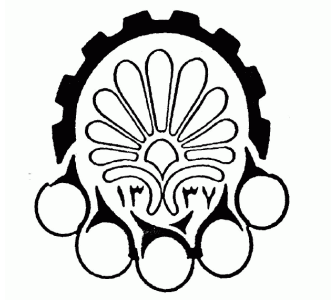


بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

بررسی تئوری و تجربی تنش‌های صفحه‌ای با استفاده از روش‌های نوری

ارائه شده برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

توسط:

محمود بخشنده

استاد راهنما

دکتر یونس علیزاده

استاد مشاور

مهندس ناصر پرتوی شبستری

دانشکده مهندسی مکانیک



فرم اطلاعات پایان نامه
کارشناسی ارشد

شماره :
تاریخ :

مشخصات دانشجو

نام و نام خانوادگی : محمود بخشنده

دانشجو روزانه

شماره دانشجویی : ۸۵۱۲۶۰۵۶ دانشکده : مهندسی مکانیک

رشته تحصیلی : طراحی کاربردی

نام و نام خانوادگی استاد راهنما / استادان راهنما: دکتر یونس علیزاده وقاصلو

عنوان به فارسی : بررسی تئوری و تجربی تنش های صفحه ای با استفاده از روش های نوری

عنوان به انگلیسی : Investigation On Theoretical And Experimental Plane Stress Using Optical Methods

نوع پروژه : کارشناسی ارشد کاربردی بنیادی توسعه ای نظری

تاریخ شروع : ۸۶/۷/۱

تاریخ خاتمه : ۸۷/۱۰/۱۶

تعداد واحد : ۶

سازمان تأمین کننده اعتبار : معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

واژه های کلیدی به فارسی : اندازه گیری تجربی تغییر شکل و کرنش، تداخل سنجی طرح اسپکل دیجیتالی، تکنیک شیفیت فاز

واژه های کلیدی به انگلیسی : ESPI, Experimental Strain Measurement, Phase Shifting Technique

نظرها و پیشنهادهای منظور بهبود فعالیت های پژوهشی دانشگاه :

استاد راهنما / استادان راهنما : دکتر یونس علیزاده وقاصلو

دانشجو : محمود بخشنده امضا استاد راهنما : تاریخ :

چکیده

در سالهای اخیر پیشرفت‌های چشمگیری در نرم افزارهای المان محدود برای شبیه‌سازی و مدل‌سازی تغییرشکل، کرنش و تنش قطعات انجام شده است. استفاده از این نرم‌افزارها، نسبت به روشهای سنتی اندازه‌گیری تجربی تغییرشکل و کرنش، ارزانقیمت و سریع می‌باشند اما متغیرهای بسیاری مثل شرایط مرزی، غیرهموژنی مواد، آسیب‌دیدگی و غیره وجود دارد که این نرم‌افزارها نمی‌توانند به‌طور کافی آنها را مدل کنند. بنابراین، همچنان نیاز به روش‌های تجربی کارا برای ارزیابی مقادیر تجربی تغییرشکل و کرنش می‌باشد.

در این پروژه، از تکنیک نوری تداخل سنجی طرح اسپکل دیجیتال برای اندازه‌گیری توزیع تغییرشکل استفاده شده است. به کمک این تکنیک و استفاده از تکنیک شیفت فاز، توزیع کمی فاز تداخلی طرح اسپکل ناشی از تابش پرتوهای لیزر تابیده به سطح قطعه به‌دست آورده شد. برای اعمال تکنیک شیفت فاز، یک ترانسدیوسر پیزوالکتریک طراحی، ساخته و کالیبره گردید. این ترانسدیوسر به همراه یک آینه نصب شده روی آن، در مسیر پرتو لیزر تابیده به سطح قرار داده شد که با جابجایی آینه، شیفت فاز مورد نظر اعمال گردید. با توجه به منحنی عملکردی خطی این ترانسدیوسر، مناسبترین تکنیک شیفت فاز، تکنیک شیفت فاز Carre مشخص گردید که با استفاده از آن، توزیع فاز تداخلی برای حالت قبل و بعد از تغییرشکل به‌دست آورده شد و با تفاضل این دو توزیع فاز، تغییر فاز تداخلی در اثر تغییرشکل حاصل گردید. طرح تغییر فاز تفاضلی حاصل، حاوی نویزهای بسیاری می‌باشد که برای حذف این نویزها، از فیلتر مثلثاتی استفاده شد. سپس طرح فاز صاف شده، با توجه به شرایط مرزی حاکم بر قطعه تحت بار، واپیچیده گردید تا تغییر فاز تداخلی مطلق در اثر تغییرشکل حاصل شود. سپس با توجه به رابطه جابجایی-تغییر فاز، توزیع تغییرشکل سطح قطعه در اثر اعمال بار، در جهت موردنظر به‌دست آورده شد. با مشتق‌گیری از روش رگرسیون دو بعدی از این توزیع تغییرشکل، توزیع کرنش در همان جهت محاسبه گردید. با محاسبه کرنش و استفاده از روابط تنش-کرنش، توزیع تنش قابل محاسبه می‌باشد. در پایان، نتایج به‌دست آمده از آزمایش روی چند ورق فولادی، با نتایج حاصل از حل المان محدود به کمک نرم افزار ANSYS، با هم مقایسه شد که نتایج هم از لحاظ نحوه توزیع و هم از لحاظ مقادیر کرنش و تنش، با هم مطابقت بالایی دارند.

