

# Ferrites acél Gurson paramétereinek meghatározása végeelem szimuláció segítségével

## Determination of Gurson parameters of ferritic steel with finite element simulation

*SPISÁK Bernadett PhD hallgató<sup>1</sup>, Dr. SZÁVAI Szabolcs osztályvezető<sup>2</sup>,  
Dr. SIMÉNFALVI Zoltán egyetemi docens<sup>3</sup>*

<sup>1,3</sup> Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet 3515 Miskolc – Egyetemváros,

<sup>2</sup> Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., Mérnöki Divízió

Cím: 3519 Miskolc, Iglói út 2. web: [www.bayzoltan.hu](http://www.bayzoltan.hu),

<sup>1</sup> [vegysb@uni-miskolc.hu](mailto:vegysb@uni-miskolc.hu), <sup>2</sup> [szabolcs.szavai@bayzoltan.hu](mailto:szabolcs.szavai@bayzoltan.hu), <sup>3</sup> [vegysi@uni-miskolc.hu](mailto:vegysi@uni-miskolc.hu)

### Abstract

*Törésmechanikai modellek alkalmazásával vizsgálhatóak a nyomástartó edényekben keletkező repedések. Ahhoz hogy a berendezések megfelelő működése biztosított legyen elengedhetetlen a repedések kritikus értékének a kiszámítása. Ennek első lépése a GTN modell paramétereinek meghatározása. A cikkben egy ferrites acélon végeztünk el kísérleti méréseket és végeelem szimulációkat, amelyek összehasonlításából megkaptuk a szükséges paraméterek értékét.*

*With the help of fracture mechanical models the cracks in pressure vessels can be examined. In order for the proper functioning of the equipment it is essential to calculate the critical value of the crack. The first step for this is the definition of the parameters of the GTN model. In this article experimental measurements and finite element simulations were performed on ferritic steel, which were compared to achieve the required parameters.*

Kulcsszavak: törésmechanika, végeelem, szimuláció, GTN modell,

## 1. BEVEZETÉS

A nyomástartó berendezések használata közben keletkező hibák katasztrofális következményekhez vezethetnek. A berendezésekben megjelenő repedések vizsgálatára számos módszer létezik, ide sorolhatóak az LA (local approach) modellek is. A próbatestes mérések nem adnak pontos információt, így szükséges egy új módszer kifejlesztése ahhoz, hogy a próbatesteken kapott eredmények átvihetők legyenek a valós méretű, komplex berendezésekre. Az LA modellek segítségével az anyagok viselkedését jellemezni lehet különböző deformációk vagy feszültségi állapotok segítségével. Az LA modellek közé sorolható a Gurson modell is, amelynek egy Tvergaard illetve Needleman által továbbfejlesztett változatát alkalmaztuk a szimulációk során. A kutatás fő célja a kisméretű próbatestek anyagi tulajdonságainak nagy méretű komponensekre való átvitelének a vizsgálata. A cikkben a kutatás első részében elvégzett feladatok kerülnek bemutatásra, amely tartalmazza a Gurson paraméterek meghatározásának menetét. Ezt a végeelem szimuláció és a mérési eredmények összehasonlításából határoztunk meg.

## 2. GURSON-TVERGAARD-NEEDLMAN MODELL (GTN)

A fémek ötvözetekben végbemenő képlékeny törés alapvető mechanizmusa három alap szakaszra bontható szét. Az első szakaszban a második fázisú szemcséknél illetve zárványoknál lévő mikroüregek nukleációja történik meg. A második részben a terhelések illetve a létrejött alakváltozási mezők által indukált mikroüregek növekedése következik be. A harmadik szakaszban pedig az üregek összenövése történik meg [1]. A kontinuummechanikában a leggyakrabban alkalmazott modell alap

