تأثیر عملیات نیتراسیون بر ساختار، سختی سطح و رفتار سایشی فولاد ٤١٤٠ يوشش داده شده به روش الكترولسNi-P

کریم زنگنه مدار * و سید محمود منیر واقفی ** دانشکدهٔ مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۸۲/۲/۲۰ – دریافت نسخه نهایی: ۸۳/۳/۲٤)

چکیده – در این تحقیق از فرایند نیتروره کردن در اتمسفر H₂/NH₃ به عنوان روشی برای عملیات حرارتی پوششهای الکترولس Ni-P بر روی نمونهها زیـرلایه فـولاد ۴۱۴۰ استفاده شد. برای این منظور پوششهایی از Ni-P حاوی حدود ۹٪ فسفر با ضخامتهای ۲، ۲۴ و ۴۸ میکرون، بر روی نمونهها اعمـال شـده و اثـر عملیات نیتراسیون بر مورفولوژی، تغییرات ساختاری، زبری و سختی پوششها با انجام آزمایشهای SEM SEM سـنجی و میکروسـختی سنجی مورد بررسی واقع شد. آزمایش سایش نیز به منظور ارزیابی رفتار سایشی نمونهها انجام شد. در این راستا رفتار سایشـی نمـونههـای نیتروره شده شامل نمونههای با و بدون پوشش Pil مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که تأثیر فرایند نیتراسیون، بستگی به ضـخامت پوشـش Ni-P مـتفاوت است. همچنین مشخص شد که عملیات نیتراسیون بیشترین تأثیر را بر نمونههای با پوشش نازک (۲ میکـرون) دارد بـه طوری که انجام این عملیات میتواند موجب توسعه نوعی پوشش چند جزیی حاوی فازهای بین فلزی، فسفید و نیترید به همراه منطقه محدود نفـوذی در سطـح فولاد حاوی پوشش نازک Ni-P (با ضخامت ۲ میکرون) شود. این فولاد تحت نیروی بالتر سایش سایشی بهتری نسبت به فولاد حاوی پوشش مازک Ni-P (با ضخامت ۲ میکرون) شود. این فولاد تحت نیروی بالاتر سایش، مقاومت ناحیه متأثر از نفوذ نیتروژن در زیر سطح فولاد اخیر نسبت داده شد.

واژگان کلیدی : فرایند نیتراسیون، پوشش نازک Ni-P، رفتار سایشی، منطقه نفوذی

Effect of Thermochemical Treatment on The Structure, Hardness and Wear Behavior of Electrolss Ni-P Coated 4140 Steel

K. Zangeneh Madar and S. M. Monir Vaghefi

Department Of Materials and Chemical Engineering, Malek-Ashtar University of Technology, Isfahan, Iran Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Abstract: In the present stady, thermochemical treatment in H_2/NH_3 atmosphere was used as a post-treatment for electroless Ni-P coatings on the AISI 4140 steel substrates. High phosphorus (9%) coatings with thicknesses of 2, 24 and 48 mm were applied and the effects of the thermochemical treatment on the morphology, structural changes, roughness, hardness

** – استادیار

* - دانشجوي دکترا

١٨٥

Archive of SID

and wear resistance of coatings were studied by SEM, EDS, XRD, profilometry, and microhardness tester. Wear test was used to evaluate wear characteristics of coatings. The wear behaviour of the thermochemical treated/Ni-P coated samples was assessed by comparison with thermochemical treated/uncoated (nitrided) samples. The results showed that effect of thermochemical treatment varies with the coating thickness. In addition, it was shown that a multicomponent coating containing phosphide, nitride and intermetallic phases as well as diffusion region can be developed in the thin $(2 \mu m)$ electroless Ni-P coated steel by thermochemical treatment. This sample showed better wear resistance than $24 \mu m$ Ni-P coated steel under higher load. This behavior was ascribed to nitride phases formed at the surface as well as a nitrogen diffusion zone at the subsurface of thin Ni-P coated steel.