کلمات کلیدی

اندازه‌گیری تجربی تغییرشکل و کرنش (Experimental Deformation and Strain Measurement)، تداخل سنجی طرح اسپکل دیجیتال (Digital Speckle Pattern Interferometry)، تکنیک شیفت فاز (Phase Shifting Technique)، رگرسیون دو بعدی (2D Regression)، المان محدود (Finite Element)

فهرست مطالب

الف	فهرست شکل‌ها
ز	فهرست جداول
ح	فهرست علائم
۱	فصل ۱- مقدمه
۲	۱-۱- مزایای تکنیک تداخل سنجی طرح اسپکل دیجیتالی
۳	۲-۱- تاریخچه
۷	فصل ۲- اصول پدیده‌های اپتیکی مورد استفاده
۷	۲-۱- امواج نوری
۸	۲-۲- شدت نور
۹	۲-۳- قطبش
۹	۲-۳-۱- قطبش خطی
۱۰	۲-۳-۲- قطبش دایره‌ای
۱۰	۲-۳-۳- قطبش بیضی‌وار
۱۱	۲-۴- تداخل دو موج با دامنه‌های متفاوت و فرکانس برابر
۱۲	۲-۵- هم‌دوسی نور
۱۲	۲-۵-۱- شرایط هم‌دوسی
۱۳	۲-۵-۲- هم‌دوسی زمانی
۱۳	۲-۵-۳- هم‌دوسی مکانی
۱۴	۲-۶- طرح اسپکل
۱۶	۲-۷- آرایه‌های CMOS و CCD
۱۷	۲-۷-۱- مزایا و معایب تصویرسازهای CCD نسبت به CMOS
۱۸	۲-۸- هولوگرافی
۲۲	فصل ۳- تداخل سنجی هولوگرافی
۲۲	۳-۱- ضبط و بازسازی یک الگوی تداخلی هولوگرافی با نوردهی مضاعف
۲۵	۳-۲- تغییرات فاز تداخل در اثر تغییر شکل

۲۸	۳-۳- بهینه سازی چیدمان هولوگرافی
۲۹	۳-۴- روش تداخلی سنجی طرح اسپکل دیجیتالی (DSPI)
۳۵	۳-۵- نحوه محاسبه کرنش و تنش از توزیع تغییرشکل
۳۷	۳-۵-۱- اندازه گیری کرنش با استفاده از روش رگرسیون دو بعدی
۴۰	۳-۶- تکنیک های شیفت فاز برای شناسایی فاز تداخلی
۴۶	۳-۷- وسایل شیفت دهنده فاز
۴۶	۳-۷-۱- دوران تیغه های نیم موج و ربع موج
۴۹	۳-۷-۲- دوران یک ورق شیشه ای
۴۹	۳-۷-۳- کشش فیبر نوری
۵۰	۳-۷-۴- جابجایی یک آینه
۵۱	۳-۸- فیلترهای مورد استفاده برای حذف نویز
۵۱	۳-۸-۱- فیلتر پایین گذر میانگین
۵۳	۳-۸-۲- فیلتر میانه
۵۵	۳-۸-۳- فیلتر مثلثاتی
۵۶	۳-۸-۴- مقایسه فیلترهای مختلف
۵۷	۳-۹- واپیچش فاز
۶۰	فصل ۴ - ترانسدیوسر پیزوالکتریک ساخته شده
۶۱	۴-۱- تشریح کلی طرح ترانسدیوسر
۶۳	۴-۲- مدار الکتریکی ترانسدیوسر
۶۴	۴-۳- کالیبراسیون ترانسدیوسر پیزوالکتریک
۶۵	۴-۳-۱- بررسی عملکرد ترانسدیوسر با استفاده از دستگاه اینترفرومتری MOLLER_WEDEL
۶۶	۴-۳-۲- بررسی عملکرد ترانسدیوسر با استفاده از کمپراتور الکتریکی Sigma
۶۸	فصل ۵ - نتایج
۶۸	۵-۱- چیدمان آزمایشگاهی
۷۲	۵-۲- نتایج آزمایش
۷۴	۵-۲-۱- نتایج به دست آمده از تفاضل طرح های اسپکل
۷۵	۵-۲-۲- نتایج به دست آمده از تکنیک شیفت فاز

