

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2023-73

(13) Druh dokumentu: A3

(51) Int. Cl.:

G01B 11/16 (2006.01)
G01B 11/14 (2006.01)
G01B 11/245 (2006.01)
G06T 7/80 (2017.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



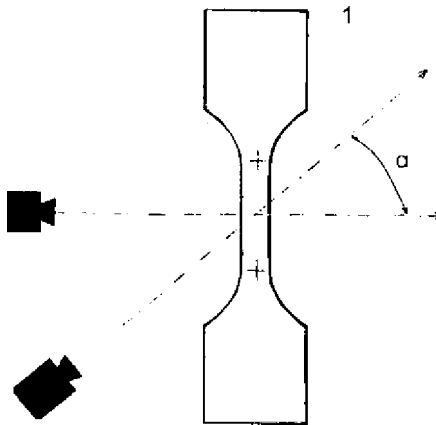
ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: 24.02.2023
(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: 16.10.2024
(Věstník č. 42/2024)

- (71) Přihlašovatel:
X-Sight s.r.o., Brno, Ponava, CZ
- (72) Původce:
Ing. Michal Vajdák, Brno, Veveří, CZ
Ing. Petr Gajdoš, Kuřim, CZ
Ing. Jan Čepela, Zlín, Kudlov, CZ
- (74) Zástupce:
Ing. Libor Markes, patentový zástupce, Grohova
145/54, 602 00 Brno, Veveří

(54) Název přihlášky vynálezu:
**Způsob měření deformací optickým
extenzometrem**

- (57) Anotace:
Způsob měření deformací rovinných vzorků optickým extenzometrem tvořeným dvěma kamerami s použitím kalibrační desky, při kterém se v obrazu kterékoliv z kamer zadají body určené k měření a následně se vypočítají jejich prostorové souřadnice, a to za předpokladu rovinnosti snímaného vzorku, body s vypočítanými souřadnicemi se umístí, pomocí projekční matice spočtené z kalibrace, do obrazu druhé kamery bez nutnosti provedení korespondence, provede se snímání nezávisle oběma kamerami a každé dva po sobě jdoucí snímky se zpracovávají pro první a druhou kameru nezávisle, a to tak, že dvojice po sobě jdoucích snímků v časové periodě se nezávisle v obrazu první a druhé kamery opakovaně korelují v místech zadáných bodů určených k měření a určí se vzájemný posun se sub-pixelovou přesností, opakovaně se spočtou posuvy ve skutečných prostorových souřadnicích a ze zjištěných posunů ve skutečných prostorových souřadnicích se průběžně vypočítávají další požadované deformační parametry, jako absolutní či relativní protažení, kontrakce, hlavní deformace.



Způsob měření deformací optickým extenzometrem

Oblast techniky

5

Vynález se týká funkce optického extenzometru při měření deformací materiálových vzorků.

Dosavadní stav techniky

10

Optický (video) extenzometr je přístroj či sensor na měření deformací. Během testu kontinuálně snímá obraz vzorku kamerou připojenou k PC, MCU či FPGA či jiné výpočetní platformě, ve které je obraz zpracováván. Vzorek materiálu je k tomu opatřen speciálními značkami rozlišitelnými od barvy vzorku a textury jeho povrchu, anebo v případě, že to přirozená struktura vzorku umožňuje, nemusí být vzorek takto ošetřen. Během natahování nebo stlačování vzorku jsou pixelové vzdálenosti mezi těmito značkami spojitě sledovány ve snímaném obraze.

Pixelovou vzdálenost lze pomocí algoritmů měřit v reálném čase a vypočtené změny deformací průběžně zasílat do měřicího zařízení k vyhodnocení napětí a za účelem případné kontroly průběhu zkoušky. Při správné kalibraci a dobrém algoritmu zpracování obrazu lze dosáhnout měření s rozlišením menším než 0,5 μm . Při kalibraci je nejprve snímán kalibrační vzorek či kalibrační tabulka, a to za týchž testovacích podmínek, jaké budou platit pro testovaný vzorek.