Keywords: Thermochemical treatment, Thin Ni-P coating, Wear behavior, Diffusion zone

ایده استفاده از فرایندهای نیتراسیون برای عملیات حرارتی پوششهای Pi. از موضوعاتی است که کمتر به آن توجه شده است. به نظر میرسد انجام برخی از عملیات ترموشیمیایی نظیر نیتراسیون (که شرایط دمایی و زمانی آن منطبق بر شرایط عملیات حرارتی پوششهای الکترولس Pi. است) بر روی فولادهای حاوی پوشش الکترولس Pi. خصوصاً پوششهای نازک تر، باعث عبور نیتروژن از پوشش و واکنش آن با زیرلایه و در نتیجه، تشکیل منطقه نفوذی در پشت پوشش شده و بتواند بارپذیری و مقاومت سایشی ضعیف این پوششها را تا حدی مرتفع ساخته و امکان استفاده از آنها را (بدون تضعیف مقاومت خستگی فولادها) فراهم آورد.

در مقالـه حاضـر، تغییـرات سـاختاری، سـختی و مقاومت سایشـی نمـونههـای بـا و بدون پوشش Ni-P، پس از عملیات حرارتی در اتمسفر H2/NH3، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲– روش تحقیق

نمونههای دیسکی شکل با ضخامت ۳mm و قطرهای ۲٥mm (برای بررسیهای ساختاری) و ۹۰۰m (برای ارزیابی رفتار سایشی) از جنس فولاد AISI٤۱٤۰ با ترکیب مندرج در جدول(۱) تهیه و پس از عملیات کوینچ و تمپر، توسط ذرات سیلیس با اندازه متوسط μm ۱۸۰ ماسه پاشی شدند. عملیات ماسه پاشی نمونهها قبل از اجرای مرحله پوشش دهی، به منظور افزایش زبری سطح زیرلایه صورت گرفت. بر اساس مدارک موجود، افزایش زبری سطح زیرلایه قبل از اعمال پوشش

۱ – مقدمه

فرایند الکترولس و عملیات نیتراسیون از روشهای مهم در مهندسی سطح و عملیات حرارتی محسوب می شوند. هر یک از این روشها به طور جداگانه باعث ارتقا خواص سطحی فولادها نظیر مقاومت سایشی، خوردگی و خستگی می شود. در عین حال استفاده از هر یک از روشها ی فوق به تنهایی، میتواند منجر به تضعیف یا فقدان برخی خواص سطحی شود. به عنوان مثال، ایجاد پوشش الکترولس P-Ni بر سطح فولادها، گرچه باعث به بود قابل توجه رفتارهای سایشی و خوردگی فولادها (خصوصاً فولادهای با استحکام بالا) را، کاهش می دهد نیتراسیون فولادها، با وجود دارا بودن مقاومتهای سایشی و زنگ نزن نیتروره شده) بر خوردگی مناسبی (خصوصاً در فولادهای زنگ نزن نیتروره شده) بر خوردار نیستند [۲].

در خصوص عملیات نیتراسیون فولادهای با پوشش Ni-P تحقیقات بسیار اندکی صورت گرفته است. یانگ با قرار دادن نمونههایی از فولاد حاوی پوشش کامپوزیتی Ni-W-P-SiC در اتمسفر نیتروکربوره، آثاری از فاز WC (علاوه بر فاز Ni₃P)، در ساختار پوشش به دست آورده است[۷]. همچنین سایر فرایندهای ترموشیمیایی نظیر بورونایزینگ فولادهای حاوی پوشش P-iN در اتمسفر H₂/BCl باعث توسعه نوعی پوشش چند جزیی متشکل از فازهای H₂/BCl، B(Ni₃B) و Fe,Ni) و (Fe,Ni).

استقلال، سال ۲۳، شمارهٔ ۲، اسفند ۱۳۸۳

www.SID.ir

%C	%Si	%Mn	%Cr	%Ni	%Mo	
• /٣٦	•/٢٨	1/1•	1/0•	• / 2 •	•/٣•	

جدول۱– ترکیب شیمیایی فولاد مورد استفاده در این تحقیق

تعیین شد. آزمایشهای سایش با استفاده از ماشین پین بر روی دیسک(طبق استاندارد ASTM G۹۹) و تحت شرایط رطوبت حدود ٤٠٪، دمای محیط، سرعت ۱۰-۱ m.s، مسافت لغزش ۱۰۰۰m و دو نیروی ٤٠ و ٨٠ نیوتن انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث ۳-۱- مورفولوژی

شکل(۱) تصاویر میکروسکپ الکترونی سطوح نمونهها را در دو حالت قبل و بعد از عملیات نیتراسیون نشان میدهد. همچنین تصویر واضحتری از مورفولوژی پوشش نازک، در شکل(۲) نشان داده شده است. فرایند الکترولس بستگی به ضخامت پوشش، منجر به کاهش یا افزایش زبری سطح شده است. با توجه به نتایج زبری سنجی، زبری متوسط سطح (Ra) حاصل از عملیات ماسه پاشی نمونهها حدود ۱/۱ میکرون است. ایجاد پوشش نازک، تغییر زیادی در زبری سطح ایجاد نکرده (Ra=1/۲µm) در حالی که ایجاد پوششهای متوسط و ضخیم، سبب کاهش زبری سطح شده است(Mat).