۷۵	۱-۲-۲-۵- آزموں ورق دو سرگيردار فولادی
۸۰	۲-۲-۲-۵- آزموں ورق سه سرگيردار فولادی
۸۳	۳-۲-۲-۵- آزموں ورق چهار سرگيردار فولادی
۸۷	۴-۲-۲-۵- آزموں ورق چهار سرگيردار کامپوزیتی
۹۰	۵-۲-۲-۵- آزموں ورق دو سرگيردار فولادی کم عرض برای بررسی توزیع تنش
۹۲	۳-۵- بررسی اثر تعداد دفعات اعمال فیلتر مثلثاتی بر روی مقادیر کرنش
۹۳	۴-۵- بررسی اثر ابعاد ماتریس مشتق گیر در روش رگرسیون دو بعدی بر روی مقادیر کرنش
۹۵	۵-۵- مقایسه نتایج آزمایش با نتایج حل المان محدود به کمک نرم افزار ANSYS
۹۵	۱-۵-۵- اعمال جابجایی ثابت 0.02 mm روی ورق فولادی سه سرگيردار
۱۰۰	۲-۵-۵- اعمال جابجایی ثابت 0.02 mm روی ورق فولادی دو سرگيردار باریک
۱۰۵	فصل ۶- نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۰۹	فهرست مراجع
۱۱۳	واژه نامه
۱۱۵	ضمیمه ۱- برنامه های نوشته شده در MATLAB
۱۲۴	ضمیمه ۲- نقشه قطعات ترانسدیوسر پیزوالکتریک

فهرست جداول

- جدول ۵-۱- مقادیر کرنش در زیر محل بار، برای ۴ حالت بارگذاری ورق دو سرگیردار فولادی ۸۰
- جدول ۵-۲- مقادیر کرنش در زیر محل بار برای ۴ حالت بارگذاری ورق ۳ سر گیردار فولادی ۸۲
- جدول ۵-۳- مقادیر کرنش در زیر محل بار برای ۴ حالت بارگذاری ورق ۴ سر گیردار فولادی ۸۶

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- چیدمان اولیه به کاررفته توسط لیندرتز برای اندازه‌گیری جابجایی در صفحه ۳
- شکل ۱-۲- نور قطبیده خطی ۹
- شکل ۲-۲- نور قطبیده دایروی ۱۰
- شکل ۳-۲- نور قطبیده بیضی وار ۱۰
- شکل ۴-۲- بردارهای موج ۱۱
- شکل ۵-۲- همدوسی نور ۱۳
- شکل ۶-۲- برخورد نور با یک سطح زبر ۱۴
- شکل ۷-۲- طرح اسپکل ۱۴
- شکل ۸-۲- طرح‌های اسپکل الف) حقیقی ب) غیر حقیقی ۱۵
- شکل ۹-۲- تابع احتمال شدت ۱۵
- شکل ۱۰-۲- نحوه خواندن اطلاعات در یک آرایه CCD ۱۷
- شکل ۱۱-۲- یک چیدمان هولوگرافی نمونه الف) ضبط هولوگرام ب) بازسازی جبهه موج شیئی ۲۰
- شکل ۱-۳- ثبت یک طرح تداخلی هولوگرافی با نوردهی مضاعف جسم در حالت الف) بی باری ب) بارگذاری شده ۲۳
- شکل ۲-۳- بازسازی یک طرح تداخلی هولوگرافی با نوردهی مضاعف ۲۴
- شکل ۳-۳- ساختار هولوگرافی برای اندازه‌گیری تغییر فرم یک سطح تیره ۲۵
- شکل ۴-۳- بردارهای حساسیت الف) ثابت و ب) متغیر ۲۹
- شکل ۵-۳- چیدمان‌های تکنیک DSPI حساس به جابجایی الف) در صفحه X و ب) عمود بر صفحه Z ۲۹
- شکل ۶-۳- نحوه تشکیل فریز تداخلی طرح اسپکل ۳۱
- شکل ۷-۳- بردارهای تابش و رویت برای چیدمان حساس به جابجایی در صفحه ۳۲
- شکل ۸-۳- بردارهای تابش و رویت برای چیدمان حساس به جابجایی عمود بر صفحه ۳۴
- شکل ۹-۳- نحوه عملکرد تکنیک شیفت فاز ۴ فریم ۴۱

