

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

30 570

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

G01L 1/24

(2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2017-33346**

(22) Přihlášeno: **26.01.2017**

(47) Zapsáno: **11.04.2017**

(73) Majitel:
České vysoké učení technické v Praze, Praha 6, CZ

(72) Původce:
Ing. Jan Včelák, Ph.D., Kladno, CZ
Ing. Richard Zelený, Ph.D., Hradec Králové 2, CZ

(74) Zástupce:
RNDr. Silvie Dokulilová, Ph.D., Bašného 279/51,
623 00 Brno

(54) Název užitého vzoru:
**Senzor pro měření a vyhodnocování
mechanického napětí**

CZ 30570 U1

Senzor pro měření a vyhodnocování mechanického napětí

Oblast techniky

Předmětem technického řešení je senzor využívající optické vlákno s Fiber Bragg Grating (FBG) mřížkou pro měření mechanického namáhání, který je zabudován do plastového pouzdra výrobního pomocí 3D tisku a využíván pro monitorování mechanického namáhání konstrukčních prvků.

Dosavadní stav techniky

Díky neustále se zvyšujícímu zájmu o moderní stavební konstrukce z pokročilých materiálů (kov, beton, dřevo, sklo), rostou také požadavky na jejich monitorování a diagnostiku. Ta je nezbytná díky obecně větším požadavkům na bezpečnost staveb a stavebních struktur. Změny zatížení konstrukce, změny environmentálních parametrů mohou způsobit zvýšení rizika kolapsu konstrukce. Kontinuální monitoring a vyhodnocování rizikových stavů přispívá k včasnému odhalení rizika a jeho okamžité eliminaci. Snadno aplikovatelné, odolné a levné řešení kontinuálního monitoringu je proto na trhu velmi žádané. Optická vlákna s FBG strukturou poskytují řešení s vysokou odolností proti rušení, snadnou instalací i vysokou přesností.

Monitoring stavu konstrukce lze řešit pravidelnou kontrolou, zabudovaným senzorickým systémem přímo ve struktuře materiálu nebo dodatečnou montáží externích senzorů a jejich kontinuálním vyhodnocováním. I když z hlediska odolnosti a životnosti se často vyplácí integrovat měřicí prvky přímo do konstrukce (kompozitní materiály, beton, dřevo) v mnoha případech není tento způsob integrace přímo ve struktuře materiálu možný a výhodnější technologií je využití externě montovaných senzorů na konstrukční prvek.

Zabudování měřicího senzoru přímo do struktury materiálu vyžaduje změnu technologie výroby prvku, která sebou přináší nové postupy a opatření, která nejsou vždy finančně únosná a neúměrně navyšují cenu finálního produktu, jak je uvedeno např. v dokumentech CZ 28936 - Systém pro měření a vyhodnocení zejména mechanického namáhání, teploty a vlhkosti v nosníku z lepeného lamelového dřeva nebo US 20040074307 – Fiber optic force sensor. Dodatečná montáž externích senzorů na konstrukci je sice časově náročnější, ale v případě již realizovaných konstrukcí je jediným možným způsobem monitoringu.

Měření mechanického namáhání konstrukcí se běžně provádí pomocí lepených tenzometrických snímačů přímo na konstrukci pomocí speciálních lepidel, jak uvádí např. Karl Hoffmann v článku Eine Einfuhrung in die Technik des Messens mit Dehnungsmesstreifen, uveřejněném v publikaci firmy Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, 1987. Montáž pomocí lepidel je zdlouhavá a mechanicky složitá. Existují postupy pro integraci optického vlákna s FBG do měřících členů vyrobených například z kompozitních materiálů, jak je uvedeno v patentu US 6668105 B2.

V současné době není znám senzor, který by využíval strukturu vyrobenou pomocí 3D tisku se zabudovaným FBG senzorem pro měření mechanického napětí. Nebyla publikována technologie pro vhodné uchycení optického vlákna s FBG citlivým elementem v 3D tisknutelné struktuře.

Zabudováním optických vláknových senzorů jiných typů než s FBG senzorem v 3D tištěných strukturách se zabývají publikace jmenované níže.

