اندازه‌گیری خواص فیزیکی فولاد تحت تابش گاما

امیرسرداری،زهرا * (۱)- عبدی،محمدرضا (۱)

دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم، گروه فیزیک

چکیده:

در این پژوهش پرکاربردترین فولادهای ضدزنگ در صنعت هسته‌ای از قبیل ۳۰٤، ۳۰٤Lو ۳۱٦L تهیه و توسط لیزر برش داده شد. تابش‌دهی گاما بر روی نمونه‌ها با یک رادیوایزوتوپ CO-60 با دزهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگری انجام شد. مقاومت نمونه‌ها به روش چهارپروب و مقاومت‌ویژه و رسانندگی الکتریکی نمونه‌ها از مقاومت محاسبه شد. با استفاده از قانون ویدمان- فرانتس رسانندگی‌حرارتی نمونه‌ها به دست آمد. همچنین خواص مغناطیسی با دستگاه مغناطش‌سنج نمونه‌ی ارتعاشی اندازه‌گیری شد. تغییرات در خواص ذکر شده قبل و بعد از تابش‌دهی در نمونه‌ها بررسی گردید.

کلمات کلیدی: فولادضدزنگ، چهارپروب، ویدمان فرانتس، مغناطش سنج ارتعاشی

Measuring physical properties of steel in Exposure to gamma

Amirsardari, Zahra[1]- Abdi, Mohammad reza[1]

[1]Isfahan University, Faculty of Sciences, Department of Physics

Absrtact

*In the present study, the most useful stainless steels of in nuclear industry, i.e. 304, 304L and 316L were provided and laser cut into 0.5*0.5 cm dimension. Gamma irradiation on samples was done with a 60Co radioisotope to the doses of 100 and 200 kGy. The resistance of the samples was measured through the Four-Probe technique, and also the special resistance and the electrical conductivity of the samples were measured from resistance. The conductivity of the samples was obtained through Widman-Frantz. The magnetic properties of the samples were also measured by the Vibrating Sample Magnetometer. Changes in the aforementioned properties before and after the irradiation were investigated.*

مقدمه:

فلزات و آلیاژها جامدهای بلوری هستند به طوری که اتم‌های یک فلز در شبکه‌های معینی قرار دارند که از تکرار آن‌ها جامد فلزی حاصل می‌شود. خواص مواد از جمله فلزات علاوه بر ترکیب شیمیایی به نوع پیوند بین آن‌ها، نحوه آرایش یا قرارگیری اتم‌ها در کنار یکدیگر، ساختار شبکه کریستال و زیر ساختار آن‌ها بستگی دارد به طوری که ممکن است با تغییر هرکدام از این عوامل مذکور خواص فیزیکی، مکانیکی، الکتریکی، جوشکاری و ... تغییرکند. فولاد یکی از مهمترین آلیاژهاست که در طی قرون اخیر نقش مهمی در صنایع و پیشرفت کشورها داشته به طوری‌که به عنوان یک کالا و صنعت استراتژیک مورد توجه بوده‌است[۱]. ارائه‌های منظمی از آزمایش‌ها در باب اثرتابش برجامدها توسط دانشمندان وجوددارد. داود ایرجی در ایران تغییرات میزان سخت شدگی سطحی فولاد۳۱٦،۳۰٤ و ۳۲۱ را در شرایط مختلف تابش‌دهی مورد آزمایش قرارداد[۲]. در این پژوهش سه نوع فولاد ضدزنگ آستنیتی سری ۳۰۰ تهیه شد. بیش از ٦۰درصد فولادهای آستنیتی مورد استفاده در صنایع و نیروگاه‌های هسته‌ای فولادهای ۳۰٤، ۳۱٦ و ترکیب-های کم‌کربن آن‌ها یعنی ۳۰٤Lو۳۱٦L هستند [۳،٤]. ترکیب شیمیایی فولادهای مورد استفاده مطابق استاندارد در جدول‌های زیرآورده شده‌اند. مقدارهای ذکرشده حداکثر میزان مجاز درصد وزنی می‌باشند.

