DOI: 10.30494/jndt.2021.277424.1066 Received: March 15, 2021 - Accepted: May 22, 2021

Archive of SID

Feasibility of Digital Image Correlation for Nondestructive Evaluation

Hamidreza Asemani[1*], Abdalrahman Haghighi[2], Hadi Rezghi Maleki[3], Nasser Soltani[4]

1- Postdoctoral Research Fellow, University of Tehran; h.asemani@ut.ac.ir

2- Ph.D. Candidate, University of Tehran; a.a.haghighi@ut.ac.ir

3- Assistant Professor, University of Bonab; hrezghimaleki@ubonab.ac.ir

4- Professor, University of Tehran; nsoltani@ut.ac.ir

*h.asemani@ut.ac.ir

Abstract

Digital image correlation (DIC) is widely used as a tool to measure displacements and surface strains. The generation of speckle pattern in DIC technique has some limitations. In addition to spray paint, other techniques including laser speckle have also been proposed to generate speckle patterns. In previous studies, the use of DIC as a non-destructive technique has been limited to detect the surface cracks. In the current study, the feasibility of DIC for detection of subsurface defects was investigated. A laser beam was utilized to generate the DIC speckle pattern. The tensile load was applied to a polypropylene specimen containing an artificial subsurface defect. The DIC images were recorded and analyzed before and after loading the specimen. The results of surface displacement in the direction of tension and perpendicular to tension revealed the defect. To study further, the surface strains of the specimen were determined. In the obtained results, the strain concentration indicated the defect in the specimen. The approximate size and shape of the artificial defect are recognizable in the measured strain distribution.

Keywords: Laser DIC, Speckle pattern, Non–destructive testing, Subsurface defects.

www.SID.ir

DOI: 10.30494/jndt.2021.277424.1066
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۱

Archive of SID

بررسی قابلیت روش برهم‌نگاری لیزری به منظور بازرسی غیرمخرب

حمیدرضا آسمانی[۱*]، عبدالرحمان حقیقی[۲]، هادی رزقی ملکی[۳]، ناصر سلطانی[۴]

۱- پژوهشگر پسادکتری، مهندسی مکانیک ، دانشگاه تهران
۲- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک ، دانشگاه تهران
۳- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه بناب
۴- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران
*h.asemani@ut.ac.ir

چکیده

روش برهم‌نگاری تصاویر دیجیتال به عنوان ابزاری برای اندازه‌گیری جابجایی‌ها و کرنش‌های سطحی به طور گسترده مورد استقبال قرار گرفته است. ایجاد الگوی لکه‌ای در روش برهم‌نگاری تصاویر دیجیتال با محدودیت‌هایی همراه است. بنابراین برای ایجاد الگوی لکه‌ای علاوه بر استفاده از اسپری رنگ تکنیک‌های متعدد دیگری از جمله استفاده از نور لیزر نیز ارائه شده است. استفاده از روش برهم‌نگاری به عنوان تکنیک غیرمخرب برای آشکار سازی عیوب در تحقیقات پیشین محدود به ترک‌های سطحی بوده است. در این تحقیق سعی شده است قابلیت روش برهم‌نگاری در آشکار سازی عیوب زیر سطحی مورد بررسی قرار گیرد. برای ایجاد الگوی لکه‌ای مناسب برای برهم‌نگاری، در این تحقیق از نور لیزر استفاده شده است. در راستای این تحقیق یک نمونه پلی پروپیلنی با عیب مصنوعی زیر سطحی ساخته شد و با استفاده از دستگاه کشش تک محوره تحت بارگذاری قرار گرفت. تصاویر برهم‌نگاری قبل و بعد از بارگذاری نمونه، ثبت شده و مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج محاسبه شده برای جابجایی سطحی در راستای کشش و عمود بر آن با موفقیت وجود عیب را آشکار نمودند. در گام بعدی برای بررسی بیشتر کرنش‌های سطحی محاسبه شدند. تمرکز کرنش سطحی در نتایج بدست آمده، نشان دهنده وجود عیب در قطعه بود. ابعاد و شکل تقریبی عیب مصنوعی در توزیع کرنش‌ها در راستای اعمال کشش قابل تشخیص می‌باشد.

واژگان کلیدی: برهم‌نگاری لیزری، الگوی لکه‌ای، بازرسی غیرمخرب، عیوب زیر سطحی.

