

SÍKLEMEZ ALAKÚ PRÓBATEST SZAKÍTÓVIZSGÁLATÁNAK MODELLEZÉSE

MODELLING OF TENSILE TEST FOR SIMPLE FLAT SPECIMEN

Domokos Tatiane

*Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Műszaki Mechanikai Intézet és Gép- és Terméktervezési Intézet,
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: metwadas@uni-miskolc.hu*

Szávai Szabolcs

*Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Gép- és Terméktervezési Intézet,
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: szavai.szabolcs@uni-miskolc.hu*

Baksa Attila

*Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Műszaki Mechanikai Intézet,
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: attila.baksa@uni-miskolc.hu*

ABSTRACT

In recent years, there is an increasing interest of several industries, such as, aerospace, automotive, steel and aluminum industries in numerical simulation of the fracture process of specific structural materials. The lightweight design is becoming one of the main targets in the development of a new car. This is countertendency with the trend of the last decades when the mass of the vehicle has increased progressively. The reduction of the weight of the vehicle is of great importance from two linked points of view: the reduction of the fuel consumption and the reduction of the CO₂ production [3]. It is not new that is expected of developers of commercial codes (LS-DYNA, Abaqus and PAM-CRASH) to implement reliable fracture criteria into those codes.

1. BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedekben a kétfázisú (DP) acélok jelentősége az autópárhuzamban is folyamatosan nőtt. A DP acél speciális mikrostruktúrával rendelkezik, tekintettel a ferrit és a martenzit tartalomra, így nagy szilárdságú és fokozott alakíthatóságú jellemzi. Ezek a jellemzők igazolják az Ultra-Light Steel Auto Body Advanced Vehicle Technology európai programjának előrejelzését, amely szerint a DP acélokat a modern karosszéria-szerkezetben 50%-ot meghaladó mértékben kell alkalmazni [1].

2. A SZIMULCIÓS KÖRNYEZET

Az Abaqus egy közismert végeselem-módszert alkalmazó szoftverrendszer, mely különböző multifizikai mérnöki feladatok szimulációjára alkalmas, miközben a vizsgált alkatrész geometriájára nincs korlátozás. A szoftvert

különböző nemlinearitások hatékony modellezésére fejlesztették ki úgy, mint nagymértékű elmozdulások, illetve alakváltozások pontos leírása, vagy a legkülönbözőbb nemlineáris anyagmodellek alkalmazása. Kiválóan alkalmas a szoftver a peremfeltételi rendszerben (érintkezés/elválás során) tapasztalható nemlineáris viselkedés nyomon követésére is. Az Abaqus/Explicit olyan tranziens dinamikai jelenségek szimulálására szolgál, mint az ejtésteszt, a törésbiztonsági kérdések tisztázása, vagy a ballisztikus ütközések kérdései [2].

3. GURSON-TVERGAARD-NEEDLEMAN (GTN) MODELL

A GTN egy analitikusan működő, általánosan használható anyagmodell, amelyet a mérnöki szimulációk során alkalmaznak. Elsősorban az anyagi meghibásodások becslésére, melyek általában fémekben jönnek létre: mint például acél, alumínium vagy réz esetén. A GTN előre jelzi az anyagok nukleációjának, evolúciójának és üregeinek agglomerációja alapján a tönkremenetelt [4].

A GTN modell definíciójában használt folyási felületre felírható, hogy

$$\Phi = \left(\frac{\sigma_M}{\sigma_y}\right)^2 + 2q_1 f^* \cosh\left(-\frac{3q_2 \sigma_m}{2\sigma_y}\right) - (1+q_3 f^{*2}) = 0 \quad (1)$$

ahol σ_M a von Mises redukált feszültség, σ_m az átlagfeszültség, σ_y az anyagra jellemző folyáshatár, míg f^* a módosított tönkremeneteli paraméter. A q_1, q_2 és q_3 mennyiségek anyagállandók. De a folyási felületre fennáll a következő összefüggés is

$$\Phi = \frac{\sigma_M^2}{\sigma_y^2} + 2q_1 f^* \cosh\left(\frac{\text{tr}\sigma}{2\sigma_y}\right) - (1 + q_3 f^{*2}) \quad (2)$$

melyben $\text{tr}\sigma$ a σ feszültségi tenzor első skalár invariánsa. Az f^* módosított tönkremeneteli paraméter az alábbiak szerint határozható meg

$$f^*(f) = f \quad \text{ha } f \leq f_c$$

$$f^*(f) = f_c + \frac{\left(\frac{1}{q_1}\right) - f_c}{f_f - f_c} (f - f_c) \quad \text{ha } f > f_c \quad (3)$$

ahol f az üregek térfogathányada, f_c a kritikus üregek térfogathányada, míg f_f az üregek térfogathányad az anyag tönkremenetelkor, a alkalmazott GTN modellben.