- شکل ۳-۱۰- شیفیت فاز به کمک صفحات نیم و ربع موج ۴۶
- شکل ۳-۱۱- شیفیت فاز به کمک صفحات نیم و ربع موج ۴۷
- شکل ۳-۱۲- شیفیت فاز با دوران صفحه شیشه‌ای ۴۹
- شکل ۳-۱۳- شیفیت فاز با کشش فیبر نوری ۵۰
- شکل ۳-۱۴- نحوه عملکرد فیلتر میانگین ۵۲
- شکل ۳-۱۵- تأثیر فیلتر میانگین در افزایش کیفیت طرح فاز تداخلی - (الف) طرح فاز تداخلی اولیه، (ب) یک بار اعمال فیلتر میانگین 3×3 ، (ج) ۱۰ بار اعمال فیلتر میانگین 3×3 ، (د) یک بار اعمال فیلتر میانگین 7×7 ۵۳
- شکل ۳-۱۶- نحوه عملکرد فیلتر میانه ۵۴
- شکل ۳-۱۸- تأثیر فیلتر مثلثاتی در افزایش کیفیت طرح فاز تداخلی - (الف) طرح فاز تداخلی اولیه، (ب) یک بار اعمال فیلتر مثلثاتی 3×3 ، (ج) ۱۰ بار اعمال فیلتر مثلثاتی 3×3 ، (د) یک بار اعمال فیلتر مثلثاتی 7×7 ۵۶
- شکل ۳-۱۹- مقایسه تأثیر فیلترهای مختلف در افزایش کیفیت طرح فاز تداخلی - (الف) طرح تداخلی اولیه، (ب) یک بار اعمال فیلتر میانگین 3×3 ، (ج) یک بار اعمال فیلتر میانه 3×3 ، (د) یک بار اعمال فیلتر مثلثاتی 3×3 ۵۷
- شکل ۳-۲۰- اطلاعات فاز (الف) قبل و (ب) بعد از واپیچش فاز ۵۸
- شکل ۳-۲۱- (الف) طرح فریزهای فاز تداخلی، (ب) طرح فاز تداخلی مطلق به دست آمده از روش واپیچش فاز برانکات ۵۹
- شکل ۴-۱- شیفیت فاز با استفاده از ترانسدیوسر پیزوالکتریک ۶۰
- شکل ۴-۲- نحوه اتصال الکتریکی پیزوسرامیک‌ها ۶۲
- شکل ۴-۳- مقطع ترانسدیوسر پیزوالکتریک ۶۲
- شکل ۴-۴- قطعات دمونتاژ شده ترانسدیوسر پیزوالکتریک ۶۳
- شکل ۴-۵- ترانسدیوسر پیزوالکتریک و برد الکتریکی آن ۶۳
- شکل ۴-۶- مدار الکتریکی ترانسدیوسر پیزوالکتریک ۶۴
- شکل ۴-۷- منحنی تجربی سختی دو فنر بشقابی در حالتی که در ترانسدیوسر قرار گرفته‌اند ۶۴
- شکل ۴-۸- چیدمان استفاده شده برای استخراج منحنی سختی فنرهای بشقابی ۶۵
- شکل ۴-۹- بررسی عملکرد ترانسدیوسر با استفاده از ایتترفرومتر MOLLER_WEDEL ۶۵