Pokročilé extenzometry umožňují mnoho pokročilých funkcí; měří například příčnou kontrakci, určují pozici krčku, zobrazují pole deformací, či umožňují měřit pomocí většího počtu různě rozložených kamer, anebo, díky stereoskopickému snímání, umožňují měřit i 3D pozice měřených bodů.

Sem patří DE 102010038062 A, ve kterém se popisuje způsob měření posunu prostřednictvím dvou kamer, a to bezdotykovým zmapováním alespoň jednoho místa na ploše, které opticky zvýrazňuje zkušební oblast, zejména materiálového vzorku se strukturovaným povrchem, při kterém se zkušební oblast nachází mezi jednou oblastí uchycení a druhou oblastí uchycení vzorku, a to prostřednictvím prvního fotografického snímku prostorového uspořádání bodů na povrchu ve zkušební oblasti interferencí koherentního světla po odrazu povrchu zobrazeném na prostorově segmentovaném detektoru světla, přičemž toto uspořádání prostřednictvím prvního digitalizovaného kamerového systému určuje alespoň jedno místo v prvním úseku zkušební oblasti.

Přitom alespoň jeden další elektronicky digitalizovaný kamerový systém vytvoří následný snímek druhého úseku zkušební oblasti, přičemž snímky kamerových systémů zobrazí kompletní zkušební oblast souvisle přes celý její rozsah a korelaci mezi uspořádáním světelných intenzit určujícím místo v prvním snímku prvního kamerového systému a uspořádáním světelných intenzit v následném snímku druhého kamerového systému se ve vyhodnocovací jednotce určí alespoň jedno místo.

Při snímání dvěma kamerami je obraz jedné z kamer snímán pod úhlem poněkud se lišícím od úhlu snímání druhé kamery. Proto, zejména u kovových vzorků, může být obraz jedné z kamer odlišen/znehodnocen odlesky na povrchu vzorku, což znemožňuje korelaci snímaných míst v obou kamerových systémech. V takovém případě je nutno na vzorku umístit značky, které nejsou odlesky rušeny, což představuje nežádoucí komplikaci.

V CN 114445492 A se popisuje snímání povrchu podélného vzorku řadou kooperujících kamer. Zde popisovaný propojovací způsob video extenzometru s velkým zorným polem se vyznačuje následujícími kroky:

55

- konfiguruje se lineárně několik kamer, přičemž zorná pole sousedních kamer se překrývají;
 - na testovaném vzorku se vytvoří množství značkových bodů a množství charakteristických míst včetně značkových bodů a vypočítají se trojdimenzionální souřadnice všech značkových bodů u nashromážděných obrazů za účelem vytvoření systému souřadnic;
 - vzájemně se kalibrují interní parametry všech kamer;
 - vypočítá se transformační matrice koordinačního systému každé kamery a její systém souřadnic;
 - testovaný vzorek se podrobí tahu a současně se snímá obrazová sekvence vzorku během celého deformačního procesu všemi kamerami;
 - vybere se obraz v počátečním stavu napětí jakožto referenční, na referenčním obrazu se zvolí dvě místa určená k měření, která jsou vyznačena značkovými a/nebo charakteristickými body, a když jsou měřicí body shromážděny v obrazové sekvenci snímáné kamerou odpovídající danému bodu a obrazové koordináty měřeného bodu jsou taženy, směry pohybu dvou zvolených měřicích bodů jsou přitom během procesu tažné deformace opačné;
 - k provedení trojdimenzionální rekonstrukce v bodě určeném k měření se použije matrice kamerového koordinačního systému kamery a souřadnicový koordinační systém a pak se přenesou bod určený k měření do nejbližší sousední kamery v koordinovaném kamerovém systému;
 - v obrazu snímaného nejbližší sousední kamerou se nalezne propojený bod určený k měření, jehož bodová vzdálenost od přeneseného bodu určeného k měření je v mezích nastavené prahové hodnoty v obraze sejmutém nejbližší sousední kamerou;
 - použije se propojený bod určený k měření nalezený v předchozím kroku jako bod určený k měření nejbližší sousední kamerou a v obrazové sekvenci sejmuté nejbližší sousední kamerou, přičemž obrazové koordináty měřicího bodu se natáhnou, následuje návrat do předchozího kroku, dokud konečný stav obrazové sekvence sejmuté každou z kamer nevykazuje stav natažení;
 - vypočítá se změna posunu bodu určeného k měření podle výsledku natažení obrazových koordinát bodu určeného k měření v před-předchozím a předchozím kroku a vyhodnotí se napětí v testovaném vzorku podle změny umístění bodu určeného k měření.
- Vynález si klade za úkol navrhnout způsob snímání povrchu vzorků dvěma kamerami a současného zpracování obrazu, který nevyžaduje použití značek na snímaném povrchu, a přitom umožňuje snímat i povrchy, jež mohou mít jiný vzhled v první a druhé kameře. Navržený způsob dále umožní rychlé nastavení systému pomocí kalibrační desky s rastrem bodů/kalibračních značek, či pomocí jiného kalibračního objektu s kalibračními značkami.

