

NIEKOĽKO POZNÁMOK K MOŽNOSTIAM A PROSTRIEDKOM UPLATNENIA METÓDY PHOTOSTRESS NA TU V KOŠICIACH

COMMENTS TO APPLICATION OF THE PHOTOSTRESS METHOD AT THE TECHNICAL UNIVERSITY OF KOSICE

František TREBUŇA, František ŠIMČÁK, Vladimír JURICA, Jozef TOMČÍK¹

Abstrakt

V príspevku sú obsiahnuté základné informácie o prístrojovom, technickom a programovom vybavení pracoviska autorov s orientáciou na metódu Photostress. Je tu poukázané na skúsenosti s využitím týchto zariadení ale i metód, ktoré sú dominantné pre tie systémy, ktoré pracovisko vlastní.

Kľúčová slova: napätosť a deformácia, optický citlivé povrstvenie.

Abstract

The paper contains basic information about technical and computer equipment at the workplace of authors with focus to the Photostress method. Experience in the use of the equipment as well as in the use of the other three systems at the workplace is presented.

Keywords: stress and strain, photoelastic coating.

ÚVOD

Photostress je široko používaná technika na presné meranie povrchových deformácií a na určenie napätí v súčiastke alebo sústave v priebehu statického alebo dynamického zaťaženia.

Ak je optický citlivé povrstvenie naaplikované na súčiastke, povrstvenie je osvetlené polarizovaným svetlom z odrazového polariskopu. Keď sa pozeráme cez polariskop, povrstvenie zobrazuje rozloženie deformácie vo farbách, ktoré okamžite poskytujú úplné rozdelenie deformácií. S optickým kompenzátorom pripojeným k polariskopu je možné jednoducho a rýchle vykonať kvantitatívnu napäťovú analýzu. Je možné realizovať fotografické alebo videové záznamy s cieľom získať údaje o rozložení deformácií.

Metóda Photostress umožňuje:

- okamžite identifikovať kritické miesta, zvýrazňovať oblasti s nízkymi a vysokými napätiami,
- presne merať špičky napätí a určovať napäťové koncentrácie okolo otvorov, drážok, zaoblení a iných potenciálnych poruchových oblastí,
- optimalizovať napäťové rozdelenie v častiach a sústavách pre minimálnu hmotnosť a maximálnu spoľahlivosť,
- kvantifikovať hlavné napätia a smery v rôznych bodoch na povrchovej vrstve,
- opakovane testovať pri rôznych zaťaženiach pri použití tej istej vrstvy,
- vykonávať merania napätí v laboratóriu alebo v teréne,
- identifikovať a merať napätia a zvyškové napätia,

¹ Dr.h.c. prof. Ing. František TREBUŇA, CSc., prof. Ing. František ŠIMČÁK, CSc., doc. Ing. Vladimír JURICA, CSc., Ing. Jozef TOMČÍK, KAMaM, SjF TU v Košiciach, frantisek.trebuna@tuke.sk, frantisek.simcak@tuke.sk, vladimir.jurica@tuke.sk, jozef.tomcik@tuke.sk

Lektoroval: prof. Dr. hab. Eng. Henryk KOPECKI, Aircraft and Craft Engines Chair of Rzeszów University of Technology, Rzeszów, Poland, hkopecki@prz.edu.pl

- zisťovať pružné deformácie a zaznamenať redistribúciu deformácií v oblasti plastických deformácií.

Povrstvenia môžu byť aplikované na povrchu prakticky všetkých skúšaných súčiastok bez ohľadu na tvar, veľkosť alebo materiálové zloženie. Pre nanášanie na celý povrch sa látka odlieva v tenkej vrstve, po čiastočnej polymerizácii sa oddeli a modeluje sa na súčiastke kde vytvrdne. Následne sa naaplikuje na súčiastku. Pre rovinné povrchy je vyrobená rovná plocha vystrihnutá na potrebnú veľkosť a pripevnená priamo na skúšanú súčiastku. Kompletne údaje týkajúce sa Photostress sa nachádzajú v TECH NOTE triedy 700 Measurement Group. Photostress sa využíva prakticky v každej oblasti kde je potrebná napäťová analýza (automobilový priemysel, poľnohospodárske stroje, letectvo a kozmonautika, motory, tlakové nádoby, plavidlá, kancelárske zariadenia, mosty, spotrebiče a ďalšie). Keď sa polarizované svetlo šíri cez opticky citlivý materiál hrúbky t , kde X a Y sú smery hlavných deformácií v uvažovanom bode, svetelný vektor je rozdelený na dva polarizované lúče, ktoré kmitajú v dvoch vzájomne kolmých rovinách určených smermi X a Y . Deformácie v smeroch osí X a Y sú ε_x a ε_y a rýchlosti svetelných kmitov týchto smeroch sú v_x a v_y . Čas potrebný na prechod lúčom materiálom hrúbky t bude rôzny a relatívne oneskorenie medzi týmito dvoma lúčmi bude

