



VYUŽITIE MATEMATICKÉHO MODELOVANIA DEFORMAČNÉJ ZÓNY ECAP

APPLICATION MATHEMATICAL MODELING OF DEFORMATION ZONES ECAP

Juraj TIŽA

Abstract

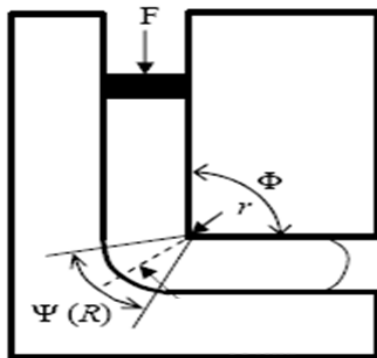
Currently, there are several methods for producing these severe plastic deformation (SPD) materials. One of the ways to prepare them is Equal-channel angular pressing (ECAP). The shape deformation zone of ECAP process was theoretically analyzed. Deformation zones had significant impact on the distribution of deformation in the volume of deformed material. This work also introduced the possibility of mathematical modeling in improving quality and productivity ECAP processes.

Key words

ECAP, severe plastic deformation, deformation zone, simulation process

Úvod

Metódami intenzívnych plastických deformácií (IPD) sa dosahuje zjemnenia zrna pôsobením veľkých plastických deformácií. Základným cieľom týchto metód je zvýšenie pevnostných vlastností, ktoré sú dosahované vďaka ultrajemnej štruktúre s veľkosťou zrna pod úroveň 1 μm . Takéto materiály vykazujú okrem zvýšenia pevnostných vlastností aj vhodné plastické vlastnosti, dobré únavové charakteristiky, odolnosť voči opotrebeniu a iné výhody vyplývajúce z ultrajemnozrnatosti ich štruktúry. V súčasnosti existuje viacero metód na ich získanie. Ultrajemné štruktúry je možné pripraviť metódami založenými na chemických či fyzikálnych princípoch. Metódy IPD sa zaraďujú medzi metódy využívajúce fyzikálne princípy poskytujúce dostatočný výkon v zjemnení zrna, v pomere k ich technologickej a ekonomickej náročnosti. Jedna z metód IPD je uhlové pretláčanie cez kanál rovnakého prierezu (ECAP). Podstatou ECAP procesu je pretláčanie vzorky cez maticu Obr.1, ktorá má kanál zalomený pod uhlom $\Phi = 60^\circ \sim 150^\circ$. Ďalším výrazným parametrom ovplyvňujúcim priebeh plastickej deformácie je uhol vonkajšieho zaoblenia $\psi(R)$ [1,2].

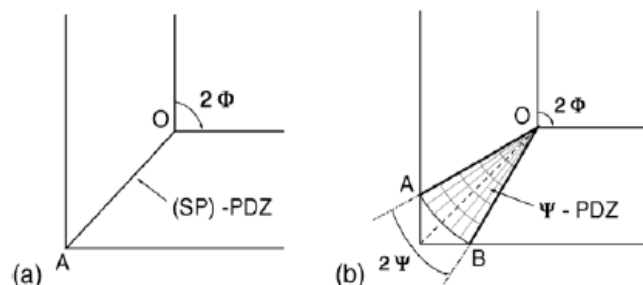


Obr. 1 Schéma matrice ECAP



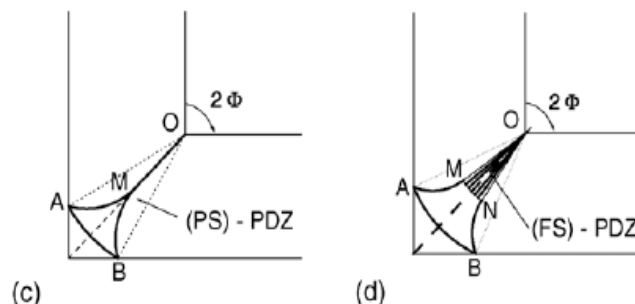
Teoretické modely pásma plastickej deformácie metódy ECAP