چنانچه مشهود است سطح پوششها ظاهری شبیه به پوست پرتقال داشته که اندازه نواحی برجسته آن بستگی به ضخامت پوشش متفاوت است. اندازه این برجستگیها از کمتر از ۵ میکرون برای پوشش نازک به بیش از ۳۰ میکرون برای پوشش ضخیم میرسد. پروفیل سطح با اعمال پوشش نازک تغییر چندانی نکرده در حالیکه پس از اعمال پوشش ضخیم تغییر قابل ملاحظهای یافته است که این مطلب در انطباق با نتایج زبری سنجی نیز هست.

همچنانکه در شکل (۱b) دیده می شود مورفولوژی سطح نمونه با پوشش نازک، در اثر انجام عملیات نیتراسیون، به طور نسبی تغییر کرده است. این در حالی است که مورفولوژی سطح نمونههای با پوشش متوسط و ضخیم در اثر انجام فرایند

الكترولس Ni-P، باعث افزايش تخلخل پوشش مىشود[١٠]. با تـوجه بـه اينكه انتظار مىرود پوشش الكترولس Ni-P همچون لایـه آبکاری نیکل (و احتمالاً قویتر) به عنوان یک مانع در برابر نفوذ نیتروژن عمل کرده و اثر فرایند نیتراسیون بر فولاد زیرلایه را کاهش دهد، در این تحقیق سعی شد با ماسه پاشی نمونهها و در نتیجه افـزایش زبـری سـطح و نایکنواختـی پوشش Ni-P، قابلیت نیتروره شدن زیرلایه افزایش داده شود. پس از ماسه پاشـی نمـونهها بر روی تعدادی از آنها، پوشش Ni-P به روش الکتـرولس رسوب داده شد. برای پوشش دهی از حمام تجارتی موسوم به کانیـنگ' بـا pH حـدود ٤/٦ و دمای حدود ۹۰°C استفاده شد. بر طبق این پارامترها، مقدار فسفر موجود در پوشش حدود ۹٪ خواهد بود که بعداً توسط EDS نیز تأیید شد. برای حصول پوششهای با ضخامت مختلف، نمونهها به مدت ۳۰۰min برای حصول ضخامتهای ۲، ۲۶ و ٤٨ میکرون در حمام الكترولس نگهداري شدند. اين ضخامتها توسط متالوگرافی تأیید شدند. سپس نمونههای با و بدون پوشش در یک کورہ صنعتی با اتمسفر H₂/NH₃ تحت عملیات نیتراسیون دو مـرحلهای واقـع شدند. دما، زمان و جریان گاز آمونیاک طی مرحله اول به ترتیب m³/hr ،۱۲hr ،۵۱۰°C و طی مرحله دوم به تـرتيب ۵۳۰°، ۵۳۰، ۰٫۰hr، و فشـار محفظه کوره در طول کل عملیات ۲۰-۲۵mbar اختیار شد. در انتهای فرایند، نمونه هما در محيط كموره توسط كماز ازت بما جمريان ۱۰m³/hr سرد شدند. به منظور بررسی مورفولوژی سطوح نمونه ها قبل و بعد از عمليات نيتراسيون از ميكروسكوپ الكتروني روبشي(SEM) فيليپس مدل XL۳۰ با امكانات EDS و برای تحلیل فازی در سطح نمونهها نیز از دستگاه تفرق سنج (XRD) فیلیپس مدل Xpert استفاده شد. زبری سطح نمونهها با استفاده از پروفیل سنج مدل SMV و میکرو سختی آنها در سطح و نیـز مقطع با استفاده از نیروی ۱۰۰gr به روش ویکرز



. شکل ۱– مورفولوژی سطح نمونه ها، الف– قبل و ب– بعد از عملیات ترموشیمیایی a) نمونه بدون پوشش b) نمونه با ۲۳ پوشش c) نمونه با ۵۸۳ پوشش



