
Stanovenie kriviek prirodzeného deformačného odporu zliatiny Al-Mg-Si_{0,5} s využitím plastometra Gleeble 3800

Jozef Bilik, doc. Ing., PhD.*

Katedra tvárnenia kovov a plastov, Ústav výrobných technológií,
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave,
Slovenská technická univerzita v Bratislave,
Jána Bottu 2781/25, 917 24 Trnava, Slovenská republika
E-mail: jozef.bilik@stuba.sk, Tel.: +421 915 761 406

Mariana Balážová, Ing., PhD.

Výskumný ústav zvaračský z. z. p. o.,
Račianska 1523/71 831 02 Bratislava - Nové Mesto,
E-mail: balazovam@vuz.sk, Tel.: +421 905 793 403

Determination of Al-Mg-Si alloy deformation resistance curves using a plastometer Gleeble 3800

Abstract: The paper deals with the determination of the curves of the natural deformation resistance of the Al-Mg-Si_{0.5} alloy at an ambient temperature of 20°C and at temperatures of 200, 300, 400, 500°C at a transformation rate of 5 s⁻¹. The *Gleeble* 3800 plastometer was used to determine the curves of natural deformation resistance. The curves were designed to complement the database in the *SuperForge 3D* simulation program. The measured curves of the natural deformation resistances will allow to increase the accuracy of the solution, especially of the energy strength parameters in cold forming and hot forming of the Al-Mg-Si alloy.

Keywords: deformation resistance, material testing, plastometry.

ÚVOD

Krivky prirodzených deformačných odporov sú dôležité najmä pre stanovenie energosilových parametrov tvárniacich procesov a sú dôležité aj ako vstupné parametre pre počítačovú simuláciu procesov tvárnenia. Krivky prirodzených deformačných odporov predstavujú závislosť skutočného napätia a skutočného pretvorenia a sú určované z tlakovej skúšky pri definovanej teplote a rýchlosti pretvorenia. Krivky slúžia na stanovenie prirodzeného deformačného odporu materiálu pri daných termomechanických podmienkach tvárnenia. Skúmaná zliatina hliníka Al-Mg-Si_{0,5} je používaná pri výrobe rôznych profilov vytlačovaním za tepla a tiež výrobu výtvarkov objemovým tvárnením za studena a objemovým tvárnením za tepla.

1 METODIKA EXPERIMENTÁLNEHO STANOVENIA KRIVIEK DEFORMAČNÉHO ODPORU

Pre stanovenie kriviek prirodzených deformačných odporov bol použitý plastometer *Gleeble* 3800. *Plastometer Gleeble* 3800 je unikátne zariadenie pre štúdium mechanických vlastností rôznych materiálov

a na fyzikálnu simuláciu rôznych tvárniacich procesov a postupov pri rôznych termomechanických podmienkach. Na plastometri *Gleeble* 3800 sa môžu vykonávať ťahové skúšky, tlakové skúšky (súosové, s rovinnou reformáciou, *SICO* testy), môžu sa vytvárať krivky závislosti napätia od deformácií, štúdium napät'ovej relaxácie, meranie ťažnosti za tepla a iné. Tieto možnosti sa dajú využiť na fyzikálnu simuláciu rôznych procesov tvárnenia (kovanie, valcovanie, pretlačovanie, ubíjanie, nabíjanie), kontinuálneho odlievania, tepelného spracovania (napríklad kalenia) atď. Okrem toho plastometer *Gleeble* 3800 umožňuje zistiť nulovú teplotu daného materiálu, prípadne môže slúžiť aj ako dilatometer a pod. Po ukončení skúšky alebo fyzikálnej simulácie sú výsledky automaticky prevedené do programu *ORIGIN*, ktorý slúži na vyhodnotenie nameraných dát.