$$\delta = c \cdot \left(\frac{t}{v_x} - \frac{t}{v_y} \right) = t (n_x - n_y), \quad (1)$$

kde n_x, n_y sú indexy lomu.

Ak využijeme Brewsterov zákon, podľa ktorého relatívna zmena indexu lomu je úmerná zmene hlavných deformácií, môžeme písať

$$(n_x - n_y) = K \cdot (\varepsilon_x - \varepsilon_y). \quad (2)$$

Konštanta K je deformačno-optický koeficient a charakterizuje fyzikálne vlastnosti materiálu. Je to bezrozmerná konštanta obvykle určená kalibráciou a môže byť považovaná za analogickú so „súčiniteľmi deformačnej citlivosti“ odporových tenzometrov. Kombináciou výrazov (1) a (2) pre prechod svetelného lúča pri odrazovom fotoelasticimetri (svetelný lúč prechádza povrstvením dvakrát) dostaneme

$$\delta = 2t \cdot K \cdot (\varepsilon_x - \varepsilon_y). \quad (3)$$

Základný vzťah pre určenie rozdielu deformácií pomocou metódy Photostress (fotoelastického povrstvenia) je

$$(\varepsilon_x - \varepsilon_y) = \frac{\delta}{2t \cdot K} = R \cdot \frac{\lambda}{2t \cdot K} = R \cdot f, \quad (4)$$

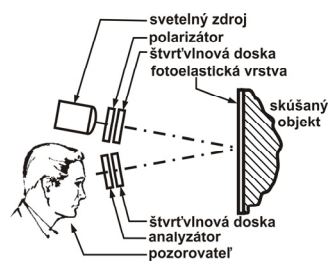
kde R je číslo prvku vyjadrujúce oneskorenie v násobkoch vlnovej dĺžky,
 λ - použité svetlo,
 f - pružková konštanta.

STRUČNE O PRÍSTROJOCH A ZARIADENIACH

Pre analýzu metódou Photostress sa na pozorovanie a meranie povrchových deformácií na fotoelastickom povrstvení meranej súčiastky používa odrazový polariskop schematicky znázornený na obr.1. Najpoužívanejšie sú systémy dvoch polariskopov a to modulárny systém série M030, ktorý umožňuje meranie širokého rozsahu deformácií (obr.2) a systém M040 (obr.3).

Merania vykonané na malých súčiastkach alebo na oblastiach s vysokými koncentraciami napätí sú jednoduchšie a oveľa presnejšie keď je pripojený telemikroskop. Štandardný svetelný zdroj používaný pre statické meranie je ľahko zameniteľný za stroboskop pre dynamické meranie.

Odrazový polariskop model M040 (obr.3) má v sebe zabudovaný kompenzátor s nulovou rovnováhou a elektronikou, ktorá zrýchľuje a spresňuje meranie na staticky zaťažených súčiastkach. (Detailnejší popis oboch polariskopov sa nachádza v literatúre výrobcu).



Obr.1 Princíp Photostress



Obr.2 Polariskop M030



Obr.3 Polariskop M040



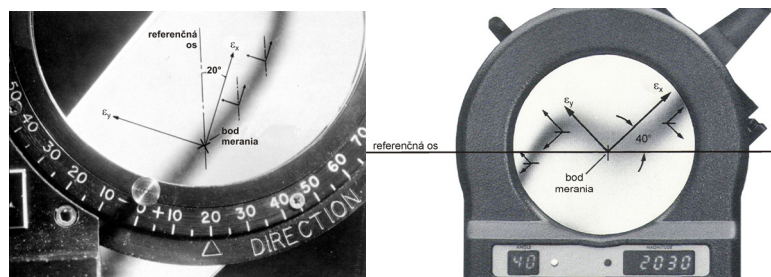
Obr.4 Odrazový polariskop LF/Z-2

Najmodernejším je odrazový polariskop LF/Z-2, ktorý disponuje týmito vlastnosťami:

- Ovládanie a manipulácia je jednoduché. LF/Z-2 podľa výrobcu nevyžaduje žiadne predchádzajúce znalosti fotoelasticity.
- Digitálna videokamera je integrálnou súčasťou polariskopu a farba fotoelastického obrazca sa priamo znázorní na monitore počítača. Dodávaná počítačová karta zabezpečuje hodnoverný obrázok na snímanie statických obrázkov alebo videa.
- Laserové osvetlenie ako súčasť systému umožňuje zobrazit' smery hlavných napätí.
- Digitálny kompenzátor Model 832 zabezpečuje merania, ktoré udávajú rozdiel hlavných napätí $\sigma_x - \sigma_y$, prípadne hlavných napätí $\sigma_x - \sigma_y$.
- Softvér PSCalcTM umožňuje určiť hodnoty hlavných napätí a deformácií.
- Separácia hlavných napätí je zabezpečená novým postupom nazvaným Slitting.

URČOVANIE NAPÄTÍ V BODE ALEBO POLI

Keď rovinné polarizovaný svetelný lúč prechádza povrstvením naneseným na súčiastke, rozloží sa na dve vlny šíriace sa rôznou rýchlosťou. Po prechode povrstvením sú vlny navzájom fázovo posunuté. V bode, kde sú smery hlavných deformácií rovnobežné s osami polarizačného filtra sa bude vystupujúci lúč šíriť v rovine rovnobežnej s rovinou vstupujúceho lúča. Analyzačný filter A s osami kolmými na polarizačný filter P bude v týchto bodoch lúče potláčať a pri pozorovaní namáhanej súčiastky cez odrazový polariskop uvidíme v týchto miestach čierne čiary (alebo čierne plochy). Tieto čiary sa nazývajú izoklíny (obr.5). V každom bode izoklín sú smery hlavných deformácií rovnobežné so smermi polarizácie analyzátoru A a polarizátora P.



Obr.5 Izoklinné čiary v zornom poli analyzátoru

Spoločnou rotáciou analyzátoru A a polarizátora P sledujeme výskyt čiernych izoklín a určujeme smery hlavných pomerných deformácií vzhľadom na označené referenčné osi. Izokliny fotografujeme alebo kopírujeme priamo na povrstvenie, čím získame požadované smery hlavných deformácií v celej oblasti. Ak sú izokliny husté a zreteľné, znamená to, že je vysoký gradient zmeny smerov pomerných deformácií ε_x a ε_z v oblasti. Ak sú izokliny tvorené širokými čiernymi čiarami alebo oblasťami, je v tejto oblasti nízky gradient zmeny smerov ε_x a ε_z .

V prípade vzorky s konštantným prierezom, keď osi polarizácie sa zhodujú s osami vzorky, izokliny pokrývajú celú oblasť, takže smer ε_x je rovnaký v každom bode. Súčasným otáčaním polarizátora a analyzátoru (o malé, rovnaké uhlové prírastky) v rozsahu od 0 po 90 stupňov sa získajú všetky izokliny. Izokliny môžeme znázorňovať graficky kopírovaním z fotografií na papier alebo do počítača. Ak je to potrebné, pomocou izoklín môžeme vytvoriť tzv. izostaty. Dotyčnice k izostatickým krivkám udávajú smer hlavných deformácií (a tým aj hlavných napätí) a zobrazujú „tok“ napätí v skúšanej súčiastke.

Pridaním optických filtrov nazývaných štvrtvlnovými doskami do dráhy svetelných lúčov vznikne kruhovo polarizované svetlo a obraz pozorovaný za analyzátorom nie je ovplyvnený smermi hlavných deformácií. Rád pruhu pozorovaný na fotoelastickom povrstvení je úmerný rozdielu medzi hlavnými deformáciami v povrstvení (a na povrchu skúšanej súčiastky). Význam vyššie uvedeného spočíva v tom, že rozdiel hlavných deformácií alebo maximálnu šmykovú deformáciu na povrchu skúšaného objektu možno získať jednoducho rozlíšením poradia pruhov v opticky citlivom povrstvení a jeho násobením pružkovou konštantou opticky citlivého povrstvenia.

