

VYŠETROVANIE KONEČNÝCH PLASTICKÝCH DEFORMÁCIÍ
KOVOV MIKROŠTRUKTURÁLNOU METÓDOU

Doc. Ing. Karol Polák CSc
SVŠT Strojnícka fakulta B r a t i s l a v a

Anotácia

Mikroštruktúrálna metóda vyšetřovania lokálnych plastických deformácií umožňuje získať predstavu o rozložení plastických deformácií v objeme telies bez porušenia spojitosti. Spojitosť je vo väčšine známych metód porušená /metóda drôtková, kolíková, metódy delených objemov a pod./. Predmetná metóda využíva a aplikuje princípy mechaniky spojitých telies v mikroštruktúre kovov.

Základné predpoklady tejto metódy sú spojitosť štruktúry tvaru gulí, ktorá sa v procese plastickej deformácie mení na elipsoidy. Podľa veľkosti a smerov hlavných poloosí elipsoidu môžeme určiť smery a veľkosti hlavných deformácií.

Nehomogénne rozloženie plastických deformácií v procesoch pretvorenia je jav všeobecný. Naproti tomu homogénne rozloženie v procesoch pretvorenia je jav ojedinelý. Preto vyšetrenie lokálnych napäťodeformačných stavov je základnou podmienkou experimentálnych štúdií v teórii plasticity. Dobrou metódou vyšetrenia technologických konečných plastických deformácií kovov je mikroštruktúrna metóda [1,2].

1. Metodické poznámky

Predkladaná metóda si vyžaduje prácu prostredníctvom modelového kovu s rovnorodou, rovnomernou a spojitou východiskovou mikroštruktúrou. Veľmi dobre sa osvedčili kovy typu Armco Fe, Behanit v normalizačne žíhanom východiskovom stave. Tento východiskový stav má spĺňať tento predpoklad, t.j. že tvary veľmi blízke gule sa plastickou deformáciou menia na elipsoid, ktorého hlavné poloosy určujú smery a veľkosti hlavných deformácií. V rovine vyšetreného rezu pracujeme vlastne s kružnicou s polomerom gule a elipsou na ktorú sa zmení guľa v dôsledku plastickej deformácie.

2. Štádium literatúry

Na obr.1 je schéma predpokladanej čistočky tvaru kružnice ktorej priemer $d = 2R$, kde R - je polomer rezu gule so stredom O ľubovoľne zvoleným bodom A . Zvolme si pre určitý smer dva ľubovoľné body M_1, M_2 ako aj ich myšlené polohy po plastickej deformácii M_1', M_2' . Zvolený smer zvierá s osou x uhol θ pričom hlavná os elipsy zvierá s osou x uhol θ_0 . Označme si smer $\overline{M_1 M_2} = \rho$ ktorý smer s hlavnou osou elipsy zvierá uhol $\theta_0 - \theta$. N - je priesečník rovnobežiek s hlavnou $2a$ a vedľajšou $2b$ osou elipsy ktoré prechádzajú bodmi M_1', M_2' .

Z geometrie a obr.1 vyplývajú tieto rovnice[1] :

$$M_1'N = M_1'M_2' \cos \theta_0 - \theta = \rho \cos \theta_0 - \theta$$

$$M_1'N = M_1'M_2' \sin \theta_0 - \theta = \rho \sin \theta_0 - \theta$$

z pretvorenia gule na elipsoid bude veľkosť úsečiek $M_1'N / \overline{M_1'N}_0$ pred deformáciou :

$$\overline{M_1'N} / \overline{M_1'N}_0 = \frac{d}{2a} M_1'N = \frac{d}{2a} \rho \cos \theta_0 - \theta$$

$$\sqrt{M_2'N'}_0 = \frac{d}{2b} M_2'N = \frac{d}{2b} \rho \sin / \theta_0 - \theta /$$

Počiatočnú vzdialenosť $\rho_0 = \sqrt{M_1'M_2'}$ určíme z rovnice :

$$\begin{aligned} \rho_0^2 &= \sqrt{M_1'M_2'}^2 = \sqrt{M_1'N'}^2 + \sqrt{M_2'N'}^2 = \\ &= \sqrt{\frac{d}{2a}}^2 \rho^2 \cos^2 / \theta_0 - \theta / + \sqrt{\frac{d}{2b}}^2 \sin^2 / \theta_0 - \theta / \rho^2 \end{aligned}$$

po vynásobení $\frac{1}{\rho^2}$ dostaneme :

$$\frac{\rho_0^2}{\rho^2} = \sqrt{\frac{d}{2a}}^2 \cos^2 / \theta_0 - \theta / + \sqrt{\frac{d}{2b}}^2 \sin^2 / \theta_0 - \theta /$$

Nech je $K = \frac{d^2}{8a^2} + \frac{d^2}{8b^2}$ a $E = \frac{d^2}{8a^2} - \frac{d^2}{8b^2}$

dostaneme tvar :

$$\frac{\rho_0^2}{\rho^2} = K - E \cos 2 / \theta_0 - \theta / \quad /1/$$

Z toho vyplýva, že smer úsečky medzi dvomi ľubovoľnými bodmi materiálu ρ_0 na začiatku ku vzdialenosti v určitom štádiu deformácie $\frac{\rho_0}{\rho}$ je definovaný parametrami K, E /resp. a, b/ a uhlom θ_0 , ktorý určuje smery hlavných osí deformácie.

