

بررسی اثر تابش پرتوها بر روی فولاد Cr-W-V

محسن اسدی اسدآباد*^۱، عبدالجواد نوین روز^۲، سمیه شکری^۳

۱- استادیار، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده مواد، گروه پژوهشی مواد پیشرفته، اصفهان، ایران

۲- دانشیار، دانشکده علوم، گروه فیزیک، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران

۳- کارشناس ارشد، دانشکده علوم، گروه فیزیک، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

*asadimohsen@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۹۲/۰۸/۰۴، تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۲۲)

چکیده

فولاد کروم تنگستن با ترکیب آلیاژی و عملیات حرارتی معین در معرض تابش پرتوهای یونی آرگون و آلفا قرار گرفت. به کمک میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)، متوسط زبری سطح قبل و بعد از پرتودهی بررسی شد. برای بررسی تغییرات در پارامترهای بلوری قبل و بعد از پرتودهی از پراش اشعه ایکس (XRD) استفاده گردید. همچنین سختی فولاد قبل و بعد از پرتودهی به وسیله دستگاه میکروسختی اندازه گیری شد. نتایج نشان داد در اثر پرتودهی با پرتو آلفا، متوسط زبری سطح از ۲۰/۷۵ به ۱۶ نانومتر کاهش یافته و همچنین هر دو نوع پرتودهی پارامترهای بلوری فولاد را به میزان کمی تغییر دادند. مشخص گردید که سختی نمونه نیز بعد از تابش پرتو یونی آرگون و آلفا به ترتیب ۳۴ و ۱۸ ویکرز افزایش پیدا کرده است. تغییر نه چندان زیاد خصوصیات سطح توسط پرتودهی حاکی از مقاومت خوب این فولاد به پرتودهی در مقایسه با دیگر ترکیبات آلیاژی است.

واژه های کلیدی:

پرتودهی، فولاد کروم-تنگستن، یون آرگون، یون آلفا، سختی سنجی.

۱- مقدمه

مواد ساختاری در راکتورهای هسته ای در معرض دز بالای پرتو قرار دارند. پرتودهی این مواد با ذرات پرنانرژی منجر به فعال شدن آنها و همچنین تغییرات فیزیکی و مکانیکی می شود. به عبارت دیگر مواد ساختاری راکتورها در اثر قرار گرفتن در معرض تابش پرتوها، دچار آسیب های پرتویی از جمله جابجایی اتمها از موقعیت معمول آنها در شبکه و تشکیل تهی جاها، بین نشین ها و ساختارهای معیوب می شوند که تحت عنوان آسیب های جابجایی مطرح هستند [۱-۲]. آسیب های جابجایی اتمی ایجاد شده منجر به واکنش های تبدیل هسته ای و ایجاد اتمهای عناصر جدید می شود که این اتم عنصر جدید ممکن است منبع رادیواکتیویته باشد و مواد سازه را فعال کند [۳]. قرار گرفتن مواد در معرض تابش پرتوها، منجر به افت خواص مکانیکی از قبیل کاهش انعطاف پذیری و چقرمگی و افزایش تردی نیز می شود [۴]. اخیراً مواد کم فعال Fe-Cr-W-V به منظور استفاده در

مواد ساختاری در راکتورهای هسته ای در معرض دز بالای پرتو قرار دارند. پرتودهی این مواد با ذرات پرنانرژی منجر به فعال شدن آنها و همچنین تغییرات فیزیکی و مکانیکی می شود. به عبارت دیگر مواد ساختاری راکتورها در اثر قرار گرفتن در معرض تابش پرتوها، دچار آسیب های پرتویی از جمله جابجایی اتمها از موقعیت معمول آنها در شبکه و تشکیل تهی جاها، بین نشین ها و ساختارهای معیوب می شوند که تحت عنوان آسیب