Ako bolo uvedené, v prvom kroku merania pozorujeme celú oblasť a každému pruhu priradíme poradie ($R = 1, 2, 3, \dots$). Keďže poznáme poradie pruhu R , rozdiel hlavných pomerných deformácií je určený vzťahom (4). Vo všeobecnosti sa skúmaný bod nachádza medzi pruhmi takže je nevyhnutné stanoviť „čiastkové poradie“. Tento postup sa nazýva „kompenzácia“. Existujú dve základné kompenzačné metódy:

- oneskorená (goniometrická - Tardyho) kompenzácia, kde sa využíva otočný analyzátor, ktorý je zabudovaný v polariskope model 030.
- kompenzácia s nulovou rovnováhou využívajúca modely 232, 632, alebo 832, modulárneho príslušenstva polariskopu série 030, 040 alebo FL/Z-2.

Oneskorená kompenzácia je relatívne rýchla a jednoduchá metóda. Ale aj tak pre spoľahlivé meranie vyžaduje skúseného pracovníka. Princíp tejto metódy je nasledovný.

Číselník analyzátoru je delený v stotínach od 0 po 100 (obr.6). Analyzátor sa otáča v smere v hodinových ručičkách pokiaľ sa pruh nepresunie na meraný bod (červený pruh na jednej strane, zelený pruh na druhej strane). Čiastkové pruhové poradie pruhov $\tilde{c} = \frac{d}{180}$ je potom možné odčítať priamo z číselníka analyzátoru.

Ak sa pri otáčaní analyzátora v smere hodinových ručičiek k meranému bodu presúva nižší rad pruhov (pruh r) celkové poradie pruhov bude

$$R = r + \check{c} \quad (5)$$

a

$$\varepsilon_x = \varepsilon_1, \varepsilon_y = \varepsilon_2, \quad (6)$$

kde $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ sú maximálne a minimálne hlavné deformácie.

Ak sa k meranému bodu presúva vyšší rad pruhov (pruh $r+1$) celkový rad pruhov bude

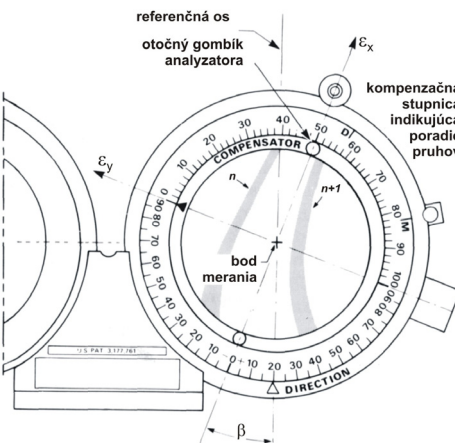
$$R = -[(r+1) - \check{c}] \quad (7)$$

a

$$\varepsilon_x = \varepsilon_2, \varepsilon_y = \varepsilon_1 \quad (8)$$

V tomto prípade rozdiel hlavných pomerných deformácií určíme takisto zo vzťahu (4) a rozdiel hlavných napätí zo vzťahu

$$\sigma_x - \sigma_y = R \cdot f \cdot \frac{E}{1 + \mu}. \quad (9)$$



Obr.6 Určenie čiastkového poradia pruhov

Na nezaťažených okrajoch oblasti a v oblastiach s jednoosovou napätosťou je možné určiť znamienko a veľkosť hlavných napätí priamo, pretože v tomto prípade je jedno z hlavných napätí nulové. Postup je nasledovný:

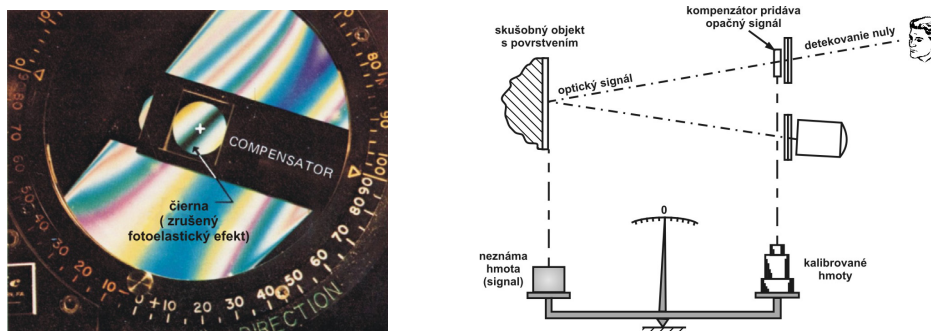
- Os analyzátora ε_x sa nastaví rovnobežne s okrajom súčiastky.
- Identifikujú sa rady pruhov r a $r+1$ na každej strane meraného bodu.
- Analyzátor sa natáča v smere otáčania hodinových ručičiek. Ak sa k meranému bodu presúva pruh r , znamienko napätia je kladné a celkový rad pruhu bude $R = r + \check{c}$. Ak sa k meranému bodu presúva vrchný pruh $r+1$, znamienko napätia je záporné a celkový rad pruhu bude $R = -[(r+1) - \check{c}]$. V oboch prípadoch napätie určíme zo vzťahu

