

E xperimentální A nalýza N apětí

2004

DETERMINATION OF YIELD CONDITIONS IN THIN SHEETS

URČOVANIE POČIATKU PLASTICKEJ DEFORMÁCIE TENKÝCH PLECHOV

František Šimčák, Ladislav Pešek, Juraj Hanušovský², Štefan Gazdag, Juraj Ritók

Thin-walled carrying elements, mainly in automotive industry, are produced by cold pressing of sheets. The knowledge of plastic behaviour of sheets allows to produce material models for numerical simulation in production and using of carrying elements.

At the TU of Košice there were established experimental testing workplace for assessment of plastic properties of cold rolled sheets by using cross specimens. The workplace consists of hydraulic machine for two-axial loading of cross specimens, tensometric equipment for measurement of load forces in arms of cross specimen and videoextensometer for contactless measurement of deformation of cross specimen under two-axial loading.

Key words: *plastic property, cold rolled sheet, cross specimen, plane stress, videoextensometry*

Úvod

Pre aplikáciu plechov pri výrobe karosérií je nevyhnutné poznať správanie sa plechu pri plastickej deformácii, menovite

- definovať okamžik začiatku plastickej deformácie plechu (tzv. krivka plasticity),
- určiť závislosť medzi napätím a deformáciou v pružneplastickej oblasti.

Krivky plasticity za studena valcovaných plechov je možné určovať analyticky [1], alebo experimentálne [2], [3]. Možnosti experimentálneho určovania kriviek plasticity plechov pri rovinnnej napätosti sú na pracovisku autorov analyzované už dlhšiu dobu [4], [5]. Cieľom príspevku je poukázať na možnosť experimentálneho určovania kriviek plasticity plechov pomocou experimentálnych zariadení na TU v Košiciach.

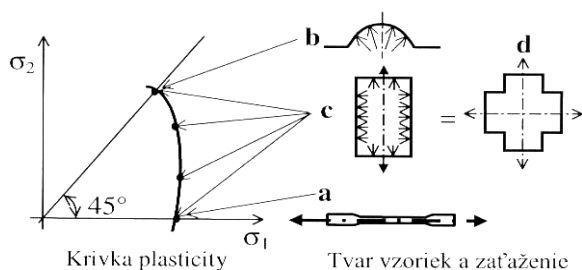
Experimentálne určovanie kriviek plasticity

Pri experimentálnom určovaní kriviek plasticity je možné využiť metódy podľa obr.1 [2]. Skúška ťahom určuje podmienky plasticity pri jednoosovom namáhaní. Bulge test (b) spočívajúci vo vypínaní plechu kvapalinou umožňuje určiť bod na hlavnej poloosi elipsy plasticity ($\sigma_1 = \sigma_2$) pri rovnomernom vypínaní. Použitie rúrky namáhanej vnútorným pretlakom a axiálnom silou (c)

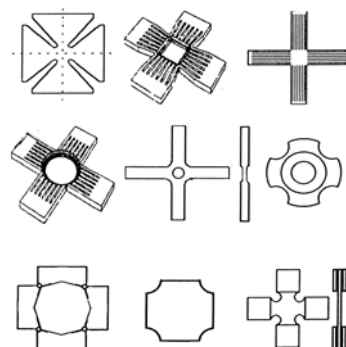
¹prof. Ing. František Šimčák, CSc., doc. Ing. Ladislav Pešek, CSc., Ing. Štefan Gazdag, Ing. Juraj Ritók, PhD. Technical University in Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Letná 9, 041 87 Košice, Slovakia, tel.: +421556022458, e-mail: frantisek.simcak@tuke.sk

²Ing. Juraj Hanušovský, Sauer-Danfoss, Považská Bystrica

umožňuje určovať body krivky plasticity v prvom kvadrante ($\sigma_1, \sigma_2 > 0$). Nevýhodou tejto skúšky je, že ohýbaním plechu pri výrobe vzoriek dochádza k preddeformácii materiálu, čo mení vlastnosti plechu pred skúškou.



