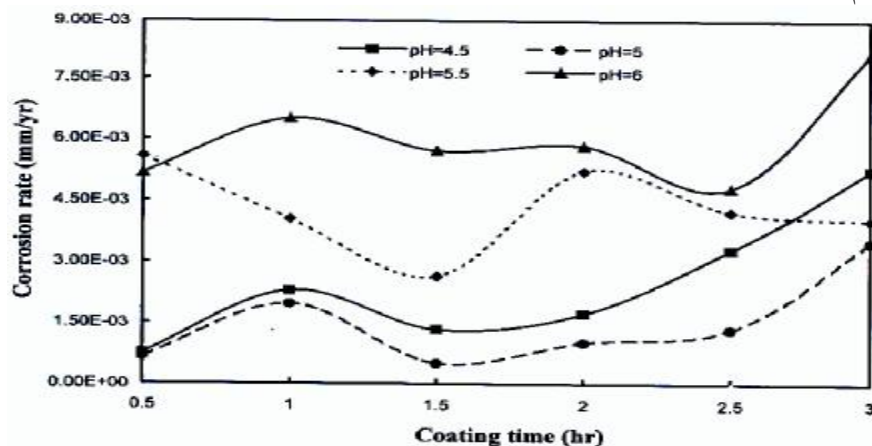
## یافته ها و بحث

نتایج حاصل از آنالیز فسفر موجود در پوششهای آلیاژی نیکل - فسفر نسبت به pH و زمان آبکاری در جدول (۳) آورده شده است. همانگونه که مشاهده می شود فسفر موجود در پوشش با افزایش pH و زمان آبکاری به طور محسوسی کاهش پیدا می کند. این کاهش در pHهای بالاتر به طور وضوح به چشم می خورد.

جدول (۳) نتایج درصد فسفر و ضخامت پوششهای Ni-P در PH و زمانهای مختلف آبکاری

| Coating Time (hr) | PH=4.5          |          | PH=5            |          | PH=5.5          |          | PH=6            |          |
|-------------------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|
|                   | Thick ness (μm) | %P (wt%) | Thick ness (μm) | %P (wt%) | Thick ness (μm) | %P (wt%) | Thick ness (μm) | %P (wt%) |
| 0.5               | 7.4             | 13.1     | 8.5             | 12.4     | 9.6             | 11.2     | 14.1            | 9.3      |
| 1                 | 12.7            | 12.7     | 14.9            | 11.7     | 19.1            | 10.7     | 25.3            | 8.5      |
| 1.5               | 17.2            | 12.2     | 20.6            | 11.1     | 27.5            | 10.1     | 34.6            | 7.9      |
| 2                 | 20.7            | 11.7     | 25.4            | 10.6     | 34.9            | 9.5      | 43.5            | 6.8      |
| 2.5               | 23.5            | 10.8     | 29.8            | 9.9      | 41.1            | 8.6      | 48.9            | 5.4      |
| 3                 | 25.4            | 10.1     | 33.6            | 9.1      | 46.6            | 7.5      | 51.2            | 4.1      |

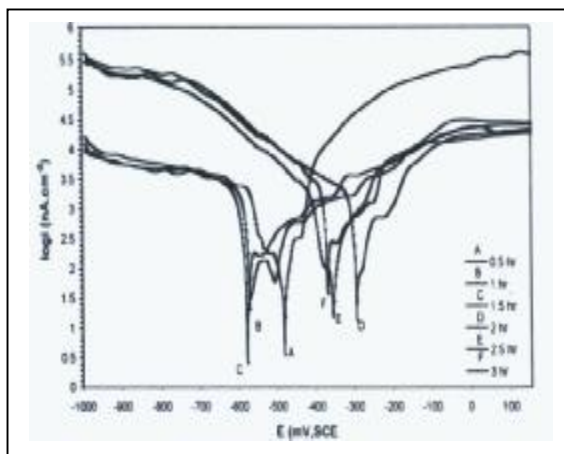
شکل (۱) تاثیر همزمان زمانهای مختلف پوشش دهی و pH حمام آبکاری را روی سرعت خوردگی آنها نشان می دهد. همانگونه که ملاحظه می شود سرعت خوردگی پوششهای حاصل از آبکاری بدون برق Ni-P شدیداً تحت تأثیر pH حمام آبکاری می باشند. ثاباً پوششهای بدست آمده از حمام آبکاری با pH=0 کمترین سرعت خوردگی را نشان می دهد که این پوششها می تواند با توجه به غلظت مواد به کار رفته در حمام بهترین شرایط از لحاظ مقاومت خوردگی در صنعت باشد.