A befoglaló mátrix σ_M von Mises-féle redukált feszültsége számítható a GTN modellben az alábbi összefüggés szerint

$$\sigma_M(\varepsilon_M^{pl}) = \sigma_y \left(\frac{\varepsilon_M^{pl}}{\varepsilon_0} + 1 \right)^n \quad (4)$$

ahol n és ε_0 egyaránt keményedési paraméterek, míg ε_M^{pl} az egyenértékű képlékeny alakváltozás.

Az üregek növekedési üteme a meglévő üregek \dot{f}_g és az új üregek nukleációja \dot{f}_n alapján határozható meg

$$\dot{f} = \dot{f}_n + \dot{f}_g \quad (5)$$

A felírt mennyiségek

$$\dot{f}_g = (1 - f) \text{tr}\dot{\varepsilon}^{pl} \quad (6)$$

$$\dot{f}_n = A \dot{\varepsilon}_M^{pl}$$

$$A = \frac{f_n}{S_n \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{\varepsilon_M^{pl} - \varepsilon_N}{S_n}\right] \quad (7)$$

ahol $\text{tr}\dot{\varepsilon}^{pl} = \dot{\varepsilon}_x^{pl} + \dot{\varepsilon}_y^{pl} + \dot{\varepsilon}_z^{pl}$ a térfogati képlékeny alakváltozási sebesség, S_n az üregek nukleációs átlagértéke, f_n az új üregek térfogataránya, mely az üregek nukleációjáért felelős és ε_N az átlagos alakváltozás az üregek nukleációjának időpontjában.

A GTN modell nyolc paramétert tartalmaz, amelyek egy vektorban írhatók fel

$$\Phi = \Phi(q_1, q_2, f_0, f_c, f_f, f_n, \varepsilon_N, S_n). \quad (8)$$

4. ALAKÍTÁSI HATÁRDIAGRAM

Az FLD (Forming Limit Diagram) egy olyan grafikon, amely a főnyúlások értékeit ábrázolja a különböző irányú nyúlások függvényében a tönkremenetel kezdetén. Az FLD meghatározásához speciális mérőberendezésre és

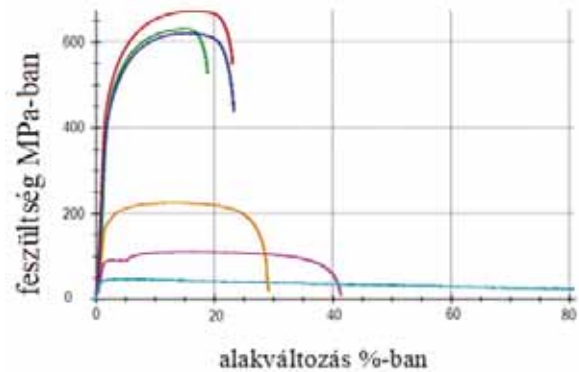
elegendő időre van szükség. Számos kutató hozott létre analitikus és numerikus modelleket ezen problémák megoldásának alternatívájaként [5].

5. A DP600 ACÉL MECHANIKAI TULAJDONSÁGAI

A DP acélokat általában meleghengertelével állítják elő, amelyet gyors hűtés követ a kritikus hőmérséklet tartományból az M_s hőmérsékletre. Az 1. táblázat a DP 600 acél néhány anyagjellemzőjét mutatja $T = 20, 200, 400, 600$ és 800 °C-on (E a rugalmassági modulus $R_{p0,2}$ a folyáshatár, R_m a szakítószilárdság, míg ε a fajlagos teljes nyúlás). A kísérleteket szobahőmérsékleten végeztük [6].

1. táblázat A DP 600 acél mechanikai tulajdonságai a hőmérséklet függvényében

T	E	$(R_{p0,2})$	R_m	ε
°C	GPa	MPa	MPa	%
20	201,40	431	671	22,9
200	200,94	413	630	18,3
400	198,80	378	619	22,9
800	23,63	38	46	80,8



1. ábra Feszültség-alakváltozás görbék a DP600 acél különböző hőmérsékleteire [6].

