



کاربرد دستگاه پلاسمای کانونی در پرتونگاری سریع صنعتی

محمد، امیرحمزه تفرشی*؛ محمد مهدی، ناصری؛ نجمه، نبی‌پور؛ داریوش، رستمی‌فرد؛ علی،

نصیری

سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده فیزیک پلاسما و گداخت هسته‌ای

چکیده

در این مقاله چگونگی و نیز نتایج حاصل از انجام پرتونگاری سریع از یک دستگاه فن در دو حالت ساکن و چرخنده ارائه شده است. برای انجام این پرتونگاری از پرتو ایکس سخت ناشی از تخلیه‌های الکتریکی دستگاه پلاسمای کانونی دنا در گاز آرگون استفاده شده است. چگونگی استفاده از ترازهای گری پرتونگاشت به منظور پی بردن به انرژی مؤثر پرتو ایکس نیز تشریح شده و سپس به عنوان یک مثال عملی، اقدام به محاسبه انرژی مؤثر پرتو ایکس مربوط به پرتونگاری از فن نیز شده است.

کلید واژه: پلاسمای کانونی دنا، چشمه پرتو ایکس، پرتونگاری.

مقدمه

دستگاه‌های پلاسمای کانونی را می‌توان به عنوان چشمه‌های پالسی برای تولید پرتوهای نسبتاً پراانرژی و با شدت نسبتاً زیاد نیز در نظر گرفت. نمونه‌هایی از پژوهش‌های با این دستگاه‌ها عبارتند از: استفاده از باریکه‌های یونی برای عملیات سطحی [۱]، لیتوگرافی با پرتو ایکس نرم و یا الکترونی [۲] و پرتونگاری (راديوگرافی) با استفاده از پرتو ایکس سخت [۳ و ۴].

یکی از زمینه‌های مهم کاربرد این دستگاه‌ها، می‌تواند پرتونگاری از قطعات متحرک باشد. به صورت کلی در پرتونگاری، مدت زمان پرتودهی بسیار مهم است. به عنوان مثال، در زمینه پزشکی از مرتبه صدم و یا دهم ثانیه، در کاربردهای صنعتی از مرتبه ثانیه و در کاربردهای بازرسی حتی می‌تواند از مرتبه دقیقه باشد [۵]. عدم هماهنگی بین زمان پرتودهی و حرکت جسم در بستر زمان، می‌تواند سبب محو و یا تار شدن تصویر شود.

با توجه به این که بازه زمانی تولید پرتو ایکس در دستگاه‌های پلاسمای کانونی در گستره ۵۰ تا ۱۰۰ نانوثانیه است، استفاده از این گونه دستگاه‌ها به عنوان چشمه پرتو ایکس، باعث دسترسی به زمان‌های خیلی کم پرتودهی می‌شود که به مراتب کوتاهتر از زمان پرتودهی با چشمه‌های متداول پرتو ایکس است. به عبارت دیگر، با

استفاده از پرتو ایکس سخت دستگاه‌های پلاسمای کانونی می‌توان تصاویر پرتونگاری اجسام متحرک با سرعت نسبتاً زیاد را با کیفیت خوبی بدست آورد.

در این مقاله نتایج حاصل از پرتونگاری یک فن در حال چرخش، با استفاده از دستگاه پلاسمای کانونی دنا [۶] و دوربین اشعه ایکس SPE-X-CAM، ارائه می‌گردد. علاوه بر پرتونگاری، با استفاده از میزان نفوذ پرتو ایکس در قسمت‌های فلزی فن، انرژی مؤثر پرتو ایکسی که باعث تولید تصویر گردیده نیز محاسبه شده است.

چیدمان آزمایشگاهی

در این آزمایش بانک خازنی دستگاه دنا تا ولتاژ ۱۴ kV شارژ و در گاز آرگون تخلیه گردید. پنجره خروج پرتو ایکس دنا، متشکل از یک لایه آلومینیومی به ضخامت ۸ mm و یک لایه پلکسی گلاس به ضخامت ۱۰ mm بود. فن مورد نظر، بر روی این پنجره و به فاصله ۲/۵ cm از دوربین قرار داشت.



شکل ۱: نمای جلو (سمت راست) و پشت (سمت چپ) فن به همراه واشرهای فلزی چسبانده شده بر روی پره‌ها.

جنس پره‌های فن از نوعی پلاستیک است که به راحتی پرتو ایکس سخت را از خودش عبور می‌دهد. به منظور دیدن موقعیت پره‌ها، بر روی هر پره یک واشر فلزی چسبانده شده بود.

