

Reinforced FBG sensors serve demanding applications



K. Hsu

Kevin Hsu, Andrei Csipkes, Tommy Jin - TECHNICA OPTICAL COMPONENTS



INTRODUCTION

With a proven record over years of development, Fiber Bragg Gratings (FBG) sensors are being widely deployed for field applications in multiple industries. Many well-known advantages of FBGs over conventional electrical sensors include immunity to electromagnetic interference (EMI), chemically inert, small dimensions and low weight for easy integration and embedding into various materials, as well as high multiplexing capacity in a long single fiber lead.

To further increase the robustness and durability of the FBG sensing fiber, a well-established process is to coat the sensing fiber with the Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) through an extrusion process. GFRP exhibits high strength

and corrosion resistance, which makes the sensing fiber much more rugged for embedded applications in concrete and composite materials. These GFRP-FBG sensors are ideally suited for applications where there is concern that using cables with multiple construction layers may decrease the sensors' required sensitivity and response time and where using an unprotected fiber merely coated with acrylate, polyimide, or other "first layer" materials is not enough physical protection for survivability.

GFRP-FBG CHARACTERISTICS

The key for GFRP-FBG fibers is to ensure that the linear strain and temperature characteristic are preserved. Technica's GFRP sensing cable is designed with smart GFRP embedding process

including an array of multiple FBG sensors embedded in GFRP ribbons or cables; the company's proprietary tight process control and advanced manufacturing technologies yield a very attractive and economically advantageous commercial solution. At its core, the optical cable consists of an array of FBG sensors. The outer layer of the cable is the GFRP coat which protects the optical fiber and ruggedizes the overall construction of the cable. A simple process for stripping the GFRP coating is also available for fiber splicing and making connectorization at the factory or in the field.

The result is a commercial grade FBG Array Sensor with extremely well-preserved linear dependence of wavelength shift on strain (sensor length change) and wavelength shift on

Sensori FBG rinforzati per applicazioni critiche

Kevin Hsu, Andrei Csipkes, Tommy Jin - TECHNICA OPTICAL COMPONENT



INTRODUZIONE

Grazie alle attività di sviluppo degne di menzione e riconosciute nel corso degli anni, i sensori Fiber Bragg Gratings (FBG) si sono ampiamente affermati per molteplici applicazioni sul campo in vari ambiti industriali. Fra i numerosi vantaggi offerti dagli FBG, confrontati con i sensori elettrici convenzionali, si citano l'immunità all'interferenza elettromagnetica (EMI), l'inerzia chimica, le dimensioni ridotte e il basso peso per una facile integrazione e inserimento nei vari materiali oltre all'adattabilità della linea di una fibra singola lunga.

Per incrementare ulteriormente la resistenza e la durabilità delle fibre dei sensori FBG, un processo ormai consolidato è il rivestimento con il polimero rinforzato con fibra vetrosa (GFRP) mediante il processo di estrusione. Il GFRP presenta un'elevata tenacità e resistenza alla corrosione, tali da renderlo particolarmente adatto ad applicazioni incorporate nel calcestruzzo e nei materiali compositi. Questi sensori GFRP-FBG sono ideali per applicazioni in cui potrebbe sorgere la preoccupazione che utilizzando cavi costituiti da strati multipli, la sensibilità richiesta ai sensori e i tempi di risposta potrebbero subire una contrazione così

come nei casi in cui si utilizzasse una fibra non protetta, rivestita soltanto con acrilate, poliimmide, materiali ormocer o altri come "primo strato", la protezione fisica non risulterebbe essere infine sufficiente ai fini della durabilità.

CARATTERISTICHE DI GFRP-FBG

Il principio fondamentale delle fibre GFRP-FBG è garantire che la deformazione lineare e la temperatura siano preservati. Il cavo del sensore GFRP tecnico è stato sviluppato con un processo di incorporazione GFRP che include una serie di sensori FBG multipli incorporati in nastri o cavi



temperature. Figure 1 illustrates T130 GFRP FBG Sensing Cable Arrays before and after deployment.

SENSING-FIBER CONFIGURATIONS

To accommodate different sensing configurations, the manufacturing process for the GFRP-FBG allows for significant variations in sensor wavelengths and distance spacing. Furthermore, to satisfy different embedding requirements and demanding environments, the fibers can be constructed in varying GFRP outer diameters and in the forms of cables or ribbons terminated by different types of optical connectors. Figure 2 illustrates an example of Technica's small outer diameter, high-sensitivity T 130 cable sensor designed for monitoring strain and temperature in surface mounted or



GFRP; il rigoroso controllo di processo brevettato dalla società e le tecnologie di produzione progredite forniscono una soluzione commerciale molto interessante e vantaggiosa dal punto di vista economico. Al suo interno, il cavo ottico consiste in una fila di sensori FBG. Lo strato

esterno del cavo è lo strato GFRP che protegge la fibra ottica irrobustendo la struttura generale del cavo. E' disponibile un semplice processo di rimozione dello strato GFRP per la giuntatura della fibra o connettorizzazione in fabbrica o sul campo.