۱- مقدمه

امروزه با توسعه تکنولوژی توجه به روش‌های نوری برای اندازه‌گیری کرنش‌های سطحی و بازرسی غیرمخرب گسترش یافته است. شناسایی عیوب و بررسی ابعاد و موقعیت قرارگیری آن‌ها می‌تواند از خسارات جبران ناپذیری که ممکن است در اثر واماندگی یک جزء از سیستم در حین کارکرد به وجود آید جلوگیری نماید. از این رو تحقیقات بسیاری بر روی آزمون‌های غیرمخرب و یافتن عیوب و مشخص نمودن موقعیت و ابعاد آن‌ها در مواد مختلف انجام گرفته است.

در میان تکنیک‌های آزمایشگاهی که برای یافتن عیوب در مواد به کار می‌روند، روش‌های نوری غیرمخرب گروه عمده‌ای را تشکیل می‌دهند و نقش بسیار مهمی در کاربردهای صنعتی دارند. هولوگرافی، برشنگاری، سایه‌نگاری، کشسان نگاری، برهم‌نگاری الگوی دیجیتال و موری از جمله روش‌های نوری مورد استفاده برای بررسی غیرمخرب مواد هستند. امکان انجام آزمایش و اندازه‌گیری بدون نیاز به تماس با جسم، سرعت بالا و هزینه‌های پایین از مزایای استفاده از روش‌های نوری نسبت به بسیاری از روش‌های دیگر می‌باشد[۱].

در میان روش‌های نوری، روش برهم‌نگاری الگوی دیجیتال[1] به عنوان روشی برای اندازه‌گیری جابجایی‌های درون صفحه، خارج از صفحه و یافتن عیوب سطحی شناخته شده است. این روش بر پایه مقایسه دو تصویر قطعه قبل و بعد از تغییر شکل بنا نهاده شده است. در این روش تغییر شکل و کرنش‌های سطحی با استفاده از الگوریتم‌های برهم‌نگاری شدت روشنایی موقعیت پیکسل‌های زیر مجموعه[2] در تصویر اصلی و تغییر شکل یافته محاسبه می‌شود. در روش برهم‌نگاری تصاویر دیجیتال برای ایجاد الگوی مناسب برهم‌نگاری، الگوی لکه‌ای[3] سیاه و سفید با استفاده از اسپری رنگ بر روی سطح قطعه ایجاد می‌شود[۲]. ایجاد الگوی لکه‌ای در روش برهم‌نگاری تصاویر دیجیتال با محدودیت‌های همراه است.

[1] Digital Image Correlation (DIC)
[2] Pixel subsets
[3] Speckle pattern

www.SID.ir

Archive of SID

در برخی مواقع به دلیل شرایط کارکرد قطعه امکان رنگ آمیزی وجود ندارد. همچنین الگوی لکه‌ای نا مناسب باعث به وجود آمدن خطا در نتایج می‌گردد. تحقیقات زیادی در رابطه با نحوه ایجاد الگوی لکه‌ای مناسب انجام شده است و پارامترهای متعددی برای تعیین کیفیت الگوی لکه‌ای تعریف شده است. تحقیقات گسترده در زمینه کیفیت ایجاد الگوی لکه‌ای نشان دهنده این موضوع است که ایجاد الگوی لکه‌ای مناسب برای روش برهم‌نگاری امری چالش برانگیز می‌باشد[۳].

برای ایجاد الگوی لکه‌ای مناسب برهم‌نگاری علاوه بر استفاده از اسپری که متداول ترین روش است تکنیک‌ها و ایده‌های دیگری نظیر استفاده از نانو مواد، استفاده از نور لیزر و غیره نیز ارائه شده است. نور لیزر در روش‌های تداخل سنجی مانند هولوگرافی[۱]، برشنگاری[۲] و تداخل الگوی لکه‌ای دیجیتال[۳] به عنوان روشی برای ایجاد الگوی لکه‌ای استفاده می‌شود. ایده استفاده از نور لیزر برای اندازه‌گیری تغییر شکل‌های سطحی اولین بار توسط پترز و رانسون در سال ۱۹۸۱ ارائه شد[۴]. روش برهم‌نگاری توسط ساتن[۴] و همکاران[۵] در سال ۱۹۸۳ توسعه داده شد. در ادامه بروک[۵] و همکاران[۶] در سال ۱۹۸۹ به پیشبرد این روش پرداختند.

