

بررسی تأثیر عملیات حرارتی بر مشخصه‌های ورق ضد سایش هارداکس ۶۰۰

مریم السادات بزرگ‌تبار^۱، محمدرضا جعفرپور^۲ و نصرالله عربیان^۳

۱- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی

۲- کارشناس ارشد، فولاد مبارکه اصفهان

۳- کارشناس، دانشگاه صنعتی اصفهان

mbozorgtabar@iaumajlesi.ac.ir

چکیده

در این پژوهش تأثیر عملیات حرارتی بر ریزساختار و سختی ورق ضد سایش هارداکس ۶۰۰ مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور نمونه‌های ورق هارداکس ۶۰۰ در دماهای عملیات متفاوت به مدت ۵ ساعت عملیات حرارتی گردیده و ریزساختار و سختی نمونه‌ها توسط آزمون‌های متالوگرافی، آنالیز اشعه ایکس (XRD) و سختی‌سنجی راکولسی ارزیابی گردید. نتایج حاصله از آزمایشات نشان می‌دهد که عملیات حرارتی سبب تغییر ریزساختار و سختی ورق می‌گردد. افزایش دمای عملیات حرارتی به دلیل تمپر نمودن نمونه‌ها سبب افزایش تغییرات ریزساختار و کاهش سختی می‌گردد. بیشترین تغییرات ساختار و سختی در عملیات حرارتی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید که نشان‌دهنده کاهش مقاومت سایشی ورق هارداکس در دمای مذکور می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:

ورق ضد سایش، هارداکس ۶۰۰، عملیات حرارتی، سختی.

۱- مقدمه

خیلی متنوعی دارند و قابلیت‌های بالایی در برابر سایش و مقاومت به ضربه از خود نشان می‌دهند. ورق‌های ضد سایش از مقاومت سایشی نزدیکی به سرامیک‌ها برخوردارند ضمن اینکه از جوش‌پذیری بالایی مانند فولادهای کربن متوسط برخوردارند. این خواص بی‌نظیر سبب افزایش قابل ملاحظه عمر قطعات و کاهش زمان توقف می‌گردد [۲ و ۳].

ورق‌های ضد سایش به صورت ورق‌های فولادی، چدنی و ورق‌های پوشش داده شده وجود دارد که از بین آنها می‌توان

سایش یکی از مخرب‌ترین پدیده‌ها در صنایع مختلف از جمله صنایع فولاد، پتروشیمی، غذایی، حمل و نقل، معادن و ... است. سایش هزینه‌های کلانی را بر کشورهای جهان تحمیل می‌نماید و کاهش سایش و مقابله با آن یکی از چالش‌های مهم کشورهای جهان می‌باشد. یکی از روشهای کاهش سایش استفاده از تجهیزات و ورق‌های ضد سایش به جای تجهیزات و ورق‌های متداول در صنایع است [۱]. ورق‌های ضد سایش کاربردهای

, HARDOX 500 , HARDOX 550 و HARDOX 600 یافت می‌شود [۱۴]. از بین ورق‌های هارداکس، ورق هارداکس ۶۰۰ ورق ضد سایش با عمری طولانی است. هارداکس ۶۰۰ ورق کوئنچ و تمپر شده با سختی حدود ۶۰۰ برینل (حدود ۵۵ راکول سی) برای شرایط سایش حاد بوده و ترکیب مناسبی از جوش‌پذیری، سختی و چقرمگی (ضربه‌پذیری) را دارا است [۱۵]. ورق هارداکس ۶۰۰ می‌تواند در سیستم‌های کانویر (نقاله)، فیدرها، شوتها، چکشهای دوار، تیغه‌های خرد کردن و ... به کار رود. ورق‌های هارداکس ۶۰۰ می‌تواند جایگزین خوبی برای محصولات ضد سایش دیگر باشد [۱۵].

به دلیل تجاری و انحصاری بودن ورق ضد سایش هارداکس مطالعات تحقیقاتی بسیار کمی در مورد آن انجام گرفته است بنابراین در این پژوهش با توجه به اهمیت آگاهی از شرایط کاربردی ورق ضد سایش، تأثیر عملیات حرارتی بر ریزساختار و سختی ورق که نشان‌دهنده تأثیر دمای کاری بر خواص ضد سایشی ورق می‌باشد، ارزیابی شد. همچنین مکانیزم‌های مؤثر بر کاهش خواص ضد سایشی ورق در دماهای بالا مورد بررسی قرار گرفت.