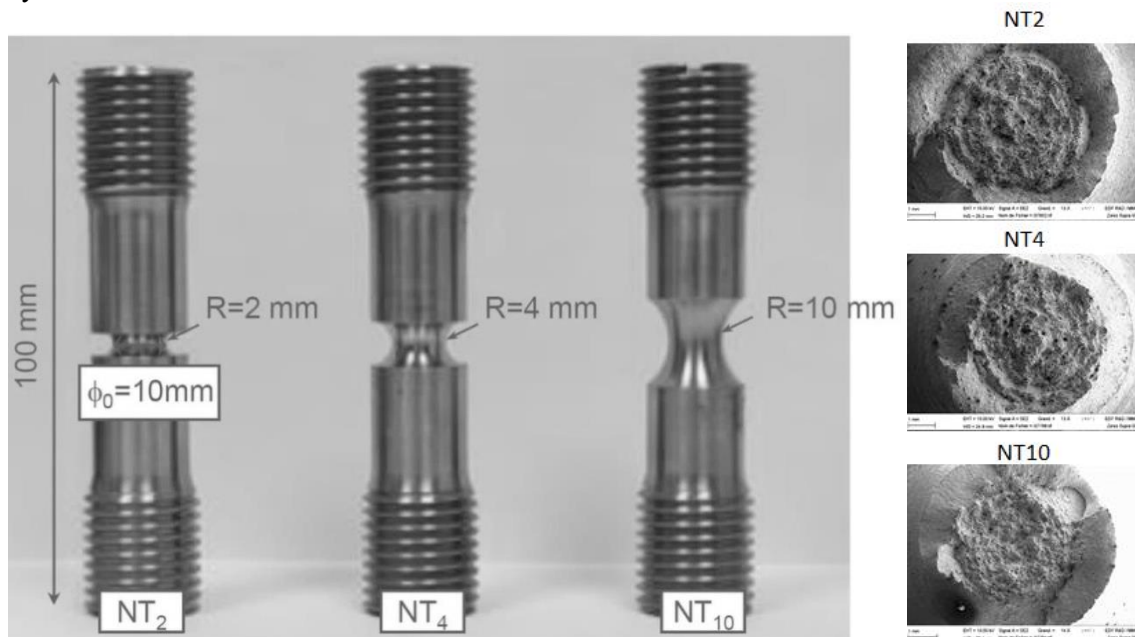
felépítését Gurson [2] írta le. A Gurson modell megfelelő közelítést ad nagy feszültség háromtengelyűségnél, azonban kismértékűnél a modell túlbecsüli a törésnél létrejövő alakváltozást. Erre a problémára Tvergaard [3] három paraméter bevezetését ajánlotta, amellyel az üregek közötti interakciók figyelembe vehetők. A mérési eredmények szerint a Gurson Tvergaard modell nem veszi figyelembe az anyag merevségének gyors csökkenését, emellett nem megfelelően írja le az üregek összenövésének a hatásait, mivel nem tartalmaz hiba kritériumot. A kísérleti megfigyelések alapján az összenövés akkor tekinthető létrejöttnek, ha az üreg térfogati aránya eléri az  $f_c$  kritikus értéket. Needleman módosította a GT modellt, amelyben már szerepel az anyag merevségének hirtelen lecsökkenése. Ez a következőképpen néz ki [4]:

$$\phi = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_M^2} + 2f^*q_1 \cosh\left(\frac{q_2\sigma_{kk}}{2\sigma_M}\right) - [1 + (q_1f^*)^2] = 0 \quad (1)$$

ahol  $\sigma_e$  az effektív Mises-féle feszültség,  $\sigma_{kk}$  a hidrosztatikus feszültség,  $\sigma_M$  a mátrix anyag effektív Mises-féle feszültség,  $f^*$  károsodási paraméter,  $q_1$  folyási felület paraméter,  $q_2$  triaxialitási paraméter.

### 3. SZAKÍTÓVIZSGÁLAT

A kutatás alapját egy ferrites acélból készült csőszerszervény képezte. A GTN modell paramétereinek meghatározásához első lépésként szakítóvizsgálatot végeztünk el, mely során három különböző bemetszésű próbatestet vizsgáltunk meg, mivel a bemetszések sugarának változtatásával változik a feszültség triaxialitás aránya. Az 1. ábra az egyes próbatestek főbb méreteit illetve a törétfelület pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) készített felvételeit mutatja be. A szakítóvizsgálatból kapott eredményeket a későbbiekben kerülnek szemléltetésre.