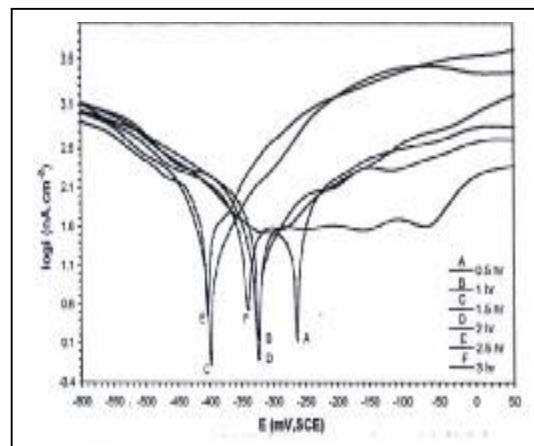
شکل (۱) تأثیر pH حمام آبکاری بر سرعت خوردگی پوششهای بدست آمده از آبکاری بدون برق Ni-P با زمانهای مختلف پوشش دهی

شکل (۲) و جدول (۴) بترتیب منحنی پلاریزاسیون تافل و نتایج خوردگی بدست آمده از این منحنی ها را برای پوششهای Ni-P در حمام با pH=۵ و زمانهای مختلف آبرکاری در محلول NaCl ۳/۵% تحت شرایط هوادهی را نشان می دهد. همانگونه که در شکل (۲) ملاحظه می شود نواحی شبه روینگی در شاخه های آندی به وضوح دیده می شود که انتظار می رود ناشی از تشکیل لایه محصولات خورده شده بر روی سطوح باشد. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده می شود دانسیته جریان خوردگی برای پوشش نیکل-فسفر در زمان ۱/۵ کاهش یافته بنابراین می توان چنین استنباط کرد که پوششهای بدست آمده در حمام آبرکاری با pH=۵ تحت شرایط زمان آبرکاری ۱/۵ ساعت، ترکیب درصد Ni-۱۱/۱%P و ضخامت ۲۰ μm می تواند دارای مقاومت خوردگی خوبی باشد

شکل (۳) و جدول (۵) به ترتیب منحنی های پلاریزاسیون تافل و نتایج خوردگی بدست آمده از این منحنی ها را برای پوششهای بدون برق Ni-P آبرکاری شده در زمانهای مختلف پوشش دهی و عملیات حرارتی شده در محیط خورنده NaCl ۳/۵% نشان می دهد. همانگونه که ملاحظه می شود جابجایی پتانسیل خوردگی برای زمانهای مختلف آبرکاری قابل ملاحظه می باشد. بطوریکه مثلاً برای نمونه با زمان ۰/۵ ساعت پوشش دهی یک حالت شبه روینگی به وجود آمده که انتظار می رود به خاطر واکنشهای



شکل (۲) منحنی پلاریزاسیون تافل پوششهای بدون برق بدست آمده از حمام با pH=۵ و زمانهای مختلف آبرکاری بدون عملیات حرارتی



شکل (۳) منحنی پلاریزاسیون تافل پوششهای بدون برق Ni-P بدست آمده از حمام با pH=۵ و زمانهای مختلف آبرکاری، عملیات حرارتی شده در دمای ۴۰۰ °C

