

KVANTITATIVNÍ SROVNÁNÍ TENZOMETRICKÝCH METODIK**QUANTITATIVE COMPARISON OF STRESS EVALUATION METHODS**Nikolaj Ganev¹, Jiří Dejmal², Stanislav Holý³, Ivo Kraus⁴**Abstract:**

The intention of the contribution is to present results of evaluation of a given state of internal stresses by using three different methods for stress analysis: X-ray diffraction and strain gauge experimental methods and the computational "finite element method". After taking into account the inaccuracy of the measuring techniques used it can be state that all three methods applied enable to obtain results corresponding closely both qualitatively and quantitatively.

Klíčová slova: napětí, odporová tenzometrie, rentgenová tenzometrie, metoda konečných prvků

Úspěšnost a věrohodnost konkrétní tenzometrické metody je dána nejen povahou analyzovaného polykrystalického objektu (kov, keramika, látka feromagnetická apod.), ale i tím, jsou-li požadovány údaje relativní nebo absolutní. Pokud jde o kvantitativní souhlas výsledků získaných různými metodikami, záleží na tom, jak jsou respektovány odlišné podmínky, za nichž byly deformace vyvolané napětím stanoveny. Žádnou tenzometrickou metodou není totiž určováno napětí, ale jen deformace, často transformované na veličiny jiné fyzikální povahy (elektrické, magnetické, optické, akustické aj.). Cílem tohoto příspěvku je ukázat, jak spolu navzájem korespondují výsledky měření dané povrchové makroskopické napjatosti, jestliže ji stanovíme různými „povrchovými“ tenzometrickými metodami, a sice rentgenograficky, výpočtovou metodou konečných prvků (MKP) a pomocí odporové tenzometrie.