- شکل ۴-۱۰- فریزهای تاریک و روشن ایجاد شده در ولتاژهای صفر (الف)، ۵۰ (ب) و ۱۰۰ (ج) ۶۶
ولت اعمالی به ترانسدیوسر
- شکل ۴-۱۱- نحوه کالیبراسیون ترانسدیوسر با کمپراتور الکتریکی ۶۶
- شکل ۴-۱۲- منحنی عملکردی موقعیت دهنده در حالت افزایش ولتاژ و پیش بار N ۵۲۹ (الف) ۶۷
و N ۲۷۲ (ب)
- شکل ۴-۱۳- تکرارپذیری عملکرد ترانسدیوسر با پیش بار N ۳۴۳ ۶۷
- شکل ۵-۱- طرح شماتیک چیدمان ۶۸
- شکل ۵-۲- چیدمان تداخل سنجی طرح اسپکل دیجیتالی حساس به جابجایی در جهت X ۶۹
- شکل ۵-۳- ترانسدیوسر پیزوالکتریک استفاده شده در چیدمان ۶۹
- شکل ۵-۴- فیکسچر اعمال بار ۷۰
- شکل ۵-۵- نحوه تغییر شکل در جهت X برای یک ورق دو سر گیردار با اعمال جابجایی ۷۴
(الف) یک صدم تا ه) پنج صدم میلیمتر به صورت عمود بر ورق و در مرکز آن
- شکل ۵-۶- نحوه تغییر شکل در جهت X برای یک ورق چهار سر گیردار با اعمال جابجایی ۷۵
(الف) پنج میکرون تا ط) ۴۵ میکرون به صورت عمود بر ورق و در مرکز آن
- شکل ۵-۷- نحوه اعمال بار به ورق فولادی دو سر گیردار (الف) عملی، (ب) شماتیک ۷۶
- شکل ۵-۸- طرح فاز تداخلی به دست آمده از تکنیک شیفیت فار Carre (الف) قبل و (ب) بعد از ۷۶
بارگذاری 0.04 mm توسط میکرومتر
- شکل ۵-۸- تغییر فاز تداخلی به دست آمده از تکنیک شیفیت فاز مربوط به (الف) 0.01 mm، (ب) 0.02 mm، (ج) 0.03 mm، (د) 0.04 mm بارگذاری ۷۷
- شکل ۵-۹- طرح‌های تغییر فاز تداخلی فیلتر شده، مربوط به (الف) 0.01 mm، (ب) 0.02 mm، (ج) 0.03 mm، (د) 0.04 mm بارگذاری ۷۷
- شکل ۵-۱۰- طرح‌های تغییر فاز تداخلی واپیچیده شده، مربوط به (الف) 0.01 mm، (ب) 0.02 mm، (ج) 0.03 mm، (د) 0.04 mm بارگذاری ۷۸
- شکل ۵-۱۱- توزیع تغییر شکل سطح قطعه در جهت X مربوط به (الف) 0.01 mm، (ب) 0.02 mm، (ج) 0.03 mm، (د) 0.04 mm بارگذاری ۷۸
- شکل ۵-۱۱- توزیع کرنش سطح قطعه در جهت X مربوط به (الف) 0.01 mm، (ب) 0.02 mm، (ج) 0.03 mm، (د) 0.04 mm بارگذاری ۷۹

- شکل ۵-۱۲- نحوه اعمال بار به ورق فولادی سه سرگردار الف) عملی، ب) شماتیک ۸۰
- شکل ۵-۱۳- طرح‌های تغییر فاز تداخلی، مربوط به الف) 0.01 mm، ب) 0.02 mm، ج) 0.03 mm، د) 0.04 mm بارگذاری ۸۱
- شکل ۵-۱۴- طرح‌های تغییر فاز تداخلی فیلتر شده، مربوط به الف) 0.01 mm، ب) 0.02 mm، ج) 0.03 mm، د) 0.04 mm بارگذاری ۸۱
- شکل ۵-۱۵- توزیع تغییر شکل سطح قطعه در جهت X، مربوط به الف) 0.01 mm، ب) 0.02 mm، ج) 0.03 mm، د) 0.04 mm بارگذاری ۸۱
- شکل ۵-۱۶- توزیع کرنش سطح قطعه در جهت X، مربوط به الف) 0.01 mm، ب) 0.02 mm، ج) 0.03 mm، د) 0.04 mm بارگذاری ۸۲
- شکل ۵-۱۷- نحوه اعمال بار به ورق فولادی چهار سرگردار الف) عملی، ب) شماتیک ۸۳
- شکل ۵-۱۸- طرح‌های تغییر فاز تداخلی، مربوط به الف) 0.01 mm، ب) 0.02 mm، ج) 0.03 mm، د) 0.04 mm بارگذاری ۸۴
- شکل ۵-۱۹- طرح‌های تغییر فاز تداخلی، مربوط به الف) 0.01 mm، ب) 0.02 mm، ج) 0.03 mm، د) 0.04 mm بارگذاری ۸۴
- شکل ۵-۲۰- طرح‌های تغییر فاز تداخلی فیلتر شده، مربوط به الف) 0.01 mm، ب) 0.02 mm، ج) 0.03 mm، د) 0.04 mm بارگذاری ۸۵
- شکل ۵-۲۱- توزیع تغییر شکل سطح قطعه در جهت X، مربوط به الف) 0.01 mm، ب) 0.02 mm، ج) 0.03 mm، د) 0.04 mm بارگذاری ۸۵
- شکل ۵-۲۲- توزیع کرنش سطح قطعه در جهت X، مربوط به الف) 0.01 mm، ب) 0.02 mm، ج) 0.03 mm، د) 0.04 mm بارگذاری ۸۶
- شکل ۵-۲۳- تغییرات کرنش روی خط عبوری از وسط عرض ورق در ۴ مقدار بارگذاری ۸۷
- شکل ۵-۲۴- نحوه اعمال بار به ورق کامپوزیتی چهار سرگردار الف) عملی، ب) شماتیک ۸۸
- شکل ۵-۲۵- طرح‌های تغییر فاز تداخلی، مربوط به الف) 0.01 mm، ب) 0.02 mm بارگذاری ۸۸
- شکل ۵-۲۶- طرح‌های تغییر فاز تداخلی فیلتر شده، مربوط به الف) 0.01 mm، ب) 0.02 mm بارگذاری ۸۹
- شکل ۵-۲۷- توزیع تغییر شکل سطح قطعه در جهت X، مربوط به الف) 0.01 mm، ب) 0.02 mm بارگذاری ۸۹