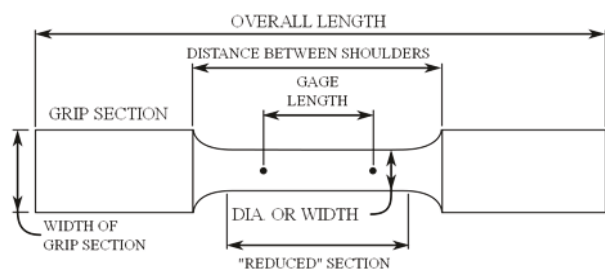
6. PRÓBATESTEK ÉS ANYAGJELLEMZŐIK

A kereskedelemben kapható kétfázisú DP600 acélból kialakított próbatesteket vizsgáltunk. A négyféle kialakítású próbatest kezdeti méreteit a 2. táblázat foglalja össze. A szakítóvizsgálatokat az ISO 6892-1 szabvány szerint folytattuk [7].

2. táblázat Szakítóvizsgálat – A próbatestek geometriai mérete

ID	a_0	a_u	b_0	b_u	L_0	L_u	L_e
1	1,01	0,33	13,17	11,06	50	61,7	50
2	1,01	0,33	13,38	11,19	50	61,1	50
3	1,01	0,38	13,17	10,66	50	61,6	50
4	1,01	0,38	13,38	10,98	50	61,9	50

A 2. táblázatban a_0 a próbatétel kezdeti vastagsága (mm), a_u a tönkremenetel utáni vastagsága (mm), b_0 a sík próbatétel párhuzamos hosszának kezdeti szélessége (mm), b_u a szélesség tönkremenetel után (mm), L_0 a kezdeti hossz (mm), L_u a tönkremenetel utáni hossz (mm) és L_e az extenziométer szelvényhossza (mm) [8].



2. ábra A próbatétel geometriai mérete [7].



3. ábra Anyagvizsgáló rendszer

A 3. ábrán látható vizsgálatokat a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Nonprofit Kft.-nél végeztük az ISO 6892-1:2016 szabvány B melléklete szerint.

7. EREDMÉNYEK

A kétfázisú acél mechanikai elemzését szakítóvizsgálatokkal és Abaqus-ban végzett numerikus szimulációk segítségével modellezve végeztük el. A különböző geometriai kialakítású próbatételekre a 4. 5. 6. és 7. ábrákon a szimuláció során kapott redukált feszültségek eloszlását lehet látni.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A kétfázisú acél mechanikai viselkedését szakítóvizsgálatokkal majd ezekhez köthető végelem-módszer alapján készült modellel elemeztük. A pontos anyag típus a kereskedelemben kapható DP600 acél volt. A szilárdsági tulajdonságok közvetlen kapcsolatban

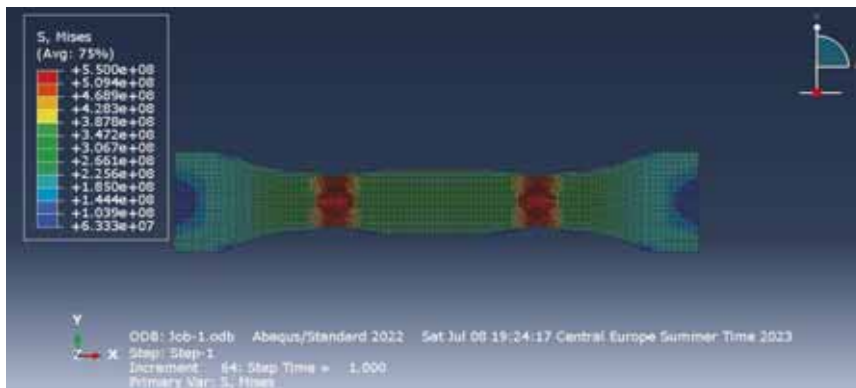
állnak az anyagi mikroszerkezettel. A teljes és a valódi nyúlást is vizsgálták.

A vizsgálatokból a következő fő következtetés vonható le:

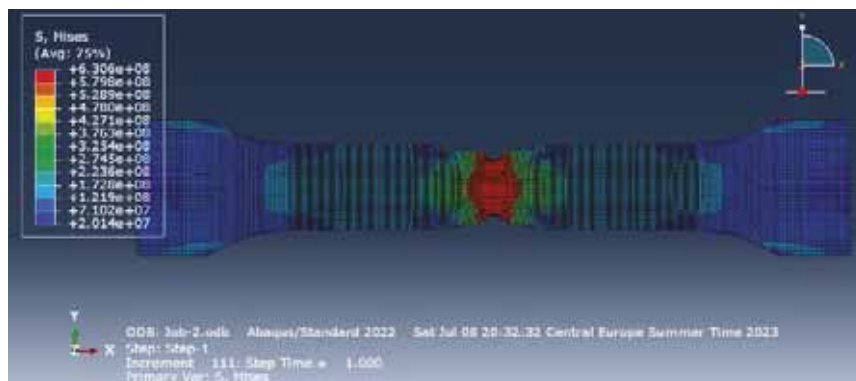
- A képlékeny anizotrópia változó karakterisztikája különböző mérésekkel nem csökkenti jelentősen az átlagos anizotrópiát.
- A teljes és a valódi nyúlás lineárisan csökken az erő növekedésével.

