

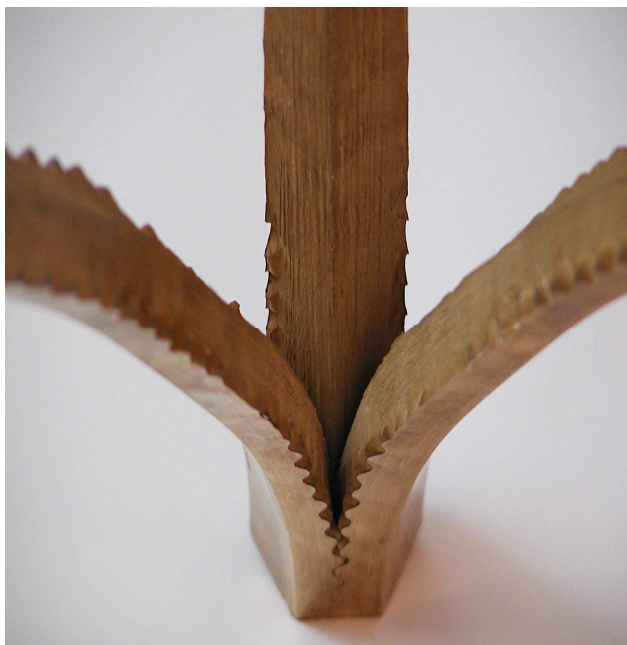
NUMERICAL PREDICTION OF CENTRAL BURSTING IN AXISYMMETRIC COLD DRAWING OF BRASS BAR

P. Skalka, P. Janíček, J. Petruška, B. Maroš

Summary: *The paper deals with problems of the central burst defect prediction in axisymmetric cold drawing of the brass bar. The problem is analyzed numerically by using 2D finite element analysis (FEA). The quantitative influence of the process parameters (the diameter reduction ratio, the die semi-angle, the friction coefficient) on the stress – strain history are studied and qualitative comparison with some available experimental data are given. The paper presents the results of the geometry effect on the occurrence of the central bursting.*

1. Úvod

Při výrobě mosazných tyčí, které se vyrábí z ingotu dopředným protlačováním a následně protahováním na konečný rozměr, vznikají vícenásobné lomy s velmi složitými, tvarově téměř deterministicky popsányými lomovými plochami. Protažené tyče se většinou „rozlomí“ na tři samostatná tělesa, jejichž podélné okraje mají do hloubky přibližně 5mm tvar sinusové lomové plochy (obr.1). V rámci řešení tohoto problému byly provedeny analýzy struktur a chemického složení mosazné slitiny a metodou konečných prvků deformačně - napěťové analýzy simulující proces protahování. Na základě těchto analýz pak byla formulována hypotéza o možných příčinách, které vedou k porušení soudržnosti těchto tyčí.

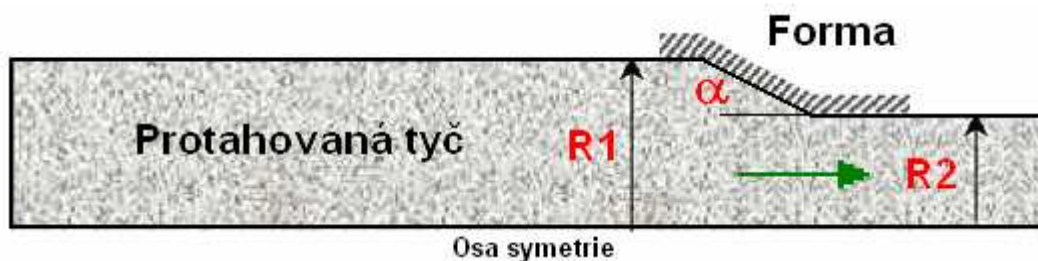


Obr.1 Lom mosazné tyče

2. Technologie výroby mosazných tyčí

Mosazné tyče se vyrábí dopředným protlačováním, při kterém se z mosazného ingotu vytváří tyč určitého profilu a rozměrů. Tento proces probíhá při teplotách 700-750°C s rychlostí protlačování 54mm/s. Bude-li dodržena teplota protlačování v tomto rozmezí, dá se předpokládat, že po protlačení nebude v tyči zbytková napjatost. Takto vyrobená tyč se dále kalibruje protahováním na konečné rozměry. Protahování probíhá za pokojové teploty s rychlostí 460mm/s. Je všeobecně známo, že v protahovaných tyčích vzniká výrazná zbytková napjatost. Z těchto důvodů se tato studie zaměřuje zejména na druhý technologický proces – protahování.