شکل۲- مرفولوژی سطح نمونه با پوشش نازکNi-P (ضخامت ۲) در بزرگنمایی بالاتر، قبل از عملیات ترموشیمیایی

استقلال، سال ۲۳، شمارهٔ ۲، اسفند ۱۳۸۳

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

نیتریدهای دوگانه آهن-نیکل معمولاً دارای ترکیبات مختلفی از Fe و Ni به صورتNi_X)₄N هستند که در آن اتمهای Fe جانشین برخی موقعیتهای Fe در شبکه نیترید شدهاند. قلههای تفرق مربوط به فاز γ در این تحقیق، بیش از آنکه منطبق با فاز Fe₄N باش_ند، منط_بق ب_ ا ت_رکیبات (Fe_(1-x)Ni_x)₄N هستند(خصوصاً برای حالت X = 0.3) که توسط Li مورد مطالعه قـرار گرفته است [١٣]. علاوه برآن قله مربوط به زاويه[°]48.04 = 20 منطبق بر تركيب Fe₃NiN نيز هست. اين انطباقها به نوعي حاکمی از حضور نیکل در نیتریدهای حاصله در این تحقیق است. تشکیل فازهای نیتریدی در سطح نمونههای با پوشش نـازک Ni-P، احتمالاً به دلیل امکان نفوذ نیتروژن اتمی به سطح پوشش و انتقال آن از طریق شبکه γ–FeNi و یا آهن به زیرلایه است. با توجه به انحلال بسیار محدود نیتروژن در نیکل، امکان نفوذ این عنصر از طریق شبکه نیکل به سوی زیرلایه بسیار بعید به نظر میرسد. با توجه به مطالب فوق، نمونه های با پوشش نازک Ni-P، پـس از عمليات نيتراسيون، در واقع داراي يک سیستم پوششی چند جزیی متشکل از فازهای بین فلزی آهن-نیکل، فسفید نیکل و نیتریدهای ساده یا دوگانه آهن – نیکل، در سطح خواهند شد. در نمونههای با پوشش متوسط و ضخیم -Ni P، گرچه بر اساس الگوهای تفرق، عمدهترین تغییر ناشی از عملیات نیتراسیون، کریستالیزه شدن پوشش است، لیکن بررسی میکروسکپی سطح مقطع این نمونهها، نفوذ پوشش /زیرلایه را نیز در ناحیه فصل مشترک تأیید کرده است.

۳–۳– میکرو سختی

متوسط میکروسختی فولاد زیرلایه در حالت کوینچ و تمپر شده، ۳٤٦HV اندازه گیری شد. شکل(٤) روند تغییر در سختی سطح نمونهها را با افزایش ضخامت پوشش، برای دو حالت قبل و پس از فرایند نیتراسیون نشان میدهد. افزایش ضخامت پوشش، اختلاف سختی قبل و بعد از عملیات نیتراسیون را افزایش داده و فاصله زیادی بین دو منحنی سختی پدید آورده است. علاوه بر آن با افزایش ضخامت پوشش، اختلاف در نیتراسیون تغییر قابل توجه و مهمی نکرده است. در نمونههای فاقد پوشش، مورفولوژی به دلیل امکان نیتروره شدن سطح زیرلایه فولادی در شرایط عملیات نیتراسیون، به نحو محسوسی تغییر یافته است. نتایج زبری سنجی نیز حاکی از افزایش زبری سطح نمونه با پوشش نازک Ni-P (تا حد μμ ٥/١=R)، پس از انجام فرایند نیتراسیون است. تغییرات فوق در سطح نمونه با پوشش نازک Ni-P را می توان به پدیده نفوذ پوشش/ زیرلایه در یکدیگر و نیز واکنشهای احتمالی سطح نمونه با اتمسفر عملیات نسبت داد.

۲-۳- تحلیل فازی

شکل(۳) نـتایج تحلیل XRD نمونهها را قـبل و پس از عملیات نیتراسیون نشان میدهد. تفرق حاصل از پوششهای الکترولس Ni-P، شکل(۱۵)، سازگاری زیادی با نتایج دیگران دارد[۱۱ و ۱۲]. این نوع تفرق، بیانگر ماهیت آمورف پوششهای ایجاد شده در تحقیق حاضر است.