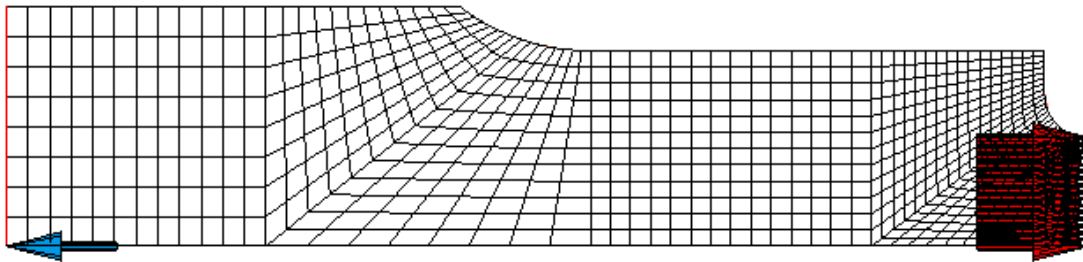


1. ábra  
Szakító próbatestek

### 4. VÉGESELEM SZIMULÁCIÓ

A végeelem szimulációt MSc.Marc.2018 szoftverben végeztük el. A számítások során tengelyszimmetrikus modellt készítettünk el., emellett a hengeres próbatest geometriája lehetővé teszi, hogy kihasználjuk a szimmetriákat, ezért elegendő a próbatest felének a modellezése. Ezzel a tengelyszimmetrikus modellezéssel a 3D szimulációhoz képest jelentős számítási időt tudunk megtakarítani. A

háló kvadratikus tengelyszimmetrikus elemekből áll, amelyek 8 csomópontot tartalmaznak. A 2. ábra az NT2 elnevezésű próbatest hálózása mellett az alkalmazott peremfeltételeket szemlélteti.



2. ábra

### Próbatest hálózása és peremfeltételek

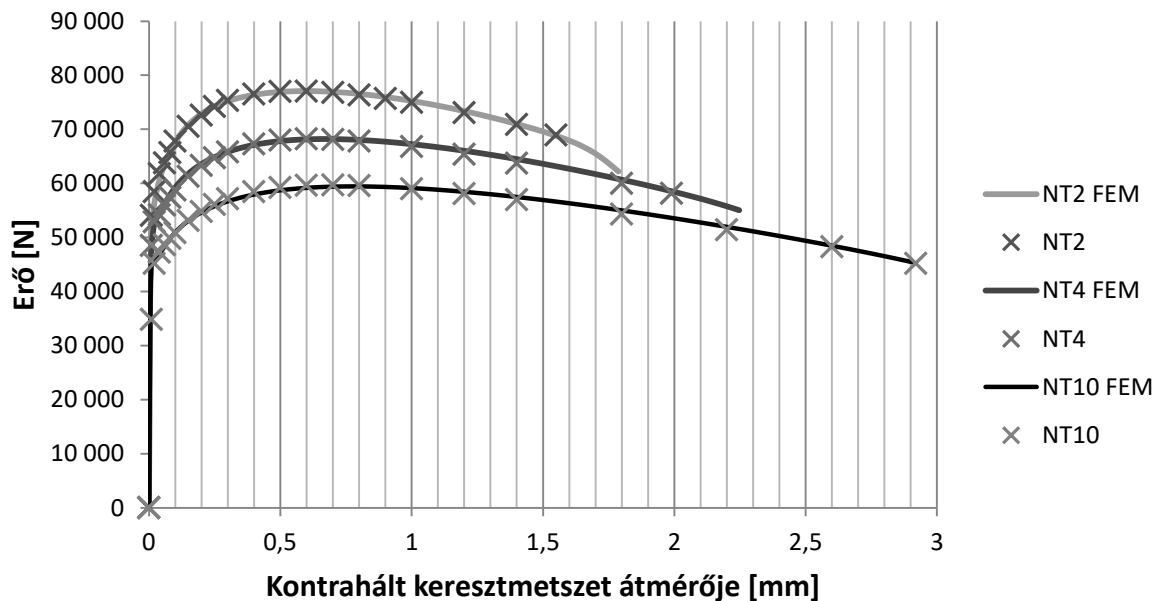
Köztudott, hogy a Gurson paraméterek nagysága értéke nagyban függ az alkalmazott végeselm háló finomságától, ezért ez előzetesen megvizsgálásra került, az itt bemutatott hálózás megfelelő pontosságot nyújt. A szimulációk során az 1. táblázatban szereplő paramétereket változtattuk adott tartományokon belül, melyek megtalálhatók a szakirodalomban [5].