9. IRODALOM

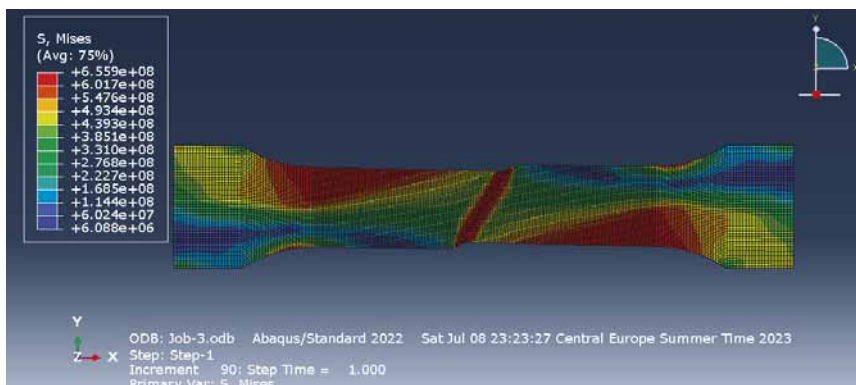
- [1] Gábor B. és Miklós T. (2017). *The Effect of Tensile Strength on the Formability Parameters of Dual Phase Steels*. Springer International Publishing AG 2017. doi: 10.1007/978-3-319-51189-4_19
- [2] Abaqus Mechanical and Civil Engineering Simulation <http://www.3ds.com/products-services/simulia/products/abaqus/>
- [3] Belingardi G. (2014). *Lightweight Design of Vehicle Body. A Contribution Toward Greener Environment*. Politecnico di Torino, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Torino, Italy
- [4] Chahboub, Y., Szavai, S., Bezi, Z., *Determination of GTN Parameters of Sent Specimen During Ductile Fracture*.
- [5] M. Abbasi, M. Ketabchi, H. Izadkhan, D.H. Fatmehsaria, A.N. Aghbash (2018). *Identification of GTN Model Parameters by Application of Response Surface Methodology*. Science Direct. <https://www.sciencedirect.com/sci-ence/article/pii/S209526861830257X>
- [6] B. Aydemir, H. Kazdal Zeytin, G. Güven and A. Güngör. *Investigation of mechanical properties of DP 600 steels at elevated temperatures PDF*. TÜBİTAK National Metrology Institute (UME), Gebze, Kocaeli, Turkey.
- [7] ISO 6892-1:2009(en), Metallic materials Tensile testing Part 1: Method of test at room temperature
- [8] R. Gou, W. Dan, W. Zhang, M. Yu (2018). *Prediction on flow behaviors of individual grains in DP600 steel with grain features*. Science Direct Procedia Manufacturing 15 (2018) 1573-1580. 17th International Conference on Metal Forming, Metal Forming 2018, Toyohashi, Japan.



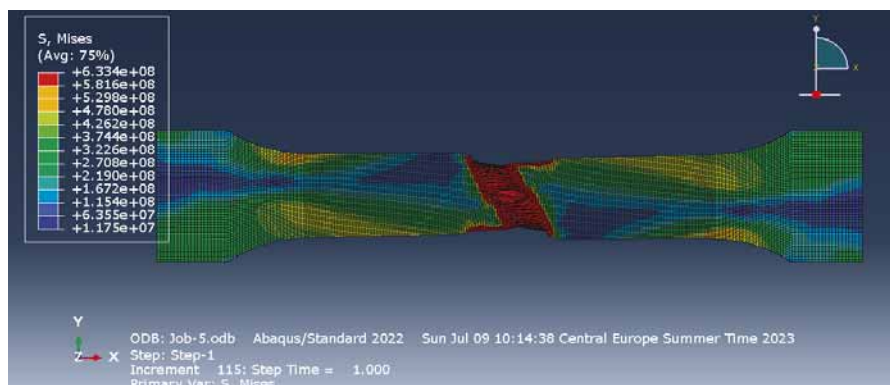
4. ábra Az első próbatest szimulációja.



5. ábra A második próbatest szimulációja.



6. ábra A harmadik próbatest szimulációja.



7. ábra A negyedik próbatest szimulációja.