

مطالعه تاثیر فرآیندهای ترموشیمیایی نیتراسیون گازی و پلاسمایی بر رفتار تریبولوژیکی فولاد سمانتاسیون CE2

مریم السادات بزرگ تبار^۱، محمد رضا جعفرپور^۲، دکتر مهدی صالحی^۳

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد مجلسی

۲- مجتمع فولاد مبارکه

۳- دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

فولاد CE2 از خانواده فولادهای سمانتاسیون و یکی از فولادهای پرکاربرد در ماشین سازی و ساخت قطعات می باشد. فرآیندهای نیتراسیون گازی به طور معمول نتایج مناسبی در بهبود سطح این فولاد ندارند. روند تحقیقات اخیر نشان می دهد با استفاده از فرآیندهای پلاسمایی، نیتراسیون این فولاد با خواص مطلوب تر امکان پذیر شده است. در این تحقیق تاثیر فرآیندهای ترموشیمیایی، نیتراسیون گازی و نیتراسیون پلاسمایی بر رفتار تریبولوژیکی فولاد سمانتاسیون CE2 بررسی گردید. برای بررسی رفتار تریبولوژیکی از آزمایش سایش، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، آزمایش ریزسختی سنجی و زبری سنج استفاده گردید. بررسی ها نشان داد که فولاد CE2 تحت فرآیند نیتراسیون پلاسمایی رفتار سایشی بهتری نسبت به فرآیند نیتراسیون گازی نشان می دهد، همچنین تغییرات زبری سطح آن نسبت به قبل از عملیات، کمتر از نمونه نیتراسیون گازی بوده است.

کلیدواژه:

نیتراسیون پلاسمایی؛ نیتراسیون گازی؛ مقاومت سایشی؛ فولاد CE2.

۱- مقدمه

فولاد هستند. این فولاد از خانواده فولادهای سمانتاسیون به شمار می رود که عموماً تحت عملیات سطحی کربوره کردن قرار می گیرد تا با تشکیل یک قشر سخت، خواص تریبولوژیکی آن بهبود یابد. با توجه به دمای بالای عملیات کربوره کردن و همچنین نیاز به عملیات کوئنچ در این فرآیند، مشکلات اجتناب ناپذیری در این روش وجود دارد. برخی از این مشکلات عبارتند از: اعوجاج، پوسته شدن، خشن شدن دانه ها و سایش زیاد

فولاد CE2 به صورت متداول یکی از فولادهای پر کاربرد در صنایع خودرو، قطعه سازی و ماشین سازی می باشد. انواع چرخنده، میل مرعک، مفصل های گاردان، اجزاء فرمان، انواع محورها، بین، سنبه، اجزاء جعبه دنده، یاتاقان های تخت و انواع لاینرهای قفسه های نورد از جمله قطعات قابل ساخت توسط این

جدول (۱): ترکیب شیمیایی فولاد سماتاسیون مورد استفاده (CE2).

عناصر	% Fe	% Cr	% S	% P	% Mn	% Si	% C	عناصر
ناچیز	بقیه	۰/۸ - ۱/۱	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	۱/۳ - ۱/۰	۰/۳	۰/۱۴ - ۰/۱۹	مقدار (%wt)

جدول (۲): پارامترهای فرآیند نیتراسیون گازی.

مرحله ۱				مرحله ۲			
دمای عملیات (°C)	زمان (ساعت)	مقدار آمونیاک (m ³ /h)	فشار کوره (mbar)	دمای عملیات (°C)	زمان (ساعت)	مقدار آمونیاک (m ³ /h)	فشار کوره (mbar)
۵۱۰	۱۰	۰/۵	۲۵-۳۰	۵۳۰	۶۰	۰/۵	۲۵-۳۰

