

www.kandooch.com

موضوع :

منسوجات هوشمند

www.kandooch.com

موضوع :

توسعه تکنولوژی فرآوری TSC در نساجی

www.kandooch.com

www.kandooch.com

www.kandooch.com

۱- مقدمه

توسعه سریع ترکیبات ساختاری نساجی (TSC ها) بازار و فرصت های پژوهشی جدیدی را برای صنعت نساجی و دانشمندان این رشته ایجاد کرده است. ترکیبات نساجی سه بعدی، بر طبق یکپارچگی ساختاری شان دارای یک شبکه دسته تارها در یک حالت یکنواخت می باشد، که نتیجه آن افزایش قدرت درون بافتی و بین بافتی، انعطاف پذیری بیشتر تشکیل شکل ساختاری پیچیده و امکان بیشتر تولید قطعات بزرگ با هزینه کمتر در مقایسه با ترکیبات سنتی است. سختی و استحکام بیشتر همراه با وزن کمتر باعث افزایش کاربرد آنها در صنایع هوا فضا، خودروسازی و مهندسی شهری شده است. پیش بینی شده است که بهبود تکنولوژی های فرآوری و ترکیب آنها با تکنولوژی های ساختار هوشمند منجر به رشد صنعتی عمده در قرن بعد با استفاده از به چالش افتادن وضعیت فلز است دیگر مواد متداول مهندسی گردیده است.

یک موفقیت در توسعه تکنولوژی فرآوری TSC به درک بهتر رابطه خواص - ساختار پردازش دارد. یک گام مهم در این جهت نظارت بر توزیع تنش / کرنش داخلی در زمان واقعی در طول فرآوری اجرای منسوج و جامد شدن متعاقب آن تا ساختارهای نهایی است. مسئله مهم دیگر در کاربرد TSC ها حساس کردن آنها به شرایط داخلی سلامت و محیطی خارجی آنها است. تجمع شبکه های حسگری در داخل ساختارهای تولید - تقویت اولین گام برای هوشمند ساختن مواد محسوب می شود. علاوه بر این، پیچیدگی ساختار TSC مثل

اثر پوست- هسته ترکیبات تابیده سه بعدی کاراکتریزه کردن مواد را امری دشوار ساخته است.

در گذشته اندازه گیری توزیع تنش / کرنش داخلی یک چنین ماده ای پیچیده با استفاده از روش های متداول مانند معیار کرنش و حسگرهای فرابنفش تقریباً غیرممکن شده است. به علاوه، نیاز به بعضی انواع شبکه حسگری در این ساختارها لحاظ شده است تا وسیله ای باشد برای (۱) نظارت بر توزیع تنش داخلی TSC های insith در طول فرایند تولید، (۲) اجازه دادن جهت نظارت سلامت و ارزیابی آسیب TSC ها در طول خدمات و (۳) قادر به ساختن یک سیستم کنترلی برای نظارت فعال و واکنش نشان دادن به تغییرات محیط کاری.

تکنولوژی های فیبر نوری که ارائه دهنده کارکردهای انتقال سیگنال و حسگری با هم است. در سال های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است، به ویژه در ساختارهای بتن هوشمند شامل بزرگراه ها، پل ها، سدها و ساختمان ها. تعدادی از پژوهشگران از تکنولوژی حسگرهای فیبر نوری (FOS) برای نظارت بر فرآیند تولید و ارزیابی سلامت ساختار ترکیبات الیافی تقویت شده استفاده کرده اند. از آنجایی که فیبرهای نوری دارای اندازه کوچک و سبک وزن، ساختار با تارهای منسوج و آماده مشمول یا حتی بافته شدن درون TSC ها هستند، مطمئن ترین وسیله برای تشکیل شبکه حسگری ذکر شده در بالا می باشند. این فصل مروری بر انواع مختلف حسگرهای فیبرنوری، مسائل عمده ترکیبات منسوج هوشمند تجمیع شده با حسگرهای الیاف براگ (Bragg) که زوج دما و کرنش است، ابزار

اندازه گیری کرنش چند محوری، مسائل مربوط به اعتماد پذیری و مؤثر بودن اندازه گیری و همچنین سیستم های مختلف اندازه گیری برای ترکیبات منسوج هوشمند جمع شده با حسگرهای نوری فیبر.

۲- فیبرهای نوری و حسگرهای نوری فیبر

به طور طبیعی، یک فیبر نوری شامل یک هسته است که اطراف آن یک روکش کاری صورت گرفته که شاخص شکست آن کمی کمتر از شاخص مربوط به هسته می باشد. این فیبر نوری در طول فرایند ترسیم با یک لایه محافظ پلیمری، پوشیده شده است. درون هسته فیبر، اشعه های نور تابیده شده روی هسته - روکش با زوایای بزرگتر از زاویه بحرانی به صورت کلاً داخلی منعکس شده و از داخل هسته و بدون شکست هدایت می شوند. شیشه سیلیکا متداول ترین ماده برای الیاف نوری است، جایی که روکش کاری به طور طبیعی با سیلیکای خالص گداخته صورت می گیرد و هسته از سیلیکای داپ تشکیل شده که حاوی چند مول ژرمانیم می باشد. سائز ناخالصی ها مانند فسفر را نیز می توان مورد استفاده قرار داد. جذب خیلی کم در یک فیبر ژرمانوسیلیکات همراه با یک حداقل ضریب افت $\alpha = 0.3 \text{ dB/km}$ در $1/3 \mu\text{m}$ و یک حداقل مطلق $\alpha = 0.16 \text{ dB/km}$ در $1/55 \mu\text{m}$ صورت می گیرد. بنابراین نور در دو پنجره ده ها کیلومتر از طریق فیبر انتقال می یابد، بدون اینکه افت زیادی در یک شرایط هدایت صحیح به وجود می آید. به همین علت است که

امروزه فیبر نوری جایگزین سیم کواکسیال مسی به عنوان وسیله انتقال برتر امواج الکترومغناطیس نشده و انقلابی در ارتباطات جهانی ایجاد کرده است.

موازی با توسعه سریع عهد ارتباطات فیبر نوری، حسگرهای نوری فیبر نیز توجه زیادی به

خود جلب کرده و رشد زیادی را در سال های اخیر تجربه کرده است. این حسگرها

سبک، کوچک و انعطاف پذیر هستند. بنابراین آنها بر یکپارچگی ساختار مواد مرکب تأثیر

نمی گذارند و می توان آنها را با پارچه های تقویت شده تجمیع کرد تا ستون فقرات ساختار

را تشکیل دهند. آنها مبتنی بر یک تکنولوژی واحد متداول هستند که ابزارها را قادر می

سازد تا برای نابسامانی های فیزیکی بیشمار حسگری از یک ماهیت آبی، الکتریکی،

مغناطیسی و گرمایی توسعه یابند. تعدادی از حسگرها را می توان در امتداد یک فیبر نوری با

استفاده از تکنیک های تقسیم طول موج، فرکانس، زمان و پلاریزاسیون تسهیم کرد تا

سیستم های حسگری توزیع شده یک، دو یا سه بعدی ایجاد شود. آنها از داخل ساختار

یک مسیر هدایت کننده ایجاد نمی کنند و گرمای اضافی تولید نمی کنند که بتواند به

صورت بالقوه به ساختار آسیب بزند. آنها به جداسازی الکتریکی از ماده ساختاری ندارند و

تداخل الکترومغناطیسی ایجاد نمی کنند، این می تواند یک مزیت خیلی مهم در بعضی

کاربردها باشد.