جدول شماره(۱). ترکیب شیمیایی فولاد ضدزنگ ۳۰٤

عنصر	S	C	Mn	P	Si	Cr	Ni	Fe
درصدوزنی	۰/۰۳۰	۰/۰۸۰	۲/۰	۰/۰٤۸	۱/۰	۱۸/۰	۱۰	تعادل

جدول شماره(۲). ترکیب شیمیایی فولاد ضدزنگ ۳۰٤L

عنصر	S	C	Mn	P	Si	Cr	Ni	N	Fe
درصدوزنی	۰/۰۳۰	۰/۰۳۰	۲/۰	۰/۰٤٥	۰/۷۵۰	۲۰	۸–۱۲	۰/۱۰	تعادل

جدول شماره(۳). ترکیب شیمیایی فولاد ضدزنگ ۳۱٦L

عنصر	S	C	Mn	P	Si	Cr	Ni	N	Fe
درصدوزنی	۰/۰۳۰	۰/۰۳۰	۱/٤۰	۰/۰٤٥	۰/٤۷۰	۱۸	۱۳/٤۰	۰/۱۰	تعادل

روش کار:

تاثیر تابش‌دهی بر نمونه‌ها:

از آن جا که برش فلزات با لیزر بسیار دقیق بوده و هیچ خطایی ندارد، نمونه‌ها در ابعاد ۵ میلی‌متر در ۵ میلی متر با لیزر برش داده شدند. سپس نمونه‌ها با استفاده از سیستم صنعتی IR-136 واقع در سازمان انرژی اتمی تهران، تحت تابش گاما با رادیوایزوتوپ کبالت-۶۰ در دزهای ۱۰۰و ۲۰۰ کیلوگری قرارگرفتند. استفاده از پرتوی گاما به این علت است که تابش‌دهی با گاما مزایای بسیاری نسبت به روش‌های دیگر دارد. پس‌از آماده‌سازی نمونه‌ها مقاومت فلزات به روش چهارپروب در آزمایشگاه دانشگاه صنعتی اصفهان اندازه‌گیری شد. با برقراری جریان-های مختلف و اندازه‌گیری ولتاژ بین دو اتصال وسطی با استفاده از ولت‌متر با مشخصات (KEITHLEY 2182 nvm)، نمودار پتانسیل برحسب جریان رسم شد. از نمودارهای V-I مقاومت و سپس با استفاده از رابطه‌ی زیر، مقاومت‌ویژه نمونه‌ها محاسبه شد.

$$R = \rho \frac{l}{A} \qquad (۱)$$

l فاصله بین دوپروب وسطی و A سطح مقطع نمونه است.

با در دسترس داشتن مقاومت ویژه با استفاده از رابطه‌ی (۲) و (۳) برای محاسبه رسانندگی الکتریکی و حرارتی (قانون ویدمان- فرانتس به شرط اینکه رسانش تنها توسط الکترون ها انجام شده باشد) استفاده کردیم.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \qquad (۲)$$

$$\frac{k_e}{\sigma} = \frac{\pi^2}{3} \left(\frac{K_B}{e}\right)^2 T = LT \qquad (۳)$$

L عدد لورنتس و یک ثابت نظری است. L مستقل از دما است و مقدار آن برابر $\frac{\Omega W}{K^2}$ 2.443×10^{-8} و برای فلزات مختلف مشابه است و به خواص مواد بستگی ندارد، K_B ثابت بولتزمن بامقدارعددی $1.38 \times 10^{-23}\ J/K$ و K_e رسانندگی گرمایی ناشی از الکترون‌های رسانش است[۵]. سپس خا صیت مغناطی سی نمونه‌ها مورد برر سی قرارگرفت؛ چون که در بین روش‌های مغناطی‌سی، روش نمونه‌ی مرتعش متداول‌تر ا ست خا صیت‌مغناطی سی نمونه‌ها به و سیله‌ی

د ستگاه مغناطش سنج ارتعا شی دان شگاه کا شان انجام پذیرفت. تمام اندازه‌گیری‌ها در دمای اتاق انجام شده است.

الف) نتایج تاثیرتابش بر خواص R , ρ ,σ و K نمونه‌ها:

جدول شماره (٤). مقدارهای σ, ρ, R و K برای نمونه‌های شاهد.

