

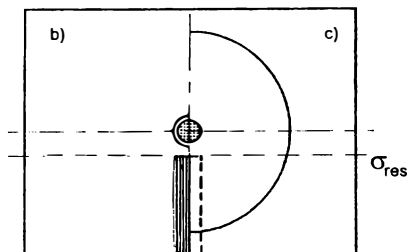
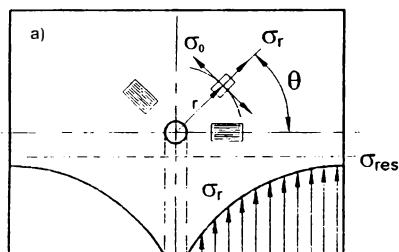
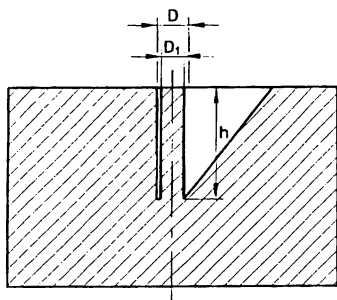
**EXPERIMENTAL ANALYSIS OF RESIDUAL STRESSES BY MEANS OF
MICROSCOPIC METHODS OF STRAIN MEASUREMENTS.****EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA VNITŘNÍCH PNUTÍ S POUŽITÍM
MIKROSKOPICKÝCH METOD MĚŘENÍ DEFORMACÍ**

BERKA L., SOVA M., RÚŽEK M., FISCHER G.

Summary. Improvements in the technological processes for making materials, microparts and devices and for developing them is more likely, when expertise on the magnitude of strains and stresses in the microvolume exists. Many micromethods of strain measurement have been developed for this purpose during the last fifteen years. We have now embarked upon application of the methods to determination of residual stresses, as ones permit to measure the strains in a much small area where the state of strains is sufficiently homogeneous. It is therefore convenient to use for the determination of residual stresses the procedure of a ring cutting and to measure the released strain at the top of central column. The results of the analysis of residual stresses in a polymer composite floor surface are presented.

Úvod. Součástí napjatosti těles jsou i zbytková /residuální/ pnutí, způsobená technologickými operacemi jako jsou například chlazení, tuhnutí, polymerace, svařování, plasmový nástrik a pod. K jejich stanovení se nejčastěji používají mechanické metody, spočívající v měření deformací vzniklých uvolněním vnitřních pnutí. To se dosahuje vyvrtáním otvoru /hole-drilling method/ nebo prstencové drážky /ring-cutting method/, 1./2. deformace v jejich okolí a z modulu pružnosti materiálu se pak s pomocí klasické teorie pružnosti vypočítá zbytkové pnutí. K naměření deformací se obvykle používají tensometry, které se umísťují co nejblíže k otvoru nebo drážce. Z rozměrových a technologických důvodů však nelze tensometry umístit přímo na hranu otvoru, kde by bylo nejvhodnější uvolněné deformace měřit. Tensometry se tudíž umísťují až v určité vzdálenosti od otvoru /Obr. 1/, takže poskytují hodnoty nižší a také integrální, z plochy na níž jsou nalepeny.

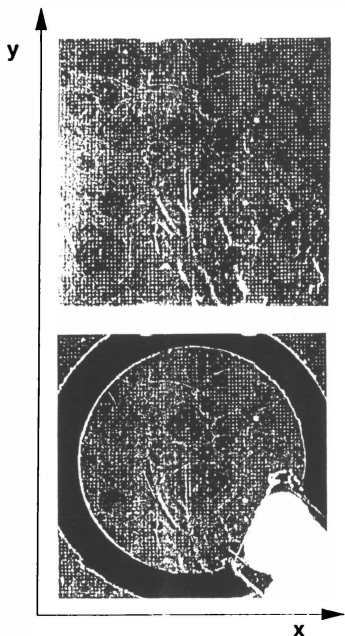
A schematic diagram of a vertical pile foundation. The pile is represented by a vertical rectangle with diameter D at the top. It is embedded into a soil mass, which is indicated by a hatched area. The embedment depth is labeled h . A dashed vertical line extends from the top of the pile through the center of the soil mass.



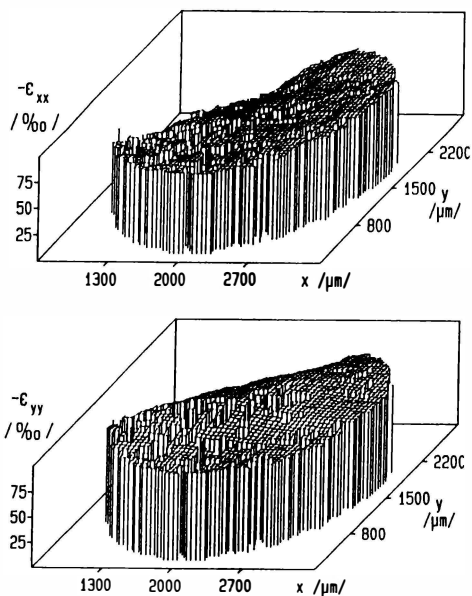
Obr. 2.

a) ⁺Metoda identifikační. Podstatou metody identifikační /vyhodnocení/ souřadnic bodového pole za použití obrazové analýzy /5/ je vytvoření vhodných identifikačních značek v místě, kde se má pnutí měřit. Ve středu dvou vzorků proto bylo s použitím světelné litografie vytvořeno čtvercově uspořádané pole 10.000 zlatých bodů o průměru 30 μm a vzdálenosti mezi středy 50 μm.

V rastrovacím elektronovém mikroskopu /REM/ pak byly při 25-násobném zvětšení opakovaně (20x) pořízeny snímky středové oblasti bodového pole před a po vyříznutí odlehčovacího prstence a elektronicky zapsány do paměti obrazového analyzátoru KONTRON, obr. 3.



