



تأثیر تنش‌های مکانیکی و حرارتی بر مقدار ضریب جذب ذرات β و دامنه نفوذ آنها در آلومینیوم

بهروز صالح‌پور*، طاهره پیرحسینلو
دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، صندوق پستی: 5166614776، تبریز - ایران

چکیده: در این کار پژوهشی برای مطالعه تجربی تأثیر نقص‌های بلوری بر میزان جذب ذرات β در آلومینیوم و دامنه نفوذ آنها، پس از اعمال تنش‌های مکانیکی و حرارتی روی نمونه‌ها، آزمایش‌های مربوط به تعیین ضریب جذب ذرات β حاصل از چشمه‌های ^{90}Sr ، ^{36}Cl ، ^{137}Cs گرفته و در هر سری آزمایش، نمونه‌های تنش دیده و سالم‌تر (تابکاری شده) با ضخامت‌های مختلف بکار رفته‌اند. در مقایسه نتایج مربوط به میزان جذب ذرات β با انرژی‌های معین در گروه نمونه‌های یاد شده، تأثیر نسبی نقص‌های بلوری بر ضریب جذب و دامنه نفوذ در آلومینیوم بررسی شد. ارقام بدست آمده در کلیه آزمایشها نشان می‌دهند که تأثیر نقص‌های بلوری بر ضریب جذب منفی، و در نتیجه بر دامنه نفوذ مثبت می‌باشد و این تأثیرگذاری در مورد ذرات بتای پرنرژی بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: نواقص بلور، ضریب جذب، عمق نفوذ، ذرات β ، تنش‌های حرارتی، اثرات تابشی، آلومینیوم، ساختار بلور

Effects of Mechanical and Thermal Stresses on the Absorption Coefficient and Penetration Range of β -Particles in Aluminum

B. Salehpour*, T. Pirhoseinlu

Faculty of Physics, University of Tabriz, P.O. Box: 5166614776, Tabriz - Iran

Abstract: Many results have been obtained in our previous studies on the effects of structural defects on the physical properties of crystalline materials. In this work, we are presenting our experimental results for the influence of the structural defects on the absorption coefficient and the penetration depth of β -particles in aluminum metal. For this investigation, 3 pieces of Al foils, with different thicknesses, were prepared. Then, one group of samples were annealed to show less defects. Other Al samples were exposed to heavily defect creating work, such as: hammering, rolling, and thermal quenching treatments. Then, by the use of the conventional method, the penetration depth of β -particles of different energies from ^{90}Sr , ^{36}Cl , and ^{137}Cs sources were determined. Our results show that the measured R-values for the defected samples are higher than those of the annealed ones. Also, it was found that the penetration depth for the defected samples increases as the β -particle's energy increases.

Keywords: Crystal Defects, Absorption Coefficient, Penetration Depth, Beta Particles, Thermal Stresses, Radiation Effects, Aluminum, Crystal Structure



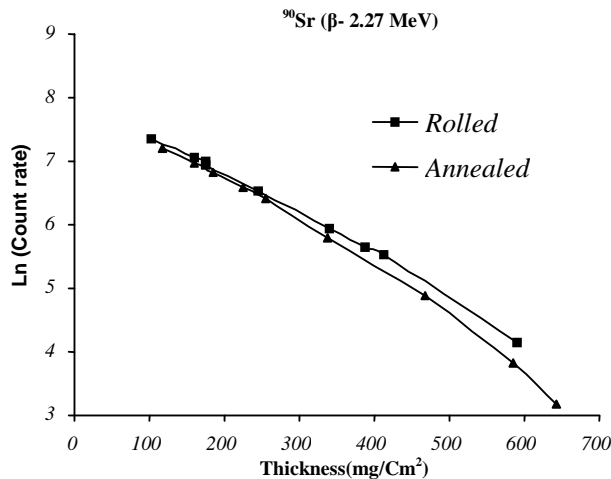
مقایسه با نمونه‌های تابکاری شده نشان می‌دهند. در حالیکه تصور می‌شود وجود عیوب ساختاری در مواد حاجب سبب افزایش میزان پراکنش و بازتاب ذرات تابشی روی نمونه می‌گردند [5] و [6]. در نتیجه میزان عبور ذرات باید در نمونه‌های معیوب کمتر باشد. با اینحال هنوز دلیل روشنی برای این پدیده غیرمنتظره ارائه نشده است. از طرف دیگر کاهش ضریب جذب و یا افزایش برد ذرات در نمونه‌های تنش دیده با انرژی ذرات رابطه مستقیمی را نشان می‌دهد.