دستگاه XRD مدل Philips- PW1800 تحت پرتوی ایکس Cu K α و نیز دستگاه AFM مدل Outo Probe CP ساخت شرکت Park Scientific Instruments در مد تماسی با تیپ Si₃N₄ مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. جهت اندازه گیری سختی نمونه ها قبل و بعد از پرتو دهی نیز از دستگاه میکروسختی ویکرز با نیروی ۱۰۰g استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- پراش اشعه ایکس (XRD)

شکل ۱ منحنی الگوی پراش اشعه ایکس آلیاژ را قبل و بعد از پرتو دهی آلفا نشان می دهد. برای مشاهده دقیق تر پیک ها، محدوده زوایا به دو بخش تقسیم شده است (شکل های الف و ب). تصویر ۱ الف مربوط به محدوده ی زاویه پراش ۴۰ تا ۵۰ درجه و تصویر ۱ ب مربوط به محدوده ی زاویه پراش ۶۰ تا ۷۰ درجه می باشد. همانگونه که در شکل ۱ مشاهده می شود بعد از تابش پرتو آلفا، از شدت پیک مربوط به صفحات (۱۱) و (۲۰۰) کاسته شده و به عبارتی نیم پهنای پیک ها افزایش یافته است. همچنین بعد از تابش آلفا، زاویه پیک مربوط به صفحه (۱۱۰) حدود ۰/۰۲ درجه و پیک مربوط به صفحه (۲۰۰) حدود ۰/۰۸ درجه افزایش یافته است.

جدول (۱): مشخصات پیک های شناسایی شده قبل و بعد از پرتو دهی توسط

بررسی با XRD.

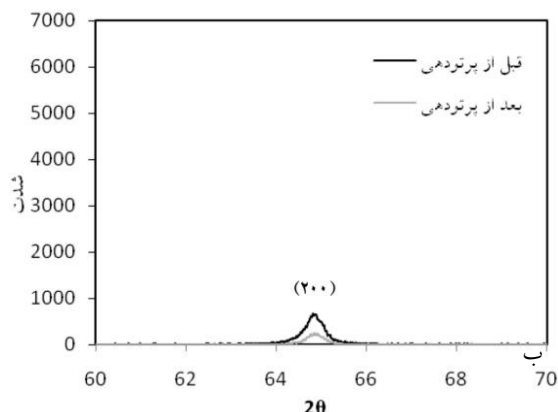
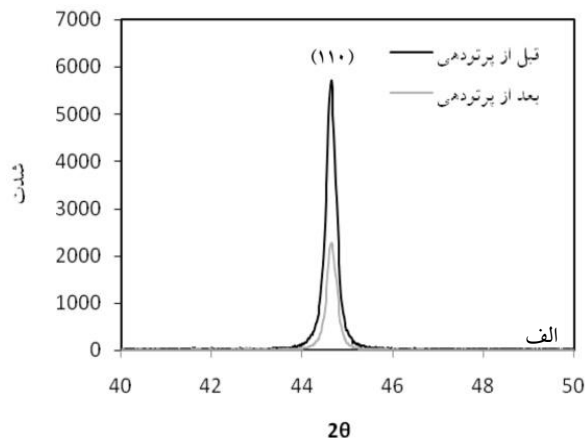
وضعیت پرتو دهی	شدت	نیم پهنای پیک (۲ θ)	زاویه پیک (۲ θ)
قبل از پرتو دهی	۳۳۶۶/۶۴	۰/۱۷۷	۴۴/۶۲
پرتوی α	۴۷۰/۲۸	۰/۱۴۴	۶۴/۸۱
	۲۲۵۰/۴۳	۰/۱۷۷	۴۴/۶۴
پرتوی یونی Ar	۲۲۴/۸۲	۰/۴۳۲	۶۴/۸۹
	۲۱۹۶/۱۵	۰/۲۱۶	۴۴/۶۹
	۲۴۶/۲۷	۰/۵۲۸	۶۴/۹۵