FOS ها را برای بکارگیری در ساختارهای هوشمند می توان بر طبق اینکه آیا حسگری

توزیع شده، موضعی (نقطه) یا تسهیم شده (چند نقطه) است تقسیم بندی کرد. اگر حسگری

در امتداد طول فیبر توزیع شده باشد، توزیع اندازه گیری شده به عنوان یک تابع موقعیت می تواند از سیگنال خروجی تعیین گردد. بنابراین یک فیبر واحد می تواند به طور مؤثر تغییرات در کل جسمی که در آن قرار دارد را کنترل کند. یک حسگر موضعی تغییرات اندازه گیری شده را فقط در مجاورت حسگر شناسایی می کند. بعضی حسگرهای موضعی می توانند خودشان تسهیم شوند، که در آن حسگرهای موضعی چند گانه در فواصل معین در امتداد طول فیبر قرار می گیرند. هر حسگر را می توان به وسیله تشخیص طول موج، زمان یا فرکانس جداسازی کرد و در نتیجه امکان پروفایل کردن زمان واقعی پارامترها در کل ساختار فراهم می شود.

پیش از اختراع گراتینگ های براگ فیبر (FBC ها)، FOS ها را بر طبق طرح حسگری؟؟ در دو گروه بزرگ طبقه بندی کرد، اینترنومتریکی و اینترفرومتریکی. حسگرهای اینترنومتریکی فقط مبتنی بر میزان نور شناسایی شده که از فیبر عبور می کند است. در ساده ترین شکل آن یک توقف انتقال ناشی از شکستن یک فیبر درون سیستم، آسیب ممکن را نشان می دهد. حسگرهای اینترفرومتریکی برای گستره ای از کاربردهای با حساسیت بالا مانند حسگرهای میدان مغناطیسی و آبی تولید شده است و معمولاً مبتنی بر الیاف تک حالتی هستند. برای مثال، اینترفرومتریکی ماچ-زند، همانگونه که در شکل ۱-۱۰ نشان داده شده، یکی از متداول ترین پیکربندی ها است. با این نوع ابزار، تنش را می توان مستقیماً به وسیله قرار دادن بازوی فیبر حسگری در ساختار کنترل کرد و این امر هنگامی صورت می

پذیرد که بازوی مرجع به طول یکسان از محیط جدا شده باشد. گرچه یک چنین پیکربندی نسبت به تنش خیلی حساس است اما کل طول فیبر در یک بازو به کشش پاسخ می دهد و بنابراین موضع گیری ناحیه حسگری مشکل است. یک حس گر می تواند تداخلی دیگه، که برای حسگری موضعی مناسب تر است، مبتنی بر تداخل بین نور منعکس شده از دو سطح نزدیک می باشد که تشکیل یک اینترفرومتر نوع فابری پیروت (FP) با طول معیار کوتاه می دهد (شکل ۲-۱۰).

کشش یا تنش به کار رفته در درون شاخص ساختار را می توان با اندازه گیری طیف بازتابی یا سیگنال نور بازتابی از انحناء FP تعیین کرد که تابعی از فاصله بین دو سطح بازتابی است. عیب اینگونه ابزارها این است که انجام اندازه گیری های مطلق سخت است و تشکیل یک ردیف حس گر تسهیم شده در امتداد طول یک فیبر به علت اتلاف زیاد ساختار ناپیوسته یک کاو FP مشکل می باشد. بررسی و تحلیل مفصل به وسیله Measures, Udd ارائه شده است.

۳- تحلیل مبانی حسگرهای گراستیک براگ فیبر لحاظ شده

۱-۳- مبانی FBGS

چون FBG دارای مزیت های زیادی بر دو گروه دیگر است و اطمینان زیادی را می دهد، ما در این بخش بر روی FBG متمرکز خواهیم شد. FBG به وسیله مدولاسیون شاخص شکست هسته در یک فیبر نوری تک حالتی تولید می شود که به طور کامل در فصول ۸ و ۹

توضیح داده شده است. فرض کنید تغییر در دوره مدولاسیون شاخص مستقل از وضعیت پلاریزاسیون نور بازرسی شده باشد و فقط به کشش محوری فیبر بستگی داشته باشد، اختلاف طول موج براگ در معادله (۹-۱۵) نتیجه می دهد:

$$(10-1) \quad \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \dots\dots\dots$$

که در آن ε_1 کشش محوری کل فیبر نوری است. به طور کلی n, λ دارای مقادیر مختلف در جهت های پلاریزاسیون هستند. زیرنویس $I=1,2,3$ دلالت بر مقادیر n, λ در جهت پلاریزه تعریف شده دارد. یک سیستم کوئوردینانس کارترین محلی به کار رفته است: با $1,2,3$ که به ترتیب بیانگر سه جهت اصلی هستند. معادله (۱۰-۱) را می توان به این صورت بازنویس کرد.

$$(10-2) \quad \frac{\Delta\lambda}{\lambda_1} = \dots\dots\dots$$

برای کشش زیرنویس ($j=1,2,3,4,5,6,\dots$) به کار رفته است. سه عدد اول بیانگر کشش های نرمال در به ترتیب مهارت اول (محورهای فیبر)، دوم و سوم می باشند. کشش ε یک فیبر نوری می تواند با مشارکت یا انبساط گرمایی یا تنش باشد. بنابراین علامت ε^* برای کشش فیبرنوری القا شده فقط به وسیله تنش به کار رفته است. شاخص شکست n هم با درجه حرارت T و هم کشش ε^* مرتبط است، بنابراین:

$$(10-3) \quad \frac{\Delta n_i}{n_1} = \dots\dots\dots$$

(۱۰-۴)

بر طبق نظریه کشش نوری

که در آن P_{ij} برابر است با ماتریس ضریب کشش - نور برای یک واسط ایزوتروپیک همگن

داریم:

(۱۰-۵)

$$P_{ij} = \dots\dots\dots$$

$$P_{۴۴} = (P_{۱۱} - P_{۱۲}) / ۲$$

برای یک واسط ایزوتروپیک همگن می توان فرض کرد که شاخص شکست n دارای یک

(۱۰-۶)

$$\xi = \dots\dots\dots$$

رابطه خطی ξ درجه حرارت T است:

که در آن ξ ثابت نوری - گرمایی است.