Quel che ne risulta è il Sensore di serie FBG d'uso commerciale con la conservazione della dipendenza lineare della traslazione della lunghezza d'onda sulla deformazione (cambiamento della lunghezza del sensore) e il cambiamento della lunghezza d'onda sulla temperatura. Nella Figura 1 è rappresentato T 130 GFRP FBG.

Fig. 1 - T 130 GFRP FBG Sensing Cable Arrays before and after deployment



Fig. 1 - Bobine T 130 GFRP FBG prima e dopo l'applicazione



embedded applications.

These sensors allow easy handling and a much easier installation of a high number of sensing points over long distances when compared to the use of individual FBG based strain sensors, while elevating the degree of ruggedness to be consistent with, if not exceeding, industry expectations.

For applications where a larger surface area of contact is needed for increased bonding strength and enhanced positioning, the T-120 sensing cable offers a ribbon geometry. The ribbon can contain multiple fibers.

While typically embedded in composite structures and concrete, the sensing ribbon is also well suited for surface-mounted applications such as pipelines, boilers, storage tanks, and vessels, where high sensitivity, high bonding strength, and sensor bending, are a must.

Furthermore, surface shape monitoring with controlled fiber polarization is also applicable. The rugged T-130 and T-120 sensing cables

Fig. 2 - T 130 GFRP-FBG Sensing Cable

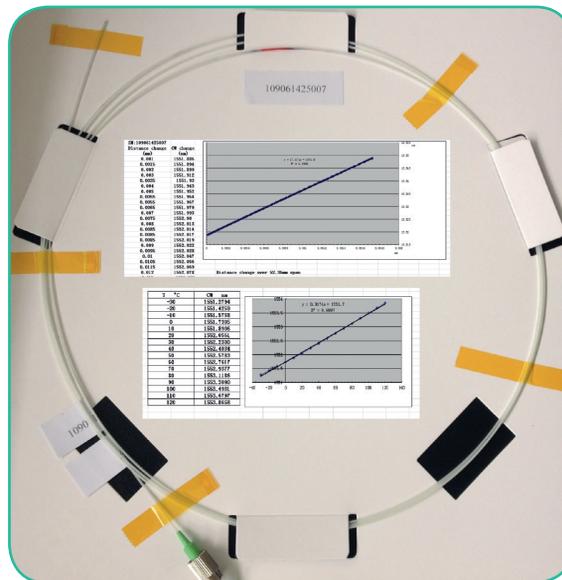


Fig. 2 - Cavo sensore T 130 GFRP-FBG

are typically used in applications where cable integrity must be maintained despite installation challenges such as the need to embed them in composite structures, roads, aircraft runway asphalt, and concrete. These very same GFRP

cables are also well suited for surface-mount applications where high sensitivity is a must including security intrusion detection systems, tunnels, power cables, and various geotechnical applications. T130 cable sensors are typically packaged in spools from 1m to 4 km in length and ready for field deployment.

For monitoring temperature in harsh environments the armored T140 high tensile-strength temperature steel cable sensor (Fig. 3) is specifically designed to meet such demanding applications. In addition to the GFRP coating which protects the FBG sensors and strengthens the inner construction of the cable, the cable's final layer is the extremely rugged armored structure.

The T140's high cable tensile strength and matching tensile modulus is ideally suited for demanding applications where cable integrity must be maintained despite installation challenges that include deployment of long cables and laying of cables over uneven and rough surfaces.



CONFIGURAZIONI DELLA FIBRA SENSORE

Per rendere compatibili differenti configurazioni di sensori, il processo di produzione per GFRP-FBG permette variazioni significative delle lunghezze d'onda dei sensori e della spaziatura. Oltre a questo, per soddisfare vari requisiti dell'incorporazione e di ambienti esigenti, le fibre possono essere costruite con diversi diametri esterni GFRP e nelle forme di cavi o nastri che terminano con tipologie differenti di connettori ottici. Nella Figura 2 è rappresentato un esempio di cavo sensore T 130 ad alta sensibilità e di piccole dimensioni prodotto da Technica, sviluppato per monitorare la deformazione e la temperatura in applicazioni di montaggio o incorporazione in superficie. Questi sensori permettono una facile manipolazione e una ancora più agevole installazione di un alto numero di punti su lunghe distanze rispetto all'utilizzo di singoli sensori di deformazione FBG,

umentando il grado di robustezza, coerente se non superiore alle aspettative dell'industria.

Per quelle applicazioni in cui è richiesta un'area superficiale più estesa per una maggiore forza legante e un migliore posizionamento, il cavo sensore T-120 offre una geometria a nastro e

Fig. 3 - T 140 Steel Temperature Cable FBG Sensor Array



Fig. 3 - Cavo sensore termico d'acciaio T 140

questo stesso contiene fibre multiple. Anche se tipicamente il nastro sensore viene incorporato nelle strutture composite e nel calcestruzzo, esso è adatto anche per applicazioni in superficie come nel caso delle condotte, delle caldaie, delle taniche di stoccaggio e imbarcazioni dove l'elevata sensibilità, l'alta tenacità adesiva e la flessibilità del sensore sono imperative. Inoltre, è possibile attuare il monitoraggio della forma superficiale con la polarizzazione della fibra controllata.