۲- روش تحقیق

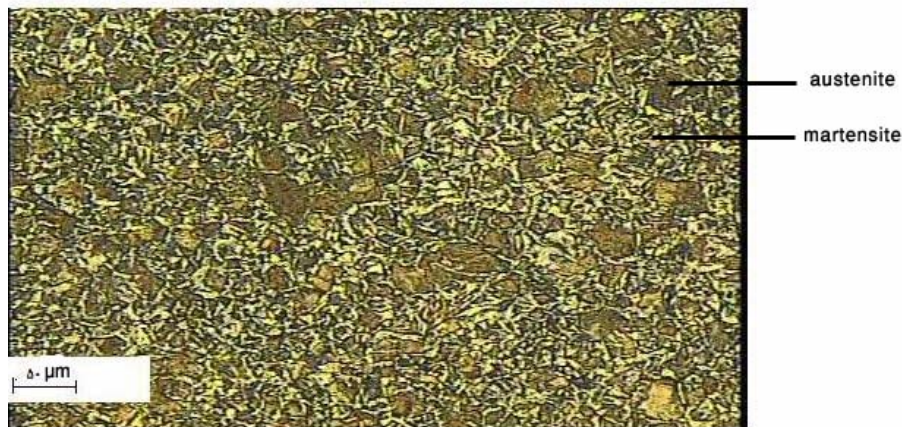
به منظور تهیه نمونه‌های آزمایش از ورق هارداکس ۶۰۰ به ضخامت ۲ cm استفاده گردید. به دلیل سختی بالای ورق هارداکس ۶۰۰ نمونه‌ها توسط دستگاه پلاσμα به ابعاد $2 \times 2 \times 5$ cm برش داده شدند. به منظور جلوگیری از تغییر ساختار، از گرم شدن نمونه‌ها در حین برشکاری توسط آب جلوگیری شد. نمونه‌های تهیه شده توسط کوره عملیات حرارتی اکسایتون در دماهای مختلف ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۲۵، ۲۵۰، ۲۷۵، ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰، ۴۵۰ و ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت عملیات حرارتی شده و پس از عملیات حرارتی در کوره تا دمای محیط به آرامی سرد گردیدند. پس از عملیات حرارتی نمونه‌های تهیه شده توسط میکروسکوپ نوری، آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) و سختی‌سنجی راکول ارزیابی شدند.

به فولادهای کم آلیاژ، چدن سفید، چدن خاکستری و فولادهای نیترووره، کربوره، سطح سختی شده اشاره نمود [۷-۴]. از میان این مواد فولادهای کم آلیاژ با قیمت مناسب و امکان تهیه آسان برای برخی مصارف سایشی انتخاب می‌شوند و تا درجه حرارت‌های ۱۵۰-۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قابل استفاده می‌باشند. با انجام عملیات حرارتی می‌توان سختی و چقرمگی مورد نظر را در فولادهای کم آلیاژ به دست آورد [۸]. فولاد AISI 52100 و فولادهای کربوره شده برای بلبرینگ و رولبرینگ استفاده می‌شود و مقاومت سایشی و عمر خستگی بالایی دارند. فولاد منگنزدار به طور گسترده‌ای در ابزار و تجهیزات معدنی که ضربه‌پذیری و مقاومت به سایش برای آنها مطرح است به کار گرفته می‌شود [۹]. فولادهای زنگ‌نزن در درجه حرارت‌های بالا و محیط‌های خوردنده برای ساخت قطعات مناسب است. فولادهای زنگ‌نزن آستینیتی در شرایط خشک تمایل به چسبندگی و جوش سرد دارند و به این دلیل از فولادهای مارتنزیتی و یا رسوب سختی شده استفاده می‌گردد [۱۰]. چدن سفید حاوی مقادیر زیادی سمیتیت درشت است و مقاومت زیادی در برابر سایش دارد اما در برابر ضربه و خستگی ضعیف است و نیز قابلیت ماشین‌کاری پایینی دارد [۱۱ و ۱۲]. فولادهای پوشش داده شده عمدتاً در کاربردهایی که نیاز به مقاومت سایشی بسیار بالا است استفاده می‌گردند. سختی بالا و پایین بودن ضریب اصطکاک از مشخصات بارز اینگونه پوشش‌ها است. کنترل سایش نیز به وسیله همین خاصیت ذاتی آنها صورت می‌پذیرد. پوشش‌های مزبور اصولاً برای حفاظت از سایش چسبان و خراشان کاربرد دارند. آنها طیف وسیعی از مواد سخت مانند کاربیدها، نیتريد‌ها و برابیدها و همچنین اکسیدهای آلومینیوم و پوشش‌های الماسی و شبه الماسی را در بر می‌گیرند [۱۳].