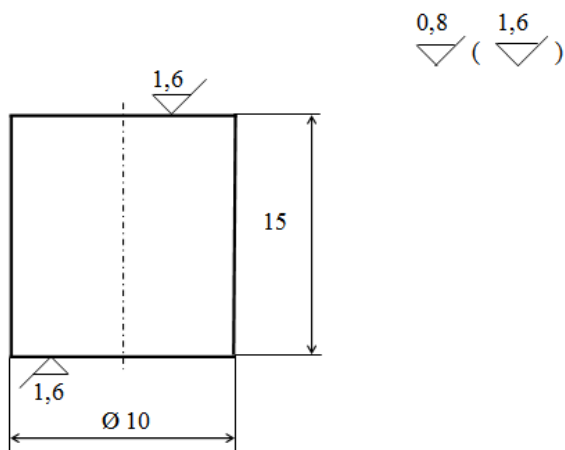
Gleeble 3800 má vodou chladené čeluste schopné chladiť v krátkom čase. Maximálna rýchlosť ochladzovania ako aj ohrevu závisí od veľkosti, tvaru, teploty a chemického zloženia skúšobnej vzorky. Dajú sa dosiahnuť rýchlosti až 10 000°C·s⁻¹. Systém chladenia umožňuje jeho plynulé ovládanie maximálnou možnou rýchlosťou pre danú vzorku. Mechanický systém dokáže vyvinúť statickú silu až

200 kN v tlaku a 100 kN v ťahu. Prístroj môže dosiahnuť rýchlosti kontrakcie až $2000 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Plastometer Gleeble 3800 je možné doplniť aj o modul umožňujúci fyzikálnu simuláciu a stanovenie mechanických vlastností pri vysokorýchlostnom tvárnení.

Na obr. 1 je pohľad na plastometer *Gleeble 3800* použitý pri stanovení kriviek deformačných odporov.



Obr. 1. Pohľad na plastometer *Gleeble 3800*



Obr. 2. Tvar a rozmery skúšobných vzoriek

Použité skúšobné vzorky boli v tvare valčekov s rozmermi $\varnothing 10 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ (obr. 2). Skúšky prebiehali v skúšobnej komore vo vákuu hodnoty 10^{-6} torr. Meranie teploty počas skúšky bolo pomocou termočlánkov Typ *K*, *Ni-Cr(+)* vs. *Ni-Al(-)*, $0^\circ\text{C} - 1250^\circ\text{C}$. Medzi čeluste a vzorku boli umiestnené grafitové fólie hrúbky $0,25 \text{ mm}$ a lubrikant (*Thread Gard Anti-Selze Compound*) z dôvodu minimalizovania trenia na stykových plochách počas skúšky. Výsledky skúšok boli automaticky načítané do programu *ORIGIN* a nasledujúco graficky vyhodnotené v podobe kriviek prirodzených deformačných odporov.

Skúšky sa realizovali pri piatich teplotách: 20°C , 200°C , 300°C , 400°C , 500°C pri rýchlosti deformácie 5 s^{-1} . Rýchlosť ohrevu bola $10^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$. Stlačenie skúšobnej vzorky bolo 9 mm (60%). Každé

meranie bolo vykonané dva krát pre potvrdenie správnosti nameranej hodnoty.

Postup skúšok bol takýto:

- ohrev na príslušnú teplotu deformácie rýchlosťou ohrevu $10^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$,
- výdrž na teplote 120 s ,
- stlačenie vzorky o 9 mm na výšku 6 mm (deformácia 60%) pri rýchlosti deformácie 5 s^{-1} .

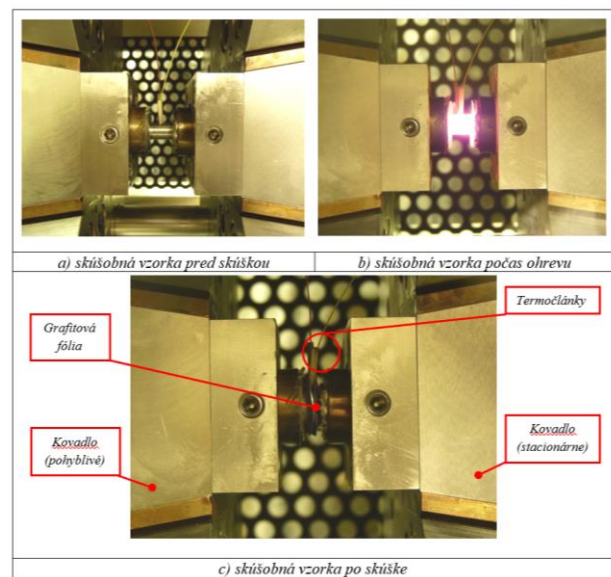
Chemické zloženie materiálu *Al-Mg-Si0,5 STN 424401* je uvedené v tab. 1.