Peter Liacouras popisuje v publikaci Fiber Bragg Gratings embedded in 3D-printed scaffolds, uveřejněné v roce 2015 v časopise NCSLI Measure J. Meas. Sciv, ročník 10, číslo 2, na stranách 50-52 integraci vláknových senzorů do 3D tištěné struktury z plastových materiálů. Publikace se zabývá především vlivem teplotního šoku při 3D tisku na výslednou přesnost a spolehlivost senzoru, ale neřeší technologii integrace senzoru do 3D tištěné struktury tak, aby byl senzor použitelný pro měření konstrukčních prvků. Současně publikace neřeší přímo měření mechanického namáhání a vliv mechanického napětí na chování senzoru což je extrémně důležitým faktorem při technologii fixace optického vlákna v tištěné struktuře.

Kantaros a D. Karalekas v publikaci IN-SITU MONITORING OF STRAIN BUILD UP AND TEMPERATURE IN A 3D POLYMER PRINTING PROCESS zveřejněné na konferenci 16th International Conference on Experimental Mechanics (ICEM16) v Cambridge, ve Velké Británii popisují proces výroby kvádrů pomocí 3D FDM tiskové technologie s integrací vláknových senzorů mezi specifické vrstvy tisku. Autoři prototyp nevyužívají pro měření mechanického napětí prvku, a tudíž neřeší ani technologii uložení a fixace vlákna uvnitř 3D tištěné struktury. Výsledná struktura není vhodná pro nasazení jako senzor měření mechanického napětí konstrukčních prvků a neřeší fixaci senzoru na monitorovaný konstrukční prvek nebo materiál.

Patent US 6668105 B2 popisuje integraci optického vlákna na plastový držák s vrstvou z kompozitního materiálu překrývajícím optické vlákno. Popisované řešení ale nenabízí možnost použití technologie 3D tisku při výrobě nosné struktury ani řešení upevnění vlákna v nosné struktuře. Z tohoto důvodu není popsána technologie vhodná pro integraci optického vlákna do struktury vybitelné pomocí 3D tisku, která bude vhodná pro zabudování optického vlákna a snadno montovatelná na stávající a nové stavební konstrukce a prvky.

Patentová přihláška US 201601093116 A1 popisuje senzor pro měření tlaku s integrovaným FBG senzorem do struktury vytvořené pomocí 3D tisku. Autoři se zbývají tvarem 3D struktury navržené pro měření tlakového rozdílu. Neřeší způsob upevnění vlákna v 3D struktuře ani způsob struktury pro měření mechanického napětí. Popsaný senzor není možné využít pro měření mechanického namáhání.

Patent US 9335482 B2 popisuje trubičkové uspořádání FBG senzoru vhodné pro měření mechanického napětí, podstatou tohoto vynálezu ale není využití 3D tisku při konstrukci senzoru ani způsob uchycení vlákna s FBG mřížkou do struktury vytvořené pomocí 3D tisku.

Podstata technického řešení

Výše uvedené nedostatky jsou do značné míry odstraněny díky překládanému nově vyvinutému senzoru.

Tento senzor pro měření a vyhodnocování mechanického napětí monitorované konstrukce využívá optické vlákno s FBG mřížkou. Toto vlákno je integrováno v plastovém pouzdře vyrobeném pomocí technologie 3D tisku. Podstatou nového technického řešení je to, že plastové pouzdro obsahuje drážku pro pevné uchycení optického vlákna. Nad touto drážkou jsou další krycí vrstvy materiálu, které jsou rovněž natištěny technologií 3D tisku. Optické vlákno je do drážky připevněno pomocí lepidla.

Plastové pouzdro přitom obsahuje koncentrátor mechanického napětí v podobě lokálního zúžení příčného průřezu plastového pouzdra. Toto zúžení je realizováno ve směru kolmém na osu optického vlákna v oblasti, kde se na optickém vlákne nachází FBG mřížka.

V jednom provedení vynálezu je drážka pro uchycení optického vlákna v plastovém pouzdře přímá.

Výhodné je provedení, v němž půdorys drážky pro uchycení optického vlákna v plastovém pouzdře obsahuje tvar meandru.

V jiném výhodném provedení obsahuje půdorys drážky pro uchycení optického vlákna v plastovém pouzdře tvar kružnice nebo elipsy.

Plastové pouzdro obsahuje druhé otvory pro mechanické předepnutí plastového pouzdra ve směru monitorovaného mechanického napětí a první otvory pro připevnění plastového pouzdra na monitorovanou konstrukci.

Díky drážce a výhodným provedením tvaru drážky je umožněno snadné vložení vlákna, jsou zajištěny minimální poloměry ohybu a vlákno je fixováno proti prokluzu v momentě namáhání měřeného prvku, což výrazně zlepšuje spolehlivost senzoru a přesnost naměřených hodnot.