Pásmo plastickej deformácie sa nachádza v mieste pretínania kanálov. Teoretické pásma deformačnej zóny sú v literatúre popisované štyrmi modelmi a pre geometriu ECAP matrice $\Phi = 90^\circ$ sú uvedené na obr. 2. Prvý model (obr. 2a) predstavuje Segalov prvotný rovinný variant, ktorý predpokladá konštantnú deformáciu závislú od hlavného uhla. Model ale predpokladá že nedochádza k vytváraniu dutín v miestach styku kanálov, dokonale plastický materiál a nulové trenie. V praxi sa tieto podmienky prakticky nedosahujú, no napriek tomu je daný model vhodný na prvotné priblíženie. Druhý prípad (obr. 2b) predstavuje Iwahashiho vejárovitý tvar ktorý predpokladá konštantnú šmykovú deformáciu ako funkciu uhla ψ . Stoica a Liaw na obr. 2c predstavujú zmiešaný model kde materiál vytvára voľný roh - zaoblenie v mieste pretínania kanálov. V danej oblasti na vonkajšej strane kanála je šmykový mechanizmus deformácie čiastočne nahradený ohybovým. Model predpovedá heterogenitu vznikajúcej deformácie po priereze vzorky na základe zmiešanej deformačnej zóny, ktorá sa skladá z časti ktorá zodpovedá rovinnému modelu a časti s ohybovým mechanizmom deformácie. Model na obr. 2d zahŕňa kombináciu vejárovitej časti PDZ s oblasťou vzniku voľného rohu [3].



Obr. 2a Rovinný model PDZ

Obr. 2b Vejárovitý model - funkcia uhla ψ



Obr. 2c Zmiešaný – a +ohybová časť

Obr. 2d Kombinácia b + ohyb. časť [3]

Tvar PDZ závisí od viacerých faktorov ako sú deformačný odpor pretláčaného materiálu, kontaktné trenie, materiálový tok, protitlak, lisovacia rýchlosť a tvar samotnej ECAP matrice (Φ, ψ) [1,3].

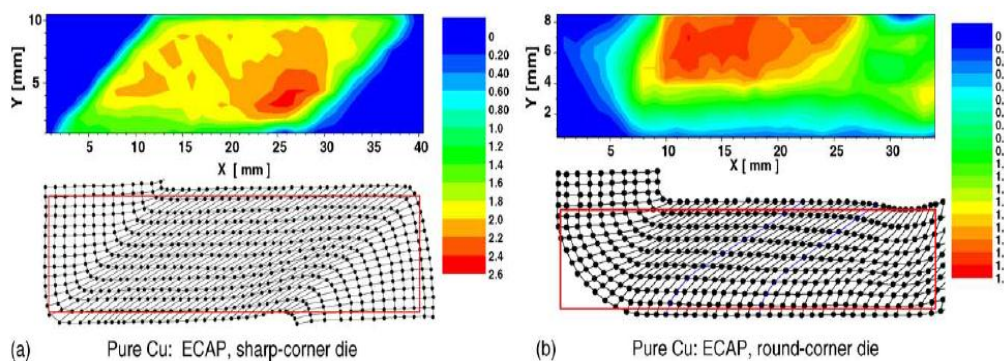
Optimalizácia procesných podmienok

V praxi je často potrebné procesy optimalizovať. Samotnému procesu optimalizácie významne napomáha proces matematického modelovania. Simulácie procesov za pomoci výpočtovej techniky zabezpečujú rýchle spracovanie dát čo nám umožňuje predísť často zdĺhavým skúškam v praxi. Simulácia je experimentálna metóda v ktorej nahrádzame reálny systém počítačovým modelom. Pomocou matematických simulácií sa môže stanoviť vplyv činiteľov v poradí od najdôležitejšieho, teda určujúceho parametra k menej významným parametrom procesov. Na modeli je možné vykonať množstvo experimentov, vyhodnotiť ich,

optimalizovať a výsledky aplikovať na reálny systém. Neexistuje iná “metóda” alebo “teória”, ktorá by umožňovala experimentovať so zložitým systémom ešte predtým ako bol uvedený do prevádzky. Neexistuje iný algoritmus, ktorý by umožňoval za niekoľko minút “prehrať” na počítači zložité procesy, ktoré reálne trvajú rádovo týždne alebo mesiace[4-6].

Optimalizácia a jej princípy môžu byť využívané ako pri optimalizácii jednotlivých nástrojov, celých pracovísk a rovnako aj celých výrobných liniek. Využíva sa pri projektovaní nových procesov ale aj pri zvyšovaní výkonnostnej a kvalitatívnej stránky.