به علت اینکه نورها امواج متقاطع هستند، فقط انحرافات متقاطع (جهت ۲ و ۳) از شاخص

شکست می تواند باعث تغییر طول موج براگ شود - با جایگزین کردن معادله های (۱۰-۴)

و (۱۰-۵) و (۱۰-۶) در معادله (۱۰-۳) تغییرات طول موج بیک برای نور پلاریزه خطی در

جهت دوم و سوم به صورت زیر درمی آید:

(۱۰-۷)

و

(۱۰-۸)

در بسیاری از موارد تغییر طول موج برای حسگر براگ برای هر حالت ایگن پلاریزاسیون

فیبرنوری به هر سه جزء کشش اصلی درون فیبر نوری بستگی دارد. سرکیس و هاسلاچ مدل

بوتر و هاگرا توسعه دادند و نشان داده اند که نتایج آنها به نتایج مشاهده شده در آزمایش

های بارگیری متقاطع باری حسگر فیبر نوری اینتر فرومتریک نزدیک است.

مورد کلی در بخش ۲-۴-۱۰ مورد بحث قرار خواهد گرفت. در اینجا ما فقط در مورد مسئله

تقارن محوری بحث خواهیم کرد که در آن $\epsilon_3^* = \epsilon_2^*$. اگر فیبر نوری یک ماده

ایزوتروپیک گرمایی با ضریب توسعه ثابت α باشد، در این صورت $\epsilon_j^* = \epsilon_j - \alpha \Delta T$

($j=1,2,3$) معادله های (۷-۱۰) و (۸-۱۰) را می توان به همان شکل نوشت:

(۹-۱۰)

(۱۰-۱۰)

که در آن

(۱۱-۱۰)

و

f به صورت فاکتور حساسیت و ϵ_j^* به عنوان ثابت نوری-گرمایی اصلاح شده تعریف شده

است.

۲-۳- عامل حساسیت

زمانی که تغییر دما به قدری کوچک باشد که از اثر آن بتوان صرف نظر کرد FBG را

می توان به عنوان یک حسگر کشش در نظر گرفت. بگذارید $V^* = (-\epsilon_2 / \epsilon_1)$ را به عنوان

نسبت مؤثر پایسون (EPR) فیبر نوری تعریف کنیم. از معادله (۱۱-۱۰) واضح است که

عامل حساسیت f یک ثابت نیست بلکه تابعی از V^* می باشد.

شکل ۱۰-۳ یک منحنی نوعی از عامل حساسیت را به صورت تابعی از نسبت مؤثر پایسون نشان می دهد که با استفاده از پارامترهای مواد فیبرنوری ارائه شده در جدول (۱-۱۰) محاسبه شده است. موارد زیر را در نظر بگیرید.

۱- $V^* = 0.17$ و $f = 0.798$ به معنی آن است که EPR برابر است با نسبت پایسون ماده فیبر و شرایط فرض بوترا و هاگرا بر آورده می سازد. مقدار فاکتور حساسیت $f = 0.798$ به وسیله بسیاری از تولید کنندگان FBGS توصیه شده است.

۲- $V^* = -1$ و $f = 0.344$ به معنی آن است که کشش ها در سه جهت اصلی فیبر برابر هستند. که با مورد تنش یکنواخت ایستا یا حالت توسعه گرمایی مطابقت دارد.

۳- $V^* = 0.1$ و $f = 0.732$ به معنی آن است که هیچ تغییر شکل متقاطع وجود ندارد.

بنابراین اگر از یک FBGS به عنوان حسگر مشمول استفاده شود، انجام یک تصحیح عامل حساسیت با توجه به کشش اصلی متقاطع ضروری است. در غیر این صورت، فقط زمانی که کشش اصلی متقاطع فیبر نوری به میدان کشش میزبان حساس نباشد می توان فاکتور حساسیت را ثابت در نظر گرفت.

اگر یک FBGS تنها در معرض یک تغییر دمایی باشد، در این صورت:

$$\varepsilon_1 =$$

که در آن α ضریب توسعه ایزوترمال فیبر نوری است. با جایگزین کردن رابطه بالا در

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \dots\dots\dots \text{ معادله (۹-۱۰) ما می توانیم روابط زیر را استنتاج کنیم:}$$

معمولاً ξ_1 بیش از ده برابر بزرگتر از α است (برای سیلیکا $\alpha = 0.55 \times 10^{-6}$)

$$(\xi_1 = 8/2 \times 10^{-2}).$$

بنابراین تأثیر از توسعه گرمایی روی نتیجه اندازه گیری برای یک چنین FBGS تنها می توان

صرف نظر کرد.

۳-۳- مزدوج سازی دما و کشش

کشش اندازه گیری شده ε_1 در معادله (۹-۱۰) به عنوان یک حسگر کشش مشمول (از لحاظ ایده آل) باید بیانگر کشش میزبان در جهت فیبر نوری باشد. جبران دما به آسانی به وسیله رابطه زیر صورت می گیرد.

$$\varepsilon_1 = \dots\dots\dots (13-10)$$

برای هسته سیلیکا ژرمانیم دار، ضریب نوری - گرمایی ξ تقریباً برابر با $8/3 \times 10^6$ است، پس ثابت ξ برابر است با $8/96 \times 10^6$ اگر کشش اندازه گیری شده بزرگتر از $0/001$ باشد و تغییرات دما کوچکتر از 10 درجه سانتی گراد باشد. عبارت $\Delta T * \xi$ در معادله (۱۳-۱۰) یک درجه مغناطیس کوچکتر از کشش است، و جبران دما در بعضی موارد غیر ضروری خواهد بود.

۴- اندازه گیری های همزمان کشش و دما

۴-۱- اندازه گیری های همزمان دما و کشش محور

اگر دمای داخلی میزبان نامشخص و مشارکت در تغییر طول موج متناسب با کشش باشد، تعیین کشش و دما فقط از رابطه (۹-۱۰) غیرممکن است. یکی از مهمترین محدودیت های حسگرهای FBG حساسیت دوگانه آنها نسبت به دما و کشش است. این امر باعث ایجاد مشکل در اندازه گیری های مستقل برای این دو معیار می شود. روش اصلی این است که دو عنصر حس گر که دارای واکنش های مختلف به کشش و دما است تعیین مکان گردد.

طرح های حس گر بر اساس ترکیب FBG ها با انواع مختلف گراتینگ، مانند FBG های دارای قطر متفاوت، طول موج براگ متفاوت، کدپ متفاوت، FBG های هیبرید (پیوندی) و فیبر دوره طولانی، گودی فابری- پیروت، پراکنش شبیه سازی شده بریلوین یا فیلتر لرزش پلاریزاسیون فیبر، می باشند. موارد قابل توجه می تواند طول موج براگ، شدت فرکانس بریلوین یا طول موج رزونانت لرزشی پلاریزاسیون باشد. این زیرمجموعه اندازه گیری های دما و کشش محور به طور همزمان را با استفاده از یک حفره فابری- پیروت FBG یا FBG های ابرساختاری معرفی می کند.