2- مراحل آزمایش

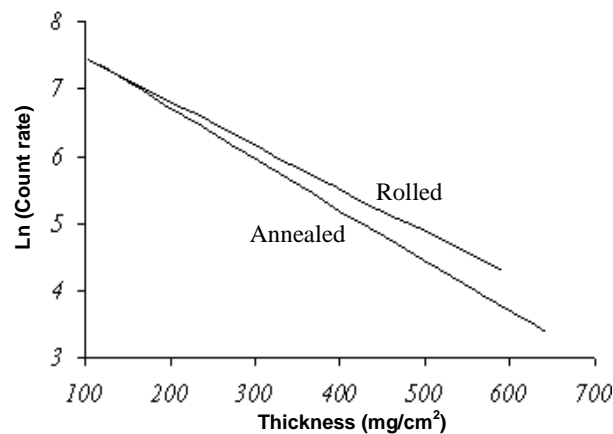
نمونه⁽⁵⁾ هایی از آلومینیوم با درجه خلوص Al 99/95 و 0/05 درصد ناخالصی‌هایی از عناصر Fe، Si، Zn، Cu به صورت صفحاتی به ابعاد تقریبی 5cm×7cm و ضخامت‌های مختلف از 0/3mm تا 3mm و از هر ضخامتی حداقل سه نمونه از کارخانه آلومینیوم سازی اراک تهیه شد و پس از تمیزکاری متداول، از هر ضخامت یک نمونه تحت تنش حرارتی⁽⁶⁾ (بوسیله عملیات quenching از دمای 500°C تا دمای اطاق) و نمونه دیگر بوسیله نورد و چکش کاری تحت تنش مکانیکی قرار داده شدند. بدین ترتیب در نمونه‌های دسته اول نقص‌های نقطه‌ای و در نمونه‌های دسته دوم نقص‌های خطی با چگالی بالا ایجاد شدند [1]. دسته سوم نمونه‌ها از هر ضخامت نیز بعنوان شاهد به روش تابکاری⁽⁷⁾ در دمای 400°C، به مدت یک ساعت و نیم تنش‌زدایی شدند و قبل از بکارگیری نمونه‌ها، ضخامت جرمی آنها بر حسب $\frac{mg}{cm^2}$ با اندازه‌گیری دقیق جرم و سطح آنها در هر مورد تعیین گردید. پس از آماده شدن سه نمونه از هر ضخامت، آزمایش‌های مربوط به جذب پرتو β با استفاده از آشکارساز Surface-Barrier از نوع SSB.Pips مدل Bu-0/15-0450-500 با قدرت تفکیک انرژی 10keV برای ذرات β و با ترتیب مداری مطابق شکل 1 انجام گرفت. استفاده از آشکارساز نیم‌رسانا این امکان را می‌دهد که برای چشمه‌های β که پرتو گاما نیز گسیل می‌کنند، به علت ضخامت کم بخش حسگر این نوع آشکارسازها، پرتو گاما آشکارسازی نمی‌شود. آزمایش‌های جذب β بوسیله شمارش میزان ذرات β که از چشمه‌های $^{36}Cl(0/709 MeV)$ ، $^{137}Cs(1/17 MeV)$ ، $^{90}Sr(2/27 MeV)$ گسیل شده و از نمونه آلومینیوم مربوطه عبور می‌کردند بطور جداگانه انجام گرفت.