Tab. 1. Chemické zloženie zliatiny *Al-Mg-Si0,5*

Prvok	Obsah
<i>Mg</i>	0,35 až 0,60
<i>Si</i>	0,30 až 0,60
<i>Fe</i>	0,10 až 0,30
<i>Cu</i>	max. 0,10
<i>Mn</i>	max. 0,10
<i>Cr</i>	max. 0,05
<i>Zn</i>	max 0,15
<i>Ti</i>	max 0,10
Ostatné	max 0,15
Zvyšok	

2 VÝSLEDKY MERANÍ

Priebeh tlakovej skúšky vo fyzikálnom simulátore *Gleeble 3800* je znázornený na obr. 3. Na obr. 4 je znázornená geometria skúšobnej vzorky pred a po skúške. Prehľad parametrov tlakových skúšok a výsledky experimentálne stanovených prirodzených deformačných odporov pri 60% deformácii je uvedený v tab. 2.



Obr. 3. Priebeh tlakovej skúšky vo fyzikálnom simulátore *Gleeble 3800*

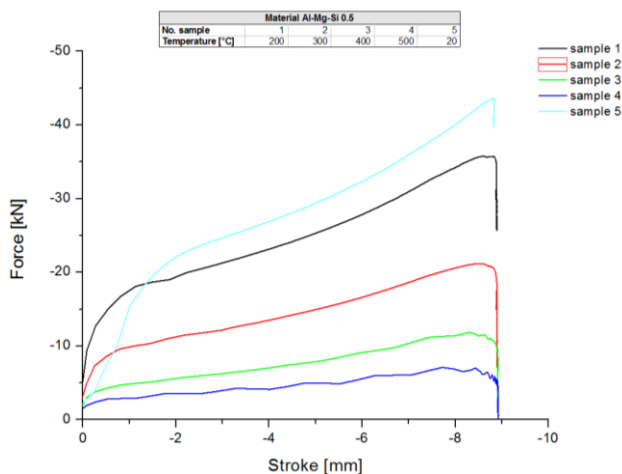


Obr. 4. Geometria skúšobných vzoriek pred a po skúške tlakom

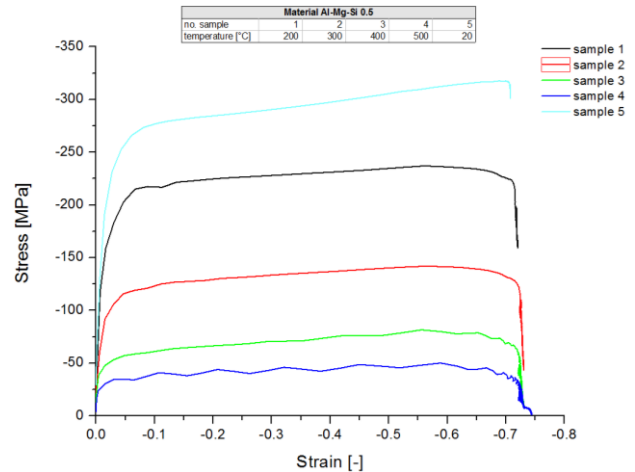
Tab. 2. Parametre jednotlivých skúšok a maximálne hodnoty prirodzeného deformačného odporu σ_p pri pomernom pretvorení (deformácii) 60 % zliatiny *Al-Mg-Si0,5*

Č. vzorky	Vstupné parametre skúšky		σ_p [MPa]	
	T [°C]	$\dot{\epsilon}$ [s ⁻¹]	Meranie I.	Meranie II.
1	20	5	277	317
2	200		237	231
3	300		142	156
4	400		82	79
5	500		50	46

Namerané hodnoty závislosti sila a dráha sú uvedené na obr. 5 a krivky prirodzených deformačných odporov pri daných parametroch sú uvedené na obr. 6.