ساختار حس گر حفره فابری- پیروت FBG در شکل (a) ۴-۱۰ نشان داده شده است که شامل دو FBG مشابه است که با یک حفره کوچک با طول LC از هم جدا شده اند. اگر بازتاب پذیری این دو FBG یعنی $R_g(\lambda)$ کوچک باشد، طیف بازتابی حسگر حفره فابری-

پیروت FBG یعنی $R_g(\lambda)$ تقریباً برابر است با: $R_{gc} \dots \dots \dots$ (۱۵-۱۰)

که در آن λ_c یک ثابت، $F(\lambda)$ تداخل حفره، $\phi(\lambda)$ اختلاف فاز بین نور بازتابی به وسیله دو FBG و n_c شاخص شکست مؤثر این بخش می باشد. طیف بازتاب حسگر حفره FBG فابری- پیروت به وسیله تغییر فاز حفره مدوله شده است. در نتیجه کشش و دما به صورت تغییر طول موج براگ و تغییر در اختلاف فاز حفره یا مسیر نوری کد گذاری شده اند. تغییر در اختلاف فاز را می توان با اندازه گیری تغییر در کل نیروی بازتابی یا پروفایل طیف بازتابی نور از حس گر کدیابی کرد.

زمانی که یک حداقل $F(\lambda)$ در باند بازتابی اصلی گراتینگ صورت بگیرد، طیف بازتابی حفره FBG پیروت - فابری به دو پیک تقسیم می شود و هر یک در یک ظرف از طول موج براگ λ_B قرار می گیرند.

اگر این λ_{min} حداقل بر λ_B منطبق باشد، شدت های دو پیک برابر می شود. با وجود کشش یا دمای کاربردی، هم طیف و هم تداخل به صورت نتیجه تغییر در اختلاف فاز عمل می کنند. تغییرات متوالی λ_{min}, λ_B را می توان به صورت زیر بیان کرد. (۱۵-۱۰)

که در آن $K_{I\Gamma}, K_{I\Xi}$ به ترتیب عبارتند از ضرایب کشش و دمای $(i=1)$ FBG و حفره $(i=2)$ ، اگر این دو بخش دارای ضرایب مساوی باشند مانند $K_{\Xi T} = K_{\Gamma T}, K_{\Xi g} = K_{\Gamma g}$

موقعیت نسبی بین λ_B, λ_{min} با دما یا کشش به کار رفته تغییر نخواهد کرد. در این حالت طیف بازتاب حس گر حفره FBG فابری - پیروت تغییر می کند، اما پروفایل آن بدون تغییر باقی می ماند. بنابراین دما و کشش را نمی توان به صورت جداگانه تعیین کرد. اما در صورتی که بخش های حفره و FBG دارای ضرایب دما و کشش مقاومت باشند. یعنی

$K_{I\Gamma} > K_{2\Gamma}$ یا $K_{I\Xi}, K_{2\Xi}$ با سرعتی بیشتر از λ_{min} حرکت خواهد کرد. این امر باعث کاهش شدت پیک ۱ و افزایش شدت پیک ۲ خواهد شد، زمانی که دما و کشش افزایش می یابد. زمانی که λ_B افزایش می یابد تا در ماکزیمم بعدی $F(\lambda)$ بر λ_{min} منطبق می شود، پیک ۲ به مقدار ماکزیمم می رسد و پیک ۱ از بین می رود. افزایش بیشتر در کشش با دما باعث ایجاد دو پیک در طیف بازتاب حفره FBG فابری - پیروت می شود، اما در این

حالت شدت پیک ۲ (برطبق طول موج بلندتر) کاهش خواهد یافت، در حالی که شدت پیک ۱ (برطبق طول موج کوتاهتر) افزایش می یابد. بنابراین، شدت این دو پیک به صورت دوره ای همراه با کشش و دما تغییر می کند.

نوسان شدت منبع نور را می توان با معرفی یک پارامتر نرمال شده $M = (I_{p1} - I_{pe})(I_{p1} - I_{pe})$ حذف کرد، که در آن I_{p1}, I_{pe} عبارتند از شدت های پیک های ۱ و ۲. اگر رابطه بین $\Delta T, \varepsilon, M, \Delta \lambda p$ خطی فرض شود، در این صورت این دو معیار را می توان به طور همزمان و با اندازه گیری تغییرات در M و تغییر طول موج $\Delta \lambda p$ پیک ۱ با پیک ۲ با توجه به کشش و دما تعیین نمود:

(۱۰-۱۶)

به منظور اینکه ضرایب کشش و دمای بخش حفره با ضرایب بخش های گراتینگ یکسان نباشد یک لوله آلومینیومی کوتاه (۱mm طول) و نازک (با قطر درونی ۰/۳mm و ضخامت دیواره ۰/۱۵mm) به بخش حفره چسبانیده شد.

گسترش این بخش مشکل تر از بخش گراتینگ است و بنابراین ضریب کشش آن کوچکتر است، به طوری که $K_{\alpha} < K_{\beta}$. از سوی دیگر ضریب دمای آن بزرگتر است (K_{α}, K_{β}) . علت این است که ضریب انبساط گرمایی آلومینیوم $(23/5 \times 10^{-6} / ^\circ C)$ بسیار بزرگتر از آن ضریب برای فیبر شیشه سیلیکا $(0/55 \times 10^{-6} / ^\circ C)$ است و انبساط لوله آلومینیومی در اثر افزایش دما باعث کشش اضافی بخش حفره می شود.

شکل (b) ۴-۱۰ یک ساختار حفره FBG فابری- پیروت دیگر را نشان می دهد، یعنی یک حسگر حفره نواری FBG که در آن بخش حفره نواری شده است. حداکثر تغییر قطر در بخش حفره کوچکتر از ۱۵٪ است، بنابراین هیچ تغییر واضحی در انتقال و شاخص شکست حالت مؤثر وجود ندارد.

بخش حفره نواری دارای ضرایب کشش و دمای همانند بخش گراتینگ است. اما میانگین کشش تحمل شده به وسیله حفره نواری (ξ) بزرگتر از بخش گراتینگ است (ξ) که به وسیله رابطه $\xi_c = \eta \xi$ داده شده است، که در آن η یک نسبت متوسط از سطوح عرضی- مقطعی بین بخش های گراتینگ و حفره است. حرکت نسبی بین $Rg(\lambda), F(\lambda)$ در هنگام تغییر زمان صفر باقی می ماند، بنابراین پروفایل طیفی فقط به کشش به کار رفته در امتداد حسگر حساس است: (۱۷-۱۰)

که در آن β_1, α_1 عبارتند از ضرایب دما و کشش بخش گراتینگ (به ترتیب): حسگرهای FBG ابرساختارها از این هدف توسعه یافته بود، که دارای مزیت های تولید آسانتر و عدم نیاز به تغییر خواص مکانیکی و ژئومتری حسگر فیبر است. حسگرهای FBG به طور کلی شامل یک FBG واحد یا ترکیبی از FBG ها است که به صورت فیبر نوری دارای بایرفرینگت پایین نوشته شده است. در مورد قبلی، تغییر طول موج براگ می توانست برای اندازه گیری جزء محوری کشش یا یک تغییر در دما مورد استفاده قرار بگیرد. در

مورد اخیر، دما و کشش محوری را می توان به طور همزمان بر طبق تغییرات طول موج براگ یا تغییرات و شدت های طول موج برگ، تعیین کرد.