I robusti cavi sensori T 130 e T 120 sono impiegati tipicamente in applicazioni dove l'integrità del cavo deve essere conservata nonostante le difficoltà dell'installazione, dovute ad esempio alla necessità di incorporarli nelle strutture in composito, strade, piste asfaltate e calcestruzzo. Questi cavi, esattamente come GFRP, sono adatti anche ad applicazioni di montaggio in superficie dove l'elevata sensibilità è fondamentale, comprendendo i sistemi di sicurezza



SENSOR RESPONSE IN CONCRETE

While many examples of successful GFRP-FBG cable sensor applications exist, the illustrations and example below aim to inspire researchers, experimental engineers, and field specialists towards further broadening the adoption of this technology for greater benefits to the industries they serve.

Figures 4 and 5 show the use of the T130 GFRP FBG cable array for testing concrete configurations to be used in the construction of next generation buildings. An example of the T130 sensing cable response after embedding in concrete is illustrated here. The sensing cable was buried and set in place during concrete pouring.

The sensor response was measured over a force load up to 100K Newton (N) and over a span of 28 days. The performance was consistent and reliable providing valuable material behavior insights to the engineering team.

SUMMARY

The innovative and reliable designs of

these GFRP-FBG sensing cables and ribbons eliminate the fragility and handling challenges typically associated with single coated fibers and enable significant field installation

productivity improvements.

They are particularly suitable for demanding projects that require both low cost per sensing point and stable operation over the long term, as in civil engineering, geotechnical applications, energy, geotechnical, aerospace, marine, railways, advanced land vehicles, transportation, industrial, security, fire monitoring and mining, as well as for use in materials development and testing labs across many industries, any industries.

Fig. 4 - T 130 GFRP-FBG cable sensor tied to reinforcement bar before pouring concrete



Fig. 4 - Cavo sensore T 130 GFRP-FBG legato alla barra di rinforzo prima di versare il calcestruzzo

Fig. 5 - T 130 GFRP-FBG cable sensor exiting concrete for connection to optical monitoring instrument



Fig. 5 - Cavo sensore T 130 GFRP-FBG su calcestruzzo per la connessione al dispositivo ottico di monitoraggio



anti-intrusione, gallerie, cavi elettrici e varie applicazioni geotecniche. I cavi sensori T 130 sono confezionati in bobine dalla lunghezza variabile da 1 m a 4 km, pronti per essere utilizzati sul campo.

Per il monitoraggio della temperatura in ambienti ostili, il cavo sensore T 140 in acciaio rinforzato e ad alta resistenza alla trazione (Fig. 3) è stato sviluppato specificatamente per soddisfare i requisiti di queste applicazioni molto critiche. Oltre al rivestimento GFRP che protegge i sensori FBG rinforzando la struttura interna del cavo, lo strato finale del cavo è la struttura rinforzata estremamente robusta. La considerevole resistenza alla trazione del cavo T140 abbinato al modulo elastico a trazione è adatto ad applicazioni critiche dove deve essere conservata l'integrità del cavo nonostante i problemi posti dall'installazione che includono l'installazione di lunghi cavi e la loro applicazione su superfici irregolari e ruvide.

LA RISPOSTA DEL SENSORE NEL CALCESTRUZZO

Oltre ai molteplici esempi di applicazioni dei cavi sensori GFRP-FBG, le figure riportate mirano a suscitare l'interesse di ricercatori, ingegneri sperimentali e specialisti di questo settore per l'ulteriore ampliamento delle aree di utilizzo di questa tecnologia a vantaggio delle industrie coinvolte.

Nelle Figure 4 e 5 è illustrato l'uso della serie di cavi T 130 GFRP FBG per l'analisi delle configurazioni del calcestruzzo da utilizzare nella costruzione degli edifici di generazione futura. Un esempio della risposta di un cavo sensore T 130 dopo l'incorporazione nel calcestruzzo è presentato qui di seguito. Il cavo sensore è stato inserito e posizionato durante l'applicazione del calcestruzzo. La risposta del sensore è stata misurata su una forza di carico pari a 100K Newton (N) e per un lasso di tempo pari a 28 giorni. La prestazione si è rivelata consistente e affidabile e ha fornito al team

di ingegneri dati validi della risposta del materiale.

CONCLUSIONI

Lo sviluppo innovativo e affidabile dei cavi e nastri sensori GFRP-FBG rimuovono la fragilità e le difficoltà di gestione che sono associate tipicamente alle singole fibre rivestite promuovendo miglioramenti dei tassi di rendimento delle installazioni. Essi si addicono in particolare a progetti che richiedono molta attenzione, costi ridotti per singola installazione del sensore e operazioni stabili per un lasso di tempo prolungato come nel settore di ingegneria civile, per applicazioni geotecniche, settori dell'energia, geotecnico, aerospaziale, nautico, ferroviario, dei veicoli su strada avanzati, del trasporto, industriale, della sicurezza, del monitoraggio di incendi e delle attività minerarie così come per l'uso nello sviluppo dei materiali e nei laboratori di analisi di molte industrie di tutti i settori di mercato.