عملیات نیترووره گازی مطابق با پارامترهای ذکر شده در جدول (۲) انجام پذیرفت. همچنین یک نمونه در حالت آنیل به عنوان شاهد لحاظ گردید. منحنی‌های تغییرات سختی و یکرز نمونه‌ها بر حسب فاصله از سطح رسم گردید و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از مقاطع آنها تهیه گردید و زبری سطح نمونه‌ها قبل و بعد از عملیات حرارتی اندازه‌گیری شد. علاوه بر این هر سه نمونه آنیل، نیتراسیون گازی و نیتراسیون پلاسمایی شده، توسط دستگاه سایش رفت و برگشتی تحت نیروی ۹۰ نیوتن در مسافت ۱۰۰۰ متر مورد آزمایش سایش قرار گرفتند. اعداد حاصله میانگین حاصل از انجام حداقل ۳ مرتبه آزمایش سایش می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

در شکل‌های (۲و۱) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی دو نمونه نیترووره پلاسمایی و نیترووره گازی مشاهده می‌شود. در شکل (۱) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه نیترووره گازی می‌باشد. در این تصویر لایه سفید به خوبی قابل تشخیص است. با دقت در لایه سفید تشکیل شده می‌توان دریافت که لایه غیریکنواخت و متخلخل است. اعداد زبری به دست آمده (مطابق شکل ۳) نیز مؤید همین مطلب است. همانطور که در

سایر قطعات درگیر با قطعه کربوره شده [1].

فرآیند ترموشیمیایی نیتراسیون بر اساس نفوذ نیتروژن در سطح و تشکیل لایه‌هایی با خواص مناسب می‌باشد. در گذشته استفاده از فرآیند نیتراسیون فقط به دسته خاصی از فولادها محدود می‌شد. برای قابلیت نیتراسیون، حضور عناصر نیتريدزا مثل آلومینیم، تیتانیم، کروم، وانادیم، تنگستن و مولیبدن در ترکیب شیمیایی به عنوان شرط لازم پذیرفته شده بود. با توجه به روش‌های گازی نیتراسیون، انجام این عملیات بر روی فولادهای فاقد عناصر مذکور غیر ممکن به نظر می‌رسید [۲]. با ورود فرآیندهای ترموشیمیایی پلاسمایی و گسترش آن امکان عملیات نیتراسیون برای بسیاری از فولادها از جمله فولادهای سماتاسیون فراهم گردید. با توجه به مزایای خاص فرآیند نیتراسیون پلاسمایی از جمله دمای پایین عملیات، عدم نیاز به کوئنچ و کاهش اعوجاج در قطعه، زمان کوتاه عملیات و عدم آلودگی محیط زیست، روند تحقیقات در جهت گسترش استفاده از این روش می‌باشد [۲].

۲- روش تحقیق

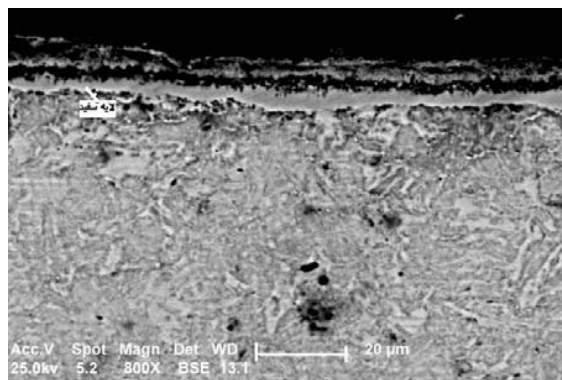
فولاد مورد استفاده در این پژوهش، فولاد CE2 از خانواده فولادهای سماتاسیون و معادل DIN1.7131 می‌باشد که ترکیب شیمیایی عناصر آن مطابق جدول (۱) می‌باشد. نمونه‌ها به شکل مکعب مستطیل به ابعاد ۱۲×۱۲×۱۲۰ میلی‌متر تهیه گردیدند. نمونه‌ها پس از ماشینکاری تا حد زبری ۰/۱ میکرون سنگ‌زنی و پولیش شدند. جهت حصول ساختار یکنواخت، هموزن و یکسان برای همه نمونه‌ها و همچنین برای از بین بردن تنش‌های سطحی حاصل از ماشینکاری و سنگ‌زنی، نمونه‌ها در یک کوره خلأ با فشار ۱۰^{-۲} میلی بار در دمای ۶۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت آنیل شدند و سپس به آرامی در کوره سرد شدند. در مرحله بعد نمونه‌ها در دمای ۹۲۰ درجه سانتیگراد به مدت ۶۰ دقیقه آستیت‌شدند و در آب ۳۰ درجه سانتیگراد کوئنچ و سپس به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد تمپر شدند. سرانجام عملیات نیترووره پلاسمایی در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۵ ساعت و در محیطی شامل ۷۵٪ N₂ و H₂ ۲۵٪ انجام گرفت.