۲-۴- اندازه گیری همزمان دما و کشش چند محوری

۱-۲-۴- FBG پلاریزاسیون- نگهداری (PM)

حساسیت طول موج کششی- القایی متقاطع FBG ها در فیبرهای نوری سیلیکا پایین است. برای مثال در فشردگی جانبی، تغییرات در بایرفرینگ فیبر کوچکتر از 10^{-6} است. این سطح از بایرفرینگ مطابق با جداسازی های طول موج خیلی کوچکتر از پهنای باند مشابه یک FBG است. اما ما در بخش ۱-۳-۱ نشان دادیم که عامل حساسیت تابعی از دو کشش عرضی اصلی و کشش محوری است که به طور نرمال معین هستند. نیازهای مربوط به اندازه گیری های چند محوری کشش و دما واضح است.

FBG ها در یک فیبر پلاریزاسیون به نگهداری برای اندازه گیری کشش های جانبی نوشته شده بود. یک فیبر پلاریزاسیون به نگهداری می تواند دارا یک هسته مدور و روکش داخلی باشد که به وسیله یک ناحیه تنشی بیضی شکل احاطه شده است. بایرفرینگ به وسیله تنش های گرمایی تولید شده در طول خنک سازی از دمای ترسیمی ناشی از تقارن هندسی ناحیه تنش دار القا شده است. این بایرفرینگ تنشی به ثابت های پراکنش مختلف برای دو حالت پلاریزاسیون ارتاگونال در فیبر منجر می شود. محورهای X, Y به ترتیب با محورهی تند و کند محورهی پلاریزاسیون فیبر موازی هستند، که مطابق با محورهی فرعی و اصلی ناحیه تنشی

بیضی شکل می باشند. فیبر پلاریزاسیون- نگهداری دارای یک بایرفرینگ اولیه است که برای تقسیم کامل گراتینگ به دو طیف جداگانه کافی است. به علت اختلاف در شاخص های مؤثر شکست دو حالت پلاریزاسیون ارتاگونال (راست گوشه)، دو FBG مؤثر با نوشتن یک FBG در امتداد محورهای پلاریزاسیون می شود. در مورد FBG دارای فابرینگ پایین، اگر حساسیت دمای FBG ثابت باقی بماند، تغییرات نسبی طول موج براگ را می توان به صورت زیر نوشت:

$$(10-18)$$

که در آن $\lambda_{ax}, \lambda_{ay}$ طول موج براگ برای دو حالت پلاریزاسیون راست گوشه می باشد (به ترتیب) و n_{eff_x}, n_{eff_y} شاخص های مؤثر شکست برای دو حالت پلاریزاسیون راست گوشه می باشند (به ترتیب) با فرض اینکه کشش محور معلوم است، می توان تغییرات نسبی طول موج براگ را در ماتریس نوشت:

$$(10-19)$$

که در آن ماتریس ضریب شامل $n_{eff_y}, n_{eff_x}, \epsilon_3, P_{12}, P_n$ می باشد. برای مورد FBG دارای بایرفرینگ زیاد، مانند FBG پلاریزاسیون- نگهداری (PM-FBG) حس گر باید برای پیش بینی های عنصر محدود با انجام یک تعدیل حداقل مربعات کالیبره شود تا ماتریس ضریب از داده های طول موج اندازه گیری شده تعیین گردد. بر طبق معادله (10-19) اجزاء جانبی کشش را می توان تعیین نمود. در بسیاری از ساختارها تمایل داریم یک حس گر FBG

وجود داشته باشد که هم محورهای جانبی کشش و هم دما و کشش محور را اندازه گیری نماید. یک شیوه برای حل کردن این مسئله استفاده از FBG های روکش دار دوگانه در طول موج های براگ متفاوت نوشته شده روی یک فیبر PM است. اگر دو FBG با طول موج های براگ متفاوت، مانند ۱۳۰۰mm، ۱۵۰۰mm، در یک موقعیت واحد در یک فیبر PM نوشته شده باشد، نتیجه چهار FBG مؤثر یکی در امتداد محور پلاریزاسیون و در طول موج براگ مطابق خواهد بود. تغییرات نسبی طول موج های براگ را می توان به صورت زیر نوشت:

(۱۰-۲)

که در آن λ_{bx} ، λ_{by} طول موج براگ برای دو حالت پلاریزاسیون راست گوشه برای FBG دوم و λ_{bx0} ، λ_{by0} به ترتیب طول موج براگ اولیه غیر کششی برای دو حالت پلاریزاسیون راست گوشه FBG دوم می باشد. با فرض خطی بودن واکنش حس گر و اینکه عنصر ماتریس ضریب $4*4$ مستقل از کشش و دما است و اینکه ماتریس واحد نیست، عناصر ماتریس را می توان با انجام کالیبراسیون های تعدیلی جداگانه و حداقل مربعات حس گر به کشش جانبی باری کشش محوری تغییرات دما تعیین کرد.

۴-۲-۲ FBG تغییر فاز π

شیوه دیگر استفاده از FBG تغییر فاز π است. اگر یک FBG منظم با نور UV در یک ناحیه خاص در وسط FBG تابش دهی شود، شاخص شکست در این ناحیه بالا می رود. این فرایند دو FBG خارج از فاز با یکدیگر تولید می کند که به صورت یک رزوناتور طول موج

انتخابی فابری- پیروت عمل کرده و اجازه می دهد که نور رزونانس به داخل باند توقف FBG اصلی نفوذ کند طول موج رزونانس به اندازه تغییر فاز بستگی دارد. زمانی که فاز تغییر یافته برابر با π در یک طول موج λ_0 در باند توقف FBG اصلی باشد، بازتاب های قوی از این دو بخش FBG خارج از فاز می باشد که نتیجه آن انتقال قوی در طول این موج است. این FBG پس از پردازش FBG تغییر فاز π نامیده می شود (FBG - π). پنجره انتقال FBG - π می تواند خیلی باریک شود و زمانی که FBG بایرفرینگن است، پراکنده شود. این تیز بودن امکان صحت خیلی بالای اندازه گیری بایرفرینگن FBG را فراهم می آورد. علاوه بر این، نیاز بایرفرینگن به جداسازی پیک خیلی کمتر از FBG های منظم است و می توان به وسیله بایرفرینگن درونی یک FBG نوشته شده در فیبر غیر PM آن را ایجاد کرد. فیبر در فقدان بار بیرونی دارای بایرفرینگن است، که از آن فاکتور های متعددی مانند هندسی، القایی، UV و القایی تنش می توانند اصلی باشند. اما برای سهولت ریاضیاتی، فرض بر این است که بایرفرینگن اولیه در FBG ناشی از یک حالت کشش پسماند در هسته فیبر است که به وسیله کشش های اصلی ϵ_{10} ، ϵ_{20} ، ϵ_{30} ($\epsilon_{10} > \epsilon_{20}$) توضیح داده شده است. این کش های اصلی در جهت عمود بر یکدیگر و مثبت به محور فیبر هستند، و جهت α زاویه ϕ را با محور X می سازد.

بر طبق معادله (۱۸-۱۰) جداسازی طول موج را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\Delta\lambda_0 = \dots\dots\dots (21-10)$$

جداسازی طول موج جدید را می توان با تابعی از ϕ^{2829} بدست آورد:

$$\Delta\lambda = \dots\dots\dots (10-22)$$

که در آن b, a مقادیر مثبتی هستند که مستقل ϕ است. بنابراین هر چه زاویه ϕ بزرگتر باشد، حساسیت کشش جانبی کمتر است.