Objasnění výkresů

Technické řešení je blíže vysvětleno pomocí přiložených výkresů.

Obr. 1 zobrazuje v přímém rovnoběžném promítání možné technické řešení senzoru s plastovým pouzdem tištěným 3D technologií a optickým vláknem s FBG mřížkou, přičemž optické vlákno je umístěno do drážky, jejíž půdorys obsahuje kružnice.

Obr. 2a a obr. 2b zobrazují ve schématickém půdorysu dva příklady možného provedení tvaru drážky pro optické vlákno. V obr. 2a je drážka, jejíž půdorys obsahuje kružnice, v obr. 2b drážka, jejíž půdorys obsahuje tvary meandru.

Obr. 3 zobrazuje bokorys technického provedení uchycení senzoru k monitorované konstrukci.

Obr. 4 zobrazuje příčný řez senzorem v místě koncentrátoru mechanického napětí v rovině AA' definované na obrázku obr. 1. Jedná se nejužší místo plastového pouzdra, kde je na optickém vlákně umístěna FBG mřížka.

Příklady uskutečnění technického řešení

Rozumí se, že dále popsané a zobrazené konkrétní příklady uskutečnění technického řešení jsou představovány pro ilustraci, nikoli jako omezení možných provedení technického řešení na uvedené příklady.

Zde v textu a stejně tak i v patentových nárocích rozumíme monitorovanou konstrukcí 30 například stavební konstrukci, konstrukční prvek nebo libovolný materiál, v němž je třeba změřit mechanické napětí.

V obr. 1 je znázorněn senzor s integrovanou optovláknovou měřicí FBG mřížkou 13. Základem senzoru je plastové pouzdro 23 vyrobené 3D tiskovou technologií. Ve výhodném provedení je délka plastového pouzdra 23 typicky v rozmezí 10 až 20 cm a jeho šířka je zvolena tak, aby zajistila dostatečně pevné přichycení k monitorované konstrukci 30 a umožnila ohyb vlákna. Typická šířka plastového pouzdra 23 je 5 až 10 cm. V plastovém pouzdře 23 je vytištěna drážka 15 pro pevné uchycení optického vlákna 12 s FBG mřížkou 13. Optické vlákno 12 je v drážce 15 zpravidla ještě fixováno lepidlem. Senzor je vybaven vstupem 10 optického vlákna 12 a výstupem 11 optického vlákna 12 pro připojení k vyhodnocovací jednotce nebo dalším sensorům. Plastové pouzdro 23 dále obsahuje druhé otvory 22 pro mechanické předepnutí plastového pouzdra 23 ve směru monitorovaného mechanického napětí při montáži na monitorovanou konstrukci 30. Plastové pouzdro 23 obsahuje rovněž první otvory 20 pro připevnění plastového pouzdra 23 na monitorovanou konstrukci 30. Dále plastové pouzdro 23 obsahuje koncentrátor 21 mechanického napětí v oblasti, kde je umístěna FBG mřížka 13 na optickém vlákně 12. Koncentrátor mechanického napětí 21 je realizován v podobě lokálního zúžení příčného průřezu plastového pouzdra 23, přičemž toto zúžení je realizováno ve směru kolmém nebo přibližně kolmém s odchylkou od kolmice do 10° na osu optického vlákna 12, a to v oblasti, kde se na optickém vlákně 12 nachází FBG mřížka 13. Zúžení je provedeno typicky na 10 až 20 % původního průřezu, čímž se dosahuje zvýšení citlivosti senzoru.

Senzor se na monitorovanou konstrukci 30 obvykle umísťuje tak, aby plastové pouzdro 23 bylo podélně, tedy zhruba ve směru mezi vstupem 10 a výstupem 11 optického vlákna, orientováno přibližně rovnoběžně s převažující silou působící v monitorované konstrukci 30. Zúžení průřezu plastového pouzdra 23 je obvykle realizováno ve směru kolmém jak na délku plastového pouzdra 23, tak i kolmém na povrch monitorované konstrukce 30, jak je dobře patrné např. z obrázku 3, kde je navíc vyznačena i převažující síla F, v jejímž směru působí měřené mechanické napětí.