K významným parametrům protahování patří redukce vstupního průměru na průměr r (vstupní průměr je 29,2 mm), úhel - α tvářecí formy a součinitel tření - f . Cílem této studie je poskytnout informace o tom, do jaké míry jsou ovlivňovány napjatostní poměry v tyčích po protažení v závislosti na zvolených parametrech.



Obr.2 Schéma technologického procesu - protahování

2. Regresní závislost napjatosti v závislosti na parametrech protahování

Algoritmus pro stanovení napjatostních poměrů v protahovaných tyčích, v závislosti na zvolených parametrech protahování, je analogický algoritmu pro plánování měření v podmínkách regresní analýzy. Každý z těchto parametrů se pohybuje v určitém rozsahu hodnot:

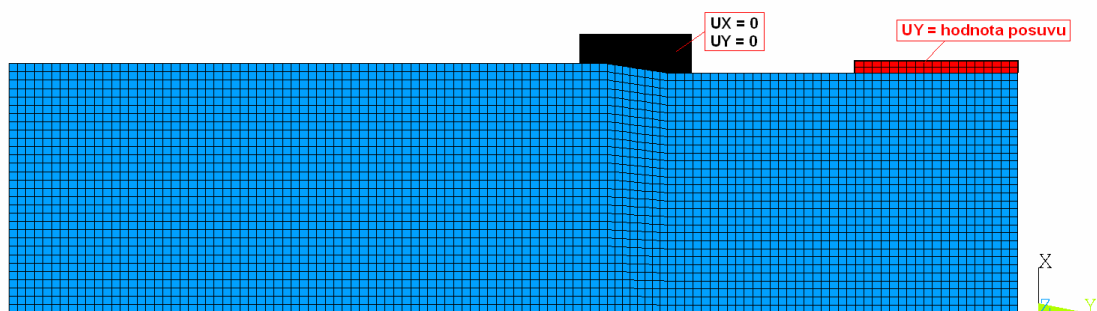
$$r = 28.2 - 26.2 \text{ mm}, \alpha = 5 - 10^\circ, f = 0.1 - 0.3.$$

Chceme-li provést kvadratickou regresní závislost napjatosti na uvedených parametrech protahování, musíme provést $3^3 = 27$ kombinací (výpočtů), neboť pro kvadratickou regresi potřebujeme právě tři hodnoty (minimální, střední a maximální hodnotu) z daného intervalu hodnot parametrů protahování.

3. Výpočtové modelování technologického procesu výroby - protahování

Modelování procesu protahování tyčí je řešeno jako 2D osově symetrický přímý problém, s využitím metody konečných prvků v programovém systému ANSYS 9.0. Dílčí výpočtové modely materiálu, geometrie a vazeb jsou nelineární. Uvažuje se deformační zatěžování. Diskretizace modelu byla provedena rovinným 8-uzlovým prvkem PLANE 183 s využitím U/P formulace. Vazba tvářeného materiálu s okolím (tvářecí formou) je realizována prostřednictvím 3-uzlových kontaktních prvků CONTA 172 a TARGE 169. Pro tento typ zatěžování je vhodnější použít nelineární materiálový model s kinematickým zpevněním, který dává věrohodnější výsledky než materiálový model s isotropním zpevněním.