$$\sigma = R \cdot f \cdot \frac{E}{1 + \mu}, \quad (10)$$

kde σ je ťahové (kladné) alebo tlakové (záporné) napätie, v smere dotyčnice k okraju súčiastky.

Kompenzácia s nulovou rovnováhou je založená na princípe zavádzania kalibrovaného premenného dvojlohu do svetelnej dráhy polariskopu. Kalibrovaný dvojlohu má opačné znamienko ako dvojlohu vyvolaný deformačným poľom v nanesej fotoelastickj vrstve. Keď sa premenný dvojlohu nastaví tak aby sa zhodoval s veľkosťou dvojlohu vyvolaného deformáciou, dôjde k jeho celkovému zrušeniu a dvojlohu v svetelnej dráhe bude nulový. Vytvára sa tak čierny pruh v izochromatickom obraze tam, kde pred zavedením kompenzačného dvojlohu existoval farebný pruh (obr.7). Zariadenie na vytváranie kalibrovaného premenlivého dvojlohu sa nazýva nulový kompenzátor. V predchádzajúcich častiach bol uvedený postup merania rozdielov hlavných pomerných deformácií z ktorých môžeme určiť

- veľkosť rozdielu hlavných napätí $\sigma_x - \sigma_y$,
- maximálne šmykové napätie $\tau_{\max} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}$,
- hodnoty nenulových hlavných napätí na rohoch a nezaťažených okrajoch, kde sa najčastejšie vyskytujú maximálne napätia pričom ďalšie hlavné napätia sú v týchto miestach nulové.



Obr.7 Kompenzácia s nulovou rovnováhou

SEPARACIA HLAVNÝCH NAPÄTÍ

Jednou z metód umožňujúcou separáciu napätí v poli je metóda šikmého dopadu. Výraz šikmý dopad znamená, že svetlo polarizátora dopadá na fotoelastické povrstvenia pod šikmým uhlom a meraný dvojlom závisí na druhej hlavnej deformácii v rovine kolmej na dráhu svetla. Poradie pruhov R_o pri šikmom osvetlení kombinované s poradím pruhov R_N pri kolmom osvetlení nám dáva nevyhnutné informácie na určenie separovaných hodnôt napätí σ_x a σ_y aj v bodoch mimo nezaťažovaných okrajov. Používa sa tu adaptér pre šikmé osvetlenie (model 033), ktorý má pevné uhlové zrkadlo dávajúce jednoduchú dátovú redukciu.

Ak poznáme poradie pruhov R_N pri kolmom osvetlení a R_o pri šikmom osvetlení môžeme použiť vzťahy

$$R_N \lambda = 2t_c \cdot K \cdot (\varepsilon_x - \varepsilon_y) \quad (15)$$

pre kolmé osvetlenie, a vzťah

$$R_o \lambda = 2t_c \cdot K \cdot (A\varepsilon_x - B\varepsilon_y) \quad (16)$$

pre šikmé osvetlenie.

Koeficienty A a B závisia od Poissonovho čísla povrstvenia a použitého uhlu θ . V modeli 033 adaptéra pre šikmý dopad je uhol nastavený. Riešením rovníc pre povrstvenia s vysokým modulom pružnosti v ťahu dostaneme

$$\varepsilon_x = f \cdot (1,5R_o - R_N), \quad (17)$$

$$\varepsilon_y = f \cdot (1,5R_o - 2R_N). \quad (18)$$

Zo známych pomerných deformácií ε_x , ε_y môžeme určiť hlavné napätia zo vzťahov

$$\sigma_x = \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot (\varepsilon_x + \mu \cdot \varepsilon_y), \quad (19)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot (\varepsilon_y + \mu \cdot \varepsilon_x), \quad (20)$$

kde E je modul pružnosti v ťahu materiálu vzorky,
 μ - Poissonovo číslo materiálu vzorky.

