FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA XIX.

Kolozsvár, 2014. március 20–21.

EXTRÉM NAGY ALAKVÁLTOZÁSI SEBESSÉG HATÁSA AZ ALAKÍTÁSI SZILÁRDSÁGRA

EFFECT OF EXTREME HIGH STRAIN RATE ON FLOW STRESS

WITTMANN Péter⁽¹⁾, GONDA Viktor⁽²⁾

(1) Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, 1081 Budapest, Népszínház utca, 8, Magyarország, Telefon/fax: +36-1-666-5310/+36-1-666-5423 peee77@gmail.com

(2) Óbudai Egyetem, BGK, Anyag- és alakítástechnológiai szakcsoport, 1081 Budapest, Népszínház utca, 8, Magyarország, Telefon/fax: +36-1-666-5310/+36-1-666-5423, gonda.viktor@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

In this paper, we present results of a finite element simulation, which can represent the split-Hopkinson pressure bar (SHPD) test for measuring high strain rate flow curves. I built a model in LS-DYNA, which is suitable for modeling extreme high strain rate or high speed processes occur in SHPD tests. In the simulations, I employed the Johnson-Cook material model to describe the workpiece behavior. I compared the simulation results with test results of same conditions, this way the model was validated. Then I tested different materials mechanical properties on different strain rates and I show the results in diagrams.

Keywords: finite element simulation, SHPD, strain rate

Összefoglalás

A dolgozatomban a fő célja az volt, hogy készítsek egy olyan végeselemes modellt, amely képes reprezentálni az osztott Hopkinson rudas vizsgálatot. Ezt a modellt az LS-DYNA nevű szoftverrel készítettem el, amely jól alkalmazható nagy sebességű, illetve magas alakváltozási sebességű folyamatok esetén. A modellben az alakítandó munkadarab anyagmodelljére a Johnson-Cook anyagmodellt alkalmaztam, mert ez az anyagmodell figyelembe veszi az alakítás sebességét. A dolgozatom során az elkészült modellemnek az eredményeit összehasonlítottam más hasonló körülmények között lezajló vizsgálatok eredményeivel, amelyek megmutatták a modell helyességét. Majd a modell használatával különböző anyagoknak vizsgáltam a mechanikai tulajdonságait különböző alakváltozási sebességeken és az eredményeket diagramok formájában ábrázoltam.

Kulcsszavak: végeselemes model, osztott Hopkinson rudas vizsgálat, alakváltozási sebesség.

1. Bevezetés

Nagy alakváltozási sebességen (10^2 - 10^4 1/s) történő alakítás esetén az anyag a mechanikai tulajdonsága eltérő a szokványos alakítási sebességekhez képest. Éppen ezért lényeges ismerni az anyag mechanikai tulajdonságát ilyen körülmények esetén. Az osztott Hopkinson

rudas vizsgálat segítségével nagy alakváltozó sebességeken vehető fel a folyásgörbe különböző anyagminőségekre. Gyakorlati használata az ilyen sebességen történő alakításoknak pl.: az elektrodinamikus alakítás és a robbantásos alakítás.

2. Osztott Hopkinson rudas vizsgálat

A vizsgálat célja megállapítani az anyag dinamikus viselkedését nagy alakváltozási sebességen. Az elérhető alakváltozási sebesség nagysága $10^2 < \dot{\epsilon} < 8 \times 10^3$ 1/s [1, 2]. A kísérleti elrendezés két hosszú rúdból áll, amelyeket belső és külső rudaknak hívunk. A folyamat közben ezek a rudak csak rugalmas alakváltozást szenvedhetnek, képlékeny alakváltozást nem. A két rúd között helyezkedik el a próbatest, mely általában a rudaknál jóval lágyabb anyagú, henger alakú, amely képlékenyen változik a folyamat közben [1, 2]. Az 1. ábrán látható a vizsgálat kísérleti elrendezése. Az ábra bal oldalán látható a gáz pisztolyból kilőtt lövedék, ami becsapódik a belső rúd. A becsapódás hatására feszültség hullámok generálódnak a belső rúd, melyek a munkadarab felé terjednek, majd hatásukra alakítják azt. Fontos, hogy a folyamat során ezek a hullámok egy dimenziósan terjedjenek, amit pontos megmunkálással, kenéssel és hosszú rudak alkalmazásával tudunk elérni. Az osztott Hopkinson rúd működési elve az egy dimenziós hullám terjedés.