Obr.1 Možnosti experimentálneho určovania kriviek plasticity



Obr.2 Typické tvary krížových vzoriek

Z uvedeného dôvodu boli v poslednom období pre experimentálne určovanie kriviek plasticity vyvinuté postupy využívajúce tzv. krížové vzorky zaťažované ťahom v dvoch navzájom kolmých smeroch (d) [2, 3, 7]. Základné typy krížových vzoriek sú na obr.2 [2].

Vzorky svojim tvarom musia zabezpečovať homogénnu deformáciu v stredovej oblasti pri žiadanom pomere napätí σ_x/σ_y . Optimalizáciou tvaru vzorky a spôsobu zavedenia zaťaženia je možné v určitej vopred definovanej rovinnej oblasti, zabezpečiť približne homogénnu napätosť a vhodnými kombináciami ťahových napätí zostrojiť krivku plasticity v I. kvadrante.

Pri realizácii experimentu je dôležité v oblasti homogénnej napätosti presne zaregistrovať prechod materiálu z pružnej do pružneplastickej oblasti. Pri ťahovej skúške je medza klzu určená napätím, pri ktorom trvalá (plastická) deformácia dosiahne hodnotu 0,2% ($Rp_{0,2}$). Meranie odchýlky od idealizovanej Hookovej lineárnej závislosti medzi napätiami a deformáciami v stredovej oblasti krížovej vzorky je obtiažne [2, 7] a vyžaduje presné meracie prístroje.

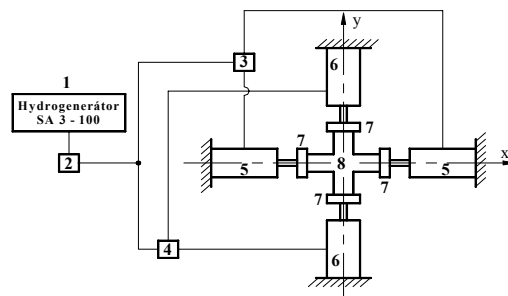
Pre experimentálne určovanie kriviek plasticity krížovou skúškou je na TU v Košiciach využívané pracovisko, pozostávajúce z

- hydraulického zariadenia pre dvojsové zaťažovanie krížových vzoriek,
- dynamickej tenzometrickej aparatúry Spider pre snímanie priebehu zaťažujúcich síl v ramenách krížovej vzorky pri aplikácii odporových tenzometrov,
- videoextenzometra pre bezkontaktné snímanie deformácie krížovej vzorky pri dvojsovom zaťažení.

Hydraulické zaťažovacie zariadenie (obr.3, 4) slúži na vyvolanie rovinnej napätosti v krížových vzorkách. Zdrojom tlaku hydraulického zaťažovacieho zariadenia je lamelový hydrogenerátor. Prietok kvapaliny v hydraulickom obvode je ovládaný hlavným ventilom 2. Škrtiace ventily 3, 4 v oboch vetvách hydraulického obvodu sú so stabilizáciou, ktorá zaručuje nezávislosť prietoku na tlaku a teplote pracovnej kvapaliny. Škrtiace ventily ovládajú rýchlosť posuvu piestov hydraulických valcov 5 v smere osi x a rýchlosť posuvu piestov hydraulických valcov 6 v smere osi y . Na piestných tyčiach hydraulických valcov sú upevnené čeluste 7 pre upínanie krížovej vzorky. Upínacie čeluste 7 sa pohybujú v drážkach vodiaceho telesa, ktoré zabezpečujú centrické ťahové zaťažovanie ramien krížovej vzorky 8 a vylučujú prídavné ohybové resp. šmykové zaťaženie vzorky. Piestne tyče dvoch hydraulických valcov sú upravené tak, že súčasne slúžia ako tenzometrické dynamometre pre snímanie zaťažujúcich síl. Maximálna hodnota zaťažujúcich síl je 32 kN.