در سال ۲۰۰۰ لاگاتو[۶] و همکاران[۷] از الگوی لکه‌ای ایجاد شده با لیزر برای مطالعه رفتار مکانیکی کامپوزیت‌ها و پلیمرها استفاده نمودند. در همین سال آنواندر[۷] و همکاران[۸] یک حسگر کرنش غیر تماسی بر پایه لیزر برای استفاده در دماهای بالای ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد ارائه نمودند. در سیستم ارائه شده توسط آنواندر و همکاران کرنش‌ها با ردیابی لکه‌های لیزر از طریق الگوریتم برهم‌نگاری محاسبه می‌شد. آن‌ها برای مطالعه قابلیت حسگر کرنش نوری ارائه شده یک سری آزمون‌های کشش با مواد مختلف در دمای اتاق و دماهای بالا انجام دادند. در مقایسه با الگوی لکه‌ای لیزری، الگوی لکه‌ای با اسپری رنگ در اندازه‌گیری تغییر شکل‌های بزرگ تکنیک مناسب تری است. در حالی که در شرایط کارکرد خاص و دماهای بالا فقط الگوی لکه‌ای لیزری قابل استفاده می‌باشد[۹].

میر و واس[۸][۱۰] یک سیستم لیزری نوری جدید با قابلیت اندازه‌گیری کرنش‌ها تمام میدانی در دماهای بالا ۱۳۰۰ درجه سانتی‌گراد توسعه دادند. محاسبات در این سیستم بر پایه برهم‌نگاری تصاویر دیجیتال انجام می‌شود. در این تحقیق میر و واس به اندازه‌گیری کرنش‌های سطحی کامپوزیت‌های ماتریس سرامیکی در دماهای فوق بالا پرداختند. ماشیوا[۹] و همکاران[۱۱] در سال ۲۰۱۷ به اندازه‌گیری کرنش واقعی نمونه آزمون کشش تک محوره با استفاده از برهم‌نگاری لیزری پرداختند. آن‌ها ادعا نمودند که نتایج برهم‌نگاری لیزری با نتایج بدست آمده از اکستنسومتر توافق بسیار بالایی دارد، بنابراین می‌توان از روش برهم‌نگاری لیزری برای بدست آوردن کرنش‌ها در محدوده پلاستیک استفاده نمود.

سونگ[۱۰] و همکاران[۱۲] در سال ۲۰۱۸ با ترکیب برهم‌نگاری تصاویر دیجیتال و الگوی لکه‌ای لیزری یک روش اندازه‌گیری کرنش دما بالا ارائه نمودند. آن‌ها برای یکنواخت سازی و کاهش نویز در تغییر شکل‌های محاسبه شده از الگوریتم پردازش تصویر اجماع نمونه تصادفی بهبود یافته[۱۱] استفاده نمودند. در این تحقیق به اندازه‌گیری تغییر شکل کامپوزیت کربنی در دمای ۲۰۰۰ درجه پرداختند. سونگ و همکاران[۳] در سال ۲۰۲۰ در ادامه تحقیقات خود در زمینه برهم‌نگاری لیزری، شاخصی برای تعیین کیفیت الگوی لکه‌ای لیزری ارائه دادند. شاخص ارائه شده آن‌ها با نام شاخص همجوشی چند عاملی[۱۲] برای بررسی کیفیت الگوی لکه‌ای لیزری، ناهمگنی توزیع شدت روشنایی، انحراف معیار مربعی میانگین[۱۳] شدت روشنایی و انحراف معیار استاندارد ابعاد لکه‌ها را در نظر می‌گیرد. سونگ و همکاران شاخص خود را با شاخص‌های مختلف ارائه شده برای الگوی لکه‌ای مقایسه نمودند و ادعا نمودند که شاخص همجوشی چند عاملی برای ارزیابی الگوی لکه‌ای لیزری مناسب تر است. ژنگ[۱۴] و همکاران[۱۳] در سال ۲۰۲۰ با استفاده از روش برهم‌نگاری لیزری به مطالعه تغییر شکل‌های بزرگ فلزات پرداختند. تحقیق آن‌ها به طور خاص

---

[1] Holography
[2] Shearography
[3] Digital Speckle Pattern Interferometry
[4] Sutton
[5] Bruck
[6] Lagattu
[7] Anwander
[8] Meyer and Waas
[9] Mashiwa
[10] Song
[11] Improved Random Sample Consensus
[12] Multi-Factor Fusion Index
[13] The mean square deviation
[14] Zheng

www.SID.ir

Archive of SID

بر روی شکل دهی فویل‌های فلزی نازک در دمای بالا تمرکز داشت. نتایج بدست آمده در تحقیق ژنگ و همکاران برای کرنش‌های اندازه‌گیری شده در تغییر شکل‌های پلاستیک بزرگ در دمای اتاق شامل کمتر از ۶ درصد خطا بود.