جدول (۵) نتایج خوردگی بدست آمده از منحنی‌های

پلاریزاسیون تافل پوششهای آبکاری بدون برق

عملیات حرارتی شده Ni-P تحت زمانهای مختلف

جدول (۴) نتایج خوردگی بدست آمده از منحنی پلاریزاسیون

پوششهای Ni-P در حمام با pH=۵ و زمانهای مختلف آب

بدون عملیات حرارتی

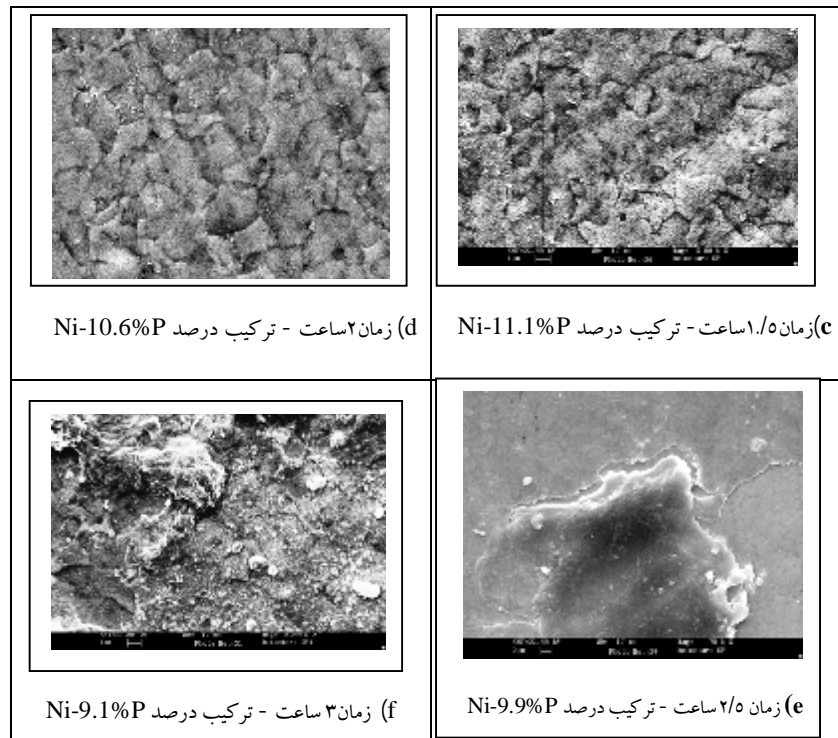
| Coating time (h) | %P (wt) | $i_{cor}$ ( $A/cm^2$ ) | $R_p$ ( $\Omega cm$ ) | $E_{cor}$ (mV/SCE) | Corr rate ( $mm/yr$ ) |
|------------------|---------|------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| 0.5              | 13.1    | $2.83e-8$              | $6.40e5$              | -262               | $3.48e-4$             |
| 1                | 12.7    | $2.80e-8$              | $6.45e5$              | -327               | $3.45e-4$             |
| 1.5              | 12.2    | $1.52e-8$              | $9.03e5$              | -355               | $1.88e-4$             |
| 2                | 11.7    | $1.87e-8$              | $7.50e5$              | -325               | $2.31e-4$             |
| 2.5              | 10.8    | $8.78e-8$              | $2.51e5$              | -403               | $5.30e-4$             |
| 3                | 10.1    | $4.30e-8$              | $4.05e5$              | -340               | $4.47e-4$             |

| Coating time (h) | %P (wt) | $i_{cor}$ ( $A/cm^2$ ) | $R_p$ ( $\Omega cm$ ) | $E_{cor}$ (mV/SCE) | Corr rate ( $mm/yr$ ) |
|------------------|---------|------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| 0.5              | 12.4    | $5.32e-8$              | $1.24e5$              | -480               | $6.57e-4$             |
| 1                | 11.7    | $1.59e-7$              | $3.38e4$              | -558               | $1.97e-3$             |
| 1.5              | 11.1    | $4.06e-8$              | $1.27e5$              | -577               | $5.01e-4$             |
| 2                | 10.6    | $8.26e-8$              | $1.03e5$              | -293               | $1.02e-3$             |
| 2.5              | 9.9     | $1.09e-7$              | $6.47e4$              | -351               | $1.35e-3$             |
| 3                | 9.1     | $3.16e-7$              | $1.67e4$              | -368               | $3.90e-3$             |