Do drážky 15 vlepené optické vlákno 12 s FBG mřížkou 13 je následně překryto dalšími vrstvami krycího materiálu 14 vytištěného rovněž technologií 3D tisku, jak je zakresleno v obr. 1 a ještě názorněji v obr. 4. Krycí vrstvy 14 jsou obvykle rovněž z plastu a jsou součástí plastového pouzdra 23.

Obr. 2a a 2b ukazují dvě možná technická provedení drážky 15 pro pevné uchycení optického vlákna 12. Drážka 15 musí respektovat minimální poloměr ohybu optického vlákna 12 a zabránit smyku optického vlákna 12 v momentě zvýšeného mechanického namáhání senzoru. Drážka 15 může být například uskutečněna tak, že její půdorys obsahuje tvar kružnice nebo více kružnic dle
 5 obr. 2a a/nebo že její půdorys obsahuje tvar meandru nebo více meandru dle obr. 2b. Drážka může být ale rovněž realizována jako přímá. Tvar meandru, kružnice nebo případně elipsy umožní pevnější uchycení vlepeného vlákna v tištěné struktuře. Optické vlákno 12 je v drážce 15 fixováno pomocí lepidla, například kyanoakrylátového, a přetištěno dalšími krycími vrstvami 14 plastového materiálu. Fixace pomocí lepidla slouží k tomu, aby nedošlo k pohybu vlákna 12 během výrobního procesu ani během měření. V obrázcích 2a a 2b je také vyznačeno místo 16 pro
 10 umístění FBG mřížky 13 na optickém vlákně 12 po vložení tohoto vlákna do znázorněných drážek 15.

Obr. 3 zobrazuje možnou montáž plastového pouzdra 23 na monitorovanou konstrukci 30 pomocí mechanických prostředků. Využity jsou k tomu v plastovém pouzdře 23 vytvořené první
 15 otvory 20 a druhé otvory 22. První otvory 20 slouží pro připevnění plastového pouzdra 23 na monitorovanou konstrukci 30. Druhé otvory 22 slouží pro mechanické předepnutí plastového pouzdra 23 ve směru monitorovaného mechanického napětí při montáži na monitorovanou konstrukci 30. Znázorněn je také směr síly F působící v monitorované konstrukci 30, který je totožný se směrem měřeného mechanického napětí.

Obr. 4 zobrazuje detail řezu pouzdrem senzoru v místě koncentrátoru 21 mechanického napětí. Jedná se o nejúžší místo plastového pouzdra, kde je na optickém vlákně 12 umístěná FBG mřížka 13. Řez zobrazený v obr. 4 je proveden v rovině AA', jejíž orientace je vyznačena v obr. 1. Jsou
 20 zobrazeny rovněž krycí vrstvy 14 materiálu, který je nanesen nad drážkou 15 s optickým vláknem 12 prostřednictvím 3D tisku a tvoří součást plastového pouzdra 23.

Při výrobě senzoru je optické vlákno 12 s FBG mřížkou 13 je vlepeno do drážky 15 se speciálním tvarem v předem připraveném plastovém pouzdře 23 vyrobeném pomocí 3D tisku. Tvar drážky 15 je takový, aby umožnil snadné vložení vlákna 12, zajistil minimální poloměry ohybu a zafixoval vlákno 12 proti prokluzu v momentě namáhání měřené konstrukce 30. Plastové pouzdro 23 ve výhodném provedení obsahuje dvě totožné boční části, které díky v nich umístěným druhým
 30 otvorům 22 umožní mechanické předepnutí plastového pouzdra 23 při montáži na monitorovanou konstrukci 30. V bočních částech plastového pouzdra 23 jsou umístěny rovněž první otvory 20 pro finální fixaci předepnutého plastového pouzdra 23 na monitorovanou konstrukci 30. FBG mřížka 13, která zde slouží jako citlivý měřicí prvek, je umístěna v místě koncentrace mechanického namáhání, tedy v oblasti koncentrátoru 21 mechanického napětí, a celé optické vlákno je
 35 přetištěno dalšími krycími vrstvami 14 plastového materiálu. Konce optického vlákna umožňují napojení pomocí optického vlákna na další optovláknové senzory nebo na měřicí a vyhodnocovací jednotku.

Provedení drážky 15 pro uložení optického vlákna 12 může být takové, že půdorys drážky 15 obsahuje tvar kružnice, která zachovává minimální poloměry ohybu nebo v dalším technickém
 40 provedení takové, že půdorys drážky 15 obsahuje tvar meandru. V půdorysu drážky 15 může být obsažen i tvar elipsy.