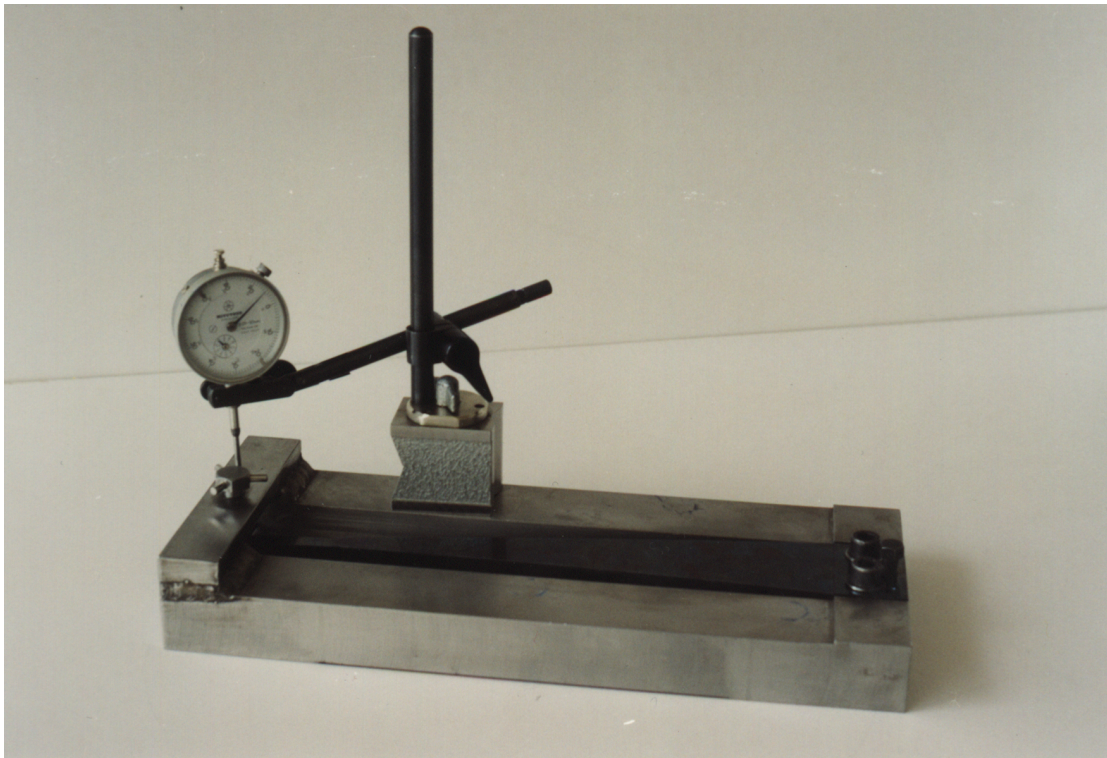
Charakteristika zkoumaného objektu

Napjatost byla vyvolaná deformačně ohybem plochého, na jedné straně vetknutého nosníku stálé pevnosti o délce 300 mm, tloušťce 10 mm a šířce, která se spojitě měnila z hodnoty 10 mm až na 55 mm. Elastický ohyb byl realizován ve speciálně zkonstruovaném zatěžovacím přípravku (obr.1), umožňujícím jak rtg. difrakční měření, tak i aplikaci tenzometrické růžice před odvrtním otvoru. Údaje získané difrakční metodou jsou superpozicí napětí vložených (ohybových) a zbytkových – generovaných tepelným zpracováním nosníku a jeho povrchovou úpravou.

¹ Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze, Břehová 7, 115 19 Praha 1, ganev@troja.fjfi.cvut.cz, kraus@troja.fjfi.cvut.cz

² Žďárské strojířny, a.s., Strojířenská 6, 591 71 Žďár nad Sázavou, j_dejmal@mx.zdas.cz