فسفر و ایجاد لایه محافظ نسبتاً ضعیف باشد. در بقیه نمونه‌ها تقریباً ناحیه شبه روینگی در شاخه آندی آنها مشاهده می‌شود که انتظار می‌رود به خاطر جذب سطحی محصولات خوردگی بر روی سطح باشد. سایر نتایج خوردگی شامل مقاومت پلاریزاسیون و دانسیته جریان خوردگی حاصل از منحنی‌های پلاریزاسیون تافل این پوششها در جدول (۵) نیز آورده شده است. جهت توجیه رفتار خوردگی پوششهای عملیات حرارتی شده، در این خصوص تصاویر پراش اشعه X نمونه‌های عملیات حرارتی شده در ۴۰۰ درجه سانتیگراد در زمانهای مختلف آبکاری بدست آمد. شکل‌های (۴) طیف پراش اشعه X نمونه‌های با زمان مختلف آبکاری و تحت عملیات حرارتی را نشان می‌دهد، همانگونه که مشاهده می‌شود تمام پوششها تحت عملیات حرارتی یک حالت کریستالی به خود گرفته و فازهای تشکیل شده با توجه به مقادیر d آنها تعیین شده است. به عنوان مثال برای نمونه با زمان پوشش‌دهی ۰/۵ ساعت با توجه به مقادیر d آنها فازهای Ni(۱۱۱) در  $2/0.26 A^{\circ}$  و Ni(۲۰۰) در  $1/7.49 A^{\circ}$  و مقادیر  $2/1.05$ ،  $2/0.67$ ،  $1/9.98$ ،  $1/7.27 A^{\circ}$  برای فاز  $Ni_3P$  مشخص شده است. طیف‌های نمونه‌های دیگر دارای فازهای مذکور هستند ولی تفاوت آنها با اندکی جابجائی در مقدار شدت پیکها می‌باشد شکل (۵) تصویر میکروسکوپ الکترونی پوششهای عملیات حرارتی را بعد از تست خوردگی در محیط NaCl ۳/۵% نشان می‌دهد.

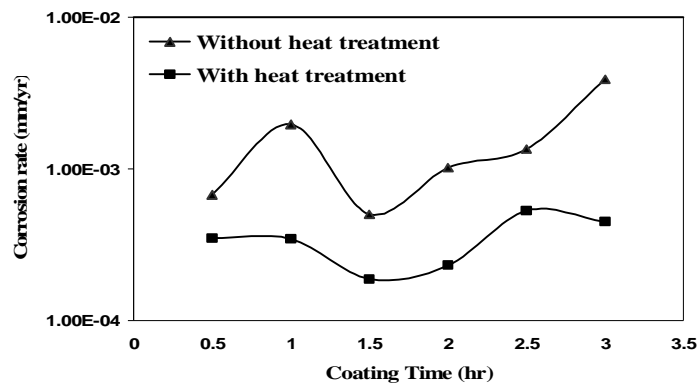






شکل (۵) تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه های عملیات حرارتی خورده شده حاصل از آبکاری بدون برق Ni-P در زمانهای مختلف پوشش دهی

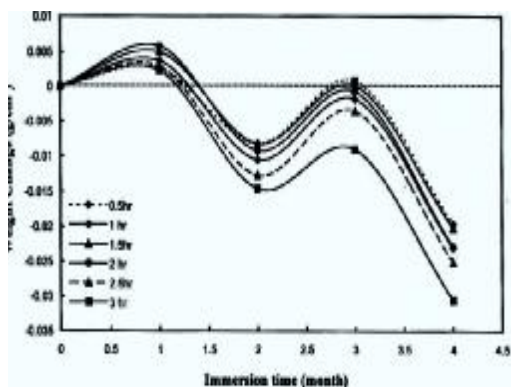
همانطور که ملاحظه می شود برای نمونه با ۲/۵ ساعت زمان پوشش دهی خوردگی به صورت موضعی (بین مرزی) رخ داده است به طوریکه ناحیه فصل مشترک ایجاد شده در این نمونه به وضوح دیده می شود. شکل (f) مربوط به نمونه با ۳ ساعت زمان پوشش دهی تا حدودی محصولات خوردگی را روی سطح نشان می دهد.