Podstata vynálezu

- Uvedený úkol řeší způsob měření deformací rovinných vzorků optickým extenzometrem tvořeným dvěma kamerami snímajícími texturu povrchu vzorku, jehož obraz se v pohledu kamer liší, vyznačující se následujícími kroky:
- kamerami se pod různým úhlem snímá jedno místo na povrchu vzorku, přičemž se kamery kalibrují opakovaným snímáním kalibrační desky v různých úhlech a pozicích;

- kalibrační deskou vloženou do známé polohy se nastaví rovina měřeného vzorku, čímž se v softwaru zavede předpoklad, že nastavená rovina měřeného vzorku a její geometrické posunutí, je v rovině skutečného měřeného vzorku;
- 5 – v obrazu jedné z kamer se zadají body určené k měření a následně se vypočítají jejich předpokládané prostorové souřadnice na povrchu vzorku;
- body s vypočítanými souřadnicemi se numericky umístí, pomocí projekční matice spočtené z kalibrace, do obrazu druhé kamery, čímž se určí v nastavené rovině zvolené místo v obrazu druhé kamery bez nutnosti nalezení korespondence/propojení s první kamerou; a
- 10 – provede se snímání nezávisle oběma kamerami a ze sekvence snímků se vypočítají posuny zadaných bodů, z nichž se spočtou deformace, tj. posuvy bodů v prostoru.
- 15 Navrhovaný způsob měření používá přesnou metodu identifikace vnitřních i vnějších parametrů na základě opakovaného snímání kalibrační desky pod různými úhly a v různých polohách. Zavádí sice předpoklad rovinnosti měřeného vzorku, čímž omezuje použití, ale i za tohoto předpokladu při úpravě algoritmu poskytuje vysokou přesnost i v případech, kdy při snímání dvěma kamerami nelze, např. v důsledku odlesků, ztotožnit totéž místo snímání jednou a druhou
- 20 kamerou.

Další výhodou je, že na základě předpokladu rovinnosti měřeného vzorku je možno provést jakékoliv známé nastavení měřicí roviny, a to následně přepočítat do skutečné měřicí roviny, jež může být například utopena v přípravku, nicméně ve známé vzdálenosti a při známém naklopení.

25

Objasnění výkresu

Vynález bude dále objasněn pomocí výkresu, na němž je na:

30

obr. 1 schéma snímání vzorku kamerami pod úhlem;

obr. 2 schéma snímání kalibrační desky; a

35 obr. 3 schéma projekce průmětu přímky do roviny.

Příklady uskutečnění vynálezu

- 40 Deformace rovinných vzorků se měří optickým stereoskopickým extenzometrem tvořeným dvěma kamerami snímajícími texturu povrchu vzorku 1 – viz obr. 1, a to včetně takových povrchů, u nichž v důsledku snímání vzorku 1 pod různými úhly lišícími se od kolmice o úhel α dochází k takovým odlišnostem ve snímáních obrazech, že vylučují běžně používanou korespondenci snímáních míst obrazů jedné a druhé kamery. To je častým jevem, zejména při
- 45 snímání vzorků s odlesky na povrchu (např. kovových), či vzorků, jejichž vzhled se díky nehomogenní reflexi jejich povrchů liší v pohledu kamer.