انجـام فـرایند نیتراسـیون، بـا ایجاد فازهایی در سطح و زیر سطح، باعث تغییر در ساختار سطح همه نمونه ها شده است. مهمترین تغییر ناشی از این عملیات در نمونههای بدون پوشش، نیتروره شدن کامل سطح زیرلایه است. در این حالت الگوی تفرق، تشکیل فازهای γ'-Fe₄N و ε-Fe₂₋₃N را در سطح به خوبمی نمایان میسازد. تأثیر عملیات نیتراسیون بر نمونههای پوشش داده شده به روش الکترولس Ni-P کاملاً متفاوت است. در نمونههای با پوشش نازک، علاوه بر کریستالیزه شدن پوشش و همچنـین وقوع پدیده نفوذ در فصل مشترک پوشش/ زیرلایه، نیتروره شدن نسبی زیرلایه نیز اتفاق افتاده است. با توجه به نتایج XRD، در این حالت ساختار سطح، عمدتاً متشکل از فازهای Ni₃P ، FeNi و Fe ماست. علاوه بر این فازها، وجود فازهای دیگری نیز در نواحی سطحی مشاهده شده است. این فازها در واقع نیتریدهای آهن یا آهن- نیکل اند. فاز Fe₂₋₃N) ٤ پـيک کاملاً واضحی در زاويه [°]43.25 = θ2 و فاز γ پيک نسبتاً ضعيفي در زاويــه [°]48.04 = 20 از خــود ظاهــر ســاختهانــد.

استقلال، سال ۲۳، شمارهٔ ۲، اسفند ۱۳۸۳

www.SID.ir

Archive of SID



استقلال، سال ۲۳، شمارهٔ ۲، اسفند ۱۳۸۳

19.

www.SID.ir



شکل٤– تغییرات سختی سطح پوششهای Ni-P با افزایش ضخامت آنها، قبل و بعد از عملیات ترموشیمیایی

پوشش دار، در فصل مشترک با زیرلایه، پوششهای متوسط و ضخیم، دارای شیب تندیاند در حالی که پوشش نازک دارای شیب ملایمتری است آنچنان که عمق سخت شده بیشتری را در مقایسه با نمونه حاوی پوشش متوسط ارایه می دهد. وجود شیب ملایم تر در فصل مشترک می تواند ناشی از واکنش زیرلایه با اتمسفر نیتروژن باشد. از طرفی، امکان واکنش زیرلایه با اتمسفر نیتروژن در نمونه های با پوشش ضخیم، بر خلاف نمونه های با پوشش نازک، بسیار بعید به نظر می رسد. شکل (٥) نشان می دهد که ضخامتهای بالای پوشش نیکل عملاً مانند یک

۳–٤– رفتار سایشی

منحنیهای مشخصه سایش کلیه نمونههای نیتراسیون شده (اعم از با و بدون پوشش Ni-P) تحت دو نیروی ٤٠ و ٨٠ نیوتن در شکل(٦) نشان داده شده است. تحت نیروی ٤٠٨، شکل(٦– الف) بیشترین میزان سایش به نمونه با پوشش نازک (٢ میکرون) اختصاص دارد که به مراتب بیش از سایش نمونه بدون پوشش که نیتروره شده، است. بر عکس، نمونههای با پوشش ضخیمتر (٢٢ و ٤٨ میکرون) مقاومت سایشی بسیار بهتری در مقایسه با نمونه نیتروره شده از خود نشان میدهند. علت اصلی افزایش مقاومت سایشی پوششهای الکترولسNi-P با افزایش ضخامت مقادیر سختی نمونه ها، چه قبل و چه بعد از عملیات نیتراسیون، به طور نمایی تا رسیدن به یک حد ثابت و مشخص کاهش می یابد. افزایش یا کاهش اختلاف فوق در مقادیر سختی با افزایش ضخامت، بیانگر غیر واقعی بودن اعداد سختی مربوط به پوشش نازک است. با توجه به روش اندازه گیری میکروسختی، یعنی روش ویکرز، اعداد سختی در این حالت بیش از آنکه مربوط به پوشش باشند، متأثر از زیرلایه اند. از سوی دیگر، مقایسه مقادیر سختی پوششهای متوسط و ضخیم در این تحقیق با نتایج دیگران [١٤ و ١٥]، قابل اعتماد بودن این مقادیر را می سازد (علایم پیکان در شکل ٤).