۵- تأثیر اندازه گیری

برای اینکه FBGS یک حس گر کشش ایده آل در یک ترکیب منسوج باشد، شرایط زیر باید تحقق یابد:

- (۱) فیبرنوری مجتمع دارای تأثیر کمی بر میدان کششی میزبان باشد؛ (۲) کشش محوری فیبر نوری ϵ_1 بتواند بیانگر کشش نزدیک میزبان در جهت فیبرنوری باشد؛ و (۳) نسبت مؤثر پایسون V^* در طول دوره اندازه گیری ثابت باشد. سیستم مشمول - نوری - فیبر - میزبان را می توان به صورت یک ترکیب متشکل از فیبر استونه ای و دو لایه پوسته ای متمرکز همراه با فیبر است که از مرکز تا سطح بیرونی پوشانده شده است (شکل ۵-۱۰). ارتفاع استوانه مرکب برابر $2H$ ، شعاع فیبر برابر R_1 ، که شعاع داخلی پوشش نیز هست، R_2 شعاع بیرونی پوشش و شعاع داخلی میزبان و R_3 شعاع خارجی میزبان است. فرض های اساسی زیر به گونه ای هستند که این مورد را بتوان به صورت یک مسئله با محور تقارن ساده کرد: (۱) فیبر نوری، پوشش فیبر و میزبان الاستیک خطی هستند (۲) ضرایب انبساط گرمایی فیبر، پوشش و میزبان ثابت هستند (۳) هیچ ناپیوستگی مکانی در وجوه فیبر و پوشش، پوشش و میزبان

زیر بار وجود ندارد. (۴) بار گرمایی در کل استوانه مرکب هگن است (۵) دو سر ($Z=IH$) فرض بر این است که هیچ نیروی بیرونی بر آنها وارد نمی شود و هیچ محدودیتی در جایگیری وجود ندارد.

۱-۵- دیدگاه های کلی توزیع کشش نرمال

شکل (a) ۱۰-۶ و (b), (c) توزیع کشش نرمال را به ترتیب در فیبر. پوشش و میزبان در امتداد جهت محوری فیبر با مقادیر مختلف شعاع r نشان می دهد. شکل (a) ۱۰-۶ نشان می دهد که کشش نرمال فیبر همراه با افزایش طول Z کاهش می یابد. به علت اینکه ضریب انبساط گرمایی فیبر نوری بیش از یک درجه مغناطیسی کوچکتر از ضریب میزبان است، میزان کششی فیبر نوری بستگی زیادی به محدودیت میزبان دارد. هنگامی که قسمت میانی فیبر نوری بیش از قسمت های نزدیک دو سر محدودتر می گردد. کشش فیبر نوری میانی به کشش میزبان بدون حس گر فیبر مشمول ($e=1$) نزدیک تر است. منحنی های توزیع کشش صرفنظر از موقعیت شعاعی در فیبر مشابه هستند، بنابراین می توان کشش فیبر را تابعی از Z فقط محسوب کرد.

شکل (b) ۱۰-۶ رویه معکوس توزیع کشش در میزبان را نشان می دهد. میزان کشش میزبان میانی کمتر از میزان کشش میزبان نزدیک به مرز است که علت این است که میزبان میانی به وسیله فیبر بیشتر محدود شده است و میزبان نزدیک مرز در یک شرایط بار گرمایی می تواند به طور آزادانه گسترش بیشتری پیدا کند. مقادیر کشش نرمال میزبان خیلی نزدیک به ۱

است ($0 < e < 1/995$)، که دلالت بر آن دارد که میزبان دارای حسگر فیبر در داخل خود میدان کششی بسیار نزدیک به میدان کشش بدون فیبر نوری دارد.

توزیع کشش روکش به علت مدلوس ارتجاعی پایین تر به طور قابل توجه تحت تأثیر هم فیبر و هم میزبان قرار می گیرد (شکل (c) ۶-۱۰).

توزیع کشش در امتداد Z مشابه توزیع کشش فیبر در زمانی است که Γ به R_1 نزدیک می شود و کشش نزدیک سطح خارجی پوشش (روکش) همانند سطح میزبان، در امتداد Z تغییر کمی

دارد.

۲-۵- اثرات پارامترها بر ضریب تأثیر

عبارت H_{95} معرفی شده است، که در آن e دارای یک مقدار $0/95$ است. مفهوم فیزیکی H_{95} آن است که فقط زمانی که Z گراتینگ فیبر نوری کوچکتر از H_{95} باشد نتیجه اندازه گیری فیبر مؤثر خواهد بود. طول این ناحیه بیانگر حدود اندازه گیری مؤثر کشش میزبان به وسله یک FBGS مشمول است. هر چه طول این ناحیه بیشتر باشد، FBGS در یک میزبان مؤثرتر خواهد بود. بنابراین طول نسبی ناحیه مؤثر بصورت ضریب تأثیر β به وسیله رابطه زیر تعریف

$$\beta = \frac{H_{95}}{H}$$

شده است:

ضریب تأثیر تحت تأثیر چند فاکتور قرار دارد که عبارتند از مدلوس ارتجاعی، نسبت پوشش پالیسون، نسبت سختی تنش، ضخامت ترکیب و غیره. شکل ۷-۱۰ نشان می دهد که افزایش E_e باعث افزایش زیاد β می شود. در حالی که E_e از $0/045$ تا 1 GPa متغیر است. این منحنی سپس به یک وضعیت ثابت (تراز) می رسد و تأثیر بر β بسیار کوچک می شود. بنابراین $E=1 \text{ GPa}$ را می توان به عنوان یک مقدار آستانه برای شرایط ویژه در نظر گرفت.

شکل ۸-۱۰- میزان تأثیر پالیسون فیبر نوری را نسبت به طول فیبر نشان می دهد. در یک گستره از صفر تا 7 mm ، میزان تأثیر پالیسون همراه با افزایش Z کاهش می یابد. بنابراین این باید به عنوان یک ثابت در امتداد Z در نظر گرفته شود به استثنای سهم کوچک نزدیک مرز (N). مقدار V^* نزدیک $Z=0$ برابر با $0/13$ است که با نسبت پالیسون فیبر (0/17) مساوی

نیست. این امر نشان می دهد که کشش عرضی (مقاطع) فیبر نوری تحت نفوذ کشش میزبان

قرار ندارد (وگرنه باید نزدیک به ۱- باشد) اما تحت نفوذ نسبت پایسون برای فیبر است.