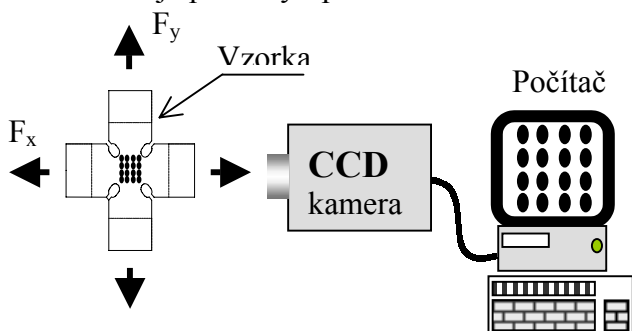


Obr.3 Hydraulické zaťažovacie zariadenie

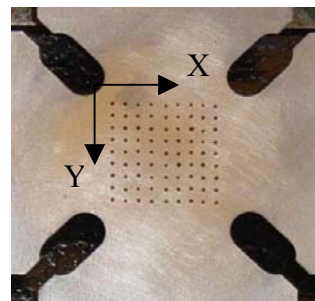


Obr.4 Schéma hydraulického zaťažovacieho zariadenia

Zaťažujúce sily sú určované v závislosti na čase nezávisle v smeroch x , y ramien krížovej vzorky. Určovanie priebehov zaťažujúcich síl je realizované pomocou dynamickej tenzometrickej aparatury Spider.

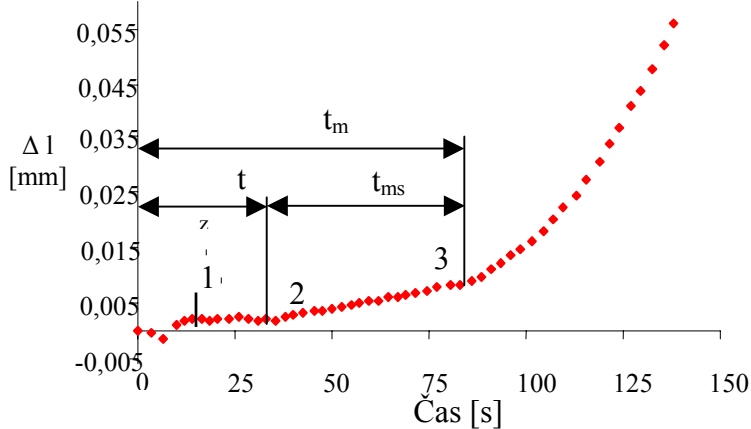


Obr.5 Princíp práce videoextenzometra pri krížovej skúške



Obr.6 Body na povrchu vzorky pre snímanie deformácií

Pre určovanie počiatku plastickej deformácie sa využíva bezkontaktné meranie deformácií videoextenzometrom ME-46. Z povrchu rovinných vzoriek, na ktorom sú v pracovnej oblasti vzorky vhodne nanesené kontrastné značky (body), je obraz snímaný pomocou CCD kamery (obr.5). Kontinuálnym snímaním v čase a zaznamenávaním súradníc ťažísk x , y týchto značiek



Obr.7 Priebeh posunutia (deformácie) v závislosti od času medzi dvoma susednými bodmi

pomocou príslušného softvéru je možné vyhodnocovať deformácie medzi jednotlivými značkami (obr.6).

Vplyvom deformácie vzorky sa mení vzdialenosť medzi jednotlivými bodmi. Výsledkom merania je matica súradníc x , y pre každý z nanesených bodov v závislosti od času merania.

Zo zosnímaných súradníc bodov sa stanovujú ich vzájomné posunutia a deformácie. Spracovaním súradníc je možné vyhodnocovať deformácie medzi

ktorýmikoľvek značkami v ľubovoľnom časovom okamihu merania [4]. Synchronne s deformáciami sú snímané aj zaťažujúce sily v smeroch x , y , čo umožňuje získať napätovo-deformačné vzťahy pri krížovej skúške.