V dalším možném provedení je optické vlákno 12 opatřeno alespoň jedním dalším Braggovým senzorem umístěným mimo prostor koncentrátoru 21 mechanického napětí, kde nepůsobí měřená síla F , nebo ve směru kolmém na délku plastového pouzdra 23 senzoru i na působící sílu F , který
 45 je určen pro kompenzaci teplotních vlivů.

Optické vlákno 12 je s výhodou opatřeno zakončením s vyšší ochranou, které vystupuje z plastového pouzdra 23 nebo je v plastovém pouzdru přímo integrován optický konektor nebo optické konektory pro připojení dalších vláken nebo senzorů s optickým adaptérem připojitelným ke komerčně dostupnému optickému kabelu.

Optické vlákno 12 s FBG mřížkou 13 je propojeno v sérii pomocí dalších optických vláken, které přenášejí optické záření ze zdroje k FBG mřížce 13 a současně také touto mřížkou 13 odražené
 50 zpětné záření na vyhodnocovací jednotku. Spektrální analyzátor měří vlnovou délku odraženého

záření, kterou lze následně přepočítat na hodnoty poměrného přetvoření monitorované konstrukce 30. Mechanismus měření odražené vlnové délky je dobře znám a je považován za obecný stav techniky. Podobně se postupuje i v případě použití více senzorů s více FBG mřížkami.

Navržené řešení popsané v tomto dokumentu poskytuje metodu, která je přímo aplikovatelná na již existující konstrukční prvky z různých materiálů a je cenově dostupná a instalačně jednoduchá.

Integrace optických vláknových senzorů do struktur výrobitelných pomocí 3D tisku je výrobně nenáročnou variantou pro kontinuální monitoring konstrukčních prvků všude tam, kde nebyly optovláknové senzory integrovány do struktury již při výrobě prvku. V případě již realizovaných konstrukcí je to spolu s tenzometrickými systémy jediné možné řešení pro kontinuální monitoring zatížení konstrukce.

Díky známému rozmištění jednotlivých senzorů lze velmi dobře lokalizovat vznik poruchy nebo diagnostikovat konkrétní místo měřené konstrukce. Senzory osazené v nejzatíženějším místě konstrukčního prvku měří průběžně jeho poměrné přetvoření a v případě přetížení konstrukce systém umožňuje odeslání automatického varování majiteli či správci objektu.

Průmyslová využitelnost

Senzor mechanického namáhání s optovláknovým FBG senzorem vyrobený pomocí 3D tisku nalezne uplatnění při monitoringu mechanického namáhání konstrukčních prvků, které nemají integrované optické vlákno přímo ve struktuře materiálu. Využitelnost je především ve stavebnictví pro monitoring namáhání stavebních konstrukcí. Zejména je senzor vhodný pro dodatečné osazení na již existující konstrukce systémem monitoringu mechanického namáhání, kde není možné senzory již zabudovat přímo do struktury materiálu. Při použití optovláknových senzorů přichází veškeré jejich výhody jako je vysoká citlivost, extrémní odolnost proti rušení i mechanická odolnost. Díky 3D tištěné struktuře je navíc možné upravit finální tvar senzoru dle potřeb zákazníka nebo dle tvaru monitorované konstrukce.

N Á R O K Y N A O C H R A N U

1. Senzor pro měření a vyhodnocování mechanického napětí monitorované konstrukce (30) využívající optické vlákno (12) s FBG mřížkou (13), které je integrováno v plastovém pouzdře (23) senzoru vyrobeném pomocí technologie 3D tisku, **vyznačující se tím**, že plastové pouzdro (23) obsahuje drážku (15) pro pevné uchycení optického vlákna (12), přičemž nad touto drážkou (15) jsou další krycí vrstvy (14) technologií 3D tisku natištěného materiálu a přičemž optické vlákno (12) je do drážky připevněno pomocí lepidla.

2. Senzor podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že plastové pouzdro (23) obsahuje koncentrátor (21) mechanického napětí v podobě lokálního zúžení příčného průřezu plastového pouzdra (23), přičemž toto zúžení je realizováno ve směru kolmém na osu optického vlákna (12) v oblasti, kde se na optickém vlákně (12) nachází FBG mřížka (13).

3. Senzor podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že drážka (15) pro uchycení optického vlákna (12) v plastovém pouzdře (23) je přímá.