خواص مواد جامد متأثر از نوع ریزساختار⁽¹⁾ آنها می‌باشند. بنابراین هر عامل خارجی که موجب بهم خوردن نظم یا تغییر ساختار ریز یا ترکیب عناصر تشکیل دهنده این نوع مواد شود ممکن است بر خواص فیزیکی و شیمیایی آن تأثیرگذار باشد. یکی از عوامل خارجی که بطور مؤثر تغییراتی در نظم شبکه‌ای مواد بلوری ایجاد می‌کند وارد کردن تنش‌های مکانیکی یا حرارتی، یا از طریق تابش ذرات پرانرژی است. گرچه در شرایط عادی هم هیچ ماده بلوری کامل و بدون نقص وجود ندارد، ولی عوامل خارجی یاد شده ممکن است فراوانی عیوب را به شدت افزایش دهند. در موادی مانند آلومینیوم با ساختار بلوری، عیوب نقطه‌ای⁽²⁾ بوسیله جابجایی اتم‌های شبکه یا وجود اتم‌های ناخالصی، و عیوب خطی⁽³⁾ از طریق حرکت و لغزش صفحات بلوری و با ترکیب و اندرکنش عیوب مذکور نقص‌های دیگری مانند حفره‌ها⁽⁴⁾ یا غده‌ها بوجود آیند [1]. هر گاه فراوانی نقص‌های بلوری بوسیله عوامل خارجی بمقدار قابل توجه افزایش یابد، تغییرات قابل سنجش در برخی خواص مواد بوجود می‌آید که با اندازه‌گیری میزان تغییرات در یک یا چند خاصیت فیزیکی می‌توان به میزان فراوانی نسبی عیوب و یا تنش‌های موجود در ساختار این نوع مواد پی برد. این نوع بررسی‌ها در تعیین کیفیت و ضریب اطمینان قطعات صنعتی بسیار مهم است [2 و 3]. چند روش غیرمستقیم فیزیکی برای تشخیص تنش‌های باقیمانده در مواد بلوری بکار می‌رود که از جمله آنها می‌توان سنجش تغییر در مقاومت الکتریکی را نام برد. در بررسی‌های قبلی با استفاده از روش‌های فیزیکی پرتوهای X و شیمیایی (DSC) میزان نسبی چگالی تنش‌های باقیمانده در آلومینیوم گزارش شده است [4]. در این کار پژوهشی به منظور بکارگیری روش جدیدتری برای تشخیص فراوانی نقص‌های بلوری یا تنش‌های موجود در نمونه‌های آلومینیوم صنعتی، تغییرات نسبی ضریب جذب و دامنه نفوذ پرتو β با انرژی‌های مختلف مربوط به نمونه‌های تابکاری شده (با کمترین تنش) و نمونه‌های تنش دیده (چکش کاری شده) بعنوان عامل سنجش چگالی نسبی نقص‌های بلوری در نمونه‌ها بکار گرفته شد. نتایج آزمایش‌های متعدد حاصل از کاربرد نمونه‌های آلومینیوم و چشمه‌های مختلف β نشان‌دهنده این است که بر خلاف انتظار، نمونه‌های تنش دیده ضریب جذب کمتری را برای ذرات β در

ثانیاً مقدار ΔR بر حسب افزایش انرژی ذرات نیز در محدوده سه مقدار انرژی یاد شده بصورت خطی افزایش می‌یابد. خلاصه نتایج مربوط به تغییرات ΔR بر حسب انرژی ذرات و در دو گروه نمونه نورد شده و سالم‌تر در جدول 1 نشان داده شده است.