کاربرد نور لیزر در روش برهم‌نگاری تصاویر دیجیتال، نیاز به ایجاد الگوی لکه‌ای با استفاده از اسپری را مرتفع می‌سازد. بنابراین با استفاده از این تکنیک می‌توان قطعات با شرایط کارکرد خاص را نیز با روش برهم‌نگاری مورد مطالعه قرار داد. استفاده از روش برهم‌نگاری تصاویر دیجیتال به عنوان ابزاری برای آزمون‌های غیرمخرب همواره محدود به شناسایی ترک‌های سطحی بوده است در حالی که روش‌های تداخل سنجی با استفاده از لیزر به طور گسترده برای شناسایی عیوب زیر سطحی مورد استفاده قرار گرفته اند. دلیل این امر حساسیت بالاتر روش‌های تداخل سنجی به تغییر شکل‌های سطحی نسبت به روش برهم‌نگاری است.

در این مقاله هدف بررسی و مطالعه قابلیت روش برهم‌نگاری لیزری در تشخیص عیوب زیر سطحی می‌باشد. الگوی لکه‌ای ایجاد شده با استفاده از لیزر بر روی قطعه به دلیل وجود ناهمواری‌های سطحی (در مقیاس طول موج لیزر) تشکیل می‌شود. با بارگذاری و تحریک عیوب زیر سطحی، موقعیت ناهمواری‌های سطحی در قطعه تغییر می‌کند و باعث می‌شود موقعیت لکه‌های در الگوی لکه‌ای لیزری نیز تغییر کند. با توجه به حساسیت بالای نور لیزر انتظار می‌رود روش برهم‌نگاری لیزری حساسیت بالاتری در تشخیص عیوب زیر سطحی داشته باشد. برای مطالعه این موضوع، در این تحقیق قطعه ای از جنس پلی پروپیلن به همراه عیب مصنوعی ساخته شده و با استفاده از روش برهم‌نگاری لیزری تحت بازرسی غیرمخرب قرار می‌گیرد.

۲- اصول روش برهم‌نگاری لیزری

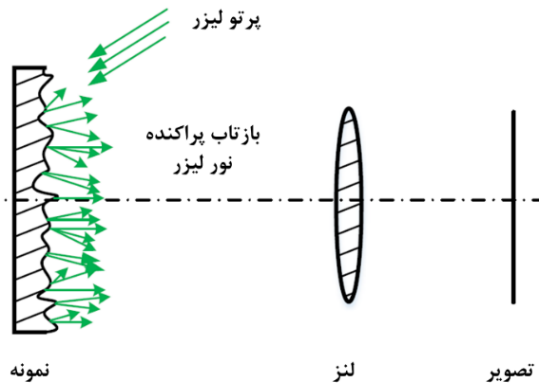
۲-۱- ایجاد الگوی لکه‌ای با استفاده از لیزر

به طور معمول از روش برهم‌نگاری برای محاسبه تغییر شکل‌های سطحی استفاده می‌شود. در این روش نیاز است الگوی لکه‌ای مصنوعی بر روی سطح نمونه ایجاد شود. ایده اصلی روش برهم‌نگاری لیزری استفاده از نور لیزر و پدیده تداخل برای ایجاد الگوی لکه‌ای است. با توجه به ذات موجی بودن نور در اثر روی هم قرار گرفتن دو پرتو نور، تداخل به وجود می‌آید. برای مثال از تداخل پرتوهای نوری با شدت I_1 و I_2، پرتو نوری تشکیل می‌شود که شدت آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos(\Delta\phi) \qquad (۱)$$

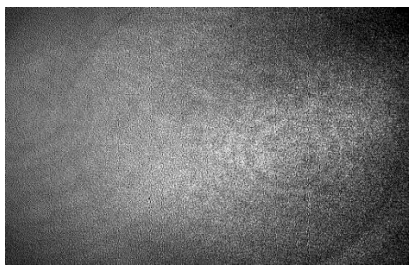
که در آن $\Delta\phi$ اختلاف فاز پرتوهای نوری می‌باشد.

ایجاد الگوی لکه‌ای با استفاده از نور لیزر نیز بر پایه تداخل پرتوهای نوری است. در این روش سطح جسم ناصاف (در مقایسه با طول موج لیزر) با استفاده از نور همدوس لیزر روشن می‌گردد. به علت پستی و بلندی‌های موجود در سطح جسم، نور بازتاب شده از سطح جسم به صورت تصادفی در فضا پخش می‌شود (شکل ۱). پرتوهای نوری بازتاب شده نسبت به هم اختلاف فاز پیدا می‌کنند. با ترکیب شدن این پرتوها که همچنان به حالت همدوس باقی مانده اند، در حالت هم فاز تداخل سازنده و در حالت ناهم فاز تداخل مخرب ایجاد می‌گردد. الگوی لکه‌ای لیزری به طول موج لیزر و صافی سطح نمونه وابسته است و معمولا دارای توزیع یکنواختی می‌باشد[۱۴].