Pri zariadení M040 nie je možné uplatniť ani metódu goniometrickej kompenzácie ani metódu šikmého osvetlenia, ale je tu možné použiť metódu separačného tenzometra.

Separáčny tenzometer pre metódu Photostress je vytvorený podľa základných princípov mechaniky. Ako ukazuje obr.8, tenzometrická mriežka pozostáva z dvoch na seba kolmých snímačov zapojených do série.

Tenzometrom je zaznamenaná pomerná deformácia bez ohľadu na orientáciu tenzometra. Ak výstupný signál z tenzometra označíme S_G platí

$$S_G = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2}, \quad \text{teda} \quad \varepsilon_x + \varepsilon_y = 2S_G. \quad (17)$$

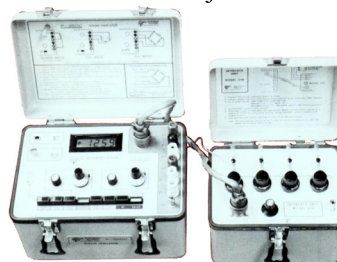
Kombináciou vzťahu $\varepsilon_x - \varepsilon_y = R_N \cdot f$ pre nameraný rozdiel hlavných deformácií a predchádzajúceho vzťahu (17) dostaneme

$$\varepsilon_x = S_G + \frac{R_N \cdot f}{2}, \quad \varepsilon_y = S_G - \frac{R_N \cdot f}{2}. \quad (18)$$

V praxi sa najčastejšie realizuje pozorovanie pri kolmom osvetlení na povrstvenej skúšanej súčiastke. Potom sa nainštalujú separačné tenzometre na predpokladaných kritických miestach stanovených pomocou analýzy Photostress. Súčiastka sa opäť zaťaží a zaznamenajú sa hodnoty získané pomocou separačných tenzometrov. Separačné tenzometre Photostress (použiteľné iba pre povrstvenia s vysokým modulom pružnosti) majú množstvo špeciálnych vlastností navrhnutých pre ľahké a optimálne využitie. Najdôležitejšou vlastnosťou tenzometra je jeho nezávislosť od orientácie. Jednoducho sa aplikuje v bode kde potrebujeme realizovať separačné meranie. Tenzometer obsahuje prípojné vodiče, čím sa predchádza problémom spojeným s napájkovaním vodičov pred nainštalovaním, alebo potom ako je tenzometer pripojený na fotoelastickú vrstvu. Kvôli ochrane je mriežka obalená v polyamide. Odpor mriežky separačného tenzometra je 200Ω a tenzometer by mal byť pripojený k statickej tenzometrickej aparatúre P-3500 prostredníctvom špeciálne navrhnutého modulu rozhrania, model 330 (obr.9). Pripájacie zariadenie tvorí štvorkanálová prepájacia a vyvážovacia jednotka obsahujúca presné odpory pre zoslabenie budiaceho napätia tenzometra a poskytuje vhodné mostíkové napätie pre 200Ω tenzometer. Výsledný prúd tenzometra je okolo 1 mA, čo je menej ako úroveň hladiny, pri ktorej by samoohrievací efekt tenzometra mohol ovplyvniť hodnotu meranej deformácie.



Obr.8 Separačný tenzometer



Obr.9 Model rozhrania M330 pripojený k tenzometrickej aparatúre P3500

Systém LF/Z-2 z pohľadu výrobcu mal predstavovať jeden z najdokonalejších v metóde PhotoStress®, lebo už v základnom vybavení umožňuje prenos farebných pruhov na monitor počítača. Separáciu hlavných deformácií resp. napätí mimo voľných hrán však umožňuje len prostredníctvom ďalších meraní. Tieto merania získame použitím PhotoStress® separačných tenzometrov alebo vytvorením drážky (slitting). Za týmto účelom sa vyfrézuje drážka v smere jednej z hlavných deformácií a pri využití programu PSCalc™. Pri polohe osi kompenzátora rovnobežnej s dotyčnicou ku drážke v bode merania je

$$\varepsilon_1 = \frac{f_c}{1 + \mu_c} \cdot (R_1 - R_0). \quad (19)$$

Pri meraní s osou kompenzátora kolmou na drážku bude

$$\varepsilon_1 = - \left[\frac{f_c}{1 + \mu_c} \cdot (R_1 - R_0) \right]. \quad (20)$$

Po aplikácii základných rovníc PhotoStress[®] dostaneme

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 = -[f_c \cdot (R_1 - R_0)]. \quad (21)$$

kde R_0 je rad pruhu pred vytvorením drážky a R_1 je rad pruhu po vytvorení drážky v meranom bode.