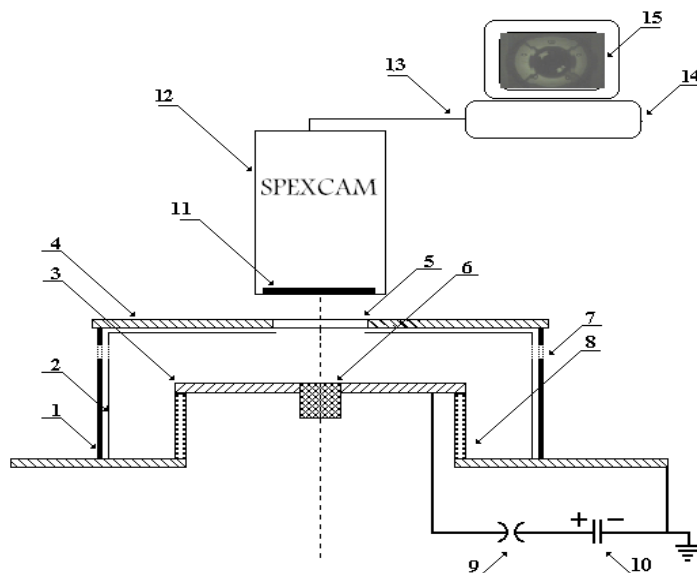
دوربین SPE-X-CAM که به پرتو ایکس حساس است، قادر است با سرعت ۲۴ فریم بر ثانیه از نمونه مورد نظر تصویر برداری کند. تصویر گرفته شده با دوربین توسط یک ثبت‌کننده دیجیتالی تصویر^۱ (DVR) و از

^۱ Digital Video Recorder



دانشگاه گیلان

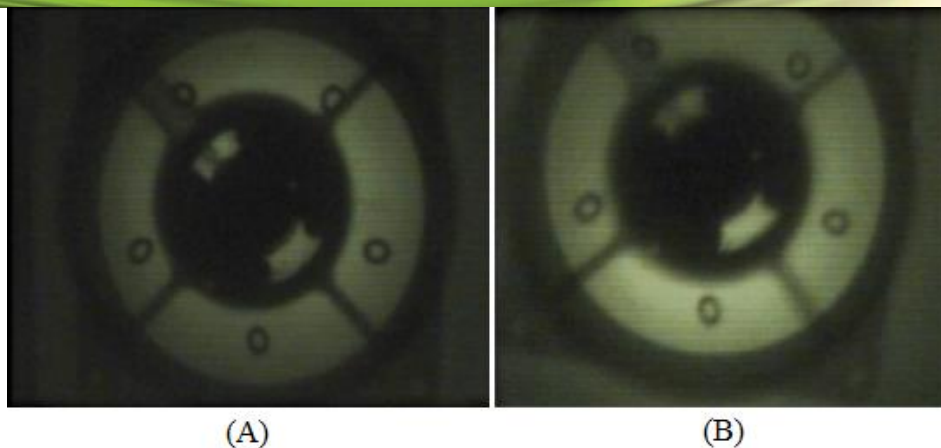
طریق درگاه USB به یک کامپیوتر PC منتقل می‌شود. شکل ۲ طرحواره‌ای از چیدمان آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۲: طرحواره‌ای از چیدمان آزمایشگاهی: ۱- دیوار جانبی دنا، ۲- کاتد دنا، ۳- آند، ۴- پوشش فوقانی کاتد، ۵- پوشش مرکزی کاتد، ۶- قسمت قابل تعویض آند، ۷- دریچه تشخیصی، ۸- عایق چینی، ۹- سوئیچ اسپارک گپ، ۱۰- بانک خازنی، ۱۱- سطح حساس دوربین پرتو ایکس، ۱۲- دوربین پرتو ایکس، ۱۳- درگاه USB، ۱۴- کامپیوتر، ۱۵- تصویر پرتونگاری.