Ak je zaťažovanie rovnomerné (piest sa pohybuje konštantnou rýchlosťou), potom z časovej závislosti deformácie (posuvy) je možné, podobne ako zo závislosti zaťaženie – deformácia, stanoviť okamih začiatku plastickej deformácie ako bod (bod 3, obr.7), v ktorom nastáva odchýlka od lineárnej závislosti (úsek 2-3, obr.7). Systém merania deformácie je nezávislý od ostatnej časti zariadenia (snímanie a meranie sily, ovládanie pohybu zaťažovacieho systému). Presnosť merania posuvu je za daných podmienok 1 μm .

Záver

Na základe priebežných výsledkov analýz a experimentálnych meraní bol navrhnutý experimentálny skúšobný reťazec pozostávajúci z hydraulického zariadenia pre dvojosové zaťažovanie krížových vzoriek, z dynamickej tenzometrickej aparatury Spider pre určovanie priebehu zaťažujúcich síl v ramenách krížovej vzorky a z videoextenzometra pre bezkontaktné snímanie deformácie povrchu krížovej vzorky pri dvojosovom zaťažení. Pre zaťažovanie sa používa optimalizovaný tvar krížovej vzorky.

Hydraulické zaťažovacie zariadenie, vyrobené špeciálne pre krížové skúšky, umožňuje nezávislú reguláciu zaťažovacích síl v ramenách krížovej vzorky. Sily v ramenách krížovej vzorky sú snímané s využitím odporových tenzometrov pomocou dynamickej tenzometrickej aparatury Spider. Synchronne so zaťažujúcimi silami sú snímané deformácie stredovej časti vzorky pomocou bezkontaktného optického videoextenzometra. Uvedeným postupom merania je možné určovať počiatok plastickej deformácie plechov pri rovinnej napätosti.

Literatúra

- [1] Banabic, D., Pöhlandt, K.: *Yield Criteria for Anisotropic Sheet Metal*. UTF science, N/2001, 19-27
- [2] Blümel, K., Gerlach, J., Ufermann, P.: *Biaxial Test To Characterize Behavior of Steel Sheets*. Automotive Body Materials, 'BEC' 97, 42-46
- [3] Müller, V., Pöhlandt, K.: *Richtungsabhängiges Verhalten von Blechen im Kreuzzugversuch*. Blech Rohre Profile, 1997, 3, 43-45
- [4] Gazdag, Š.: *Využitie videoextenzometrie pre hodnotenie deformácie plechov pri rovinnej napätosti*. DP AM/1/2003, SjF TU Košice
- [5] Hanušovský, J.: *Analýza podmienok plastickej deformácie plechov pri rovinnej napätosti*. DP AM/1/98, SjF TU Košice
- [6] Pöhlandt, K.: *Werkstoffprüfung für die Umformtechnik*. Springer-Verlag, 1986
- [7] Kreissig, R.: *Theoretische und Experimentelle Untersuchungen zur plastischen Anisotropie*. Diss. TU Karl-Marx-Stadt, 1981
- [8] Trebuňa, F., Bigoš, P.: *Intenzifikácia technickej spôsobilosti ťažkých nosných konštrukcií*. Vienala, Košice, 1998, 345 s.
- [9] Pešek, L.- Hudák, J.: *Bezkontaktné meranie deformačných polí*, In: "Materiál v inžinierskej praxi 2002", 5. vedeckotechnická konferencia, Herľany, 15.-17. apríl 2002 Herľany, Hutnícka fakulta TU v Košiciach, s.120-125
- [10] Pešek, L.: *Videoextensometry - application in materials research*, In: Development of materials science in research and education (DMS-RE 2003 – 13. joint seminar), s. 59-60, 15.-19.9.2003, Račkova dolina