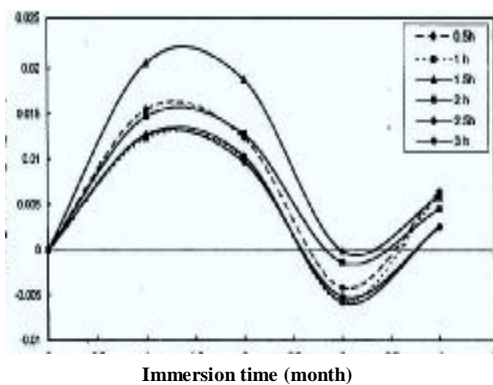
شکل (۶) اثر زمان آبکاری بر سرعت خوردگی پوششهای بدون برق Ni-P در دو شرایط عملیات حرارتی و بدون عملیات حرارتی در محلول NaCl ۳/۵%

شکل (۶) مقایسه کلی سرعت خوردگی پوششهای بدون برق نیکل-فسفر در شرایط عملیات حرارتی و بدون عملیات حرارتی در زمانهای مختلف آبکاری را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود پوششهای بدست آمده تحت شرایط عملیات حرارتی به مراتب سرعت خوردگی پایین‌تری در تمام زمانهای آبکاری نشان می‌دهند. به طور کلی پایین بودن سرعت خوردگی در این پوششها را با توجه به طیف پراش اشعه X این نمونه‌ها می‌توان به خاطر تشکیل فازهای کریستالی از نیکل و فسفیدهای نیکل که از نظر ترمودینامیکی نیز دارای پایداری قابل ملاحظه‌ای هستند پیش بینی کرد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که عملیات حرارتی در پوششهای نیکل-فسفر در این حمام آبکاری نه تنها برای بالا بردن سختی مفید می‌باشد بلکه تحت شرایط خاصی می‌تواند مقاومت خوردگی این پوششها را نیز به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش دهد.

شکل‌های (۷) و (۸) رفتار خوردگی پوششهای حاصل از آبکاری بدون برق نیکل-فسفر در شرایط عملیات حرارتی و بدون عملیات حرارتی در زمانهای مختلف پوشش‌دهی توسط روش غوطه‌وری در مدت چهار ماه نشان می‌دهد.



شکل (۸) تأثیر زمان آبکاری بر کاهش وزن پوششهای حاصل از آبکاری آلیاژی بدون برق نیکل-فسفر در محلول  $\text{NaCl}$  ۳/۵٪ و دمای  $25^\circ\text{C}$



شکل (۷) تأثیر زمان آبکاری بر کاهش وزن پوششهای حاصل از آبکاری آلیاژی بدون برق نیکل-فسفر در محلول  $\text{NaCl}$  ۳/۵٪ عملیات حرارتی شده

همانگونه که ملاحظه می‌شود نمونه‌ها در ماههای اول غوطه‌وری یک افزایش وزن را نشان می‌دهند و در ماههای دوم یک کاهش وزن برای نمونه‌ها حاصل می‌شود. با توجه به روند مشاهده شده چنین استنباط می‌گردد که تشکیل یک لایه رویین حاصل از واکنشهای فسفر و محصولات خوردگی بر روی سطح باعث افزایش وزن نمونه در ماههای اول شده و در ماههای بعدی به علت نفوذ کلر در زیر لایه و حل شدن محصولات خوردگی مقاومت لایه کاهش یافته و باعث جدا شدن آن از سطح می‌شود که در این صورت پوشش با کاهش وزن مواجه می‌شود. در پوششهای عملیات حرارتی شده با توجه به طیف پراش

اشعه X آن مشاهده می شود که پوشش حالت کریستالی به خود گرفته و درصد نیکل و فسفیدهای کریستالی در آن بالا رفته و در نتیجه محصولات خوردگی ناشی از این فسفیدها دارای پایداری ترمودینامیکی بالایی بوده بنابراین لایه محافظ تشکیل شده بر روی سطح از چسبندگی و مقاومت قابل قبولی برخوردار بوده و جدا شدن آن از سطح به آسانی صورت نمی گیرد در نتیجه کاهش وزن در این نمونه ها در مدت زمانهای طولانی تری مشاهده می شود.