Měření zahrnuje následující kroky:

- 50 1. Dvě kamery snímají jedno místo z různých poloh/pod různými úhly a kalibrují se pomocí opakovaného snímání kalibrační desky 2 s rastrem bodů/kalibračních značek v různých úhlech γ a pozicích δ – viz obr. 2. Tím se zjistí parametry kamer – vnitřní (zkreslení objektivu a ohnisková vzdálenost) i vnější (vzájemná poloha).

2. Kalibrační deskou 2 vloženou do známé polohy, či jiným kalibračním objektem s kalibračními značkami, nejlépe do polohy roviny vzorku, se dále nastaví rovina měřeného vzorku a takto je určena rovnice roviny vzorku, při zavedení předpokladu rovinnosti vzorku. V případě že kalibrační deska 2 nebyla umístěna do polohy roviny povrchu měřeného vzorku 1, a to kvůli její tloušťce a upínací metodě, či z jiných důvodů, provede se geometrický posun nastavené roviny měřeného vzorku 1 o tloušťku kalibrační desky 2 do roviny měřeného vzorku 1 či o jakýkoliv jiný známý posun a úhel vůči rovině nastavení.
3. Na základě vnitřních i vnějších parametrů kamer i znalosti nastavené roviny se pak provede projekce paprsků do scény pro jednu vybranou kameru, což umožní v obrazu jedné z kamer zadat body určené k měření, a to i tehdy, když např. v důsledku odlesků či odlišné reflexe struktury či umístěných značek má místo výrazně odlišný vzhled v obrazu jedné kamery vůči kameře druhé. Následně se spočtou prostorové souřadnice zadaných bodů pomocí průmětů přímek s rovinou – viz obr. 3 – při zavedení předpokladu, že nastavená rovina měřeného vzorku a její případné geometrické posunutí, bylo provedeno shodně s rovinou povrchu skutečného měřeného vzorku 1. Ve schematické konfiguraci kamery, vzorku 1 a kalibrační desky 2 se promítají přímky B, C vedené z ohniska A kamery do roviny vzorku, a to přímka B do oblasti vzorku 1 a přímky C mimo oblast vzorku.
4. Body s vypočítanými souřadnicemi se umístí pomocí projekční matice spočtené z kalibrace do obrazu druhé kamery a tímto postupem se určí místa zadaných bodů ve druhé kameře, bez nutnosti korespondence snímaných míst v první a druhé kameře, tj. bez nutnosti nalezení propojení/korespondence měřených bodů. Za výše uvedeného předpokladu rovinnosti snímaného vzorku lze ztotožnit shodné místo snímané jednou a druhou kamerou i v případech, kdy to známými metodami při snímání dvěma kamerami není možné, např. v důsledku odlesků či odlišné reflexe struktury vzorku, jelikož nelze jednoznačně provést korespondenci obrazu první a druhé kamery. Zavedení tohoto předpokladu rovinnosti snímaného vzorku má za následek, že není nutno hledat propojení/korespondenci měřených bodů a počítat epipolar error (chybu průsečíku projekce bodu jedné a druhé kamery „myšlenou chybu“) a hodnotit ji v rámci nastaveného prahu.
5. Provede se snímání nezávisle oběma kamerami a každé dva po sobě jdoucí snímky se zpracovávají nezávisle pro první a druhou kameru. Dvojice po sobě jdoucích snímků v časové periodě se korelují v místech zadaných bodů určených k měření a určí se vzájemný posun se sub-pixelovou přesností, kdy tato korelace je prováděna nezávisle pro obraz první a druhé kamery.
6. Na základě sub-pixelových posunů měřených bodů první i druhé kamery a za použití vnitřních i vnějších parametrů kamer se spočtou posuvy ve skutečných prostorových souřadnicích a následně se krok č. 5 provádí opakovaně pro každé dva po sobě jdoucí snímky.
7. Ze zjištěných posunů ve skutečných prostorových souřadnicích se průběžně vypočítávají další požadované deformační parametry, jako například absolutní či relativní protažení, kontrakce, hlavní deformace atp., a tyto se při opakování kroku č. 5 zpracovávají.

