

MĚŘENÍ ZBYTKOVÝCH NAPĚTÍ ODŘEZÁVACÍ METODOU

P. Šarbořt, SVÚSS Praha

I. Plundrová, SVÚSS Praha

V některých případech měření zbytkových napětí je neekonomické nebo technicky obtížné aplikovat nejběžnější metody měření zbytkových napětí (odvrtávací; odstraňování vrstev; Sachsova atd.). Při respektování teoretických předpokladů řešení lze v některých případech velmi výhodně využít odřezávací metodu.

Předpokládáme nosník namáhaný rovinnou napjatostí, kde směr jednoho hlavního napětí je shodný s osou nosníku a směr druhého hlavního napětí je shodný s osou y . Předpokládáme gradient napětí $\sigma_y(h)$ a $\sigma_x(h)$ po hloubce (obr. 1). Po provedení řezu kolmého k ose x do hloubky se původní napětí uvolní a bude působit na materiál v okolí řezu jako vnější zatížení. Toto zatížení vyvolá povrchovou deformaci, kterou registrujeme tenzometrem, nalepeným blízko řezu. Velikost této deformace závisí pouze na velikosti napětí $\sigma_x(h)$ a zcela nezávisí na velikosti napětí $\sigma_y(h)$ L_1 ; L_2 . Předpokládáme gradient napětí $\sigma_x(h)$ po hloubce ve tvaru

$$\sigma_x(h) = \sum_{i=0}^m S_i \cdot h^i \quad (1)$$

po provedení řezu do hloubky h lze předpokládat povrchovou deformační odezvu $\epsilon_x(h)$ ve tvaru:

$$\epsilon_x(h) = \sum_{i=0}^m \frac{1}{E} \cdot S_i \cdot C_i(h) \quad (2)$$

kde $C_i(h)$ je "konstanta deformačního přenosu".

Při měření zbytkových napětí tedy postupujeme tak, že naměřené deformace $\epsilon_x(h)$ při různých hloubkách řezu zpracujeme se znalostí konstant $C_i(h)$ do tvaru polynomu (2). Dosazením členů S_i polynomu (2) do rovnice (1) dostaneme velikost a gradient hledaného napětí $\sigma_x(h)$. Pro ověření teorie byl zvolen stupeň polynomu 8; tj. napětí neměnné po hloubce. Ověření možnosti měření gradientu napětí po hloubce dosud není skončeno.

Numerické řešení konstant

Numerické řešení konstant vycházelo z výpočtu deformčního pole na povrchu vzorku. Síť konečných prvků byla modelována oblast 30x70 mm v okolí řezu o hloubkách 2; 4; 6; 8 a 10 mm. Do výpočtu bylo zadáno tahové napětí 100 MPa; $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa a $\mu = 0,3$. Numerická analýza byla provedena programem popsaným v lit. 3, přičemž byly použity sítě se 408 izoparametrickými prvky s lineární aproximací složek posunutí v oboru jednotlivých elementů. Na základě vypočtených posuvů se určí deformace jednotlivých elementů a z nich vyplývající napětí v těžištích prvků. Z těchto napětí byly vypočteny v jednotlivých bodech konstanty $C_0(h)$ a jejich průběh byl aproximován spline-funkcí. Výsledky jsou zobrazeny na obr. 2. Pro konkrétní snímač lze konstantu vyjádřit vztahem

$$C_0(h) = \frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} C_0(h; x) dx \quad (3)$$

Řešením úlohy v poli rovinného napětí a rovinné deformace byla ověřena nezávislost deformace $\epsilon_x(h)$ na velikosti napětí $\sigma_y(h)$.

Experimentální ověření konstant

Experimentální ověření konstanty $C_0(h)$ bylo uskutečněno na dvou vyžíhaných tyčích rozměru 30x70x350 mm vyrobených z oceli 11 50C. Namáhání vzorku uvolněným napětím bylo nahrazeno inverzní úlohou tj. zatěžováním vzorku ze zářezem. Na každou tyč byly nainstalovány tenzometry SSM 120, SM 120 a S-9-A vždy po dvou snímačích od každého typu. Vzorky byly namáhány stupňovitě tahem silou 210 kN. Řez byl proveden ruční pilou do hloubky 2; 4; 6; 10 a 12 mm. Konstantu $C_0(h)$ lze vyjádřit z naměřených deformací