³ Fakulta strojní ČVUT v Praze, Technická 4, 166 07 Praha 6, holys@fsid.cvut.cz



Obr.1 Zatěžovací přípravek s indikátorem velikosti průhybu nosníku

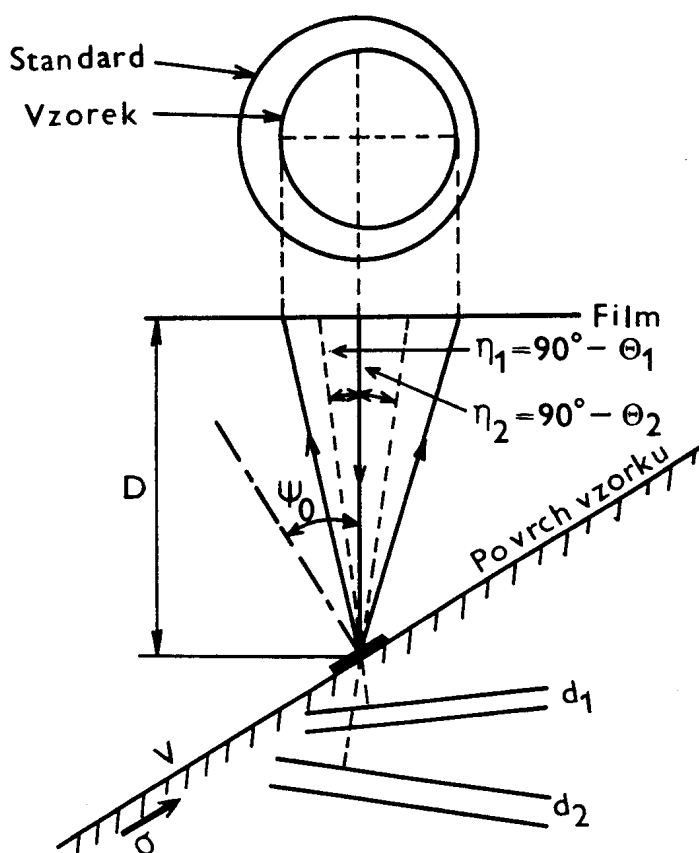
Použité tenzometrické metody

Při použitím uspořádání rentgenografické tenzometrické metody jedné expozice bez referenční látky [1] dopadal svazek P primárních paprsků CrK_α vycloněných cylindrickým kolimátorem o průměru 1,7 mm na povrch vzorku pod úhlem $\psi_0 = 45^\circ$; záření bylo reflektováno systémem rovin $\{211\}$ pod úhlem $\Theta_{211} = 78,06^\circ$ a pak detekováno na filmu umístěném ve vzdálenosti $D = 46$ mm od ozářeného povrchu vzorku V (obr. 2 a 3); mřížkové deformace byly přepočteny na napětí pomocí rentgenografické elastické konstanty $\frac{1}{2}s_2 = 5,76 \cdot 10^{-6}$ MPa; hodnoty napětí, stanovené v pěti bodech na horní lici nosníku, nejsou zatíženy chybou větší než 40 MPa.

Odporové tenzometry byly použity jednak jako referenční, snímající deformaci na obou lících nosníku stálé pevnosti ke stanovení vnesené napjatosti pro verifikaci výsledků semidestruktivní odvrtávací metody, jednak v podobě tenzometrické růžice pro indikaci vnitřních napětí při odvrtávací metodě samé. Referenční tenzometry byly orientovány podélně a umístěny jak na spodní, tak i na horní lici nosníku. Signály byly snímány odděleně a jejich rozdíl činil 0,4 % měřené hodnoty, což se dá považovat z hlediska tenzometrie za shodný výsledek. Relativní chybu tenzometricky určených napětí je z důvodu rozptylu hodnot materiálových konstant možno pro daný případ odhadnout na 7 %. Tomu odpovídají pak 6% rozdíly podle [3].

Pro semidestruktivní metodu odvrtávací byly tenzometrické růžice RY 61-1,5-120 aplikovány na horní lici předeprátého nosníku. Vnesená napětí byla odvozena z deformace konce nosníku f a při odvrtávání byla posuzována jako napětí zbytková. Odvrtaný otvor průměru 1,5 mm sahal do hloubky 1,8 mm. Bylo tedy dosaženo saturovaného stavu podle [2]. Hodnoty uvolněných deformací byly odměřeny statickou tenzometrickou aparaturou Autolog

2005. Pro výpočet zbytkových napětí byly použity vztahy podle [2] s tím, že za hodnoty konstant A a B byly dosaženy přesnější hodnoty získané vlastním cejchováním podle [3], respektující skutečnost, že otvor není průchozí.



Obr.2 Schéma použité rentgenografické tenzometrické metody jedné expozice

Velikost napětí byla volena ve dvou úrovních: $\sigma_{\text{HMH}} < 0.6 \sigma_k$, $\sigma_{\text{HMH}} > 0.6 \sigma_k$. Při větších průhybech konce nosníku f , a tedy i vyšším namáhání, dochází při odvrtávání k plastizaci okolí vývrtu a zjištěné hodnoty je nutno korigovat podle [3] již pro vnesený průhyb $f=10$ mm. Vnesená napjatost byla určována podobně jako u rentgenografické metody.

Výsledky měření a výpočtů

Hodnoty povrchových napětí v podélném směru na horní lici testovaného nosníku (stanovené experimentálně i vypočtené MKP) jsou uvedeny v tabulce 1; rentgenograficky získané hodnoty byly získány z mřížkových deformací krystalků v povrchové vrstvě o tloušťce cca 5 μm .