شکل ۱- بازتاب نور همدوس از یک سطح ناصاف.

الگوی لکه‌ای از مجموع تداخل پرتوهای بازتابی از تمام نقاط در منطقه روشن شده حاصل می‌شود (شکل ۲). الگوی لکه‌ای بدست آمده دربردارنده اطلاعات خام در مورد سطح جسم می‌باشد. در واقع روش برهم‌نگاری لیزری از این اطلاعات خام استفاده می‌کند و توزیع جابجایی‌های سطحی را محاسبه می‌نماید.



شکل ۲- الگوی لکه دار ناشی از برخورد نور لیزر با سطح ناصاف.

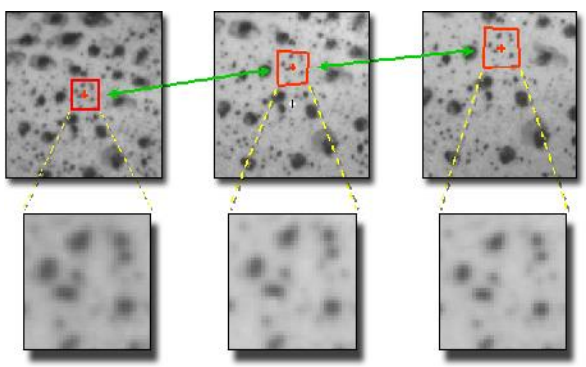
www.SID.ir

Archive of SID

۲-۲- برهم‌نگاری تصاویر دیجیتال

روش برهم‌نگاری تصاویر دیجیتال یک روش اندازه‌گیری تغییر شکل تمام میدانی نوری و غیر تماسی است. این روش برای محاسبه جابجایی سطحی به مقایسه دو تصویر از سطح الگوی لکه‌ای در دو حالت بارگذاری مختلف می‌پردازد. تصویری که مرتبط با حالت قبل از تغییر شکل است تصویر مرجع[1] و تصویری که مرتبط با حالت نهایی است تصویر تغییر شکل یافته[2] نامیده می‌شود.

در تصویر برداری می‌بایست موقعیت دوربین ثابت باشد، همچنین راستای دوربین عمود بر سطح نمونه قرار گیرد. تصاویر گرفته شده از سطح الگوی لکه‌ای به صورت مجموعه ای از پیکسل‌ها با سطح روشنایی مختلف ذخیره می‌شوند. مطابق شکل ۳ فرآیند برهم‌نگاری تصاویر بر اساس تطبیق زیر مجموعه‌های کوچک از پیکسل‌ها در تصویر مرجع و تصویر تغییر شکل یافته بنا نهاده شده است. وقتی که موقعیت تمام زیر مجموعه‌ها در تصویر تغییر شکل یافته مشخص شد، تغییر شکل هر زیر مجموعه محاسبه می‌شود. با کنار هم قرار دادن جابجایی زیر مجموعه‌ها، جابجایی تمام میدانی منطقه مورد مطالعه بدست می‌آید. از اطلاعات اندازه‌گیری شده برای جابجایی سطحی می‌توان کرنش‌ها سطحی را محاسبه نمود[۱۵].



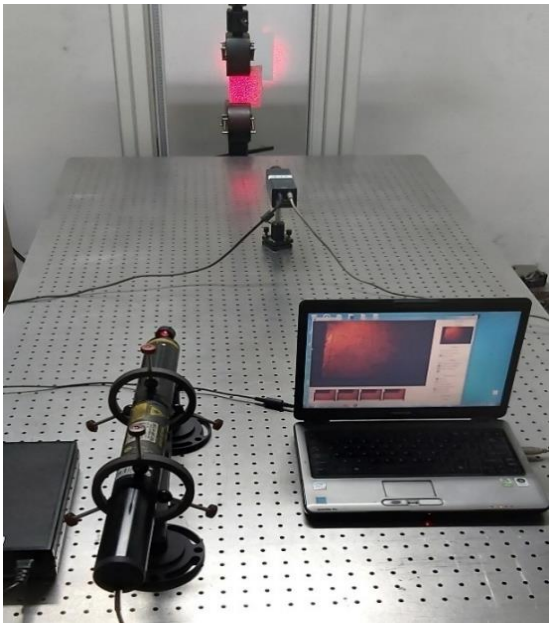
شکل ۳- اصول روش برهم‌نگاری تصاویر دیجیتال [۱۵].