A folyamat alatt a következő feszültség hullámok alakítják a darabot:

- σ_i = bevitt impulzus;
- σ_r = visszavert impulzus;
- σ_t = átvitt impulzus.

1. ábra. Az osztott Hopkinson rudas vizsgálat kísérleti elrendezése [1]

3. Johnson-Cook anyagmodell [3]

A Johnson-Cook anyagmodell megmutatja az alakítási szilárdság, (σ) változását fémes anyagok vizsgálata során, a képlékeny alakváltozás mértékének (ϵ) függvényében, az alakváltozási sebesség ($\dot{\epsilon}$) és a hőmérséklet (T) figyelembe vételével:

$$\sigma = \left[A + B \epsilon^n \right] \left[1 + C \ln \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T - T_m} \right)^m \right] \quad [3]$$

ahol A, B, C, n, m anyagminőségtől függő illesztett paraméterek, $\dot{\epsilon}_0$ a referencia alakváltozási sebesség, T_r, T_m referencia hőmérsékletek.

4. Végeselemes modell

A végeselemes modellt az LS-DYNA programmal készítettem el. A modellel 4 különböző anyagminőséget vizsgáltam, eltérő alakváltozási sebességeken (1300; 2400; 3100 1/s). Az alakváltozási sebességeket különböző lövedéksebességekkel értem el. A modellben alkalmazott különféle anyagi paraméterek értékei a 1. táblázatban találhatók.

1. táblázat. Az alkalmazott anyagjellemzők különböző anyagminőségekre vonatkozóan (ahol a sűrűség: ρ [kg/m³], rugalmassági modulusz: E [GPa], Poisson-tényező: ν [-], nyírási modulusz: G [GPa], a Johnson-Cook modell paraméterei: A , B , C , n , m , T_m , T_r).

Név:	ρ	E	ν	G	A	B	C	n	m	T_m	T_r
Acél C45	7850	210	0.3	80	553.1	600.8	0.0134	0.234	1	1460	20
Alumínium 5083 T5	2650	72	0.33	26.4	167	596	0.001	0.551	0.859	570	20
Réz	8690	117	0.33	43	90	292	0.025	0.31	1.09	1084	20
Alumínium 6082 T6	2650	72	0.33	26.4	428.5	327.7	0.00747	1.008	1.31	1128	20

5. Eredmények

A 2. ábrán látható a C45-ös acélra vonatkozóan a valódi feszültség a valódi nyúlás függvényében különböző alakváltozási sebességeken.

A szimuláció eredményei alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az alakváltozási sebesség különböző nagyságú, de azonos nagyságrendű, így a feszültség nagyságát csak kis mértékben befolyásolja. Mivel a különböző alakváltozási sebességeket különböző lövedéksebességgel értem el, ezért különböző mozgási energiával csapódott be a lövedék. A mozgási energia növekedésével nagyobb az alakítási energia is, ez látható az alakváltozás mértékének növekedésében is, de ez a növekedés is csak kis mértékű.

2. ábra. A végeselemes szimulációval meghatározott valódi feszültség--valódi alakváltozás diagram C45-ös acél próbatestre vonatkozóan, három különböző alakváltozási sebesség esetén.

A 3. ábrán a négy különböző anyagminőség folyásgörbéit ábrázoltuk 1300 1/s alakváltozási sebesség esetén.

A diagramból látható, hogy lágyabb anyagok esetén ugyan az a terhelés ugyan az a munka nagyobb maradó alakváltozást mutat, mint keményebb anyagok esetén. Mivel a réznek a legalacsonyabb a folyáshatára az kezd el először megnyúlni a többi anyaghoz képest. A C45 egy jóval erősebb anyag az itt szereplő anyagok közül, ezért ott a legkisebb a maradó alakváltozás és a legnagyobb a darabban ébredő feszültség érték.

3. ábra. A végeselemes szimulációval meghatározott valódi feszültség-valódi alakváltozás diagram 4 különböző anyagminőség esetén egy alakváltozási sebességen

Irodalom

- [1] K.T. Ramesh - 33. *High Strain Rate and Impact Experiments*
www.smf.phy.cam.ac.uk/.../666StrArmstrongIMR.pdf letöltve: 2013.09.18
- [2] S.T. Marais, R.B. Tait, T.J. Cloete and G.N. Nurick - *Material testing at high strain rate using the split Hopkinson pressure bar* www.lajss.org/index.php/LAJSS/article/download/.../47
letöltve: 2013.09.18
- [3] ICHSF2012 5th International Conference on High Speed Forming