### نتیجه گیری

۱- در بررسی های انجام گرفته توسط منحنی های پلاریزاسیون تافل برای پوششهای بدست آمده از حمام آبکاری با pH های مختلف، کمترین سرعت خوردگی در زمان های مختلف آبکاری برای پوششهای با pH=5 در محلول 3/5% NaCl تحت شرایط هوادهی بدست آمد.

۲- در نمونه های عملیات حرارتی در زمانهای 1/5 و 2 ساعت آبکاری به ترتیب با ترکیب درصد Ni-11.1%P و Ni-10.6%P سرعت خوردگی کاهش یافته و در عوض در نمونه های با زمانهای 2/5 و 3 ساعت آبکاری به ترتیب با ترکیب درصد Ni-9.9%P و Ni-9.1%P بیشترین خوردگی و یک خوردگی در مرز مشترک و از نوع بین دانه ای مشاهده شد.

۳- نتایج بدست آمده از رفتار خوردگی غوطه وری در مدت چهار ماه برای پوششهای بدون برق Ni-P عملیات حرارتی در زمان های مختلف آبکاری نیز مطابقت خوبی با آزمایشات پلاریزاسیون الکتروشیمیایی نشان می دهد.

### مراجع:

- 1.W. Riedl, 1991, Electroless Nickel Plating, Finishing Publication LTD,England.
- 2.L. Durnery, 1984, Electroplating Engineering Handbook; 4th Ed; Van Nostrand, Reinhold; Newyork
- 3.D. Singh, R. Blasubramaniam, Effect of Coating Time on Corrosion Behavior of Electroless Nickel- Phosphorus Coated Powder Metallurgy Iron Specimens; Corrosion, 1995, 51,8, 581.
- 4.K.S. Rajam, I. Rajagopal, Met. Finish. 88, 1990,77
- 5.R. D. Asher, Determination of Deposit Phosphorus Content in Ni-P Alloys; Prod. Finishing;. 36,1983, 12, 26.
- 6.D. Baudraand, 1992, Electroless Nickel Plating; Surface Engineering; ASM Handbook, 5, 290.
- 7.ASTM G5-82, 1983, Standard Practice for Standard Reference Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements; in Annual Book of Standards.
- 8.ASTM G31-72, 1995, Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals; in Annual Book of Standards
- 9.D. T. Gawne, U. Ma, 1987, Structure and Wear of Electroless Nickel Coating, Materials Science and Tecnolog, 3, 228.

## Abstract

# Effect of different parameters on electrochemical corrosion of electroless Ni-P alloys and comparison with immersion corrosion

S.H. Rafizadeh<sup>1</sup>, H. Ashassi-Sorkhabi<sup>2</sup>

The effects of coating time and pH on thickness and phosphorus content were analyzed. Corrosion parameters including of current density, potential, polarization resistant and corrosion rate were obtained by the tafel polarization curves in aerated 3.5% NaCl (artificial sea water). Effect of heat treatment on deposits at various coating times were analyzed. Coating structure and morphology by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) were studied. This investigation showed that the specimens obtained in different coating times that heat treated at 400°C for 1hr has more corrosion resistance against specimens that treated at other conditions and without treatment. According to the polarization studied and SEM images samples with 9.9% and 9.1% phosphorus content show intergranular corrosion, while the samples 11.1and 10.6% of phosphorus have the least corrosion rate. Immersion corrosion test at the four months interval has good agree with electrochemical polarization experiments.

---

1-M.S. Science (R&D center of ( E.S.CO. )    2-Professor of Tabriz university,