۳- بازرسی غیرمخرب با استفاده از روش برهم‌نگاری لیزری

همان طور که بیان شد در این تحقیق هدف بررسی قابلیت روش برهم‌نگاری لیزری در تشخیص عیوب می‌باشد. برای این منظور قطعه ای از جنس پلی پروپلین با ابعاد ۵ × ۹۳ × ۱۳۰ میلی متر در نظر گرفته شد. عیب مصنوعی استوانه ای شکل با قطر ۱۰ میلی متر و عمق ۳ میلی متر در نمونه ایجاد شده است.

در این تحقیق برای اعمال بارگذاری بر روی نمونه از دستگاه کشش تک محوره استفاده شده است. برای ایجاد الگوی لکه‌ای از یک لیزر با طول موج ۶۳۲,۸ نانو متر و توان ۳۰ میلی وات استفاده شده است. نور لیزر با استفاده از یک لنز واگرا کننده به طور مناسب روی سطح نمونه گسترده می‌شود. ثبت تصاویر برشنگاری با استفاده از دوربین CCD ۳,۲ مگا پیکسلی انجام گرفته است. چیدمان روش برهم‌نگاری لیزری استفاده شده در این تحقیق در شکل ۴ نشان داده است.

تصویر مرجع روش برهم‌نگاری لیزری در حالت بدون بار از نمونه گرفته شد. با اعمال بار کششی بسیار اندکی به نمونه تصویر تغییر شکل یافته نیز ثبت گردید. با اعمال الگوریتم برهم‌نگاری بر تصاویر ثبت شده می‌توان جابجایی‌های سطحی نمونه را محاسبه نمود. برای تحلیل برهم‌نگاری تصاویر، نرم افزار Ncorr به کار گرفته شده است. نتایج بازرسی غیرمخرب انجام شده با استفاده از روش برهم‌نگاری لیزری در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۴- چیدمان آزمایشگاهی روش برهم‌نگاری لیزری به منظور انجام بازرسی غیرمخرب

جابجایی سطحی نمونه در راستای کشش U_y بر حسب پیکسل در شکل ۵ (الف) و جابجایی سطحی نمونه عمود بر راستای کشش U_x بر حسب پیکسل در شکل ۵ (ب) مشخص شده اند.

[1] Reference image

[2] Deformed image

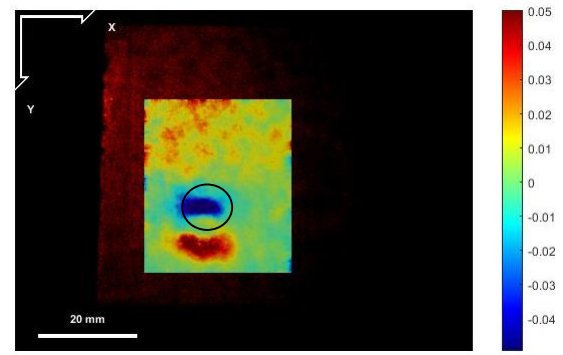
www.SID.ir

Archive of SID

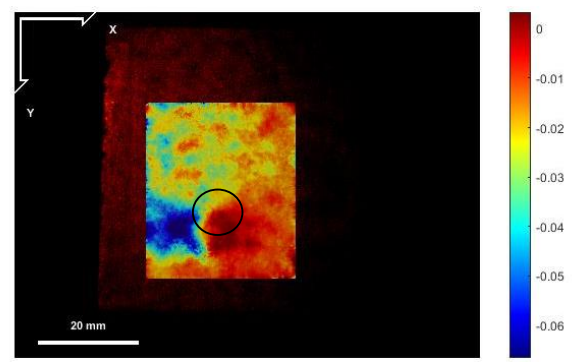
محل عیب در این شکل ها با استفاده از دایره سیاه رنگ مشخص شده است. بر اساس شکل ۵ (الف) که جابجایی را در راستای کشش نشان می دهد، تمرکز جابجایی در مرزهای بالایی و پایینی عیب به وجود آمده است. و بدین ترتیب وجود عیب قابل شناسایی می باشد. تمرکز جابجایی سطحی در راستای عمود بر کشش در شکل ۵ (ب) قابل مشاهده است که حاکی از وجود عیب در این منطقه است.

روش برهم‌نگاری معمولا برای محاسبه جابجایی های سطحی مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به حساسیت بالای این روش به تشخیص تمرکز در جابجایی و کرنش، در این تحقیق از این روش به منظور بازرسی غیرمخرب استفاده شده است.

وجود عیوب زیر سطحی در حین بارگذاری در جسم باعث تغییر در یکنواختی جابجایی های سطحی و ایجاد تمرکز جابجایی می گردند. در این آزمون نیز در محل عیب تمرکز جابجایی شدیدی در هر دو راستای y و x تشخیص داده شده است. بنابراین می‌توان گفت که چیدمان ارائه شده برای برهم‌نگاری لیزری قابلیت انجام بازرسی غیرمخرب را با موفقیت فراهم نموده است.