نمونه‌های بدون‌تابش	فاصله دو پروب ±۰/۱ (mm)	مقاومت ۰/۰۰۱± $(\Omega) \times 10^{-4}$	مقاومت ویژه (μΩ.m)	رسانندگی‌الکتریکی $(1/\Omega.m) \times 10^5$	رسانندگی‌حرارتی $(W/m.k)$
۳۰٤	۱/۵	۲/٤۸۷	٤/۱٤±۰/٤٤	۲/٤۱±۰/۲۵	۱/۷۵±۰/۱۸
۳۰٤L	۱/٦	٦/۵٦٦	۱۰/۲۵±۱/۰۵	۰/۹۷±۰/۰۹	۰/۷۰±۰/۰٦
۳۱٦L	۱/۷	۲/۸٦۸	٤/۲۱ ±۰/٤۷	۲/۳۷±۰/۲۳	۱/۷۲±۰/۱۷

جدول شماره (۵). مقدارهای σ, ρ , R و K برای نمونه‌ها با دز ۱۰۰ کیلوگری.

نمونه‌های ۱۰۰ kGy	فاصله‌دوپروب (mm)	مقاومت $(\Omega) \times 10^{-4}$	مقاومت ویژه (μΩ.m)	رسانندگی‌الکتریکی $(1/\Omega.m) \times 10^5$	رسانندگی‌حرارتی $(W/m.k)$
۳۰٤	۱/۸	۲/۲٤۸	۳/۱۲±۰/۲۹	۳/۲۰±۰/۲۹	۲/۳۳±۰/۲۱
۳۰٤L	۲/۱	۹/۹۱۲	۱۱/۸۰±۱/۰۳	۰/۸٤±۰/۰۷	۰/٦۱±۰/۰۵
۳۱٦L	۱/٤	۱/۷۷٤	۳/۱٦±۰/۳۳	۳/۱۵±۰/۳۳	۲/۲۹±۰/۲٤

جدول شماره(٦). مقدارهای σ, ρ, R و K برای نمونه‌ها با دز ۲۰۰ کیلوگری.

نمونه‌های ۲۰۰ kGy	فاصله‌دوپروب (mm)	مقاومت $\Omega \times 10^{-4}$	مقاومت ویژه (μΩ.m)	رسانندگی‌الکتریکی $(1/\Omega.m) \times 10^5$	رسانندگی‌حرارتی $(W/m.k)$
۳۰٤	۱/۸	۳/۰۵۲	٤/۲۳±۰/٤۰	۲/۳۵±۰/۲۲	۱/۷۱±۰/۱٦
۳۰٤L	۱/۱	٤/٦۲٤	۱/۰۵±۰/۱۳	۹/۵۲±۱/۱۷	٦/۹۳±۰/۸۷
۳۱٦L	۱/۵	۲/۵۵۱	٤/۲۵±۰/٤۵	۲/۳۵±۰/۲٤	۱/۷۱±۰/۱۸

در شـرایط بدون تابش‌دهی مقاومت ویژه فولاد ۳۰٤L تقریبا ۲/۵ برابر دو نمونه‌ی دیگر اسـت پس به همین میزان رسانندگی الکتریکی آن کمتر می شود. با توجه به نتایج بررسی ترادا بر روی عنصـر کروم ، هر چه کروم در آلیاژ مورد نظر بیشـتر باشـد رسـانندگی‌حرارتی کاهش می‌یابد،

فولادهای پر آلیاژ رسانندگی حرارتی کمتری نسبت به فولادهای کم‌آلیاژ در دمای اتاق دارند [٦] درنتیجه فولاد ۳۰٤L دارای کمترین رسانندگی حرارتی است.