- شکل ۵-۲۸- توزیع کرنش سطح قطعه در جهت X، مربوط به الف) 0.01 mm، ب) 0.02 mm
بارگذاری
- شکل ۵-۲۹- نحوه اعمال بار به ورق فولادی دو سرگیردار با عرض کم الف) واقعی، ب) شماتیک
- شکل ۵-۳۰- طرح تغییر فاز تداخلی الف) اولیه، ب) فیلتر شده برای 0.02 mm بارگذاری
- شکل ۵-۳۱- توزیع تنش سطح قطعه در جهت X، مربوط به الف) 0.01 mm و ب) 0.02 mm
بارگذاری
- شکل ۵-۳۲- طرح‌های تغییر فاز تداخلی فیلتر شده، بعد از الف) ۵، ب) ۱۰، ج) ۱۵، د) ۲۰، ه) ۲۵ و و) ۳۰ بار اعمال فیلتر مثلثاتی 5×7
- شکل ۵-۳۳- اثر تعداد دفعات اعمال فیلتر مثلثاتی بر روی مقادیر کرنش
- شکل ۵-۳۴- نحوه عملکرد برازش حداقل مربعات یک بعدی
- شکل ۵-۳۵- اثر تغییر ابعاد ماتریس مشتق‌گیر بر مقادیر کرنش در روش رگرسیون دو بعدی
- شکل ۵-۳۶- تغییر شکل ورق سه سرگیردار تحت جابجایی ثابت
- شکل ۵-۳۷- توزیع تغییر شکل در جهت X به دست آمده از ANSYS برای ورق سه سرگیردار تحت جابجایی ثابت
- شکل ۵-۳۸- توزیع تغییر شکل در جهت X به دست آمده از آزمایش برای ورق سه سرگیردار تحت جابجایی ثابت
- شکل ۵-۳۹- توزیع کرنش در جهت X به دست آمده از ANSYS برای ورق سه سرگیردار تحت جابجایی ثابت
- شکل ۵-۴۰- توزیع کرنش در جهت X به دست آمده از آزمایش ورق سه سرگیردار تحت جابجایی ثابت
- شکل ۵-۴۱- تغییرات کرنش روی لبه بالایی ورق سه سرگیردار
- شکل ۵-۴۲- تغییر شکل ورق دو سرگیردار تحت جابجایی ثابت
- شکل ۵-۴۳- توزیع تغییر شکل در جهت X به دست آمده از ANSYS برای ورق دو سرگیردار تحت جابجایی ثابت
- شکل ۵-۴۴- توزیع تغییر شکل در جهت X به دست آمده از آزمایش برای ورق دو سرگیردار تحت جابجایی ثابت

- شکل ۵-۴۵- توزیع کرنش در جهت X به‌دست آمده از ANSYS برای ورق دو سرگیردار تحت جابجایی ثابت ۱۰۱
- شکل ۵-۴۶- توزیع کرنش در جهت X به‌دست آمده از آزمایش ورق دو سرگیردار تحت جابجایی ثابت ۱۰۲
- شکل ۵-۴۷- تغییرات کرنش روی خط وسط ورق دو سرگیردار ۱۰۲
- شکل ۵-۴۸- توزیع تنش در جهت X به‌دست آمده از ANSYS برای ورق دو سرگیردار تحت جابجایی ثابت ۱۰۳
- شکل ۵-۴۹- توزیع تنش در جهت X به‌دست آمده از ANSYS برای ورق دو سرگیردار تحت جابجایی ثابت ۱۰۳
- شکل ۵-۵۰- تغییرات تنش روی خط وسط ورق دو سرگیردار ۱۰۴