GNT modell paramétereit

1. táblázat

Elnevezés	Jelölés	Leírás
folyási felület paraméter	$q_1$	Minél magasabb az értéke, annál alacsonyabbak a porózus anyag szilárdsági tulajdonságai
triaxialitási paraméter	$q_2$	A $q_2$ magas értéke nagymértékben csökkenti a folyáshatárt.
Üreg kezdeti térfogathányada	$f_0$	Nagyobb hatással van a lágyulási rendszer kezdetére mint a nagy alakváltozási szintek viselkedésére
Üreg kritikus térfogathányad	$f_c$	Az összenövekedés akkor jön létre, amikor az üreg térfogathányada eléri ezt az $f_c$ értéket
Üreg térfogathányada a törés pillanatában	$f_f$	

Számos variáció lefuttatása után a 2. táblázatban szereplő paraméterekkel a végeselm szimulációból származó erő kontrahált keresztmetszet átmérő görbe jól illeszkedik a mérési eredményekre. Ezt szemlélteti a 3. ábra, amelyen feltüntettük a három vizsgált próbatestre vonatkozó eredményeket. A jobb áttekinthetőség érdekében a mérési adatokat x jelölővel láttuk el a diagramban, míg a végeselm szimulációkból származó eredményeket egy folytonos görbe jelöli.



3. ábra

Mérésből és végeselm szimulációból származó eredmények összehasonlítása

GTN paraméterek	$q_1$	$q_2$	$f_0$	$f_c$	$f_f$
Érték	1,5	1	0,0064	0,05	0,6

A kutatás következő lépése a kapott eredmények validálása SENT (Single Edged Notched Tension) illetve CT (Compact Tension) vizsgálatokkal, így a GTN paraméterek felhasználhatóak lesznek a JR görbék számításához. A lokális anyagjellemzők segítségével lehetőség van multiscale elemzésre, mely kapcsolatot teremt a mikro és a makroszintű jelenségek leírása között, így figyelembe vehető az anyagban a károsodási folyamat kialakulása és annak továbbfejlődése az öregezés és a terhelési állapot hatására.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatjuk a szimuláció során alkalmazott Gurson-Tvergaard- Needleman modell elvét, illetve alapegyenletét. Ezt követően áttértünk a szakítóvizsgálatra. A méréseket három különböző méretű bemetszéssel rendelkező próbatesten végeztük el, melyből meghatározásra került az erő nagysága a kontrahált keresztmetszet átmérőjének függvényében. A végeelem szimuláció során 2D-s tengelyszimmetrikus módszert alkalmaztunk, emellett kihasználtuk a próbatestek szimmetriáját. A hálót 8 csomópontos kvadratikus elemekből építettük fel. A modell adott oldalára előírt elmozdulás alapján felrajzoltuk az erő-kontrahált keresztmetszet átmérő görbét, melyet összehasonlítottunk a mérési eredményekkel meghatározott az adott ferrites acélra vonatkozó GTN paramétereket.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## 7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] G. Vadillo, J. Fernández-Sáez An analysis of Gurson model with parameters dependent on triaxiality based on unitary cells European Journal of Mechanics-A/Solids, vol. 28, n. 3, may - jun 2009. Pp. 417-427
- [2] Gurson A. Continuum theory of ductile rupture by void nucleation and growth: part 1. Yield criteria and flow rules for porous ductile media. J Eng Mater Technol 1977;99: 2–15.
- [3] Corigliano A, Mariani S, Orsatti B. Identification of Gurson–Tvergaard material model parameters via Kalman filtering technique: I. Theory. Int J Plast 2000;104: 349–73.
- [4] Pardoen T, Doghri T, Delannay F. Experimental and numerical comparison of void growth models and void coalescence criteria for the prediction of ductile fracture in copper bars. Acta Mater 1998;46:541–52.
- [5] Z. L. Zhang A sensitivity analysis of material parameters for the Gurson constitutive model, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures Vol. 19, No. 5, pp. 561-570, 1996