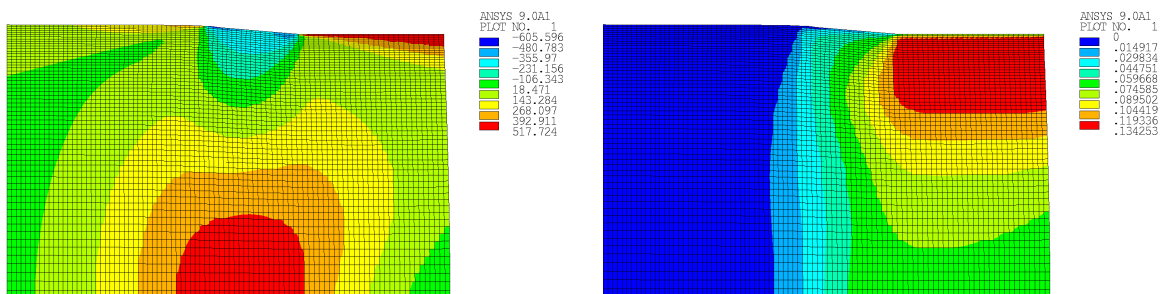
Cílem výpočtového modelování je získat informace o velikosti a rozložení deformace a napjatosti v tvářeném materiálu.



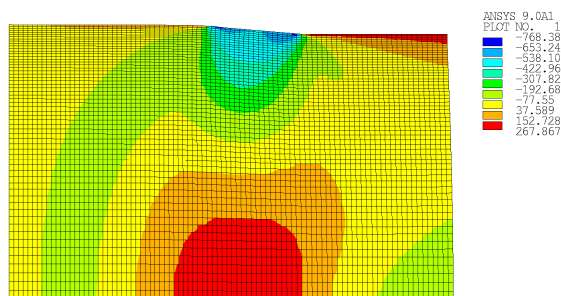
Obr.3 Model geometrie, diskretizace a vazeb

4. Analýza výsledků výpočtového modelování

Provedením série plánovaných výpočtů s různou geometrií a součinitelem smykového tření lze nyní stanovit vliv jednotlivých parametrů protahování (r , α , f) na napjatost a deformaci uvnitř jednotlivých tyčí po protažení. Z hlediska vzniku porušování je zřejmě potenciálně nebezpečným místem střed protahované tyče v oblasti přechodového kužele. K popisu porušování se v teorii tváření používají lomová kritéria. Na základě předchozích prací a literárních podkladů [1-5] bylo vybráno kritérium Cocroft – Latham a kritérium středního napětí σ_m .



Obr.4 Hlavní napětí σ_1 a kumulovaná intenzita plastického přetvoření NLEPEQ



Obr.5 Střední napětí σ_m – hydrostatický tlak NLHPRES

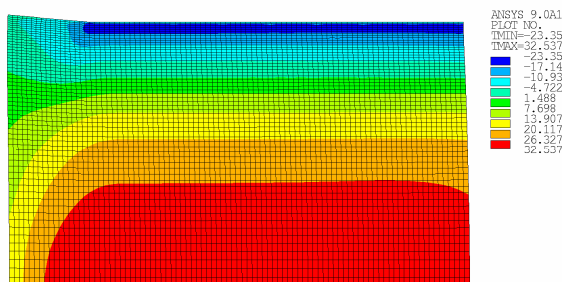
5. Lomové kritérium Cocroft - Latham

Uvedené kritérium vyjadřuje plastickou práci tahové složky napjatosti na jednotku objemu. V okamžiku dosažení kritické hodnoty se předpokládá vznik tvárného lomu:

$$Cockroft - Latham : \quad C4 = \int_0^{\bar{\varepsilon}_f} \sigma_1 d\bar{\varepsilon}$$