فهرست علائم

D	قطر سطح زبر مورد بررسی
d	بردار جابجایی
E	شدت میدان الکتریکی
e	بردار حساسیت
F	روزنه عدسی
I	شدت نور
k	بردار موج
M	بزرگنمایی
NA	روزنه عددی موثر
r	بردار مکانی
R	مقدار برگردانده شده از فیلتر میانگین
s	بردار تابش
t	زمان
T	دوره تناوب
u	تغییر شکل در جهت X
V	نمایی فریز تداخلی
v	تغییر شکل در جهت Y
w	تغییر شکل در جهت Z
Z	فاصله از سطح زبر
E_{Mat}	مدول الاستیسیته مواد
E_{circ}	موج قطبیده دایره ای
E_{lin}	موج تخت

I_0	شدت میانگین
$M_{\lambda/2}$	ماتریس تیغه نیم موج
$M_{\lambda/4}$	ماتریس تیغه ربع موج
P_x	طول نمایشی هر پیکسل
T_m	پهنای زمانی مورد نظر
b_v	بردار رؤیت
c_l	سرعت نور
d_{33}	کرنش دینامیکی در جهت ضخامت پیزو
γ_{xy}	کرنش برشی
τ_{xy}	تنش برشی
$\Delta\phi$	تغییر فاز
β	زاویه بین عمود بر سطح آینه و پرتو نور لیزر
δ	اختلاف مسیر نور
ε	کرنش
θ	زاویه بین عمود بر سطح قطعه و پرتو نور لیزر
λ	طول موج نور لیزر
ν	ضریب پواسون
ρ	اندازه متوسط اسپکل حقیقی
σ	تنش
φ	فاز تداخلی
ω	فرکانس نور
ϕ	فاز نور
α	شیفت فاز

فصل ۱

مقدمه

فصل ۱- مقدمه

در سالهای اخیر پیشرفت‌های چشمگیری در نرم افزارهای المان محدود برای شبیه‌سازی و مدل‌سازی تغییرشکل، کرنش و تنش قطعات انجام شده است. استفاده از این نرم‌افزارها، نسبت به روشهای سنتی اندازه‌گیری تجربی تغییرشکل و کرنش، ارزاقیمت و سریع می‌باشند اما متغیرهای بسیاری مثل شرایط مرزی، غیرهموزنی مواد، آسیب‌دیدگی و غیره وجود دارد که این نرم‌افزارها نمی‌توانند به‌طور کافی آنها را مدل کنند. بعلاوه موادی مثل پلاستیک‌ها، لاستیک‌ها، کامپوزیت‌ها، مواد هوشمند، مواد پیزوالکتریک، مواد FGM و غیره وجود دارند که تحلیل آنها با نرم‌افزارهای تحلیلی پیشرفته هم، یا بسیار مشکل و بعضاً غیرممکن می‌باشد و یا با فرض‌های ساده‌کننده بسیاری قابل حل می‌باشد. بنابراین همچنان تکنیک‌های تجربی کارا، برای ارزیابی نتایج این نرم‌افزارها لازم می‌باشد.

یک تکنیک سنتی برای مشخص کردن مؤلفه‌های کرنش، استفاده از استرین‌گیج‌ها می‌باشد. این یک روش ارزان و کارا برای یک سری از کاربردها می‌باشد. اما استرین‌گیج‌ها تنها اطلاعات نقطه‌ای را در اختیار می‌گذارند و نمی‌توانند مکان‌های ماکزیمم کرنش را نشان دهند. لذا در مکان‌هایی که تغییر کرنش شدید می‌باشد، استفاده از استرین‌گیج‌ها اطلاعات زیادی در اختیار قرار نمی‌دهد. بعلاوه استفاده از استرین‌گیج‌ها وقت‌گیر بوده و به مهارت و دقت احتیاج دارد.

تداخل‌سنجی هولوگرافی^۱ یک روش اپتیکی مناسب برای اندازه‌گیری تغییرشکل و جابجایی‌های کوچک می‌باشد. روش تداخل‌سنجی طرح اسپکل دیجیتالی^۲ که امروزه به‌طور مخفف به نام روش DSPI یا ESPI شناخته می‌شود، یک نسخه الکترونیکی از روش تداخل‌سنجی هولوگرافی می‌باشد. تفاوت عمده تداخل‌سنجی هولوگرافی سنتی و تکنیک DSPI، در نحوه ضبط طرح تداخلی است. در روش DSPI، داده‌های تصویری توسط دوربین CCD و کارت رابط کامپیوتری به‌صورت دیجیتالی ضبط می‌شود. در نتیجه، مراحل وقت‌گیر ظهور و ثبوت شیمیایی فیلم که در روش تداخل‌سنجی هولوگرافی