در حالت خاص بررسی ما، مدلوس ارتجاعی پوشش باید مساوی یا بزرگتر از مقدار آستانه

باشد. اگر تأثیر اندازه گیری در نظر گرفته باشد (شکل ۷-۱۰). اما افزایش E_c بر

مقدار نسبت مؤثر پایسون V^* و سپس عامل حساسیت f تأثیر خواهد گذاشت. شکل ۹-۱۰

V^* را به عنوان تابعی از E_c نشان می دهد که نمایانگر رویه معکوس در مقایسه با رویه

تأثیر β است. زمانی که مدلوس پوشش کوچک یا مساوی با مقدار آستانه 1GPa باشد،

تغییرات V^* نسبتاً کوچک خواهد بود. با در نظر گرفتن اثرات مدلوس ارتجاعی پوشش بر

تأثیر اندازه گیری و نسبت مؤثر پایسون، مدلوس پوشش بهینه را باید به صورت مقدار آستانه

$E_c = 1\text{GPa}$ انتخاب کرد. این حالت ضرورت انتخاب خواص بهینه ماده ای پوشش به منظور

مؤثر ساختن اندازه گیری ها را نشان می دهد.

۶- اعتماد پذیری FBG ها

یک فیبر نوری سیلیکای تک حالتی دارای قطر روکش ۱۲۵ میکرون و یک قطر بیرونی ۲۵۰

میکرون است. این را می توان به یک اجرای منسوج در فرایندهای تولیدش معرفی کرد مانند

نساجی، بافندگی و تابیدن. به طور متناوب، این امر باید در فرایند ادغام ترکیبات منسوج

شناسانده شود. در هر دو حالت هنگام تجمیع آن در ساختار منسوج باید احتیاط کرد. گذشته

از آسیب به فیبر نوری در طول فرایندهای تولید، اعتماد پذیری یک گر گراتینگ فیبر براگ تحت تأثیر تعدادی از عوامل دیگر از جمله موارد زیر قرار دارد:

۱- روش گراتینگ سازی: روکش یک فیبر نوری در اطراف موضع گراتینگ و پیش از قرار گرفتن در معرض لیزر پالس UV حذف شده و بعداً روکش دار می گردد. در طول فرایندهای حذف روکش و پرتوافکنی فیبرنوری ممکن است، همانگونه که در فصل ۸ نشان داده شده، آسیب ببیند. به علاوه روکش (پوشش) جدید ممکن است باعث تغییراتی در فیبر گردد. حساسیت به کشش می تواند با حسگرهای FBG متفاوت باشد، حتی با طول موج بازتابی مرکزی یکسان.

۲- موقعیت و جهت حسگرها در میزبان های ترکیب: معمولاً از حسگر FBG برای اندازه گیری کشش نرمال موقعیتی و جهت دار خاص در میزبان استفاده می شود. اما در فرایند لحاظ کردن حسگر FBG در میزان مرکب، بعضی انحراف های حسگر فیبرنوری از موقعیت و جهت طراحی شده ممکن است صورت بگیرد.

برای کاهش خطای اندازه گیری، تعیین موقعیت واقعی گراتینگ حسگرهای FBG درون ترکیب می تواند یک مسئله کلیدی باشد، به ویژه زمانی که حسگرها در یک میدان کششی با گرادیان زیاد از جمله نزدیک نوک ترک لحاظ شده باشند. علاوه بر این، شناسایی دقیق موقعیت و جهت واقعی حسگر گراتینگ فیبر پس از شمول (لحاظ شدن) در یک ترکیب

بسیار مشکل است. میزان خطاهای القایی به وسیله انحراف از موقعیت و جهت حسگرها در بخش ۷-۱۰ داده خواهد شد.

۳- وجوه فیبر / پوشش و پوشش / رزین: تمرکز فشار در اطراف وجوه است و ممکن است باعث ترک خوردگی شود، که می تواند بر نتایج اندازه گیری تأثیر بگذارد. پژوهشگران یک پدیده بازکننده ارائه کرده اند که در داخل سطوح بین فیبر و پوشش و همچنین پوشش و میزبان قرار می گیرد و حسگرهای کشش نوری فیبر براگ را فرآوری کرده و آنها را در یک میله مرکب روکش دار تجمیع می کند. مطالعه نشان داد که حسگرهای دوسر در تغییر شکل خمیدگی چرخه ای اعتماد پذیر هستند، در حالی که حسگرهای یک سر وقتی پیوند وجوه آنها شکست بخورد وجود ندارند. برای کاهش خطای اندازه گیری، تعیین موقعیت واقعی گراتینگ حسگرهای FBG درون ترکیب می تواند یک مسئله کلیدی برای کار بعدی باشد، به ویژه زمانی که حسگرها در یک میدان کشش با گرادیان بزرگ مانند نزدیک نوک یک ترک لحاظ شده باشند.

۴- محیط و شرایط کاری که موضوع یک ترکیب منسوج است و طول آن تأثیر زیادی بر انتخاب و تجمیع حسگرهای نوری فیبر دارد. تحلیل تأثیر اندازه گیری در بخش قبل مبتنی بر این فرض مدل مرکب بود که وجوه کامل بین پوشش و فیبر و همچنین بین پوشش و میزبان قرار دارند. شرط دیگر این است که کشش اندازه گیری شده به وسیله حسگر فیبر نوری در

یک وضعیت از پیش تعیین شده است و در یک جهت از پیش تعیین شده، بنابراین بخش
زیر اثرات آنها را در زمانی بررسی می کند که این شرایط محقق نشده است.

www.kandoo.cn

www.kandoo.cn

www.kandoo.cn

www.kandoo.cn

۷- خطای اندازه گیری کشش ناشی از انحراف موقعیت و جهت

۷-۱- فرض کنید کشش های اصلی در یک ساختار $\epsilon_3, \epsilon_2, \epsilon_1$ هستند. اگر یک

حسگر FBG در یک لحاظ شده باشد و زوایای بین حسگر و کشش اصلی $\alpha_3, \alpha_2, \alpha_1$

باشند، کشش القایی در امتداد حسگر FBG برابر است با: $\epsilon = \dots\dots\dots$ (۱۰-۲۳)

که در آن $\epsilon = 1$ Co}. کشش اندازه گیری شده در این حسگر تابعی از کشش های

اصلی و زاویه های بین آنها و حسگر است. در عمل، زمانی که یک حسگر در این ساختار

لحاظ شده باشد، بیشترین احتمال نشان دادن انحراف بین حسگر و جهت مطلوب است.

فرض کنید که انحراف های حسگر $\Delta\alpha_3, \Delta\alpha_2, \Delta\alpha_1$ باشند، در این صورت کشش در

حسگر برابر است با:

$$\epsilon_{\Delta\alpha} = \dots\dots\dots \quad (10-24)$$

بر طبق معادله (۱۰-۲۴)، اگر فردی بخواهد یکی از کشش های اصلی را اندازه گیری کند،

ساده ترین روش قرار دادن حسگرها در امتداد جهت کشش مطلوب است. برای مثال اگر ϵ_1

مطلوب باشد، حسگر در امتداد این جهت قرار داده خواهد شد. سپس ما

داریم $\alpha_2, \alpha_3 = \pi/2, \alpha_1 = 0$. تأثیر سایر کشش ها (ϵ_3, ϵ_2) صرف نظر می گردد. اگر

انحراف های بین حسگر و جهت مطلوب برابر با $\Delta\alpha_3, \Delta\alpha_2, \Delta\alpha_1$ است، و کشش در امتداد

$$\epsilon'_{\Delta\alpha} = \dots\dots\dots \quad (10-25)$$

خطای نسبی بین مقادیر اندازه گیری شده و واقعی کشش برابر است با:

$$(10-26) \quad \text{error} = \dots\dots\dots$$

اگر $\Delta\alpha_3, \Delta\alpha_2, \Delta\alpha_1$ کمیت های کوچک باشند معادله ۱۰-۲۶ را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$(10-27) \quad \text{error}_1 = \dots\dots\dots$$

در معادله ۱۰-۲۷، درجات سوم و بالاتر انحراف ها حذف شده اند. خطای اندازه گیری نسبت به انحراف های زوایای جهت گیری درجه دوم هستند.