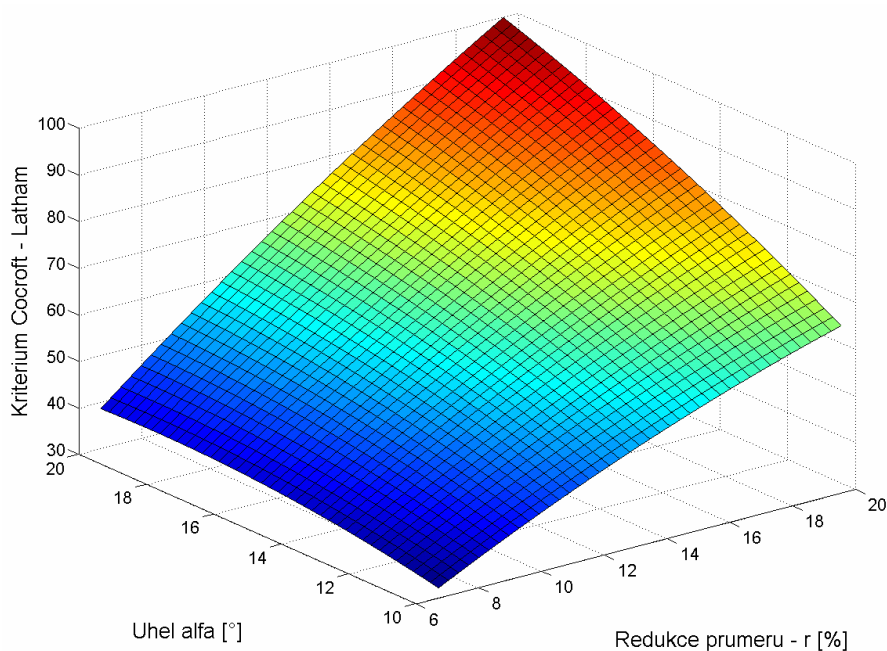
σ_1 - maximální hlavní tahové napětí, ε_f – kumulované ekvivalentní přetvoření při porušení

Výsledky výpočtového modelování umožňují vyčíslit v každém bodě řešené oblasti integrál z tohoto kritéria a určit tak rozložení plastické práce po průřezu.



Obr.6 Rozložení kritéria Cocroft – Latham (C4) průřezem protahované tyče

Kritérium ukazuje, že místo uprostřed protažené tyče se jeví jako potenciálně nebezpečné, v němž by teoreticky mělo dojít k tvárnému porušení. Provedením regresní analýzy tohoto kritéria v závislosti na úhlu α tvářecí formy, velikosti redukce na průměr r a součiniteli smykového tření f (který považujeme za konstantní $f = 0.1$) obdržíme následující grafické zobrazení.



Obr.7 Regresní závislost kritéria Cocroft – Latham (C4) jako funkce úhlu a redukce průměru pro součinitel smykového tření $f = 0.1$

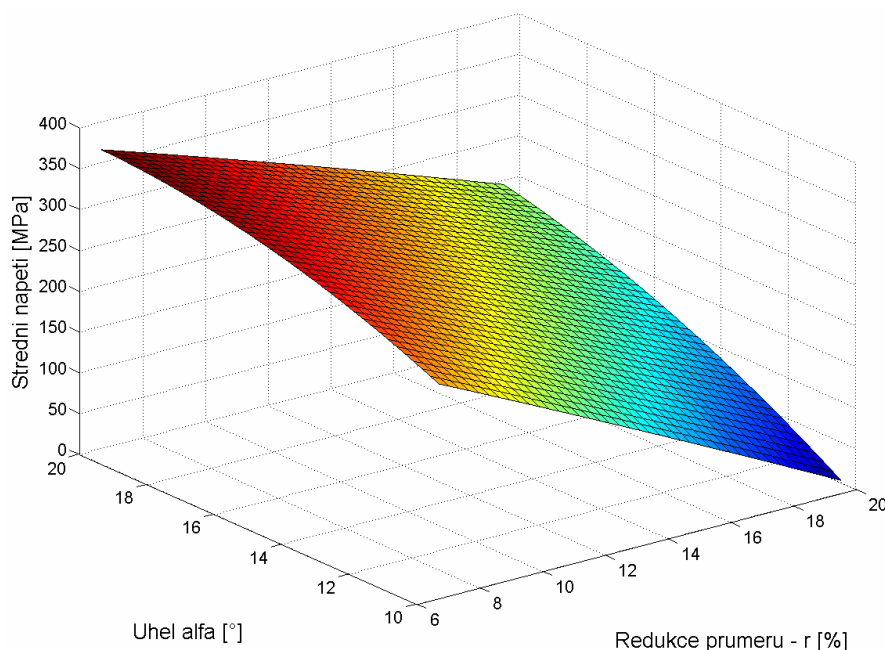
Výsledky regresní analýzy kritéria *Cocroft – Latham (C4)* jsou však v rozporu s experimenty (obr.9). Podle této závislosti je nejvýhodnější geometrická konfigurace pro protahování taková, kde úhel α tvářecí formy a redukce r na průměru tyče jsou minimální. Tento fakt je však v rozporu s realitou, neboť podle experimentů se ukazuje jako vhodnější kombinace minimální uhel α tvářecí formy a maximálním redukce r na průměru. Rozpor tohoto kritéria s realitou je způsoben velkými plastickými deformacemi uvnitř protahované tyče. Hodnoty plastických deformací pak v integrálu dominují nad složkou prvního tahového napětí σ_1 a kritérium pak ztrácí vypovídající schopnost pro predikci tvárného porušení protahovaných tyčí v závislosti na parametrech protahování. Místo případného porušení tvárným lomem však kritérium identifikuje správně a je v souladu s realitou. Lze tedy konstatovat, že kritérium *Cocroft – Latham* nelze použít pro posouzení vlivu parametrů protahování na porušování tyčí tvárným lomem.