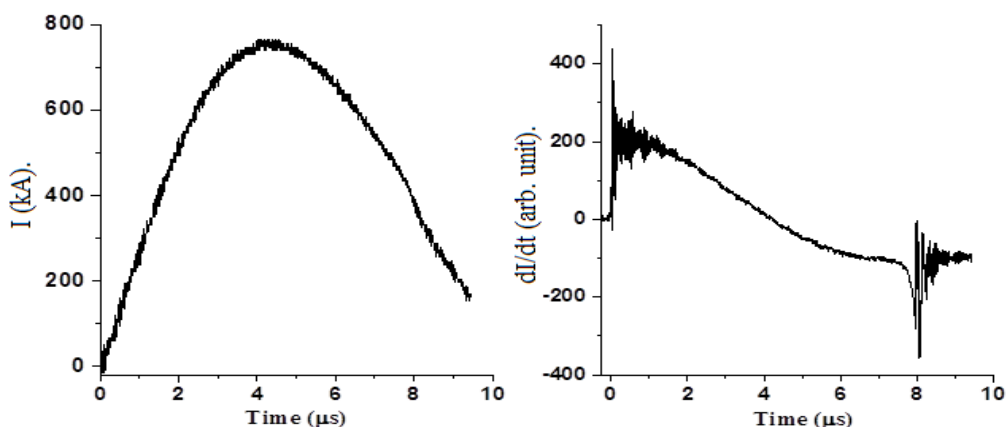
نتایج

شکل ۳ تصاویر فن را در دو حالت ایستا و چرخشی با سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه نشان می‌دهد. نواحی تیره‌تر در این تصاویر نشان‌دهنده ساختارهای فلزی فن می‌باشند. واشرهای فلزی تعبیه شده بر روی پره‌های فن نیز در هر دو تصویر به خوبی دیده می‌شوند.



شکل ۳: تصاویر پرتونگاری از فن، در حالت ایستا (A) و در حال چرخش (B).

شکل ۴، نمودارهای جریان و مشتق جریان مربوط به تخلیه الکتریکی در دستگاه دنا هستند. این دو نمودار مربوط به تخلیه‌ای هستند که پرتو ایکس ناشی از آن، منجر به تصویر پرتونگاری شکل B شده است.



شکل ۴: جریان و مشتق جریان تخلیه الکتریکی در دستگاه دنا (تخلیه شماره ۳۲ در تاریخ ۱۳۹۲/۰۸/۰۶).

علاوه بر موضوع پرتونگاری سریع صنعتی، با استفاده از تصاویر پرتونگاری بدست آمده می‌توان انرژی مؤثر پرتو ایکس تولید شده توسط دستگاه پلاسمای کانونی را نیز محاسبه نمود. به عنوان مثال، برای تعیین انرژی مؤثر تابش که سبب تولید این پرتونگاشت‌ها شده، باید میزان تضعیف^۲ تابش در ساختار فلزی فن برای ضخامت‌های مختلف اندازه‌گیری و تحلیل گردد. با فرض اینکه طیف انرژی پیوسته است، شدت باریکه عبوری تابش از رابطه زیر بدست می‌آید [۷]:

^۲ Attenuation coefficient

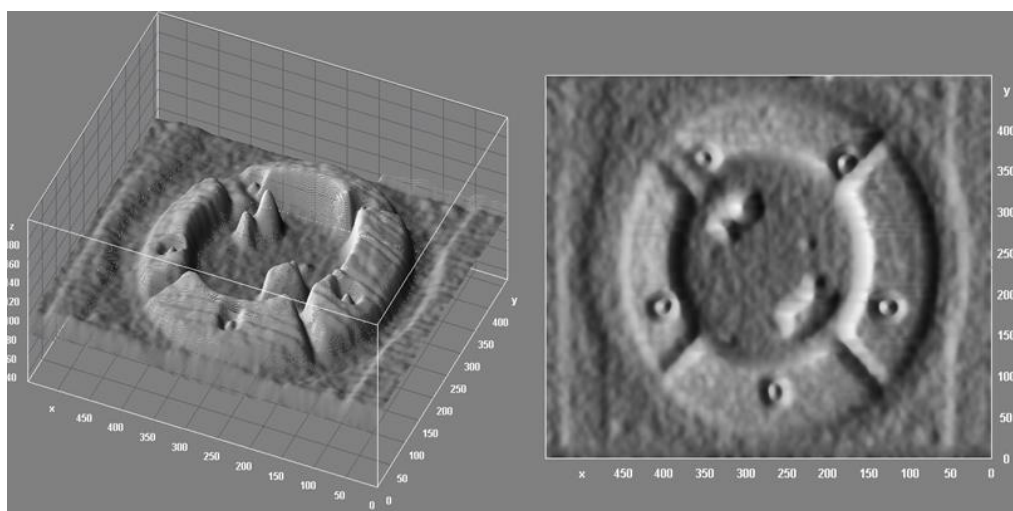


$$\frac{I(x)}{I_0} = e^{-\mu x} \quad (1)$$

در رابطه بالا، I شدت پرتو ورودی، $I(x)$ شدت پرتو ایکس پس از عبور از ماده ای به ضخامت x و μ ضریب تضعیف پرتو توسط ماده مورد نظر می‌باشد. مقدار $I(x)/I_0$ به طور تجربی از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\frac{I(x)}{I_0} = \frac{N_{max} - N(x)}{N_{max} - N_{min}} \quad (2)$$