(الف)



(ب)

شکل ۵- نتایج بازرسی غیرمخرب انجام شده با استفاده از روش برهم‌نگاری لیزری؛ (الف) جابجایی سطحی نمونه در راستای کشش U_y، (ب) جابجایی سطحی نمونه عمود بر راستای کشش U_x، (توجه: جابجایی‌های محاسبه شده بر حسب پیکسل می‌باشد).

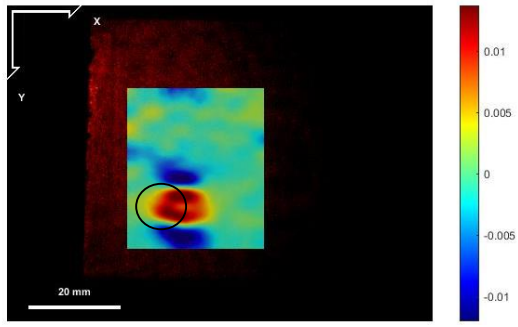
برای بررسی و مطالعه عمیق تر نتایج بازرسی غیرمخرب با استفاده از برهم‌نگاری لیزری، به محاسبه کرنش‌های نمونه با استفاده از جابجایی‌های اندازه‌گیری شده پرداخته شد. کرنش‌های محاسبه شده در راستای کشش E_{yy} در شکل ۶ (الف)، عمود بر راستای کشش E_{xx} در شکل ۶ (ب) و کرنش برشی نمونه E_{xy} در شکل ۶ (ج) نشان داده شده‌اند. محل عیب در سه شکل با استفاده از دایره سیاه رنگ مشخص شده است. بر اساس شکل ۶ (الف) کرنش در سطح عمده قطعه در راستای کشش نزدیک صفر می‌باشد، ولی در محل عیب تمرکز کرنش شدیدی ایجاد شده است. تمرکز در کرنش‌های محاسبه شده در شکل ۶ (ب) و شکل ۶ (ج) نیز با موفقیت محل عیب را آشکار می‌سازد. بر اساس نتایج مناسب‌ترین تصویر برای آشکارسازی عیوب با استفاده از روش برهم‌نگاری لیزری، کرنش در راستای کشش E_{yy}است. علاوه بر محل عیب، ابعاد و شکل تقریبی آن نیز با استفاده از این تصویر قابل تشخیص است.

۴- نتیجه گیری

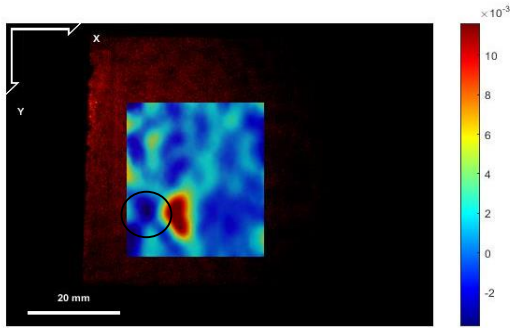
در این تحقیق به بررسی قابلیت روش برهم‌نگاری لیزری در بازرسی غیرمخرب پرداخته شد. در این راستا نور لیزر بعد از گستره شدن با استفاده از لنز واگرا کننده، بر روی سطح نمونه پلی پروپیلنی با عیب مصنوعی تابانده شد. تصویر مرجع و تصویر تغییر شکل یافته روش برهم‌نگاری لیزری با اعمال بار کششی بر روی نمونه ثبت گردید. با اعمال الگوریتم برهم‌نگاری Ncorr بر روی تصاویر ثبت شده، جابجایی‌های سطحی نمونه در راستاهای y و x محاسبه شد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که جابجایی‌های بدست آمده از روش برهم‌نگاری لیزری در هر دو راستا با موفقیت وجود عیب را تشخیص داده است. در گام بعد برای بررسی عمیق تر نتایج، با استفاده از جابجایی‌های اندازه‌گیری شده کرنش‌های سطحی محاسبه گردید. تمرکز کرنش‌های محاسبه شده در هر سه جهت در محل عیب، مؤید وجود عیب در نمونه است. ابعاد و شکل تقریبی عیب مصنوعی در کرنش در راستای اعمال کشش E_{yy} قابل تشخیص می‌باشد. بررسی انجام شده در این تحقیق نشان دهنده قابلیت روش برهم‌نگاری لیزری در بازرسی غیرمخرب می‌باشد. از این قابلیت روش برهم‌نگاری لیزری می‌توان برای بازرسی مواد مختلف در شرایط کاری خاص استفاده نمود.