نمونه‌های عملیات حرارتی شده می‌باشد. در مرجع [۱] نیز حضور لایه سفید متخلخل در فرآیند نیتراسیون گازی فولادهای غیر آلیاژی گزارش شده است. ضخامت این لایه سفید حدود ۱۲ میکرون اندازه‌گیری شد که در آن دو ناحیه زیر به خوبی قابل تشخیص است:

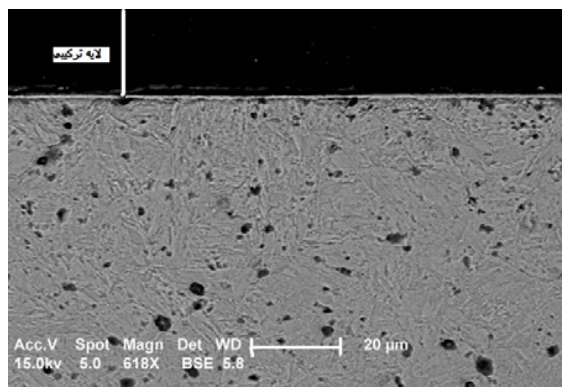
- لایه سفید متخلخل در سطح نمونه به ضخامت تقریبی ۷ میکرون.
- لایه سفید غیر متخلخل در تماس با منطقه نفوذی به ضخامت تقریبی ۵ میکرون.

در شکل (۲) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه نیتراسیون پلاسمایی دیده می‌شود. لایه ترکیبی در این تصویر به صورت یک لایه نازک در سطح به خوبی قابل تشخیص است. در این تصویر لایه ترکیبی غیر متخلخل و یکنواخت‌تر از نمونه نیتراسیون گازی به نظر می‌رسد. اعداد زبری حاصله نیز مؤید همین مطلب است. مطابق شکل (۳) عدد زبری نمونه نیتروre گازی بیشتر از عدد زبری نمونه نیتروre پلاسمایی است که این امر نشان دهنده غیر یکنواختی و تخلخل بیشتر نمونه نیتروre گازی نسبت به نمونه نیتروre پلاسمایی است. ضخامت لایه ترکیبی در این نمونه به طور متوسط ۱/۵ میکرون اندازه‌گیری شد. دیگر محققین هم در فرآیندهای نیتراسیون پلاسمایی فولادهای کربنی در مقایسه با سایر فرآیندهای نیتراسیون، لایه ترکیبی نازکتری را شناسایی کرده‌اند [۳ و ۲].

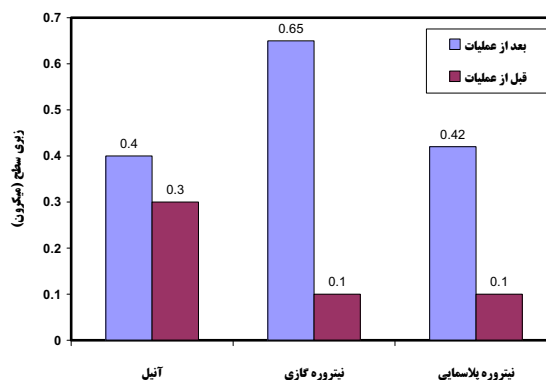
با توجه به منحنی تغییرات سختی بر حسب فاصله از سطح (شکل ۴) ملاحظه می‌شود که سختی سطح نمونه نیتروre پلاسمایی حدود ۹۵ ویکرز اندازه‌گیری شده است. دلیل حصول چنین سختی بالایی در سطح می‌تواند به دلیل حضور نیتريدیهای ریز با چگالی و اندازه بهینه در لایه‌های سطحی نمونه باشد [۴ و ۵]. علاوه بر این در این شکل منحنی تغییرات سختی بر حسب فاصله از سطح دو نمونه با هم مقایسه شده است. وجه تشابه منحنی تغییرات سختی دو نمونه، کاهش شدید سختی در عمق حدود ۱۴۰-۱۲۰ میکرون می‌باشد. توضیح این مطلب با توجه به نتایج تحقیقات مشابه مراجع [۴ و ۶ و ۷]، می‌تواند به دلیل نحوه توزیع کربن در لایه سطحی باشد. بدین صورت که در این منطقه غنی از کربن شده و به همین دلیل، مقدار بیشتری کروم به صورت