Takýmto postupom môžeme definovať deformáčny stav určitej kovovej častice /zrna/.

Potom tri hlavné zložky deformácie budú :

$$\epsilon_1 = \ln \frac{2a}{d} = - \frac{1}{2} \ln / K - E /$$

$$\epsilon_2 = \ln \frac{2b}{d} = - \frac{1}{2} \ln / K - E / \quad /2/$$

$$\epsilon_n = \ln \frac{2c}{d} = \ln \frac{c^2}{4ab} = \frac{1}{2} \ln / K + E / + \frac{1}{2} \ln / K - E /$$

kde ϵ_n je zložka vo smere normály k povrchu a môžeme si ju vypočítať zo zákona konštantnosti objemu.

3. Určenie parametrov deformačného stavu

Vopred si musíme definovať východiskovú mikroštruktúru modelového kovu s ohľadom na chemické zloženie a tepelné spracovanie.

3.1 Určenie ρ_0 z východiskovej mikroštruktúry

Vzdialenosť ρ_0 určíme z fotografie mikroštruktúry tak, že na ňu prikľadáme šablónu nakreslenú na priehľadní fóliu /obr.2/. Táto fólia znázorňuje kružnicu vpísanú do mikroštruktúry s nakreslenými priermi s odstupňovaním po uhloch $\theta = 15^\circ$ po celom obvode.

Vzdialenosť ρ_0 nájdeme ako dĺžku úsečky ktorej pretína vzdialenosť 10 zŕn, t.j. vzdialenosť zvoleného počtu zŕn. Tuto vzdialenosť vyšetrujeme po celom obvode kružnice /obr.2/ a hodnoty zapíšeme do tab.I.

Z nameraných hodnôt vypočítame potom priemernú hodnotu

ρ_0 :

$$\rho_0 = \sum_{i=1}^n \frac{\rho_i}{n}$$

Ďalej už predpokladáme, že hodnota ρ_0 bude potom konštantou pre celý modelový kov.

3.2 Určenie ρ z deformačnej mikroštruktúry

Bez mikrofotografie prekládame šablónu a určíme hodnoty ρ_i /vzdialenosť 10 zŕn/ pre $i = 0 + 12$. Namerané hodnoty zapisujeme do tab.II a zároveň si vypočítame potrebné hodnoty pre ďalšie výpočty /pozri postup výpočtu v tab.II/.

3.3 Výpočet sumárnych súčiniteľov

Sumárne súčinitele pre ďalšie výpočty sú :

$$Q_K = \sum_{i=1}^n \frac{\rho_0^2}{\rho^2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^n \cos 2 \theta$$

$$Q_A = \sum_{i=1}^n \frac{\rho_o^2}{\rho^2} \cos 2 \theta$$

$$C_2 = \sum_{i=1}^n \cos 4 \theta$$

ich výpočet veľmi zjednodušuje tab. III.

3.4 Výpočet síčiniteľov

Rovnicu /1/ pre experimentálne určenie deformačného stavu z mikroštruktúry s ohľadom na horeuvedené síčinitele môžeme napísať v tvare [1] :

$$\frac{\rho_o^2}{\rho^2} = K + A \cos 2 \theta \quad /3/$$

Síčinitele K, A vypočítame podľa [1] takto :

$$K = \frac{Q_K / n + C_2 / - 2 Q_A C_1}{n / n + C_2 / - 2 C_1^2}$$

$$A = \frac{Q_K - n K}{C_1}$$

3.5 Priebeh funkcie

Priebeh funkcie /3/ zapíšeme najprv do tab.1V a potom vyná-
šame graf /pozri obr.3/. Pomocou tab.1V alebo obr.3 vyšetríme
hodnoty :

$$/ \frac{\rho_o^2}{\rho^2} /_{\min} \quad ; \quad / \frac{\rho_o^2}{\rho^2} /_{\max} \quad /4ab/$$