Obr. 3.



Obr. 4.

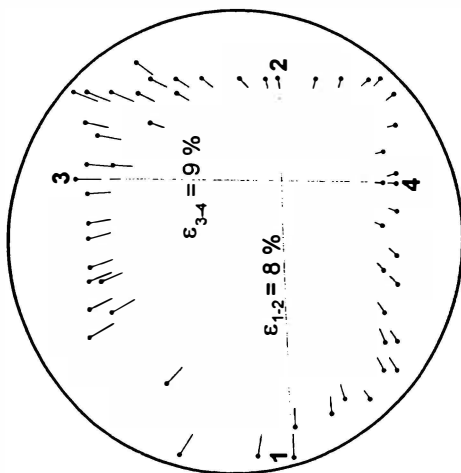
K vyhodnocení deformačních změn byly s použitím standardního programu vypočteny velikosti ploch a polohy těžišť všech nasnímkovaných bodů a provedeno jejich vzájemné přiřazení mezi oběma stavy. K analýze deformací byla použita procedura afinní transformace, zobrazující deformovaný stav na stav počáteční. Z vypočtených souřadnic postupně vybíraných bodů pole před a po odlehčení se počítají koeficienty afinní transformace. Jejich výsledná matice je identická s maticí gradientu deformace v těžišti vybrané množiny bodů. Dalším krokem se již určují hodnoty složek tensoru deformace. V analýze prováděné identifikační metodou se koeficienty afinní transformace počítají z matice devíti bodů identifikačního (bodového) pole, která se vždy se sousedními překrývá o polovinu. Z nich vypočtené složky tensoru deformace vytvářejí pole deformace v dané oblasti, obr. 4. Pro tento postup byl speciálně vyvinut výpočetní program pro PC.

b) Metoda fotogrammetrická. K analýze prováděné fotogrammetrickou metodou byla na povrch vzorku vyryta jemná mřížka, obr. 5. a v její středové oblasti byl při 200 násobném zvětšení pořízen na skleněnou fotografickou desku mikrosnímek. Uvolnění zbytkového pnutí bylo provedeno odfrézováním prstencové drážky, podle obr.2.

Poté byl pořízen druhý mikrosnímek mřížky povrchu vytvořeného sloupku. K vyhodnocení deformací se použilo postupu známého v kartografii pod názvem stereoskopická komparace. To bylo provedeno ve stereokomparátoru, poskytujícím hodnoty počátečních souřadnic a paralax jednotlivých měřičských bodů, jimiž byly průsečíky drážek mřížky. K vyhodnocení deformací z naměřených dat se opět použila afinní transformace z vybraných bodů na obvodu mřížky. Výpočetní program pro PC umožnil získat průměrnou hodnotu deformace v oblasti vymezené vybranými body, obr. 6. Pro složky tenzoru deformace vycházejí tyto hodnoty: $e(11) = -8.36\%$, $e(22) = -7.46\%$, $e(12) = 0.25\%$.



Obr. 5.



Obr. 6.

Závěr. Výsledky získané identifikační metodou potvrdily výchozí předpoklad o rovnoměrnosti rozložení deformace v celé středové oblasti prstence a o homogenitě zbytkového pnutí po tloušťce vrstvy. Z porovnání dosažených výsledků je patrné, že obě metody poskytují srovnatelné hodnoty zbytkových deformací. To potvrzuje jejich přesnost a vhodnost pro použití k dané aplikaci. Tento případ je do jisté míry výjimečný velikostí deformací, které dosahují řádově 10%, což je patrně způsobeno nízkým modulem pružnosti a nelineární závislostí mezi napětím a přetvořením použitého polymerního kompozitu. U materiálů s vyšším modulem pružnosti lze předpokládat tyto deformace o řád nižší, což je stále ještě v rámci přesnosti měření, která podle předchozích testů činí 5% z měřené hodnoty deformace (0,1%). Výsledky tedy potvrdily výchozí předpoklad o vhodnosti použití mikroskopických metod pro měření zbytkových deformací modifikovanou metodou "ring-cutting".

Literatura :

- /1/ Rendler, N.J., Vigness, I., Hole-drilling strain - gage method of measuring residual stresses. Exp. mech., 6 (1966), p. 577 - 586
- /2/ Kühnert, R., Michel, B., Moire Techniques by Means of Scanning Electron Microscopy. Phys. State Solids (a), 89, (1985), p.163 - 165
- /3/ Dawidson, D. L., The observation and measurement of displacements and strain by stereoimaging. Scanning Electron Microscopy (1979 II.) p. 79 -86.
- /4/ Hendriks, M. A. N., Identification of the Mechanical Behavior of Solid Materials. PhD Thesis TU Eindhoven ISBN 90 - 386 - 0041 - 0
- /5/ Fischer, G., Crostack, H. - A., Messung von Dehnungsfeldern in REM mittels Objektrasterverfahren. Tagung des Arbeitskreises - REM in der Materialprüfung, Kassel 1. - 3.4. (1992).
- /6/ Berka, L., Růžek, M., Analysis of Microdeformations in a Structure of Polycrystals. J. Mater. Sci., 19 (1984), 5., p. 1486 -1495.

Ing. Ladislav BERKA, CSc.

Doc. Ing. Miroslav RŮŽEK, CSc.

Ing. Miloš SOVA, CSc.

Fakulta Stavební ČVUT, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Tel. 02/24354867, Fax. 02/24353845

Dr. Gottfried FISCHER

Fakultät Maschinenbau TU Dortmund, Emil-Figge-Strasse 74

D-4600 Dortmund 50, Tel. 0049/231/7554781, Fax. /231/7554497