در دز ۱۰۰ کیلوگری باز هم فولاد ۳۰٤L مقاومت ویژه بیشتری نسبت به دو نمونه‌ی دیگر دارد. افزایش مقاومت ویژه فولاد ۳۰٤L در دز ۱۰۰ کیلوگری در دمای اتاق را می‌توان به نقص‌ها و تهی‌جاهای ناشی از تشعشع‌ها و برهم‌کنش الکترون‌ها با تهی‌جاها نسبت داد. همچنین نقص‌های نقطه‌ای در کریستال باعث وقفه در دوره تناوب شبکه شده و مقاومت ویژه را افزایش می‌دهند. رسانندگی الکتریکی فولاد ۳۰٤L کاهش یافته زیرا نقص های به وجود آمده باعث انحراف الکترون‌ها شده و به نظر می‌آید که ساختار، کمی بی‌نظم شده و چنین ساختار بی‌نظمی یک میانگین مسیر کوتاهی برای حرکت الکترون‌ها دارد. اگر سرعت الکترون‌ها کم شود تحرک حامل‌ها کم می‌شود در نتیجه هر تابشی که باعث بی‌نظمی در ساختار کریستال شود باعث افزایش مقاومت‌ویژه و کاهش رسانندگی‌الکتریکی می‌شود و با کم شدن سرعت الکترون‌ها رسانندگی حرارتی کم شده است [۷]. مقاومت ویژه فولاد ۳۰٤ و ۳۱٦L در دز ۱۰۰ کیلوگری در دمای اتاق کاهش یافته است و این موضوع کاملا با آزمایش کیشولوفسکی در باب مقاومت فولاد ۳۰٤ در دمای اتاق سازگاراست، همچنین دز ۱۰۰کیلوگری چنان برروی دونوع فولاد تاثیرگذاشته است که این انرژی زیاد باعث کنده شدن الکترون‌های مقید به هسته(لایه‌های داخلی) شده در نتیجه الکترون‌های آزاد بر عیب ها غلبه کرده و باعث کاهش مقاومت ویژه و افزایش رسانندگی حرارتی و الکتریکی شده اند [۸]. در ۲۰۰ کیلوگری فولاد ۳۰٤ و ۳۱٦L با افزایش دز، یا در واقع با افزایش زمان تابش‌دهی، نقص‌ها و تهی‌جاها در آن‌ها افزایش یافته در نتیجه باعث افزایش مقاومت‌ویژه شده‌اند و به دنبال آن رسانندگی الکتریکی کاهش یافته است. همچنین عیوب ریز ساختاری باعث کاهش رسانندگی حرارتی شده است. علت اصلی کاهش و تنزل در رسانندگی حرارتی بعد از تابش، تغییر مسیر الکترون‌ها و فونون ها در اثر عیوب ناشی از تشعشع‌ها است[٦]. فولاد ۳۰٤L رفتاری متفاوت از دو فولاد دیگر را نشان می‌دهد که ممکن است اتلاف انرژی، مانع از انتشار بینابینی ها شده و مقاومت ویژه را کاهش و رسانندگی الکتریکی و حرارتی را افزایش داده است. همچنین افزایش رسانندگی بدین دلیل است که تابش طولانی مدت در دز ۲۰۰ کیلوگری باعث جداشدن الکترون‌های لایه داخلی شده و افزایش غلظت حامل‌ها بر عیوب غلبه کرده در نتیجه مقاومت‌ویژه کاهش پیدا کرده‌است [۹]. با افزایش دز تابش‌دهی مقاومت‌ویژه و رسانندگی فولادها به سمت نمونه‌های شاهد میل می‌کنند که در جدول(٦) به خصوص در مورد فولاد ۳۱٦ L کاملا آشکار است.

ب) نتایج تابش برخواص H_c و M_s (نیروی وادارندگی و مغناطش اشباع)نمونه‌ها:

جدول شماره(۷). نتایج H_c و M_s نمونه‌های شاهد.

نمونه‌ها / خواص مغناطیسی	۳۰٤	۳۰٤L	۳۱٦L
نیروی وادارندگی(Oe)	۵۵/۱۹٦	۵۹/۵٤۷	۵۷/٦۳
مغناطش اشباع (emu/g) ±۰/۰۰۰۱	٦/۵٦۹	۳/٦٦۳	۱/۵٤٤

جدول شماره(۸). نتایج H_c و M_s نمونه‌ها در دز ۱۰۰ کیلوگری.

نمونه‌ها / خواص مغناطیسی	۳۰٤	۳۰٤L	۳۱٦L
نیروی وادارندگی(Oe)	۵۸/۰۲	٦۳/۵۵	۵٦/۹۹۹
مغناطش اشباع (emu/g) ±۰/۰۰۰۱	۵/٦۳۸	۳/۲٤٤	۱/۲۵۸

جدول شماره(۹). نتایج H_c و M_s نمونه‌ها در دز ۲۰۰کیلوگری.