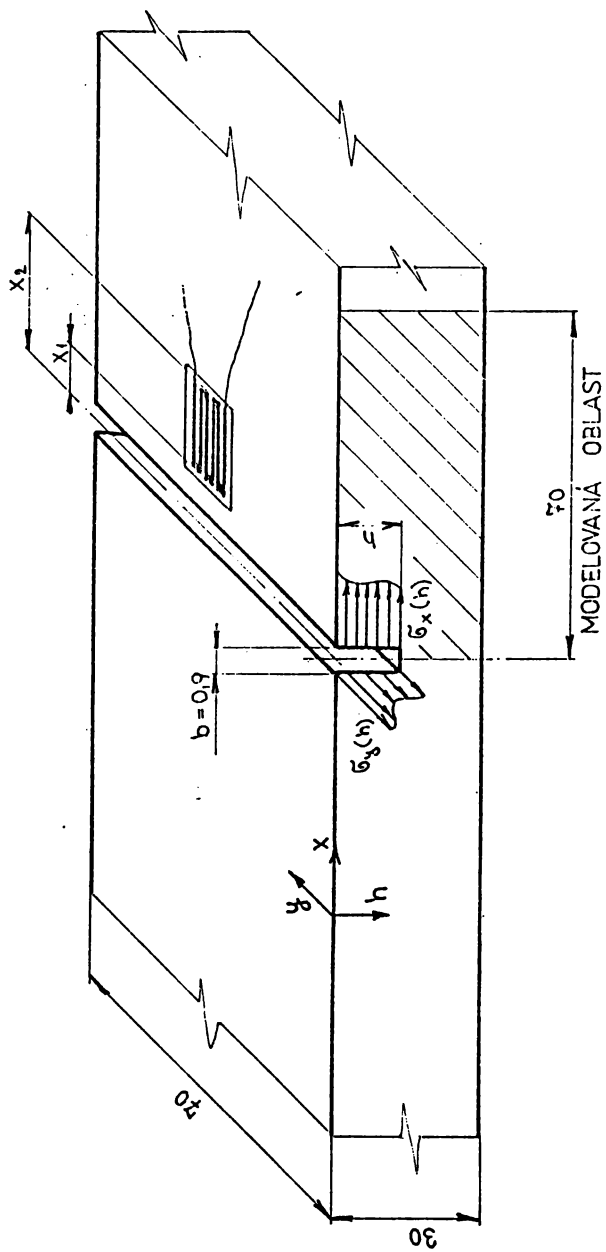
$$C_0(h) = \frac{\epsilon(h) \text{ bez zářezu} - \epsilon(h) \text{ se zářezem}}{\epsilon(h) \text{ bez zářezu}} \quad (4)$$