شکل (۱): تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مقطع نمونه در حالت نیتراسیون گازی.

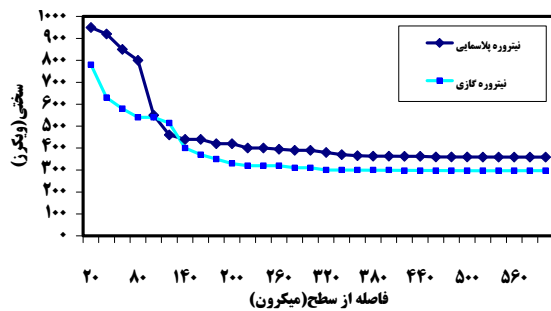


شکل (۲): تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مقطع نمونه در حالت نیتراسیون پلاسمایی.

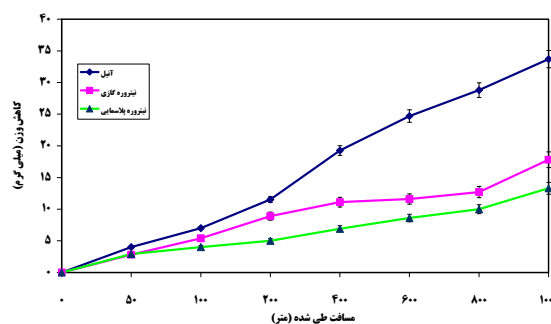


شکل (۳): زبری سطوح نمونه‌ها تحت عملیاتهای مختلف.

شکل (۳) مشاهده می‌گردد زبری سطح نمونه عملیات حرارتی شده بیشتر از نمونه قبل از عملیات حرارتی می‌باشد که این امر نشان دهنده وجود لایه غیر یکنواخت و متخلخل در سطح



شکل (۴): نمودار تغییرات سختی ویکرز بر حسب فاصله از سطح.



شکل (۵): نمودار کاهش وزن نسبت به مسافت طی شده نمونه‌های آنیل، نیترواسیون گازی و پلاسمایی.

سخت شده در نمونه نیترواسیون پلاسمایی به مراتب بیشتر از نمونه نیترواسیون گازی بود. شیب سختی سطح در فولاد CE2 تحت هر دو فرآیند نیترواسیون گازی و پلاسمایی با شیب تند و کاهش ناگهانی سختی همراه بود. مقاومت سایشی نمونه نیترواسیون پلاسمایی بیشتر از نمونه نیترواسیون گازی بود.