(A)

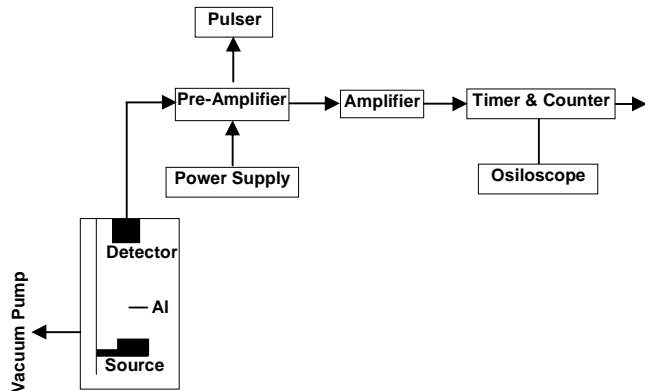


(B)

شکل 2- (A) نمودارهای منحنی‌های $\ln(N)$ بر حسب ضخامت جرمی X_m مربوط به ذرات β حاصل از ^{90}Sr در آلومینیوم برای دو گروه نمونه معیوب و تابکاری شده (B) برازش خطی منحنی‌های (A) برای تعیین برد و ضریب جذب ذرات β .

جدول 1: مقدار برد R ذرات β با انرژی‌های مختلف در دو گروه نمونه‌های معیوب و تابکاری شده آلومینیوم.

برد ذره بتا $R(\text{mg}/\text{cm}^2)$			چشمه‌ها و انرژی ذرات بتا
نورد و چکش کاری شده	کواینچ شده	تابکاری شده	
1163/0	1079/0	1047/0	$^{90}\text{Sr}-2/27\text{MeV}$
549/6	508/4	506/6	$\text{Cs}-1/17\text{MeV}$



شکل 1- طرح ساده آزمایش‌های مربوط به جذب β در نمونه‌های آلومینیوم.

3- نتایج و بحث

بعنوان نمونه‌ای از نتایج حاصل از آزمایش، جذب β در شکل (A-2) بصورت نمودار تغییرات $\ln(N)$ بر حسب ضخامت جرمی نمونه آلومینیوم و برای ذرات β گسیلی از ^{90}Sr نشان داده شده است که در آن N میزان شمارش ذرات تراگسیلی از نمونه‌هایی با ضخامت جرمی X_m در 10 ثانیه می‌باشد. این نوع نمودارها برای هر یک از چشمه‌های β بدست آمده است و برای تعیین ضریب جذب جرمی μ_m از ضریب زاویه برازش خطی منحنی‌ها و جهت محاسبه برد⁽¹⁾ نفوذ (R) ذره β از نقطه تقاطع خط برازش با محور X_m استفاده شده است. بعنوان نمونه، نحوه برازش خطی در شکل (B-2) آورده شده است و بطوری که در این شکل دیده می‌شود، شیب خط مربوط به نمونه‌های تابکاری شده تندتر است در نتیجه مقدار برد مربوطه R_a که از تقاطع خط برازشی با محور X_m بدست آمده کوچکتر از مقدار R_d در نمونه‌های نورد شده می‌باشد؛ به همین ترتیب مقدار ضریب جذب برای نمونه‌های تنش یافته (نورد شده) کمتر از نمونه‌های سالم‌تر است. مشابه منحنی‌های شکل 2 برای سه گروه نمونه آلومینیوم نورد و چکش کاری شده، کواینچ شده و تابکاری شده و برای سه مقدار انرژی ذرات β بصورت تجربی بدست آمد و پارامترهای برد و ضریب جذب در هر سه مورد به روش پیش‌گفته تعیین گردید. ارقام تجربی نشان می‌دهند که: اولاً، اندازه برد R_d در نمونه‌های نورد شده همواره مقدار معنی‌داری بیشتر از اندازه برد R_a در نمونه‌های تابکاری شده است. یعنی $\Delta R = R_d - R_a$ همواره مثبت است.