نخستین دیواره راکتورها گسترش یافته و جایگزین آلیاژهای متداول Fe-Cr-Mo و Fe-Cr-Ni شده اند. هدف استفاده از این مواد، ساخت راکتورها از موادی است که تحت پرتو دهی فعال نشوند یا اگر فعال می شوند، رادیواکتیویته به سرعت کم یا محو شود تا ایمنی عملکرد و تعمیر این راکتورها افزایش یابد [۵] و بعلاوه مقاومت قابل قبولی در برابر آسیب های پرتویی بویژه نوترون در راکتورها ارائه دهند. از اینرو به منظور حل مشکلات ناشی از پرتو دهی، تغییر خصوصیات مواد تحت پرتو دهی می بایست بطور دقیق مطالعه شود که از این طریق بتوان آلیاژهای جدیدی طراحی کرده و از آنها در دیواره راکتورها استفاده کرد. اگرچه پرتوی نوترون مهمترین پرتویی است که در راکتور حضور دارد، اما به دلیل فعال شدن شدید آهن در مقابل آن، برای شبیه سازی اثرات آن از دیگر پرتوها می توان استفاده کرد [۶]. در این مطالعه با بکارگیری یک آلیاژ جدید با ترکیب Fe-Cr-W-V، خصوصیات سطح آلیاژ، قبل و بعد از پرتو دهی توسط ذرات آلفا و پرتو یونی آرگون مورد بررسی قرار گرفت.

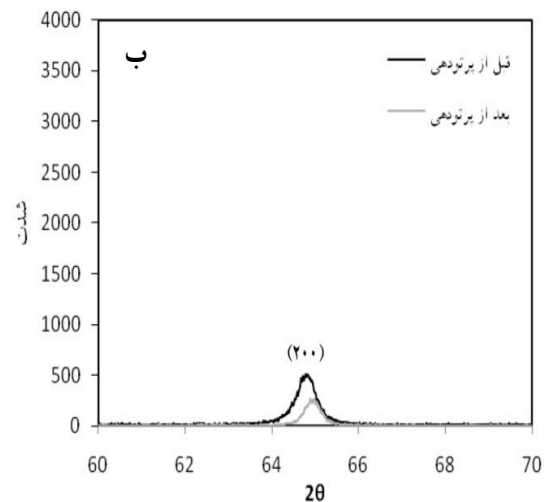
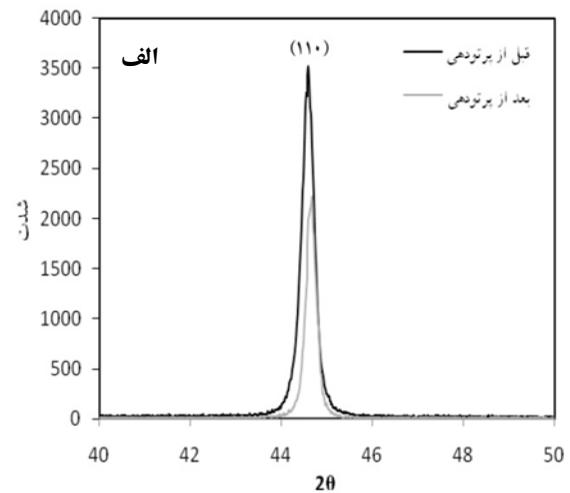
۲- مواد و روش تحقیق

