

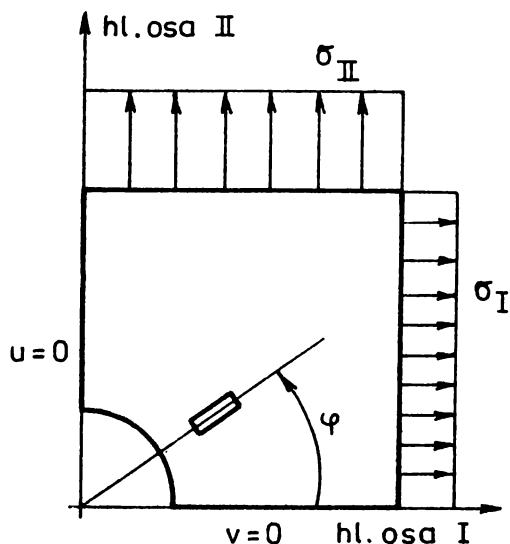
STANOVENÍ ZBYTKOVÝCH NAPĚTÍ ODVRTÁVACÍ METODOU PŘI LOKÁLNÍM ZPLASTIZOVÁNÍ OKOLÍ OTVORU

Petruška, J., Charvát, P., Vlk, M.

Katedra mechaniky těles, FS VUT Brno, Technická 2
616 69 Brno

Matharova odvrtávací metoda [1], [2] je široce využívána v průmyslové praxi při určování zbytkových napětí konstrukcí. Její použitelnost je však omezena podmínkou elastického stavu materiálu v okolí odvrtaného otvoru, zahrnující oblast nalepené tenzometrické růžice. To platí jak pro její variantu vycházející z Kirschova [3] analytického řešení [4], tak i pro variantu využívající experimentálně stanovených konstant [5]. Toto omezení je významné; je známo, že např. při jednoosé napjatosti dojde díky koncentraci napětí k plastickým deformacím okolí otvoru již při nominálním napětí dosahujícím třetiny meze kluzu. Při větší plastické oblasti poskytuje klasická odvrtávací metoda nadhodnocené výsledky. Náplní tohoto příspěvku je návrh a ověření takového vyhodnocení naměřených hodnot, které rozšiřuje použitelnost odvrtávací metody i pro takové úrovně zbytkových napětí, kde dojde po odvrtání k lokálnímu zplastizování okolí otvoru.

Podrobněji se tímto problémem zabývá práce [6], která však vychází z předpokladu, že napjatost v okolí otvoru je blízká jednoosé. V tomto příspěvku předkládáme obecnější postup, který neklade žádné apriorní předpoklady o charakteru napjatosti. Základní myšlenka spočívá ve srovnání reálně naměřených hodnot přetvoření v okolí otvoru s hodnotami získanými pružně plastickým výpočtem, který numericky simuluje proces odvrtání. Vzhledem k symetrii vůči hlavním osám je numerické řešení uskutečněno na oblasti, která odpovídá čtvrtině okolí otvoru - viz obr. Vnější hranice oblasti je namáhána nominálními hodnotami hlavních napětí σ_x , σ_y . Proces odvrtání otvoru je simulován postupným potlačením silových okrajových podmínek na obloukové hranici řešené oblasti z výchozího stavu, který odpovídá homogenní napjatosti před odvrtáním, až na nulu v posledním přírůstku, což odpovídá plně odvrtanému otvoru. Výsledkem numerického řešení je pole přetvoření nad celou oblastí ve všech přírůstcích, můžeme tedy snadno určit i numericky simulovaná "tenzometrická" přetvoření v těch místech a směrech, kde by při skutečném experimentu byly nalepeny tenzometry. Tuto množinu



hodnot budeme označovat jako výpočtová přetvoření $\underline{\varepsilon}'$, při vyšším namáhání má v sobě zahrnutu i plastickou složku. Opakováním numerického řešení okolí otvoru pro různé vzájemné kombinace hodnot σ_x , σ_y s dostatečně jemným krokem získáme množinu diskrétních výpočtových přetvoření $\underline{\varepsilon}' = \underline{\varepsilon}'(\sigma_x, \sigma_y, \varphi)$ kde φ je dle obr. úhel mezi hlavním směrem I a polohou fiktivního tenzometru. Etapa vytváření množiny $\underline{\varepsilon}'$ opakovaným pružně plastickým výpočtem je časově náročná, ale při současném hardwarovém a softwarovém vybavení zvládnutelná [7].

Při vyhodnocení naměřených hodnot postupujeme tak, že k přetvořením ε_1 , ε_2 , ε_3 tenzometrické růžice vyhledáme z množiny výpočtových přetvoření $\underline{\varepsilon}'$ takovou trojici ε'_1 , ε'_2 , ε'_3 , pro kterou je odchylka skutečných a výpočtových přetvoření ve zvolené normě minimální. Určená trojice ε'_1 , ε'_2 , ε'_3 je výsledkem některé z variant numerického výpočtu a proto známe hlavní napětí, která ji vyvolala, i její natočení vůči hlavním osám. Takto určené hodnoty σ_x , σ_y a φ jsou hledanými parametry uskutečněního experimentu. Rozsah příspěvku bohužel neumožňuje blíže rozvést některé důležité detaily algoritmu jako hodnocení jednoznačnosti výsledku, zahrnutí konečných rozměrů tenzometru nebo korekci na změnu materiálových parametrů; odkazujeme zde na práci [8].

Navržený algoritmus byl testován vyhodnocením reálných experimentů a srovnáním s výsledky dosaženými při použití klasických vyhodnocovacích vztahů. Některé z výsledků jsou uvedeny v tabulce. Jak je zřejmé, pro nižší úrovně zbytkových napětí $\sigma_{red} / \sigma_k < 0,5$ se dosahuje dobré shody s klasickým vyhodnocením jak v hodnotách σ_x , σ_y , tak v hlavních směrech. Pro vyšší úrovně namáhání poskytuje dle očekávání nově navržený algoritmus fyzikálně opodstatněné nižší hodnoty hlavních napětí. S ohledem na tyto výsledky je možno navržený algoritmus považovat za vhodnou alternativu vyhodnocení experimentu, která koriguje v oblasti vyšších namáhání nadhodnocené výsledky klasických postupů.

změřeno [-]			určeno klasicky [MPa]			σ_{red} / σ_k	navržený algoritmus [MPa]		
ε_1	ε_2	ε_3	σ_x	σ_y	φ		σ_x	σ_y	φ
64,	171,	132	-75,	-181,	147	0,31	-95,-181,	145	
136,	21	67	-75,-190,		57	0,33	-95,-190,	60	
-197,	-272,	9	258,	-13,	30	0,53	277,	0,	30
147,	366,	308	-191,-402,		150	0,70	-190,-380,	150	
856,	90,-70		-145,-860,		73	0,94	0,-663,	70	

Literatura

- [1] Mathar, J., Arch. Eisenhüttenwesen 6, 1932, No.6
- [2] Vlk, M., Sborník sem. "Vlastní pnutí v ocelových konstrukcích", Praha, 1978
- [3] Kirsch, G., Z.VDI 42, 1898, No.29
- [4] Soete, W., Vancrombrugge, R., Proc.SESA 13, str.17, 1950
- [5] Rendler, N.J., Vigness, I., Experimental Mech.6, str.577, 1966
- [6] Havlůj, V., Kand.disertační práce, ČVUT Praha, 1981
- [7] Petruška, J., Sborník semináře IVS MKP, Zvolen, 1988
- [8] Charvát, P., Dipl. práce, kat.mechaniky FS VUT Brno, 1989