Treba si všimnúť, že jediný rozdiel medzi rovnicami (19) a (20) je v znamienku. Smery hlavných deformácií tu môžu byť výraznejšie zviditeľnené pomocou laserového osvetlenia.

Pre vytváranie drážky výrobca dodáva špeciálne zariadenia s vynikajúcim nástrojom, ktoré túto činnosť zdokonaľuje. Vyriešená je i otázka chladenia miesta rezu a teda je vylúčená možnosť zanesenia nevhodného dvojlomu.

NIEKTORÉ POSTREHY Z DOTERAJŠÍCH SKÚSENOSTI S APLIKÁCIOU PHOTOSTRESS

Výrobca zariadenia zdokonalil systém pre odlievanie fólií, tým že oproti predchádzajúcim modelom je odlievacia doska vyhrievaná a tak je dostatočne zabezpečená regulácia teploty. Túto skutočnosť možno vysoko pozitívne hodnotiť i z dôvodu rešpektovania technológie tvorby definovanej v manuáli a ďalších buletinách výrobcu. Nemožno však byť spokojný s programovými produktmi, ktoré tvoria súčasť dodávky zariadenia minimálne z dvoch dôvodov. Komerčný program neobsahuje okrem tzv. slitting metódy ani len postup pre separáciu prostredníctvom separačného tenzometra a tiež samotné zariadenie zďaleka neposkytuje možnosti, ktoré ma najstarší prístroj M030. Polarizačná jednotka je identická s M030 (s výnimkou konzoly pre upevnenie laseru) a tiež má mechanicky zablokovaný filter pre goniometrickú kompenzáciu. Možno tu vidieť spôsoby ďalšieho rozšírenia funkcií. Je zrejmé, že uplatnenie systému nie je možné pre metódu šikmého osvetlenia. Problémom ostáva tiež skutočnosť, že dodávaná kamera neumožňuje úplne otvorenie LCD monitora a aj verzia 2.0 programu PSCalc[™] dodávaná so systémom neumožňovala deklarovanú činnosť. Po dodaní verzie 2.10 na základe reklamácie na zariadenie sa činnosť sfunkčnila avšak podľa nášho názoru zďaleka nevyužíva potenciálne možnosti jeho nasadenia. Tiež sa nám zdá že výrobca zariadenia prestal byť dôsledný v baliacej technike, ktorá bola vynikajúca predovšetkým pri systémoch M030 a M040.

ZÁVER

Pretože pracovisko autorov disponuje so všetkými uvedenými zariadeniami a tieto zariadenia sú veľmi často využívané, možno konštatovať, že je tu predpoklad pre ich širšie využitie pri riešení úloh výskumu a praxe. V súčasnosti sa mimoriadna pozornosť sústreďuje na ich využitie pri ortotrópných a anizotropných materiáloch. Predtým by sme však chceli využiť tieto získané poznatky, a nami vytvorené programové produkty na separáciu v bode, po čiare a ploche pre systémy M030 a M040 a tieto rozšíriť na najnovší systém LF/Z-2 a s ním dodávaný profesionálny súbor programov včítane PSCalc[™].

Autori ďakujú Vedeckej grantovej agentúre MŠ SR za podporu v rámci riešenia projektov č.1/1073/04 a č.1/2187/05.

LITERATURA

- [1] Measurements Group : *Introduction to Stress Analysis by the PhotoStress Method*. TN 702-01.
- [2] TU Košice : *Meranie deformácií a napätí odrazovým polariskopom Photoelastic 030* – Operačný manuál. 2006
- [3] TU Košice : *Meranie deformácií a napätí odrazovým polariskopom Photoelastic 040* – Operačný manuál. 2006
- [4] TU Košice : *Odrasový polariskop LF/Z-2* – Operačný manuál. 2006