ترکیب شیمیایی آلیاژ بکار رفته در این تحقیق بر حسب درصد وزنی (wt%) به صورت C: ۰/۰۹۱، V: ۰/۰۲۸، W: ۱/۹۱، Fe-Cr: ۴/۳۷ است. نمونه های مورد آزمایش از آلیاژی که در ۱۰۰۰°C محلول سازی و در ۷۰۰°C بازپخت گردیده انتخاب شد. جزییات بیشتر از آلیاژ و آماده سازی نمونه ها در مقاله دیگری از نویسندگان توضیح داده شده است [۷]. سطح نمونه ها پس از آماده سازی، تحت تابش پرتو آلفا و پرتوی یونی آرگون قرار گرفتند. برای پرتو آلفا از سیستم میکروپیکسی موجود در آزمایشگاه واندوگراف سازمان انرژی اتمی ایران و توسط ذرات هلیوم با انرژی ۲ MeV و با شار متوسط ۰/۷ μ A و بمباران به مدت ۳۰ دقیقه استفاده شد. جهت تابش پرتو یونی آرگون نیز از دستگاه MBM-100 با انرژی ۸۰ KeV و دز 10^{18} یون بر سانتیمتر مربع با خلأ اولیه 2×10^{-5} torr و خلأ در حین کار $4/6 \times 10^{-5}$ torr استفاده شد. نمونه ها قبل و بعد از پرتو دهی توسط

بیشتر بوده است. افزایش نیم پهنای پیک های XRD به معنای کاهش اندازه بلوری در آلیاژ است. به عبارت دیگر در اثر تابش پرتو، اعوجاج و مرزهای فرعی در بلور ایجاد می شود که خود را به شکل افزایش نیم پهنای در منحنی XRD نشان می دهد که نهایتاً منجر به کاهش متوسط فاصله صفحات پراش براگ می شود. بررسی اثرات پرتو با استفاده از XRD توسط دانلییان [۸] پس از پرتو دهی آلیاژ Fe-12%Cr توسط یون Ar^+ (۴۰ KeV) نیز انجام شده است. مشاهدات او حاکی از کاهش شدت و افزایش عرض پیک پس از پرتو دهی است که با نتایج این تحقیق تطابق دارد با این تفاوت که آلیاژ مذکور تأثیر بیشتری از پرتو دیده است. همچنین طبق رابطه براگ $(\lambda = 2d \sin \theta)$ [۹] در یک طول موج ثابت، مقدار θ با اندازه d رابطه عکس دارد. یعنی با تابش پرتو و اعوجاج ایجاد شده فاصله متوسط صفحات کم می شود، اما بنظر نمی رسد ثابت کریستالی تغییر کند.



شکل (۲): الگوی XRD از نمونه آلیاژی قبل و بعد از پرتو دهی یون آرگون در محدوده (۲θ) (الف): ۴۰ تا ۵۰ درجه و (ب): ۶۰ تا ۷۰ درجه.

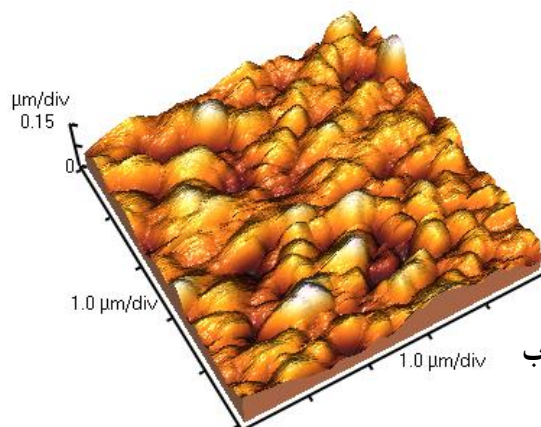
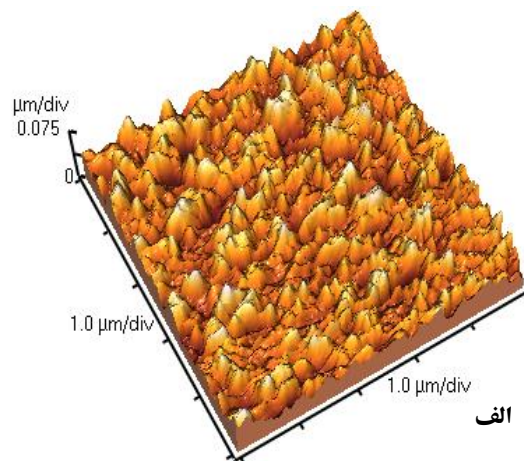


شکل (۱): الگوی XRD از نمونه آلیاژی قبل و بعد از پرتو دهی α در محدوده (۲θ) (الف): ۴۰ تا ۵۰ درجه و (ب): ۶۰ تا ۷۰ درجه.