www.SID.ir

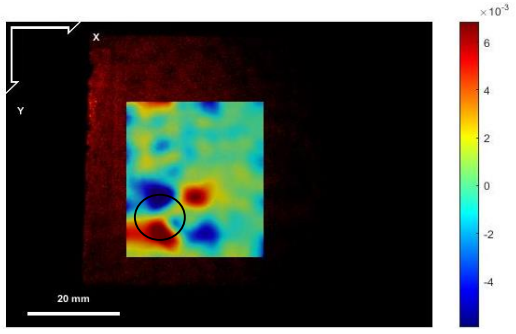
Archive of SID



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۶- کرنش‌های محاسبه شده در بازرسی غیرمخرب با استفاده از روش برهم‌نگاری لیزری؛ (الف) کرنش نمونه در راستای کشش E_{yy}، (ب) کرنش نمونه عمود بر راستای کشش E_{xx}، (ج) کرنش برشی نمونه E_{xy}.

۵- قدردانی و تشکر

از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) به دلیل بودجه ای که در اختیار این تحقیق قرار داده است تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶- منابع

[1] Asemani, H., 2019. "Determination of optimal combination of shearography parameters to detect defects in components", PhD Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran.

[2] Eshraghi, I., Yadegari Dehnavi, M.R., Soltani, N. (2014). Effect of subset parameters selection on the estimation of mode-I stress intensity factor in a cracked PMMA specimen using digital image correlation. *Polym. Test.*, 37, 193–200.

[3] Song, J., Yang, J., Liu, F., Lu, K. (2020). Quality assessment of laser speckle patterns for digital image correlation by a Multi-Factor Fusion Index. *Opt. Lasers Eng.*, 124, 105822.

[4] Peters, W.H., Ranson, W.F. (1982). Digital Imaging Techniques in Experimental Stress Analysis. *Opt. Eng.*, 21(3), 427-431.

[5] Sutton, M., Wolters, W., Peters, W., Ranson, W., McNeill, S. (1983). Determination of displacements using an improved digital correlation method. *Image Vis. Comput.*, 1(3), 133–139.

[6] Bruck, H.A., McNeill, S.R., Sutton, M.A., Peters, W.H. (1989). Digital image correlation using Newton-Raphson method of partial differential correction. *Exp. Mech.*, 29(3), 261–267.

[7] Lagattu, F., Brillaud, J., Lafarie-Frenot, M.C. (2000). Progress in Mechanics of Materials by Using Laser Speckle Method. *IUTAM Symposium Adv. Opt. Methods Appl. in Solid Mech. its Appl, Vol 82, Springer, Dordrecht.*

[8] Anwander, M., Zagar, B.G., Weiss, B. (2000). Noncontacting strain measurements at high temperatures by the digital laser speckle technique. *Exp. Mech.*, 40, 98–105.

[9] Brillaud, J., Lagattu, F. (2002). Limits and possibilities of laser speckle and white-light image-correlation methods: theory and experiments. *Appl. Opt.*, 41(31), 6603.

[10] Meyer, P., Waas, A.M. (2014). Measurement of In Situ-Full-Field Strain Maps on Ceramic Matrix Composites at Elevated Temperature Using Digital Image Correlation. *Exp. Mech.*, 55(5), 795–802.

[11] Mashiwa, N., Furushima, T., Manabe, K. (2017). Novel Non-Contact Evaluation of Strain Distribution Using Digital Image Correlation with Laser Speckle Pattern of Low Carbon Steel Sheet. *Procedia Eng.*, 184, 16–21.

[12] Song, J., Yang, J., Liu, F., & Lu, K. (2018). High temperature strain measurement method by combining digital image correlation of laser speckle and improved RANSAC smoothing algorithm. *Opt. Lasers Eng.*, 111, 8–18.

[13] Zheng, Q., Mashiwa, N., Furushima, T. (2020). Evaluation of large plastic deformation for metals by a non-contacting technique using digital image correlation with laser speckles. *Mater. Des.*, 191, 108626.

[14] Asemani, H., Park, J., Lee, J.-R., Soltani, N. (2017). Development of PZT-excited stroboscopic shearography for full-field nondestructive evaluation. *Rev. Sci. Instrum.*, 88(5), 053301.

[15] Guillermo, J., Gonzales, G., Gonzalez, J., Freire, J. (2017). Analysis of Mixed-mode Stress Intensity Factors using Digital Image Correlation Displacement Fields. Conference: *24th ABCM Int. Cong. Mech Eng., December 3-8, Curitiba, PR, Brazil.*

www.SID.ir