نمونه‌ها / خواص مغناطیسی	۳۰٤	۳۰٤L	۳۱٦L
نیروی وادارندگی(Oe)	۵۲/۹۳	٤۷/۹۸۷	٦۱/۷٤
مغناطش اشباع (emu/g) ±۰/۰۰۰۱	۳/۵۵۸	۰/٦۲۷	۰/۱۹۳

در شـــرایط بدون تابش‌دهی نیروی وادارندگی[1] در فولاد ۳۰٤L از بقیه بیشـــتر اســـت. بالا بودن نیروی‌وادارندگی بدان معناســـت که ماده مانند یک آهنربای پایدار عمل می‌کند و نمی‌خواهد به راحتی تغییر جهت دهد. باتوجه به بالا بودن اعداد نیروی وادارندگی مشـــخص می‌شـــود که نمونه‌های مورد

[1] Coercivity Force

آزمایش از نوع فرومغناطیس سخت می‌باشند. با افزایش دز پرتودهی مغناطش اشباع در نمونه‌ها کمتر شده و نیروی وادارندگی افزایش یافته است. عیب‌های به وجود آمده از تابش با دیواره‌های حوزه بر هم‌کنش داشته و مانع رشد دیواره‌ها می‌شوند در نتیجه با کاهش مغناطش اشباع روبه‌رو می‌شویم. نیروی‌وادارندگی حساس‌ترین نقش را در مواد فرومغناطیس دارد و قطعا تابش بر روی آن اثر می‌گذارد و از آنجا که H_c به این معناست که مانع چرخش مغناطش شود پس نیروی وادارندگی افزایش می‌یابد [۱۰،۱۱]. همچنین کم‌بودن نیروی‌وادار ندگی در ۲۰۰ کیلوگری نسبت به ۱۰۰ کیلوگری با وجود نقص‌های زیادتر به ناهمسانگردی های موجود در ورقه‌های فولادهای تجاری مرتبط است. پس اعداد نشان می‌دهند که پرتودهی قطعا بر روی خواص مغناطیسی نمونه ها اثر گذاشته است.

نتیجه‌گیری :

فولادهای مورد استفاده در دستگاه‌ها را براساس دز نامی تشعشعی آن‌ها دسته‌بندی می‌کنیم. در دستگاه‌هایی که مواد و خواص فیزیکی از اهمیت بالایی برخوردار هستند بهتر است که از فولادهای ۳۰٤L و ۳۱٦L استفاده شود زیرا زودتر به حالت شاهد می‌رسند. اما در دستگاه‌هایی که خواص فیزیکی فولاد در آن‌ها خیلی قابل اهمیت نیست بهتر است از فولاد ۳۰٤ استفاده شود.

مراجع:

1. W Smith, "*Structure and Properties of Engineering Materials*," Mc-Hill, 23 (1987).

۲. ایرجی،داود،نیتروژن دهی فولاد در محیط پلاسما،پژوهش فیزیک ایران، **۳،۳**،ص ۱۷۷، (۱۳۸۱).

3. V Gann and O V Ogorodnikova, "*Simulation of Neutron-induced in Tungsten by Irradiation with Energetic Materials*", Physical review **21**, 60 (2015).
4. J M K Wiezorek, Y Huang, F A Garner, P D Freyer, M Sagisaka and Y Isobe, "*Transmission Electron Microscopy of 304-type Stainless Steel after Exposure to Neutron Flux and Irradiation Temperature Gradients*", Nuclear materials **31**,1822 (2014).
5. C Alp Bil, E Gerce kcioglu, M Bozoklu, B Saatçi, M Ari and F. Nair, *" The electrical, thermal conductivity, microstructure and mechanical properties of Al-Sn-Pb ternary alloys*", Materials and Design **25**,1 (2015).

6. W Jens, L Fabian, W Sebastiam, T Werner,“ *The influence of heat treatment and resulting microstructures on the thermophysical properties of martensitic steels*”, Mater Sci **48**,8483 (2013).
7. I Lazanu and S Lazanu, “*The influence of initial impurities and irradiation conditions on defect production and annealing in siliconfor particle detectors*”, Nuclear Instruments B **201**,491 (2003).
8. V N Kiselevskii, “*Infuluence of radiation damage on the cyclic crack resistance of austenitic steels and alloys*”, No:**7**,720 (1992).
9. M A Osman, M A Hefni, R M Mahfouz and M M Ahmad, “γ_ Irradiation effect on the electrical properties of Liso_4”, physicaB **301**,318 (2001).
10. R A Kempf, J Sacanell, J Milano, N Guerra Méndez, E Winkler, A Butera, H Troiani, M E Saleta and A M Fortis, “*Correlation between radiation damage and magnetic properties in reactor vessel steels*”, Science Direct ,Journal of Nuclear Materials **445**,57 (2014).
11. T W Shyr, S J Huang and C S Wur, “*Magnetic anisotropy of ultrafine 316L stainless steel fiber*,” Science Direct, Journal of Magnetism and Magnetic Materials **419**, 400 (2016).