کاربید کروم تشکیل شده است و مقدار کروم کمتری امکان تشکیل نیتريد کروم را داشته است. لذا نحوه نفوذ نیتروژن و غلظت آن در این منطقه تأثیر کمتری بر شیب سختی داشته است. با در نظر گرفتن معیار سختی ۱۰ درصد بالاتر از سختی فلز پایه [۳ و ۲]، ضخامت لایه نفوذی برای نمونه نیتروگازی ۱۸۰ میکرون و برای نمونه نیتروپلاسمایی ۲۶۵ میکرون برآورد می‌شود. علت زیادتر بودن عمق نفوذ نیتروژن در فرآیند پلاسمایی نسبت به فرآیند گازی به ماهیت فرآیند مربوط می‌شود [۸]. در شکل (۵) نمودار کاهش وزن سه نمونه آنیل، نیترواسیون گازی و نیترواسیون پلاسمایی در آزمایش سایش رفت و برگشتی در مسافت‌های مختلف نمایش داده شده است. با توجه به این شکل، مقاومت سایشی هر دو نمونه نیترواسیون گازی و نیترواسیون پلاسمایی بهبود قابل توجهی نسبت به نمونه آنیل نشان می‌دهند، همچنین نمونه نیترواسیون پلاسمایی مقاومت سایشی بهتری نسبت به نمونه نیترواسیون گازی از خود نشان می‌دهد. در نمونه نیترواسیون پلاسمایی، ضخامت لایه سفید کم بوده و کنده شدن احتمالی آن کاهش وزن کمتری را به همراه دارد [۹]، لایه نفوذی این نمونه تأثیر بیشتری در مقاومت سایشی آن داشته است و حضور رسوبات نیتريدی موجب رفتار سایشی بهتری شده است [۶ و ۱۰] و لایه ترکیبی در این نمونه یکنواخت تر و با تخلخل کمتری می‌باشد [۹ و ۱۱] اما در نمونه نیترواسیون گازی، لایه ترکیبی متخلخل تر و غیر یکنواخت تری در سطح نمونه وجود دارد. همچنین لایه سطحی ضخیم‌تر بوده و کنده شدن آن سبب ایجاد کاهش وزن قابل توجهی می‌نماید و نهایتاً شیب سختی تند، مخصوصاً در منطقه نفوذی نزدیک به سطح می‌تواند دلیل بهتر بودن مقاومت سایشی نمونه نیتروپلاسمایی نسبت به نمونه نیتروگازی باشد.

۴- نتیجه گیری

ضخامت لایه ترکیبی در فولاد CE2 تحت فرآیند نیترواسیون گازی به مراتب بیشتر از فرآیند نیترواسیون پلاسمایی بود. لایه ترکیبی تشکیل شده در فولاد CE2 تحت فرآیند نیترواسیون گازی متخلخل تر و با زبری سطح بیشتر و سختی کمتر نسبت به فرآیند نیترواسیون پلاسمایی ارزیابی شد. ضخامت لایه

۵- مراجع

- [1] Dawes, D., Tranter, D. F., and Smith, C. G., " Nitriding Non- Alloy Steel Components", Heat Treatment of Metals, No.1, PP. 1-4, 1980.
- [۲] افرایی عربانی، «بهبود رفتار تریبولوژیکی فولاد ۱۰۴۵ با استفاده از عملیات ترموشیمی گازی و پلاسمایی»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷۹.
- [۳] آحادی وند، ح، «ارتقاء خواص خستگی فولاد ۱۰۴۵ با استفاده از عملیات سطحی گازی و پلاسمایی»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷۹.
- [۴] نصرتی نیا، م.ع، «نیتراسیون پلاسمایی فولادها»، متالورژی سطح و تریبولوژی، ص ص. ۲۹۸-۲۷۳، ۱۳۷۲.
- [5] Bennett, K., Weir, Q., and Williamson, J., "Gaseous Nitrocarburising – a Suitable Alternative for the Heat Treatment of Automotive Crankshafts", Heat Treatment of Metals, Vol.4, pp. 79-81, 1981.
- [۶] گلغذاز، م.ع، «عملیات حرارتی و مهندسی سطح»، انتشارات ارکان، ۱۳۷۷.
- [7] Loh, N. L. and Siew, L. W., "Residual Stress Profiles of Plasma Nitrided Steels", Surface Engineering, Vol.15, No.2, pp. 137-142, 1999.
- [8] Edenhofer, B., "Physical and Metallurgical Aspects of Nitriding", Heat Treatment of Metals, No.1, pp. 23-28, 1974.
- [9] Nitrierbetriebe, B., "Plasma Nitriding in Comparison with Gas Nitriding", Nitron GMBH , 2001.
- [10] Mittemeiger, E. J., and Somers, M. A. J., "Thermodynamics, Kinetics and Process Control of Nitriding", Surface Engineering, Vol.13, No.6 , pp. 483-496, 1997.
- [11] Bever, M. B. and Floe, C. F., "Case Hardening of Steel by Nitriding", ASM Publication, pp. 356-347, 1953.