Príkladom využitia matematických metód pre skúmanie pásma deformácie predstavujú simulácie v práci[3]. Výsledky poukazujú na výrazné rozdiely v distribúcii deformácie s použitím jednotlivých modelov. Porovnanie distribúcie efektívnej deformácie pri ECAP spracovaní čistej medi na obr. 3 pre rovinný model a model so zaoblením poukazuje na heterogenitu vnesenej deformácie. Z analýzy je zrejmé, že oblasť vysokých deformácií situovaná v spodnej časti pretlačenej vzorky v prípade zaplnenia matrice (obr. 3a) dosahuje vyšších hodnôt deformácií. V prípade vzniku zaoblenia (obr. 3b) sa deformačné maximá presúvajú do vrchnej časti vzorky a dosahujú nižších hodnôt. To je spôsobené čiastočnou zmenou šmykového mechanizmu deformácie na ohybový v spodnej časti deformačnej zóny[3].



Obr. 3 Mapa efektívnej deformácie po ECAP pretláčaní čistej medi:

(a) Rohová matrica, (b) matrica so zaoblením ψ [3]

Prax ukazuje že pôvodnému modelu sa približujú materiály s nízkym deformačným odporom ako je napr. hliník. Materiály s vyššími pevnostnými vlastnosťami majú tendenciu vytvárať tzv. voľný roh čo mení rozloženej deformácie a čiastočne aj deformačný mechanizmus. Z matematických simulácií vykonaných za účelom štúdia pásma deformácie je zrejmé, že v prípade úplného zaplnenia matrice bez vonkajšieho zaoblenia dochádza v spodnej časti pretlačenej vzorky k zvýšeniu efektívnej deformácie. Uhol $\psi > 0^\circ$ zníži veľkosť plastickej deformácie v oblasti vonkajšieho zaoblenia. V prípade použitia výrazne zaoblenej matrice alebo vzniku voľného rohu (obr. 3b) sa deformačné maximá presúvajú do vrchnej časti vzorky a homogenita deformácie klesá. To je spôsobené čiastočnou zmenou šmykového mechanizmu deformácie na ohybový v spodnej časti PDZ. Uhol ψ , veľkosť vytvoreného voľného rohu, je funkciou podmienok pretláčania a závisí hlavne od vlastností spracovávaného materiálu. Vhodne volená geometria ECAP matrice umožňuje dosahovať homogenitu pri pretláčaní širšieho spektra materiálov[3,7].



Súhrn

Simulácie a analýzy úkonov, metód či celých procesov výrobného procesu sa už dnes stali súčasťou fungovania každého moderného podniku. Na základe týchto analýz je možné zvyšovať ako kvalitu, bezpečnosť ale aj produktivitu samotných procesov. Následné opatrenia pomáhajú podnikom po ich zavedení vyrábať kvalitnejšie, modernejšie, rýchlejšie a v neposlednom rade lacnejšie. Matematické modelovanie za pomoci výpočtovej techniky teda nachádza svoje nezastupiteľné miesto v oblasti praxi a výskumu.

Kľúčové slová

ECAP, intenzívne plastické deformácie, deformačná zóna, matematické modelovanie

Použitá literatúra

- [1] A. ROSOCHOWSKI: *Processing Metals by Severe Plastic Deformation*. In Solid State Phenomena Vols. 101-102 (2005) 13-22
- [2] J. BIDULSKA: *Influence of processing conditions on EN AW 2014 material properties and fracture behaviour*. In Kovove Mater. 46 2008 339–344
- [3] G.M. STOICA et al.: *An analysis of the shear zone for metals deformed by equal-channel angular processing*. In Materials Science and Engineering A 410–411 (2005) 239–242
- [4] J. BÍLIK: *Možnosti využitia výpočtovej techniky v oblasti tvárnenia*. Materiálovotechnologická fakulta STU, J. Bottu. [online]. [cit.2010-05-20]. Dostupné na internete: <http://fstroj.utc.sk/journal/sk/30/30.htm>
- [5] M. ZEMKO.: *Výskum plastických deformácií pomocou MKP*. Dizertačná práca. Technická univerzita v Košiciach, HF, KTK 2006
- [6] M. KVAČKAJ et al.: *Finite element analysis of deformation behaviour in ECAR process*. Acta Metallurgica Slovaca, Vol. 16, 2010, No.2, p. 84-90
- [7] R. KOČIŠKO.: *Design optimisation of the ECAP channel die*. In Acta Metallurgica Slovaca, 13, 2007, (397 - 404)

Kontaktná adresa

Ing. Juraj TIŽA
TU v Košiciach, Hutnícka fakulta
Katedra tvárnenia kovov
Vysokoškolská 4
040 01 Košice
juraj.tiza@tuke.sk