بر اساس نتایج میکروسختی، عملیات نیتراسیون موجب افزایش سختی نمونههای بدون پوشش نیز شده است. متوسط سختی سطح در این حالت ۸۵۱HV تعیین شده که با نتایج مربوط به فولادهای کم آلیاژ نیتروره شده در سایر مطالعات سازگاری دارد[۱۷،۱٦].

تغییرات سختی از سطح تا عمق نمونهها پس از عملیات نیتراسیون در شکل(٥) نشان داده شده است. نمونه بدون پوشش که منطقه نفوذی در زیر سطح آن تا عمق زیادی توسعه یافته، شیب سختی بسیار ملایمی را که از ویژگیهای بارز فولادهای نیتروره شده است از خود نشان میدهد. برای نمونههای

استقلال، سال ۲۳، شمارهٔ ۲، اسفند ۱۳۸۳

191



	ضخامت پوشش			
۸۰N	٤٠Ν	۸•N	٤٠N	Ni-P (میکرون)
11	٤	٣٨	11	•
٥٨	l/Λ	١٧	17/7	٢
٥٤	1/1	\checkmark	1/0	72
٨/٦	•/0	۱.	٢	٤٨

جدول۲ – مقادیر نرخ سایش نمونه های با و بدون پوشش Ni-P نیتراسیون شده

لغزش کم توجیه کند. به هرحال در مسافتهای لغزش زیاد، پوشش نازک و ناحیه محدود نفوذی پشت آن، تخریب شده و نرخ سایش نمونه با پوشش نازکP-N به شدت افزایش می یابد. جدول(۲) مقادیر نرخ سایش نمونه ها را در دو حالت آببندی و پایا بر اساس نیروی اعمالی نشان میدهد. چنانچه مشاهده میشود بیشترین نرخ سایش متعلق به نمونه های با ضخامت پوشش ۲ و ۲۶ میکرون تحت نیروی ۸۰۸ است. با این وجود تحت نیروی مذکور، نمونه با پوشش ۲μ۳ در طول آزمایش سایش از کاهش وزن بسیار کمتری نسبت به نمونه با پوشش مایش از کاهش وزن بسیار کمتری نسبت به نمونه با می توان به حضور فازهای نیتریدی در سطح، شکل(۳) و منطقه می توان به حضور ذر در زیر سطح، شکل(۲) نسبت داد.

آنها، ارتقا ظرفیت بارپذیری آنها (به دلیل سختی نسبتاً بالا همراه با ضخامت کافی) است. تحت نیروی۸۰۸ شکل(۲- ب) بر خلاف روند مشاهده شده برای سایش نمونهها در نیروی ۲۰۵، نمونه با پوشش نازک نه تنها ضعیفترین رفتار سایشی را از خود نشان نمی دهد بلکه در مسافتهای پایین لغزش، کاهش وزن آن حتی از نمونه نیتروره شده نیز کمتر است. با توجه به اینکه امکان نفوذ نیتروژن به نواحی زیر سطح و تشکیل فازهای نیتریدی در سطح فولاد با پوشش ۲۳ وجود دارد، منطقه یوشش نسبتاً سخت اما بسیار نازک ایشتیبان محکم برای پوشش نسبتاً سخت اما بسیار نازک Ni/Ni3P/FeNixN محسوب شده و در کنار این موضوع که اصولاً ضریب اصطکاک پوششهای Ni-N به طور نسبی کمتر از لایههای نیترید است، برتری مقاومت سایشی نمونه مورد بحث را در مسافتهای







شکل٦- کاهش وزن (mg) نمونههای ترموشیمیایی شده بر حسب مسافت لغزش تحت نیروهای الف- ٤٠Ν و ب- ۸۰N

وسیع نفوذی در پشت فصل مشترک امکان پذیر نیست که این موضوع به تخلخل ناچیز و مقدار نسبتاً زیاد فاز Ni₃P که میتواند به عنوان مانع مهمی برای نفوذ نیتروژن به شمار آید مربوط میشود. برعکس، در نمونههای حاوی پوشش نازک، به علت ضخامت بسیار کم و نا یکنواختی زیاد و همچنین این مطلب که مکانیزم نفوذ در فصل مشترک پوشش/زیرلایه میتواند باعث انتقال اجزای زیرلایه به سطح خارجی پوشش ۳–۵– تحولات ساختاری در حین عملیات نیتراسیون چنانکه اشاره شد اختلاف در شیب سختی و رفتار سایشی نمونههای با پوشش Ni-P نازک، متوسط و ضخیم که تحت عملیات نیتراسیون واقع شدهاند، میتواند ناشی از تأثیر متفاوت این عملیات بر سیستم پوشش/ زیرلایه باشد. در نمونههای با پوشش ضخیم Ni-P، در حین فرایند نیتراسیون، واکنش زیرلایه با اتمسفر و بنابراین نفوذ نیتروژن در زیرلایه و ایجاد منطقه