شکل ۲ الف و ب نیز منحنی XRD آلیاژ را قبل و بعد از تابش پرتو یونی آرگون به ترتیب در محدوده ی (۲θ) ۴۰ تا ۵۰ و ۶۰ تا ۷۰ درجه نشان می دهد. مشابه با پرتوی آلفا، شدت پیک ها در این حالت نیز کاهش یافته است. همه پیک ها در تصاویر ۱ و ۲ با توجه به پایه آهن آلیاژ متعلق به آهن با شبکه بلوری bcc است. افزایش زاویه بعد از تابش پرتو یونی آرگون برای پیک (۱۱۰) حدود ۰/۰۷ درجه و برای پیک (۲۰۰) حدود ۰/۱۴ درجه است. در جدول ۱ مشخصات پیک های شناسایی شده قبل و بعد از پرتو دهی توسط بررسی با XRD فهرست شده است. مقایسه نتایج حاصل از XRD مربوط به دو پرتو نشان می دهد اثرات ناشی از تابش پرتو یون آرگون بر سطح آلیاژ نسبت به پرتو آلفا

۳-۲- میکروسکوپ نیروی اتمی AFM

میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) ابزار مفیدی برای بررسی اثرات پرتودهی است. به دلیل تشابه اثر هر دو پرتو یونی آرگون و پرتو آلفا بر روی نتایج AFM در این قسمت تنها آثار مربوط به پرتوی آلفا بررسی می شود. شکل ۳ الف و ب به ترتیب تصاویر مربوط به بررسی با AFM از سطح آلیاژ قبل و بعد از تابش پرتو آلفا است. با مقایسه این تصاویر روشن است که زبری در سطح نمونه، بعد از پرتودهی نسبت به قبل از پرتودهی کمتر است. بعد از تابش پرتو آلفا، متوسط زبری سطح (R_a) از $20/75$ به 16 نانومتر کاهش یافته است. علت کاهش در زبری نمونه ها بعد از پرتودهی، می تواند پدیده ساییش تابشی باشد. Lee و همکارش [۱۰] نیز کاهش زبری را در اثر بمباران یونی آلیاژ پایه Fe تحت 15 keV را گزارش نموده اند.



شکل (۳): بررسی با AFM از سطح آلیاژ (الف): قبل از تابش و (ب): بعد از تابش پرتو آلفا.

۳-۳- مطالعات ریزسختی

برای بررسی تغییرات سختی سطح فولاد کم فعال هسته ای در اثر تابش پرتو، ریزسختی ویکرز بر روی نمونه هایی که در معرض تابش پرتو یونی آرگون و پرتوی آلفا قرار داشتند و همچنین نمونه اولیه صورت گرفت. نتیجه این بررسی در جدول شماره ۲ آمده است. نتایج اندازه گیری نشان دادند سختی فولاد بعد از پرتودهی آلفا و یون آرگون نسبت به قبل از پرتودهی به ترتیب به میزان 18 و 34 ویکرز افزایش یافته است. ایجاد اعوجاج و تنش در شبکه بلوری و همچنین ایجاد مرزهای فرعی در اثر تابش پرتو با افزایش سختی همراه است. همچنین از جمله عواملی که منجر به افزایش سختی فولاد می شود، افزایش عیوب شبکه است. تابش پرتو منجر به افزایش عیوب از قبیل نابجایی ها می گردد. بنابراین افزایش سختی آلیاژ قابل پیش بینی است. با این حال تغییرات سختی در این آلیاژ در مقایسه با افزایش حدود 40 ویکرزی که در یک آلیاژ معمولی پایه آهن در اثر تابش رخ داده است [۱۱] کمتر است که حاکی از پایداری بهتر آلیاژ مورد مطالعه است.