Obr. 5. Závislosť sily od dráhy pre *Al-Mg-Si 0,5*, Vzorka 1 - 5



Obr. 6. Krivky prirodzených deformačných odporov pre *Al-Mg-Si0,5*, Vzorka 1 - 5

3 DISKUSIA VÝSLEDKOV

Skúmaná zliatina *Al-Mg-Si0,5* je jednou z najčastejšie používanou zliatinou hliníka pri výrobe súčiastok a dielcov. Výsledky získané fyzikálnou simuláciou na plastometri *Gleeble 3800* môžu byť využité pri riešení energosilových parametrov tvárnenia danej zliatiny a to jednako pri tvárnení za studena ako aj pri tvárnení za tepla resp. aj pri tvárnení za polohrevu. Okrem toho výsledky môžu byť použité aj ako vstupné parametre pri simulácii procesov tvárnenia danej zliatiny pri výrobe výtvarkov. Ako je zrejmé z obr. 4 ani použitie grafitovej fólie pri deformácii 60 % nezabráni úplne vzniku určitého malého kontaktného trenia na čele kovadiel čo dokumentuje aj určitý nepatrný vznik súdkovitého tvaru na konci skúšky. Určité kmitanie, ktoré je viditeľné na krivke zostrojenej pri teplote 500°C na obr. 5 a obr. 6 bolo spôsobené nižšou frekvenciou pri meraní.

ZÁVER

V súčasnosti najmä v oblasti automobilového priemyslu sa stále viac presadzujú aj zliatiny ľahkých kovov medzi ktoré sa zaraďuje aj skúmaná zliatina *Al-Mg-Si0,5*. Cieľom príspevku bolo poskytnúť bližšie informácie o deformačnom správaní sa danej zliatiny pri rôznych teplotách a to formou zostrojenia kriviek prirodzených deformačných odporov pri rôznych teplotách. Tieto krivky dávajú predstavu o možnostiach aplikácie danej zliatiny na tvárnenie za studena aj na tvárnenie za tepla a umožňujú riešenie energosilových parametrov pri tvárnení danej zliatiny.

Pod'akovanie

Článok vznikol s podporou grantovej úlohy KEGA 026STU-4/2023.

LITERATÚRA

- [1] BLAŠČÍK, F. - POLÁK, K. (1988): *Teória tvárnenia*. Bratislava: Alfa, 374 s.
- [2] HRIVŇÁK, A. - PODOLSKÝ, M. - DOMAZETOVÍČ, V. (1992): *Teória tvárnenia a nástroje*. Bratislava: Alfa, 338 s, ISBN 80-05-01032-X.
- [3] FOREJT, M. (2004): *Teorie tváření*. Brno: CERM, 167 s., ISBN 80-214-2764-7.
- [4] FOREJT, M. - PÍŠKA, M. (2006): *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: CERM, 225 s., ISBN 80-214-2374-9.
- [5] PERNIS, R. (2007): *Teória tvárnenia kovov*. Trenčín: TU A. Dubčeka, 68 s., ISBN 978-80-8075-244-6
- [6] KLIBER, J. - KUŘETOVÁ, B. - AKSENOV, S. (2006): *Matematický popis křivky napětí - deformace u oceli na základě experimentálních výsledků z plastometru*, 13. mezinárodní konference Forming, str. 107-112, ISBN 83-910722-8-2.
- [7] SCHINDLER, I. (1998): *Deformační odpory při tváření intermetalické sloučeniny Ni3Al za tepla*. Ostrava: Sborník vědeckých prací VŠB-TU, 1994-2005, 0474-8484, roč. 44, č. 1 s. 85-92.
- [8] KAWULOK, R. - SCHINDLER, I. - KAWULOK, P. - OPĚLA, P. - OČENÁŠEK, V. - RUSZ, S. - SAUER, M. - NĚMEC, J. (1988): *Popis deformačního chování hliníkové slitiny 6005A za tepla. Kovárenství*. Svaz kováren ČR, s. 19-24. ISSN 1213-9289.
- [9] OPĚLA, P. - SCHINDLER, I. - KAWULOK, P. - KAWULOK, R. - RUSZ, S. - ŠEVČÁK, V. (2018): *Popis napěťových křivek při tváření za tepla s využitím prediktivních modelů a umělých neuronových sítí. Kovárenství*. Svaz kováren ČR, s. 8-13. ISSN 1213-9289.