6. Lomové kritérium σ_m – střední napětí

Vzhledem k nevhodné formulaci předchozího kritéria, které nemá požadovanou vypovídající schopnost pro predikci porušení materiálu tvárným lomem v závislosti na parametrech protahování, bylo použito jednodušší kritérium, které sice nezohledňuje plastickou práci tahové složky napjatosti na jednotku objemu, ale jak bude dále dokumentováno, správně identifikuje místo, ve kterém dochází k porušení protahovaných tyčí. Rozhodujícím kritériem pro porušení materiálu je v tomto případě mezní hodnota středního napětí, po jejímž dosažení se protahovaná tyč poruší.

$$\sigma_m = \sigma_{\text{MEZNÍ}}, \text{ kde } \sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3.$$

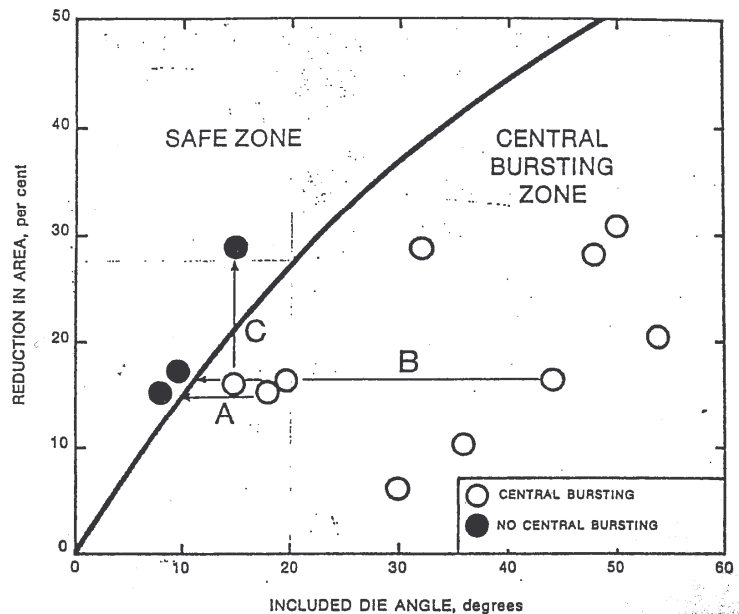
Dále bude ukázáno, že klesající tendence středního napětí (obr.8), se zvětšující se redukcí r a zmenšujícím se úhlem α tvářecí formy, je ve shodě s experimentálně zjištěnými daty (obr.9). Toto jednoduché kritérium má tedy určitou vypovídající schopnost o porušení protahovaných tyčí v závislosti na parametrech protahování.