مدت ۷۲ ساعت نشان داد که: ۱- تغییر مورفولوژی سطح نمونه با ضخامت پوشش ۲ میکرون، در اثر فرایند نیتراسیون، بیش از نمونههای با ضخامت پوشش ۲۶ و ٤٨ میکرون است. ۲- در خلال عملیات نیتراسیون، احتمال واکنش پوشش/زیرلایه و اتمسفر عملیات، با کاهش ضخامت پوشش افزایش مییابد. ۳- امکان تشکیل فازهای نیترید آهن و یا نیترید دوگانه آهن-نیکل در سطح نمونههای با پوشش نازک (۲ میکرون)، گرچه به مقدار کم، منتفی نیست.

٤- در نمونههای با پوشش نازک (۲ میکرون)، نفوذ نیتروژن حاصل از تجزیه NH₃ به درون زیرلایه از طریق آهن و یا فاز γ-FeNi موجود در سطح، باعث توسعه منطقه محدود نفوذی در عمق زیرلایه و بنابراین افزایش عمق سخت شده (نسبت به نمونههای با پوشش ۲٤ میکرون) می شود.

٥- گرچه تحت نیروی پایین سایش، مقاومت سایشی نمونههای پوشش داده شده و نیتراسیون شده، با افزایش ضخامت پوشش افزایش مییابد ولی تحت نیروی بالاتر، با توجه به تأثیر متفاوت فرایند نیتراسیون بر ظرفیت بارپذیری نمونهها، روال مذکور مشاهده نمی شود.

٦- رفتار سایشی بهتر نمونه با پوشش نازک Ni-P در نیروهای بالاتر سایش را می توان به حضور فازهای نیتریدی در سطح و منطقه تحت نفوذ نیتروژن در زیر سطح نسبت داد.

تشکر و قدردانی بدین وسیله لازم است از جناب آقای مهندس صفریان و سرکار خانم مهندس صرامی، مسیولین محترم آزمایشگاههای SEM و XRD دانشکدهٔ مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان کمال تشکر و امتنان به عمل آید.

شود، امکان واکنش زیرلایه با اتمسفر نیتروژن بسیار زیاد خواهد بود. بر این اساس، نفوذ نیتروژن به داخل زیرلایهای با پوشش نازک Ni-P، خصوصاً اگر آن زیرلایه، سطح زبر یک فولاد ماسه پاشی شده باشد که به مدت طولانی (حدود۷۰hr) در دمای نسبتاً بالا (C°-۵۳۰–۵۱۰) و اتمسفر نیتروره کننده (H₂/NH₃) قرار گرفته است، کاملاً امکانپذیر است. بر اساس نتایج EDS از سطح پوشش نازک، نسبت وزنی آهن به نیکل در نواحی سطحی از حدود ۰/۰۸ قبل از عملیات نیتراسیون به حدود ۰/۷ پس از عملیات فوق افزایش یافته که حکایت از وقوع مکانیزم نفوذ در فصل مشترک پوشش/زیرلایه دارد. افزایش میزان آهن در سطح، قابلیت نفوذ نیتروژن حاصل از تجزیه NH₃ را در زيرلايه افزايش داده و امكان نيتروره شدن نسبى فولاد را فراهم میآورد. تحت چنین شرایطی، واکنش زیرلایه با نیتروژن می تواند باعث تشکیل فازهای نیتریدی در سطح (هرچند به طور محدود) و توسعه نسبی منطقه نفوذی در عمق شود. با توجه به مطالب فوق، روند تحولات ساختار سطحي فولادهاي با پوشش نازک Ni-P را در حین عملیات نیتراسیون می توان به صورت زير خلاصه كرد:

مرحله۱: کریستالیزه شدن نسبی پوشش و تشکیل فازهای شبه یایدار فسفید نیکل

مرحله۲: کریستالیزه شدن کامل پوشش و تبدیل فازهای فسفید شبه پایدار به Ni₃P

مرحله۳: نفوذ پوشش/زیرلایه در ناحیه فصل مشترک و تشکیل فاز γ-FeNi

مرحله٤: توسعه فاز γ-FeNi به سطح پوشش مرحله٥: نفوذ نیتروژن به درون زیرلایه از طریق مناطق γ-FeNi/Fe و تشکیل ناحیه نفوذی مرحله٦: ایجاد فازهای نیتریدی

٤- نتیجه گیری
عملیات نیتراسیون فولاد پوشش داده شده به روش الکترولس
Ni-P، در محدوده دمایی ۵۳۰°–۵۱۰ در اتمسفر H₂/NH³ به

1. kanning

- 1. Wu, Y., Zhang, Y., and Yao, M., "Effect Of Electroless Nickel Plating On Fatigue Strength Of 30CrMoA Steel," *Plating And Surface Finishing*, Vol. 82, No. 4, PP. 83,1995.
- Contreras, G., and Fajardo, C., "Fatigue Properties Of An AISI 1045 Steel Coated With An Electroless Ni-P Deposit," *Thin Solid Films*, Vol. 355-356, No. 1-2, PP. 480-486, 1999.
- Diaz, J.A., and Passarelli, M., Fatigue Behavior Of A 4340 Steel Coated With An Electroless Ni-P Deposit," *Surface And Coatings Technology*, Vol.149, PP. 45 –56, 2002.
- Pertuz, A., and Berrios, J.A., "Influence Of A Commercial Electroless Ni-P Deposit On The Fatigue Properties Of A Notched And Unnotched SAE 4140 Steel," *Surface And Coatings Technology*, Vol. 133-134, PP. 572-582, 2000.
- 5. Garces, Y., and Sanchez, H., "Fatigue Behavior Of A Quenched And Tempered AISI 4340 Steel Coated With An Electroless Ni-P Deposit," *Thin Solid Films*, Vol. 355-356, PP. 487-493, 1999.
- 6. Bell, T., and Li, C.X., "Low Temperature Nitriding And Carburizing Of Stainless Steel," *Advanced Materials And Processes*, PP49-51, June 2002.
- 7. Yang, "Microstructure Of Electrodeposited Ni-W-P-SiC Composite Coatings," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, Vol. 7, No. 1, PP. 22-26, 1997.
- Golanski, D., and Bielinski, P., "Numberical Modeling Of Residual Stresses In Boride Layers On Steel," *Surface Engineering*, Vol. 13, No.2, PP. 145-148, 1997.

مراجع

- Wierzchon, T., and Bielinski, P., "Formation And Properties Of Multicomponent And Composite Borided Layers On Steel," *Surface And Coatings Technology*, Vol.73, PP. 121-124, 1995.
- 10. Riedel, W., Electroless Nickel Plating, ASM, 1989.
- 11. Li, H., "Surface Morphology And Electronic State Characterization Of Ni-P Amorphous Alloy Films," Journal of *Non-Crystalline Solids*, Vol.281, PP.31-38, 2001.
- 12. Balaraju, J.N., "Synthesis And Characterization Of Electroless Nickel High Phosphorus Coatings," *Metal Finishing*, PP. 8-13, July 1999.
- 13.X-Ray Diffraction And Mossbauerstudies Of The [Fe_(1-X)Ni_(X)]₄N Compounds (0<X<0.5), J. Magnetism And Magnetic Materials, Vol. 151, PP221-224, 1990.
- 14. Berrios, J.A., "Effect Of The Thickness Of An Electroless Ni–P Deposit On The Mechanical Properties Of An AISI 1045 Plain Carbon Steel," *Surface And Coatings Technology*, Vol.108–109, PP. 466–472, 1998.
- 15. Staia, M.H., "Wear Performance And Mechanism Of Electroless Ni-P Coating, *Surface And Coatings Technology*," Vol. 86-87, PP. 598-602, 1996.
- Li, C.X., Sun, Y., and Bell, T., "Consideration Of Fretting Fatigue Properties Of Plasma Nitrided En19 Steel," *Surface Engineering*, Vol. 15, PP. 149-153, 1999.
- Molinari, A., "Wear Behavior Of Diffusion And Compound Layers In Nitrided Steels," *Surface Engineering*, Vol. 14, PP. 489-495, 1998.