4. Senzor podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že půdorys drážky (15) pro uchycení optického vlákna (12) v plastovém pouzdře (23) obsahuje tvar meandru.

5. Senzor podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že půdorys drážky (15) pro uchycení optického vlákna v plastovém pouzdře (23) obsahuje tvar kružnice nebo elipsy.

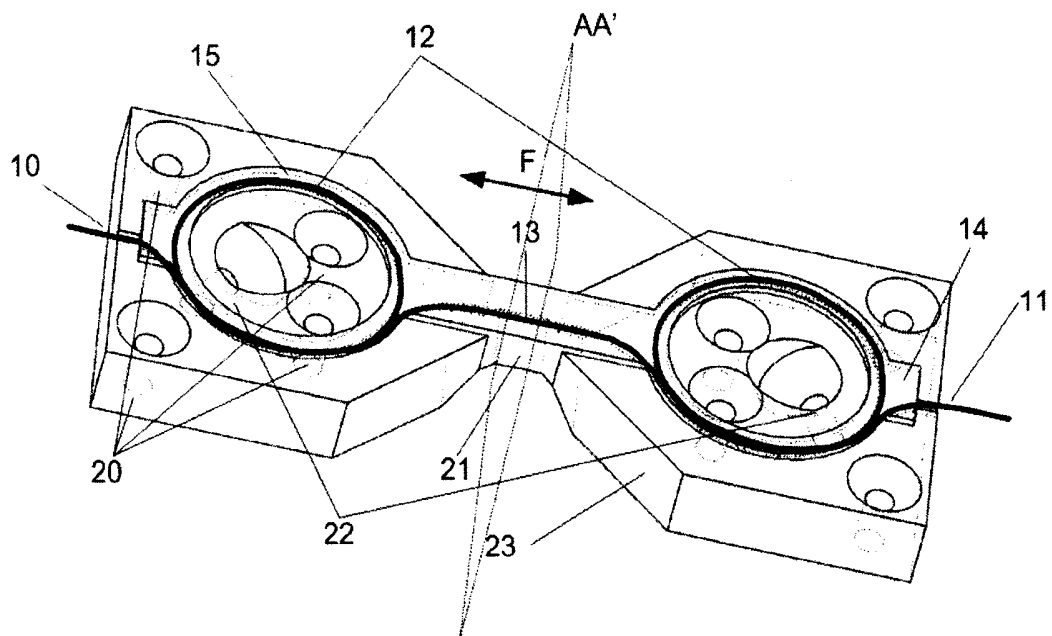
6. Senzor podle kteréhokoli z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že plastové pouzdro (23) obsahuje druhé otvory (22) pro mechanické předepnutí plastového pouzdra (23) ve

směru monitorovaného mechanického napětí a první otvory (20) pro připevnění plastového pouzdra (23) na monitorovanou konstrukci (30).

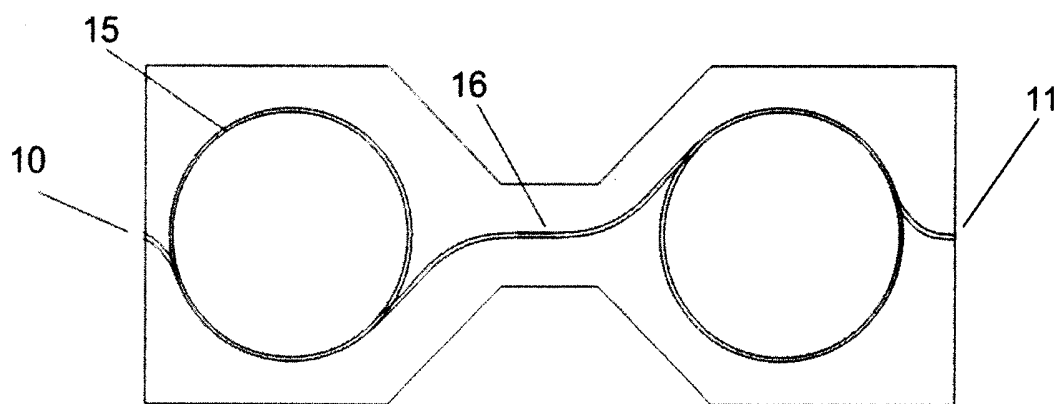
3 výkresy

Seznam vztahových značek:

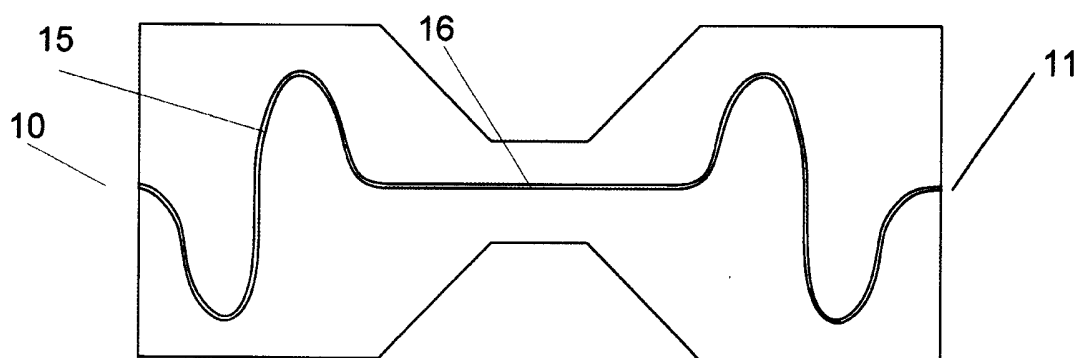
5	10	Vstup optického vlákna
	11	Výstup optického vlákna
	12	Optické vlákno
	13	FBG mřížka (na optickém vlákně)
10	14	Krycí vrstvy (technologie 3D natištěného materiálu)
	15	Drážka (pro pevné uchycení optického vlákna)
	16	Umístění FBG mřížky na optickém vlákně
	20	První otvory (pro připevnění plastového pouzdra na monitorovanou konstrukci)
15	21	Koncentrátor mechanického napětí
	22	Druhé otvory (pro mechanické předeptnutí plastového pouzdra ve směru monitorovaného mechanického napětí při montáži na monitorovanou konstrukci)
	23	Plastové pouzdro (vyrobené pomocí technologie 3D tisku)
	30	Monitorovaná konstrukce.



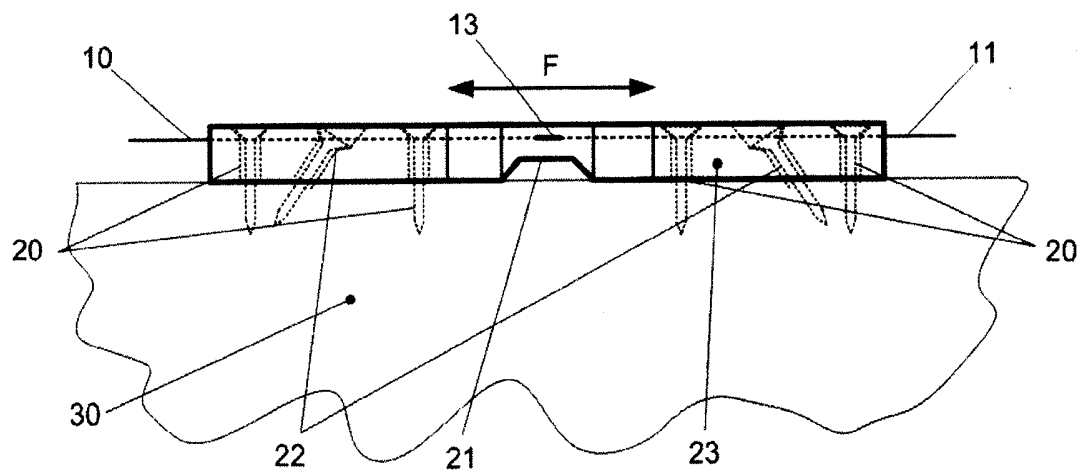
Obr. 1



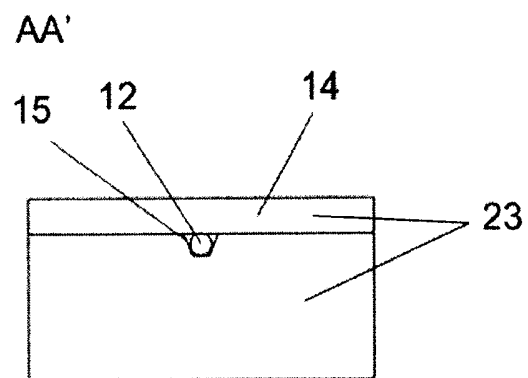
Obr. 2a



Obr. 2b



Obr. 3



Obr. 4

Konec dokumentu