باقیمانده در ساختار بلوری، دامنه نفوذ ذرات را افزایش می‌دهد. لذا برای نمونه‌های مشابه از لحاظ ترکیب شیمیایی یکسان و چگالی نقص‌های ساختاری متفاوت، احتمالاً رابطه نیمه تجربی جداگانه‌ای برای محاسبه دامنه نفوذ ذرات β باید در نظر گرفت.

پی‌نوشت‌ها:

- 1- Microstructure
- 2- Point Defects
- 3- Dislocations
- 4- Voids
- 5- مشخصات ترکیبی نمونه‌ها بنابر گزارش کارخانه اراک می‌باشد
- 6- Quenching
- 7- Annealing
- 8- Range

References:

1. B. Henderson, "Defects in Crystalline Solids," Edward Arnold Press (1972).
2. M.W. Thompson, "Defects and radiation damage in metals," Cambridge University Press (1969).
3. G.P. Pells, "Radiation effects and damage mechanism in ceramic insulators and window materials," J. Nucl. Mat, **155-157/1**, 67-76 (1988).
4. B. Salehpour, "Studies of residual stresses in Al using DSC and XRD methods," J. Ultra Science, **12**(3), 412-415 (2000).
5. R. Jasezek, "Carrier scattering by dislocations in semiconductors," J. Mat. Sci, **12**, 1-9 (2001).
6. C.D.A.I. Ryazonav and Etal, "Instability of interstitial clusters under ion and electron irradiation in ceramic materials," J. Nucl. Sci, **23**, 372-379 (2003).

			136
286/0	275/4	258/4	Cl-0/709MeV 36

در این جدول مقادیر R مربوط به نمونه‌های کوانچ شده نیز آورده شده است. بطوریکه مشاهده می‌شود احتمالاً به علت چگالی بالای نقص‌ها در نمونه‌های چکش کاری شده نسبت به نمونه‌های کوانچ شده میزان افزایش R در نمونه‌های اولی بیشتر است. همچنین نوع نقص‌ها هم مؤثرند، زیرا در نمونه‌های چکش کاری شده عمدتاً عیوب خطی غالب‌اند و در نمونه‌های کوانچ شده عیوب نقطه‌ای بیشترند [1 و 2]. شکل B-2 برازش خطی نمودارهای شکل A-2 می‌باشد. از برازش خطی شکل B-2 مربوط به هر یک از چشمه‌های مورد استفاده β رابطه‌های نیمه تجربی بین مقادیر برد R و انرژی ذرات E برای دو گروه نمونه تنش دیده و سالم‌تر برترتیب ذیل ارائه می‌گردد.

$$\left(\frac{\text{mg}}{\text{cm}^2} 563/7E(\text{MeV}) - 111/8 \right)$$

R

$$\left(\frac{\text{mg}}{\text{cm}^2} 512/3E(\text{MeV}) - 98/2 \right)$$

R

بدیهی است این روابط در مورد نمونه‌های آلومینیوم صنعتی با ترکیب یاد شده صادق است و برای سایر آلیاژهای آلومینیوم با ترکیب شیمیایی دیگر، این معادلات تجربی احتمالاً متفاوت خواهند بود. در نهایت برای اطمینان از کاهش ضریب جذب β در نمونه‌های تنش دیده در موادی غیر از آلومینیوم، آزمایش‌های کیفی اولیه جذب β در مورد ورقه‌های نازکی از مس و آهن چکش کاری شده و نمونه‌های عادی از آنها نیز به عمل آمد. در این دو مورد نیز مقدار ضریب نفوذ (μm) نمونه‌های چکش کاری شده کوچکتر از نمونه‌های عادی بدست آمد که مؤید دامنه نفوذ بزرگتر ذره β در نمونه‌های تنش دیده در مقایسه با نمونه‌های عادی است.

4- نتیجه‌گیری

از این کار پژوهشی می‌توان نتیجه گرفت که حداقل در محدوده انرژی ذرات β (0/7-2/3MeV) وجود تنش‌های