Obr.8 Regresní závislost kritéria σ_m (střední napětí) jako funkce úhlu a redukce průměru pro součinitel smykového tření $f = 0.1$

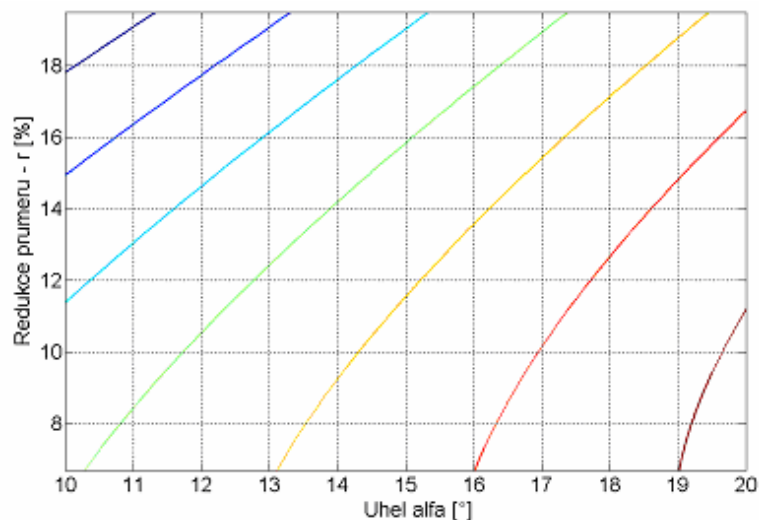
6. Srovnání lomového kritéria σ_m s experimentem

Experimentálně bylo prokázáno, že u protahovaných tyčí daného materiálu dochází k porušování v závislosti na velikosti redukce r průměru a úhlu α tvářecí formy (obr.9). Regresní závislost z naměřených dat pak rozděluje oblast nezávisle proměnných parametrů protahování α a r na dvě podoblasti – na oblast bezpečného protahování a oblast, ve které nastane porušení materiálu při protahování.



Obr.9 Experimentálně zjištěná závislost bezpečného protahování jako funkce úhlu a redukce průměru [5]

Zobrazíme-li řezy regresní závislosti σ_m rovinou $\sigma_m = \text{konst.}$ (obr.8), získáme soustavu křivek (obr.10). Srovnáním křivek (obr. 9 a obr. 10) je možné konstatovat, že mají podobný charakter. Z této skutečnosti vyplývá, že lomová podmínka středního napětí σ_m je v souladu s experimenty.



Obr.10 Řezy regresní závislostí kritéria σ_m , pro $\sigma_m = \text{konst.}$

7. Závěr

Z vybraných dvou kritérií, které popisují lomové chování protahovaných tyčí v závislosti na parametrech protahování, odpovídá skutečnosti kritérium středního napětí σ_m . Dosažené průběhy středního napětí jsou pouze kvalitativní, ve shodě s experimentálně získanými průběhy, neboť pro kvantitativní posouzení není zatím známa mezní hodnota středního napětí. Pro stanovení mezní hodnoty, identifikace mezní křivky v diagramu středního napětí (obr.10), je potřeba ještě provést sérii experimentů, na základě nichž se určí, pro jaké hodnoty sledovaných parametrů protahování nastane uprostřed tyče porušení materiálu. Budou-li experimentálně zjištěny mezní hodnoty parametrů protahování, lze podmínku středního napětí považovat za mezní podmínku pro porušování protahovaných tyčí.

Literatura

- [1] M. G. Cockroft, D. J. Latham: Ductility and the Workability of metals. J. Inst. Met. 1968
- [2] J. Šuta: Predikce porušování kovů při tváření. Disertační práce, FSI VUT Brno
- [3] Clift S. E., Hartley P., Sturgess C. E. N., Rowe G. W.: Fracture prediction in plastic deformation processes. Int. J. Mech. Sci. 1990.
- [4] Brozzo P., DeLuca B., Rendina R.: A new method for the prediction of formability limits in metal sheets. Proceedings of the 7th Biennial Conference of the International Deep Drawing Research Group 1972
- [5] Saanouni K., Mariage J.F., Cheroaut A., Lestriez P.: Numerical prediction of discontinuous central bursting in axisymmetric forward extrusion by continuum damage mechanics, Elsevier, Received 4 June 2003, accepted 25 May 2004

Poděkování

Tato práce vznikla v rámci projektu GAČR 101/06/0914.