۲-۷- انحراف موقعیت

میدان کشش یک ساختار با موقعیت و تغییر شکل آن ساختار ارتباط دارد. فرض کنید کشش در نقطه (x,y,z) را بتوان به صورت $\varepsilon = f(x,y,z,\delta)$ بیان کرد، که در آن ε یک کشنده و δ بیانر بردار جابجایی ساختار باشد. تغییرات کشش ناشی از انحرافات موقعیت

$$(10-28) \quad \Delta\varepsilon = \dots\dots\dots (\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z)$$

که در آن $E(\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z)$ مقادیر درجه دوم و بالاتر انحراف موقعیت $(\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z)$ است. هنگامی که انحراف ها کوچک باشد و بتوان $E(\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z)$ را حذف کرد، معادله ۱۰-۲۸ را می توان ساده نمود:

$$(10-29) \quad \Delta\varepsilon \approx \dots\dots\dots$$

برای یک میله سر آزاد، اگر یک بار متمرکز روی سر آزاد آن عمل کند، کشش محور یک نقطه دلخواه (x,y,z) روی میله در اثر جابجایی نرمال δ سر آزاد برابر خواهد بود با:

$$(10-30) \quad \Delta \varepsilon_1 = \dots\dots\dots$$

که در آن L برابر با طول میله، x موقعیت نقطه در امتداد میله، y موقعیت نقطه در امتداد جهت y و z مسافت بین نقطه و محور خنثی میله است.

کشش میله مستقل از موقعیت y است. یعنی انحراف y بر اندازه گیری کشش تأثیری ندارد.

اگر هیچ انحرافی از نقطه تست $(\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z)$ وجود نداشته باشد. بر طبق معادله (10-29)

$$(10-31) \quad \Delta \varepsilon_1 = \dots\dots\dots \text{ تغییرات کشش برابر خواهد بود با؛}$$

خطای نسبی کشش حاصل از انحراف های موقعیت برابر است با:

$$(10-32) \quad \text{error}_\gamma = \dots\dots\dots$$

اگر حسگرها نزدیک سد ثابت $(x = x_{\min} \approx 0)$ و دور از محور خنثی $(z = z_{\max} \approx h/2)$ ارتفاع میله سرآزاد است) میکه باشد، خطای اندازه گیری به حداقل می رسد.

۳-۷- انحراف جهت و موقعیت

اگر انحراف های جهت و موقعیت به طور همزمان رخ دهد، خطای نسبی کل برابر خواهد

بود با:

$$(10-33) \quad \text{error} = \dots\dots\dots$$

از معادله (10-33) می دانیم که، به منظور به دست آوردن یک نتیجه اندازه گیری صحیح،

انحراف های جهت و موقعیت باید تا حد امکان کوچک باشد.

این انحراف برای FBG های سطح دار مناسب تر است. اگر در یک ترکیب لحاظ شده باشد. ناهمگونی موضعی به طور طبیعی منجر به یک میدان کشش پیچیده خواهد شد. اگر کشش به طور یکنواخت در امتداد FBG توزیع نشده باشد اپودیزاسیون رخ می دهد. کشش می تواند بایرفرینگ ایجاد کند که ممکن است باعث پراکنده شدن پیک گردد. بنابراین تحلیل خطای اندازه گیری باید حداقل در عوامل ذکر شده در بالا مورد توجه قرار گیرد.

۸- سیستم های اندازه گیری توزیعی (توزیع شده)

به وسیله اندازه گیری تغییر طول موج پیک طیف بازتابی، کشش میانگین در کل طول گرaining به جای توزیع کشش، تعیین شده است. در بسیاری از کاربردها، توزیع کشش و دما عمده ترین دغدغه است، بنابراین برای دستیابی به این هدف از چند روش می توان استفاده کرد. طول گرaining FBG ها را می توان خیلی کوچک ساخت (مثلاً ۲mm)، بنابراین کشش اندازه گیری شده به وسیله طول موج شیفط طیف بازتابی را می توان به صورت یک کشش موضعی در نظر گرفت. آرایش های FBG خود را به صورت کاندیداهای ایده آل برای اندازه گیری های چند نقطه ای و شبه توزیعی درمی آورند که به وسیله تکنیک های مالتی پلکس صورت گرفته و برای سایر حسگرهای فیبر نوری مانند طول موج - تقسیم - مالتی پلکس (WDM)، زمان - تقسیم - مالتی پلکس (TDM) و فضایی - تقسیم - مالتی پلکس (SDM) مورد استفاده قرار می گیرد. بررسی های مفصلی به وسیله رانو، کرسی و همکاران صورت گرفته است، و همچنین آتونوس و کالی. شکل ۱۰-۱۰ یک

نمودار شماتیک از سیستم های اندازه گیری، شامل یک LED با باند بزرگ، یک سوئیچ نوری یا کوپلر، یک آنالیز نوری و یک آرایش FBG مالتی پلکس مشمول، که ما به وسیله آن اندازه گیری توزیع شده کشش - دما در ترکیبات منسوج را انجام می دهیم، نشان داده شده است.

در موارد ساده، اگر مونونیک باشد، توزیع کشش را می توان همراه با گراتینگ به وسیله تحلیل طیف بازتاب تعیین کرد ولانتن و همکارانش یک سیستم (سامانه) اندازه گیری حسگرهای گراتینگ توزیع شده را برای اندازه گیری طول موج و بازتاب پذیری گراتینگ ها به صورت تابعی از تأخیر زمان ایجاد کردند. با استفاده از بازتاب سنجی کم انسجام، این تکنیک برای آزمایش های خمش سه نقطه ای یک میله مرکب منسوج لحاظ شده در FBG به کار گرفته شده بود.

۹- نتیجه گیری

در نتیجه، حس گرهای نوری فیبر نامزدهای ایده آلی برای لحاظ شدن در ترکیبات ساختاری برای فرایندهای نظارت و تولید و شرایط سلامت داخلی هستند. این حسگرها وسیله مؤثری ایجاد می کنند که به وسیله آن توزیع تعدادی از پارامترهای فیزیکی مانند دما، تنش / کرنش، انبساط گرمایی، فشار و غیره را می توان از نظر کمی تعیین کرد. در تجمیع حسگرها در ترکیبات منسوج، جدا از خواص خود حسگرها، اعتماد پذیری حسگرها و الگوی حسگری و تعامل بین حسگرها و ترکیبات مسائل بسیار مهمی هستند که باید مورد توجه قرار گیرند.