جدول (۲): نتایج حاصل از اندازه گیری های سختی قبل و بعد از پرتودهی.

وضعیت نمونه	عدد سختی (HV)
قبل از تابش پرتو	۱۸۵
بعد از تابش پرتو یونی آرگون	۲۱۹
بعد از تابش پرتوی آلفا	۲۰۳

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه تأثیر تابش پرتوی آلفا و یون آرگون بر خواص سطحی آلیاژ کم فعال هسته ای عملیات حرارتی شده بررسی گردید. نتیجه بررسی با AFM کاهش زبری سطح آلیاژ بعد از تابش پرتو یونی آرگون را نشان دادند. به عبارتی متوسط زبری سطح پس از تابش پرتو یونی آرگون از $20/75$ به 16 نانومتر کاهش یافته است. همچنین بررسی با پراش اشعه ایکس، کاهش فاصله متوسط بین صفحه ای و همچنین کاهش اندازه بلوری را در اثر تابش پرتوهای آلفا و یون آرگون نشان داد. بعلاوه تابش

- nickel compared to properties of commercial steels”, J.Nucl. Mater., Vol. 374, pp. 220-229, 2008.
- [5] R.L. Klueh, D.J. Alexander, “Effect of heat treatment and irradiation temperature on impact properties of Cr-W-V ferritic steels”, J. Nucl. Mater., Vol. 265, pp. 262-272, 1999.
- [6] R.L. Klueh, D.R. Harries, “High-Chromium Ferritic and Martensitic Steels for Nuclear Applications” USA, ASTM, 2001.
- [7] M. Asadi.A, Sh. Kheirandish & A.J. Novinrooz, “Microstructural and mechanical behavior of 4.5Cr–2W–0.25V–0.1C steel” Mater. Sci. Eng. A, Vol. 527, pp. 1612–1616, 2010.
- [8] D. Danielyan “A new method for modifying metallic materials by ion irradiation”, [http : // tfy .tkk .fi /aes /AES/courses/crspages/Tfy-56.181_02/Danielyan.pdf](http://tfy.tkk.fi/aes/AES/courses/crspages/Tfy-56.181_02/Danielyan.pdf)
- [9] B.D. Cullity “Elements of X-Ray Diffraction” 2nd ed. USA, Addison Wesley, 1978.
- [10] J.S. Lee, J.H. Lee “Surface roughness behavior of ion irradiated industrial steel” Surface & Coatings Technology, Vol. 196, pp. 358-363, 2005.
- پرتوی یون آرگون و آلفا منجر به افزایش سختی آلیاژ از ۱۸۵ به ۲۱۹ و ۲۰۳ ویکرز شده است. تغییر نه چندان زیاد خصوصیات سطح توسط پرتو دهی نشانگر مقاومت خوب این فولاد هسته ای نسبت به پرتو دهی است.
- ۵- مراجع**
- [1] R. Coppola, C. D. Dewhurst, R. Lindau, R. P. May, A. Moslang & M. Valli, “Polarized SANS study of microstructural evolution under neutron irradiation in a martensitic steel for fussion reactors”, Physica B, Vol. 345, pp. 225-230, 2004.
- [2] V. Vatulin, A. V. Tselishchev, “Structural steels for cores of fast neutron reactors”, Metal Science and Heat Treatment, Vol. 46, No. 11–12, pp. 13-19, 2004.
- [3] K. Asakura, A. Kohyama & T. Yamada, “Mechanical properties and microstructure changes of low-activation 3Cr-2W-Vti ferritic steels developed for nuclear applications”, ISIJ International, Vol. 30, No. 11, pp. 947-954, 1990.
- [4] R. L. Klueh, M. A. Sokolov & N. Hashimoto, “Mechanical properties of unirradiated and irradiated reduced-activation martensitic steels with and without