PATENTOVÉ NÁROKY

5 1. Způsob měření deformací rovinných vzorků optickým extenzometrem, tvořeným dvěma kamerami snímajícími texturu povrchu vzorku, jehož obraz se v pohledu kamer liší, **vyznačující se** následujícími kroky:

– kamerami se pod různým úhlem snímá jedno místo na povrchu vzorku (1), přičemž se kamery kalibrují opakovaným snímáním kalibrační desky (2) v různých úhlech a pozicích;

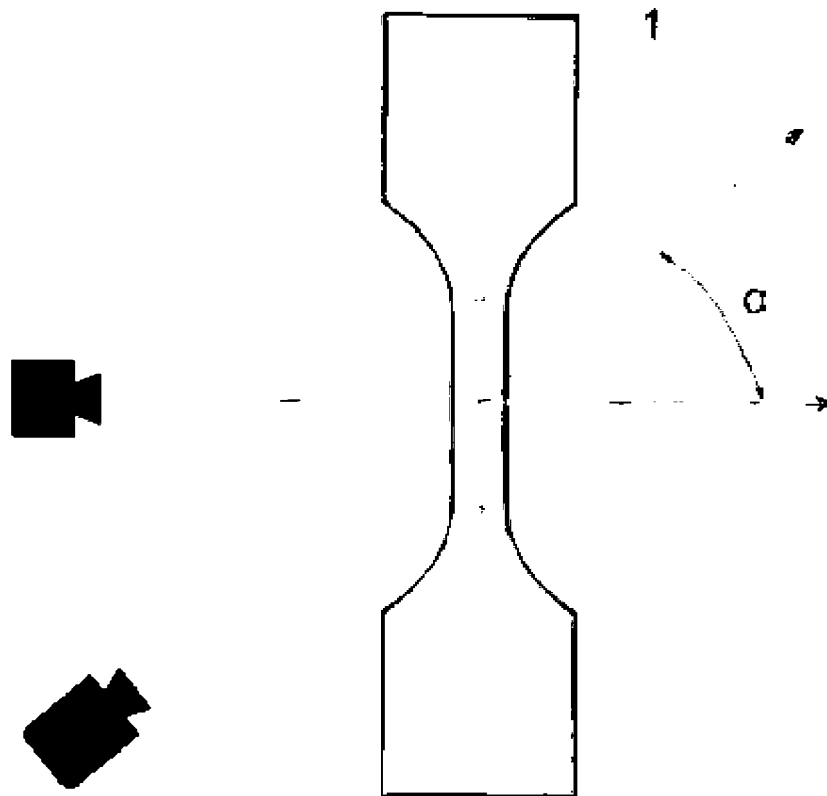
10 – kalibrační deskou (2) vloženou do známé polohy se nastaví rovina měřeného vzorku (1), čímž se v softwaru zavede předpoklad, že nastavená rovina měřeného vzorku (1) a její geometrické posunutí, je v rovině skutečného měřeného vzorku (1);

– v obrazu jedné z kamer se zadají body určené k měření a následně se vypočítají jejich předpokládané prostorové souřadnice na povrchu vzorku (1);