Potom pomocou /4ab/ určíme hodnoty hlavných deformácií :

$$\varepsilon_1 = \pm \frac{1}{2} \ln / \frac{\rho_0^2}{\rho^2} / \min$$

$$\varepsilon_2 = \pm \frac{1}{2} \ln / \frac{\rho_0^2}{\rho^2} / \max$$

$$\varepsilon_3 = \pm / \varepsilon_1 + \varepsilon_2 /$$

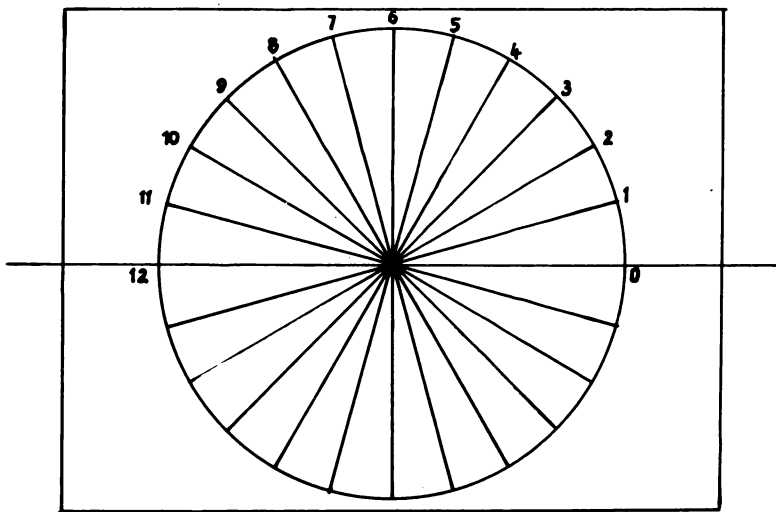
Pomocou hodnôt hlavných deformácií si potom určíme kvalitatívneho ukazovateľa stavu napätosti a intenzitu deformácií.

4. Záver

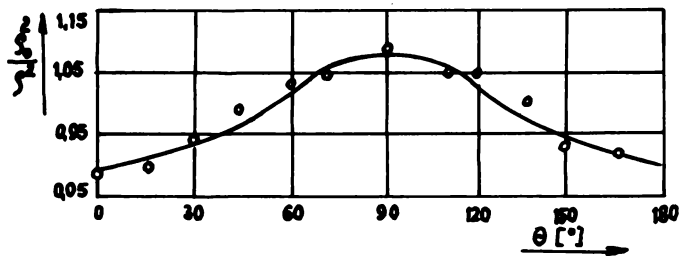
Táto metóda sa osvedčila pri vyšetrovaní rozloženia lokálnych plastických deformácií pri kvázistatickom a dynamickom pechovaní. Rýchlosti tvárnenia sa pohybovali ráčove do 10^2 ms^{-1} . Išlo najmä o vyšetrenie spevnenia povrchových vrstiev na kontaktných plochách [3]. Spracovanie výsledkov v kap.3 sa v súčasnej dobe spracováva programovo pre SAPO, čo veľmi prácu urýchli a dá požadovanú kultúru práce tejto zaujímavej metóde.

L I T E R A T Ú R A

- [1] G.A. Smirnov-Aljašev, V.P. Čikičovskij: Eksperimental'nyje isledovanija v obrabotke metalov davleniem. Mašinostrojenie, Leningrad 1972.
- [2] K. Polák: Teória a metodika tvárnenia, Alfa Bratislava 1972
- [3] K. Polák, J. Božanský: Kovové materiály 3,1X - Bratislava 1971.
- [4] A.B. Fridman a kol.: Izučenie plastičeskoj deformacii i razrušenia metodom nakatanvch setok. Oborongiz, Moskva 1962.



Obr.2. Šablóna pre určenie



Obr. 3 Graf závislosti $\frac{z^2}{2} / /$

Tabuľka I.

Číslo úseku	θ [°]	ρ mm
1	0	
2	15	
3	30	
4	45	
5	60	
6	75	
7	90	
...	...	
...	...	
...	...	

Tabuľka .II.

Postup výpočtu	Číslo úseku					Poznámka
	1	2	3	4	...	
ρ $\lg \rho$ $\lg \frac{\rho}{r_0}$ $\lg \frac{\rho^2}{r_0^2}$ $\frac{\rho^2}{r_0^2}$ $\lg \frac{\rho}{r_0}$						ρ = konšt.

Tabul'ka III.

Porad. číslo	ρ [mm]	θ [°]	ρ^2 / ρ^2	$\cos 2\theta$	$\frac{\rho_0^2}{\rho^2} \cos 2\theta$	$\cos 4\theta$
0 1 ... 12	0	0 15 ... 180				
			Q_K	C_1	Q_A	C_2

Tabul'ka IV.

θ [°]	2θ [°]	$\cos 2\theta$	K	A $\cos 2\theta$	$\frac{\rho_0^2}{\rho^2}$