یکی از انواع ورق‌های ضد سایش فولادی ورق‌های ضد سایش هارداکس می‌باشند. ورق‌های هارداکس ورق‌های با خواص ضد سایش و داکتیلیته بالا می‌باشند که در استانداردهای مختلف HARDOX HITUFHARDOX 400 , HARDOX 450

جدول (۱): ترکیب شیمیایی ورق هارداکس ۶۰۰.

C %Max	Si %Max	Mn %Max	P %Max	S %Max	Cr %Max	Ni %Max	Mo %Max	B PPM
۰/۴۷	۰/۷۰	۱/۰۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۰	۱/۲	۲/۰	۰/۸۰	۰/۰۰۴



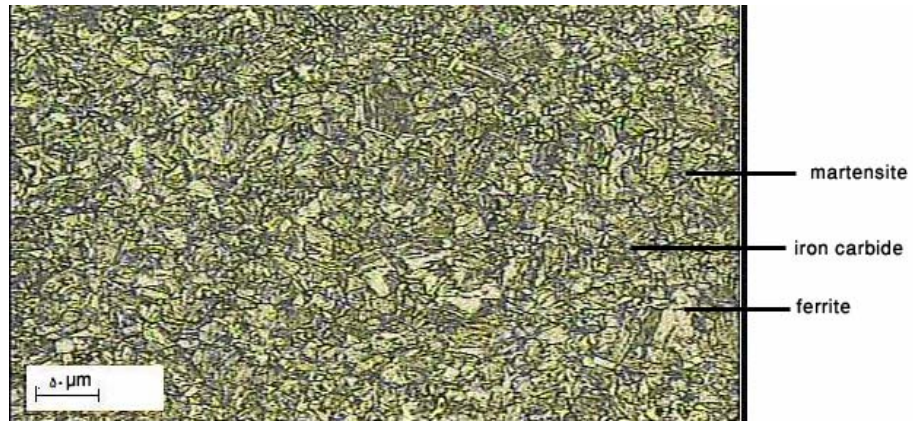
شکل (۱): تصویر ریزساختار ورق هارداکس ۶۰۰ قبل از عملیات حرارتی.

۳- نتایج و مباحث

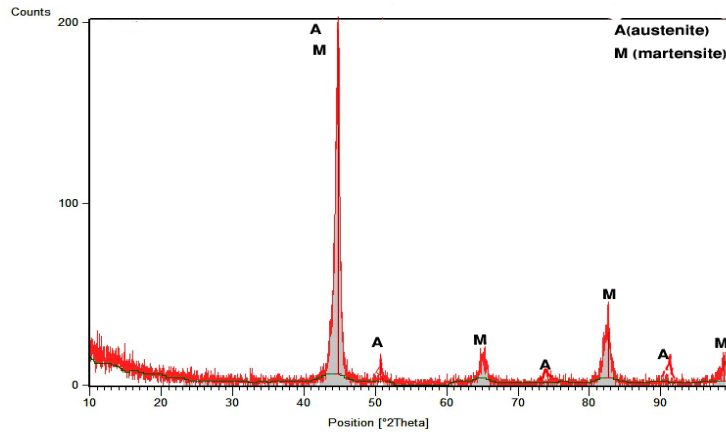
جدول (۱) آنالیز شیمیایی ورق ضد سایش هارداکس ۶۰۰ را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد ورق هارداکس فولاد کربن متوسط آلیاژی می‌باشد. بیشترین عناصر آلیاژی این فولاد نیکل، کروم و منگنز می‌باشند که وجود این عناصر سبب افزایش سختی فولاد گردیده‌است. شکل (۱) تصویر ریزساختار ورق هارداکس ۶۰۰ را قبل از انجام عملیات حرارتی نشان می‌دهد. ریزساختار شامل مارتنزیت و آستنیت می‌باشد که با توجه به این نکته که ورق مذکور ورق کوئنچ و تمپر شده می‌باشد احتمالاً مارتنزیت از نوع تمپر شده و آستنیت، از نوع باقیمانده می‌باشد. یکی از دلایل مقاومت به سایش بالای این ورق حضور فاز سخت مارتنزیت در ریزساختار می‌باشد.

دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهند. شکل (۳) بیانگر حضور فازهای آستنیت و مارتنزیت در نمونه عملیات حرارتی نشده است و شکل (۴) نشان‌دهنده وجود فازهای مارتنزیت، فریت و کاربید آهن در نمونه عملیات حرارتی شده در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که عملیات حرارتی نمونه‌ها سبب تغییر فازی آستنیت به فریت و کاربید آهن گردیده‌است. با عملیات حرارتی، نمونه‌ها مجدداً تحت عملیات تمپر قرار گرفته‌اند و تمپر مجدد سبب تغییر ساختار کریستالی ورق گردیده‌است. هر چه دمای عملیات حرارتی بیشتر گردیده، ادامه استحاله در اثر تمپر بیشتر و تغییرات ساختاری نمونه‌ها نیز بیشتر شده‌است. تمپر مجدد نمونه‌ها سبب ایجاد کاربیدهای آهن و با افزایش دما سبب استحاله آستنیت باقیمانده به فریت و کاربید آهن گردیده‌است [۱۶ و ۱۷]. تحقیقات انجام گرفته نشان می‌دهد که درجه حرارت و زمان تمپر کردن متفاوت سبب تغییر در خواص مکانیکی نمونه می‌گردد. اعمال درجه حرارتی بیشتر از حد تعیین شده بر روی فولاد و یا تمپر مجدد فولاد سبب انجام

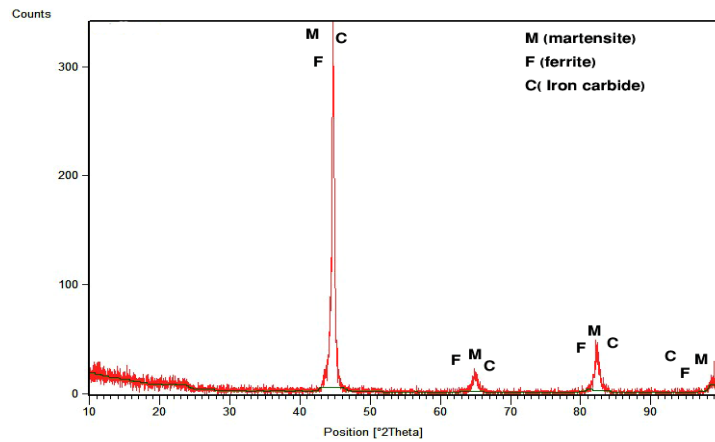
ریزساختار ورق هارداکس عملیات حرارتی شده در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در شکل (۲) نمایش داده شده‌است. مطابق شکل (۲) ریزساختار ورق عملیات حرارتی شده کاملاً تغییر یافته‌است. شکل‌های (۳) و (۴) الگوی پراش پرتو ایکس نمونه‌های ورق هارداکس را قبل و پس از عملیات حرارتی در



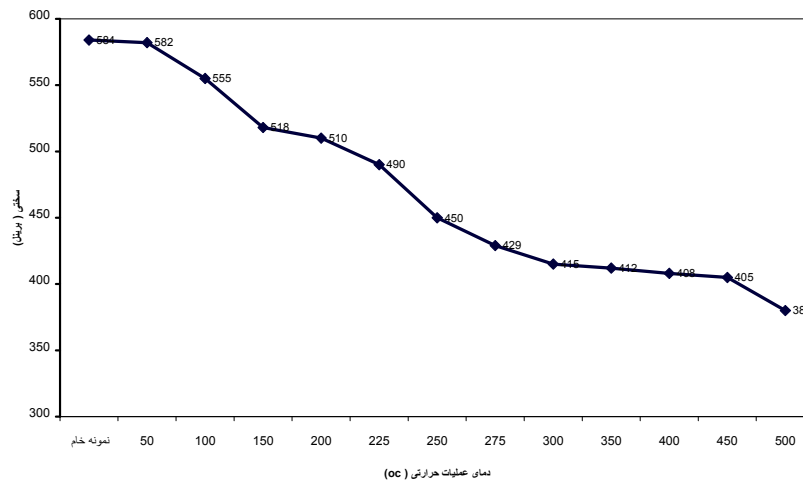
شکل (۲): تصویر ریزساختار ورق هارداکس ۶۰۰ عملیات حرارتی شده در دمای ۵۰۰°C.



شکل (۳): الگوی پراش پرتو ایکس ورق ضد سایش هارداکس ۶۰۰ قبل از عملیات حرارتی.



شکل (۴): الگوی پراش پرتو ایکس ورق ضد سایش هارداکس ۶۰۰ بعد از عملیات حرارتی در دمای ۵۰۰°C.