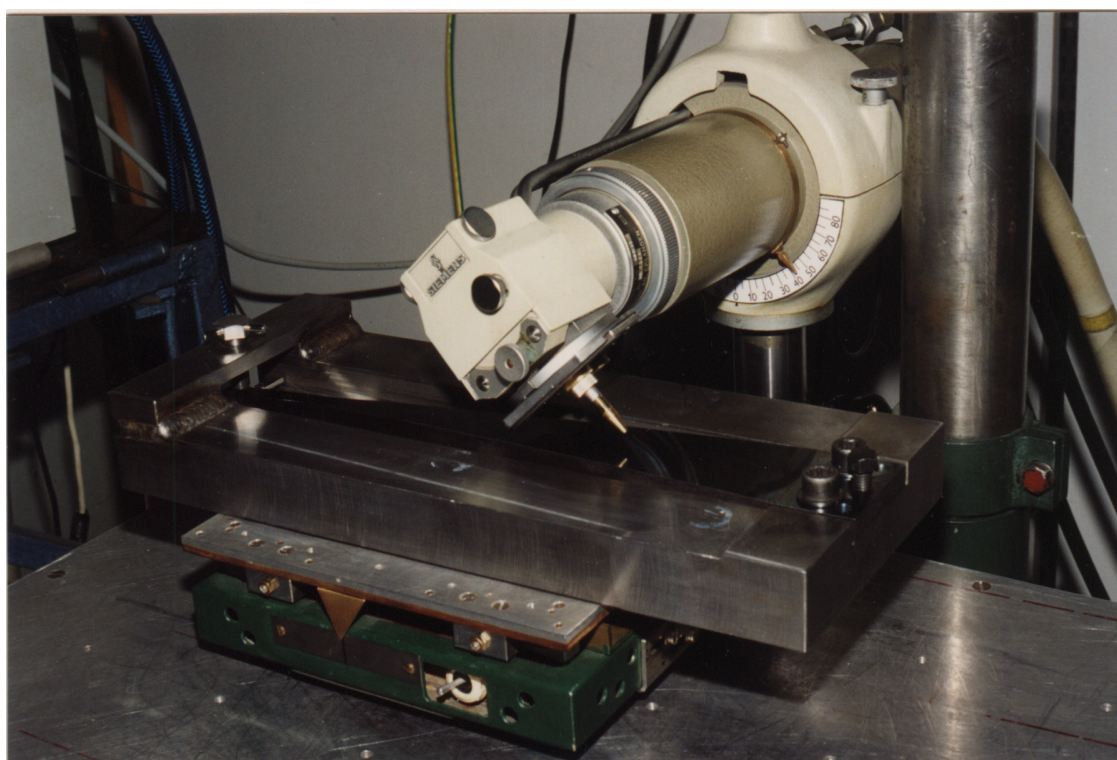
Závěry

Na základě uvedených údajů lze konstatovat, že všechny čtyři metody použité ke stanovení vložné nebo zbytkové povrchové napjatosti umožňují získat informace shodující se jak kvalitativně, tak i kvantitativně.

Tabulka 1

Hodnoty průhybu f (mm), rentgenograficky určená zbytková napětí σ_z (MPa), součet napětí zbytkových a vložených σ_{z+v} (MPa), napětí vložená σ_v (MPa), napětí σ_{OT} (MPa) zjištěná odvrtním, napětí σ_{TENZ} (MPa) stanovená odporovými tenzometry nalepenými na povrch nosníku a napětí σ_{VYP} (MPa) vypočtená metodou konečných prvků

f	σ_z	σ_{z+v}	σ_v	σ_{OT}	σ_{TENZ}	σ_{VYP}
0	-239	-239	0	0	0	0
5	-239	-119	120	143,2	112,7	112,0
10	-239	-20	219	241,4	221,1	224,4



Obr.3 Uspořádání rentgenografického difrakčního experimentu

Literatura

- [1] Kraus I., Ganey N.: Difrakční analýza mechanických napětí. Ediční středisko ČVUT, Praha 1995
 - [2] Technical Notes TN-503-3 fy Measurement Group, Inc.: Measurement of Residual Stresses by Hole-Drilling Strain Gage Method
 - [3] Dejmal J.: Aplikace moderních metod experimentální analýzy napětí pro určování vnitřních pnutí, dis. práce ČVUT fakulta strojní, září 1999
- Tato práce je dílčím výsledkem řešení projektu podporovaného GAČR (grant č. 106/98/0476)*