¹ Holographic Interferometry

² Digital Speckle Pattern Interferometry

سنتی وجود دارد، حذف می‌شود [۱-۳]. از آنجایی که در تکنیک DSPI، طرح‌های تداخلی به صورت دیجیتالی ثبت می‌شود، امکان انجام پردازش تصویر روی عکس‌های دیجیتالی گرفته شده و محاسبه میزان تغییرشکل و جابجایی در هر پیکسل میسر می‌باشد و می‌توان با مشتق‌گیری از توزیع تغییرشکل به دست آمده، توزیع کرنش سطح قطعه در جهت موردنظر به دست آورد.

از آنجایی که این روش در داخل کشور برای اولین بار است که مورد بررسی قرار می‌گیرد، هدف از انجام این پروژه، دستیابی به فناوری این تکنیک از نظر تئوری و عملی و آشنایی به عوامل تأثیر گذار روی دقت و کیفیت نتایج حاصل می‌باشد که به طور عملی این روش، با استفاده از جدیدترین پیشرفت‌هایی که در روش‌های شناسایی و واپیچش فاز، پردازش تصویر، دوربین‌های دیجیتال و روش‌های عددی اندازه‌گیری کرنش صورت گرفته است، آزمایش شد. نتایج این روش هم از نظر نحوه توزیع و هم از نظر مقادیر با حل‌المان محدود نمونه‌های مورد بررسی مطابقت دارد.

۱-۱- مزایای تکنیک تداخل سنجی طرح اسپکل دیجیتالی

تکنیک DSPI یک تکنیک پیشرفته با قابلیت‌های شگفت‌انگیز می‌باشد که هم‌اکنون به طور گسترده استفاده می‌شود. در زیر مزایای این تکنیک آورده شده است [۴ و ۵ و ۶].

قابلیت اندازه‌گیری دقیق توزیع تغییرشکل، جابجایی و کرنش سطح قطعات

قابل استفاده برای تمام مواد اعم از فلز، پلاستیک، لاستیک، کامپوزیت، مواد هدفمند و غیره

غیرتماسی بودن

حساسیت و دقت بالای اندازه‌گیری

عدم نیاز به آماده‌سازی سطح

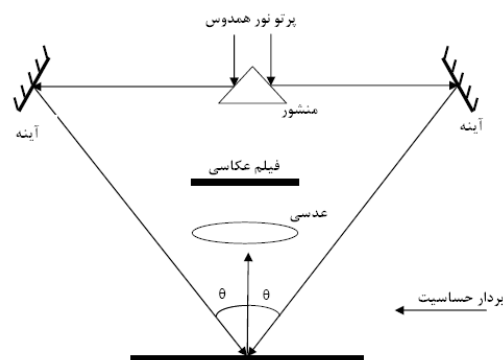
سهولت در اندازه‌گیری

سرعت بالای اندازه‌گیری

مشکل عمده این روش حساسیت به ارتعاشات و نویزهای محیطی می‌باشد که باعث ایجاد خطا می‌شوند. بعلاوه محدوده جابجایی یا تغییر شکل قابل اندازه‌گیری در این روش محدود می‌باشد و به قدرت تفکیک دوربین مربوط می‌شود و ماکزیمم تا ۵۰ میکرون می‌تواند برسد [۷].

۱-۲- تاریخچه

لیندرتز^۱ [۸] در سال ۱۹۷۰، روشی برای برقراری ارتباط میان ۲ طرح اسپکل که منجر به ایجاد فریزهایی که حساس به جابجایی در صفحه می‌باشد، ارائه کرد. در این تکنیک، از یک فیلم عکاسی استفاده شد که بوسیله یک منبع نور همدوس از دو جهت تحت تابش قرار گرفته بود (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- چیدمان اولیه به کاررفته توسط لیندرتز برای اندازه‌گیری جابجایی در صفحه [۸]

این تکنیک، توسعه تکنیک‌های تداخل سنجی هولوگرافی می‌باشد که قبلاً در سال ۱۹۶۸ ابداع گردیده بود.

تکنیک **DSPI** اولین بار توسط باترز^۲ و لیندرتز [۹] در سال ۱۹۷۱ ارائه گردید. در این تکنیک، نور از دو جهت تابیده می‌شد و طرح اسپکل بوسیله یک دوربین ویدئویی ثبت می‌گردید. فریزهای تداخلی با

¹ Leendertz

² Butters