Závěr

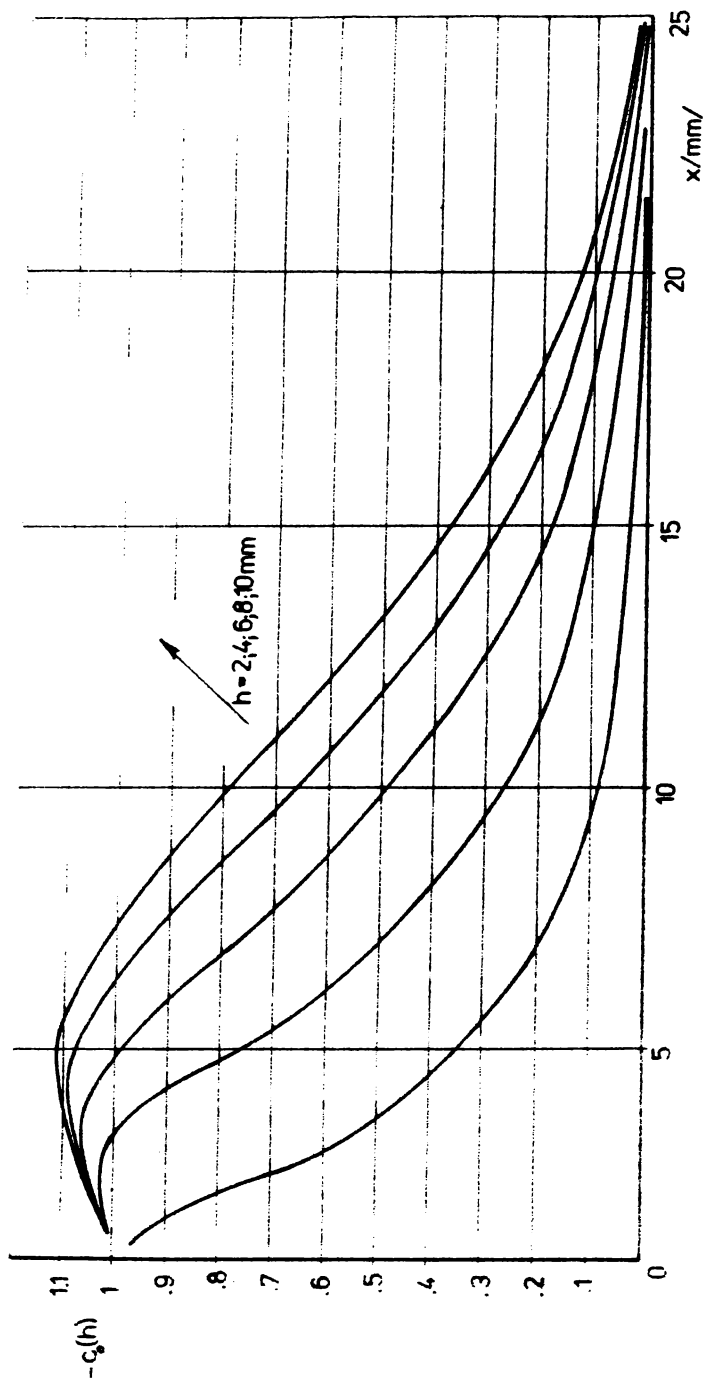
Srovnání experimentu s numerickým řešením vykazuje poměrně dobrou shodu výsledků. Při měření zbytkových napětí na protlačovaných polotovarech byla porovnána metoda řezu s odvrtávací metodou. Výsledky vykazovaly dobrou shodu. Při praktických aplikacích se odřezávací metoda osvědčila velmi dobře v případě protlačovaného tyčového materiálu, kde byl řez nahrazen zápichem. Hloubka zápichu 2 mm přitom nepřevýšila přídavek na hrubování a polotovary z velmi drahé slitiny mohly být dále použity. Závěrem lze konstatovat, že při respektování předpokladů odvození lze tuto metodu v mnoha případech úspěšně a relativně snadno aplikovat .

Literatura

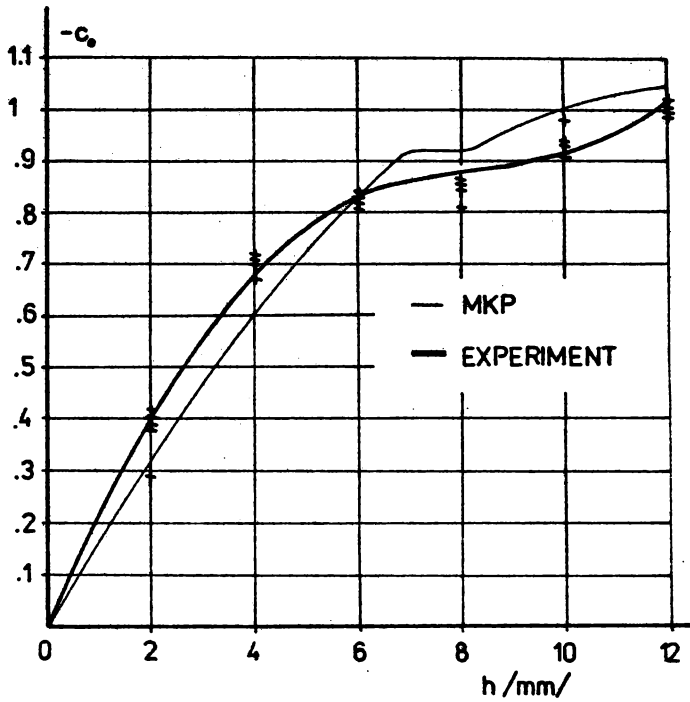
1. Šarbort P. : Ověření odvrtávací a odřezávací metody pro stanovení makroskopických vnitřních pnutí
Výzkumná zpráva SVÚSS 88-02028
2. Michajlov G.N. : Ostatočnyje naprjaženijsa v zagatovkach i detaljach krupnych mašin
VÚ Uralmašzavoda, Sverdlovsk 1971
3. Plundrová I. : Směrnice pro stanovení K-faktoru a I-integrálu u charakteristických vad v kovových materiálech metodou konečných prvků
Výzkumná zpráva SVÚSS 78-02017



Obr. 1 Zkušební a výpočtové těleso



Obz. 2 Průběhy konstanty



Obz. 3 Porovnání výpočtu s experimentem
pro snižáč S-9-A SVÜSS