شکل (۵): دیاگرام کاهش سختی ورق هارداکس ۶۰۰ با افزایش دمای عملیات حرارتی.

۲- نزول سختی ورق هارداکس ۶۰۰ تحت عملیات حرارتی به دلیل تمپر نمونه‌ها و انجام استحاله‌های تبدیل آستنیت باقیمانده به فریت و کاربید آهن و تبدیل مارتنزیت تمپر شده به فریت و کاربید آهن می‌باشد.

۳- افزایش دماهای عملیات حرارتی منجر به تکمیل استحاله‌های تمپر و تغییر ساختار نمونه می‌گردد.

۴- ورق ضد سایشی هارداکس ۶۰۰ تنها در دمای محیط خاصیت ضد سایشی داشته و با افزایش دمای محیط کاری خاصیت ضد سایشی آن از بین می‌رود.

۵- مراجع

- [1] M. J. Neale and M. Gee, "Guide to Wear Problems and Testing for Industry", Professional Engineering Publishing Limited, 2000.
- [2] A. Bahrami, S. H. Mousavi Anijdan, M. A. Golozar, M. Shamanian and N. Varahram, Wear 25, pp. 851-8846, 2005.
- [3] B. F. Shahgaldi, J. Compson, Injury 31, pp. 85-92, 2000.
- [4] Z. B. Wang, J. Lu and K. Lu, Surface and Coatings Technology 201, pp. 2796-2801, 2006.
- [5] L. Xu, J. Xing, S. Wei, Y. Zhang and R. Long, Wear 262, pp. 253-261, 2007.
- [6] M. Erdogan, J. Mater. Sci. 37, pp. 3623-3630, 2002.
- [7] R. Kaul, P. Ganesh, P. Tiwari, R.V. Nandedkar and A. K. Nath, Journal of Materials Processing Technology 167, pp. 83-90, 2005.

ادامه استحاله‌ها در ضمن تمپر می‌گردد و سختی کاهش می‌یابد [۱۸].

شکل (۵) نمودار کاهش سختی ورق هارداکس ۶۰۰ نسبت به دمای عملیات حرارتی را نشان می‌دهد. مطابق شکل با افزایش دمای عملیات حرارتی سختی ورق کاهش یافته‌است. بیشترین کاهش سختی در عملیات حرارتی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شده و عدد سختی به نصف مقدار اولیه خود رسیده‌است. نتایج نشان می‌دهند که اگر نمونه‌های ورق تحت دمای بالاتر از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار بگیرند ساختار و همچنین سختی ورق تغییر می‌نماید. هر چه دمای اعمالی بر ورق افزایش یابد، تغییر ساختار و سختی ورق بیشتر می‌گردد و در نتیجه مقاومت سایشی ورق کاهش می‌یابد. بنابراین در صورت استفاده از ورق هارداکس ۶۰۰ دمای محیط کاری نباید بالاتر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد زیرا افزایش دمای محیط سبب کاهش سختی و مقاومت سایشی ورق می‌گردد.

۴- نتیجه گیری

۱- آزمایش‌ها نشان می‌دهد که با افزایش دمای عملیات حرارتی سختی ورق هارداکس ۶۰۰ کاهش می‌یابد.

- [15] HARDOX 600 the Ultimate Wear Plate, www.ssabox.com.
- [16] F. A. Garner, J. F. Bates and M. A. Mitchell, *Journal of Nuclear Materials* 189, pp. 201-209, 1992.
- [17] A. Medvedeva, J. Bergström, S. Gunnarsson and J. Andersson, *Materials Science and Engineering: A* 523, pp. 39 - 46, 2009.
- [18] S. Tanimura and J. Duffy, *International Journal of Plasticity* 2, pp. 21-35, 1986.
- [8] K. Allen and A. A. Torrance, *Tribology International* 19, pp. 123-127, 1986.
- [9] J. Xie, A. T. Alpas and D. O. Northwood, *Materials Science and Engineering A* 393, pp. 42-50, 2005.
- [10] X. Wei, M. Hua, Z. Xue, Z. Gao and J. Li, *Wear* 267, pp. 1386-1392, 2009.
- [11] S. W. Watson, B. W. Madsen and S. D. Cramer, *Wear* 181-183, pp. 469-475, 1995.
- [12] Q. Guo, H. Zhou, C. Wang, W. Zhang, P. Lin, N. Sun and L. Ren, *Applied Surface Science* 255, pp. 6266-6273, 2009.
- [13] I. Iliuc, *Tribology International* 39, pp. 607-615, 2006.
- [14] HARDOX 550, www.hardox.com.