در این رابطه، $N(x)$ ، N_{max} و N_{min} به ترتیب عبارتند از تراز گری^۳ پرتونگاشت حاصل از نمونه‌ای با ضخامت x ، مقدار بیشینه و مقدار کمینه تراز گری پرتونگاشت. با استفاده از روابط ۱ و ۲ و نیز ترازهای گری تجربی، می‌توان مقدار μ را محاسبه کرد و سپس به کمک جداول موجود [۸]، انرژی مؤثر پرتو ایکس را بدست آورد.



شکل ۵: تصاویر تراز گری پرتونگاشت فن.

در این آزمایش، جنس قاب فن از آلومینیوم و ضخامت دو قسمت شاخص آن برابر ۹/۳ و ۱۰/۰ میلی‌متر می‌باشد. شکل ۵ تصویر سه بعدی پرتونگاری فن را نشان می‌دهد. به کمک نرم‌افزار ImageJ تراز گری متناظر با قسمت‌های مختلف تعیین شد. با استفاده از روابط فوق، مقدار $\mu = (1.66 \pm 0.04) \text{ cm}^{-1}$ بدست آمد. با

^۳ Gray level



مراجعه به جدول مربوط به ضریب تضعیف پرتو ایکس برای آلومینیوم [۸]، مقدار مؤثر انرژی پرتو ایکس نیز در حدود ۴۰ keV بدست آمد.

نتیجه گیری

در این مقاله، چگونگی استفاده از تابش پرتو ایکس سخت حاصل از دستگاه پلاسما کانونی برای بدست آوردن تصاویر پرتونگاری از اجسام فلزی متحرک مورد بررسی قرار گرفته است. این کاربری، دریچه تازه‌ای در بکارگیری دستگاه‌های پلاسما کانونی در تست‌های غیرمخرب قطعات متحرک صنعتی باز می‌کند. مهمترین مزایای این نوع پرتونگاری عبارتند از: تمیزی (از نظر سلامتی کاربر و محیط)، ارزانی نسبی و نیز سادگی انجام کار. در ضمن با استفاده از پرتونگاشت‌های بدست آمده، امکان محاسبه انرژی مؤثر پرتو ایکس نیز میسر شد.

مراجع

- [۱] J. Feugas, et. al., "Nitrogen Implantation of AISI ۳۰۴ Stainless Steel with a Coaxial Plasma Gun", *J. Appl. Phys.* ۶۴ (۵), ۲۶۴۸-۲۶۵۱ (۱۹۸۸).
- [۲] P. Lee, et. al., "Electron lithography using a compact Plasma Focus", *Plasma Sources Sci. Technol.* ۶ (۳), ۳۴۳-۳۴۸ (۱۹۹۷).
- [۳] F. Castillo, et. al., "Small plasma focus studied as a source of hard x-ray", *IEEE Trans. on Plasma Sci.* ۲۹ (۶), ۹۲۱-۹۲۶ (۲۰۰۱).
- [۴] M. A. Tafreshi, et. al., "Studies of the Hard X-ray Emission from the Filippov type Plasma Focus Device, Dena", *J. Fusion Energ.* ۲۵ ۲۰۷-۲۱۱ (۲۰۰۶).
- [۵] Jean Pope, "Medical Physics: Imaging", *Heinemann Advance Science*, (۱۹۹۸).
- [۶] M. A. Tafreshi, et. al., "Dena, a new PF device", *Nukleonika*, ۴۶ (Supplement ۱): S۸۵-۷ (۲۰۰۱).
- [۷] V. Raspa, et. al., "Plasma focus as a powerful hard x-ray source for ultrafast imaging of moving metallic objects", *Braz. J. Phys.*, vol. ۳۴, no. ۴B, ۱۶۹۶-۱۶۹۹ (۲۰۰۴).
- [۸] <http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/tab۳.html>