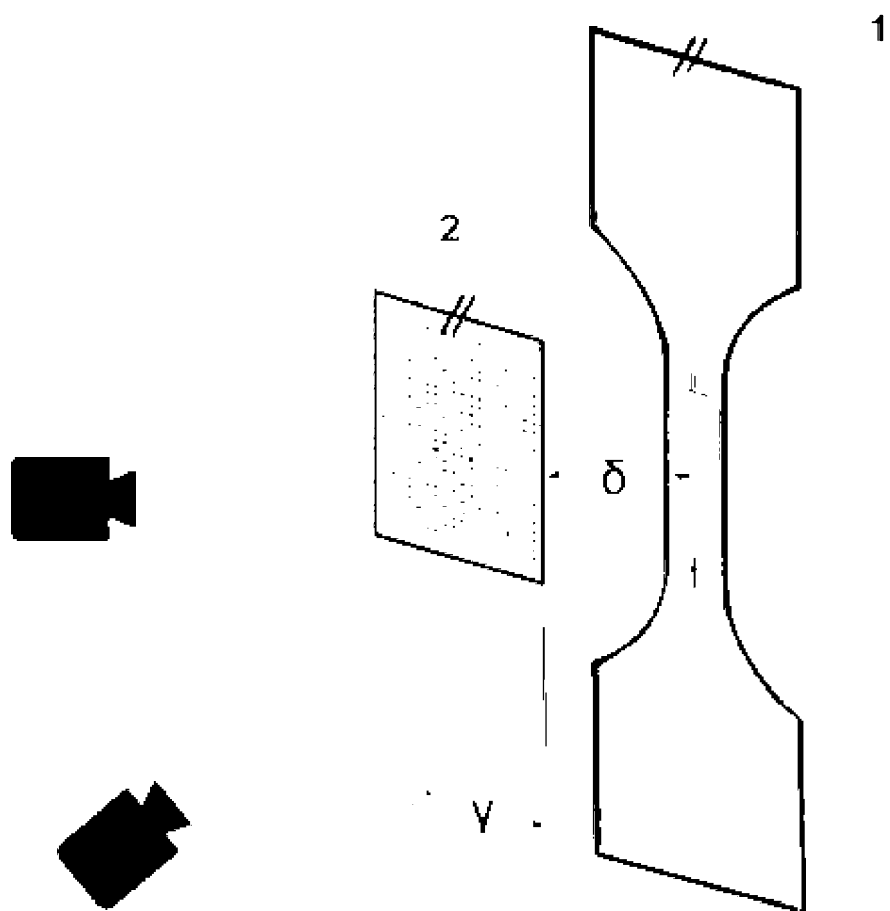
15 – body s vypočítanými souřadnicemi se numericky umístí, pomocí projekční matice spočtené z kalibrace, do obrazu druhé kamery, čímž se určí v nastavené rovině zvolené místo v obrazu druhé kamery bez nutnosti nalezení korespondence/propojení s první kamerou; a

– provede se snímání nezávisle oběma kamerami a ze sekvence snímků se vypočítají posuny заданých bodů, z nichž se spočtou deformace, tj. posuvy bodů v prostoru.

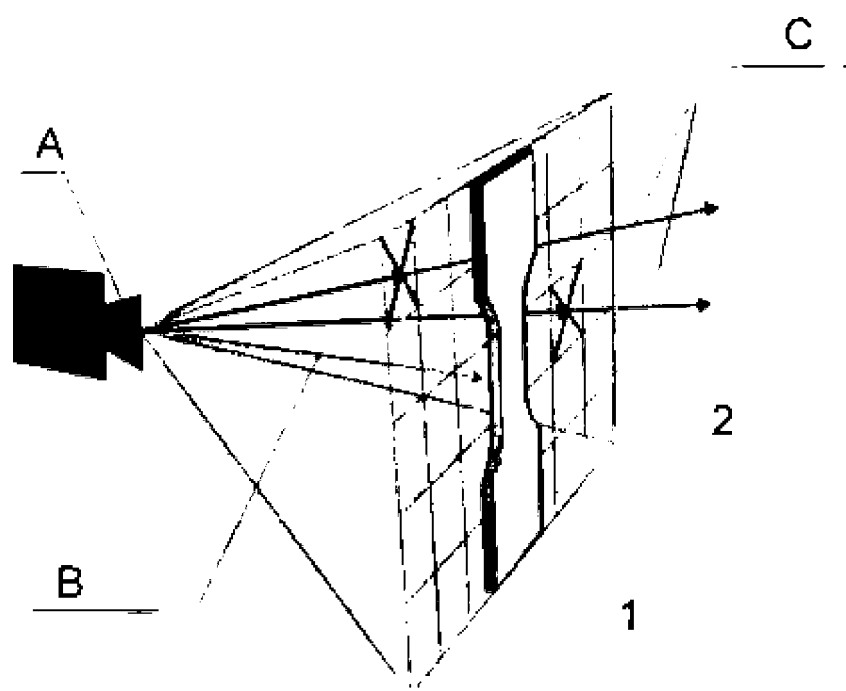
3 výkresy



Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3